



NATIONELL  
MILJÖÖVERVAKNING  
PÅ UPPDRAG AV  
NATURVÅRDSVERKET



# Ljudmiljö i naturområden

Mikael Ögren

Magnus Lindqvist

Andreas Gustafson

Manne Friman

Erik Rosengren

Sara Persson

Sahlgrenska Universitetssjukhuset  
Samhällsmedicin och folkhälsa  
Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum (VMC)  
ADRESS Box 414, 405 30 Göteborg    BESÖK Medicinargatan 16  
TELEFON 072-203 30 13    E-POST [mikael.ogren@amm.gu.se](mailto:mikael.ogren@amm.gu.se)  
HEMSIDA [www.amm.se](http://www.amm.se)



## Kartläggning av ljudmiljö i natur- och rekreationsområden

<b>Rapportförfattare</b> Mikael Ögren <sup>1</sup> Magnus Lindqvist <sup>2</sup> Andreas Gustafson <sup>3</sup> Manne Friman <sup>4</sup> Erik Rosengren <sup>1</sup> Sara Persson <sup>2</sup> <sup>1</sup> Miljömedicinskt centrum, Sahlgrenska, Göteborg <sup>2</sup> Naturvårdsverket, Stockholm <sup>3</sup> VTI, Göteborg <sup>4</sup> Efterklang, Karlskrona	<b>Utgivare</b> Sahlgrenska Universitetssjukhuset <b>Postadress</b> Arbets- och miljömedicin Box 414 405 30 Göteborg <b>Telefon</b> 031-342 30 40
<b>Rapporttitel och undertitel</b> Kartläggning av ljudmiljö i natur- och rekreationsområden	<b>Beställare</b> Naturvårdsverket 106 48 Stockholm <b>Finansiering</b> Nationell miljöövervakning
<b>Nyckelord för plats</b> Sverige	
<b>Nyckelord för ämne</b> Nationell strategi, trafikbuller, bullerartering	
<b>Tidpunkt för insamling av underlagsdata</b> Inga underlagsdata insamlade.	
<b>Sammanfattning</b> Denna rapport beskriver en kartläggningsmetod för att beräkna bullernivåer från väg- och tågtrafik, vindkraftverk samt flygrörelser nära flygplatser i Sveriges naturområden. Rapporten redovisar också en första kartläggning av hela Sverige i en upplösning på 500 meter. Kartläggningen är fritt tillgänglig och kan laddas ner i olika format på Naturvårdsverkets hemsida. Kartläggningsresultatet kan också betraktas via en enkel webbkarta. Den viktigaste begränsningen med metoden är att beräkningarna endast är giltiga långt ifrån de ingående källorna, minst 250 meter. För att beräkna bullernivåerna noggrant nära en källa får man använda de vanliga standardiserade beräkningsmetoderna. Kartläggningen är sammanställd för nationalparker och naturreservat, och visar att majoriteten av dessa områden har låga bullernivåer. Vissa områden, särskilt nära större transportleder, uppvisar högre nivåer. Rapporten föreslår också en klassificering av ljudmiljön i naturreservat baserat på beräkningarna där klass A motsvarar den bästa miljön med låga beräknade nivåer och sedan följer klass B och C. Totalt 57% av naturreservaten får ljudmiljöklass A, 27% klass B och 16% klass C. Beräkningsmetoden utgår ifrån den Nordiska gemensamma metoden Nord2000, som klarar att beräkna ljudutbredningen över komplicerad terräng med varierande marktyp och inkluderar effekterna av väder på ljudutbredningen, som är mycket viktiga vid långa avstånd mellan källa och mottagare. Väderstatistiken för beräkningarna är baserad på de europeiska klimatdata ERA5 för 10-årsperioden 2013-2022. Väderstatistiken redovisas anpassat för Nord2000 i rapporten och kan fritt laddas ner. Dessa data utgör ett värdefullt underlag i många sammanhang, såsom framtida studier, miljöanalyser och beslutsfattande kring skydd och planering av naturområden.	

## Inledning

I en allt mer urbaniserad värld blir det utmanande att tillgodose människors behov av tillgång till natur- och rekreationsområden. Dessa områden erbjuder inte bara en tillflyktsort från stadens hektiska liv, utan ger också möjligheter för rekreation, återhämtning och kontakt med naturen. Deras roll i att främja fysisk och psykisk hälsa gör dem till en viktig del av samhällets infrastruktur för att skapa välbefinnande. Denna rapport beskriver en metod för att kartlägga ljudmiljön inom dessa områden, med ett speciellt fokus på lite större sammanhängande områden. Mindre områden som ligger nära trafik, exempelvis mindre parker och trädgårdar, kräver ingen speciell metodik utan kan med god noggrannhet kartläggas med vanliga bullerberäkningar.

Inom projektet har vi kartlagt buller från vindkraft, väg-, tåg- och flygtrafik nära större flygplatser med beräkningsmetoden Nord2000 i ett grovmaskigt nät (upplösning 500 meter) över hela Sverige. Beräkningarna har inkluderat källor inom minst 8 km och är baserad på väderstatistik för perioden 2013 – 2022 från det europeiska klimatdatasetet ERA5. Kartläggningen har publicerats under 2024 via Naturvårdsverkets geodatakatalog: <https://geodata.naturvardsverket.se/nedladdning/ljudmiljo/>.

Arbetet med att ta fram metoden och genomföra kartläggningen nationellt har finansierats av Naturvårdsverket inom HÄMI, hälsorelaterad miljöövervakning, och delprogrammet fysikaliska mätdata. Projektet startade under 2023 och avslutas under 2024.

Förutom författarna så har ett flertal personer bidragit med kommentarer, goda förslag och arbete med underlag till beräkningarna. Vi vill speciellt tacka Hamza Hamad, Gunnar Cerwén, Mats Nilsson, Hung Nguyen och Oscar Hagefalk.

*Göteborg 2024-06-25*

*Version 0.9, 2024-09-05*

## Sammanfattning

Denna rapport beskriver en kartläggningsmetod för att beräkna bullernivåer från väg- och tågtrafik, vindkraftverk samt flygrörelser nära flygplatser i Sveriges naturområden. Rapporten redovisar också en första kartläggning av hela Sverige i en upplösning på 500 meter. Kartläggningen är fritt tillgänglig och kan laddas ner i olika format på Naturvårdsverkets hemsida

<https://geodata.naturvardsverket.se/nedladdning/ljudmiljo/>. Kartläggningsresultatet kan också betraktas via en enkel webbkarta <http://bullerprognosen.se/webmap/gl/>.

Den viktigaste begränsningen med metoden är att beräkningarna endast är giltiga långt ifrån de ingående källorna, minst 250 meter. För att beräkna bullernivåerna noggrant nära en källa får man använda de vanliga standardiserade beräkningsmetoderna.

Kartläggningen är sammanställd för nationalparker och naturreservat, och visar att majoriteten av dessa områden har låga bullernivåer. Vissa områden, särskilt nära större transportleder, uppvisar högre nivåer. Rapporten föreslår också en klassificering av ljudmiljön i naturreservat baserat på beräkningarna där klass A motsvarar den bästa miljön med låga beräknade nivåer och sedan följer klass B och C. Totalt 57% av naturreservaten får ljudmiljöklass A, 27% klass B och 16% klass C.

Beräkningsmetoden utgår ifrån den Nordiska gemensamma metoden Nord2000, som klarar att beräkna ljudutbredningen över komplicerad terräng med varierande marktyp och inkluderar effekterna av väder på ljudutbredningen, som är mycket viktiga vid långa avstånd mellan källa och mottagare. Väderstatistiken för beräkningarna är baserad på de europeiska klimatdata ERA5 för 10-årsperioden 2013-2022. Väderstatistiken redovisas anpassat för Nord2000 i rapporten och kan fritt laddas ner.

Dessa data utgör ett värdefullt underlag i många sammanhang, såsom framtida studier, miljöanalyser och beslutsfattande kring skydd och planering av naturområden.

## Innehållsförteckning

Inledning .....	3
Sammanfattning.....	4
Ljudmiljö i natur- och rekreationsområden .....	6
Inledning .....	6
Hälsoeffekter och välbefinnande.....	6
Effekter på djurliv.....	7
Tidigare kartläggningar i Sverige.....	8
Indikatorer och riktvärden .....	9
A-vägning och frifältsvärde .....	9
Variationer i tid och rum.....	9
Huvudindikator ekvivalent nivå vid 90% av ytan 06 – 22 .....	10
Klassificering av naturområden .....	10
Resultat för naturreservat och nationalparker .....	11
Kartläggning .....	11
Naturreservat.....	13
Nationalparker .....	16
Nationell kartläggningsmetod.....	18
Ljudutbredning och väder .....	18
Nord2000 .....	18
Höjd- och impedansmodell.....	19
Väg- och spårtrafik.....	20
Vindkraftverk .....	20
Flygplatser.....	21
Väderstatistik från ERA5 .....	23
Appendix 1 – referensberäkningar .....	29
Studerade områden .....	29
Underlag (före filtrering etc).....	29
Appendix 2 – kartor väderstatistik.....	31
Kartor - Luftdämpning.....	31
Kartor - Refraktion (väderklass M1 – M4).....	31

## Ljudmiljö i natur- och rekreationsområden

### Inledning

Människors välbefinnande påverkas positivt av vistelse i natur- och rekreationsområden. Ordet välbefinnandes andra led, befinnande, har germanska rötter och ursprungsbetydelsen kopplar bland annat till plats. Välbefinnande är alltså lite fritt tolkat att befinna sig på en bra plats. En kvalitet som en bra plats kan besitta är lugn och frånvaro av störande buller. Det är att beräkna och kvantifiera detta som är fokus för denna rapport.

Det finns i de flesta fall naturliga ljud i naturområden från vindbrus, vegetation, vatten, djur och människor. Dessa ljud upplevs oftast som positiva och just som en naturlig del av miljön i området. Ibland kan dessa ljud vara ganska starka, exempelvis i samband med stark vind, åska eller liknande, men oftast är det låga ljudtrycksnivåer. I vissa fall kan det röra sig om extremt låga nivåer, exempel på detta är en vindstilla dag i ett fjällområde, eller ett skogsområde med nysnö. Dessa naturliga ljud är inte med i vår kartläggning, utan snarare är det så att dessa ljud riskerar att maskeras av bullerkällorna som vi kartlägger.

Nära en bullerkälla som exempelvis en större väg så betyder den närmaste omgivningen mycket för bullernivån. En skärmande kulle eller byggnad avgör väldigt mycket och närvaro av akustiskt mjuk mark som mossa eller gräsmatta är också viktigt. En bullerskärm som är två meter hög och 50 meter lång kan ge betydande akustisk skugga nära skärmen. I ett naturområde flera kilometer ifrån bullerkällan är dock andra faktorer de avgörande. Utöver källstyrkan är vindhastighet och -riktning, temperaturgradient samt luftabsorptionen de viktigaste parametrarna, och en 50 meter lång skärm betyder väldigt lite när en kilometerlång vägsträcka bidrar till den sammanlagda ljudnivån. Terrängen är fortfarande betydelsefull, men då på en större skala. Mindre kullar eller gräspartier betyder också lite i förhållande till större skogsområden och stora formationer i landskapet. Därför ställs andra krav på beräkningsmetoden när man är intresserad av att beräkna ljudnivån långt från källan.

Denna rapport beskriver en beräkningsmetod för att kartlägga buller från tåg- och vägtrafik, vindkraftverk och flygrörelser nära flygplatser i större sammanhängande naturområden. Rapporten inleds med en bakgrundsbeskrivning och förklaringar på de mått vi har beräknat, sedan följer resultatet analyserat utifrån tillståndet i naturreservat och nationalparker. Detaljerna kring hur beräkningarna genomfördes beskrivs i slutet av rapporten och i ett antal appendix. Syftet med denna rapport är att beskriva beräkningarna ingående så att de kan upprepas vid ett senare tillfälle för att följa upp utvecklingen, samt att ge en första enkel analys av tillståndet i naturområden idag.

