UPTEC W 19047
Examensarbete 30 hp
Oktober 2019

UPPSALA
UNIVERSITET

Urbana skolgårdar med god ljudmiljö

Akustiska aspekter på skolgårdens design och funktion

Hanna Leidholdt

REFERAT

Urbana skolgårdar med god ljudmiljö – akustiska aspekter på skolgårdens design och funktion

Hanna Leidholdt

Barn förväntas kunna leka, vila och lära sig på skolgården, men ljudnivåerna är ofta höga. Det ger upphov till frågan om ljudmiljön på skolgårdar ligger på lämpliga nivåer för dessa tre aktiviteter och hur den kan anpassas. Syftet med examensarbetet är att identifiera vad en lämplig ljudmiljö på skolgårdens olika platser är och att identifiera vilka åtgärder och designverktyg som kan användas för att förbättra ljudmiljön. Undersökning av hur och i vilken utsträckning en ljudmiljö kan modifieras för att göra den lämplig för utomhusundervisning utförs också. Examensarbetet avgränsas till grundskolor för barn mellan sex och sexton år och hur skolgården kan anpassas till barn i den åldern.

Relevanta studier om hur ljud och ljudmiljö påverkar barns hälsa, inlärnings- och prestationsförmåga undersöktes för att identifiera kriterier för de tre funktionerna: (1) lek, (2) rekreation och (3) pedagogisk verksamhet. Genom att studera både forskning om den akustiska effekten av olika designverktyg och forskning om miljöer för barn identifieras akustiska designverktyg som kan användas för skolgårdar. Slutligen analyserades möjligheten att anpassa olika områden på skolgården för de tre funktionerna genom att modellera i CATT-Acoustic och genom att undersöka ljudmiljön på två befintliga innerstadsskolor som ett ljudlandskap. I CATT-Acoustic användes parametrarna efterklangstid (T_{20}), ljudförstärkning (G) och Speech Transmission Index (STI).

Resultatet var att en lämplig ljudmiljö anpassad till (1) lek kan ha en låg taltydlighet (STI mellan 0,46 och 0,66), en begränsad efterklangstid (T_{20} under 1,2 s) och är öppen med en ljuddämpande markyta, (2) rekreation har en kort efterklangstid (T_{20} under 0,5 s), en begränsad ekvivalent ljudnivå (L_{eq} under 50 dBA) och absorberande eller ojämna ytor i sin omgivning och (3) undervisning bör integreras inom skolgården och bestå av platser där undervisning och annan verksamhet kan äga rum. Där föreslås T_{20} vara 0,5 s, L_{eq} under 50 dBA och absorberande ytor som ger bra förutsättningar för röstkommunikation och lärande. Minst en plats föreslås vara en mötesplats som uppfyller kriterierna för undervisning som förstärker tal genom att ha en reflekterande yta placerad bakom talarens position och vara avskärmad av en absorberande vägg.

Undersökningen visade att designen av skolgården och platsen för verksamheten i förhållande till skolgårdsväggarna kan förbättra ljudmiljön. Genom mjuka markmaterial (gräs, sand och grus), indelning av skolgården i flera zoner med exempelvis växtbeklädda barriärer och avskärmning från ljud utanför skolgården, kan ljudmiljön förbättras. Bullriga aktiviteter kan placeras längre bort från reflekterande ytor och ett rekreationsområde kan skapas genom absorberande ytor och diffusa skärmar. Undervisningen kan ske på många olika platser där minst en kan vara nära en reflekterande vägg som förstärker talet.

Nyckelord: Skolgård, akustik, utomhusmiljö, utomhusundervisning.

Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala Universitet
Box 7032 SE 75007 Uppsala. ISSN 1401-5765

ABSTRACT

Urban Scholyards - Acoustic aspects of their design and funktion

Hanna Leidholdt

Children are expected to be able to play, rest and have lessons in schoolyards. This made me interested in investigating if the sound environment in schoolyards is at suitable levels for these three activities. The purpose of my master's thesis was to identify what a suitable sound environment in the different areas of a schoolyard is, and to identify measures and design tools that can be used to improve the sound environment. I also investigate in what extent a sound environment can be modified to make it suitable for outdoor education. The thesis focuses on schools with six- to sixteen-year-old pupils and how children this age are affected by the sound environment.

Relevant studies on how sound and the sound environment affect children's health, learning and performance skills were examined to identify criteria for the three functions: (1) play, (2) recreation and (3) educational activities. By studying research about design tools and their acoustic effect on the one hand and studies about environments for children on the other hand I identified acoustic design tools which could be used in schoolyards. At last I analysed the possibility to adjust different areas for the three functions. I analysed the sound environment on two inner city schools as a "soundscape" and modelled sound distribution in an open space similar to inner-city schoolyards in CATT-Acoustic and used the parameters reverberance time (RT), gain (G) and Speech Transmission Index (STI).

As result of this master's thesis an appropriate sound environment in an area for
(1) play has a lower speech understanding (STI between 0.46 and 0.66), has a limited reverberation time (RT under 1,2 s) and open with a sound-damping ground surface
(2) recreation has a short reverbaration time (RT under 0.5 s), limited equivalent noise level (L_{eq} under 50 dBA) and a lot of absorbent or diffuse surfaces in it's surroundings
(3) teaching should be integrated in the schoolyard as places where teaching and other activities can take place. There you should find 0.5 s RT, under 50 dBA L_{eq} and absorbent surfaces that provide good conditions for voice communication and learning. At least one place is proposed to be a meeting place that meets the criteria for teaching and amplifies speech by having a reflective surface placed behind the speaker position and shielded by some absorbent wall.

It is found that the design of the schoolyard and the location of the activities in relation to the schoolyard walls can improve the sound environment. The sound environment can be improved through especially soft ground materials (grass, sand and gravel), subdivision of the schoolyard into smaller areas, while using sound absorbing noise barriers which can be combined with planting and protect from noise from outside the schoolyard. Noisy activities can be placed further away from reflective areas and an area for recreation can be created through absorbent surfaces and diffuse screens. Teaching can take place in many different places where at least one of the places can be close to one reflective wall that amplifies the speech.

Keywords: Schoolyards, acoustics, sound design, CATT-Acoustic, outdoor classroom

Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala Universitet
Box 7032 SE 75007 Uppsala. ISSN 1401-5765

FÖRORD

Detta examensarbete avslutar mina studier på Civilingenjörsprogrammet inom Miljö- och Vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet.

Arbetet har utförts i samarbete med Norconsult och min handledare var Gunilla Sundin. Ämnesgranskare för arbetet var Björn Claremar, universitetslektor vid Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten- och landskapslära; Meteorologi på Uppsala universitet. Examinator utgjorde Monica Mårtensson som är universitetsadjunkt vid samma institution.

Jag vill rikta ett stort tack till Gunilla Sundin, min handledare på Norconsult som har bidragit med inspiration och pepp till mitt arbete och Johan Portström, som introducerade mig till akustikens värld och ökade min förståelse för ljud, dess fenomen och de fysikaliska förklaringarna bakom. Sedan vill jag även tacka Åsa Nyström och Norconsult med alla sina medarbetare som bidrog med material, resurser och utrustning och gjorde detta examensarbete inte bara möjligt utan också till en rolig och minnesvärd tid.

Tack även till Conny Larsson för förslag till litteratur och att jag fick låna dina figurer (figur 3a;3b; 3c samt figur 4).
Ämnet för examensarbetet valdes utifrån min bakgrund som grundskollärare och jag hoppas att många av insikterna och verktygen kommer att bli användbara i mitt framtida yrkesliv.

Hanna Leidholdt
Uppsala, Augusti 2019

Copyright © Hanna Leidholdt och Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala Universitet 2019
UPTEC W 19047, ISSN 1401–5765
Publicerad digitalt vid Institutionen for geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala, 2019.

POPULÄRVETENSKAPLIG

Innerstadsbelägna skolgårdar med god ljudmiljö – akustiska aspekter på skolgårdens design och funktion

Hanna Leidholdt

På skolgården förväntas barn kunna leka, vila och lära sig nya saker. Det är till och med tänkt att en del av undervisningen ska kunna ske på skolgården. Skolgården är också en plats i skolans miljö där höga ljudnivåer kan förekomma. Nya riktlinjer reglerar hur mycket oönskad ljud, så kallat buller, som får komma från trafiken utanför skolan, barn uppger dock att det är ljud från andra barn som stör mest (KI, 2013; Naturvårdsverket, 2017b). Detta gjorde mig intresserad av att undersöka hur ljudmiljön på skolgården påverkar barn och om skolgårdens ljudmiljö kan bli bättre anpassad för barn. För att avgränsa arbetet valde jag att enbart undersöka ljudmiljön på grundskolor med innerstadsläge och fokusera på en anpassning till barn mellan sex och sexton år.

Akustik är vetenskapen om ljud och dess spridning. I det här examensarbetet används grundläggande teorier och en del studier kring akustik. Därför ges en kort förklaring om vad ljud egentligen är.

Ljud kan beskrivas som förändringar i lufttrycket som sprider sig i form av vågor. När dessa ljudvågor sprider sig i rummet transporteras de via luften och träffar så småningom olika ytor. Beroende på ytans egenskaper kan ljudet reflekteras tillbaka till rummet eller absorberas. På det sättet uppstår en ljudmiljö som är sammansatt av direkta och indirekta ljudvågor. I ett stort rum med många reflektioner kan ljud hålla sig kvar längre efter att ljudkällan har upphört ge ifrån sig ljud. Detta mäts som efterklang och används för att beskriva rummets akustiska egenskaper.

Under examensarbetet undersöktes inledningsvis vilka akustiska egenskaper som kan användas för att beskriva ljudmiljön på en skolgård och hur ljud påverkar barns hälsa, inlärnings- och prestationsförmåga. Detta gjordes för att kunna ta fram kriterier för hur en bra ljudmiljö på en skolgård kan beskrivas. Eftersom det som kan anses som en bra ljudmiljö skiljer sig åt beroende på vilka aktiviteter barn ägnar sig åt på skolgården ges kriterier för olika platser på skolgården. Beroende på vilka aktiviteter som förväntas äga rum på platsen uppfyller ljudmiljön olika funktioner, som sammanfattades till: (1) lek, (2) rekreation och (3) pedagogisk verksamhet.

Sedan undersöktes vilka möjligheter möjligheter som finns för att kunna förbättra ljudmiljön. Forskning om hur ljudets spridning påverkas av design, vilket betyder olika material och former, jämfördes med teorier om hur miljön påverkar barn och barns inlärningsförmåga för att undersöka vilken design som lämpar sig på en skolgård. Ser skolgården ut som en innergård reflekteras ljudet från fasaderna medan ljud som sprids uppåt inte reflekteras på samma sätt. För att undersöka vilka effekter det ger för ljudmiljön simulerades ljudets spridning i ett beräkningsprogram med namnet CATT-Acoustic. Undersökningen kompletterades med att besöka två innerstadsskolor.

Under examensarbetet framkommer att en ljudmiljö som ger bra förutsättningar för lek

ska vara öppen och inte störd av för mycket ljud utifrån. Bullernivån från omgivningen bör därför ligga under 55 dBA. Mycket tyder på att höga ljudnivåer försvårar kommunikationen, vilket leder till att barnen höjer sina röster och börjar försöka överrösta varandra för att göra sig förstådda. Därför föreslås att platser avsedda för lek är byggda på ett sätt att barnens lek inte ger upphov till för höga ljudnivåer. Det kan göras genom mjuka markbeläggningar och genom att låta platsen vara öppen respektive bestå av ljudabsorberande ytor. Utifrån simuleringen föreslås att platser för lek placeras på en mer öppen plats på skolgården och långt ifrån skolfasaden.

En plats som barnen ska kunna använda till rekreation ska domineras av naturliga ljud som kan väcka deras uppmärksamhet som exempelvis fågelkvitter. Därför behöver platsen vara avskärmad från andra ljud som är oönskade och som kan upplevas störande. Det kan göras genom att använda skärmar med ytor som antingen absorberar ljudet eller är så ojämna att ljudvågorna bryts och reflekteras slumpvis. Det gör att ljud inte förstärks och naturliga ljud som fågelkvitter framhävs. Främst växtbeklädda skärmar uppfyller den funktionen och lämpar sig bra i skolmiljön.

En plats som ska kunna användas till undervisning kräver låga ljudnivåer (under 50 dB) och en stor andel absorberande eller ojämna ytor. Barns inlärnings- och prestationsförmåga är starkt ljudkänslig, därför bör pedagogisk verksamhet förläggas till tider då inga lekande barn vistas ute. Ur ett pedagogiskt perspektiv är det fördelaktigt om det finns en variation av platser på skolgården som kan användas i undervisningssyfte och är anpassade för lek under rasterna. För att skapa bra förutsättningar att förlägga undervisning ute föreslås att en av platserna ger särskilt bra förutsättningar för talkommunikation så att instruktioner för en hel klass kan ges. Här kan talet förstärkas genom att ha en reflekterande yta placerad bakom positionen där den talande personen förväntas stå. Avskärmning med en växtbeklädd skärm kan minska risken för störande ljud från andra delar av gården.

Resultaten kan sammanfattas till att det finns goda förutsättningar att anpassa ljudmiljön på skolgården till att ge bättre förutsättningar för barnens lek, rekreation och pedagogisk verksamhet. Att begränsa buller från källor utanför skolans område är dock en grundförutsättning. Inne på skolgården kan mjuka markbeläggningar, växtbeklädda skärmar och indelning i mindre zoner lyfta ljudmiljön.

ORDLISTA

Akustisk design
Strategi där ljud och design används för att skapa en miljö som är anpassad till verksamheten och dess funktioner (Hellström, 2012).

Barn
I rapporten definieras dess som personer som ej har fyllt 18 år.

Barnperspektiv och barnets perspektiv
För att dra en tydlig gräns mellan vad barnen tycker och vad vuxna tror att barnen tycker definieras barnets egna upplevelser och åsikter som barnets perspektiv. Barnperspektiv är de vuxnas syn på vad barnen tycker.

Diffraktion
Fenomenet att en ljudvåg böjs vid kanter som leder till att ljud kan ta sig rund fysiska hinder.

Diffusion
När ljud reflekteras från en orgelbunden yta sprids ljudet slumpvis åt alla riktningar.

Ekvivalent ljudnivå
Den genomsnittliga ljudnivån som beräknas genom medelvärdesbildning över regelbunda korta mätningar på 125 ms.

Frifältsvärde
Ljudtrycksnivå på en plats som inte är påverkad av reflektioner från fasader eller andra ytor i närheten.

Friyta
Större yta på skolgården som skapar förutsättningar för ohindrad lek.

Ljud
Små harmoniska variationer kring det jämförelsevis statiska atmosfärstrycket som uppfattas som ljud i det mänskliga örat.

Markeffekt
När en ljudkälla befinner sig nära marken och ljudreflektioner från marken påverkar den totala ljudnivån kallas detta för markeffekt.

Refraktion
När lufttemperaturen ändras med höjd leder det till att ljud i horisontell led böjs av. Minskar temperaturen uppåt böjs ljudet uppåt, ökar temperaturen böjs ljudet neråt.

Skolgård
Ett området som är (1) beläget intill skolbyggnaden, (2) inom fastighetsgränsen, och (3)

där barn tillbringar sina raster och där pedagogisk verksamhet bedrivs. Området avgränsas oftast med någon form av staket (Naturvårdsverket, 2017b).

Utemiljö
Samtliga ytor där barn vistas utomhus utan hänsyn till administrativa gränser definieras som utemiljö.

Vitt brus
Vitt brus är slumpartat ljud som skapas i en högtalare. Ljudet har samma sannolikhet och energinivå vid alla frekvenser och kan därför användas i olika sammanhang för att undersöka ljudets spridning eller övertona (maskera) andra ljud.

INNEHÅLL

Referat I
Abstract II
Förord III
Populärvetenskaplig IV
Ordlista VI

1 Inledning **1**
1.1 Syfte 1
1.2 Frågeställningar 1
1.3 Avgränsningar 1

2 Teori **2**
2.1 Ljud och dess spridning 2
2.1.1 Uppkomst av ljud och dess egenskaper 2
2.1.2 Ljudutbredning utomhus 3
2.2 Ljudets påverkan på barn och vuxna 7
2.2.1 Perception av ljud och örats känslighet 7
2.2.2 Barn som särskilt känslig grupp 9
2.2.3 Ljudets påverkan på den icke-auditiva hälsan 9
2.2.4 Talförståelse hos barn 11
2.2.5 Ljud och inlärning 12
2.2.6 Ljudmiljö och återhämtning 13
2.3 Rumsakustik 14
2.3.1 Akustiska förutsättningar för undervisning 14
2.3.2 Lombardeffekt 15
2.3.3 Maskering 15
2.4 Akustiska analysmetoder 16
2.4.1 Akustik för scener 16
2.4.2 Mätning 16
2.4.3 Undersökta parametrar 17
2.4.4 Beräkningsprogrammet CATT-Acoustic 18
2.4.5 Akustisk design 19
2.4.6 Ljudlandskap som koncept 20
2.4.7 Akustiska designverktyg 21
2.5 Skolgårdens funktion och utformning 24
2.5.1 Skolgården ur barnperspektivet 25
2.5.2 Riktlinjer för utformning av skolgårdar 27
2.5.3 Riktlinjer för buller på skol- och fritidsgårdar 27

3 Material **29**
3.1 Adolf Fredriks Musikklasser 29
3.2 Sverigefinska skolan 30

4 Metod **32**
4.1 Litteraturstudie . . . 32
4.2 Kriterier för vad som är en bra ljudmiljö . . . 32
4.3 Designverktyg och andra åtgärder . . . 32
4.4 Bedömning av ljudmiljön i de två innerstadsskolorna . . . 33
4.5 Modellering av den akustiska miljön i en skolgård . . . 33
4.5.1 Modell för skolgården . . . 33
4.5.2 Modellering av parametrarna vid olika positionering på skolgården 35
4.5.3 Efterklangstid . . . 35
4.5.4 Ljudförstärkning . . . 35
4.5.5 Speech Transmission Index . . . 36
4.6 Modellering av möjliga utformningar för utomhusklassrum . . . 37

5 Resultat **39**
5.1 Kriterier för en bra ljudmiljö på skolgårdens olika delar . . . 39
5.1.1 Område för lek . . . 39
5.1.2 Rekreation . . . 41
5.1.3 Pedagogisk verksamhet . . . 42
5.2 Lämpliga designåtgärder . . . 44
5.2.1 Åtgärder som begränsar buller från yttre ljudkällor . . . 44
5.2.2 Åtgärder som kan tillämpas inne på skolgården . . . 44
5.2.3 Markbeläggning . . . 45
5.3 Den akustiska miljön på en innergård . . . 46
5.3.1 Efterklangstid, ljudförstärkning och STI vid olika positionering på skolgården . . . 47
5.4 Möjliga utformningar för utomhusklassrum . . . 50
5.5 Bedömning av ljudmiljön i två exempel på innerstadsskolor . . . 51

6 Diskussion **52**
6.1 Kriterier för ljudmiljön på skolgårdens olika områden . . . 52
6.2 Lämpliga designåtgärder . . . 53
6.3 Modellering i CATT-Acoustic . . . 53
6.3.1 Vilka risker finns med att använda ett inomhusprogram utomhus? 54
6.3.2 Modellering av den akustiska ljudmiljön i en innergård . . . 54
6.3.3 Modellering av möjliga utformningar för utomhusklassrum . . . 56
6.3.4 Sammanvägning av resultaten . . . 56
6.4 I vilken utsträckning kan ljudmiljön anpassas för att skapa bra förutsättningar för pedagogisk verksamhet utomhus? . . . 57
6.5 Förslag på vidare studier . . . 57

7 Slutsatser **58**

Referenser **59**

Bilagor **i**

A Akustiska parametrar till modellering **i**

B Känslighetsanalys **iii**

C Avståndberoende för efterklangstid, ljudförstärkning och STI **vi**

D Mätprotokoll Adolf Fredriks Musikklasser 2018-09-10 kl. 10.00 till 13.00 **ix**

E Mätprotokoll Sverigefinska Skolan 2018-09-19 kl. 9.00 till 12.00 **xiii**

1 INLEDNING

En skolgård är en essentiell del i barnens skoldag. Det är här barnen och ungdomarna tillbringar sina raster och en del av den pedagogiska verksamheten bedrivs. En ogynnsam ljudmiljö på skolgården tros därför ha en negativ påverkan på barnens hälsa och försämra återhämtningen mellan lektionerna. Naturvårdsverket (2017b) har tagit fram riktlinjer som anger att de ekvivalenta ljudnivåerna för skolgårdar som utsätts för buller från spår- och vägtrafik bör hållas under 55 dB respektive 50 dB för de delarna av nya skolgårdar som är avsedda för pedagogisk verksamhet. Det är dock bara en del av bullret som förekommer på en skolgård som kommer från utanför skolgården. Barnen innanför skolgården ger ifrån sig ljud som kan upplevas som störande. Sedan är den ekvivalenta ljudnivån bara en av många sätt att beskriva ljudmiljön på en plats. Det finns omfattande studier hur andra delar av ljudmiljön som ljudets reflektioner påverkar barn i bostaden och klassrumssituationen men det saknas liknande studier för skolgården eller andra utemiljöer. Därför ska detta examensarbete kartlägga hur barn påverkas av ljudmiljön på en skolgård och hur en bra ljudmiljö kan beskrivas och skapas. Särskilt fokus ligger på om ljudmiljön på skolgården kan anpassas så att den kan användas som del av undervisningen.

1.1 SYFTE

Syftet med examensarbetet var (1) att identifiera vad som kan beskrivas som en god ljudmiljö på skolgårdars olika områden, och (2) att ge förslag på verktyg och åtgärder som genom att förändra ljudmiljön kan förbättra förutsättningarna för barns lek, rekreation och pedagogiska verksamhet.

1.2 FRÅGESTÄLLNINGAR

- Vad är en god ljudmiljö på skolgårdens olika områden?
- Vilka åtgärder och verktyg är mest lämpliga för att skapa en god ljudmiljö på skolgården?
- I vilken utsträckning kan ljudmiljön anpassas för att skapa bra förutsättningar för pedagogisk verksamhet utomhus?

1.3 AVGRÄNSNINGAR

I examensarbetet undersöktes endast skolgårdar. Hur ljudmiljön i skolbyggnader eller vid fasaden påverkas har inte tagits med i examensarbetet. I examensarbetet undersöktes ljudmiljön på grundskolor och därmed hur ljudmiljön påverkar barn i grundskoleåldern (sex till sexton år). Det har inte utretts hur anställd personal påverkas. Med stöd i relevant litteratur om hur utemiljöer påverkar barn diskuterades designåtgärders lämplighet men förslagen har inte validerats. Universella förslag som kan tillämpas på alla skolgårdar har inte heller tagits med i undersökningen.

2 TEORI

Teoridelen innehåller en övergripande beskrivning av ljud och dess egenskaper, ljudets påverkan på hälsa och inlärning samt en sammanställning av skolgårdars funktion och gällande riktlinjer. I teoriavsnittet ingår även en sammanställning av relevant teori inom rumsakustik och modellering, detta i syfte att skapa förståelse för metoden, dess validitet och begränsningar.

2.1 LJUD OCH DESS SPRIDNING

Ljud är svängningar som kan transporteras genom fluider (gaser och vätskor) och fasta ämnen (Rossling, 2014). När ljud färdas genom luften omvandlas en del av ljudenergin till värmeenergi. Examensarbetet fokuserar enbart på luftburet ljud. I kapitlet nedan beskrivs hur ljud skapas, sprids samt olika relevanta fenomen kring luftburet ljud.

2.1.1 Uppkomst av ljud och dess egenskaper

Ljud är harmoniska oscillationer kring atmosfärstrycket. Luftburet ljud kan exempelvis uppstå när en fast kropp sätts i svängning. Då kroppens massa förflyttar sig, pressar kroppen ihop luften och skapar övertryck jämfört med atmosfärstrycket. När kroppen svänger tillbaka skapas däremot ett undertryck. Den fasta kroppens svängning omvandlas då till svängningar kring atmosfärstrycket. Dessa svängningar breder ut sig i alla fria riktningar (Rossling, 2014).

Ljudets hastighet

I luft kan ljudets utbredning beskrivas med vågekvationen (Ekvation 1),

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} \tag{1}$$

där *p* är ljudtrycket som anges i Pascal [Pa], *x* sträckan [m], *t* tiden [s] och *x,y* och *z* är riktningarna i ett kartesiskt koordinatsystem. Härledningen beskrivs i Möser (2009) och sambandet för ljudets hastighet kan skrivas med ekvation 2, vars härledning återfinns i (Larsson, 1994),

$$c = 20,05 * \sqrt{(1 + 0,61q)T^*} \tag{2}$$

där *c* är ljudets hastighet [m/s], *q* den specifika luftfuktigheten [kg/kg] och *T** temperaturen [^{o}C]. Sambandet visar att luftfuktighetens inverkan ökar med temperaturen. Luftfuktighetens bidrag till ljudhastigheten är även i extrema förhållandena som exempelvis i tropikerna förhållandevis liten (2 m/s) och försummas ofta vid beräkning av ljudets hastighet (Larsson, 1994).

Eftersom att ljud är harmoniska svängningar kring atmosfärstrycket beskrivs ljud utifrån sin svängningstid och energiinnehållet. Den tid det tar för ljudtrycket att från utgångsläget (lufttrycket är vid atmosfärstryck) öka och minska till den storlek som det ökade under atmosfärstrycket och sedan återgå till atmosfärstryck igen är det som definieras som svängningstid.

Ljudets frekvens

Antal svängningar som passerar en fast punkt från ljudkällan på en sekund betecknas som frekvens och beräknas i Hertz [Hz]. Det mänskliga örat uppfattar svängningar som ljud

när mellan 20 och 20 000 svängningar hinner passera örat på en sekund, vilket motsvarar en bandbredd på 20 Hz till 20 kHz (Fastl & Zwicker, 2007). Svängningar med lägre frekvens klassificeras som infraljud och de med högre frekvens som ultraljud. Även om dessa inte uppfattas som ljud av det mänskliga örat kan dessa påverka människokroppen på olika sätt, en mer detaljerad beskrivning presenteras i avsnitt 2.2.3. Ljud med endast en frekvens förekommer inte utan alla ljud är en överlagring av flera vågor med olika frekvens och intensitet (Rossling, 2014).

Ljudtrycksnivå
Det statiska atmosfärstrycket vid marknivå är runt 100 000 Pa. Vanliga ljudkällor medför att trycket avviker med upp till 200 Pa från atmosfärstrycket. Blir tryckvariationen betydligt högre kan ljudet redan vid kortvarig exponering skada det mänskliga örat långvarigt. Nivån som är skadlig skiljer sig mellan frekvenserna och betecknas som smärtgräns. Ett friskt öra kan uppfatta amplituder med som lägst 2*10 $^{-5}$ Pa och en dubbling i tryckvariationen uppfattas inte som ett dubbelt så högt ljud av det mänskliga örat (Möser, 2009). Den fysikaliska storheten ljudtrycksnivå L_p definierades för att underlätta beräkningar och anpassa värdena till hur örat uppfattar ljud. L_p anges i decibel [dB] och beräknas enligt ekvation (3).

$$L_p = 10lg\left(\frac{p_{rms}^2}{p_{ref}^2}\right) = 20lg\left(\frac{p_{rms}}{p_{ref}}\right) \tag{3}$$

p_{ref} [Pa] är referenslufttrycket som ligger på 20 μPa i luften och p_{rms} i μPa är det kvadratiska medelvärdet av ljudtrycket som har adderats på grund av ljud.

Ljudet kan ha olika ljudtrycksnivåer vid olika frekvenser. För att underlätta utvärderingen av ljudnivån hos människans hörselspektrum delas ljudtrycksnivån in i olika intervaller som kallas för oktavband, vars bredd ökar logaritmisk med ökande frekvens (Moser, 2009). Den genomsnittliga ljudtrycksnivån kan då vägas samman som ett genomsnitt av ljudtrycksnivåerna vid alla frekvenser. I de flesta fall används dock olika vägningar där vissa frekvenser viktas mer än andra. Det mänskliga örat uppfattar ljud av lägre frekvens med samma ljudtrycksnivå mindre högljudda än ljud med högre frekvens. Den så kallade A-vägningen kompenserar för hur människan uppfattar ljudnivån. A-vägda ljudnivåer anges i dBA (Fastl & Zwicker, 2007). I avsnitt 2.2.1 ges en utförligare beskrivning om hur människan uppfattar ljud.

2.1.2 Ljudutbredning utomhus
I detta avsnitt beskrivs hur dämpningen av ljud från olika källor beräknas, hur meteorologiska faktorer och platsens geografi samt fysikaliska former påverkar spridningen av ljud.