### Hälsoeffekter och välbefinnande

Det är sedan länge etablerat i forskningen att det finns ett samband mellan trafikbuller vid bostäder och försämrad hälsa. När världshälsoorganisationen (WHO) uppdaterade sina riktlinjer för bullerexponering i EU 2018, klassades allmän störning, sömnstörning, och hjärtinfarkt som hälsoutfall där det då fanns måttlig eller stark evidens för ett orsakssamband [1], [2]. Sedan dess har flera studier publicerats som funnit samband med andra hälsoutfall såsom stroke och diabetes [3], [4].

Men detta gäller bostaden, hur ser det då ut för grön- och rekreationsområden? Tillgång till grönytor i bostadens närområde har i ett flertal studier associerats till positiva hälsoeffekter i form av lägre förekomst av stroke, hjärtinfarkt och högt blodtryck [5], [6]. I en stor studie som omfattade alla danskar över 50 år undersöktes luftföroreningar, buller vid bostad och andelen grönyta i närheten av bostaden, i relation till risken för hjärtinfarkt [7]. I denna studie tog man hänsyn till att dessa exponeringar är korrelerade, och fann en oberoende koppling till ökad risk för hjärtinfarkt för alla tre riskfaktorer. Med andra ord bidrar både luftföroreningar, trafikbuller och brist på närhet till grönska till ökad risk, och ingen av faktorerna kan förklaras av att det egentligen är någon av de andra faktorerna som styr sambandet.

För många människor, i synnerhet de med hög exponering för buller och luftföroreningar vid bostaden, är även närliggande grönområden utsatta för buller. Vi har inte hittat några studier som undersökt hur buller i ett närliggande grönområde påverkar dess positiva hälsoeffekter i form av hälsoutfallutfall som hjärtinfarkt eller stroke. Det finns dock en studie som visar att den positiva effekten av närhet till grönområden på den självrapporterade störningen av trafikbuller blir starkare om man "tar bort" bullerutsatta grönområden i analysen [8], [9]. Det vill säga de som bor nära grönområden blir mindre störda av trafikbuller i hemmet, och effekten är ännu starkare för dem som bor nära tysta grönområden.

Frånvaro av tydliga bevis för negativa hälsoeffekter är naturligtvis inte ett bevis för att det inte är viktigt med tystnad i grön- och rekreationsområden. Det finns många studier som visar att tystnaden i sig värdesätts av besökare i grönområden, exempelvis [10], [11], och att bullerutsatta områden i parker och rekreationsområden leder till störning och kortare besök [12], vilket i sig indirekt kan minska de positiva hälsoeffekterna av användningen av grönområdet. När det gäller stadsplanering så påpekas vikten tillgång till tysta grönområden i flera rapporter och utredningar [13], [14]. Vi tror att vår kartläggning kommer att skapa en unik möjlighet att studera hur ljudmiljön i närliggande naturområden påverkar människors hälsa.

### Effekter på djurliv

De naturområden som undersöks i denna rapport används av oss människor främst till friluftsliv och rekreation. För vilda djur är denna miljö snarare deras hem. Studier på hur vilda djur påverkas av omgivningsbuller har främst utförts på fåglar och djur som lever i marin miljö. Buller under vatten studeras inte i denna rapport. Anledningen till att man bland landlevande djur främst fokuserat på fåglar är att de använder ljud för att kommunicera och är förhållandevis lätta att studera. Det finns dock ingenting som talar för att andra djur inte skulle vara känsliga för buller, när kunskapsläget har sammanställts så har bedömningen snarare varit att många olika arter påverkas av omgivningsbuller [15].

Nära trafikerade vägar och vindkraftverk har förekomsten av fåglar visat sig vara reducerad, för starkt trafikerade vägar med omkring 50% både avseende antalet individer och artrikedom. Men det är ingen självklarhet att denna påverkan av vägar och vindkraftverk beror på buller, andra faktorer såsom visuella intryck, ökad olycksrisk, luftföroreningar och förändringen i landskapet skulle också kunna förklara detta samband [16]. För att särskilja bullereffekten från andra faktorer har därför studier utförts då man med hjälp av högtalare har exponerat fåglar för både vägtrafik- och vindkraftsbuller i en i övrigt opåverkad miljö. I dessa studier har man sett en tydlig effekt av bullret, med en effektstorlek som tyder på att buller är en viktig faktor [17], [18]. För störning från järnväg har de flesta studier inte påvisat ett lika tydligt samband, den mer intermittenta karaktären av buller från järnväg har föreslagits vara en möjlig förklaring [19], [20].

Effekter på djur har observerats för bullernivåer över 40 – 45 dB (A-vägd ekvivalent nivå), vilket intressant nog motsvarar ungefär de nivåer av buller i naturmiljö där människor också börjar uppleva en tydlig störning [15], [19]. Om vi utgår från beräkningarna för nationalparker och naturreservat som presenteras i denna rapport så är situationen god. Ungefär 1% av landytan i våra nationalparker och naturreservat har beräknade A-vägda nivåer över 40 dB från någon av källorna väg- och tågtrafik, vindkraftverk och flygtrafik nära flygplatser. Men skillnaderna mellan olika områden är stora, det finns flera exponerade naturreservat, framför allt nära våra stora transportstråk.

De beräkningar som nu tagits fram bör kunna användas som underlag vid framtida studier av påverkan på djur. Eventuellt går det då att upptäcka effekter vid lägre bullernivåer än tidigare, särskilt om bullerkartläggningen kan kombineras med teknologi för att följa djurs rörelsemönster och beteende via exempelvis GPS. Kartläggningen är också unik eftersom den omfattar så stort område och inkluderar källor även på långa avstånd. Detta öppnar för möjligheter att studera buller och påverkan på djurliv på nya innovativa sätt i framtiden.

## Tidigare kartläggningar i Sverige

Länsstyrelserna i Jönköpings och Kalmar län tog under början på 10-talet fram en nationell kartläggning över buller i naturområden [21]. Kartläggningen utgick från arbetet inom "Ljudkvalitet i natur- och kulturmiljöer" [22], och använde en beräkningsmetod framtagen av forskare i USA [23], [24]. Det slutliga resultatet presenterades som ett raster med upplösning 25 m över hela Sverige [25], där varje punkt i rastret klassades i en av sju klasser med avseende på omgivningsbuller. Kartläggningen utfördes en beräkningsmetod som inte används i övrigt i Sverige.

Förutom nationella kartläggningar så har även lokala eller regionala insatser gjorts på många platser. Ofta har man utgått ifrån de standardiserade beräkningsmetoderna för trafik och industribuller och utökat beräkningsavstånden för att kunna beräkna längre ifrån källorna. Ibland har man också kompletterat med mätningar i naturmiljö. En fullständig redovisning av vad som är gjort är inte möjlig inom ramen för detta projekt men en mycket bra sammanställning finns i rapporten "Tysta områden i Sverige" [26], och mer forskning kring detta pågår. Några exempel är kartläggningen av tysta områden i Västra Götaland [27] och Skåne [28], metoden för kartläggning i Stockholms län [29] och Guide till tystnaden [30].



## Indikatorer och riktvärden

### A-vägning och frifältsvärde

Alla beräkningar som redovisas i denna rapport är A-vägda ljudtrycksnivåer. För att beräkna dessa så utgår vi ifrån ljudeffektnivån i tersband för samtliga källor, vilket behövs för att kunna beräkna ljudabsorptionen och de övriga utbredningseffekterna korrekt över långa avstånd även om det endast är den A-vägda nivån vi önskar beräkna i slutet av beräkningskedjan. Detta gör att metoden kan anpassas till att beräkna andra frekvensvägningar eller delar av det frekvensband som Nord2000 omfattar (25 Hz – 10 kHz), exempelvis om man vill studera påverkan på en djurart som är känslig för andra frekvenser än människan.

Beräkningarna är att betrakta som frifältsvärden, men i våra tänkta mottagarområden så är det inte nivåerna vid eller inuti byggnader som är fokus, så någon egentlig korrektion för reflexer i byggnader behövs inte, förutom i de fullständiga referensberäkningar som använts för att ta fram den förenklade metodiken där byggnader finns med ibland.

Vi använder ibland begreppen bullernivå och ljudnivå när vi egentligen menar ljudtrycksnivå, mest för att göra rapporten mer lättläst.

### Variationer i tid och rum

Hur mäter eller beräknar man inverkan av buller i ett naturområde? Den mest rättframma och naturliga startpunkten är att mäta bullernivån i en punkt i området. Över tid kommer då ljudnivån att variera, dels på grund av väderförhållanden som ändras, dels på grund av att källan som strålar ut bullret ändras. Tidsvariationerna uppträder på olika tidsskalor, exempelvis varierar tågtrafiken mellan olika timmar över dygnet, men också på minutnivå när ett tåg passerar. Det vanligaste sättet att hantera tidsvariationerna är att bilda den ekvivalenta nivån under en tidsperiod, exempelvis ett dygn, men man kan också göra statistiska mått som exempelvis L10, som är den nivå som överskrids 10% av tiden (eller beskrivet tvärt om, 90% av tiden är nivån lägre än L10).

Men variationerna i naturområdet beskrivs inte endast av variation i tiden, olika punkter i naturområdet har dessutom olika ljudnivåer. Denna variation sker också på olika skalor, exempelvis så ändras nivån över 500 m när man kommer längre ifrån en väg, men också på så korta avstånd som 10 m när man kommer i skydd bakom en kulle relativt vägen. På samma sätt som ovan kan man beskriva detta som statistiska mått där L10 i rummet beskriver den nivå som endast överskrids i 10% av naturområdets yta. Att göra en ekvivalent nivå över ytan istället för tiden är möjligt men inte särskilt vanligt i akustiska sammanhang.

Både när det gäller tid och rum så finns det tider och platser som på sätt och vis inte är relevanta. Om ett naturområde nästan aldrig besöks nattetid, eller en plats nere i en djup ravin kräver avancerad klätterutrustning för att nå, så är det i någon mening mindre relevant vad ljudnivån är vid dessa tider/platser. På motsvarande sätt så är kanske platser utmed en välanvänd gångstig eller vid tidpunkter som dag- eller kvällstid som är de mest relevanta för upplevelse och hälsa.

För bostäder nära en källa används i Sverige den maximala nivån som indikator på buller i vissa sammanhang, framförallt för att skydda boende mot störning vid sömn och vila. Denna indikator skall då motsvara den maximala ljudnivå som uppstår vid en viss position under vissa förutsättningar, ofta vid en enskild passage av ett bullrigt fordon. Det är ett mått som inte fungerar särskilt väl för naturområden långt ifrån källan eftersom det blir väldigt stora osäkerheter vid beräkningen. Istället för att motsvara medelsituationen av väder och trafik under en del av dygnet som gäller för den ekvivalenta nivån så blir det mest extrema fordonet vid den mest extrema vädersituationen på sekundnivå utslagsgivande för resultatet av beräkningen. För flyg- och spårtrafik kan man tala om enskilda händelser även på långa avstånd, men för vägtrafik och vindkraftverk så är

det inte meningsfullt. Man kan inte heller på något enkelt sätt summera maximala nivåer från de olika källtyperna om de förekommer samtidigt.