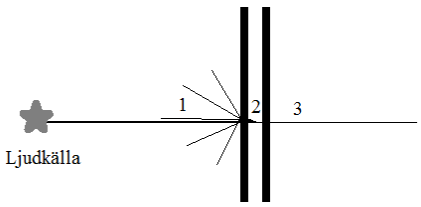
Ljudets dämpning
När ljud färdas genom luften omvandlas en del av ljudenergin på partikelnivå till värmeenergi och på så sätt minskar ljudnivån. Andelen som omvandlas är beroende av ljudets frekvens, luftens fuktighet och temperatur samt lufttrycket (Rossling, 2014). I inomhusmiljö har luftens dämpningsförmåga liten påverkan på grund av mindre avstånd och en homogen inomhusluft. I utomhusmiljöer däremot transporteras ljud långa sträckor i en

miljö som kan variera både över tid och rum på grund av meteorologiska faktorer. Dessa spelar en betydande roll för hur ljudet sprids (Hosanna, 2013).

I de flesta fall sprids ljud åt olika riktningar och med det över ett större område. Det leder till att ljudet minskar med avstånd från ljudkällan. Om ljudkällan är försumbart liten i förhållande till omgivningen och fri från närliggande objekt som påverkar ljudutbredningen kan kroppen beskrivas som en punktkälla i frifält. Ljudet sprids sfäriskt och ljudnivån avtar med 6 dB för varje gång avståndet från ljudkällan dubbleras (Larsson, 1994). Den här beskrivningen av ljudets spridning används för maximalnivåer från vägtrafik. Ljudet från varje fordon antas vara en punktkälla. Beräknas den ekvivalenta ljudnivån antas vägen, till skillnad från beräkningen av maximalnivån, vara en oändligt lång ljudkälla. Akustiskt anses vägen då vara en linjekälla varifrån ljudet endast sprids i två dimensioner, vilket resulterar i en minskning med 3 dB om avståndet fördubblas (Hosanna, 2013). Avståndsformeln är endast giltig vid kortare avstånd utomhus för att i stängda utrymmen påverkar reflektioner ljudtrycksnivån och på längre avstånd spelar meteorologiska faktorer en betydande roll (Alton Everest & Pohlmann, 2014).

Lågfrekventa ljud kan färdas långa sträckor eftersom att de långa ljudvågorna sprider sig förbi många hinder och dämpas inte i samma utsträckning av luften på grund av dess långa våglängd. Åska, flygplan eller tung trafik sprider ljud med ett brett ljudspektrum bestående av låga och höga frekvenser. Färdas ljudet långa sträckor dämpas ljud av högre frekvenser i större utsträckning än ljudvågor med låg frekvens. Det leder till att andelen av ljudet med låg frekvens förblir hörbar över stora avstånd. Därför uppfattas ljudet från exempelvis flygplan på långt avstånd som ett muller (Socialstyrelsen, 2008; Rossling, 2014).

Fysikaliska hinder och geografi
Ljudvågorna påverkas av fysikaliska hinder i olika utsträckning beroende av deras våglängd i förhållande till hindrets storlek och akustiska egenskaper.

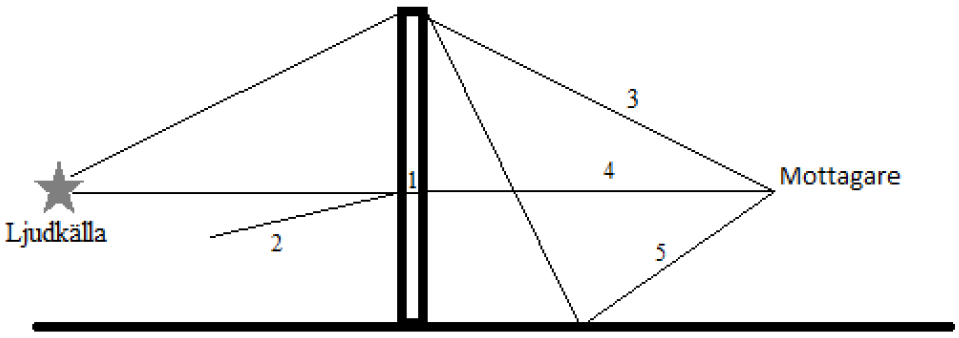


Figur 1. Schematisk bild som visar hur en fast yta påverkar ljudets spridning.

När ljud träffar en yta som exempelvis en skärm kan ljudvågorna ta ett flertal vägar, som visas i Figur 1. En del av ljudet (1) reflekteras, (2) en del absorberas av materialet och (3) en del av ljudet kan ta sig igenom ytan och transmitteras. När ljud transmitteras innebär det att ljudet vid ytan omvandlas till vibrationer i materialet som leder till att skuggsidan börjar svänga och fungerar som ljudkälla. Den procentuella andelen av ljudet som absorberas av materialet och hur stor andel som reflekteras beskrivs av absorptionskoefficienten α. Vid jämna ytor reflekteras stora delar av ljudet tillbaka med samma infallsvinkel och en del påverkas av så kallade spridningeffekter (på engelska ”scattering”). Ljudet bryts

och skapar flera mindre ljudvågor som sprids åt olika riktningar från ytan. Ojämna ytor ger större upphov till dessa spridningseffekter och betecknas akustiskt för diffusa eller yta med hög diffusion(Attenborough 2014 ;Larsson 1984).

En barriär skärmar av direktljudet till mottagaren och endast en bråkdel av ljudet från källan tar sig den direkta vägen igenom den via transmission. De flesta ljudvågorna reflekteras eller absorberas. Majoriteten av ljudet som ändå når en mottagare bakom en barriär kommer genom diffraktion, det vill säga vägen runt barriären (Attenborough, 2014). Figur 2 visar ljudets olika vägar från en ljudkälla på en sida av barriären till en mottagare på andra sidan om barriären. Korta vågor reflekteras på de flesta hinder och en ljudskugga bildas bakom objektet, medan långa vågor bryts längs med objektets kanter så att kanten fungerar som ljudkälla som avger ljud till området bakom. Är ljudvågen betydligt större än hindret kan ljudvågen spridas obehindrat förbi barriären (Möser, 2009).



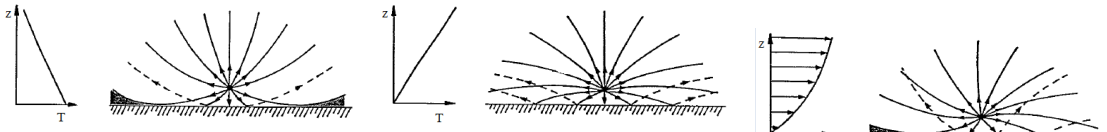
Figur 2. Schematisk bild som visar ljudets olika vägar förbi en barriär från en ljudkälla till en mottagare: 1 absorption, 2 reflektion, 3 diffraktion, 4 transmission, 5 via både diffraktion och markreflektion.

Meteorologiska faktorer

Luften i atmosfären är i konstant rörelse och varierar i temperatur och densitet. Detta påverkar hur ljudet färdas utomhus på olika sätt så att ljudnivån från en fast och konstant ljudkälla som mäts vid samma position på ett större avstånd kan skilja sig mellan olika tidpunkter på grund av olika väderförhållanden. Effekterna är frekvensberoende och kan redan observeras vid avstånd på 25 m och ökar med längre avstånd och högre höjd (Larsson, 1984).

För de högre frekvenserna (500 Hz och mer) har vind- och temperaturgradienten störst påverkan på ljudutbredningen. Temperaturgradienten medför en gradient i luftens densitet och leder till refraktion, en böjning av ljudet uppåt eller neråt beroende på om densitetsgradienten är negativ eller positiv (figur 3).

I situationer med en negativ temperaturgradient, vilket innebär att temperaturen minskar med höjden böjs ljudstrålar i uppåtgående riktning (se figur 3a). Det beror på att densiteten minskar och att ljudet färdas långsammare ju högre upp det är. Den del av ljudet som rör sig i sidled behåller sin hastighet och är snabbare än ljudet ovanför. Det leder till att



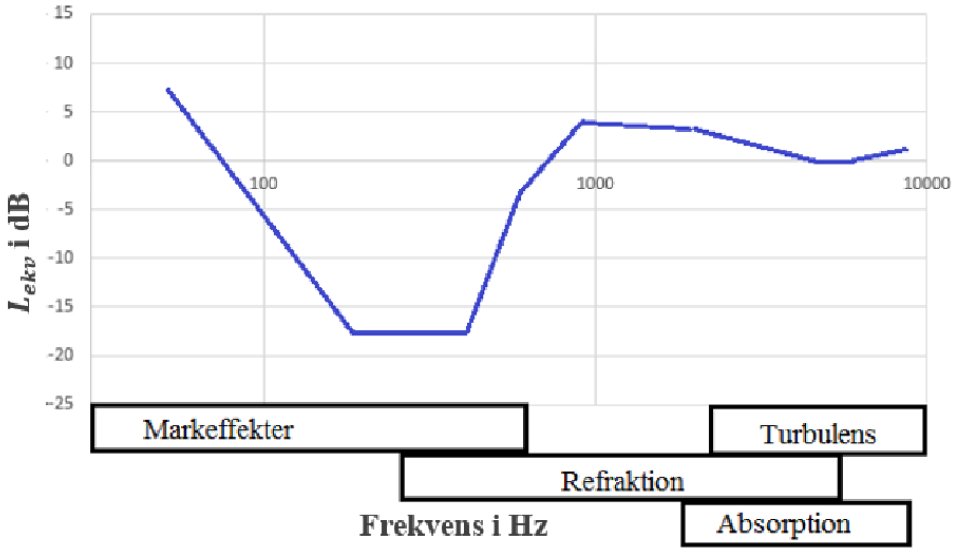
(a). negativ temperaturgradient (b). positiv temperaturgradient (c). vind

Figur 3. Ljudstrålarnas krökning vid olika olika temperaturprofil och vind (Larsson, 1994).

ljudvågorna som rör sig i sidled konstant böjs av uppåt och ljudtrycksnivån åt horisontell led minskar snabbare under dessa väderförhållanden. Under vissa tillfällen kan temperaturen även öka med höjd och en så kallad temperaturinversion uppstår. I det här fallet sker det motsatta och ljudet böjs i nedåtgående riktning, vilket medför att mer av ljudet färdas i sidled och högre ljudnivåer som avtar långsammare uppstår (se figur 3b). Sådana tillfällen är vanligast på vintern nattetid och ovanliga dagtid på sommaren (Larsson, 1994; Rohli & Vega, 2015).

Vind kan medföra större ljudspridning i enskilda riktningar (se figur 3c). De högsta vindhastigheterna fås längre upp medan friktionen vid marken bromsar luftens rörelse. Att vinden ökar med höjden har en större påverkan än temperaturprofilen på ljudet och leder till att ljudet böjs medvind (Attenborough, 2014; Rohli & Vega, 2015).

För frekvenser över 1000 Hz kan även turbulens och luftfuktighet ha en dämpande effekt som blir mest tydligt på avstånd över 50 m. Turbulensen påverkar ljudvågornas riktning lokalt och kan leda till spridningseffekter och interferens. Interferens kallas fenomenet när ljudvågorna hamnar ur fas. Markens form och ytegenskaper kan ha en absorberande och reflekterande effekt som har störst betydelse för ljudspridningen vid korta avstånd och för ljud med frekvens under 500 Hz (Larsson, 1994).



Figur 4. Schematiskt diagram som visar de olika meteorologiska faktorernas påverkan på ljudutbredningen när källan och mottagaren befinner sig 1 - 2 m över marken och 50 – 200 m ifrån varandra (Larsson, 1994).

2.2 LJUDETS PÅVERKAN PÅ BARN OCH VUXNA

Kapitlet inleds med en beskrivning av örats uppbyggnad och funktion samt människans perception. Sedan följer en övergripande genomgång av hur höga ljudnivåer och buller kan påverka hälsa, prestations- och inlärningsförmåga. Fokus ligger på studier som undersöker buller i klassrum för att ge en uppfattning om ljudets effekt i undervisningssituationen. Majoriteten av studierna i avsnittet har gjorts på vuxna personer och kunskapsläget kring hur barn påverkas av ljud är begränsat. På grund av detta bygger teoriavsnittet på studier på både barn och vuxna.

2.2.1 Perception av ljud och örats känslighet

Ljudets tryckvariationer leds via det yttre örat in i mellanörat. Där omvandlas tryckvariationer till vibrationer som leds till innerörat, vilket sätter vätskan som befinner sig i hörselsnäckan i rörelse. Själva hörselsnäckan består av två gångar som blir smalare och skiljs av med ett membran. På vägen in i hörselsnäckan delas vibrationen upp efter frekvens och sätter motsvarande del av hörselmembranen i svängning. Vibrationer med hög frekvens leds hela vägen in i hörselsnäckans smala innersta del medan toner med låg frekvens bara resulterar i en svängning i den yttersta delen och inte leds djupare in i örat (Fastl & Zwicker, 2007; Andersson, 2017).

Längs med membranet finns tusentals hårceller och ännu fler nervtrådar som uppfattar svängningarna och skickar en elektrisk signal till hjärnan där den uppfattas som ljud vid den aktuella frekvensen (Andersson, 2017). För svaga ljudsignaler transporteras signalen via ett fåtal nervtrådar som ger en mer differentierad signal medan höga ljud ger upphov till elektriska impulser i många trådar samtidigt (Fastl & Zwicker, 2007). För starka svängningar i ett frekvensområde kan skada hårcellerna i den delen som är ansvarig för den aktuella frekvensen och kan leda till hörselnedsättning i just det frekvensområdet. Urskiljningen av enskilda frekvenser är mindre nyanserad vid höga ljudnivåer (Andersson,

2017).

För en vuxen med fullt friska öron pendlar hörtröskeln med omkring 3 dB-enheter kring 0 dB för 500 Hz till 5 kHz och ökar både för lägre och högre frekvenser. Vid högre ålder minskas hörselns sensibilitet. Vid omkring 100 Hz motsvarar våglängden utrymmet i den yttersta delen av hörselsnäckan (Fastl & Zwicker, 2007). Ljud från vanligt tal förekommer mellan 100 Hz och 7 kHz. Vokalerna hittas vid de högre ljudnivåerna och de lägre frekvenserna medan konsonanterna har en lägre ljudnivå. Dessa ljudas inte på samma sätt och är fördelade över hela talets frekvensområde. Det är konsonanter som ”b”, ”m” och ”r” som ligger i samma område som vokalerna ”o”, ”a”, ”e” och ”y”. Högst frekvens har konsonanterna ”s”, ”t” och ”f” (Fastl & Zwicker, 2007; Christensson, 2016).

För höga ljudnivåer kan leda till kraftiga svängningar i hörselgången och kan vara skadliga för örat. En exponering på 90 dBA under arbetstid (8 timmar, 5 dagar i veckan) anses vara skadlig för vuxna och tros ligga lägre för känsliga grupper. För högre nivåer kan redan kortare exponering vara skadligt för örat. För vuxna är nivåer på 100 dB skadliga vid en exponering på 50 minuter medan 110 dB är skadlig redan vid en exponering på 5 minuter. Inledningsvis skadar för hög exponering örat tillfälligt. Hörtröskeln förflyttas vid varje exponering och örats förmåga att återställa sig minskar successivt. Långvarig respektive återkommande överexponering kan resultera i permanent förskjutning av hörtröskeln (Fastl & Zwicker, 2007; Andersson, 2017).

Den genomsnittliga ljudtrycksnivån över en bestämd tid är ett mått som används inom lagstiftning, då det är ett enkelt sätt att klassificera ljud. I dessa sammanhang används tidigare nämnda A-vägningen som ger möjlighet att lägga ihop de uppmätta nivåerna vid olika frekvenser till en sammanlagd ljudnivå som är tänkt att motsvara den uppfattade ljudnivån hos det mänskliga örat. Det ger en grov uppskattning av hur ljud kan påverka människan och lämpar sig bra för stationära ljud eller ljud med regelbundna mönster som exempelvis trafikbuller (Socialstyrelsen, 2008; Andersson, 2017).

Ljud kan vara av olika karaktär och beroende av ljudets karaktär kan ljudet upplevas olika. Exempelvis kan ljud ha olika intensitet i olika frekvensområden. Ljudet på en plats kommer ofta från flera ljudkällor med olika frekvenser och ljudfältet består av ljudvågor med olika frekvens och intensitet. I dessa fall och när ljud varierar kan den sammanvägda ekvivalenta ljudnivån vara ett osäkert mått att mäta störning. Ett annat exempel är ljud som bara förekommer i enskilda frekvenser. Dessa ljud uppfattas som toner av det mänskliga örat och orsakar kraftigare störningseffekter (Socialstyrelsen, 2008; Andersson, 2017).

Ljud med kort stigtid och kort varaktighet som exempelvis från ett pistolskott upplevs av människan som mer störande än konstanta ljud. Dessa ljud klassificeras som impulsljud. Ett sätt att klassa ljud som varierar i ljudnivå, så kallade intermittenta ljud, är maximal ljudnivå. Inom lagstiftningen anges i många fall ett värde i dB som ljudet inte får överstiga mer än ett visst antal gånger under en begränsad mätperiod (Socialstyrelsen, 2008).

2.2.2 Barn som särskilt känslig grupp

Barn vistas i större utsträckning på allmänna platser och uppvisar andra beteendemönster än vuxna, vilket leder till att exponeringen skiljer sig för barn och antas i vissa fall vara högre än för vuxna. Stora delar av kroppens organ- och nervsystem samt kroppens funktioner utvecklas kontinuerligt under barndomen och är därför särskilt känsliga för yttre påverkan. Detta leder till att risken för insjuknande eller försämring av en befintlig sjukdom ökar (KI, 2013). Folkhälsomyndigheten (2017) räknar barn och unga tillsammans med personer med hörselnedsättning eller annat modersmål än det talade som särskild känsliga grupper.

De vanligaste starka ljuden i ett barns miljö kommer från trafik, grannar, industrier och fläktsystem och är sällan hörselskadande. I samband med fritidsaktiviteter som idrott, idrottsevent, konserter och motorsport kan ett barn utsättas för potentiellt hörselskadande ljudnivåer. De övriga höga ljudnivåerna som barn utsätts för är ljud från andra barn, såsom från lek, bråk och musicerande. Mätningar i skolmiljö har visat nivåer över 70 dBA ekvivalent ljudnivå inomhus (KI, 2013; Nilsson, 2014).

I Barnens miljöhälsoenkät (BMHE11, refererad till i KI, 2013) som genomfördes 2011 rapporterade 31% av barnen i tolvårsåldern att de störs av ljud från andra barn medan andra bullerkällor upplevdes bara av få barn som störande, som vägbuller (4%), fläktbuller (2%), tåg- och flygbuller (under 1% av barnen). Vidare sa 3% av barnen att de flera gånger per vecka har svårigheter att förstå tal i direkta samtal, på telefon eller teve och radio på grund av störande ljud i hemmiljön. Föräldrarna uppgav att 1 till 2 % av fyraåringarna hade nedsatt hörsel och motsvarande siffra för tolvåringar var 3,4 %.

De barn som angav att de störs av obehagliga ljud från andra barn i hemmet, skolan och fritidshemmet samt buller vid vardagliga aktiviteter hade ett betydligt lägre skattat hälsotillstånd. Då orsakssambanden inte undersökts kan det inte fastställas om sambandet beror på att barn som störs av buller är känsligare än andra barn eller bullerexponering försämrar hälsotillståndet (Folkhälsomyndigheten, 2017).

2.2.3 Ljudets påverkan på den icke-auditiva hälsan

Buller är ett av de främsta miljöproblemen människor i Sverige utsätts för (Folkhälsomyndigheten, 2017). Trafikbuller är den miljöstörning som flest människor känner sig störda av (Socialstyrelsen, 2008). Även om förbättrad byggnadsstandard leder till förbättringar av ljudmiljön människorna utsätts för i byggnader, visar forskning att utomhusnivåerna i närmiljön har betydande påverkan på människors hälsa. Till besvären räknas allmän störning, försämrad talförståelse, nedsatt inlärning och prestation, sömnstörningar och ökad risk för hjärt- och kärlsjukdomar (Folkhälsomyndigheten, 2017). Långtidsexponering från flyg- och vägtrafik kopplas ihop med negativa effekter på metabolism och kardiovaskulära sjukdomar (Pyko et al., 2015).

De flesta studier för långtidseffekter från buller är epidemiologiska, vilket innebär att de är genomförda på stora befolkningsgrupper där det kan vara svårt att utesluta andra faktorer än buller. För att identifiera och kompensera för eventuella andra faktorer samlas i de flesta studier information om andra möjliga faktorer såsom socioekonomisk status,

modersmål eller exponering för buller i hemmet som i vissa fall resulterade i justeringar (Kempen et al., 2010; Clark et al., 2013 samt Klatte et al., 2013). Sambanden inom forskningsområdet miljö och hälsa kan vara komplexa och det som mäts är reducerat till exponering och observerade hälsosymtom. Symptomen kan bero på flera interagerande faktorer samtidigt, långa inkubationstider eller kumulativa effekter (Krewski et al., 2008).

Barn som besöker en bullerutsatt skola har tidigare uppmätts ha förhöjt, men inte ohälsosamt högt, blodtryck som sänks när den konstanta bullerexponeringen tas bort (Evans & Lepore, 1993). Förhöjt blodtryck kan dock följa med från barndomen i vuxen ålder och öka risken för hjärt- och kärlsjukdomar (Berenson 1980, refererad till i Evans & Lepore, 1993; Evans & Lepore, 1993). Förhöjningen var dock inte signifikant i studierna Evans & Lepore (1993) refererar till. I en mer aktuell undersökning av Kempen et al. (2010) kunde ingen signifikant påverkan på barnens självrapporterade hälsa och inte heller deras blodtryck slås fast när de var utsatta för buller från flyg- och vägtrafik i skolan. Det upptäcktes att barn som upplevde sig störda av bullret hade en signifikant påverkan. Dessa barn rapporterade en sämre hälsa och presterade sämre på kognitiva tester. I den här studien hade barn som upplevde sig störda också lägre blodtryck, vilket skiljer sig från de tidiga studiers resultat där barn som var utsatta för buller hade högre blodtryck (Evans & Lepore, 1993). Hos vuxna observerades även att kortvarig exponering för buller kan leda till ”inlärd hjälplöshet”, och ett mindre antal studier tyder på att barn som utsätts för buller är svårare att motivera. Tidig forskning tyder på att barn som utsätts för buller under flera år lär sig att skärma av störande ljud och störs mindre än barn som inte har varit utsatta för buller. Dessa barn tros dock också har lägre förmåga att urskilja ljud (Evans & Lepore, 1993).

Clark et al. (2013) utförde en studie som undersökte långtidseffekterna av flygbuller på en skolan. Det framkom att barn som var utsatta för flygbuller i grundskolan angav i signifikant högre utsträckning att känner sig störda av buller sex år senare. Det visade sig även att barnen presterade något sämre i kognitiva tester. Sambandet var inte signifikant men hade samma proportion som hittades i tidigare studier. Det hittades dock inget samband mellan bullerexponering och psykisk ohälsa.

Oönskat ljud antas vara en av faktorerna som bidrar till de ökade påfrestningar människor utsätts för. Hjärnan reagerar på påfrestningar med att aktivera en så kallad stressaxel i hjärnan som leder till produktion av kortisol. Kortisol sprids i kroppen för att mobilisera kroppens resurser och hantera påfrestningen. När påfrestningen har slutat minskas produktionen av kortisol och kroppen får möjlighet att slappna av och långsamt återhämta sig. Idag är påfrestningarna så många att många människors kroppar inte hinner återhämta sig. Denna långvariga stress antas leda till ett flertal förändringar i hjärnan och kroppens organ (Währborg, 2011).

I studier hos vuxna framkom att buller påverkar korttidsminnet. Det finns dock inga studier på hur stress på grund av buller påverkar hjärnan (Währborg, 2011; Klatte et al., 2013). Däremot finns ett flertal studier som visar på att olika former av stress påverkar hjärnan och dess utveckling. Delar av hjärnan som hippokampus, delen som kopplar ihop kort- och långtidsminnet, corpus callosum, den del av hjärnan som kopplas ihop med neuropsy-

kiska problem, och den gråa substansvolymen i tinningloberna var avsevärd mindre hos personer med traumatiska stresstillstånd. Även om kognitiv funktionsnedsättning kopplas ihop med stressrelaterade sjukdomstillstånd är ljudmiljöns roll fortfarande outforskad i detta sammanhang (Währborg, 2011).

Buller som innehåller låga frekvenser har redan vid låga nivåer strax över hörtröskeln en negativ påverkan på människan vilket leder till trötthet, irritation och huvudvärk samt störd koncentration och sömn (Socialstyrelsen, 2008).

Avslutningsvis bör nämnas att återkommande behov av att höja rösten och röstläget kan vara slitsamt för stämbandet och struphuvudet. I långa loppet innebär därför talkommunikation i en bullrig miljö en risk för röstproblem, vilket främst kvinnor drabbas av (Arbetsmiljöverket, 2005).

2.2.4 Talförståelse hos barn

Klatte et al. (2013) tillhandahåller en översikt av aktuell forskning på området och drar slutsatsen att förmågan att förstå tal i en miljö med eko och buller ökar upp till de sena tonåren. I många studier används måttet signal to noise (SNR), som anger hur många dB högre talet (signal) är än störningsljudet (noise). Vissa studier undersöker även påverkan av ett eko som mäts i form av efterklangstid. En lång efterklangstid medför att talets ljud hörs långt efter att orden har sagts vilket försvårar förståelsen av efterföljande talljud. En mer noggrann beskrivning hittas i avsnitt 2.4.3. Nedan redovisas ett urval av resultaten ur dessa studier. Studierna genomfördes hos deltagare utan tidigare rapporterad hörselnedsättning. De flesta studierna är genomförda på engelska och i stycket nedan refereras om inte annat anges till studier som genomfördes med engelskt tal hos barn som har engelska som modersmål.

Barn har redan vid sexårsålder nästan samma förmåga som vuxna att förstå tal och upptäcka enskilda ljud i en tyst miljö med lågt eller mer monotont bakgrundsljud (Hazan & Barrett, 2000; Johnson, 2000; Bonino et al., 2013). Om bakgrundsljudet är högre eller eller varierande över tid visade det sig att barn fram till tonåren är sämre än vuxna på att särskilja ljud och är i behov en högre SNR för att förstå enskilda meningar (Wightman & Kistler, 2005). När enbart vokaler lästes upp kunde samma samband hittas och den låga talförståelsen hos barn tros bero på att förmågan att urskilja konsonanter inte är lika utvecklad som hos vuxna (Hazan & Barrett, 2000; Nishi et al., 2010). En lång efterklangstid visade sig på samma sätt försvåra talförståelsen för barn upp till tonåren (Neuman & Hochberg, 1983; Neuman et al., 2010).

Ett flertal studier har undersökt hur förståelsen av tal påverkas av en kombinerad störning med lång efterklangstid och störande ljud med olika ljudtrycksnivå. I studien av Neuman et al. (2010) där förståelsen av talljud testades påverkades både barn från sexårsålder och vuxna negativt vid förekomst av lång efterklangstid (1,6 s) och bakgrundsbuller skapat av talljud (SNR=13dB). Det framkom samtidigt att den negativa påverkan var tydligare ju yngre försöksdeltagarna var. Efterklangstid påverkade mest vid låga ljudnivåer medan bakgrundbuller påverkade mer vid höga ljudnivåer och en kombination av båda ledde till särskilt låg förståelse (Johnson, 2000).

Vokaler och konsonanter som talet är sammansatt av befinner sig på olika frekvenser vilket beskrivits i avsnitt 2.2.1. Konsonanter är mest informationsbärande i talet och befinner sig i större utsträckning vid de höga frekvenserna. Därför har både efterklangstid och höga bakgrundsnivåer i de höga frekvenserna stor påverkan (Christensson, 2016).

I studier som fokuserade på förståelsen av konsonanterna med olika SNR framkom också att de yngsta skolbarnen (sex till sju år) är mest utsatta (Hazan & Barrett, 2000; Nishi et al., 2010). Resultaten för de yngsta skolbarnen var mest spridda vilket tros bero på att förståelsen av olika konsonanter utvecklas olika snabbt. Konsonanterna ”b” och ”v” var konsonanterna som blandades ihop mest (Nishi et al., 2010). I statistiska analyser i den tidigare nämnda studien i Neuman et al. (2010) konstaterades att det vid en efterklangstid på 0,6 s behövs en SNR på 5 resp. 15 dB för att säkerställa talförståelse på 50 % respektive 95 % hos sexåringar.

Här kan även påpekas att barn med språk- eller uppmärksamhetssvårigheter eller ett annat modersmål än det talade får sämre resultat än sina jämnåriga kamrater i bullriga situationer. För barn med kognitiv nedsättning framkom att buller är mer distraherande och den negativa effekten är större (Evans & Lepore, 1993; Lyberg Åhlander et al., 2015). Infektion och öronin- flammation tillhör de vanligaste sjukdomarna hos barn och kan medföra tillfälligt nedsatt hörsel. Det leder till att barn som vanligtvis har lika god hörsel och arbetsminne som majoriteten av sina klasskamrater under vissa perioder kan påverkas negativt på samma sätt (SBU, 2008; Boverket, 2015).

2.2.5 Ljud och inlärning

När barn exponeras för buller och andra ljud kan deras förståelse minska. Även om de förstår talet kan deras koncentration, minneskapacitet och inlärning minska. Hur väl informationen bearbetas beror såväl på den unika lärosituationen som på komplexiteten av informationen, individens koncentration, intresse och minneskapacitet samt omgivningens inverkan. Här nämns det episodiska minnet som centralt då urskiljning av information under närvaro av bakgrundsljud sysselsätter delar av det episodiska minnet så att delen som är tillgänglig för informationsbearbetningen kan minska drastiskt. Effekten på koncentration och inlärning kan även kvarstå när exponeringen har upphört (Boman, 2004; Socialstyrelsen, 2008; Nilsson, 2014).

Den negativa effekten på inlärnings- och prestationsförmågan blir mest påtaglig vid komplexa uppgifter som kräver en god taluppfattning, koncentrationsförmåga och minne. Den negativa påverkan från tal och vägtrafik är lika i de flesta situationerna. Enbart vid högläsning och uppgifter som kräver användning av långtidsminnet framkom att tal ledde till sämre resultat (Boman, 2004; Socialstyrelsen, 2008).

Utifrån forskningsläget kan slutsatsen dras att förståelsen av mer komplexa instruktioner minskas tillfälligt och memoreras sämre när en instruktion ges i en miljö med högt bakgrundsljud. Särskilt när bakgrundsljudet innehåller tal (Klatte et al., 2013; Brännström et al., 2018). En studie av Sullivan et al. (2014) undersökte hur en negativ SNR påverkar barn mellan tio och tolv år. Det visade sig att det auditiva arbetsminnet, som avgör

förmågan att minnas hörd information påverkades negativt (ordförklaring tagen ur Kumar et al., 2016). Det störande ljudet försämrade förståelsen av instruktionen och vidare bearbetning av informationen i hjärnan. Det blev tydligt genom att barnen var sämre på att minnas detaljer, vokabulär och resonemang. Som möjlig förklaring diskuteras att en mindre del av arbetsminnet är tillgänglig för signalbearbetning under närvaro av störande ljud.

Samtidigt kan försöksuppsättningen med en negativ SNR, vilket innebär att störnings- signalen är högre än den informationsbärande signalen, anses vara mindre sannolik i skolmiljö, anger Brännström et al. (2018). Brännström genomförde en liknande men mindre undersökning på svensktalande nioåringar där det framkom att störningsljud som innehåller talljud och är 10 dB lägre än instruktionen, vilket motsvarar den förväntade SNR i ett klassrum, försämrar den direkta förståelsen och överföringen av informationen till långtidsminnet. I och med att snarlika effekter kunde hittas i Sullivan et al. (2014) och ett antal liknande studier drar Brännström et al. (2018) slutsatsen att en låg bakgrundsnivå är en grundförutsättning för god inlärning.

Beroende av ljudets karaktär, situationen och den personliga känsligheten blir påverkan olika utpräglad. Barn vars kognitiva funktioner är mindre automatiserade än deras kamrater i samma ålder, har sämre arbetsminne, cochlea−implantat eller hörselnedsättning kan vara i behov av en särskilt bra ljudmiljö (Hazan & Barrett, 2000; Klatte et al., 2013; Lyberg Åhlander et al., 2015). Det enda undantaget är vid genomförande av enkla och monotona uppgifter då högfrekvent buller kan höja aktivitetsnivån (Socialstyrelsen, 2008).

2.2.6 Ljudmiljö och återhämtning

Det finns ett flertal studier och teorier där ljudmiljöns roll för återhämtning behandlas och i det här avsnittet beskrivs ett urval. Människan tros i urtiden ha varit omgiven av natur och små bosättningar med små samhällen och anses enligt teorin om den stödjande miljön som togs fram av Grahn & Stigsdotter (2010) vara restorativa för människan.

Ulrich (1984 & 1993, refererad till i Grahn & Stigsdotter, 2010) visade att patienter som hade utsikt mot en park tillfrisknade snabbare än patienter som tittade mot en tegelvägg och kopplade ihop det med att parken upplevdes som trygghet och då möjliggjorde för kroppen att vila och återgå till sitt normaltillstånd. En studie på vuxna svenskar visade att skogsljud har en positiv påverkan på återhämtningen från stress (Annerstedt et al., 2013). I en mindre underökning framkom att bakgrundljud påverkar hur en plats upplevs. Bilder på miljöerna stad, landsbygd och natur upplevdes mer positiva av studiens deltagare när de visades med naturljud som bakgrundsljud och mindre positiva när stadsljud spelades upp. Bedömningen av stadsmiljön avvek från de övriga miljöerna och upplevdes inte mer negativ av stadsljud. Försöksdeltagarna som växte upp i stadsmiljö påverkades mer negativt av stadsljud medan de som hade vuxit upp på landet påverkades mer positivt av naturljud, vilket bevisar att den undersökta hypotesen om att de som växte upp i stadsmiljö skulle uppskatta stadsmiljö mer än de som hade vuxit upp på landet kan förkastas (Grahn & Stigsdotter, 2010).

En relevant teori i sammanhanget är teorin om riktad och icke-viljestyrd uppmärksamhet

av Kaplan (1989, refererad till i Grahn & Stigsdotter, 2010). Den riktade uppmärksamheten används när människan exempelvis ska genomföra en komplex uppgift. Med ansträngning väljs relevant information ut genom snabba beslut och oönskade information och intryck trängs undan. Människan förmår inte att upprätthålla denna koncentration en längre period vilket visar sig genom irritation, stress, minskad empati, glömska och misstag. I motsats till detta ger den icke viljestyrda spontana uppmärksamheten möjlighet att upptäcka detaljer i omgivningen som ett blinkande ljus eller en liten fågel som i en trygg miljö kan väcka fascination. Detta tros underlätta återhämtningen av den riktade uppmärksamheten (Kaplan, 1989, refererad till i Grahn & Stigsdotter, 2010).

2.3 RUMSAKUSTIK

När ljud sprids i ett rum och träffar en yta reflekteras ljudets energi. Därför avgör de fysiska egenskaperna och utformningen av en plats hur ljudet fördelas. Rumsakustik är disciplinen där rummets påverkan på spridningen av ljud undersöks genom mätning, beräkning, skattning och modellering. Det kan handla om hur väggar avskärmar ljud men även vilka ljudnivåer en ljudkälla resulterar i på grund av rummets egenskaper. I skolmiljön baseras de flesta aktiviteterna på muntlig kommunikation och barn själva kan utgöra högljudda ljudkällor, vilket sätter krav på rummets akustik på två sätt, nämligen att informationen ska nå sin mottagare och att det inte ska leda till störande ljudnivåer (Leistner et al., 2006; Andersson, 2017). På en skolgård som används till utomhusundervisning uppstår samma problematik. Därför undersöks i det här examensarbetet skolgården utifrån ett rumsakustiskt perspektiv.

2.3.1 Akustiska förutsättningar för undervisning

Utformningen av undervisningsrum ur akustisk synpunkt ska enligt BFS 2013:14 fungera så att både uppkomst och spridning av buller undviks. Den svenska standarden SS 25268:2007+T1:2017 (2018) klassar ljud i fyra ljudklasser: A, B, C och D, där kraven minskar i A är strängast. Enligt Boverkets byggregler, BBR, motsvarar ljudklass C de krav som finns för undervisningsrum i skolor. Ljudklass D är en låg ljudstandard som kan tillämpas när ingen högre standard kan nås på grund av tekniska, antikvariska eller ekonomiska skäl. Standarden reglerar bland annat gränsvärden för buller från trafik och andra yttre ljudkällor samt efterklangstid. För ljudklass C regleras efterklangstiden i utrymmen som är avsedda för undervisning till att vara 0,5 s och den resulterade ekvivalenta ljudnivån inomhus från yttre ljudkällor som spår och vägtrafik till under 30 dBA.

För ljudklass A och B samt utrymmen för idrott vid ljudklass C sätts riktlinjer för utformningen av rummet. I de fall där parallella väggar förekommer ska en av väggarna vara ljudabsorberande eller ha hög diffusion (se avsnitt 2.1.2), för att undvika att ljudet studsar mellan väggarn och ett så kallat fladderljud uppstår. För att uppfylla ljudklass C rekommenderas att absorbenter eller andra fysikaliska former på ytan installeras, vilket ger en jämn fördelning av reflektionerna (Dalenbäck, 2010; SS 25268:2007+T1:2017, 2018).

I utrymmen med rumsvolym större än 1500 m^3 eller högre takhöjd än 4 m ska efterklangstiden anpassas efter verksamhetens behov. För yttre ljudkällor ska enbart ljudnivån från källan som förväntas ha högst ljudnivå mätas eller modelleras (SS 25268:2007+T1:2017, 2018).

2.3.2 Lombardeffekt

I en miljö med högt bakgrundsljud höjer de flesta människor sin talade ljudnivå. Detta kallas Lombardeffekt. En miljö där flera samtal pågår samtidigt så att samtalsljudet från ett samtal stör kommunikationen i ett annat är exempel på när effekten blir tydlig då ljudnivån höjs succesivt i alla samtalsgrupper (Andersson, 2017). Effekten uppstår redan när bakgrundsljudet överstiger 40 dBA. Höjs bakgrundsnivån över 40 dBA höjs rösten undermedvetet till hälften av ökningen (Lane & Tranel, 1971; Garnier et al., 2010).

Även andra delar av kommunikationen påverkas av en hög bakgrundsnivå. En undersökning av Davis et al. (2006) visade att en talare som läste för en person 2,5 m bort anpassade sitt språk när en hög bakgrundsnivå råder. Personen höjde rösten, pratade långsammare och anpassade sitt minspel. Höjningen skedde främst i de högre frekvenserna. Även starkare mun- och huvudrörelser kunde konstateras. När bakgrundsljudet bestod av tal istället för vitt brus förstärktes effekten. I klassrumsmiljö kunde samma effekt observeras hos kvinnliga lärare dock inte i samma utsträckning hos manliga lärare (Rantala et al., 2015).

2.3.3 Maskering

Maskering kallas effekten där en ljudsignal, exempelvis tal, täcks över av ett högre ljud med ett brett spektrum. Ljudet kan vara helt maskerat så att det inte hörs längre eller vara partiellt maskerat så att ljudet är hörbar men uppfattas som mindre högljutt. Effekten är starkast om signalljudet och störningsljudet förekommer samtidigt. Efter att störningsljudet har upphört kan en tillfällig sänkning i hur högt talljudet uppfattas kvarstå (Fastl & Zwicker, 2007).

Vitt brus höjer ljudtrycksnivån för när en signal blir hörbar. Höjningen är lika mycket för alla hörbara frekvenser och hela hörtröskeln flyttas tillfälligt uppåt. Enskilda ljud som är koncentrerade på ett mindre frekvensområde har till skillnad från vitt brus en maskerande effekt på det maskerande ljudens frekvenser och även på närliggande frekvenser. Maskeringens inverkan på dess närliggande frekvenser minskar med avståndet från maskeringsljudets frekvens (Fastl & Zwicker, 2007; Moore, 2014).

Maskering kan medföra ett flertal risker. Exempelvis kan förmågan att uppfatta varningssignaler från varningsutrop tappas och särskilt i en efterklangsrik miljö kan lokaliseringen av ljudets härkomst försvåras och leda till en förlängning av reaktionstiden (Arbetsmiljöverket, 2005).

Utöver ljudstyrkan hos störningsljudet beror störningens omfattning även på lyssnarens känslighet. Här kan barn räknas in som särskilt känsliga (se avsnitt 2.2.2).
I tabell 1 visas en bedömning av talförståelsen vid olika bakgrundsnivåer för vuxna som tillhandahålls av Arbetsmiljöverket (2005).

Tabell 1. Beskrivning av hur olika bakgrundsnivåer påverkar möjligheten för talkommunikation (Arbetsmiljöverket, 2005).

L_{ekv} [dBA]	**Förhållanden för talkommunikation**
70	Samtal med hög röst kan nätt och jämnt föras på 1 m avstånd för personer med fullgod hörsel.
55	Miljö som uppfyller genomsnittliga krav på fungerande talkommunikation med normal röststyrka på näravstånd från talaren
50	Miljö som uppfyller genomsnittliga krav på fungerande talkommunikation med normal röststyrka på 5 till 10 m avstånd.
40	Miljö som uppfyller genomsnittliga krav på säker taluppfattbarhet på nära håll, också för hörselskadade äldre lyssnare och icke-modersmålstalande.
35	Miljö som uppfyller genomsnittliga krav på säker taluppfattbarhet på 5 till 10 m avstånd, också för hörselskadade, äldre lyssnare och icke-modersmålstalande.

2.4 AKUSTISKA ANALYSMETODER

För att undersöka akustiken på de olika skolorna, samt olika möjliga utformningar mättes och modellerades ljudets spridning. I detta avsnitt sammanfattas teori om rumsakustik.

2.4.1 Akustik för scener

De första akustiska undersökningarna gjordes på platser för uppvisning av musik. Undersökningsgarna gjordes genom att Ett antal egenskaper definierades för att ge beskrivning på hur ljudspridningen upplevs. Dessa kan till stor del utvärderas genom mätning och modellering. De första mätningarna och beräkningar av rummets akustik är Sabines formel som även idag används för att göra en grov uppskattning av efterklangstiden (Rossling, 2014).

$$T_{sab} \approx 0,163\frac{V}{A} \tag{4}$$

Där V är rummets volym [m^3] och A den genomsnittliga absorptionen av rummets alla ytor [1/m^2]. En konsertsal planeras så att efterklangen inte blir för lång så att ljudet degraderas eller upplevs som för högt. Samtidigt eftersträvas en viss efterklang som förstärker ljudet, vilket kallas för ljudförstärkning (på engelska ”gain”) och ger musiken en fullständig klang. För teatrar och andra platser för talkommunikation har däremot fokus varit på talförståelse och parametern Speech Transmission Index, STI (Pulkki & Karjalainen, 2015). I efterföljande avsnitt ges en kort introduktion av några akustiska mätmetoder och sedan presenteras ett urval av metoder som används inom rumsakustik.

2.4.2 Mätning

Inom akustik mäts både den förekommande ljudnivån och hur rummet påverkar spridningen av ljudet. Mätningarna kan analyseras frekvensvis eller genom att lägga ihop ljudnivån vid de olika frekvenserna till ett sammanvägd värde. Det vanligaste sättet är att undersöka hur rummets impulssvar beter sig. Här undersöks hur ljudet vid olika frekvenser avtar i rummet efter att ett högt ljud från en ljudkälla i rummet har spelats upp (Gade, 2014).

Enskilda mätningar kan bara ge en momentanbild av ljudsituationen på en viss plats. Modellering möjliggör skapandet av en mer övergripande bild av situationen. Samtidigt kan beräkningar bli långa och tunga om komplexa fall beräknas. Därför är förenklingar i den fysiska modellen nödvändiga. Oftast kombineras modellering med mätningar för att få en mer nyanserad bild av ljudsituationen (Kropp et al., 2016).

Mätningar med avseende på störning på arbetsplatser behöver vara så omfattande och noggranna att resultaten är representativa för den aktuella verksamheten i ett längre tidsperspektiv. Ljudnivån kan variera påtagligt med tid och avstånd till olika bullriga ljudkällor. Ekvivalent ljudnivå kan bestämmas genom stickprovsmätningar eller integrerade ljudmätare som är placerade på platser där människor utsätts för ljudet. Om ljudnivån varierar kraftigt fås det mest exakta mätresultatet om mätningen pågår under hela exponeringstiden. Mätningen ska ske med ljudmätare inställd på tidsvägningen ”fast” och medelvärdesbildning (Arbetsmiljöverket, 2005).

2.4.3 Undersökta parametrar

I efterföljande avsnitt beskrivs ett antal parametrar som tidigare studier har använt sig av och som kan vara relevanta för modelleringen.

Efterklangstid (T_{20})

Efterklangstiden är den tid det tar för ljudet att minska 60 dB-enheter efter en hög ljudimpuls (Gade, 2014). I praktiken mäts oftast tiden för ett mindre intervall och räknas om till tiden som om det skulle minska på samma sätt för 60 dB. Då sena reflektionerna övertonas vid tal och musik av efterkomande ljud och då mätningen är lättare att genomföra. I ett rektangulärt rum med likadana akustiska egenskaper för golv, tak och väggar bildas ett efterklangsfält som i stort sätt är lika i hela rummet och ljudnivån avtar linjärt (om man mäter i dB). Efterklangstiden kan bestämmas genom beräkning eller mätning och är lika för hela rummet (Wallin et al., 2010). Som tidigare nämnts i avsnitt 2.3.1 används en förkortad efterklangstid för klassificering och kontollmätning, som är den tid det tar för ljudet att minska 20 dB, inom lagstiftningen. I dessa sammanhang påverkar framförallt de tidiga reflektionerna av efterklangstiden och värdet är starkt beroende av sändarens och mottagarens position i rummet. Efterklangstiden är ihopkopplad med många andra akustiska parametrar och koncept och är därför välanvänd (Gade, 2014).

Klarhet (C)

Klarhet beräknas som komplement till efterklangstid och är ett mått på hur tydligt tal färdas från källan till mottagaren. Reflektioner som når mottagaren inom mindre än 50 till 80 ms efter direktljudet förenas i hjärnan med direktljudet och uppfattas då som en förstärkning av ljudet. Utifrån den kännedomen designades parametern som kvoten av ljudenergin som når mottagaren under de första 80 ms efter direktljudet och den sammanlagda ljudenergin som når mottagaren både innan och efter 80 ms (Gade, 2014).

Speech Transmission Index (STI)

STI är ett mått på förutsättningarna att förstå tal på en plats. Genom att mäta förvrängningen av talet på grund av bakgrundsljud och efterklang fås värden på en skala mellan 0 och 1. Förvrängningen utvärderas frekvensvis. Bakgrundsljud påverkar alla frekvenser och efterklang har mest påverkan på högre frekvenser (Gade, 2014). Här står 1 för perfekt

talöverföring och successivt sämre talöverföring fås med lägre värden. I mätstandarden för STI, IEC 60268-16, kategoriseras STI-värdena på en skala från A till J, respektive U och exempel ges på sammanhang där dessa STI-värden brukar vara lämpliga. Sammanställningen visas i Tabell 2.

Tabell 2. Klassificering av STI (Svensk Standard, IEC 60268-16).

Klass	STI	Informationens karaktär	Användnings-exempel	Kommentar
A+	>0,76		Studio för inspelning	Excellent talförståelse
A	0,74	Komplexa meddelanden med svåra	Teater, hörsalar, parlament domstol, hörapparater	Hög talförståelse
B	0,7	icke-vardagliga ord		Hög talförståelse
C	0,66		Teater, hörsalar, parlament	Hög talförståelse
D	0,62		Föreläsningssalar, klassrum, konsertsalar	God talförståelse
E	0,58	Komplexa meddelanden med vardagliga ord	Konsertsalar, moderna kyrkor	Hög kvalitet för PA-system*
F	0,54		PA-system* i köpcentrum, kyrkor, myndighetsbyrån	God kvalitet för PA-system*
G	0,5		Köpcentra, offentliga byggnader, VA-system*	Målvärde för VA-system*
H	0,46	Enkla meddelanden med vardagliga ord	PA- och VA-system* i komplexa miljöer	
J	0,38		Inte lämplig för PA-system	
U	<0,36			

*Ett system för ”public adress” (Förkortning PA-system) är en ljudanläggning som används för att påkalla allmänhetens uppmärksamhet och ställer högre krav på talförståelse än vad ”voice announcement” system (VA-system) kräver.

Ljudförstärkning (G)

Hur starkt ett ljud uppfattas beror på flera faktorer såsom ljudkällan, rummet där ljudet sprids och hur mottagaren uppfattar ljudet. I det här examensarbetet används parametern G (på engelska ”Gain”) för att utvärdera rummets bidrag till ljudnivån. Parametern beräknas ur kvoten mellan den uppmätta ljudenergin från en impuls och energin ljudet teoretiskt skulle ha uppmätts 10 m ifrån ljudkällan i frifält (Ekvation 5). Värdet är positivt när rummet förstärker ljudet och negativt när rummet dämpar ljudet (Gade, 2014; Pulkki & Karjalainen, 2015).

$$G = 10log_{10} * \frac{\int_0^\infty h^2(t)dt}{\int_0^{t_{dir}} h_{10m}^2(t)dt} \tag{5}$$

Där $h^2(t)$ är det kvadratiska utslaget från ljudimpulsen vid tiden t efter att ljudimpulsen har spelats upp. Parametern t_{dir} är den tid det tar för direktljudet att spridas 10 m från ljudkällan.

2.4.4 Beräkningsprogrammet CATT-Acoustic

CATT-Acoustic (CATT-Acoustic, 2011a) är ett program för att simulera rumsakustik, och som används för att simulera akustiken i konsertsalar och rum med komplex arkitektur. Programmet bygger på geometrisk akustik, vilket innebär att programmet inte baseras på

vågekvationen utan istället utan istället simulerar ljudvågor i form av vektorer (James & Naqvi, 2001).

Programmet utgår ifrån en tredimensionell modell av rummet där alla ytor tilldelas de akustiska egenskaperna absorptions- och diffusionskoefficient, uppdelat över frekvenserna 150 Hz till 16 kHz. I rummet positioneras en ljudkälla och en eller fler mottagare.

Programmet möjliggör beräkning av efterklangstid för enkla rum med ett fåtal parametrar som rummets volym, area och absorption med ekvation 4 som ger tillförlitliga resultat för rum vars ytor har liknande absorptionkoeffient (Rossling, 2014). Schröderfrekvensen f_s ger information om från vilken frekvens geometrisk akustik är giltig och beräknas enligt ekvation 6.

$$f_s = 2000\sqrt{\frac{T_{sab}}{V}} \tag{6}$$

där T_{sab} [Hz] är medelvärdet för efterklangstiden vid 125 och 250 Hz och V [m^3] är rummets volym. Enligt praxis används $4f_s$ som minsta frekvens som har funnits att gälla för de flesta fallen (CATT-Acoustic, 2011b).

För komplexa rum kan programmets applikation TUCT användas. Programmet utför en mer omfattande datorsimulering där rummets geometri, fördelningen av absorberande material och sändarens och mottagarens position tas med i beräkningen (CATT-Acoustic, 2011b). Här beräknas hur ljudet från ljudkällan sprids i rummet med bildkälla-metoden. Från ljudkällan skickas ”bilden” som består av ljud med olika frekvens och energi, ut i rummet. Programmet använder sig av geometrisk akustik, vilket innebär att ljudvågorna antas vara strålar med olika frekvens och hänsyn tas inte till vågornas fas (James & Naqvi, 2001).

För stängda rum bestående av endast stora ytor kan en algoritm användas som enbart beräknar det direkta ljudet. För mer komplexa rum med öppna ytor lämpar sig programmets beräkningsalgoritm som modellerar spridningseffekterna vid rummets ytor (se avsvnitt 2.1.2). Utifrån ytans diffusionskoefficient beräknas fördelningen och frekvensberoendet av reflektionen och spridningen. Saknas den informationen används slumpvisa reflektioner. Sedan utvärderas hur många och efter hur lång tid dessa simmulerade ljudvågorna passerar mottagarpunkten. Detta sammanställs till hur ”bilden” från källan uppfattas vid mottagarpunkten. Utifrån den informationen beräknas parametrar som efterklangstid, ljudförstärkning och STI (CATT-Acoustic, 2011b; Adrian James Acoustics, 2016).

2.4.5 Akustisk design

Som tidigare nämnt är definitionen för buller ”oönskat ljud”, och det som skiljer buller från önskat ljud är upplevelsen hos den som uppfattar ljudet (Maling, 2014). Ett och samma ljud kan upplevas som störande, önskat eller inte uppfattas alls av olika personer.

Traditionellt har ljud i samhället nästan uteslutande hanterats defensivt och handlat om att skydda människan från ljud. På senare tid har en offensiv teknik där de goda kvalitéerna av stadens ljud diagnostiseras testats. På det sättet kan kunskapsläget om den urbana ljud-

miljön utvecklas och ett helhetsperspektiv skapas. Det möjliggör en ”akustisk design” där befintliga ljud på platsen används ”för att skapa ljudmiljöer som samverkar med alla sinnen”(Hellström, 2011, refererad till i Mossberg, 2011). I det här sammanhanget efterfrågas ett interdisciplinärt samarbete mellan olika aktörer inom stadsplanering så som arkitekter, stadsplanerare och akustiker samt experter som exempelvis miljöpsykologer för att öka förståelsen för hur människan påverkas av ljud i olika situationer (Hellström, 2012).

2.4.6 Ljudlandskap som koncept

Inom bullermanagement är strategierna upplagda på så sätt att åtgärder planeras antingen vid ljudkällan, längs med spridningsvägen eller som skydd för det som utsätts för buller. Oftast handlar det om att skydda människor som vistas inomhus från buller som skapas utomhus eller från bullriga installationer inom en byggnad (Maling, 2014). Ljudlandskap (på engelska ”soundscape”) är ett begrepp som användes av Brown & Muhar (2004) för att beskriva och planera ljud på en öppen plats, till skillnad från traditionella metoder där ljudet enbart ses som en luftförorening som måste skärmas av. Att skapa ett ljudlandskap kan ses som ett komplement till bullermanagement där naturliga ljud som antas ha positiva effekter på människan används. Effekterna bedöms kunna vara en central del i upplevelsen av en plats eller verka återhämtande, vilket beskrivs i 2.2.6.

Det finns olika tillvägagångssätt vid planering av ett ljudlandskap. Dessa har gemensamt att ljudet delas upp i önskat och oönskat ljud på en specifik plats vid en specifik tidpunkt. Önskade ljud kan variera och vara allt från fågelkvitter via människoprat till kyrkklockor, medan trafik- och installationsbuller oftast ses som oönskat ljud (Brown & Muhar, 2004). Vad som är önskat och oönskat kan skilja sig mellan olika platser och tider på dygnet. Nilsson & Berglund (2006) lyfter frågan om att hitta andra indikatorer än den ekvivalenta ljudnivån för att kunna göra en bedömning som tar hänsyn till den här frågan. Ett tillvägagångsätt tillhandahålls i Brown & Muhar (2004), vilket kommer att användas som vägledning vid beskrivning av de undersökta skolgårdarnas ljudmiljö. Tillvägagångsättet beskrivs nedan.

Indelning i zoner och identifiering av aktiviteter
Aktiviteterna som äger rum på en plats kan variera i tid och rum. Genom att undersöka på vilka platser och tider aktiviteterna äger rum kan platsen delas in i olika zoner.

Önskad akustisk miljö
För varje zon väljs en önskad ljudmiljö med olika egenskaper. Möjliga egenskaper visas i tabell 3.

Tabell 3. Exempel på klassificering för önskad akustisk miljö (Brown & Muhar, 2004).

Klass	Beskrivning av ljudmiljön
A	Vatten i rörelse som dominant ljudkälla
B	Speciellt signifikant ljud ska nå ut över området
C	Ljud från människoprat dominerar
D	Ljud från människor är inte hörbart
E	Ljud från naturen dominerar
F	Enbart ljud från naturen
G	Direkt tal är hörbart
H	Förstärkt tal är hörbart
I	Ljud från ljudinstallation/skulptur hörs tydligt
J	Ljud från stadslivet dominerar
K	Platsens karaktäristiska ljud dominerar

Indelning i önskat och oönskat ljud
Först inventeras de nuvarande befintliga ljuden och eventuella ljud som förväntas tillkomma i den tänkta ljudmiljön. En teknik för att få en uppfattning av ljudlandskapet på en plats är ljudpromenader där man går längs med platsen och inventerar alla ljud som observeras. Det finns tekniker för att få en så omfattande bild som möjligt av en plats. Sedan kan ljudmiljön variera i tid på grund av säsonger eller årstider, vilket inte tas hänsyn till vid inventeringen av ljud.

Akustiska egenskaper hos ljud
Genom analys av ljudinspelningar undersöks i det här steget ljudets variation och karaktär över tid.

Undersökning av designalternativen
Effekten av klassiska åtgärder studeras genom att undersöka designalternativen. Således kan oönskade ljud minskas respektive elimineras och skapar förutsättningar för att lyfta de önskade ljuden.

2.4.7 Akustiska designverktyg
Akustisk design handlar som beskrivits i avsnitt 2.4.6 om att förändra ljudmiljön så att önskade ljud lyfts och påverkan från oönskade ljud minskas. Stort fokus ligger här på synnergieffekter i förhållande till platsens funktion. I det här avsnittet sammanställs därför olika verktyg och installationer som kan ha en ljuddämpande eller annan positiv effekt på ljudmiljön utomhus och samtidigt vara del av skolgårdens design. Resultaten från projekten Kropp et al. (2016) och Hosanna (2013) som båda fokuserar på designverktygens ljudminskande effekt utgör grunden för det här avsnittet. SONORUS-projektet

hade som syfte att hitta sätt att förbättra stadsplanering med avseende på ljud medan HOSANNA-projektet undersökte hur grön infrastruktur kan minska ljudspridning från väg- och spårtrafik i urban miljö. Fokus i sammanställningarna har varit på grönska.