### Huvudindikator: ekvivalent nivå vid 90% av ytan dag- och kvällstid (06 – 22)

Under projektets gång har olika sätt att beskriva ljudmiljön i ett sammanhängande område provats. Målet var att hitta en indikator som är enkel att beskriva, går att beräkna utifrån vår kartläggning och som sammanfattar variationer i tid och rum till ett enda tal på ett rimligt vis. Vi landade slutligen i den A-vägda ekvivalenta ljudtrycksnivån mellan klockan 6 och 22 som underskreds vid 90% av områdets yta. Detta motsvarar aktivitet dagtid och kvällstid, och ger ett mått som är giltigt i stora delar av området men som ändå tillåter bullerexponering i mindre delar av området, exempelvis en tillfartsväg med parkering eller en mindre väg i kanten på området.

Variationen över tid hanteras som en ekvivalent nivå, och variationen i rummet hanteras av 90-percentilen, dvs 90% av ytan har en beräknad nivå under värdet och 10% av ytan över. Detta tillsammans bildar ett mått som går från ungefär 0 dB för de tystaste naturområdena och upp till 45 dB för de mest exponerade. Vi redovisar inga beräkningar över 45 dB eftersom den underliggande metoden inte på ett bra sätt kan beräkna höga ljudtrycksnivåer som förekommer nära källorna. Då får man istället göra en vanlig bullerberäkning. Det finns också områden som ligger så långt ifrån alla våra källor att ingen exponering kan beräknas, de får då värdet -5 dB eller tomt värde beroende på sammanhang.




Variationer i väder hanteras i våra beräkningar genom att ta fram statistik för den aktuella platsen kring vindriktning, vindhastighet, temperaturgradient, temperatur och luftfuktighet baserat på vädret under tidsperioden 2013 – 2022, se avsnittet om väderstatistik. Notera att detta inte är enkelt jämförbart med beräkningar som genomförs i andra sammanhang, exempelvis vid infrastrukturplanering, planering av nya vindkraftverk med mera. Där utgår man istället från ett standardväderfall som representerar en medelsituation (eller egentligen en situation med något mer ljudöverföring än neutral atmosfär), som är samma över hela landet.

Vår indikator för buller i naturområden har ingen enkel och standardiserad förkortning eller beteckning, vi använder i denna rapport  $L_{06-22}$  med tillägget att det gäller 90% av ytan. Det är en förenkling av den mer standardlika beskrivningen  $L_{pAeq,06-22}$ .

### Klassificering av naturområden

Vi har valt att klassificera naturområden i vår beräkning utifrån huvudparametern  $L_{06-22}$  vid 90% av områdets yta, dvs den ekvivalenta ljudnivån dag- och kvällstid som 90% av ytan ligger under. Vi benämner klasserna A-C, se tabell 1 nedan.

Tabell 1. Ljudmiljöklasser för naturområden.

Klass	$L_{06-22}$ vid 90% av yta	Färg	Beskrivning
A	< 25 dB		Ljud från vägar, järnväg, vindkraftverk och flygplatser påverkar inte ljudmiljön i området utom i extremfall.
B	25 – 35 dB		Ljud från vägar, järnväg, vindkraftverk och flygplatser påverkar ljudmiljön i området ibland.
C	≥ 35 dB		Ljud från vägar, järnväg, vindkraftverk och flygplatser påverkar ljudmiljön i området.



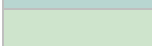
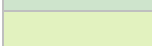
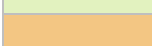




## Resultat för naturreservat och nationalparker

### Kartläggning

Genom att använda beräkningsmetodiken som beskrivs i avsnittet om kartläggningsmetod så har vi skapat ett raster med upplösning 500 m över hela Sverige. Beräkningen tar hänsyn till källor upp till 8 km från mottagarpunkten för vägtrafik och 12 km för övriga källor. Beräkningsresultaten kan laddas ner i olika format från Naturvårdsverkets geodataportal [31].

För att visa resultaten på kartor på ett bra sätt utgick vi ifrån en färgskala skapad för storskaliga bullerkartor [32]. Denna är fokuserad på området 50 – 70 dB för buller vid bostäder i urban miljö, så vi justerade nivåerna i färgskalan nedåt för att bättre passa för naturområden. Vi har också använt samma färgskala i olika figurer och diagram för att förtydliga kopplingen mellan beräkningar och resultat. Färgskalan presenteras i tabell 2, färgerna används också för att illustrera ljudmiljöklasserna A – C.

Tabell 2. Färgskala för representation av beräknad ljudtrycksnivå  $L_{06-22}$  i naturområden.

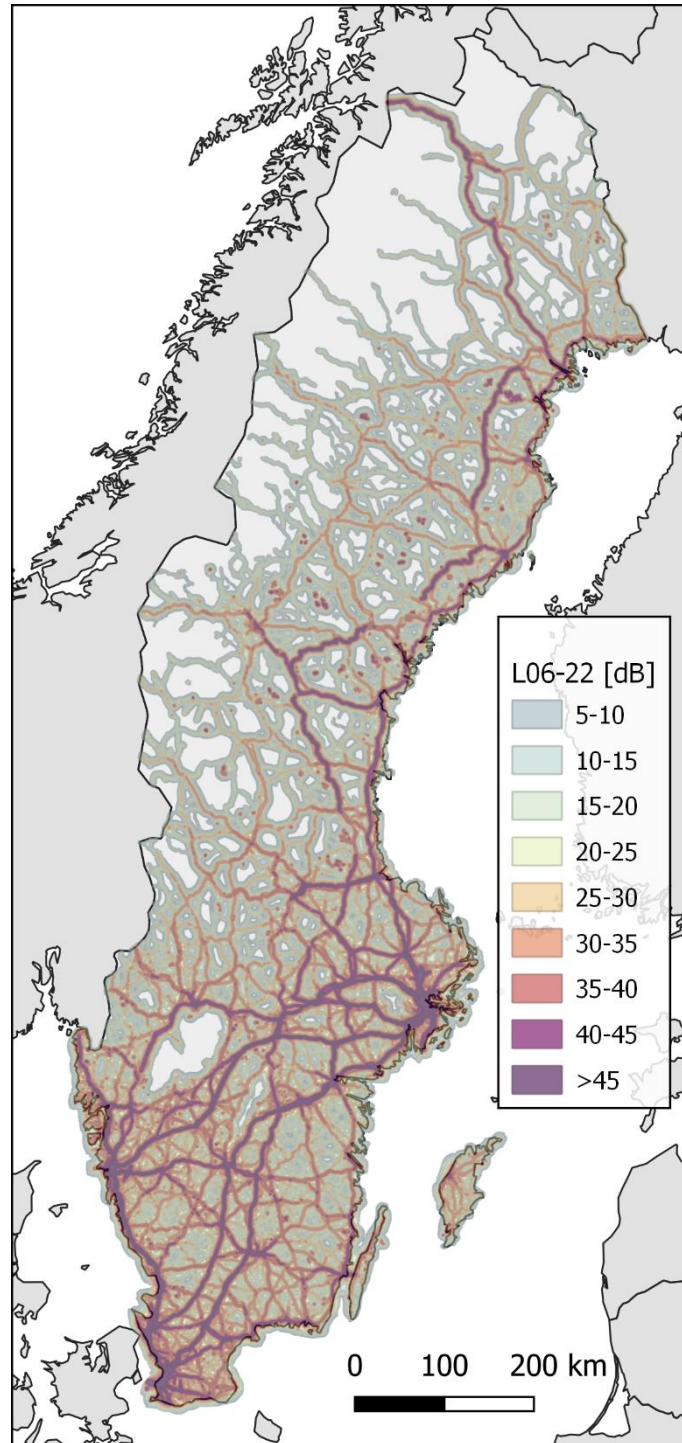
Färg	$L_{06-22}$ [dB]
	5 – 10
	10 – 15
	15 – 20
	20 – 25
	25 – 30
	30 – 35
	35 – 40
	40 – 45
	> 45

I figur 1 visas översiktligt kartan för hela Sverige. Kartan är ganska svårtolkad i tryckt form på denna skala, men man kan i alla fall se det övergripande mönstret. Stora transportleder syns tydligt över hela kartan, men även större vindkraftsparker och flygplatser i glesbyggd går att identifiera. De syns dock knappt om de ligger nära större städer där buller från vägtrafiken dominerar över stora ytor. Kartan går också att ta del av via en visningstjänst där man kan zooma och en grundkarta finns som bakgrund för att enklare identifiera olika platser [33].

Förutom  $L_{22-06}$  så beräknar vi också standardavvikelsen för variationen i vädret i varje beräkningspunkt, vilket gör att vi kan uppskatta hur stora tidsvariationerna blir till följd av väderfluktuationer. Även bidraget från de olika källorna beräknas och sparas i form av nivån för varje källa och en andel mellan 0 och 1 för de fyra källtyperna. Summan av andelarna blir alltid 1 och de beräknas genom

$$a_1 = 10^{(L_1 - L_{total})/10},$$

där  $a_1$  är andelen och  $L_1$  är bidraget från källa 1, och  $L_{total}$  är den ekvivalenta nivån vid summering av bidragen från alla fyra källor. Om endast källa 1 bidrar i en punkt är bidraget samma som totalen och andelen blir då exakt 1 för denna källa och 0 för övriga. Den källa som får störst andel är den som betraktas som dominant.



Figur 1. Karta över beräknad ljudtrycksnivå dag- och kvällstid ( $L_{06-22}$ ). Kartan finns som webbkarta [33], och underliggande GIS-data kan laddas ned från Naturvårdsverkets webbsida [31].

## Naturresevat

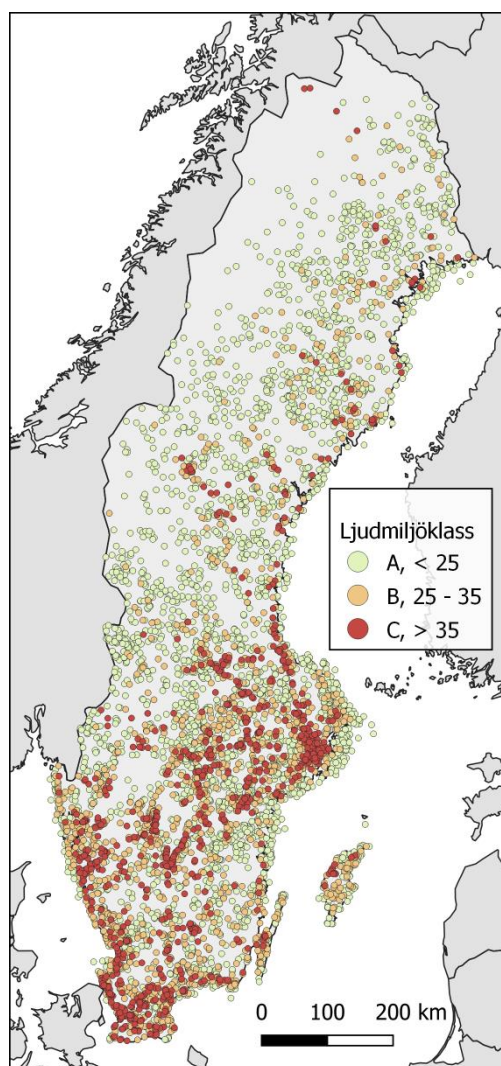
Varje naturresevat i Sverige har en officiell utsträckning i form av en yta som beskrivs av en polygon. Genom att identifiera alla beräkningspunkter inom varje polygon så kunde vi sedan ta fram statistik för varje resevat. För små naturresevat kunde det inträffa att ingen beräkningspunkt föll inom ytan, i dessa fall valde vi den beräkningspunkt som låg närmast området.

För varje område beräknade vi 90-percentilen av den A-vägda ekvivalenta ljudtrycksnivån dag- och kvällstid, och kunde utgående från denna parameter beräkna ljudmiljöklassen med hjälp av tabell 1. Vi beräknade också det totala bidraget  $b_1$  för källa 1 i området från de olika källorna enligt

$$b_1 = \frac{\sum a_{1,n} 10^{L_{tot,n}/10}}{\sum 10^{L_{tot,n}/10}},$$

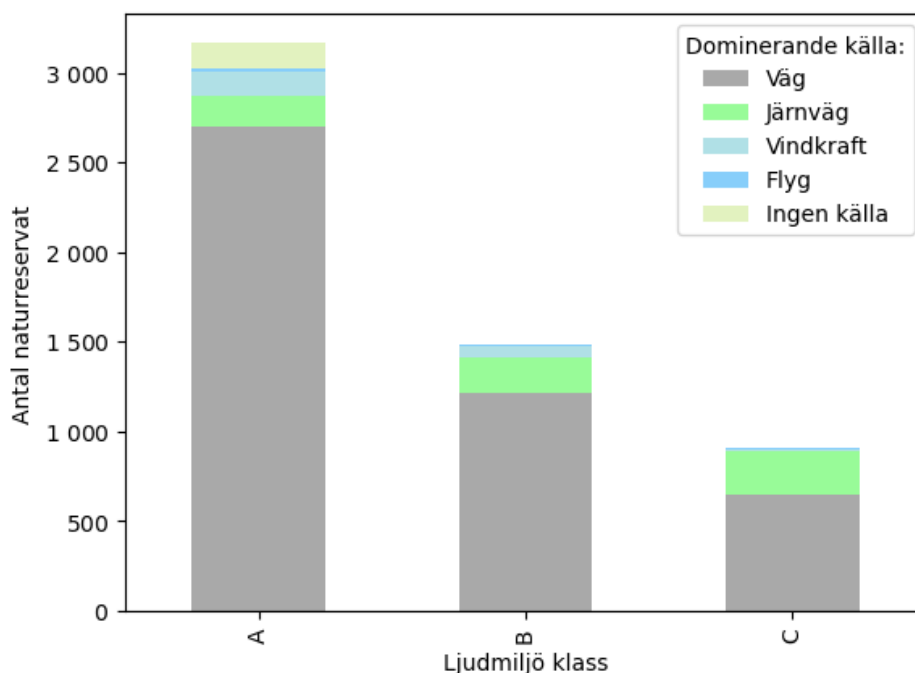
där  $a_{1,n}$  är bidraget från källa 1 i beräkningspunkt  $n$  och  $L_{tot,n}$  är den totala ekvivalenta nivån 06-22 i samma punkt, och summan sker över alla beräkningspunkter inom området.

I figur 2 visas en karta där varje naturresevat representeras av en punkt som är färglagd enligt respektive ljudmiljöklass. Ljudklass A är vanligast och förekommer i hela landet, men är vanligare i glesbygd och utmed kustbandet. De mest exponerade områdena, klass C, finner man i första hand nära stora transportleder, men även i tätbefolkade områden i allmänhet. Men även på avlägsna platser förekommer klass C ibland.



Figur 2. Karta över beräknad ljudmiljöklass för samtliga naturresevat.

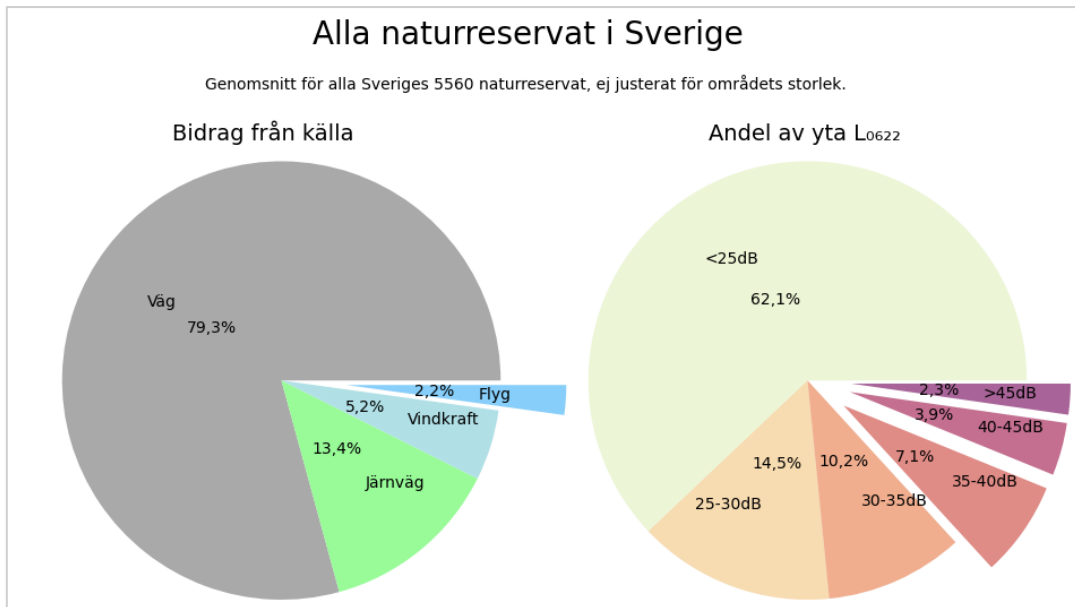
Ett histogram som visar antalet naturreservat i respektive klass uppdelat på vilken källa som är dominant finns i figur 3. Naturreservat som är så långt ifrån alla källor att de inte får någon beräknad ljudtrycksnivå får inte heller någon dominant källa, vilket gäller för 2,6% av alla områden. Vägtrafik dominerar i 82,1% av reservaten, tågtrafik i 10,8% och vindkraftverk i 3,7%. Buller från flygtrafik nära flygplatser är endast dominant i 0,7% av reservaten. Fördelningen skiljer mellan klasserna, för de mest exponerade områdena är vägtrafik fortfarande den största källan men tågtrafik är viktigare än vid de mindre exponerade.



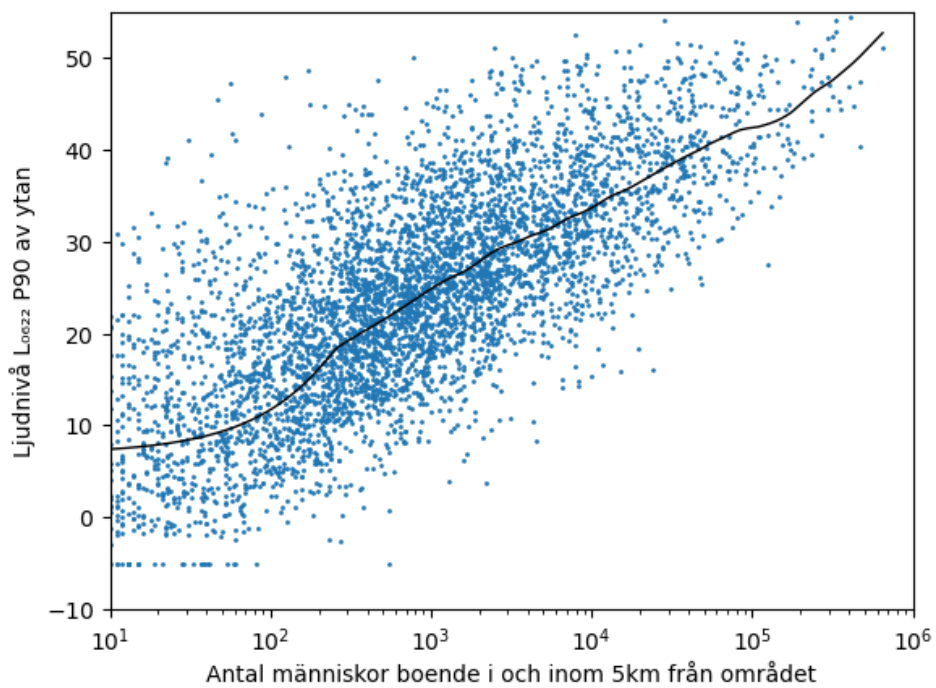
Figur 3. Histogram över beräknad ljudmiljöklass för naturreservat uppdelat på dominant källa.

Figur 4 visar ett cirkeldiagram där istället för att bara betrakta ett område som endast påverkas av en dominant källa, så har vi tagit hänsyn till de beräknade andelarna i respektive område. Då ökar vikten av flyg och vindkraft, dvs de påverkar många områden delvis men är inte så ofta den dominanta källan i området. Cirkeldiagrammet till höger visar på liknande sätt andelen av ytan som har olika beräknade ljudtrycksnivåer.

Det är uppenbart att där det är tätbefolkat så finns mer källor i form av väg- och tågtrafik samt flygplatser, varför det borde finnas ett samband mellan befolkningstäthet och bullerexponering i naturreservat. I figur 5 har vi analyserat detta genom att beräkna antalet boende inom 5 km från varje reservat och plotta detta mot den beräknade bullernivån. Sambandet är uppenbart men det finns också områden som avviker genom att vara både tystare och bullrigare än andra med ungefär samma befolkning i närområdet. Om man tänker på tillgänglighet för många människor så borde områden till höger i figuren som ligger lågt vara de mest värdefulla, dvs de är tysta men finns nära många boende.



Figur 4. Cirkeldiagram som visar bidrag av olika källor samt andel av ytan som har olika beräknade nivåer.

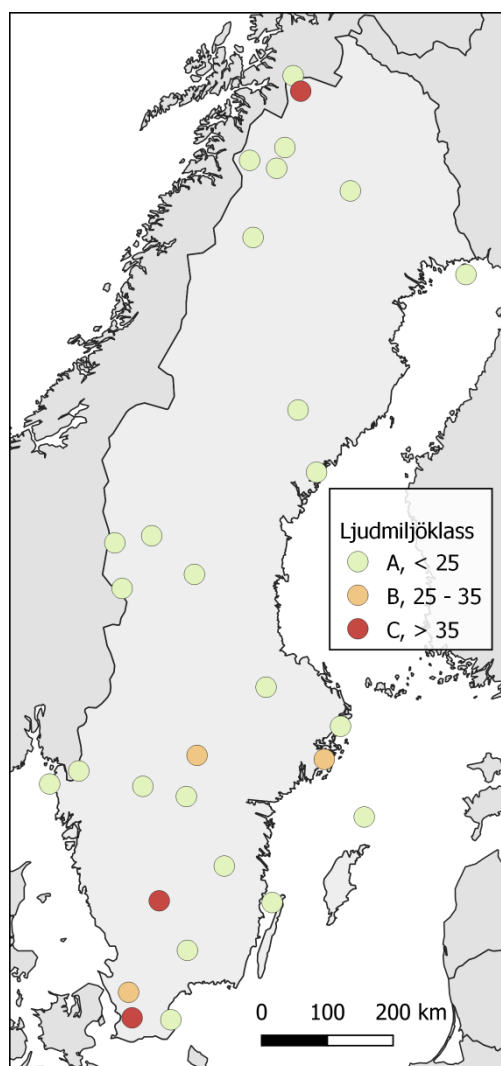


Figur 5. Diagrammet visar varje naturreservat som en blå punkt, med antalet boende inom 5 km på x-axeln och 90-percentilen av den ekvivalenta ljudtrycksnivån  $L_{06-22}$  på y-axeln. Den svarta linjen är en trendlinje som visar sambandet som en LOWESS-funktion.