Formen på byggnaderna
En möjlighet för att minska trafikbuller från stora vägar är att placera hus så att de skärmar av vägen från uteplatser, vilket kallas för skärmhus. På gatunivå undersöktes olika former i gatumiljö utifrån hur väl de lyckas minska ljudnivån på fotgängarnas höjd. Indragningar i byggnaden på marknivå, så att en del av ytområdet befinner sig under byggnaden ger en ljuddämpande effekt. För en mätbar effekt behöver indragningen gå minst lika mycket in som höjden och höjs med indragningen. På samma sätt fann man att byggnader med väggar som lutar bortåt i höjd har en ljudsänkande effekt (Kropp et al., 2016).

Fasadåtgärder och gröna väggar
Då stora delar av ljud i stadsmiljö sprids vertikalt spelar åtgärder som ändrar absorptionskoefficienten och diffusion vid husväggar och fasader en nyckelroll i hur ljudet sprids. I sammanhanget har växtbeklädda väggar, så kallade gröna väggar, undersökts då dessa har en såväl ljuddämpande som avskärmande funktion. Jord har en hög absorptionskoefficient och bladen fungerar som diffus yta. Ett snabbt och effektivt sätt är att placera växtkassetter frikopplade längs med husfasaden. På det sättet minskas risken för fuktskador. Växtjorden, som ger majoriteten av den akustiska effekten, befinner sig längs hela väggen.

En grön vägg absorberar 50 % av ljudet vid låga frekvenser och över 70 % av ljudet vid höga frekvenser. Det kan jämföras med en fasad av puts som bara absorberar 2-4 %. I gaturummet kan en växtbeklädd vägg dämpa reflektioner och de ekvivalenta ljudnivåerna kan minskas med 3 dBA-enheter. En grön vägg kan också användas för att undvika uppkomsten av en stående våg som skapar ett ljud som studsar mellan väggarna (Fastl & Zwicker, 2007; Yang, 2013; Forsén & Mauriz, 2017).

Sedumtak
Genom att anlägga växter på byggnadens tak kan en ljudabsorberande effekt fås och diffraktion över taket minskas. För att få mätbara effekter krävs stora tak och då kan en ljuddämpning på 2,5 dB på skuggsidan om byggnadens fås (Forsén & Mauriz, 2017).

Skärmar
Som tidigare beskrivet i 2.1.2 är skärmar ett effektivt sätt för att blockera den direkta vägen till mottagaren. Skärmar används i stor utsträckning för att skärma av buller från väg- och spårtrafiken från bostadsområden (Hosanna, 2013; Maling, 2014). Generellt sett ger bullerskärmar störst effekt om dessa placeras så nära bullerkällan som möjligt. Meteorologiska effekter och topografi på platsen har stor påverkan på skärmens effektivitet. När vindriktningen går från källan till mottagaren uppstår ofta vindstilla förhållanden bakom skärmen. Luften som transporteras med vinden mot skärmen komprimeras i skärm- ens topp och expanderar neråt efter skärmen. På så sätt kan därmed höga ljudnåver i direkt anslutning till skärmen uppstå. En möjlig lösning som dock inte har validerats med mätningar är att plantera träd direkt i anslutning till skärmen som motverkar att vinden rör sig neråt bakom skärmen (Attenborough, 2014).

Vägar och andra bullerkällor kan exempelvis befinna sig på olika höjd och geografiskt läge i förhållande till platserna där människorna och djuren som ska skyddas vistas. Därför behöver skärmar vara utformade och designade för de lokala förhållandena på platsen och kontexten (Attenborough, 2014).

Skärmarna skiljer sig åt i material och utformning och kan övergripande delas in i höga och låga skärmar (Björk Tocaj et al., 2015). Höga skärmar, som är vanliga längs med stora motorvägar, bryter siktlinjen och är oftast högre än 1,80 m. Även om det direkta ljudet i höga barriärer nästan skärmas av helt kan diffraktion leda till höga ljudnivåer även bakom skärmen (se avsnitt 2.1.2). En jämn översida på skärmen och vindförhållanden som leder till att området bakom skärmen hamnar i vindskugga förstärker effekten. För att minska refraktion kan olika beläggningar eller element installeras. Vanligtvis används ett tunt skikt bestående av betong, men träd kan ge ännu bättre effekt (Möser, 2009; Attenborough, 2014).

I stadsmiljö används skärmar som är under 1 m i höjd, så kallade låga skärmar, på grund av platsbrist, estetik och säkerhetssynpunkt. Dessa ljudbarriärer används vanligen för att dämpa buller från lågbelägna bullerkällor som fordons- och spårbunden trafik. De låga skärmarna har högst effekt om de placeras nära och på båda sidor om källan (Hosanna, 2013). I dessa lägen kan en bullerminskning upp till 20 dB nås i nära anslutning till källan och en minskning med 4 till 9 dB på längre avstånd.

Vanliga material för höga skärmar är betong, glas, tegel, trä och metall. Bland dessa traditionella material skärmar tegel och glas av ljudet bättre än trä och betong (fibercement). Materialen är reflekterande och medför högre ljudnivåer på bullersidan än vad som varit utan bullerskärm (Möser, 2009; Björk Tocaj et al., 2015). På senare tid har nyare alternativ valts som tros vara mer effektiva och kostnadseffektiva som exempelvis återvunnet material. Även sten, jord och vegetation har testats (Hosanna, 2013).

Mest använt är betong förstärkt med träfiber, granulerade gummidäck som fyllnadsmaterial, återvunnet plasttimmer och en kombination av ett kvarhållande återvunnet skal tillverkat av PVC-avfall med en porös mineralullkärna. Den akustiska effekten styrs av sammansättningens täthet, porositet och styvhet. Återvunnet material lämpar sig också kombinerat med jord då materialet kan hålla kvar jordens struktur och samtidigt bidra med absorption (Hosanna, 2013).

Skärmar som är klädda med växtlighet har, likt gröna väggar, en skärmande och absorberande effekt. Direktljudet dämpas och ljudreflektionen minskas kraftigt. Växtbeklädda höga skärmar kan förbättra ljudmiljön på torg och i parker. Mjuk växtlighet kan också minska diffraktionen över skärmen. Höga skärmar i stadsmiljö kan minska framkomligheten och kan vara visuella hinder. En möjlighet att göra skärmen mer attraktiva är att kombinera skärmen med andra funktioner som sittplatser eller klätterväggar (Forsén & Mauriz, 2017). Sedan behöver påpekas att absorptionsförmågan är starkt beroende av jordarten och dess vattenmättnad. Växterna kan dock bidrar med att reglera vattenmättnaden i barriären samtidigt som det lokala klimatet påverkas av växternas transpiration. Potentialen till absorption beror på växttyp, antal blad, vinkel och dess totala area (Hosanna, 2013;

Medl et al., 2017).

Bullervall
En bullervall är en förhöjning i marken som dämpar ljudet. Den är mindre platseffektiv än en skärm och kan inte placeras lika nära bullerkällan. I större områden kan en bullervall ge många fördelar som att bevara känslan av öppenhet på platsen. Vallen kan byggas av byggavfall, har en längre livslängd och mindre underhållskostnader än vanliga bullerskärmar. Ur estetisk synvinkel kan en vall lyfta platsen genom plantering av gräs eller växter. Dessa kan dock i sin tur öka underhållskostnaderna. Nedåtgående vindars förmåga att bära med sig ljudet från ljudkällan förbi barriärer minskas tydligt vid bullervallar och minskar med vallens lutning (Hosanna, 2013).

Mark- och ytbeläggningar
Porösa markbeläggningar som exempelvis en gräsmatta absorberar ljud och kan på det sättet bidra till att minska ljudnivån på en plats. Om markytan byts ut mot ett mjukare underlag kan bullernivån minskas. Exempelvis kan en 45 m bred gräsyta minska ljudnivån med 5 till 9 dBA. Valet av beläggning kan även ha påverkan på ”markeffekten”. Det påverkas av flödesmotståndet, som är ett mått på hur lätt luft kan tränga in i ytan. Ett lägre flödesmotstånd medför minskning av ljudnivån. Om marken har komprimerats genom hög belastning uppifrån ökas flödesmotståndet och därmed ljudnivåerna (Attenborough, 2014; Forsén & Mauriz, 2017).

På grund av den intensiva användningen av ytorna på skolgårdar lämpar sig gräsytor bara i områden där barn vistas i mindre utsträckning och på ett mindre slitsamt sätt (SKL, 2015). På senare tid har markbeläggningar av gummi och plast, så kallade fallskydd, blivit ett populärt alternativ till gräsytor och sand. Dessa kan enligt Naturvårdsverket (2017a) innehålla farliga ämnen som polyaromatiska kolväten, ftalater och tungmetaller. Kemikalieinspektionen (2018) avråder skolor från att anlägga nya ytor som kan innehålla dessa ämnen. Främst när återvunnet material som exempelvis gummidäck används är osäkerheterna stora kring vilka ämnen som finns i materialet. Undersökningar på kemiska risker från exponering via förtäring, inandning och hud tyder på att halterna som regelbunden vanlig användning resulterar i, är för låga för att utgöra en risk för barn och vuxna (Wallberg et al., 2016). Däremot anses spridningen till miljön som hav, sjöar och vattendragen utgöra en miljörisk. Konstgräsplaner fylls kontinuerligt på med gummigranulat och en undersökning av granulatets spridning tyder på att en del sprids till miljön på olika vägar, antingen direkt via avloppet eller indirekt med kläder− och skor (Naturvårdsverket, 2017a).

2.5 SKOLGÅRDENS FUNKTION OCH UTFORMNING
Skolan har som syfte att utbilda barn och bidra till personlig utveckling (Bäckman, 2015). Barnens möjlighet att röra sig på egen hand mellan olika platser har minskat kraftigt de sista årtiondena. En undersökning på barn mellan sju och nio år visar att bara hälften av barnen själva tar sig mellan platserna för sina fritidsaktiviteter. I en likadan undersökning 1980 gällde det nästan alla barn (Boverket, 2015). Fysisk aktivitet kan ge positiva effekter på kondition, muskelstyrka, immunförsvar, hjärt- och kärlsystemet samt den mentala hälsan (Boverket, 2015). Ju högre kvalitet en skolgård har, desto mer spenderar barn sin

tid utomhus (Doldemann, 2015).

2.5.1 Skolgården ur barnperspektivet

Sättet barn upplever världen på skiljer sig åt från hur vuxna upplever den. Det uttrycktes av Piaget, en betydande forskare inom utvecklingspsykologin. Detta blir också påtagligt i hur barn upplever områden utomhus (Day & Midbjer, 2007).

En bra skolgård ur barnperspektivet är mycket varierad med många olika platser inom skolgården. Området närmast entréerna kan fungera som en trygg zon där personalen finns till hands. Här kan det också vara fördelaktigt att ha platser där man får en bra översikt över vad som händer på skolgården. Ett lekområde där det finns en mångfald av lekmöjligheter är av stor betydelse för hur skolgården används. Olika lekredskap, vegetationsytor, mindre och större avgränsade områden samt höjdskillnader kan bjuda in till lek. Vegetationen vid ytterområdena kan ge möjlighet till att bygga kojor och skapa egna rum. Vegetationsytor har också visat sig vara lika intressanta oberoende av kön och främjar lek över könsgränserna. Om skolgården har en begränsad yta är det främst flickor som blir mer passiva och rör sig mindre (Day & Midbjer, 2007; SKL, 2015).

För yngre barn kan utsikt mot världen utanför grindarna uppskattas. Utöver detta nämns även att det ska finnas reträttplatser där ett barn kan gå undan och vila en stund. Är utemiljön där barnen få tillbringa sin fritid inte i direkt anslutning till skolan och barnen behöver en vuxen för att ta sig till platsen, minskar aktivitetsgraden kraftigt. Barn upplever vuxnas närvaro som begränsande (Day & Midbjer, 2007; King, 2013).

Analyser av äldre barns beteende har identifierat olika arenor som barnen väljer att vistas på. Det är platser som är ”on-stage”, där man kan synas, ”back-stage”, där man är delaktig som iakttagare och ”off-stage”, där man kan få vara för sig själv. I samband med detta nämns barns delaktighet i planeringen. Om barnen får delta i planprocessen ökar barnens tillit till samhället vilket visar sig vara hälsofrämjande för dem (Day & Midbjer, 2007; SKL, 2015).

Oloumi et al. (2012) undersökte hur uteområdens design påverkar barn och identifierade ett antal kriterier som utgör barnvänlighet. Dessa var mindre skala, behaglighet, säkerhet, tillgänglighet, sällskaplighet och variation. Bland barn mellan sex och tolv år identifierades lekar som inkluderar användning av någon slags redskap och lekar i grupp som de vanligaste formerna av lek barn som barn ägnar sig åt både på skolgården och inom fritidsverksamheten. Vanliga är även fysiska lekar och låtsaslekar som kan ändras i takt med nya trender (King, 2013).

Växter med dokumenterat giftiga egenskaper ska inte planteras i barnens utemiljö. Björk och hasselträd kan på grund av att de innehåller allergener vara mindre lämpliga. Arter med spännande form och färg eller som lockar till sig insekter via pollen eller nektar kan väljas. Växterna som planteras behöver tåla brytskador. Täta buskar är uppskattade av barnen eftersom det främjar till lek som exempelvis kurragömma. Kombineras lekställningar med vegetation där det finns löst material ökar lekvärdet jämfört med en större lekställning (SKL, 2015).

Fri yta för lek
SKL (2015)lyfter att utformningen av skolgården stimulerar barnens lek i olika riktningar och erbjuder andra möjligheter än en inomhusmiljö. Hansen Sandsetter (2010), doktorand i barns lek, anser att lek kan ses som ett sätt att lära sig att överleva och identifierar ett antal aktiviteter som hon anser vara viktiga för barnens utveckling. Bland aktiviteterna ingår fysiska aktiviteter som sport, att utforska höjder, få fart, uppleva och hantera risker men även att vara ensam. Dessa aktiviteter lyfts även i SKL (2015) och därför rekommenderas att skolgården ska vara tillräckligt stor och varierad med många platser för att stimulera till dynamik i leken. Skolan ska sträva efter att erbjuda alla elever daglig fysisk aktivitet.

Rekreation
Barn har behov av att kunna dra sig undan för att vila, vara för sig själv och reflektera. För att kunna erbjuda detta lyfts i både SKL (2015) och Day & Midbjer (2007) att det ska finnas en reträttplats med restorativa kvalitéer, både i anslutning till det mer livliga området och på ett mer undanskymt område. Rekommendationerna stöds i miljöpsykologin (som i delvis beskrivs i 2.2.6). Platsen ska helst vara utformad med mycket växter och inslag av natursten och vatten. Att växtlighet har positiva effekter på barn och vuxna finns det många studier på. Exempelvis fann en studie av Hodson & Sander (2017) att en högre andel natur i den urbana miljön korrelerade med bättre studieresultat inom läsning och räkning.

Pedagogisk verksamhet
Enligt SKL (2015) handlar utomhusbaserad undervisning i första hand inte om att skapa en plats på gården för undervisning utan mer om ett förhållningssätt där både läraren och eleverna väljer plats utefter aktivitet. Varken i skollagen eller läroplanen regleras att det ska finnas förutsättningar att förflytta delar av undervisningen utomhus. Det är endast för ämnet idrott som undervisning utomhus finns med i kursplanen. Enligt kursplanen har undervisningen i ämnet som syfte att eleven utvecklar förmågan att ”genomföra och anpassa utevistelser och friluftsliv efter olika väderförhållanden och miljöer” och aktiviteter utomhus är del av undervisningsinnehållet i alla stadier. Det finns möjlighet att genomföra en del av undervisningsaktiviteterna på annan ort utanför skolans område som då är mindre tillgängliga och mer tidskrävande än om undervisningen bedrivs på skolgården (Bäckman, 2015; Skolverket, 2018). Läroplanen bygger på principen att ge pedagogen en stor frihet att utgöra välgenomtänkta pedagogiska val kring hur undervisningen ska läggas upp utifrån de lokala förutsättningarna och elevgruppen. I läroplanen (Skolverket, 2018) skrivs att skolan ska ha grund i elevernas ”utforskande och nyfikenhet” och läraren ska sträva efter att variera och anpassa arbetsformer efter de lokala förutsättningarna.

Utifrån pedagogiska teorier finns det många anledningar att lämna klassrummet. En av dem är konstruktivismen som utgår ifrån att människan konstruerar kunskap i samspel med omgivningen (Phillips & Soltis, 2010) och Deweys vidareutveckling som handlar om att lära genom erfarenhet och reflektion, det som har blivit känt som ”learning by doing” (Biesta, 2004). Ett annat pedagogiskt koncept är platsbaserat lärande som är starkt rotat i utomhuspedagogik (Fägerstam, 2012). Här lämpar sig utemiljön för att åskådliggöra delar av undervisningsinnehållet. I de naturvetenskapliga ämnena sker det på ett naturligt sätt men även i andra ämnen kan utemiljön användas. Det kan vara vid beskrivning av

årstider inom litteraturen eller för att uppleva matematiska former där omkrets kan mätas genom att krama runt träd (Fägerstam, 2012; Bäckman, 2015). Det finns ett antal pedagogiska studier som undersöker utomhusundervisningens effekter hos yngre barn och delvis hos äldre barn, men evidensen för att barn lär sig bättre utomhus än vad de gör inomhus är svag. Enskilda jämförande studier som exempelvis Fägerstam (2012) tyder på fördelar med att lägga delar av undervisningen utomhus. Även om resultaten vid kunskapsmätning bara i vissa fall blev bättre kunde positiva effekter på den sociala och emotionella dimensionen av lärandet och elevernas allmänna lust att lära sig ses. Det visade sig genom nyfikenhet, engagemang och ökat välmående hos eleverna.

Eftersom pedagogisk verksamhet kan vara väldigt varierad lyfter SKL (2015) att en variation av samlingsplatser för en hel klass, mindre elevgrupper, och fria ytor kan vara gynnsam. Det kan innebära sittmöjligheter som även kan användas för lek under rasterna. Ett skärmtak kan göra platserna mer attraktiva för att samlas i olika väderlägen. Vid anläggning av pedagogiska ytor bör tänkas på att de behöver kunna tåla lek på raster och fritid.

2.5.2 Riktlinjer för utformning av skolgårdar

Plan- och bygglagen (2010:900), PBL, reglerar att det ska finnas tillräckligt med friyta för lek och utevistelse vid bland annat skolor och fritidshem (Naturvårdsverket, 2017c). Enligt Naturvårdsverket (2017c) är lämpligheten för lek och utevistelse centrala vid planläggning och bygglovsprövning. I Skollagen (kap. 2 35 §) regleras däremot enbart övergripande att lokaler och utrustning för att tillgodose utbildningens syfte ska finnas.

PBL reglerar hur fria ytor som en skolgård ska anläggas. Enligt regleringen ska ”friytans storlek, utformning, tillgänglighet, säkerhet och förutsättningarna att bedriva ändamålsenlig verksamhet” beaktas. Friytan ska vara tillräckligt stor för att en varierande terräng med varierande vegetation ska kunna anläggas utan svårighet. Här nämns även att ljus- och skuggförhållandena samt ljudkvalitén ska vara goda. Storleken och utformningen ska inte heller ge upphov till risk för ökat slitage. För barn upp till årskurs sex ska friytan befinna sig i direkt anslutning till skolbyggnaden så att barnen kan förflytta sig på egen hand mellan platserna. För elever mellan årskurs sju och nio ska friytan planeras i nära anslutning så att eleverna själva kan förflytta sig mellan skolbyggnaden och friytan.

Kommunerna rekommenderas att själva ta fram riktlinjer och policys över hur en friyta ska utformas utifrån kommunens förutsättningar. En uppföljning av Boverket har kommit fram till att allt fler kommuner har skapat riktlinjer för hur en friyta ska utformas. Boverket rekommenderar en yta på 30 m^2 per barn för grundskolor och totalt sett minst 3 000 m^2 för att säkerställa förutsättningarna för barnens lek och sociala samspel. Enligt PBL ska en friyta prioriteras framför parkerings- och angöringsytor. En ytterligare faktor som nämns är att slitaget ökar ju mindre området är (SKL, 2015). Samtidigt saknas forskning som ger stöd för en exakt kvot (yta per barn) (Kylin, 2015).

2.5.3 Riktlinjer för buller på skol- och fritidsgårdar

Naturvårdsverket (2017c) har tagit fram riktlinjer för buller från väg- och spårtrafik, vilket

är den vanligaste källan till förhöjda bullernivåer på skolgårdar. Riktvärdena är inte bindande men vägvisande och redovisas i tabell 4. För nya skolgårdar valdes något strängare värden än för äldre skolgårdar.

Tabell 4. Riktvärden för buller från väg- och spårtrafik (Naturvårdsverket, 2017c). Värdena anger frifältsvärde.

		L_{ekv} (dygn) [dBA]	L_{ekv} (max) [dBA]	L_{max} (skoltid) [dBA]
Ny skolgård	Områden som är avsedda för lek, vila och pedagogisk verksamhet	50	70	-
	Övriga vistelseytor	55	-	70
Äldre skolgård	Områden som är avsedda för lek, vila och pedagogisk verksamhet samt övriga	55	-	70

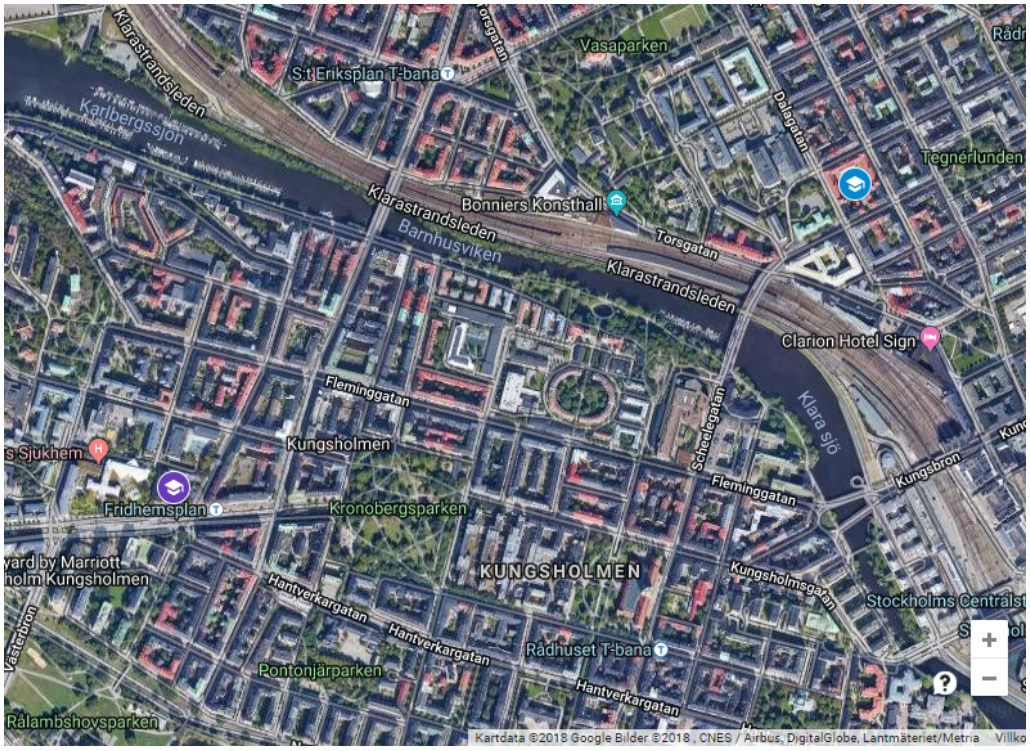
Med maximal ljudnivå under skoltid menas den nivå som inte får överskridas mer än fem gånger under en timme under ett årsmedeldygn. Detta gäller under tiden då skolgården nyttjas (till exempel mellan kl. 7.00 och kl.18.00). För äldre skolgårdar tillämpas samma gränsvärden som för bostäders uteplatser. Underskrids dessa anses platsen ha god miljökvalitet med avseende på ljud. Miljöbalken (2 kap. 7 §) reglerar att åtgärder ska vidtas om nivåerna överskrids. För nya skolgårdar behöver skolans placering ses över medan möjligheten att minska bullret från källan ska undersökas för befintliga skolgårdar (Naturvårdsverket, 2017c).

När det gäller buller från industri och annan verksamhet tillämpas samma gränsvärde för ekvivalent ljudnivå som för bostäder på 50 dBA, ekvivalent ljudnivå mellan kl.06.00 och kl.18.00 (Naturvårdsverket, 2015).

3 MATERIAL

För att få en bättre uppfattning om hur ljudmiljön på skolgårdar som är inkluderade i bostadskvarterer ser ut undersöktes två skolgårdar mer ingående. Valet av skolgårdar som undersöktes gjordes utifrån kriterierna (1) att skolan har innerstadsläge där skolbyggnaden ligger integrerat i kvarteret och (2) är till för elever från årskurs ett till nio.

Inledningsvis valdes tre skolor som ansågs vara representativa för de befintliga innerstadsskolorna. En av skolorna valdes i ett senare skede bort på grund av byggbuller som försvårade mätningarna. Skolorna som undersöktes var Adolf Fredriks Musikklasser i Vasastan och Sverigefinska skolan på Kungsholmen (se Figur 5).



Figur 5. Karta över Stockholms innerstad som visar positionen av de två undersökta skolorna, Adolf-Fredrik-musikklasser (blå) och Sverigefinska skolan (lila). Källa: MyMaps (2018).

3.1 ADOLF FREDRIKS MUSIKKLASSER

Skolan är belägen i bostadskvarteren i Vasastan med två närliggande parker: Tegnérlunden och Vasaparken. Då det saknas grönområden på skolans tomt fungerar byggnadens innergård som skolgård. Skolgården från ovan sett visas i figur 6.

Byggnaden har fått en grön klassning av Stockholms Stad (2018b) som betyder att byggnaden har ett ”högt kulturhistoriskt värde” och därmed är särskilt värdefull från historisk, kulturhistorisk, miljömässig eller konstnärlig synpunkt. Innergården består av en kvadratisk asfalterad yta, vars centrum utgörs av en basketbollsplan som består av två korgar och linjer på marken som markerar spelplanen (se figur 6). På asfalten har även flera andra spelplaner ritats som används till allt från vanliga hopplekar till lekar med boll. På den

Figur 6. Karta över Adolf Fredriks Musikklassers skolgård Källa: MyMaps (2018)

vänstra sidan finns en yta som består av fallskydd, där mindre trädstammar utgör lekredskap på ena halvan och där det på den andra halvan finns en mer komplex klätterställning. Det nordostliga hörnet har tre bänkar och avgränsas med fyra stora fyrkantiga växtkrukor. Här består marken av småstenar och ett mindre antal växter är planterade. Sedan finns även tre bänkgrupper längs med vänstra långsidan. Skolgården är väldigt öppen med en plan yta då skolgården används som samlingsplats för högtider och uppvisningar (Bruun, 5e september&22 november, 2018).

I början av 2000-talet då fick barn i åk 5 fick diskutera hur de skulle vilja ha sin skolgård kom liknande förslag upp som beskrivs i Day & Midbjer (2007) med träd, kullar och kojor. Initiativet resulterade i installationen av klätterställningen på skolgårdens västra sida (Mattson, 31e oktober, 2018).

3.2 SVERIGEFINSKA SKOLAN

Skolan ligger vid en tunnelbanestation och Drottningholmsvägen som är mångtrafikerad och där många busslinjer passerar. En bild över skolgården visas i Figur 7.

Figur 7. Karta över Sverigefinska skolan och dess skolgård Källa: MyMaps (2018).

Byggnaden har klassats som byggnad med ”synnerligen högt kulturhistoriskt värde” av (Stockholms Stad, 2018b). I närheten finns två parker, Kronobergsparken och Rålambshovsparken, som dock båda bara kan nås genom att korsa ett flertal stora gator (Figur 5). Två busstationer som trafikeras med hög turtäthet befinner sig längs med Drottningholmvägen (figur 7; SL, 2018). Skolgården skyddas med en transparent bullerskyddsskärm som är 2,5 m hög och sträcker sig längs med hela sidan av gården som angränsar till Drottningholmsvägen (Roth, 2018). Skärmen visas i Figur (8).

Skolgården lutar något i sydvästlig riktning och de två ingångarna till skolan är de högsta punkterna på skolgården. Den största delen av skolgården utgörs av betong. Längs med den västra sidan av skolbyggnaden finns ett avgränsat område som är avsedd för dagisbarn. I mitten av skolgården finns en fotbollsplan med en grön matta som fallskydd. Den sydliga delen av skolgården utgörs av olika lekredskap som en gunga, en rondell och olika klätterställningar. Runt klätterställningarna finns träd som ger skugga under sommartid och marken utgörs av lös grusblandad sand.

Figur 8. Bild som visar bullerskyddsskärmen längs med skolgårdens sydliga sida. Foto: Hanna Leidholdt.