## Nationalparker

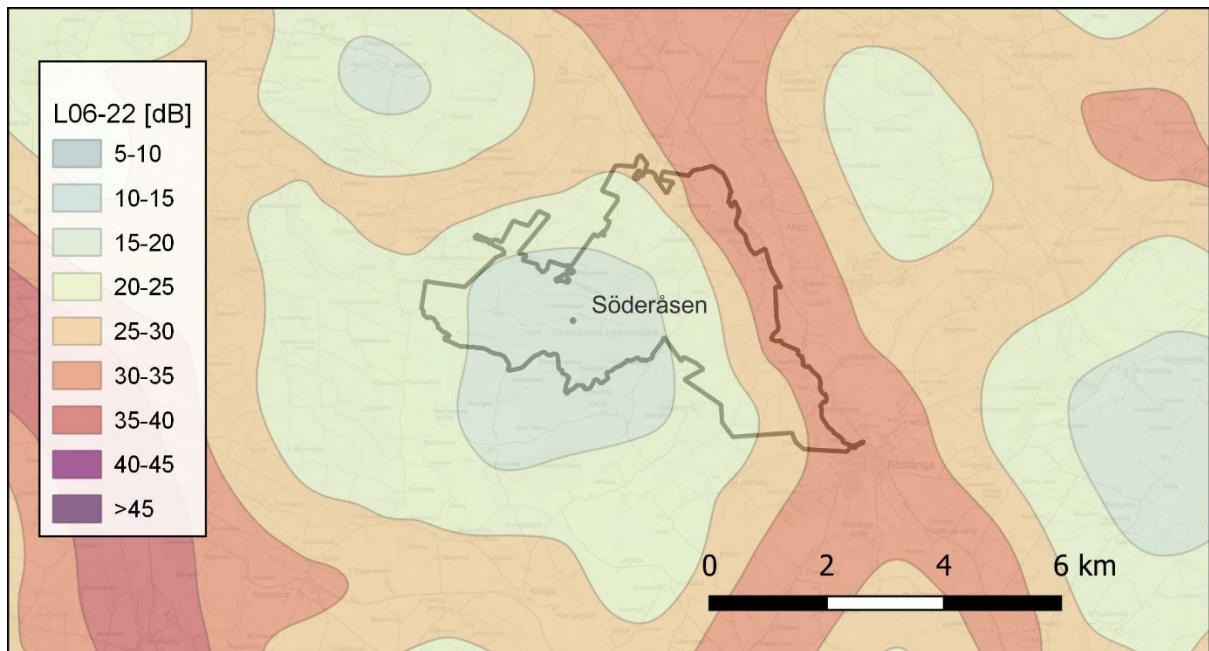
Vi genomförde beräkningar på samma sätt för Sveriges 30 nationalparker som för naturreservat. Nationalparkerna är dock betydligt mindre exponerade, och är oftast större till ytan. Det är tveksamt om samma klassificering är lämplig för dessa större områden som för naturreservaten, men om man beräknar klassen enligt tabell 1 så får man endast 6 parker som inte får den bästa klassen A, se kartan i figur 6.

Ett exempel är nationalparken Söderåsen, som får ljudmiljöklass C. Ekvivalentnivån kl 06-22 för 90% av ytan är 32 dB, och det är buller från vägtrafik som dominerar. Figur 7 visar bullerkartan och områdets utsträckning. Nivåerna i den västra delen av parken är mellan 15 och 20 dB, den högsta förekommande nivån i östra delen är 37 dB. Så trots att stora delar av parken har låga beräknade nivåer så påverkas måttet för hela parken av kravet att 90% av ytan skall klara måttet eller lägre.



Figur 6. Karta över beräknad ljudmiljöklass för nationalparker.





Figur 7. Karta över beräknad ekvivalent nivå  $L_{06-22}$  för Söderåsens nationalpark.

### Tillgänglighet till tysta områden

Vår förhoppning är som redan nämnts att kartläggningen skall kunna ligga som underlag till olika typer av analyser och studier i framtiden. En sådan studie har redan genomförts som ett examensarbete med fokus på tillgänglighet till tysta naturområden i Stockholms län [34]. Metoden utgick ifrån bullerkartläggningen, befolkningsstatistik och ett GIS-underlag för sammanhängande naturområden med en yta på minst 100 hektar i Stockholm. Analysen visade att i princip alla länets invånare har ett naturområde inom 5 km från bostaden, men med tilläggskravet att naturområdet också skall vara fritt från buller (max 40 dB  $L_{06-22}$  vid 90 % av ytan), så sjönk andelen boende med tillgång från 100% ner till 67%.

Denna analys arbetade inte enbart med naturreservat eller skyddade områden, utan alla större sammanhängande naturområden. Detta var möjligt eftersom kartläggningen täcker hela landet, inte bara skyddade områden.

## Nationell kartläggningsmetod

### Ljudutbredning och väder

För att kunna beräkna buller från trafik, vindkraft och andra liknande källor över långa avstånd krävs att man tar hänsyn till vädrets inverkan. Vädret påverkar ljudutbredningen i huvudsak på tre sätt. Temperaturen och luftfuktigheten bestämmer dämpningen i luften, eller luftabsorptionen. Vindriktning, vindhastighet och temperaturförändringar bestämmer refraktionen, eller krökningen av ljudvågorna, som avgör hur stor effekten blir av skärmande objekt framförallt vid långa utbredningsavstånd. Slutligen påverkar turbulensen i luften hur mycket ljud som sprids till djupa skuggzoner, exempelvis bakom höga sammanhängande byggnadskroppar eller bakom höga bullerskärmar. Turbulensen är slumpmässiga förändringar i vind och temperatur.

Luftabsorptionen varierar kraftigt med frekvensen, högre frekvenser ger högre dämpning, Men den varierar också över dygnet och året och med platsen, och i vår undersökning varierar den exempelvis mellan ca 2 dB/km och 20 dB/km vid 1000 Hz. Vid korta avstånd från källan är denna effekt inte särskilt viktig, vid längre avstånd så kan den vara den dominerande mekanismen som avgör hur stark ljudtrycksnivån blir. Mer information om väderstatistiken vi använt finns i föregående kapitel och Appendix 1.

På korta avstånd (ungefär 10 till 100 meter) påverkar vädret ganska lite. Vid lite längre avstånd (100 m till 500 m) påverkas utbredningen allt mer via refraktion och turbulens, där framförallt skärmade positioner och högre frekvenser påverkas. Vid längre avstånd blir luftdämpningen viktigare och blir tillslut den dominerande effekten. Vad det gäller väder så påverkar det alltså ganska lite vid korta avstånd mellan källa och mottagare, vid mellanlånga avstånd påverkar i första hand refraktion (temperaturgradient, vindhastighet och vindriktning), och vid de längsta avstånden är temperatur, luftfuktighet och vindriktning de viktigaste parametrarna.

### Nord2000

Beräkningsmetoden Nord2000 utvecklades i ett gemensamt nordiskt projekt under perioden 1996 till 2001. Grundtanken var att separera utbredningsberäkningarna från själva källmodellen så att källor som vägtrafik, spårtrafik och vindkraftverk kunde dela samma metod för beräkning av de gemensamma utbredningseffekterna, som sedan kompletteras med en kortare metod specifik för de olika källtyperna för att ta fram källstyrkan som skall användas som indata till utbredningsmetoden. Under 2001 publicerades de första kompletta metoderna för väg- och spårtrafik [35], [36], efter detta har metoden kompletterats med nya indata och vidareutvecklats i flera steg [37].

Luftabsorptionen beräknas i Nord2000 utgående från dämpningen beräknad för rena toner [38] och använder sedan en korrektion för att anpassa den till utbredning i tersband [39]. Denna korrektion motsvarar delvis metodiken för beräkning av luftabsorption för flygtrafik [40], men begränsningen är att i Nord2000 så utgår man ifrån en konstant temperatur och luftfuktighet, medan [40] kan om man önskar dela upp atmosfären i olika skikt och beräkna den sammanvägda totala dämpningen.

Refraktion hanteras i Nord2000 genom att utgå ifrån en kombination av linjär och exponentiell effektiv ljudhastighetsprofil, som i sin tur beror på hur temperaturen och vindhastigheten varierar med höjden. Nord2000 kan inte hantera effektiva profiler som inte är strängt växande eller avtagande med höjden nära marken. Exempel på profiler som inte är strängt växande eller avtagande är jetströmmar vid låg höjd där hastigheten exempelvis först minskar med höjden och sedan ökar igen. Det betyder att Nord2000 på ett bra sätt kan hantera vanligt förekommande utbredningsfall som ger höga ljudnivåer, exempelvis ett stabilt luftskikt över en vattenyta sommartid, men inte ovanliga extremfall som jetströmmar på låg höjd som kan ge höga ljudnivåer på väldigt långa avstånd.

## Höjd- och impedansmodell

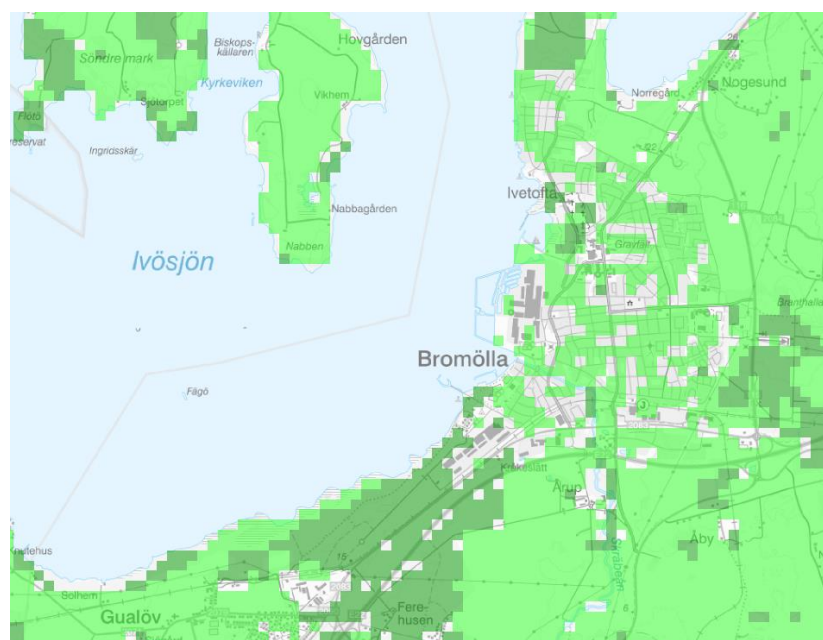
För att kunna beräkna markeffekten och den skärmande effekten av terrängen har vi använt höjdmodellen NH Grid50+ [41] från Lantmäteriet och nationella marktäckedata från Naturvårdsverket [42]. För att minska på lagringsutrymme och effektivisera beräkningarna konverterades båda källorna till en sammanslagen fil med upplösning 100 meter. För varje 100-metersruta beräknades medelvärdet av samtliga ingående 10-metersrutor från marktäckedata enligt tabell 3. Impedansklassen för 100-metersrutan bestäms sedan enligt tabell 4. Höjden beräknades som medelvärdet av de fyra ingående rutorna (Grid50+ har 50 meters upplösning).

Tabell 3. Omvandlingstabell för akustisk markklass (nationella marktäckedata).

Marktäckedata kod	Markklass bidrag
0 – 43	1
50 – 63	0
Övriga	2

Tabell 4. Omvandlingstabell till impedansklass Nord2000.

Medelvärde 100 m	Impedansklass Nord2000
< 0,5	H
0,5 – 1,5	D
> 1,5	B



Figur 8. Exempel på impedansklass i 100 meters rutor. Mörkgrön är klass B, ljusgrön klass D och ofärgad är klass H (hård mark, vatten, byggnader osv). Bakgrundskarta: Lantmäteriet öppna data 2024.

## Väg- och spårtrafik

För väg och spårtrafik utgick vi från källmodellerna [35], [36] för att beräkna hur mycket ljudeffekt per meter som genereras. För att kunna genomföra en beräkning på nationell nivå så måste vi aggregera vägar och spår i ett rutnät, och efter inledande försök med olika upplösning kom vi fram till att ett rutnät med en upplösning på 500 meter gav en rimlig balans mellan användbarhet för större naturområden och beräkningstid. All ljudeffekt i en ruta med sida 500 meter aggregerades därför till en punktkälla i mitten av rutan. Summeringen skedde per tersband, och den aggregerade ljudkällan placerades på en höjd av 0,3 meter över terrängen. Alla sträckor som indikerades att de var i en tunnel togs bort.

För beräkningar till en mottagande ruta togs källor inom den egna rutan bort, vilket gör att beräkningen inte är giltig nära källorna, utan är endast korrekt i områden minst 250 meter ifrån någon större väg eller bana. Ett alternativ till detta angreppssätt är att använda ytkällor istället för punktkällor, eller att korrigera de närmaste källorna på andra sätt, men eftersom syftet med beräkningen är att få god noggrannhet i naturområden en bit från infrastruktur osv så fungerar denna strategi bra. I praktiken betyder detta att beräkningarna i bullerutsatta områden, exempelvis inne i en större tätort eller intill en större trafikled, inte är användbara. Vi väljer därför att i sådana områden endast ange att nivån är större än 45 dB i beräkningarna.

Trafikflöde, fordonsfördelning och hastighet hämtades för vägtrafik från Trafikverkets underlag till beräkningsmetoden SimAir, som är en sammanvägning av uppmätta och simulerade trafikflöden giltiga för 2017. För spårtrafik utgick vi ifrån Trafikverkets dataproduct för bullerberäkningar [43] och bansträckning och hastighetsdata hämtades från NJDB [44].

## Vindkraftverk

Vindkraftverk genererar buller när de producerar elektrisk effekt. För beräkningar i samband med miljökonsekvensbeskrivning och tillståndsprövning används oftast Nord2000, men vid enstaka vindkraftverk kan ibland en förenklad metodik användas [45]. Källstyrkan som används som indata skall deklarerats av tillverkaren och skall bygga på mätningar som regleras i ett antal internationella standarder [46]. Vid beräkningen antar man ett särskilt statistiskt väderfall och räknar med att vinden alltid blåser från vindkraftverket direkt emot alla mottagarpunkter samtidigt, ett slags värsta fall i termer av utbredning. Beräkningarna i denna rapport utgår istället ifrån väderstatistik.

Vindkraftverkens placering hämtades från vindkrukskollen [47], en databas som inkluderar de flesta vindkraftverk i Sverige och administreras av energimyndigheten. Ljudeffekt skattades genom att utgå ifrån navhöjden eftersom den finns i databasen för de flesta uppförda vindkraftverk. För navhöjder om 130 m och högre antog vi en total A-vägd ljudeffekt om 105 dB, för lägre navhöjder interpolerade vi ljudeffekten linjärt ner till 70 m och lägre, där vi antog en ljudeffekt på 101 dB. För vindkraftverk där uppgift om navhöjd saknades antog vi den högsta ljudeffekten, dvs 105 dB.

Frekvensspektrumet för ljudeffektnivån vi använde vid beräkningarna presenteras i tabell 5 nedan. Spektrumet är en filtrerad version av standardspektrumet som användes i kartläggningsmetoden för Stockholms län [29]. Värdena i tabellen motsvarar en total A-vägd ljudeffektnivå på 101,9 dB, för att få standardvärdet på 105 dB vid 130 m navhöjd måste man lägga till 3,1 dB för samtliga tersband.

Tabell 5. Förenklat frekvensspektrum för typiskt vindkraftverk.

Frekvens [Hz]	Ljudeffektnivå [dB]	Frekvens [Hz]	Ljudeffektnivå [dB]
25	64	1000	93
31,5	66	1250	91
40	71	1600	89
50	75	2000	88
63	79	2500	87
80	82	3150	85
100	86	4000	83
125	89	5000	81
160	90	6300	80
200	93	8000	78
250	96	10000	77
315	96	A-vägd	101,9
400	97		
500	96		
630	94		
800	93		

Eftersom antalet vindkraftverk som påverkar en enskild mottagarpunkt är relativt få så räknade vi med att verket är placerat vid de exakta koordinater som anges i vindbrukskollen och beräknade bidraget av samtliga vindkraftverk till alla mottagarpunkter. Vi behövde alltså inte summera ljudeffektnivån i ett rutnär på samma sätt som för spår- och vägtrafik, utan kunde räkna separat bidrag för varje verk med rimlig beräkningstid.

### Flygplatser

För flygbuller i närheten av flygplatser utgick vi ifrån statistik från Transportstyrelsen över landningsfrekvens för civil trafik vid 39 svenska flygplatser [48] och beräkningsmetoden känd som "Doc 29" [49]. Beräkningsmetoden är inte direkt kompatibel med Nord2000 som vi använder i detta projekt, och framräknade nivåer här kan inte direkt jämföras med riktvärden för buller från flygtrafik.

Flygplan som landar och startar på en viss flygplats följer bestämda rutter nära rullbanan, men ju högre upp i luftrummet och längre ifrån flygplatsen desto friare rör de sig i luftrummet. Att följa flygrörelser över stora områden är möjligt utifrån radarspår och transponderdata, men i detta projekt valde vi att begränsa oss till flygrörelser nära flygplatsen. Beräkningen gjordes för starter upp till 1800 meters höjd (6000 fot) över startbanans höjd. Då har i vissa fall flygplanen redan lämnat startbanans förlängning och börjat sväng ut mot önskad kurs men vi antog att alla starter följde centerlinjen hela vägen till 1800 meters höjd. Vi arbetade på samma sätt med landningarna men utgick ifrån 900 meter (3000 fot).

Svenska flygplatser trafikeras av ett stort antal flygplanstyper, för att förenkla detta valde vi att utgå ifrån endast två typiska flygplan och anta en fördelning av dessa båda för samtliga starter och landningar vid alla flygplatser. Flygplanen vi utgick ifrån var A320 och ATR 72, se tabell 6. För landningarna antog vi ett standardiserat landningsförlopp [49], och för starterna så räknade vi ut höjd, fart och ljudeffektnivå utifrån prestandadata publicerade av Europeiska byrån för luftfartssäkerhet (EASA) [50], som räknades om till en ljudeffektnivå anpassad för Nord2000 med hjälp av en metod framtagen inom Imagine-projektet [51], [52].

*Tabell 6. Flygplanstyp för förenklade beräkningar*

<b>Beteckning EASA ANP v6.3</b>	<b>Direktivitet Doc 29</b>	<b>Representerar flygrörelse</b>
A320-270N	jet	Utrikes
ATR 72-212A	propeller	Inrikes

Beräkningarna som utförts i denna rapport är endast giltiga för lite längre avstånd från flygplatsen på grund av de förenklingar som är införda. För naturområden som ligger nära flygplatser och är hårt bullerbelastade måste man utgå ifrån fullständiga beräkningar baserade på aktuell trafik och statistik för använda flygvägar. För militära flygfält presenteras inga resultat i detta projekt, inte heller för militära flygrörelser på civila eller delade flygfält.

## Väderstatistik från ERA5

För att beräkna ljudutbredning över långa avstånd med behövs väderstatistik. Vi har utgått ifrån väderstatistik publicerad av Copernicus och ECWMF som betecknas ERA5 [53], [54]. Dessa data är en klimatdatabas framtagen från mätningar och beräkningar, och ger för varje timma en bild av atmosfären över hela jorden under perioden 1940 och fram till idag. Själva databasen är öppen och innehåller många olika variabler för olika höjder över marken, vi har använt sex variabler för statistiken i denna rapport, se Tabell 7.

Tabell 7. Variabler för väderstatistik från klimatdatabasen ERA5.

Variabel	Beskrivning	Kartor där variabeln används
10m u-component of wind	Öst-västliga komponenten av vind, på en höjd av 10 meter över markytan i meter per sekund.	M1-M4
10m v-component of wind	Nord-sydliga komponenten av vind, på en höjd av 10 meter över markytan i meter per sekund.	M1-M4
2m dewpoint temperature	Daggpunkt på 2 meters höjd över markytan i Kelvin	Luftdämpning
2m temperature	Temperatur på 2 meters höjd över markytan i Kelvin.	M1-M4, Luftdämpning
Total cloud cover	Totalt molntäcke på samtliga höjder, 1,0 motsvarar heltäckande molntäcke, 0,0 motsvarar klart väder.	M1-M4
Friction velocity	Parametern är ett mått på den turbulenta vertikala transporten av rörelseenergi i vindfältet, och mäts i meter per sekund.	M1-M4

Statistiken är uppdelad i områden som är 15 bågsekunder i latitud och longitud, vilket motsvarar ungefär 16 km × 28 km i Skåne och 10 km × 28 km i norra Norrland. För varje område där någon del berör Sveriges landyta eller ekonomiska zon har vi tagit fram kartor över akustisk absorption och refraktion i åtta utbredningsriktningar, se Appendix 1.

För att beräkna tidsperioderna har vi utgått ifrån respektive tidszon (CET under vintertid och CEST under sommartid i Sverige). Perioderna dag, kväll och natt definieras som klockan 06-18, 18-22 och 22-06. Periodernas längd är alltid 12 timmar, 4 timmar och 8 timmar, förutom för det dygn då tidsomställningen sker då nattperiodens längd påverkas.

Förutom parametrarna i Tabell 7 har vi också beräknat när solen går upp och ner i alla zoner. För detta har vi använt pyEphem [55]. Statistiken i alla zoner täcker 10-årsperioden 2013 till 2022 som omfattar totalt 87 648 timmar.

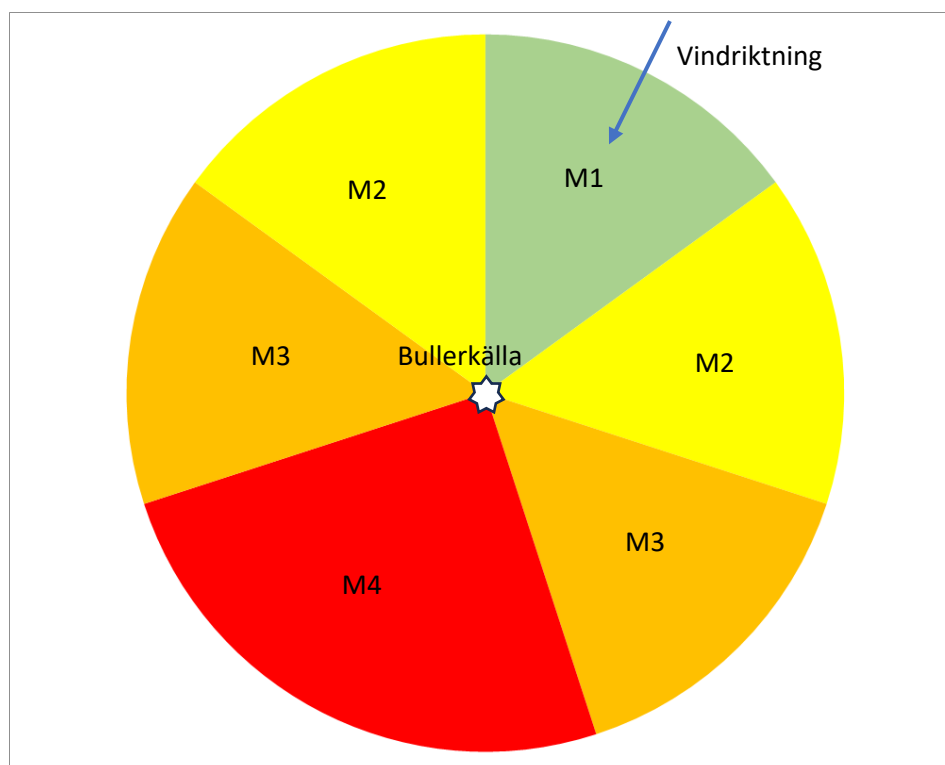
Nord2000 arbetar normalt med 25 väderklasser, där varje klass beskriver hur ljudhastigheten varierar med höjden beroende på vindhastighet, vindriktning och vertikal gradient för både temperatur och vindhastighet. För att göra beräkningarna med Nord2000 snabbare och effektivare undersökte man i Danmark om man kan minska antalet klasser, och tog då fram ett förslag på fyra klasser som gav rimlig noggrannhet för strategiska beräkningar [56]. Vi betecknar dessa

utbredningsklasser M1, M2, M3 och M4 på samma sätt som i den danska rapporten, se Tabell 8. Våra beräkningar utgår ifrån denna förenklade beskrivning av vädrets inverkan på ljudutbredningen.