4 METOD

Syftet med examensarbetet var att ta framvad som är en god ljudmiljö på en skolgård och ge förslag på åtgärder som kan appliceras för att skapa en god ljudmiljö (se 1.1). Då frågan om ljudmiljön på skolgårdar hittills är outforskad och många ämnesområden berörs bestod majoriteten av examensarbetet av att sammanställa kunskapsläget i en litteraturstudie.

Det blev tydligt att skolgårdar uppfyller ett flertal funktioner och att vad som kan anses som en god ljudmiljö skiljer sig mellan dessa. Därför formulerades kriterier för vad som utmärker en bra ljudmiljö för lek, rekreation och pedagogisk verksamhet. Utifrån litterturstudien diskuterades även akustiska verktyg utifrån deras lämplighet i skolmiljö på nordliga breddgrader.

Sedan undersöktes två skolgårdars ljudmiljö genom mätning och observation under användning av undersökningsmallen av Brown & Muhar (2004). Avslutningsvis undersöktes hur ljudet sprids mellan olika positioner på skolgården genom modellering i beräkningsverktyget CATT-Acoustic. Här undersöktes även möjliga utformningar av ett utomhusklassrum.

4.1 LITTERATURSTUDIE

Litteraturstudien inleddes med en kartläggning av vilka områden som är relevanta. För att få bredare kunskap och förståelse studerades grundläggande referenslitteratur som fanns tillgänglig via Uppsala Universitetsbibliotek. Här valdes litteratur inom akustik, psykoakustik och rumsakustik samt ett antal rapporter och böcker om barnens utemiljöer. Informationen från grundlitteraturen kompletterades med resultat från forskning inom området. Här användes publicerade forskningsartiklar som hittades i artikeldatabaserna Web of Science, Scopus, Pubmed och Google Scholar. Akustisk design är ett nyare koncept och här användes information från ett antal forskningssammanställningar som exempelvis Hosanna (2013).

4.2 KRITERIER FÖR VAD SOM ÄR EN BRA LJUDMILJÖ

Exakta kriterier för hur ljudmiljön på en skolgård behöver se ut för att vara gynnsam för barn saknas. Därför användes sammanställningen om hur barn upplever och använder utemiljöer som gjordes inom ramen för detta arbete. Det framkom att skolgården kan delas in i områden som ska uppfylla olika funktioner: lek, rekreation och pedagogisk verksamhet. Utifrån forskningsläget kring hur barn och deras kommunikation påverkas av ljud i sin omgivning gjordes en uppskattning av vilka akustiska egenskaper som kan anses vara gynnsamma för barn i de olika funktionsområdena. Här valdes ett antal rumsakustiska parametrar för att kunna kvantifiera hur bra ljudmiljön är.

4.3 DESIGNVERKTYG OCH ANDRA ÅTGÄRDER

Teorier om barnens utemiljöer och de identifierade funktionerna en skolgård ska uppfylla sammanvägdes med den förväntade ljudförbättrande effekten utifrån tidigare undersökningar. På det sättet diskuterades vilka designverktyg som kan vara lämpliga att använda i barnens miljö och således vid en skolgård i stadsmiljö.

4.4 BEDÖMNING AV LJUDMILJÖN I DE TVÅ INNERSTADSSKOLORNA

Med hjälp av stickprovsmätningar och observation under användning av bedömningsmallen för ljudlandskap av Brown & Muhar (2004) undersöktes ljudmiljön på Adolf Fredriks Musikklassers- och Sverigefinska skolans skolgårdar.

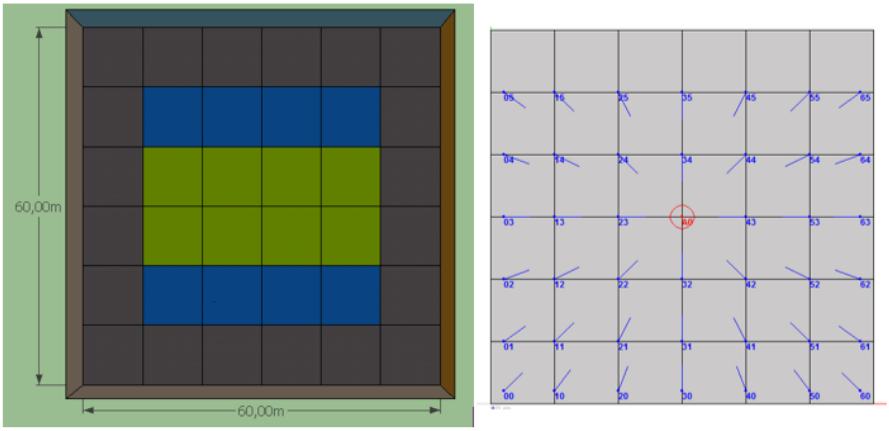
Mätning av den ekvivalenta och maximala ljudtrycksnivån i dBA genomfördes i 30 s perioder på olika platser på skolgården både när skolgården var tom och under raster där ett stort antal elever vistades på skolgården samtidigt.

4.5 MODELLERING AV DEN AKUSTISKA MILJÖN I EN SKOLGÅRD

Beräkningsverktyget (CATT-Acoustic, 2011a) användes för att modellera hur spridningen av ljud på skolgården varierade med avseende på efterklangstid, ljudförstärkning och STI.

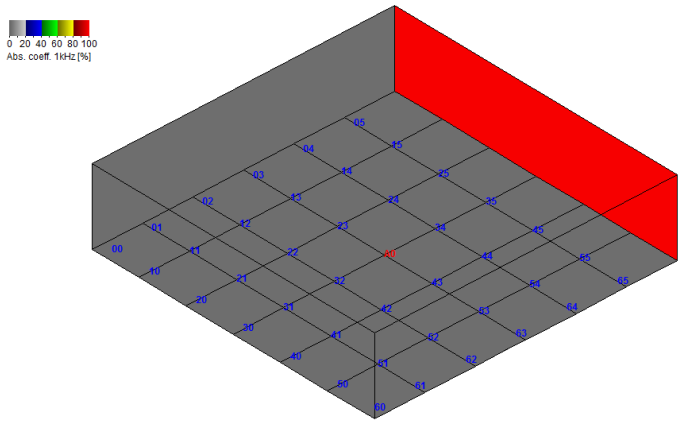
4.5.1 Modell för skolgården

Med hjälp av modelleringsverktyget Google Sketchup (Trimble, 2018) skapades en konceptuell tredimensionell modell som ska efterlikna Adolf Fredriks Musikklassers innergård. Modellen byggdes som ett stort kvadratisk rum med måtten: 60 m x 60 m x 15 m. Modellen ovanifrån sett visas i Figur 9.



Figur 9. Konceptmodellen i Google Skechup (vänster) och i Catt-Acoustic (höger) där ljudkällan A0 och mottagarpunkterna 00 till 65 visas.

Bottensidan och tre av väggarna tilldelades låga absoptionskoefficienter (betong respektive fasad, se tabell A.1). Den fjärde sidan och taksidan tilldelades en väldigt hög absorptionskoefficient (himmel, se tabell A.1) så att 99 % av ljudet som träffar på den sidan inte reflekteras. I figur 10 visas den absorberande sidan i röd färg.



Figur 10. Absorptionskoeffcienter i modellen. Figuren visar fördelningen av absorptionen över rummet.

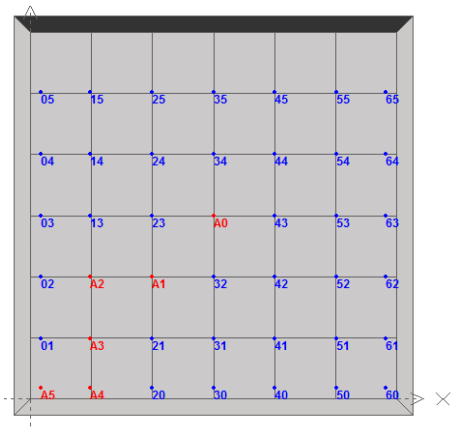
Det här sättet att isolera modellen användes i CATT-Acoustic vid modellering av komplexa rum. Här modelleras bara en del av rummet för att begränsa beräkningsmängden. Randvillkoren för modellen är att ytor som gränsar till delarna som inte ingår i modelleringen in som en yta med absolut absorption. Rekommendationen bygger på antagandet att en ljudvåg som träffar ytan lämnar den modellerade delen av rummet utan att reflekteras tillbaka (James, 2016). Samma antagande användes för att isolera innergården. Reflektioner från eventuella husfasader utanför modellen antogs inte spridas tillbaka in på skolgården.

Inledningsvis genomfördes en känslighetsanalys för att undersöka modellens validitet. Här undersöktes hur olika randvillkor påverkar parametrarna som används för att undersöka den akustiska miljön. En sammanställning av känslighetsanalysen kan ses i Bilaga B.

4.5.2 Modellering av parametrarna vid olika positionering på skolgården

Här undersöktes hur parametrarna efterklangstid, ljudförstärkning och STI beror av positioneringen för ljudkällan och mottagaren på skolgården.

Beräkningen genomfördes för sex positioner av ljudkällan (A0, A1, A2, A3, A4 och A5) och för varje position beräknades efterklangstid T_{20}, ljudförstärkning och STI för samtliga mottagare vars positioner utgör ett rutnät med 10 m avstånd från varandra (Figur 11).



Figur 11. Bild över positionen av ljudkällor (röd) och mottagare (blå).

Observera att punkterna 33, 22, 12, 11, 10 och 00 har samma position som ljudkällorna. Värdena vid alla mottagarpunkter beräknades för en ljudkälla i taget. Då ljudkälla och mottagare inte kan befinna sig på samma ställe uteblev respektive mottagarpunkt vid beräkning.

4.5.3 Efterklangstid

Resultaten för efterklangstid sammanställdes i Tabell 6 där minsta värde, största värde, median och medelvärde visas, för varje position av ljudkällan för sig och som medelvärde för alla värden.

För att visualisera resultatens spridning skapades även ett lådagram som visar spridningen av beräkningsresultaten för mottagarpunkterna för varje position av ljudkällan för sig (se Figur 15). Ett lådagram är ett sätt att visualisera en spridning av en större datamängd och skapas genom att sortera datamängden från minst till störst. Värdet som befinner i i mitten på datamängden visas i form av ett sträck i diagrammet som utgör mitten av en låda som visar intervallet som 50 % av värdena befinner sig inom. Det största och minsta värdet visas genom sträck ovanför och under lådan. Värden som skiljer stark från de övriga värdena redovisas med kryss.

Mottagarpunkternas avstånd till källan beräknades och parametrarnas avståndsoberoende visas i ett sambandsdiagram (Figur C.1).

4.5.4 Ljudförstärkning

Ljudförstärkning anger rummets bidrag till ljudenergin på 10 m avstånd. Resultatet för ljudförstärkning vid 10 m avstånd sammanställdes i Tabell 7. För A0 och A1 användes

medelvärden för alla punkter som befinner sig 10 m ifrån ljudkällan. För de övriga skapades trendlinjer för värdena mellan 8 och 13 m ifrån ljudkällan och motsvarande värde vid 10 avstånd beräknades. Avslutningsvis sammanställdes hur parametern ljudförstärkning ändras med ökande avstånd från ljudkällan (Figur B.3). Parametern ljudförstärkning G beräknades som beskrivits i avsnitt 2.4.3 genom att ta logaritmen av kvoten mellan den beräknade ljudenergin i modellen och den teoretiska ljudenergin i frifält vid 10 m avstånd. En trendlinje som visar hur ljudförstärkningen skulle ha minskat i frifält har därför lagts in i figuren.

4.5.5 Speech Transmission Index

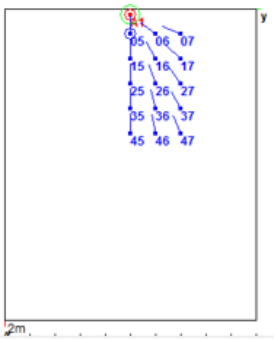
STI beräknades i modellen med en bakgrundsnivå på 35,8 dBA och en kvinnlig röst som talande röst. Bakgrundsnivån beräknades frekvensvis och visas i Bilaga A, figur A.2. Resultaten sammanställdes i ett låddiagram där spridningen av STI för varje position av ljudkällan i taget visas som en ”låda” (se figur 16). Resultatens fördelning sammanställdes i Tabell 2 som visar minsta och största värde, variationsbredd, median och medelvärde. Avslutningsvis skapades ett sambandsdiagram som visar hur STI förändras med ökande avstånd för alla positioner av ljudkällan i ett och samma diagram.

4.6 MODELLERING AV MÖJLIGA UTFORMNINGAR FÖR UTOMHUSKLASSRUM

Trots att delar av den pedagogiska verksamheten utomhus endast utgörs av traditionell undervisning där läraren talar och eleverna lyssnar rekommenderas att det finns en plats för samling i helklass på skolgården. Platsen ska ge läraren möjlighet att ge instruktioner till en större grupp på en gång och ökar därmed förutsättningarna för utomhusundervisning.

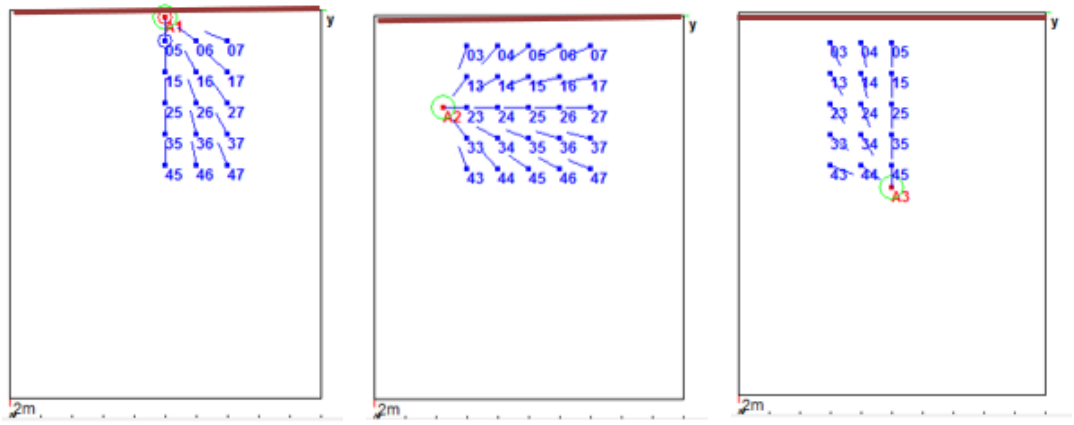
Undersökningsuppsättningen skulle därför efterlikna just en situation där en lärare talar och eleverna står framför. Undersökningen tittade på hur förståeligt lärarens tal är vid olika avstånd mellan lärare och elever. Sedan undersöktes hur kombinationen av reflekterande väggar och öppna sidor i förhållande till läraren och eleverna påverkar STI.

Modellen för undersökningen är mindre än i den tidigare undersökningen (20 m x 50 m och 5 m höjd). Mottagarpunkterna som ska föreställa eleverna befinner sig inom ett område på 8 x 8 m. Ljudkällan som ska föreställa läraren befinner sig 1,5 m framför eleverna. I den första undersökningen Fall 0 som visas i figur 12 är alla sidor öppna, i Fall 1 (se Figur 13) finns en väg och i fall 2 till 4 ökas antalet väggar (se Figur 14).



Figur 12. Schematiska ritning för uppställningen för beräkningarna i Fall 0, utan väggar ovanifrån sett. I figurerna ses ljudkälla (röd prick), mottagarpunkter (blå prick) och de avgränsande sidorna av modellen (grå linje). Dessa sidor antas vara öppna och absorberar allt ljud som träffar på dem.

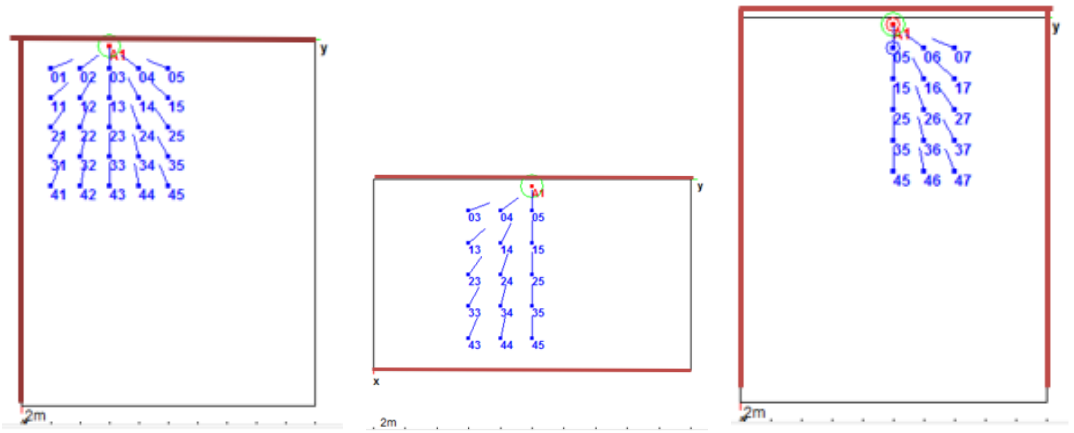
För alla fall beräknades STI i de 25 representativa mottagarpunkter som är utsatta som ett rutnät med 2 m avstånd ifrån varandra. I de fall där rummet är symmetriskt beräknades enbart en halva av mottagarpunktern för att minska beräkningstiden. De utelämnade punkterna antogs ge samma resultat som sina spegelvända motsvarigheter. Så exempelvis beräknades alla punkter fram till 27 och sedan antogs punkt 33 ha samma värde som punkt 13.



(a). Fall 1A (b). Fall 1B (c). Fall 1C

Figur 13. Schematiska ritningar för uppställningar för beräkningarna i Fall 1A till 1C ovanifrån sett. I figurerna ses ljudkälla (röd prick), mottagarpunkter (blå prick) och en reflekterande vägg (röd linje). De övriga sidorna (grå linje) antas vara öppna och absorbera allt ljud. I fall 1A och 1C beräknades enbart en halva rummet då speglade värden förväntas vara lika

.



(a). Fall 2 (b). Fall 3 (c). Fall 4

Figur 14. Schematiska ritningar för uppställningar för beräkningarna i Fall 2 till 4 ovanifrån sett. I figurerna ses ljudkälla (röd prick), mottagarpunkter (blå prick) och de reflekterande väggarna (röd linje). De övriga sidorna (grå linje) antas vara öppna och absorbera allt ljud. Även här beräknades enbart halva rummet då speglade värden förväntas vara lika.

5 RESULTAT

Resultatet från tidigare studier visar att för höga ljudnivåer i skolans miljö resulterar i att barn presterar sämre, upplever sig störda och blir även mer känsliga för höga ljudnivåer senare i livet. Barnens inlärning och kognitiva förmåga påverkas negativt när de exponeras för buller och efter att bullret har upphört. Om det störande ljudet kommer från tal är påverkan i många fall större än om ljudet liknar vitt brus eller kommer från flyg- eller vägtrafik. Barn anger själva att andra barn är den största störande ljudkällan, följd av flyg-, fläkt-, tåg- och vägbuller.. Skolgården är den plats i skolmiljön där barn är som mest bullriga och där exponeringen från trafikbuller är som störst.

Av litteraturstudien framgår att skolgården uppfyller ett flertal funktioner för barn. Skolgården används för fysiska samt för sociala lekar i stora och små grupper, för mindre fysiska men kommunikativa lekar, för självständig lek och rekreation där barnet drar sig undan till en mer lugn plats. Här sker lärande utan styrning av en vuxen, men den kan även användas för lärarledda aktiviteter. Av den anledningen skiljer sig vad som utgör en bra ljudmiliö mellan olika platser på skolgården.

I både Naturvårdsverket (2017c) och SKL (2015) lyfts lek, rekreation och pedagogisk verksamhet som funktioner som varje skolgård ska uppfylla och dessa tre funktioner undersöks närmare.

5.1 KRITERIER FÖR EN BRA LJUDMILJÖ PÅ SKOLGÅRDENS OLIKA DELAR

Här identifieras vilka aktiviteter och kvalitéer som kan kopplas till de tre funktionsområdena, lek, rekreation och vila. Möjliga parametrar som kan användas för att beskriva ljudmiljön diskuteras också.

5.1.1 Område för lek

Aktiviteter som barn kan ägna sig åt på en friyta är olika sorters organiserade aktiviteter som bollspel och lekar i större och mindre grupper. Springande och tillrop är ofta centrala delar i lekarna. På många skolgårdar installeras även olika klätterställningar och andra lekredskap som barn använder sig av både enskilt och vid lek i grupp.

För många lekar är förståelse av tal över längre avstånd viktig. Det är främst barn med mindre utvecklad hörsel än sina lekkamrater som kan få negativa effekter av en låg talförståelse (se avsnitt 2.2.2 och 2.2.3). För att utrymmet ska vara attraktivt för användning i samband idrottsaktiviteter samt vara lämplig ur säkerhetssynpunkt behöver taltydligheten vara så hög att instruktioner och annan information kan ges på avstånd av 10 m.

Då många av aktiviteterna är särskilt ljudalstrande på hårda ytor som spring och användning av bollar och hopprep kan en anpassning av både utrustning och markbeläggning leda till att lekarna inte är lika högljudda. Mjuka underlag med hög absorption rekommenderas därför på den fria ytan.

Vid lekar kommer barn att utbyta enkla budskap på långa avstånd. I Davis et al. (2006) beskrivs att både bakgrundsljudet och efterklangstiden påverkar den som ger budskapet.

Ju högre, mer varierande och mer likt tal bakgrundsljudet är och ju längre efterklangstiden är desto mer kommer barnet att anstränga rösten och höja ljudnivån (lombardeffekten). Pågår flera lekar på samma yta samtidigt kommer rösterna möjligtvis vara särskilt störande för varandra och lombardeffekten kan leda till väldigt höga ljudnivåer. Därför föreslås att lekområdet utformas på ett sådant sätt att lekgrupperna inte påverkar varandra så att rösterna höjs. Det kan göras genom indelning i delområden med hjälp av fysiska hinder som samtidigt skärmar av en del av ljudet. I en sådan situation kommer rösterna inte behöva höjas för att överrösta de andra lekgrupperna. En indelning i delområden eller mindre rum kan även vara till fördel eftersom att kommunikationen begränsas till att respektive område. På det sättet blir barnen möjligtvis mindre benägna att försöka kommunicera över långa avstånd och behöver inte heller höja rösten. En vidare möjlighet är också att begränsa antalet barn som vistas ute samtidigt. Bedömning behöver dock först göras kring vilken ljudnivå ett visst antal barn i förhållande till ytan resulterar i.

Ju bättre talförståelse som råder på området desto mindre är behovet att av att höja rösten hos barnen samtidigt som talet kommer att vara mer förståeligt för barnen som befinner sig i närheten men inte deltar i samma aktivitet och då kommer att upplevas som mer störande. Maskering är alltså fördelaktig i detta sammanhang.

Den första förutsättningen för en bra ljudmiljö är följaktligen en låg bakgrundsnivå på friytan. Ljudet bör inte upplevas som störande och bör inte heller försvåra kommunikation. I tabell 1 framgår att en ljudmiljö på 70 dB enbart tillåter samtal med hög röst på 1 m avstånd och att det från under 55 dBA är möjligt att föra samtal med normal röststyrka. Samtidigt kunde lombardeffekten som leder till höjning av rösterna redan konstateras vid 40 dBA (Garnier et al., 2010), en ljudnivå som är orimligt att sträva efter i stadsmiljö. Gränsvärdet för buller från väg- och spårtrafik ligger på en ekvivalent ljudnivå på 55 dBA, samtidigt som ljud från barnen själva även utgör en ljudkälla som ligger på betydligt högre nivåer och flest barn känner sig störda av.

Förutom bakgrundsljud är efterklangstid en del av ljudmiljön som har stor påverkan på möjligheten att förstå tal. Gränsvärden som tillämpas vid idrottshallar kan på grund av liknande användning och aktiviteter som på skolgårdar utgöra en bra grund för vad som borde uppfyllas på en skolgård. För att uppnå en godtagbar nivå i en idrottshall begränsas efterklangstiden (T_{20}) till 1,2 s enligt den Svenska Standarden för Skolor (Ljudklass C, (SS 25268:2007+T1:2017, 2018). Då skolgårdarnas volym är stor kan det i vissa fall vara svårt att nå en så kort efterklangstid. I de fallen bör inte heller en längre efterklangstid råda än den längsta som tillåts enligt ljudklass D (2 s). Eftersom att kombinationen av efterklangstid och bakgrundsbuller både skapar en återkopplingseffekt som leder till ännu högre ljudnivåer skapade av barnen samt leder till ett flertal negativa effekter på hälsan är efterklangstiden möjligtvis den parametern som har störst betydelse för barn. En kort efterklangstid bör därför prioriteras.

Då många av aktiviteterna barn ägnar sig åt på friytan kräver utbyte av korta budskap kan därför ett STI som möjliggör överföring av ”enkla meddelanden med vardagliga ord” på längre avstånd (förslagsvis 10 m) vara ett rimligt mått (se 2). Enligt klassificering av STI motsvarar detta ljudkraven för H (0,46). Då talet inte ska vara uppfattbart på längre

avstånd är det inte önskvärt med en hög talförståelse. Begränsas STI till att vara ljudklass D eller sämre kommer talförståelsen inte vara hög och i de flesta fallen mindre än så på längre avstånd än 10 m.

Parametern klarhet anses inte ha samma betydelse på lekområdena. Klarhet som anger hur mycket av ekot eller efterklang som kommer att uppfattas som en del av talet och då kan antas förstärka talförståelsen. För att minska lombardeffekten ska talljudet inte förstärkas så att det kan störa andra lekgrupper, därför föreslås en låg ljudförstärkning. En bra ljudmiljö på friytan för lek kan sammanfattningsvis beskrivas med följande kriterier:

- Efterklang T_{20} under 1,2 s och maximalt 2 s i undantagsfall
- STI mellan 0,46 och under 0,66 på 10 m avstånd
- Bakgrundsljud under 55 dBA ekvivalent och 70 dBA maximal ljudnivå
- Låg ljudförstärkning
- (Mjuk markbeläggning)
- (Begränsat antal barn per kvadratmeter yta)

Ljudförstärkning och klarhet kan vara mindre prioriterade, dock kan en ljudförstärkning som avviker starkt från 0 vara mindre gynnsam.

5.1.2 Rekreation

Utifrån teorin om barnens utemiljöer som beskrivs i 2.5.1 finns det ett behov av att vara ”off stage” ibland, alltså mer avskild från de stora lekgrupperna. Här ska barn kunna ägna sig åt vila, rekreation och reflektion utan att utsättas för för många intryck och höga ljudnivåer. I 2.5.1 lyfts även teorin om de olika typerna av uppmärksamhet (Kaplan, 1989, refererad till i Garnier et al., 2010). En plats för rekreation kan bidra till återhämtning från att ha behövt hålla hög koncentration och prioritera bland många intryck genom att vara fri från många intryck. På det sättet skapas förutsättningar att den icke-viljestyrda spontana uppmärksamheten väcks. För att det ska fungera ska det endast finnas ett fåtal intryck som blinkande ljus eller fågelkvitter. Naturens ljud har visat sig leda till att en plats uppfattas som mer positiv vilket skulle kunna leda till att fler barn söker sig till platsen. En sådan plats tros även verka lugnande för barn (Grahn & Stigsdotter, 2010).

Om både ljud från utanför skolans område samt ljud från andra delar av skolgården är begränsade och så jämna och lika brus som möjligt minskas risken att dessa yttre ljud påkallar barnens uppmärksamhet. En ytterligare del i om man känner sig störd av buller är om källan syns. Därför är det en fördel om området placeras på en tystare del av skolgården och avskiljs genom akustiska och även optiska hinder från både ljud utanför skolan och områden där barn leker högljutt. Det krävs en ljudnivå under 55 dB för att möjliggöra normal talkommunikation över korta avstånd hos vuxna. Då en del av de yngre barnen inte har en lika utvecklad förmåga att filtrera bort störningsljud anses på samma sätt som Naturvårdsverket (2017c) att ljudnivån inte bör överstiga 50 dB som ett resultat av yttre ljud. Ljud från andra barn på skolgården kommer förmodligen leda till något

högre nivåer. Det är dock svårt att mäta eller uppskatta.

Växter och ytor med jord har en absorberande förmåga i framförallt i talets frekvensområde och kan då minska talets bidrag till ljudnivån samtidigt som lokalisering av ljud underlättas. Växter kan även bidra med önskade ljud som prasslande löv och kan locka till sig fåglar. På det sättet kan vegetation ur akustisk synvinkel både fungera dämpande och bidra med naturliga önskade ljud.

En tyst plats med hög andel absorberande ytor kan skapa förutsättningar för att tal och andra ljud ska höras tydligt även över långa avstånd. Det kan medföra att även tysta samtal hörs på längre avstånd, vilket kan upplevas som störande. Därför är en begränsad andel bakgrundsbrus önskad. Enligt Arbetsmiljöverket (2005) bedömning möjliggör en ljudnivå under 40 dBA taluppfattbarhet på nära håll för hörselskadade och personer med annat modersmål, vilket stämmer in för en del elever. Samtidigt kan det vara en fördel om bakgrundsnivån inte heller understiger 40 dBA både som ett resultat från yttre källor där själva skolgården är tom och när skolgården är fylld med elever. En väldigt låg ljudnivå möjliggör att tal på långa avstånd som annars skulle ha varit maskerade hörs bra och stör barnet på den tysta platsen.

I den här delen av skolgården kan även mindre hinder som en låg skärm eller en vall bidra med ljudabsorption. Buskar eller andra växter som inte har så stor ljudabsorption men skymmer sikten och bistår med låg diffusion av ljudet kan också vara värdefulla och bidra till upplevelsen av att vara ”off-stage”. En bra ljudmiljö för rekreation kan sammanfattningsvis beskrivas med följande kriterier:

- Efterklang (T_{20}) under 0,5 s
- Bakgrundsljud som är så jämnt och så lika vitt brus som möjligt under 50 dBA
- Låg ljudförstärkning
- Övervägande naturliga ljud som fåglar och vegetationsljud
- Hög andel ytor med hög absorption och diffusion

5.1.3 Pedagogisk verksamhet

Aktiviteter inom ramen för undervisning som kan genomföras utomhus kan ha en väldigt stor variation. Det kan vara frontalundervisning där läraren står framför sin klass och talar, det kan vara aktiviteter där eleverna är indelade i mindre grupper där informationsutbyte sker, som tipspromenader och samtalspromenader (”walk and talks”) eller aktiviteter där eleverna jobbar enskilt. Enligt SKL (2015) handlar det inte om att skapa ett avgränsat område som enbart är avsett för pedagogisk verksamhet utan skolgården föreslås att anpassas så att den erbjuder platser där pedagogisk verksamhet kan bedrivas. Det är fördelaktigt för undervisning utomhus att ha en plats där en helklass kan samlas och tala utan svårigheter och ett flertal mindre platser där man kan diskutera ostört eller arbeta med någon uppgift. Utöver det är det en fördel om platsernas utformning och egenskaper varierar för att gynna olika pedagogiska aktiviteter utomhus.

I avsnitt 2.2.5 framgår att inlärnings- och prestationsförmågan hos barn är känslig för störande ljud. Det gäller främst när det störande ljudet är tal. Särskilt barn med nedsatt hörsel, mindre utvecklade kognitiva funktioner eller sämre automatisering påverkas negativt. I klassrum begränsas bakgrundsnivån på grund av installationer till 30 dBA (SS 25268:2007+T1:2017 (2018)), en nivå som är svårt att nå utomhus i stadsmiljö.

Barnen själva uppger att ljud från andra barn är det som upplevs som mest störande (KI, 2013, se avsnitt 2.2.2). I ett klassrum finns ofta en stor andel reflekterande ytor och många aktiviteter bygger på att kunna skapa bra förutsättning för god talförståelse mellan de olika sidorna av klassrummet. Utomhus förväntas bara en mindre del av undervisningen handla om talkommunikation över långa avstånd och majoriteten vara eget arbete och grupparbeten. Detta är olika anledningar till att bakgrundsnivån kan vara högre utan att påverka barn negativt i betydande utsträckning. En begränsad bakgrundsnivå på skolgården kan möjligen ses som en del i vad som rekommenderas. Fokus kan läggas på att begränsa ljudet från barnen.

Pedagogisk verksamhet kan begränsas till tider utanför rasterna så att lekar inte kan pågå samtidigt som barn ska genomföra skoluppgifter. Samlingar i storgrupp kan hållas korta och förläggas till en plats som ger bra talförståelse på något längre avstånd. En bra ljudmiljö på ytorna som ska ge förutsättningar för pedagogisk verksamhet kan sammanfattningsvis beskrivas med följande kriterier:

- Efterklang (T_{20}) under 0,5 s
- Hög STI (mer än 0,58)
- Bakgrundsljud under 50 dBA och som är så jämnt och så lika vitt brus som möjligt
- Hög klarhet
- Hög ljudförstärkning på en plats som kan göras lämplig för att tala ifrån
- Hög andel absorberande/diffusa ytor

Avslutningsvis sammanställs kriterierna i Tabell 5.

Tabell 5. Sammanställning över hur en god ljudmiljö kan beskrivas i skolgårdens olika delar.

	Lek	Rekreation	Pedagogisk verksamhet
Efterklang	1,2 s (max 2 s)	0,5 s	0,5 s
Bakgrundsnivå L(ekv)	55 dBA	50 dBA (så jämn som möjligt)	50 dBA (så jämn som möjligt)
Bakgrundnivå L(max)	70 dBA	-	-
STI på 10 m avstånd	0,46 – 0,66	-	0,58
Ljudförstärkning	Nära 0	Under 0	Hög vid talarposition
Klarhet	-	-	Hög
Övrigt	Mjuk markbeläggning Begränsat antal barn på m^2	Hög diffusion/absorption	Hög absorption i 125 Hz till 1 kHz

5.2 LÄMPLIGA DESIGNÅTGÄRDER

Tidigare studier på designåtgärder och verktyg med akustisk effekt har fokuserat på hur väl de minskar ljud från väg- och spårtrafik. Nedan analyseras vilka av dessa designverktyg som är lämpliga i skolmiljön och vilka begränsningar som finns med att använda dessa. Stycket är uppdelad efter vilka åtgärder och verktyg som kan användas för att begränsa ljudspridningen från ljudkällor utanför skolgården och vilka åtgärder som lämpar sig innanför skolgården..

5.2.1 Åtgärder som begränsar buller från yttre ljudkällor

Användning av byggnader är det mest effektiva sättet att skärma av buller som kommer från utanför skolområdet. En byggnad transmitterar inget ljud och endast ljudet som sprids över byggnaden bidrar till bakgrundljudnivån på gården. För låga byggnader kan ljudabsorberande ytor på taket som exempelvis ett sedumtak minska ljudet som sprids till skolgården.

Ett annat alternativ är en bullerskärm, vilken är platseffektiv och kan skärma av buller på ett effektivt sätt. Ur barnperspektivet kan skärmen även utgöra en betryggande avskärmning av skolan från omgivningen, vilket bidrar till att skolan upplevs som en trygg och säker plats (Day & Midbjer, 2007). Utöver det kan bullerplankens innersida kombineras med andra funktioner som bänkar eller en klättervägg. Nackdelarna är att bullerskärmar ofta är dyra att installera och utsätts för klotter som sänker områdets estetik. I vissa fall behöver de vara höga, vilket skymmer sikten och bidrar till att skolgården eller området utanför skolan upplevs som mörkt och otryggt.

Vid val av material och utformning finns det ett flertal möjliga misstag som är värda att lyfta. En risk är att ljudet bryts nedåt vid den övre kanten av skärmen (refraktion), något som kan undvikas genom absorberande eller diffusa material på toppen av skärmen eller med träd längs med skärmens skuggsida. Om ljudkällan befinner sig längre bort eller högre upp kan det krävas väldigt höga skärmar (högre än 3 m).

Skolan utgör ett specialfall där ljudkällor befinner sig på båda sidor om skärmen. För att undvika att bullerskärmen förstärker barnens ljud behöver båda sidor av skärmen vara absorberande. Återvunnet material eller inkludering av växter med porös jord i skärmen kan öka absorptionen och minska risken för klotter. Ett alternativ när man vill bevara sikten förbi skärmen är användning av genomskinliga material som plast eller brytsäkert glas. Dessa kan inkluderas i skärmen alternativt vara materialet som används för hela skärmen. I de fall där ljudet utifrån bara behöver dämpas i liten utsträckning kan en låg skärm med eller utan växtlighet vara tillräcklig.

5.2.2 Åtgärder som kan tillämpas inne på skolgården

Inne på skolgården lämpar sig åtgärder som ökar absorptionen och ökar diffusionen. Utifrån litteraturstudien framgår att markeffekterna har störst påverkan på ljudspridningen på kortare avstånd utomhus (se avsnitt 2.1.2). Därför rekommenderas i första hand markbeläggningar som minskar markreflektionen. Låga skärmar och höjdvariationer tros också ge positiv påverkan på ljudmiljön.

5.2.3 Markbeläggning

Asfalt, betong och sten som marken på många skolgårdar består av material som reflekterar ljud i en sådan utsträckning att det leder till högre ljudnivåer, samtidigt som dessa beläggningar är tåliga och kräver lite underhåll. Ett antal möjliga ytbeläggningar på skolgårdar är gräs, fallskydd, sand och grus.

Gräs

Gräs har lyfts i många sammanhang som ett bra alternativ då dess porösa jord har en hög absorption och diffusion. För skolgårdar i innerstaden är antal barn i förhållande till ytan ofta stor och risken för slitage och att marken komprimeras av den höga användningen stor. Därför kan gräs i dessa fall enbart vara ett alternativ för avgränsade delar av skolgården. Förslagsvis kan dessa planeras så att det krävs att barnen aktivt väljer att befinna sig på ytan och att den inte används slentrianmässigt som passage eller vid fysiska lekar som skrapar upp gräsytan. Därför kan en placering i ytterkanterna av gården och en fysisk avgränsning av gräsytan vara att föredra.

Fallskydd

Ett populär alternativ är konstgräs och fallskydd av gummi. Dessa finns i många olika utformningar där de i de flesta falla har hög absorption och diffusion. Fördelarna är att dessa tål påfrestningarna som uppstår vid barnens fysiska lekar och samtidigt är mjuka, vilket minskar skaderisken. Kemikalieinspektionen och Naturvårdsverkets avråder från användningen av dessa ytor då dessa kan vara både hälso- och miljöfarliga. Ämnet är mindre utforskat och riskerna svåra att bedöma. Därför lyfts materialet i sammanhanget men rekommenderas inte.

Sand

Alternativ som användes i större utsträckning tigare är sand och grus. Sand är ett poröst material vars yta formas av dess användning. Det leder till att sandens yta är ojämn med slumpartat mönster, vilket ur ett akustiskt perspektiv ger en hög diffusion med reflektioner som är mer jämnfördelade än vid ytor som har geometriska mönster. Ur barnperspektivet i sin tur utgör sand en förbättring av utemiljön då den kan användas i barnens lek och kan samtidigt fungera som fallskydd. Nackdelar som bör nämnas är att sandens sprids via barnens kläder och skor till andra områden på skolgården. Det ökar kravet på underhåll och antagligen även i skolbyggnaden då sanden behöver städas ut med jämna mellanrum. Den behöver sedan underhållas genom att dräneras så att den inte är vattenmättad och blir grogrund för olika mikroorganismer och behöver fyllas på med jämna mellanrum.

Grus

Grus kan vara ett mindre underhållskrävande alternativ. Marken under grusskiktet är ofta hård och jämn. Därför antas det att grus ur en akustisk synpunkt förmodligen inte har lika bra akustiska egenskaper som sand men den är fortfarande mer porös och absorberande än asfalt. I utomhusmiljöer används ett tunt grusskikt för att stabilisera marken på mindre vägar för att det är slitstarkt och säkert vid olika väder. På en skolgård kan det därför vara ett bra alternativ på de ytor som barnen använder flitigt, som tänkta vägar och fria ytor. Ett tjockare grusskikt kan ha en dämpande förmåga och vara ett alternativ vid klätterställningar. I dessa fall blir grusskiktet också mer ojämnt vilket förmodligen ger högre diffusion.

Låga skärmar
Då skolgården behöver vara öppen och ge personalen fri sikt på alla dess delar bör höga skärmar enbart användas vid yttergränserna av skolgården med akustiska egenskaper som nämndes i avsnitt 5.2.1. Låga skärmar som inte skymmer sikten inne på skolgården kan ha både negativa och positiva följder genom att främja samtal med höga röster över skärmen, alternativt begränsa samtal över skärmen. Låga skärmar har särskilt god potential att minska buller och vibrationer från låga ljudkällor som spårtrafik. I skolans miljö kan låga skärmar användas där barnens lek medför ljudalstring på låg höjd som bollspel, hopp och spring.

Används skärmar med hög absorberingsförmåga kan spridningen av barnens ljud begränsas genom att en del av ljudet absorberas. Många av de på senare tid undersökta materialen som återvunnet material i kombination med ljud och växtlighet, är även väldigt diffusa så att den reflekterade delen av ljudet sprids diffust. Den här begränsningen av hårda reflektioner leder till att det reflekterade ljudet i större utsträckning försvinner i bakgrundsljudet, vilket förbättrar förutsättningarna för talkommunikation och minskar lombardeffekten. Samtidigt har låga skärmar en begränsad förmåga att minska ljudspridningen mellan skärmens sidor då siktlinjen inte bryts och en del av direktljudet tar sig över skärmen utan att påverkas. En låg skärm kan också påverka barns beteenden, vilket kan ha negativa och positiva följder. Då barnen kan se varandra finns det risk att barn samtalar över skärmen, vilket med stor sannolikhet sker med höjd röst för att göra sig förstådda eller så upplevs skärmen som begränsning och samtal förbi skärmen förs i mindre utsträckning.

Höjdvariationer
Höjdvariationer i marken som en vall eller kulle kan ha flera positiva effekter på ljudets spridning och utgöra en variation på skolgården som kan lyfta gården ur barnperspektivet. Barnens lek gynnas av variationen med toppar och sluttningar. Det ger också möjlighet att inkludera lekredskap i höjdprofilen. Upphöjningar kan också ge möjlighet att skapa de olika arenorna ”on-stage”, ”back-stage” och ”off-stage” som lyfts i (Day & Midbjer, 2007).

Formen på skolbyggnaden
Skolbyggnadens fasad utgör en stor reflektiv yta och reflektionerna från bygganden kan ha stor påverkan på ljudmiljön på skolgården. Därför kan åtgärder som ändrar absorption och diffusion vid fasaden möjligtvis ha stor potential att förbättra ljudmiljön. Utifrån litteraturstudien framgår även att indragningar på byggnaden vid marknivå kan ha en ljudminskande effekt.

5.3 DEN AKUSTISKA MILJÖN PÅ EN INNERGÅRD
Beräkningarna i CATT-Acoustics visar att ljudets spridning varierar utifrån var ljudkällan befinner sig på skolgården.

Från känslighetsanalysen (se Bilaga B), framkom det att ytornas diffusion som bygger på uppskattning av hur jämn en yta är, har stor påverkan på resultaten. Det framkom även att beräkningsmodellen är osäker när för få vektorer används vid beräkningen. Beräkningen

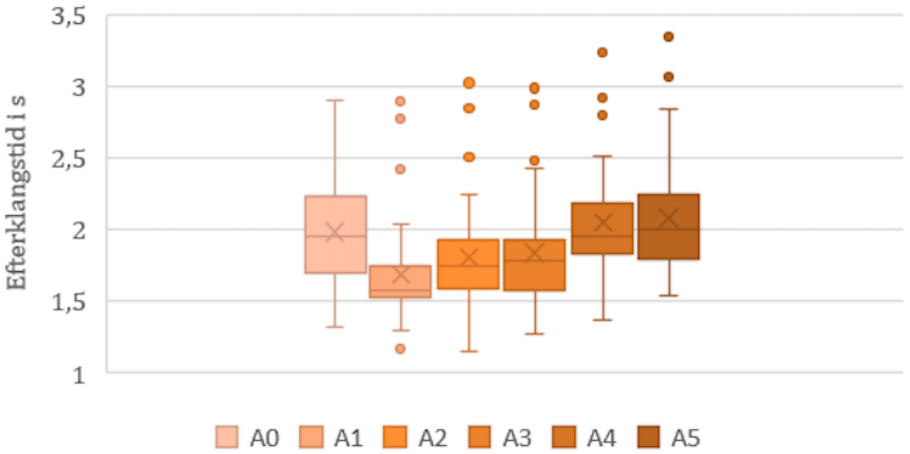
med 25 000 vektorer resulterar i en stor osäkerhet för efterklangstiden på upp till 0,5 s, 0,08 för ljudförstärkningen och 0,01 för STI mellan beräkningarna. Resultatet visade även att antal vektorer påverkade värdena för efterklangstiden på det sättet att alla beräknade punkter antingen var högre eller lägre än vad beräkningen med rekommenderat antal vektorer ger.

5.3.1 Efterklangstid, ljudförstärkning och STI vid olika positionering på skolgården

I det här avsnittet presenteras beräkningsresultaten från modelleringen som beskrevs i metoddelen (avsnitt 4.5.2) i tabellform samt i form av låddiagram.

Efterklangstid

Den beräknade efterklangstiden för modellen varierar starkt mellan de olika beräkningarna, vilket kan ses i figur 15.



Figur 15. Lådagram över fördelningen av beräknad efterklangstid vid de olika mottagarpunkterna A0 till A5 där av A0 befinner sig i mitten av modellen och A5 längs ut i ett hörn (se figur 11). Lådan visar den övre respektive undre kvartilen som delas med ett streck som markerar median. Medelvärdet visas med ett kryss och avvikande värden med cirklar.

Tabell 6. Utvärdering av beräknad efterklangstid med avseende på spridning, median och medelvärde för de olika positionerna av mottagarpunkterna A0 till A5 (se figur 11).

	A0	A1	A2	A3	A4	A5	Medelvärde
Minsta värde	1,31 s	1,16 s	1,14 s	1,27 s	1,37 s	1,53 s	1,30 s
Största värde	2,90 s	2,89 s	3,02 s	2,98 s	3,23 s	3,34 s	3,06 s
Spann	1,59 s	1,73 s	1,88 s	1,71 s	1,87 s	1,80 s	1,76 s
Median	1,94 s	1,57 s	1,74 s	1,77 s	1,95 s	2,00 s	1,83 s
Medelvärde	1,98 s	1,68 s	1,80 s	1,83 s	2,04 s	2,07 s	1,90 s

Variationen sammanställdes i Tabell 6. Samtliga värden ligger inom ett spann på 2,2 s. Det genomsnittliga medianvärdet är 1,83 s och medelvärdet 1,90 s. En trend mellan de olika positionerna av ljudkällan (A0 till A5) är svårt av utläsa. Både medianvärdet och medelvärdet ökar från ljudkälla A1 till A5 (Figur 14; Tabell 6). Både median och

medelvärdet för A0 avviker från trenden och resultaten liknar resultaten för ljudkällan med position A4. En svag trend som tyder på att avståndet till mottagaren påverkar den beräknade efterklangstiden upptäcktes (se Bilaga C, Figur C.1).

Ljudförstärkning

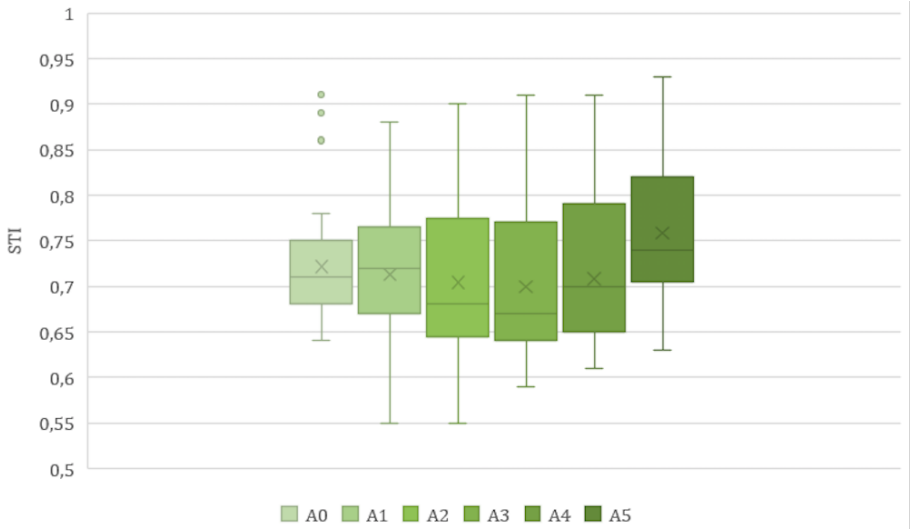
Parametern ljudförstärkning är positiv för varje undersökt placering av ljudkällan i modellen. Värdena visas i Tabell 7. Det finns en uppåtgående trend ju närmare väggen ljudkällan befinner sig. Resultatet för A0 avviker något och är större än A1. Jämförs alla andra värden (A1 till A5) är ökningen större än osäkerheten som beror av beräkningsmetoden i modellen.

Tabell 7. Bidraget från rummet till ljudnivån vid 10 m avstånd (ljudförstärkning).

Position av ljudkällan	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Ljudförstärkning	3,75	3,56	4,12	4,75	5,39	6,19

Undersökningen av hur ljudförstärkningen förändras med ökande avstånd visas i figur C.2. I figuren kan en jämförelse mellan den beräknade ljudförstärkningen och vad ljudförstärkningen hade varit i frifält ses. Ljudförstärkningen är högre än vad den hade varit i frifält vid korta avstånd (under 30 m) och negativ vid långa avstånd (mer än 40 m) för alla positioner i rummet.

Speech Transmission Index
De beräknade värdena för STI ligger inom ett spann på 0,39. Fördelningen för varje position av ljudkällan visas i Figur 16 i form av ett lådagram.



Figur 16. Lådagram över fördelningen av beräknad efterklangstid vid de olika mottagarpunkterna för ljudkällornas position A0 till A5 där A0 är placeringen mitt i modellen 4.5.2. Lådan visar den övre respektive undre kvartilen som delas med ett streck som markerar median. Medelvärdet visas med ett kryss och avvikande värden med cirklar.

För värdena A3, A4 och A5 kan en uppåttrend ses som också kan bekräftas av sammanställningen i Tabell 8. Tabellen visar att minsta och största värde, median och medelvärde ökar med minst 0,02. Enligt känslighetsanalysen var osäkerheten på 0,01 enheter.

Tabell 8. Sammanställning av resultaten för STI.

	A0	A1	A2	A3	A4	A5	Medelvärde
Minsta värde	0,65	0,54	0,54	0,58	0,62	0,65	0,60
Största värde	0,91	0,87	0,90	0,87	0,91	0,93	0,90
Variationsbredd	0,26	0,33	0,36	0,29	0,29	0,28	0,30
Median	0,71	0,70	0,67	0,68	0,70	0,74	0,70
Medelvärde	0,72	0,70	0,70	0,70	0,72	0,76	0,72

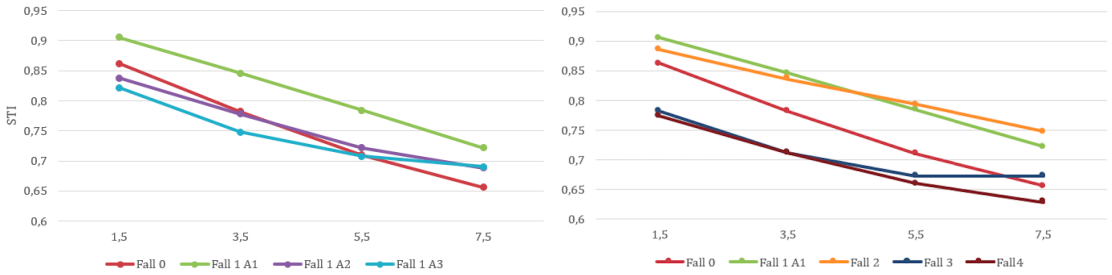
5.4 MÖJLIGA UTFORMNINGAR FÖR UTOMHUSKLASSRUM

Den genomsnittliga STI redovisas i Tabell 9. I beräkningen varierade STI mellan 0,65 och 0,93 och medelvärdesbildning gav att scenariot med en vägg bakom läraren och öppna ytor åt alla andra sidor (Fall 1A) är mest fördelaktig.

Tabell 9. Tabell som visar genomsnittligt STI vid Fall 0 till 4.

Fall	Figur	Placering av väggarna	Medelvärde av STI
Fall 0	12	-	0,79
Fall 1A	13a	Bakom läraren	0,84
Fall 1B	13b	På sidan	0,79
Fall 1C	13c	Bakom klassen	0,77
Fall 2	14a	Bakom läraren och på sidan	0,84
Fall 3	14b	Bakom läraren och bakom klassen	0,74
Fall 4	14c	Bakom läraren och på båda sidor	0,73

Hur STI ändras med ökande avstånd från läraren ses i Figur 17. Högst STI hittades i scenariot där läraren har en reflekterande vägg bakom sig och talar mot eleverna som befinner sig i frifält. Fall 1B, med endast en sidovägg skiljer sig nästan inte från fallet i frifält (Fall 0) om man tittar på den genomsnittliga STI. Skillnaden syns däremot i figur 17 som visar att STI−värdet är mer jämnt fördelat. I jämförelsen mellan Fall 1A och Fall 2 framgår att en vägg vid sidan om läraren har en obetydligt påverkan.



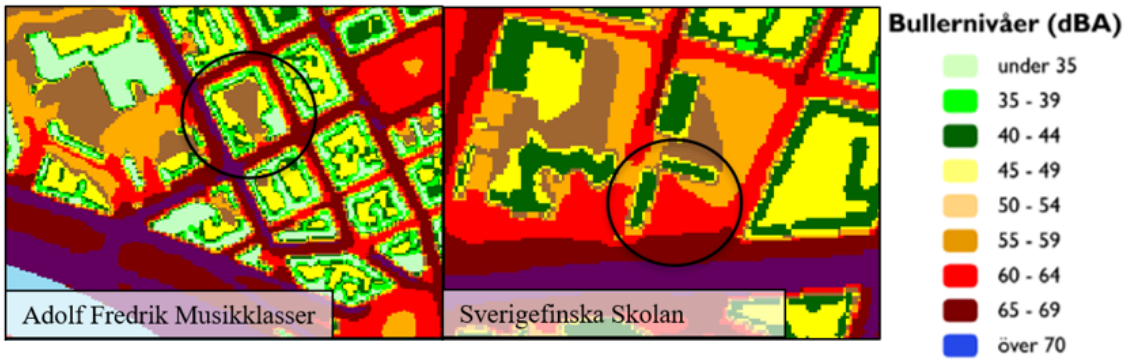
(a). Fall 0 och 1A till 1C (b). Fall 2 till 4 jämfört med Fall 0 och Fall 1C

Figur 17. STI med ökande avstånd från läraren.

Lägst STI förekom vid alla modellberäkningar med parallella väggar (Fall 1C, Fall 3 och Fall 4).

5.5 BEDÖMNING AV LJUDMILJÖN I TVÅ EXEMPEL PÅ INNERSTADSSKOLOR

De dygnsekvivalenta ljudnivåerna på skolgårdarna från väg- och lufttrafik visas i Figur 18).



Figur 18. Utklipp från Bullerkarta - Stockholm. Dygnsekvivalenta bullernivåer från väg, spår, flyg och industri. Trafikdata från väg, tåg och flyg är från 2012. Kartan visar ljudnivåer i dBA 2 m över mark med en upplösning på 5,50 m x 5,50 m (Stockholms Stad, 2018a).

Enligt beräkningarna ligger bullernivån på Adolf Fredriks Musikklasser mellan 45 dBA och 54 dBA, där ljudnivåerna i skolgårdens hörn beräknas ligga under 49 dBA och över 50 dBA vid området i mitten på gården. De beräknade ljudnivåerna på Sverigefinska skolans innergård ligger på ett brett spann mellan 50 och 69 dB, där de högsta ljudnivåerna hittas vid sidan som befinner sig längs med Drottningholmsvägen och nivåerna minskar fram till området vid byggnadsfasaden. Bullerkartläggningen tar troligen inte hänsyn till bullerskärmen vid Sverigefinska skolan. Enligt bullerutredningen som gjordes av Norconsult (2012) beräknades att en bullerskyddsskärm minskar ljudnivån på gården med 7 dB och leder till en ljudnivå strax över eller under 55 dBA. En punkt som ligger längre upp skulle då få högre ljudnivå (omkring 57 dBA). Bullerskyddsskärmen består av laminerat härdat glas och är 2,5 m hög (Roth, 2018).

Mätningen av de förekommande ljudnivåerna och en beskrivning av ljudmiljön på Adolf Fredriks Musikklasser och Sverigefinska skolan finns i Bilaga D och Bilaga E. Under mätningen vid Adolf Fredriks Musikklasser framkom att ljudnivån på skolgården varierar med antal elever som befinner sig på skolgården och utifrån vilka aktiviteter som pågår. På Sverigefinska Skolan har alla elever sina raster samtidigt. Det leder till höga ljudnivåer under rasterna och betydligt lägre ljudnivåer under resterande tid.

6 DISKUSSION

I detta avsnitt diskuteras metoderna som användes i arbetet och resultatens validitet. Eftersom delar av metoden bygger på bedömningar utifrån litteraturstudien diskuteras resultatens giltighet. Sedan diskuteras modelleringen och dess resultat.

6.1 KRITERIER FÖR LJUDMILJÖN PÅ SKOLGÅRDENS OLIKA OMRÅDEN

Ett flertal studier av hur ljud av olika karaktär påverkar barn i olika sammanhang hittades. Resultaten är dock olika relevanta för skolgårdar. Risken för hörselskador på grund av höga ljudnivåer på skolgården anses exempelvis vara liten då ljudexponeringen är tidsbegränsad och långt under 90 dBA som Andersson (2017) lyfter som skadlig på arbetsplatser.