Tabell 8. Förklaring av utbredningsklass M1 – M4.

Utbredningsklass	Förklaring
M1	Motvind och/eller instabil temperaturgradient. Refraktion uppåt, skuggzon uppstår nära marken. Låga ljudnivåer vid mottagaren.
M2	Sidvind eller svag vind, liten temperaturgradient. Neutral atmosfär som ger högre ljudnivå än M1.
M3	Viss medvind, liten temperaturgradient. Refraktion nedåt ger högre ljudnivåer än M1 och M2.
M4	Medvind och/eller temperaturinversion. Stark refraktion nedåt ger de högsta ljudnivåerna av alla klasser.

Statistiken i varje zon är framtagen genom att för varje timme beräkna vilka av dessa utbredningsklasser som är den gällande i totalt åtta utbredningsriktningar, de så kallade kardinal- och interkardinalriktningarna nord, nordöst osv. Vi använder de internationella beteckningarna N, NE, E, SE, S, SW, W, NW i rapporten. Beräkningen för varje timme och zon följer beskrivningen i den Danska rapporten [56] med ett undantag, vi utgår ifrån friktionshastigheten (Friction velocity i Tabell 8) direkt från ERA5 och behöver inte beräkna den indirekt via vindhastigheten. Figur 9 är ett exempel som illustrerar hur vindriktningen påverkar hur klasserna fördelas i olika riktningar ut från en tänkt bullerkälla i mitten. Hur bred respektive sektor blir bestäms av vindhastigheten, friktionshastigheten och temperaturgradienten.



Figur 9. Illustration av utbredningsklass M1 – M4 för en tänkt bullerkälla i mitten av figuren.



Förutom utbredningsklass, som påverkar refraktionen i atmosfären, så behöver man beräkna luftabsorptionen från relativ luftfuktighet och temperatur. I beräkningarna i denna rapport använder vi luftfuktighet och temperatur på en höjd av två meter över marken för all utbredning. ERA5 innehåller information om dessa parametrar på olika höjder, vilket gör att man i princip skulle kunna beräkna olika dämpning för utbredning i olika luftskikt vid olika höjder med ARP5534 [40], men det blir beräkningsmässigt väldigt kostsamt att följa varje ljudstråle och på detta sätt beräkna en individuell dämpning. Förenklingen att utgå från dämpningen vid två meters höjd ger god noggrannhet i de flesta fall, störst blir felet vid ljudutbredning vertikalt, exempelvis från ett flygplan till en mottagarpunkt direkt under flygplanet.

I appendix 2 presenteras kartor som visar luftdämpning och andel utbredningsklass som är ett medelvärde över perioden 2013 – 2022. Kartorna är uppdelade efter månad, period (dag, kväll och natt) och för utbredningsklass även för utbredningsriktning. För den som vill använda underlaget för egna beräkningar så är det publicerat öppet i olika format [57].

## Referenser

- [1] *Environmental noise guidelines for European Region*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2018.
- [2] E. van Kempen, M. Casas, G. Pershagen, och M. Foraster, "WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects: A Summary", *Int J Environ Res Public Health*, vol. 15, nr 2, s. 379, feb. 2018, doi: 10.3390/ijerph15020379.
- [3] A. Pyko *m.fl.*, "Long-term transportation noise exposure and incidence of ischaemic heart disease and stroke: a cohort study", *Occup Environ Med*, vol. 76, nr 4, s. 201–207, apr. 2019, doi: 10.1136/oemed-2018-105333.
- [4] C. Liu *m.fl.*, "Dose-response association between transportation noise exposure and type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies", *Diabetes Metab Res Rev*, vol. 39, nr 2, s. e3595, feb. 2023, doi: 10.1002/dmrr.3595.
- [5] Y. Zhao *m.fl.*, "Association between greenspace and blood pressure: A systematic review and meta-analysis", *Sci Total Environ*, vol. 817, s. 152513, apr. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152513.
- [6] A. Bianconi, G. Longo, A. A. Coa, M. Fiore, och D. Gori, "Impacts of Urban Green on Cardiovascular and Cerebrovascular Diseases-A Systematic Review and Meta-Analysis", *Int J Environ Res Public Health*, vol. 20, nr 11, s. 5966, maj 2023, doi: 10.3390/ijerph20115966.
- [7] A. H. Poulsen *m.fl.*, "Concomitant exposure to air pollution, green space and noise, and risk of myocardial infarction: a cohort study from Denmark", *Eur J Prev Cardiol*, vol. 31, nr 1, s. 131–141, jan. 2024, doi: 10.1093/eurjpc/zwad306.
- [8] A. Gidlöf-Gunnarsson och E. Öhrström, "Noise and well-being in urban residential environments: The potential role of perceived availability to nearby green areas", *Landscape and Urban Planning*, vol. 83, nr 2–3, s. 115–126, nov. 2007, doi: 10.1016/j.landurbplan.2007.03.003.
- [9] A. Gidlöf-Gunnarsson, E. Öhrström, M. Ögren, och T. Jerson, "Good sound environment in green areas modify road-traffic noise annoyance at home", i *Proceedings of the 8th European Conference on Noise Control 2009 (EURONOISE 2009)*, uo: Curran Associates, Inc., 2009, s. 1579–1587. Åtkomstdatum: 03 december 2013. [Online]. Tillgänglig vid: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:vti:diva-5347>
- [10] W. L. Rice *m.fl.*, "Balancing quietness and freedom: Support for reducing road noise among park visitors", *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, vol. 37, s. 100474, mar. 2022, doi: 10.1016/j.jort.2021.100474.
- [11] C. Iglesias Merchan, L. Diaz-Balteiro, och M. Soliño, "Noise pollution in national parks: Soundscape and economic valuation", *Landscape and Urban Planning*, vol. 123, s. 1–9, mar. 2014, doi: 10.1016/j.landurbplan.2013.11.006.
- [12] G. Brambilla och L. Maffei, "Responses to Noise in Urban Parks and in Rural Quiet Areas", *Acta Acustica united with Acustica*, vol. 92, nr 6, s. 881–886, 2006.
- [13] T. Kihlman, "Handlingsplan mot buller", Statens offentliga utredningar, SOU 1993:65, 1993.
- [14] L. Åkerlöf, S. Erson, C. Halling, M. Lindqvist, P. Wessman, och U. Ericson, "Trafikbuller och planering II", Ingemansson Technology AB, Stockholm, 2004.
- [15] G. Shannon *m.fl.*, "A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife", *Biological Reviews*, vol. 91, nr 4, s. 982–1005, nov. 2016, doi: 10.1111/brv.12207.
- [16] P. D. Summers, G. M. Cunnington, och L. Fahrig, "Are the negative effects of roads on breeding birds caused by traffic noise?", *Journal of Applied Ecology*, vol. 48, nr 6, s. 1527–1534, dec. 2011, doi: 10.1111/j.1365-2664.2011.02041.x.
- [17] Y. Lehnardt, J. R. Barber, och O. Berger-Tal, "Effects of wind turbine noise on songbird behavior during nonbreeding season", *Conservation Biology*, vol. 38, nr 2, s. e14188, apr. 2024, doi: 10.1111/cobi.14188.

- [18] C. J. W. McClure, H. E. Ware, J. Carlisle, G. Kaltenecker, och J. R. Barber, "An experimental investigation into the effects of traffic noise on distributions of birds: avoiding the phantom road", *Proc. R. Soc. B.*, vol. 280, nr 1773, s. 20132290, dec. 2013, doi: 10.1098/rspb.2013.2290.
- [19] J.-O. Helldin, "Trafikbuller i värdefulla naturmiljöer II – slutrapport", SLU Sveriges lantbruksuniversitet, 74, 2013. [Online]. Tillgänglig vid: <http://www.slu.se/cbm>
- [20] J. Wiącek, M. Polak, M. Filipiuk, M. Kucharczyk, och Ł. Dawidowicz, "Do railway lines affect the distribution of woodland birds during autumn?", *PLoS ONE*, vol. 15, nr 4, s. e0231301, apr. 2020, doi: 10.1371/journal.pone.0231301.
- [21] J. Sylvén, L. Hassel, och Y. Liliengren, "Ostörda områden - var finns de? En GIS-modell för identifiering av bullerfria områden.", Länsstyrelsen i Jönköpings län, Jönköping, 2015.
- [22] Samverkansgruppen, "Ljudkvalitet i natur- och kulturmiljöer - Utvärdering och utveckling av mått, mätetal och inventeringsmetod - Slutrapport i ett samarbetsprojekt", Naturvårdsverket, Stockholm, 2005.
- [23] S. E. Reed, J. L. Boggs, och J. P. Mann, "SPreAD-GIS: an ArcGIS toolbox for modeling the propagation of engine noise in a wildland setting. Version 2.0", Wilderness Society, San Francisco, 2010.
- [24] S. E. Reed, J. L. Boggs, och J. P. Mann, "A GIS tool for modeling anthropogenic noise propagation in natural ecosystems", *Environmental Modelling & Software*, vol. 37, s. 1–5, nov. 2012, doi: 10.1016/j.envsoft.2012.04.012.
- [25] J. Steiner och J. Sylvén, "Dataspecifikation för datamängd i förstudie "Uppskattning av Bullernivåer i Sveriges län"", Länsstyrelsen i Kalmar län och Länsstyrelsen i Jönköpings län, Kalmar, 2015.
- [26] G. Cerwén, "Tysta områden i Sverige - En kartläggning av initiativ, kunskap och erfarenheter", SLU Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, Rapport nr. 18, 2018.
- [27] K. Harvenberg, I. Eriksson, och H. Oscarsson, "Tysta områden i Västra Götalands län", Länsstyrelsen Västra Götalands län, 2001:18. [Online]. Tillgänglig vid: [https://catalog.lansstyrelsen.se/store/13/resource/2001\\_18](https://catalog.lansstyrelsen.se/store/13/resource/2001_18)
- [28] A. Bengtsson, K. Hermansson, och Y. Pålstam, "Bullerfria områden i Skåne", Scandiaconsults, Malmö, Uppdragsnummer 715242, 2003.
- [29] A. Novak, T. Gredenman, R. Fred, C. Eriksson, och G. Pershagen, "Kartläggning av bullerfria områden. Metodbeskrivning för Stockholms län", Centrum för arbets- och miljömedicin, Stockholms läns landsting, Stockholm, 2016.
- [30] U. Bohman, "Guide till tystnaden". Åtkomstdatum: 05 juni 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://guidetilltystnaden.se/>
- [31] "Geodata nedladdningstjänst, Ljudmiljö i naturområden", Naturvårdsverket. Åtkomstdatum: 25 juni 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://geodata.naturvardsverket.se/nedladdning/ljudmiljo/>
- [32] B. Weninger, "A color scheme for the presentation of sound immission in maps: requirements and principles for design", presenterad vid EuroNoise, Maastricht, 2015, s. 439–444.
- [33] M. Ögren, "Bullerprognosen, Ljudmiljö i naturområden", Webbarta ljudmiljö i naturområden. [Online]. Tillgänglig vid: <http://bullerprognosen.se/webmap>
- [34] S. Persson, "Tillgång till grönområden med god ljudmiljö i Region Stockholm", Student thesis, 2024. Åtkomstdatum: 18 juli 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:su:diva-232053>
- [35] H. G. Jonasson och S. Storeheier, "Nord 2000. New nordic prediction method for road traffic noise", 91-7848-853-2 (ISBN) 02845172 (ISSN), 2001. Åtkomstdatum: 13 mars 2018. [Online]. Tillgänglig vid: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-33487>
- [36] H. G. Jonasson och S. Storeheier, "Nord 2000. New Nordic prediction method for rail traffic noise", 02845172 (ISSN), 2001. Åtkomstdatum: 16 mars 2018. [Online]. Tillgänglig vid: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-33492>
- [37] A. Gustafson, A. Genell, och M. Ögren, "Status Nord2000 - Inventering av Nord2000 relativt svenska behov", Kunskapscentrum om buller, dec. 2022.