En del studier har kommit fram till att långtida bullerexponeringar påverkar barnens hälsa och inlärningsförmåga. Då studierna var epidemiologiska och en del undersökte vuxna och inte barn finns det stora osäkerheter (se avsnitt 2.2.3). När det gäller påverkan av buller på blodtrycket skiljer sig forskningsresultaten av Evans & Lepore (1993) och Kempen et al. (2010) åt. Däremot konstaterades att barn som upplevde sig störda av buller samtidigt visade sig ha sämre hälsa. Orsakssambandet är osäkert och från vilken nivå barn känner sig störda varierar, därför har det varit svårt att koppla ihop påverkan med exakta ljudnivåer. Utifrån litteraturstudien finns följaktligen ingen anledning att frångå riktlinjerna av Naturvårdsverket (2017c).

Studien om när barn känner sig mest störd av buller visade att det är ljud från andra barn som stör barnen mest. Vid båda mätningar på skolgårdar mättes ljudnivåer som var upp till 20 dB högre än bakgrundsljudet. För att kunna förstå varandra i en miljö med hög bakgrundsljud strävar talaren efter att prata 11 dB högre för att kunna göra sig förstått (Davis et al., 2006), vilket hade motsvarat en ljudnivå på 60 till 65 dB. Det stödjer teorin om att barnens röster stör varandra och leder till att barnen höjer rösten successivt i och med att bakgrundsnivån med ljud från de andra barnen ökar. Möjligtvis kan den höga ljudnivån bero på att barn allmänt höjer rösten när de leker utomhus. Under mätningarna vid Aldolf-Fredriks musikklasser var ljudnivån lägre när det var få elever som vistades på skolgården och det var högre när fler elever vistades på skolgården. Ökningen av ljudnivån är högre än vad den hade varit om man bara hade adderat ljuden från barnen, om man tänker på att tio likadana ljudkällor ger upphov till en ökning med 3 dB och inte 10 dB som ökningen som observerades under mätningen. Det tyder på att ljudmiljön på skolgården och barnens beteende har stor inverkan på hur ljudmiljön ser ut på skolgården.

Det finns tydliga belägg för att en lång efterklangstid försvårar talförståelsen och att effekten blir större om den förekommer samtidigt som störande bakgrundsljud. Hur barn påverkas av olika efterklangstid i klassrum är välstuderad och rådande gränsvärden har stöd i forskningen medan det saknas motsvarande riktlinjer för skolgården. Det kan bero på att skolgårdens betydelse inte har uppmärksammats i samma utsträckning.

En vidare möjlig förklaring är att ljudförhållandena skiljer sig utomhus och efterklangen kan vara svårare att definiera än inomhus där det oftast bildas ett efterklangsfält som är jämt fördelat över rummet och ljudnivån minskar stadigt efter att ett högt ljud spelats upp

2.4.3. Öppna ytor och avsaknaden av tak leder till att en del av ljudet sprids fritt åt dessa riktningar utan att reflekteras tillbaka och ljud som sprids i riktningar där det finns ytor reflekteras tillbaka och förstärker ljudnivån på samma sätt som inomhus. Ljudvågorna fördelas då mer ojämnt på platsen, något som stämmer överens med modelleringsresultaten för efterklangstiden i konceptuella skolgården. I urban miljö förekommer ofta hårda ytor och avstånden är större än inomhus, vilket kan ge stora variationer i hur ljudet sprids. Efterklangen varierar beroende av ljudkällans läge i förhållande till reflekterande ytor och fria riktningar och mottagarens position, alltså där efterklangstiden mäts.

En vidare svårighet är hantering av sena reflektioner ur mätteknisk synvinkel. Efterklangstid är definierad utirån att ljudet antas minska jämnt medan sena reflektioner kan uppstå långt efter att ljudnivån har minskat med exempelvis 20 dB och frågan uppstår om dessa då bör ingår i efterklangstiden. Tidiga reflektioner uppfattas samtidigt som talsignalen i hjärnan men sena reflektioner kan antas vara störande på samma sätt som bakgrundsljud (Gade, 2014). Därför föreslås att räkna in sena reflektioner in i efterklangstiden för att kunna ge en rättvis bild över ljudmiljön på platsen för då kan efterklangstiden bedömas kunna beskriva hur gynnsam ljudmiljön är för olika aktiviteter även utomhus.

STI innefattar både påverkan från efterklangstid och bakgrundsljud i ett viktat värde. I skolmiljö är barnens ljud och buller den mest störande ljudkällan. Ljudnivån som barnen skapar beror mycket på lombardeffekten. Effekten leder till en gruppdynamik och påverkas av många faktorer såsom bakgrundsnivån utan barn, gruppstorlek, tid på dagen, rummets bidrag till ljudnivån via ljudreflektioner och enskilda individer och är därför svår att förutsäga. Det kan därför vara svårt att mäta huruvida viss STI nås i olika sammanhang.

På grund av dessa osäkerheter ska kriterierna enbart ses som rekommendationer. Dessa kan vara vägledande i bedömningen och vid planeringen av en skolgård.

6.2 LÄMPLIGA DESIGNÅTGÄRDER

Designåtgärderna som lyfts och föreslås har tagits ifrån studier som fokuserade på hur vegetation och grönska kan inkluderas i stadsmiljön för att förbättra ljudmiljön. Samtliga studier utvärderade designåtgärdernas förmåga att minska buller från ljudkällor från väg- och spårtrafik. När det gäller avskärmande av trafikbuller till skolgården finns det därför direkt stöd från dessa studier för rekommendationerna. Inom skolgården däremot bygger förslagen delvis på bedömningar utifrån teorin om ljudets spridning och det som har beskrivits i studierna.

6.3 MODELLERING I CATT-ACOUSTIC

CATT-Acoustic är ett beräkningsprogram som är utvecklat för att simulera rumsakustik. Modellen tillhör den klass av akustiska modeller som använder sig av geometrisk akustik. Ljudvågorna simuleras vektorer som tilldelas olika frekvenser och antas röra sig som linjära strålar i rummet. Det medför bland annat att vågegenskaper som böjning längs med föremål bara kan efterliknas genom att skatta ljudets böjning längs kanter och att hänsyn inte kan tas till påverkan av vågarnas fas. Modellerna i detta examensarbete är fria från kanter och mindre föremål och därför antas detta inte ha påverkat beräkningarna.

6.3.1 Vilka risker finns med att använda ett inomhusprogram utomhus?

Eftersom att avstånd över 50 m förekommer på skolgårdar har meteorologiska effekter en relevant påverkan på ljudets spridning inom skolgården. CATT-Acoustic är ett program som främst används inomhus. Därför diskuteras hur meteorologin på platsen kunde påverka ljudets spridning och vad modellen kunde ha missat.

Modellen kan inte beräkna hur luftens temperatur och luftfuktighet påverkar ljudhastigheten (se avsnitt 2). Vid modelleringen valdes 20 °C då påverkan på ljudhastigheten bara är några procent av hastigheten. En beräkning av hastigheterna med Ekvation 2 ger att om temperaturen hade varit 10 grader mer eller mindre hade ljudhastigheten endast varierat mellan 337 m/s (10 °C och torr luft) och 351 m/s (30 °C och fuktig luft).

CATT-Acoustic ger inte möjlighet att beräkna fall där temperatur och luftfuktighet skiljer sig mellan olika delar av modellen. Det var därför inte möjligt att beräkna hur refraktion eller turbulens skulle ha påverkat ljudets spridning. Utifrån teorin kan temperaturprofilen under vissa sommardagar leda till att ljudet från en ljudkälla som transporteras sidledes böjs uppåt och då minskar snabbare med avstånd. På samma sätt kan vindar leda till en mer koncentrerad spridning till vissa ställen. Innergårdar är oftast ganska avskärmade och den här frågan blir därför mer relevant när skolgården är öppen och vindutsatt. I dessa fall kan CATT-Acoustic inte användas för att undersöka ljudmiljöns variation på grund av vädret. En sista del är virvlar i luften som kan ha en dämpande effekt på ljudets höga frekvenser, något som också tros ha liten påverkan då effekten enbart är några dB enligt mätningar (se sektion 2.1.2).

Modellen som användes i examensarbetet är förenklad i syfte att minska osäkerheten i modelleringen. För att kunna använda programmet till mer komplexa skolgårdar föreslås validering genom mätningar.

6.3.2 Modellering av den akustiska ljudmiljön i en innergård

Känslighetsanalysen (se Bilaga B) visade olika osäkerheter för parametrarna som undersöktes och var vägledande för hur modelleringen genomfördes. Då resultaten för enskilda värden hade stor spridning valdes att undersöka ett stort antal punkter på skolgården och olika statistiska mått användes för att synliggöra trender och osäkerheter. Resultaten diskuteras för varje parameter för sig.

Efterklangstid

I Tabell 8 ses att efterklangstiden varierar starkt mellan punkterna och utifrån känslighetsanalysen kunde det observeras att efterklangstiden bestäms med låg noggrannhet (se B.2). I den här modellen skulle det behövas fler beräkningar med det rekommenderade antalet slumpvisa vektorer för att kunna få mer exakta värden.

Utifrån resultaten går det dock att se att den beräknade efterklangstiden i modellen är mellan 1,1 s och 3,3 s lång jämfört med vad som krävs i ett klassrum (0,5 s). Det kan förklaras med sena reflektioner från modellens väggar. Modellen har en stor volym och består av stora starkt reflekterande ytor, vilket medför att ljudet färdas långa sträckor in-

nan det når mottagaren. En möjlig förklaring är den ojämna fördelningen av absorberande och icke-absorberande ytor över rummet. Då bara ljudet åt vissa håll reflekteras kan några av mottagarpunkterna möta många reflektioner medan andra punkter bara nås av få reflektioner.

En uppgående trend kunde urskiljas mellan punkterna A1 och A5. Det kan dock bero på att det genomsnittliga avståndet från mottagarpunkterna till ljudkällan ökar. Ju längre ner i hörnet ljudkällan befinner sig desto större blir avståndet till mottagapunten på andra sidan av rummet. Figur C.1 visar resultaten för efterklangstid i förhållande till avståndet. Jämförs trendlinjernas position till varandra mellan 8 och 20 m kan det på samma sätt ses att efterklangstiden ökar mellan A1 och A5. Efterklangstiden verkar öka något med avstånd. Korrelationskoefficienten R^2 är låg för samtliga trendlinjer, vilket innebär att trenderna är osäkra.

Resultaten från modelleringen kan sammanfattas till att efterklangstiden är lång och varierar starkt beroende på ljudkällans och mottagarens position. Efterklangstiden kan förväntas ligga mellan 1 och 3 s.

Ljudförstärkning
Ljudförstärkningen är en parameter som används för att undersöka rummets bidrag till ljudnivån. Resultaten visar att rummets reflektioner ger upphov till högre ljudnivåer på 10 m avstånd. Det ses tydligt att rummets bidrag ökar ju närmare väggarna ljudkällan befinner sig då väggarna ger en förstärkande effekt. Vid undersökning av hur ljudförstärkningen fördelas över rummet som visas i Tabell C.2 ses att ljudförstärkningen minskar med avstånd från väggarna och att minskningen är logaritmisk. Korrelationskoeffcienten för resultaten från modelleringen och en trendlinje med logaritmisk avtagande som skapades för varje position av ljudkällan ligger mellan 0,96 och 1 (figur C.2), vilket tyder på ett tydligt samband. I ekvation 5 framgår att parametern är beroende av ljudenergin vid 10 m och värdet blir därför missvisande vid längre eller kortare avstånd. I frifält sprids ljudet sfärisk som leder till att ljudenergin i frifält halveras när avståndet dubbleras. Figur C.2 visas hur den uträknade ljudförstärkningen minskar med avstånd jämfört med hur ljud i frifält hade minskat (röd linje). Det ses att modellen förstärker ljudet från alla positioner av ljudkällan inom ett område på 30 m. För längre avstånd resulterar modellen på skolgården i en minskning jämfört med frifält.

Speech Transmission Index
Beräkningarna gjordes med en bakgrundnivå på 35 dBA, vilket medför att de framräknade värdena kan antas vara högre än vad som kan förväntas på en verklig skolgård. Då ljudnivån på en skolgård är väldigt varierande och dynamisk på grund av bland annat lombardeffekten valdes en låg bakgrundnivå. Detta för att isolera och undersöka hur rummets reflektioner påverkar STI. Resultaten kan därför endast jämföras med varandra.

I känslighetsanalysen visade det sig att STI-värdena varierade med 0,01 mellan olika beräkningar, vilket innebär att resultaten har en hög säkerthet. Det finns en svag uppåtgående trend mellan A3 och A5. I Figur C.3 ses att trendlinjerna för A0, A1, A2 och A3 ligger nära varandra och minskar något i lutning ju längre från mitten ljudkällan befinner sig.

Ljudkälla A4 och A5 är högre och har liknande lutning, vilket tyder på att en ljudkälla nära väggen ger bättre talförståelse.

6.3.3 Modellering av möjliga utformningar för utomhusklassrum

I modelleringen undersöktes hur talförståelsen på en plats utomhus påverkas av att ha olika kombinationer av öppna sidor och väggar. I modellen antogs att bakgrundsljudnivån är låg (35,8 dB) och jämnfördelad över modellen och att alla sidor antingen reflekterar nästan allt ljud som träffar väggen eller är nästa helt absorberande så att nästan alla ljudvågor dämpas ut.

Syftet med undersökningen var att se om det kan vara lämpligt att skärma av ett utrymme som kan användas som ett utomhusklassrum. Det framkom att en reflekterande yta bakom läraren har störst positiv effekt och att parallella väggar har en negativ effekt. Sidorväggar påverkar i försumbar utsträckning om den motstående sidan är placerad i en riktning mot frifält.

I studien undersöktes inte hur bakgrundsljud eller riktat ljud från en ljudkälla utanför skulle ha påverkat STI och därför kan resultaten bara vara vägvisande i dessa fall. Förutsättningarna för utomhusundervisning kan inskränkas på olika sätt beroende på om ljudet frå utanför skolgården sprids från fasta riktningar eller kommer uppifrån som ett bullerregn. Om en bullerkälla finns i närheten på skolgården kan skärmar vara fördelaktiga så länge parallella reflekterande ytor undvikas. Det kan göras genom att använda växter eller ett material med hög diffusion.

6.3.4 Sammanvägning av resultaten

Både talförståelsen (STI) och förstärkningen var som högst när ljudkällan befann sig i hörnen av modellen. Möjligtvis är andelen tidiga reflektioner som högst vid placeringen nära väggen som förstärker talet och gör talet mera förståeligt. Effekten ses både på korta och långa avstånd.

Ett utomhusklassrum, mindre samlingsplatser eller annat som kräver god talförståelse rekommenderas således där det finns reflekterande väggar. Nackdelen är dock att ljudet från dessa aktiviteter lätt sprids till resten av gården, av den anledningen föreslås det att bullriga aktiviteter förläggs på andra platser. På samma sätt kräver utomhusundervisning särskild god talförståelse och låg bakgrundsnivå som inte kan nås om för höga ljud sprids in till platsen. En möjlighet är att begränsa ljudspridningen från en sida genom att använda en skärm med en absorberande eller väldigt diffus yta och på det sättet skärma av området något.

Positionerna som låg något ifrån väggarna (A2 och A3) hade lägst STI och jämförelsevis låg ljudförstärkning. Här föreslås att förutsättningar skapas för aktiviteter som har mindre behov av en god ljudmiljö. Även bullriga aktiviteter är möjliga då aktiviteternas ljud förstärks i mindre utsträckning. En låg STI medför att eleverna höjer rösterna men kan också medföra att det som sägs är mindre förståeligt på längre avstånd och då upplevs det som mindre störande av barnen som befinner sig på skolgården.

Platsen i mitten (A0) gav låg förstärkning och jämförelsevis något högre STI och ljudförstärkning. Därför kan platsen vara lämplig för mer högljudda lekar då ljudet förstärks i mindre utsträckning men är mindre lämplig än platserna A2 och A3 som kan antas ha lägre STI.

En plats för rekreation föreslås vara tyst, vilket kan tolkas som en plats med låg ljudförstärkning, och avskild. Utifrån modellen har inte en sådan plats varit möjligt att identifiera på skolgården, vilket kan bero på att modellen är en förenkling för hur en skolgård kan se ut. På en befintlig skolgård kan det därför finnas platser som är mer avskilda och har en låg andel reflekterande ytor i sin omgivning och därmed lämpar sig att användas som plats för rekreation. Saknas en plats med dessa egenskaper rekommenderas att medvetet skapa en plats för att säkerställa möjligheten för barnen till rekreation på skolgården och modifiera ljudmijön på platsen med hjälp av designverktygen i avsnitt 5.2.2.

6.4 I VILKEN UTSTRÄCKNING KAN LJUDMILJÖN ANPASSAS FÖR ATT SKAPA BRA FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR PEDAGOGISK VERKSAMHET UTOMHUS?

De öppna ytorna utomhus ger bra akustiska grundförutsättningar för pedagogisk verksamhet. Utemiljön kan lyfta undervisningen genom att vara del av undervisningsinnehållet eller bara genom att den används som ett klassrum där eleverna har möjlighet att sprida ut sig och finna lämpliga platser där de kan göra sitt skolarbete.

Utifrån litterturstudien framgår att störande ljud har en starkt negativ påverkan på inlärnings- och prestationsförmågan hos barn. Det innebär att en bullrig skolgård inte kan ses som en lämplig plats för undervisning. Hålls dock bakgrundsnivåerna lågt och om utomhusundervisningen förläggs till tider då inga lekande barn finns ute, finns det det stor potential för att innergården kan vara en god och gynnsam miljö för pedagogisk verksamhet.

För att nå detta behöver i första hand bakgrundsnivån hållas låg vilket kan göras genom att (1) minska ljud vid bullerkällorna utanför skolgården, (2) sätta upp skärmar som både avskärmar bullret och dämpar barnens ljud innanför skolgården och (3) att vidta olika åtgärder på skärmen eller nära skärmen för att undvika refraktion.

Inom skolgården kan växtbeklädda hinder och skärmar, samt mjuk markbeläggning, skapa fler platser med hög absorption, vilket gör att talförståelse på platsen blir god och då möjliggör grupparbeten eller ensamarbeten. I samråd med pedagogerna och barnen bör den som planerar skolgården föra diskussioner kring hur dessa platser ska vara utformade så att de upplevs inbjudande och ger förutsättningar för pedagogiska aktiviteter på skolgården vara ett bra tillvägagångssätt.

6.5 FÖRSLAG PÅ VIDARE STUDIER

Genom modellering i CATT-Acoustic kunde en del akustiska fenomen som finns på skolgårdar synliggöras. Det skulle ha varit intressant att undersöka hur olika designförslag som ges till exempel i avsnitt 5.2.2 skulle kunna påverka ljudspridningen i modellen som användes för att efterlikna en skolgård. På det sättet skulle åtgärdernas effekt kunna tas fram och underlätta prioritering.

Undersökningen av de olika skolgårdarna gjordes mest för att ge en övergripande uppfattning om hur ljudmiljön ser ut på en skolgård. Det skulle ha varit intressant att i samarbete med en landskapsakitekt använda arbetssättet som används för att undersöka och skapa ljudlandskap och arbeta fram ett fullständigt designförslag för en skolgård.

Det finns ett flertal kommuner som använder sig av begränsningar kring hur många kvadratmeter per barn en skolgård minst ska ha som inte bygger på vetenskapliga studier. Det skulle vara intressant att undersöka hur ljudnivån på en skolgård varierar och vilka faktorer som mest påverkar ljudnivån under en rast. Ytterligare faktorer som skulle kunna vara intressanta är bakgrundsnivån, antal barn i förhållande till ytan, skolgårdens variation och olika akustiska parametrar som exempelvis ljudstyrka och efterklangstid.

7 SLUTSATSER

Enligt detta arbete är slutsatserna att ljudmiljön spelar en central roll för om goda förutsättningar för barnens lek, rekreation och pedagogiska verksamhet på skolgården kan ges. Samma ljudmiljö är inte gynnsam för alla aktiviteter och därför föreslås olika akustiska kriterier beroende på aktivitet. Nedan sammanfattas kriterierna för de olika områdena:

- Området som är avsedd för lek föreslås ha något lägre talförståelse (STI mellan 0,46 och 0,66), ha en maximal efterklangstid på 1,2 s och föreslås vara öppen med en ljuddämpande markyta.
- Området för rekreation föreslås ha en maximal efterklangstid på 0,5 s, en maximal ljudnivå på 50 dBA och absorberande respektive diffusa ytor som minskar andelen hårda reflektioner.
- För att skolgården ska kunna användas i pedagogiskt syfte föreslås att ett flertal platser har en efterklangstid under 0,5 s, en maximal bakgrundsnivå på 50 dBA och många ytor med hög absorption eller diffusion vid frekvenserna mellan 125 Hz och 1 kHz. Utöver det föreslås anläggning av en plats för samling i en större grupp. Den platsen gynnas av att vara placerad intill en eller två reflekterande ytor som kan förstärka den talande. I vissa fall kan avskärmning med ett högt absorberande hinder vara lämplig.

Det finns ett flertal åtgärder och verktyg som kan förbättra ljudmiljön på skolgården. I första hand rekommenderas mjuka och varierade markbeläggningar. Här kan grus vara lämpligt på välanvända öppna ytor, sand där falldämpning krävs samt gräs och växter på yttre områden som används mindre. Gummibeläggningar har en dämpande förmåga och lämpar sig för bollspel men kan vara miljöfarliga. Varierande höjdförhållanden och mindre hinder som kan bestå av återvunnet material i kombination med växter kan vara lämpliga. Växter utsätts inte för klotter och grönska uppskattas dessutom av barn.

REFERENSER

Adrian James Acoustics (2016) *Common pitfalls in Room Acoustics*. Proceedings of the Institute of Acoustics: I Rees Adrian James Acoustics Ltd, Norwich, UK, URL: http://www.adrianjamesacoustics.co.uk/catt-acoustic/technical-background/, Hämtad 2018-10-20.

Alton Everest, A. och Pohlmann, K. (2014) *Master Handbook of Acoustics*. New York: McGRAW-HILL, ISBN: 978-0-07-160332-4.

Andersson, J. (2017) *Ljud, buller & vibrationer*. Stockholm: Svensk byggtjänst.

Annerstedt, M., Jönsson, P., Wallergård, M., Johansson, G., Karlson, B., Grahn, P., Åse Marie Hansen och Währborg, P. (2013) *Inducing physiological stress recovery with sounds of nature in a virtual reality forest — Results from a pilot study*. Physiology & Behavior, Vol.118, sid. 240-250, DOI: http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2013.05.023.

Arbetsmiljöverket (2005) *BULLER - Arbetsmiljöverkets föreskrifter om buller samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna*. AFS 2005:16.

Attenborough, K. (2014) in Rossling ed. *Handbook of Acoustics*. , Berlin Heidelberg: Springer, Kap. Sound Propagation in the Atmosphere, sid. 117–156, ISBN 978-1-4939-0754-0.

Beranek, L. (1954) *Acoustics*.: Amer Inst of Physics, ISBN 978-0883184943.

Biesta, G. (2004) *Kunskapande som ett sätt att handla - John Deweys transaktionella teori om kunskapande*. Utbildning & Demokrati, Vol. 13(1), sid, 41–64.

Björk Tocaj, C., Hellberg, A., Petersson, A. och Toller, E. (2015) *Materials lämplighet för bullerskärmskonstruktioner - En jämförelse med avseende på ljudreduktion, kostnader och miljöaspekter*. Göteborg: Institutionen för bygg- och miljöteknik, Byggnadsteknologi, Chalmers tekniska högskola.

Bobran, H.-W. (1995) *Handbuch der Bauphysik. Berechnungs- und Konstruktionsunterlagen für Schallschutz, Raumakustik, Wärmeschutz, Feuchteschutz.*. Braunscheig: Vieweg, ISBN 978-0883184943.

Boman, E. (2004) *Noise in the school environment : Memory and Annoyance*. Doctoral Thesis. Gävle: University of Gävle, Ämnesavdelningen för inomhusmiljö, 59 sid., ISBN 91-7283-718-7.

Bonino, A. Y., Leibold, L. J. och Buss, E. (2013) *Effect of signal-temporal uncertainty in children and adults: Tone detection in noise or a random-frequency masker*. The Journal of the Acoustical Society of America Vol.134(6), sid. 4446-4457, DOI: http://dx.doi.org/10.1121/1.4828828.

Boverket (2015) *Gör plats för barn och unga*. Rapport 2015:8, ISBN: 978-91-7563-221-6.

Brown, A. L. och Muhar, A. (2004) *An approach to the acoustic design of outdoor space*. Journal of Environmental Planning and Management, Vol.47(6), sid. 827-842: Routledge, DOI: http://dx.doi.org/10.1080/0964056042000284857.

Bruun, U.-M. (5e september&22 november, 2018) Rektor för Adolf Fredriks Musikklasser. Mejlkontakt.

Brännström, K. J., von Lochow, H., Åhlander, V. L. och Sahlén, B. (2018) *Immediate Passage Comprehension and Encoding of Information Into Long-Term Memory in Children With Normal Hearing: The Effect of Voice Quality and Multitalker Babble Noise*. American Journal of Audiology, Vol. 27(2), sid. 231-237, DOI: http://dx.doi.org/10.1044/2018_AJA-17-0061.

Bäckman, L. (2015) Utemiljöns betydelse i skolans värld. in *UR Samtiden - Gör plats för barn och unga*. , Boverket & Movium: Sveriges Utbildningsradio AB, URL: https://urskola.se/, Hämtad 2018-10-20.

CATT-Acoustic (2011a) *CATT-Acoustic version 9*. URL: http://www.catt.se.

CATT-Acoustic (2011b) *User's Manual CATT-Acoustic version 9*. URL: http://www.catt.se.

Christensson, J. (2016) Hesa röster och lässvaga barn. in *UR Samtiden - Barn med annorlunda språkutveckling*. , Linnémiljön CCL och avdelningen för logopedi, foniatri och audiologi: Lunds universitet, URL: https://urskola.se/, Hämtad 2018-10-20.

Clark, C., Head, J. och Stansfeld, S. (2013) *Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: A six-year follow-up of the UK RANCH cohort*. Journal of Environmental Psychology Vol.35(22) sid. 1-9.

Dalenbäck, B. (2010) *Engineering principles and techniques in room acoustics prediction*. Conference Paper, BNAM, Bergen: CATT-Acoustic, 59 sid., ISBN 91-7283-718-7.

Davis, C., Kim, J., Grauwinkel, K. och Mixdorff, H. (2006) *Lombard speech: Auditory (A), Visual (V) and AV effects*. Proceedings of the Third International Conference on Speech Prosody: sid. 248-252.

Day, C. och Midbjer, A. . (2007) *Environment and children: Passive lessons from the everyday environment*. Oxford: Elsevier.

Doldemann, C. (2015) Den nyttiga utevistelsen. in *UR Samtiden - Gör plats för barn och unga*. , Boverket & Movium: Sveriges Utbildningsradio AB, URL: https://urskola.se/, Hämtad 2018-10-20.

Evans, G. och Lepore, S. (1993) *Nonauditory Effects of Noise on Children: A Critical Review*. Children's Environments Vol.10(1), sid. 31-51: University of Cincinnati, Board of Regents of the University of Colorado, DOI: http://dx.doi.org/10.2307/41515250.

Fägerstam, E. (2012) *Space and Place : Perspectives on outdoor teaching and learning*. Doctoral Thesis. Linköping, Linköping University, Department of Behavioural Sciences and Learning: Linköping Studies in Behavioural Science, No. 167.

Fastl, H. och Zwicker, E. (2007) *Psychoacoustics - Facts and Models*. Berlin Heidelberg: Springer, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-68888-4, ISBN 978-3-642-51765-5.

Folkhälsomyndigheten (2017) *Miljöhälsorapporten 2017*.: Folkhälsomyndigheten & Karolinska Institutet.

Forsén, J. och Mauriz, L. (2017) *Grönytor för god ljudmiljö*. C/O City: Teknisk Akustik, Chalmers, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s12098-017-2579-7.

Gade, A. C. (2014) in Rossling ed. *Handbook of Acoustics*. , Berlin Heidelberg: Springer, Kap. Acoustics in Halls for Speech and Music, sid. 317–366, ISBN 978-1-4939-0754-0.

Garnier, M., Nathalie, H. och Dubois, D. (2010) *Influence of Sound Immersion and Communicative Interaction on the Lombard Effect*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, Vol.53(3), sid.588-608, DOI: http://dx.doi.org/10.1044/1092-4388(2009/08-0138).

Grahn, P. och Stigsdotter, U. K. (2010) *The relation between perceived sensory dimensions of urban green space and stress restoration*. Landscape and Urban Planning, Vol. 94(3), sid. 264-275, DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.10.012.

Hazan, V. och Barrett, S. (2000) *The development of phonemic categorization in children aged 6-12*. Journal of Phonetics Vol. 28, sid. 377-396, DOI: http://dx.doi.org/10.1006/jpho.2000.0121.