- [38] International Organization for Standardization, "ISO 9613:1996 Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors". 1996.
- [39] B. Plovsing och E. Thysell, "Nord2000 – Prediction of Outdoor Sound Propagation. Amendments to Report AV1106/07 revised 2014", Force, TC-101327, 2019.
- [40] SAE, *Application of Pure-Tone Atmospheric Absorption Losses to One-Third Octave-Band Data (ARP5534)*, ARP5534, 05 januari 2021.
- [41] Lantmäteriet, "Markhöjdmmodell Nedladdning, grid 50+NH", Lantmäteriet, maj 2022. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/Hojddata/GSD-Hojddata-grid-50-/>
- [42] "Nationella Marktäckedata (NMD)", Naturvårdsverket. Åtkomstdatum: 03 april 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.naturvardsverket.se/verktyg-och-tjanster/kartor-och-karttjanster/nationella-marktackedata/>
- [43] Trafikverket, "Dataproduktspecifikation - Järnvägsdata för bullerberäkningar", Borlänge, Sweden, TDOK 2012:1035, mar. 2019.
- [44] Trafikverket, "NJDB", Nationell järnvägsdatabas. [Online]. Tillgänglig vid: <https://njdbwebb.trafikverket.se/>
- [45] "Tillsynsvägledning buller från vindkraft", Naturvårdsverket. Åtkomstdatum: 25 mars 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/buller/buller-fran-vindkraft>
- [46] "Mätning och beräkning av ljud från vindkraft", Naturvårdsverket, Vägledning, 0610 2013.
- [47] "Vindbrukskollen", Energimyndigheten. Åtkomstdatum: 29 mars 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/elproduktion/vindkraft/vindbrukskollen>
- [48] "Flygplatsstatistik", Transportstyrelsen. Åtkomstdatum: 28 mars 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/luftfart/statistik/Flygplatsstatistik-/>
- [49] ECAC, "Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports", European Civil Aviation Conference (ECAC), 2016.
- [50] "ANP database v.6.3". EASA. Åtkomstdatum: 19 februari 2024. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.easa.europa.eu/>
- [51] R. Bütikofer, "IMAGINE - Default aircraft source description and methods to assess source data", EMPA, IMAGINE D10, 2006.
- [52] F. de Roo, E. Salomons, D. Heimann, och P. Hullah, "IMAGINE - Reference and engineering models for aircraft noise sources", DeltaRail, IMAGINE D9, 2007.
- [53] C3S, "ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present". 2018. doi: 10.24381/CDS.ADBB2D47.
- [54] H. Hersbach *m.fl.*, "The ERA5 global reanalysis", *Quart J Royal Meteor Soc*, vol. 146, nr 730, s. 1999–2049, juli 2020, doi: 10.1002/qj.3803.
- [55] B. Rhodes, "pyEphem astronomy library". Åtkomstdatum: 07 augusti 2023. [Online]. Tillgänglig vid: <https://rhodesmill.org/pyephem/>
- [56] B. Plovsing, "Noise mapping by use of Nord2000 - Reduction of number of meteo-classes from nine to four", Danish ministry of the environment, Working Report 18 2007, 2007.
- [57] M. Ögren, "Bullerprognosen, ERA5", Swedish weather statistics for noise propagation calculations using Nord2000. [Online]. Tillgänglig vid: <http://bullerprognosen.se/era5.html>

## Appendix 1 – referensberäkningar

Vid kartläggning av buller över stora områden, som exempelvis merparten av Sverige, uppstår problem med kapacitet. Det krävs mycket stora volymer underlagsdata som behöver samlas in, bearbetas och organiseras i en databas/modell, och det är lätt hänt att beräkningsbördan blir orimligt hög. För att hantera de här problemen tillämpas olika typer av förenklingar, såväl för indata som för beräkningsinställningar. Förenklingarna behöver väljas med omsorg för att inte riskera att resultaten blir missvisande.

Studien avser att belysa hur några olika sådana förenklingar kan påverka noggrannheten. Analysen baseras på beräkningar i fem områden i Västerås kommun som fått representera ett urval av olika typiska ljudutbredningsförhållanden. För varje område har beräkningar dels gjorts med normal upplösning, dels med olika förenklingar. Beräkningarna gjordes med den kommersiella programvaran SoundPLAN. Resultaten har också använts för att verifiera det beräkningsprogram som utvecklats inom projektet

### Studerade områden

Västerås, framtagen till bullerkartläggning 2016. Bedömdes vara ett lämpligt underlag för tester eftersom det omfattar såväl tätort som landsbygd, varierande terräng och ljudutbredning över vatten. Beräkningar har gjorts för väg- och spårtrafik samt för vindkraft.

Beräkningar gjordes i fem delområden, två i glesbygdsmiljö och tre där någon del av utbredningen sker i tätort. Beräkningarna i glesbygdsmiljön omfattar väg- och spårtrafik samt vindkraft, medan beräkningarna delvis i tätort enbart omfattar vägtrafik.

### Underlag

SoundPLAN-modell från kommunkartläggning 2017. Baseras på terrängmodell grid 2+, Västerås baskarta, samt väg- och spårtrafikunderlag från Trafikverket och Västerås kommun. Impedansunderlag för Nord2000 baserades på Fastighetskartan enligt metod i *Kompletterande anvisningar för strategisk kartläggning av buller från väg- och spårtrafik med CNOSSOS-EU*. Inga vindkraftverk ingick i modellen från början. Ljudutbredning testades med schablonemissionsdata för vindkraftverk med frekvensspektrum från ett Nordex N80 vindkraftverk med en A-vägd ljudeffektnivå 105 dB.

### Förenklade beräkningar

Beräkningarna enligt metoden som använts för kartläggningen genomfördes med samma förutsättningar som beskrivet ovan, marken förenklades till en upplösning av 100 m och markimpedansen delades upp i tre klasser. Mottagarpunkterna placerades dock vid exakt samma plats i båda beräkningarna för att underlätta jämförelsen, eftersom avståndet mellan beräkningspunkterna (ca 5 m) var mycket mindre än den slutliga modellens upplösning (500 m).

### Väder

Jämförande beräkningar gjordes för all fyra väderklasser, och väderklassen antogs vara giltig i alla utbredningsriktningar samtidigt så att inte olika väderklasser blandas i samma beräkning. För att uppskatta den totala osäkerheten för beräkningsmetoden viktades M1 till M4 ihop enligt tabell A1-1.

Tabell A1-1. Sammanvägning av utbredningsklass M1 – M4.

Utbredningsklass	Andel
M1	36%
M2	32%
M3	25%
M4	7%

Totalt genomfördes beräkningar med båda metoderna i 2634 punkter fördelade över tre områden. Medelavvikelsen RMSD mellan den förenklade och den fullständiga beräkningen redovisas i tabell A1-2, där den fullständiga beräkningen används som referens och betraktas som helt korrekt. Ett annat sätt att beskriva noggrannheten i den förenklade beräkningen är i termer av riktighet och precision, där riktigheten då blir en överskattning på 1,5 dB och precisionen ca 2,0 dB uttryckt som standardavvikelse.

*Tabell A1-2. Medelavvikelse effektivvärde (RMSD) mellan fullständig och förenklad beräkning för de viktigaste väderklasserna M3 och M4 samt totalt.*

	Låg källa (tåg/väg)			Hög källa (vindkraft/flyg)		
	M3 [dB]	M4 [dB]	totalt [dB]	M3 [dB]	M4 [dB]	totalt [dB]
0 – 3 km	0,9	3,4	0,6	2,2	0,8	2,1
3 – 6 km	2,1	2,3	1,8	4,4	2,2	3,5
> 6 km	2,6	1,4	2,3	2,5	3,7	2,1

## Appendix 2 – kartor väderstatistik

### Kartor - Luftdämpning

Kartorna visar hur ljud dämpas över geografiskt avstånd, med variation över årets månader och vid olika perioder av dygnet. Dygnet är uppdelat i tre perioder, dag 06–18, kväll 18–22 och natt 22–06. Kartorna baseras på medelvärdet för respektive månad och dygnsperiod under åren 2013–2022. Dämpningen beror på absorptionen av ljudvågor i luften, som påverkas av luftfuktighet och temperatur. Ljud från bullerkällor som vägtrafik är bredbandiga, olika frekvenser har olika påverkan på olika avstånd från källan. Spektrat från typiskt trafikbuller domineras av frekvenser kring 1000 Hz vid utbredning över korta avstånd. Men på längre avstånd blir de lägre frekvenserna, som 250 Hz, allt mer viktiga. Mörkare grönblå färg på kartorna med beräkningar på 1000 Hz symboliserar mer dämpning och ljusare lilarosa färg symboliserar mindre dämpning. För beräkningarna vid 1000 Hz varierar dämpningen mellan 2,5–7 dB/km. För kartorna med beräkningar vid 250 Hz symboliserar mörkblå färg mer dämpning och ljus gulgrön mindre. På 250 Hz ligger dämpningen i stället mellan 0,60–1,10 dB/km. I kartorna redovisas data för området inom Sveriges riksgräns och den ekonomiska havszonen.

### Kartor - Refraktion (väderklass M1 – M4)

Kartorna visar hur stor andel av tiden (1,0 motsvarar 100%) som utgörs av utbredningsklasserna M1-M4 för respektive utbredningsriktning över årets månader och vid olika perioder av dygnet. Utbredningsriktningen definieras som riktningen från källan till mottagaren. Dygnet är uppdelat i tre perioder, dag 06–18, kväll 18–22 och natt 22–06. Kartorna baseras på medelvärdet för respektive månad och dygnsperiod under åren 2013–2022. M4 är den utbredningsklass som ger mest överföring av ljud och M1 minst, M3-M2 ligger däremellan. Kartorna visar hur ljudet påverkas i respektive utbredningsriktning.

På kartorna med M1 symboliserar ljusare blekröd färg lägre andel tid med utbredningsklass M1 och mörkröd färg symboliserar mer tid med M1. För M1 ligger värdena för andel tid mellan 0,00 och 0,80 med ett medelvärde på 0,301.

På kartorna med M2 symboliserar ljusare blåvit färg lägre andel tid med utbredningsriktning M2 och mörkare lila färg symboliserar mer tid med M2. För M2 ligger värdena för andel tid mellan 0,10 och 0,96 med ett medelvärde på 0,336.

På kartorna med M3 symboliserar ljusare gulvit färg lägre andel tid med utbredningsriktning M3 och mörkare orangebrun färg symboliserar mer tid med M3. För M3 ligger värdena för andel tid mellan 0,0012 och 0,79, med ett medelvärde på 0,293.

På kartorna med M4 symboliserar ljusare gulvit färg lägre andel tid med utbredningsriktning M4 och mörkare grön färg symboliserar mer tid med M4. För M4 ligger värdena för andel tid mellan 0,00 och 0,43, med ett medelvärde på 0,0433.

I kartorna redovisas data för området inom Sveriges riksgräns och den ekonomiska havszonen.