Hellström, B. (2012) *URBAN SOUND PLANNING – the SONORUS-project*. Conference Paper, Stockholm: University College of Arts, Crafts & Design (Konstfack).

Hodson, C. och Sander, H. (2017) *Green urban landscapes and school-level academic performance*. Landscape and Urban Planning Vol.160, sid. 16–27, DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.11.011.

Hosanna (2013) *Novel Solution for quieter and greener Cities*. Conference Brochre: Hosanna, URL: http://www.greener-cities.eu/, Hämtad 2018-06-15.

James, B.-I., A.and Dalenbäck och Naqvi, A. (2001) *Computer Modellering with CATT-Acoustic - Theory and Practice of diffuse reflection and array modelleing*.: I Rees Adrian James Acoustics Ltd, Norwich, UK, URL: http://www.adrianjamesacoustics.co.uk/catt-acoustic/technical-background/, Hämtad 2018-10-20.

Johnson, C. (2000) *Children's phoneme identification in reverberation and noise*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research. Vol 43(1), sid. 144, Social Science Premium Collection).

Kemikalieinspektionen (2018) *Konstgräsplaner och fallskydd*. Kemikalieinspektionens webbplats, URL: https://www.kemi.se/, Hämtad 2018-09-10.

van Kempen, E., van Kamp, I., Nilsson, M., Lammers, J., Emmen, H., Clark, C. och Stansfeld, S. (2010) *The role of annoyance in the relation between transportation noise and children's health and cognition*. The Journal of the Acoustical Society of America, Vol.128(5), sid. 2817-2828, DOI: http://dx.doi.org/10.1121/1.3483737.

KI (2013) *Miljöhälsorapporten 2013*. Stockholm: Institut för Miljömedicin, Karolinska Institutet.

King, P. (2013) *Children's Perception of Choice in their Play at Home, in the School Playground and in the Out-of-School Club*. Doctoral Thesis. Swansea, Wales: Swansea University.

Klatte, M., Bergström, K. och Lachmann, T. (2013) *Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children*. Front. Psychol. Vol.4(578), DOI: http://dx.doi.org/https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00578.

Krewski, D., Turner, M., Boom, N. och Momoli, F. (2008) *Environmental Health: Overview*. Oxford: Academic Press, DOI: http://dx.doi.org/10.1016/B978-012373960-5.00272-0, ISBN 978-0-12-373960-5.

Kropp, W., Forssén, J. och Mauriz, L. M. (2016) *URBAN SOUND PLANNING – the SONORUS project*. Samlingverk, Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Avdelning för teknisk akustik, ISBN 978-91-639-1859-9.

Kumar, S., Joseph, S., Gander, P. E., Barascud, N., Halpern, A. R. och Griffiths, T. D. (2016) *A Brain System for Auditory Working Memory*. Vol. 36, Journal of Neuroscience, Vol. 36(16), sid. 4492-4505: Society for Neuroscience, sid.4492–4505, DOI: http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4341-14.2016.

Kylin, M. (2015) Kommunala riktlinjer för skolgårdar och förskolegårdar. in *UR Samtiden - Gör plats för barn och unga*. , Boverket & Movium: Sveriges Utbildningsradio AB, URL: https://urskola.se/, Hämtad 2018-10-20.

Lane, H. och Tranel, B. (1971) *The Lombard Sign and the Role of Hearing in Speech*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, Vol.14(4), sid. 677-709, DOI: http://dx.doi.org/10.1044/jshr.1404.677.

Larsson, C. (1984) *Effects of meteorological parameters on sound propagation*. Doctoral Thesis. Uppsala: University of Uppsala, Ämnesavdelningen för inomhusmiljö, 21 sid., ISBN 91-554-1501-6.

Larsson, C. (1994) *Meteorological effects on sound propagation*. Current Topics in Acoustical Research, Vol.1(1), sid. 91-99, DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0003-682X(96)00068-0.

Leistner, P., Hellbrück, J., Klatte, M., Seidel, J. och Weber, L. (2006) *Lärm in der schulischen Umwelt und kognitive Leistungen bei Grundschulkindern*. Doctoral Thesis. Oldenburg: Frauenhofer-Institut für Bauphysik, Carl von Ossietzki Universität, 131 sid.

Lindström, H. (18 september, 2018) Rektor för Sverigefinska skolan. Telefonkontakt.

Lyberg Åhlander, V., Holm, L., Kastberg, T., Haake, M., Brännström, J. och Sahlén, B. (2015) *Are children with stronger cognitive capacity more or less disturbed by classroom noise and dysphonic teachers?*. International Journal of Speech-Language Pathology. Vol.17(6), sid. 577-588, DOI: `http://dx.doi.org/10.3109/17549507.2015.1024172`.

Maling, G. C. (2014) in Rossling ed. *Handbook of Acoustics*. , Berlin Heidelberg: Springer, Kap. noise, sid. 1001–1060, ISBN 978-1-4939-0754-0.

Mattson, H. (31e oktober, 2018) Tidigare elev. Personlig konversation.

Medl, A., Stangl, R. och Florineth, F. (2017) *Vertical greening systems – A review on recent technologies and research advancement*. Building and Environment, Vol. 125, sid. 227-239, DOI: `http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.054`.

Moore, B. C. J. (2014) in Rossling ed. *Handbook of Acoustics*. , Berlin Heidelberg: Springer, Kap. Psychoacoustis, sid. 475–518, ISBN 978-1-4939-0754-0.

Mossberg, F. (2011) *Ljudmiljö, hälsa och stadsbyggnad*. Ljudmiljöcentrum skriftserie, Vol.9: Ljudmiljöcentrum vid Lunds universitet.

MyMaps, G. (2018) *Innerstadsskolor*. Sveriges kommuner och Landsting, URL: `https://www.google.com/maps/`, Hämtad 2018-10-10.

Möser, M. (2009) *Engineering Acoustics - An Introduction to Noise Control*. Berlin Heidelberg: Springer, ISBN 978-3-540-92722-8.

Naturvårdsverket (2015) *Vägledning om industri- och annat verksamhetsbuller*. No. Rapport 6538, ISBN 978-91-620-6538-6, Stockholm.

Naturvårdsverket (2017a) *Mikroplaster Redovisning av regeringsuppdrag om källor till mikroplaster och förslag på åtgärder för minskade utsläpp i Sverige*. No. Rapport 6772, ISBN 978-91-620-6772-4, Stockholm.

Naturvårdsverket (2017b) *Riktvärden för buller på skolgård från väg- och spårtrafik*. Stockholm, NV-01534-17.

Naturvårdsverket (2017c) *Riktvärden för buller på skolgård från väg- och spårtrafik*. NV-01534-17.

Neuman, A., Weoblewski, M. och Hajucek, J. (2010) *Combined Effects of Noise and Reverberation on Speech Recognition Performance of Normal-Hearing Children and Adults*. Ear& Hearing, Vol. 31(3), sid. 336-344.

Neuman, A. C. och Hochberg, I. (1983) *Children's perception of speech in reverberation*. The Journal of the Acoustical Society of America Vol. 73(6), sid.2145-2149, DOI: http://dx.doi.org/10.1121/1.389538.

Nilsson, M. och Berglund, B. (2006) *Soundscape Quality in Suburban Green Areas and City Parks*. Acta Acustica united with Acustica, Vol. 92, sid. 903-911.

Nilsson, M. E. (2014) *Bullerstörning före och efter uppförande av bullerskärmar vid Nynäsvägen, Stockholm.*: Gösta Ekmans Laboratorium, Psykologiska institutionen, Stockholms universitet.

Nishi, K., Lewis, D. E., Hoover, B. M., Choi, S. och Stelmachowicz, P. G. (2010) *Children's recognition of American English consonants in noise*. The Journal of the Acoustical Society of America Vol. 127(5), sid.3177–3188, DOI: http://dx.doi.org/10.1121/1.3377080.

Norconsult (2012) *Bullerutsatta förskolor i Stockholm Förskolor i grupp 1*. Göteborg: Norconsult AB.

Oloumi, S., Mahdavinejad, M. och Namvarrad, A. (2012) *Evaluation of Outdoor Environment from the Viewpoint of Children*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol.35, sid. 431-439, DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.02.108, AicE-Bs 2011 Famagusta (Asia Pacific International Conference on Environment-Behaviour Studies, Famagusta, North Cyprus, 7-9 December 2011).

Phillips, D. C. och Soltis, J. F. (2010) *Perspektiv på lärande.*: Studentlitteratur AB, ISBN 9789144101743.

Pulkki, V. och Karjalainen, M. (2015) *Communication Acoustics: An Introduction to Speech, Audio and Psychoacoustics.*: John Wiley & Sons, Incorporated, ISBN 978-1-118-86654-2.

Pyko, A., Eriksson, C., Oftedal, B., Hilding, A., Östenson, C.-G., Krog, N. H., Julin, B., Aasvang, G. M. och Pershagen, G. (2015) *Exposure to traffic noise and markers of obesity*. Occupational and Environmental Medicine, Vol. 72(8), sid. 594-601: BMJ Publishing Group Ltd, DOI: http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2014-102516.

Rantala, L. M., Hakala, S., Holmqvist, S. och Sala, E. (2015) *Classroom Noise and Teachers' Voice Production*. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, Vol. 58(5), sid. 1397-1406, DOI: http://dx.doi.org/10.1044/2015_JSLHR-S-14-0248.

Rohli, R. och Vega, A. J. (2015) *Climatology*. Burlington, Mass: Jones & Bartlett Learning 3:e uppl. ISBN 978-12-84028-77-5.

Rossling, D. (2014) , Berlin Heidelberg: Springer, sid.1-10, ISBN 978-1-4939-0754-0.

Roth, E. (2018) *Undersökning av ny fältmätningsmetod för bullerskyddsskärmar med avseende på ljudabsorption*. UPTEC W, Masters Thesis, Uppsala: Uppsala University, Department of Earth Sciences, sid.74.

SBU (2008) *Rörbehandling vid inflammation i mellanörat En systematisk litteraturöversikt.*: Statens beredning för medicinsk utvärdering, Rapportnr. 189, 258 sid., ISBN 978-91-85413-22-5.

Sikora, J. och Turkiewicz, J. (2010) *Sound Absorption coefficients of granular materials*. Journal of Mechanics and Control, Vol.29(3), sid. 149-157.

SKL (2015) *Skolgården - Förvaltning och utveckling av förskola- och skolgårdar*. Sveriges kommuner och Landsting, 75 sid., ISBN 978-91-7585-258-4.

Skolverket (2018) *Läroplan för grundskolan, förskoleklassen och fritidshemmet 2011. REVIDERAD 2018*. Norstedts Juridik AB, ISBN 9789138327333.

SL (2018) *Kartor över SL-trafiken*. SL:s webbplats, URL: `https://sl.se/sv/reseinfo/`, Hämtad 2018-09-22.

Socialstyrelsen (2008) *Buller Höga ljudnivåer och buller inomhus*. Rapport 2008-101-4: ISBN 978-91-85999-30-9.

SS 25268:2007+T1:2017 (2018) *Byggakustik – Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell*. Stockholm: Swedish Standard Institute.

Stockholms Stad (2018a) *Bullerkartor - Hela staden, all trafik*. Stockholm Stads webbplats, URL: `http://www.stockholm.se/TrafikStadsplanering/Trafik-och-resor-/Trafik-och-miljo/Trafikbuller/Bullerkartor/`, Hämtad 2018-11-22.

Stockholms Stad (2018b) *Stadsmuseets kulturhistoriska klassificering*. Stockholm Stads webbplats, URL: `https://stadsmuseet.stockholm.se/om-hus2/klassificering-och-k-markning/stadsmuseets-kulturhistoriska-klassificering/`, Hämtad 2018-09-22.

Sullivan, J., Osman, H. och Schafer, E. (2014) *The Effect of Noise on the Relationship Between Auditory Working Memory and Comprehension in School-Age Children*. Journal of Speech Language and Hearing Research, Vol. 58(3) sid. 1043-1051, DOI: `http://dx.doi.org/10.1044/2015_JSLHR-H-14-0204`.

Trimble (2018) *Google Sketchupp*. URL: `https://www.sketchup.com/`.

Wallberg, P., Keiter, S., Andersen, T. och Nordenadler, M. (2016) *Däckmaterial i konstgräsplaner*. Sweco Environment AB.

Wallin, H. P., Carlsson, U., Åbom, M., Bodén, H. och Glav, R. (2010) *Sound and vibration*. Stockholm:: Institutionen för farkostteknik, Tekniska högskolan, 2. rev. uppl.

Wightman, F. L. och Kistler, D. J. (2005) *Informational masking of speech in children: Effects of ipsilateral and contralateral distracters*. J Acoust Soc Am. Vol.118(5), sid. 3164-3176, PMID 16334898.

Währborg, P. (2011) *Den stressade hjärnan – om ljudmiljö, hälsa & stadsbyggnad*. Ljudmiljöcentrum vid Lunds Universitet.

Yang, H.-S. (2013) *Outdoor noise control by natural/sustainable materials in urban areas*. Doctoral Thesis: School of Architecture, The University of Sheffield.

BILAGOR

A AKUSTISKA PARAMETRAR TILL MODELLERING

Absorptionskoefficienterna i modelleringen sammanställs i tabell A.1.

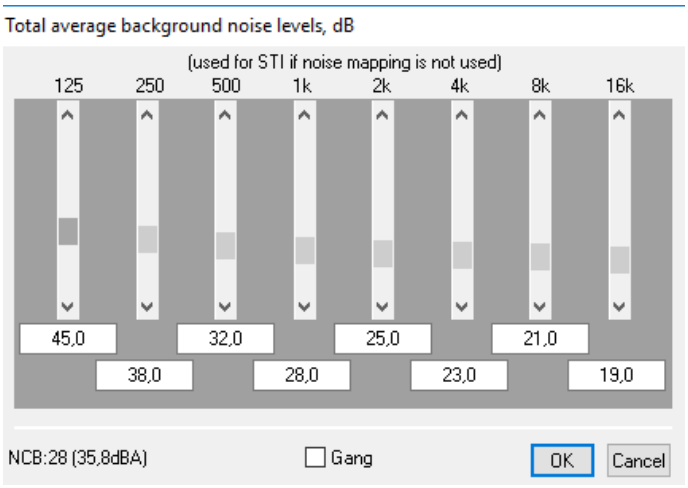
Tabell A.1. Absorptionskoefficient och diffusion vid ytorna i CATT-Acoustic.

Material	Absorbans						Källa
	125	250	500	1k	2k	4k	
Slät puts	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	Bobran (1995)
Betong, oputsad	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	Beranek (1954)
Himmel	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	
Gummi granulat 30 mm	0,05	0,09	0,22	0,72	0,9	0,62	Sikora & Turkiewicz (2010)
Gummi granulat 40 mm	0,04	0,13	0,4	0,86	0,75	0,69	Sikora & Turkiewicz (2010)
Vegetation, 40 %	0,46	0,72	0,83	0,92	0,91	0,82	Yang (2013)
vegetation, 80 %	0,52	0,79	0,86	0,96	0,91	0,72	Yang (2013)
	Diffusion						
	125	250	500	1k	2k	4k	
Slät puts			*estimate(0.01)*				Bobran (1995)
Betong, oputsad			*estimate(0.01)*				Beranek (1954)
Himmel	0	0	0	0	0	0	
Gummi granulat 30 mm			*estimate(0.01)*				Sikora & Turkiewicz (2010)
Gummi granulat 40 mm			estimate(0.01)				Sikora & Turkiewicz (2010)
Vegetation, 40 %	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,12	Yang (2013)
vegetation, 80 %	0,01	0,01	0,05	0,01	0,05	0,17	Yang (2013)

Ljudkällorna i modellen ska efterlikna naturliga ljudkällor. Vitt brus används för att kunna undersöka hur ljud vid alla frekvensr påverkas. Kommandot i modellen visas i FigurA.1.

```
; a natural source
;id   position    directivity  aim-position [roll]
 A2  10 20 1.2     OMNI       0.0 5.0 1.7
 Lp1m_a   = Lp_white 94 ; white spectrum, 94 dB at 1kHz
```

Figur A.1. Exempel på ljudkälla som användes i vid beräkningarna i CATT-Acoustic.



Figur A.2. Ljudnivåer för bakgrundsljud som användes vid beräkningarna av STI.

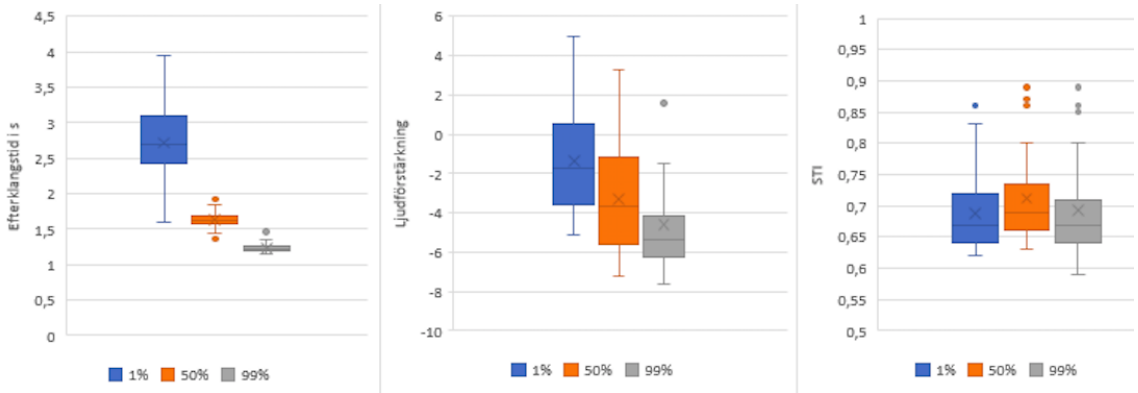
B KÄNSLIGHETSANALYS

Beräkningsprogrammet CATT-Acoustic bygger på ett flertal antaganden. Den första är att ljudvågor modelleras som vektorer vilket är en giltig approximation när våglängden är mycket mindre än omgivningens ytor för att ljudet då reflekteras utan att våglängden är av betydelse. I de fallen där ytan är mindre än våglängden är ljudvågens fas av betydelse och avgör om ljudet böjs utåt, inåt, tar sig förbi föremålet utan att påverkas eller reflekteras (se avsnitt 2.1.2). Då modellens samtliga ytor är betydligt större än våglängden beräknas den minsta giltiga frekvensen (Schröderfrekvensen, se ekvation 6) för modellen:

$$f_s = 2000\sqrt{\frac{T_{sab}}{V}} = 2000 * \sqrt{\frac{1,87}{54000}} = 11,8[Hz] \tag{7}$$

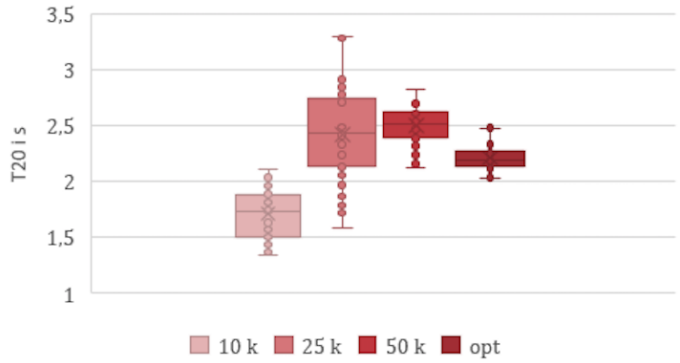
T_{sab} beräknades i CATT-Acoustic till att vara 1,87 s. Modellen har en öppen yta som skulle resultera i en oändlig volym. I modellen används dock 15 m höga väggar som resultera i en volym på 54000m^2. I praktiken används 4f_s för att minska risk för fel, vilket är mindre än den minsta frekvensen som brukar mätas och analyseras (125 Hz). Modellen antas därför vara giltig för alla frekvenser mellan 125 Hz och 16 kHz.

Modellens ytor tilldelas egenskaperna absorption och diffusion. Värdena redovisas i Tabell A.1. Absorptionskoefficienterna hittas tabellvärden ifrån mätningar i efterklangsrum. Diffusionskoefficienterna skattas utifrån hur jämn och rak en yta är. I James (2016) rekommenderas att undersöka diffusionskoefficientens betydelse för beräkningen, som visar sig har stor effekt på samtliga analyserade parametrar. Påverkan på efterklangstid och ljudförstärkningen och STI ses i Figur B.1. Vid samtliga analyser undersöks endast medelvärdet av de relevanta frekvenserna. För efterklangstiden bedöms alla frekvenser där tal förekommer vara viktiga (125 Hz till 8 kHz), för ljudförstäkningen används samtliga frekvenser 125 Hz till 16 k Hz och för STI frekvenserna 500 Hz till 16 Hz. Därför valdes programmets egna funktion som skattar värden för modelleringen då fasaderna antas vara raka och jämna bestämdes fasadens diffusion med hjälp av programmets diffusion skattning. Ytan antas inte variera mer än 1 cm.



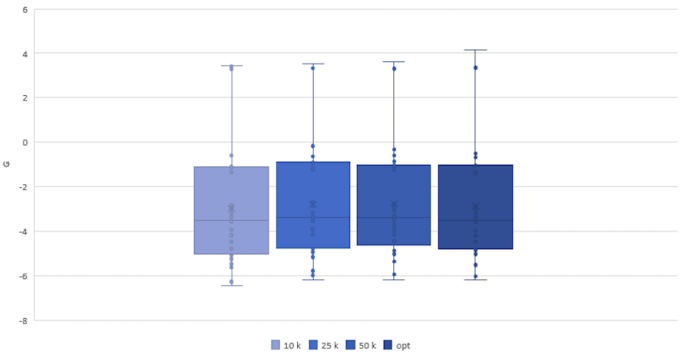
Figur B.1. Resultat över hur olika diffusion påverkar efterklangstid, ljudförstärkning och STI. Lådan visar den övre respektive under kvartilen som delas med ett sträck som markerar median. Medelvärdet visas med ett kryss och avvikande värden med cirklar.

Inledningsvis undersöks noggrannheten av beräkningarna och antal vektorer som är nödvändiga vid beräkningen för att få säkra resultat för parametrar som efterklangstid, ljudförstärkning och STI. Av programmet ges en rekommendation utifrån rummets volym som ligger på 225 815 vektorer som innebär en tidsintensiv beräkning. Därför undersöks möjligheten att använda ett färre antal vektorer genom att analysera resultaten från upprepad beräkning med samma beräkningsvillkor och antal vektorer. I programmet beräknas efterklangstid, ljudförstärkning och STI under användning av 10 k vektorer, 25 k vektorer, 50 k vektorer och antalet som rekommenderas av programmet (225 815 vektorer) fem gånger var.



Figur B.2. Spridning av resultaten för efterklangstid när antalet slumpvisa vektorer som användes i beräkningen varierades. Antal vektorer var 10 000 (10 k), 25 000 (25 k), 50 000 (50 k) och 225 815 (opt). Lådan visar den övre respektive under kvartilen som delas med ett sträck som markerar median. Medelvärdet visas med ett kryss och avvikande värden med cirklar.

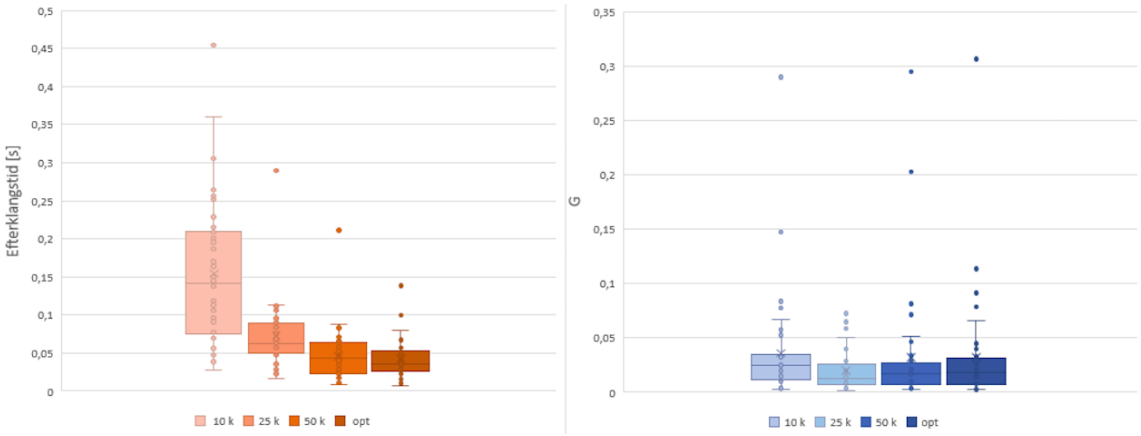
Den första undersökta variabeln är efterklangstid och beräkningarna varierade starkt mellan de olika noggrannheterna. Resultaten visar att efterklangstid inte kan beräknas med ett mindre antal vektorer. Främst värdena för efterklangstid i hörnen blir osäkra.



Figur B.3. Spridning av resultaten för ljudförstärkningen när antalet slumpvisa vektorer som användes i beräkningen varierades. Antal vektorer var 10 000 (10 k), 25 000 (25 k), 50 000 (50 k) och 225 815 (opt). Lådan visar den övre respektive under kvartilen som delas med ett sträck som markerar median. Medelvärdet visas med ett kryss och avvikande värden med cirklar.

Spridningen av medelvärden för varje mottagarpunkt för de fem beräkningar skiljer sig obetydligt för ljudförstärkningen (Figur B.4). Medelvärdena vid 25 k och optimal skiljer sig som mest med 0,12.

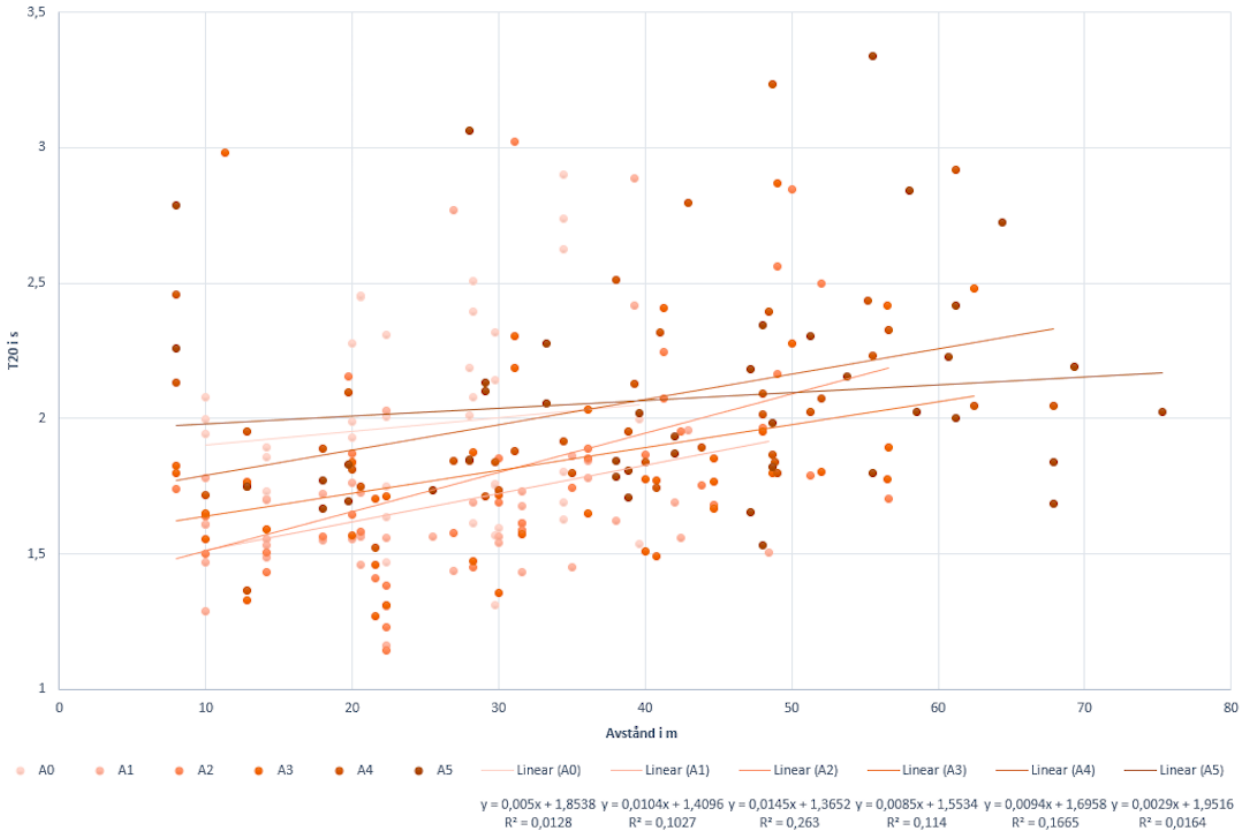
Antal vektorer påverkar hur värdena är fördelade. Värdena skiljer sig genomsnitt 0,05 och som max 0,09 STI-enheter ifrån beräkningen med rekommenderad antal vektorer.



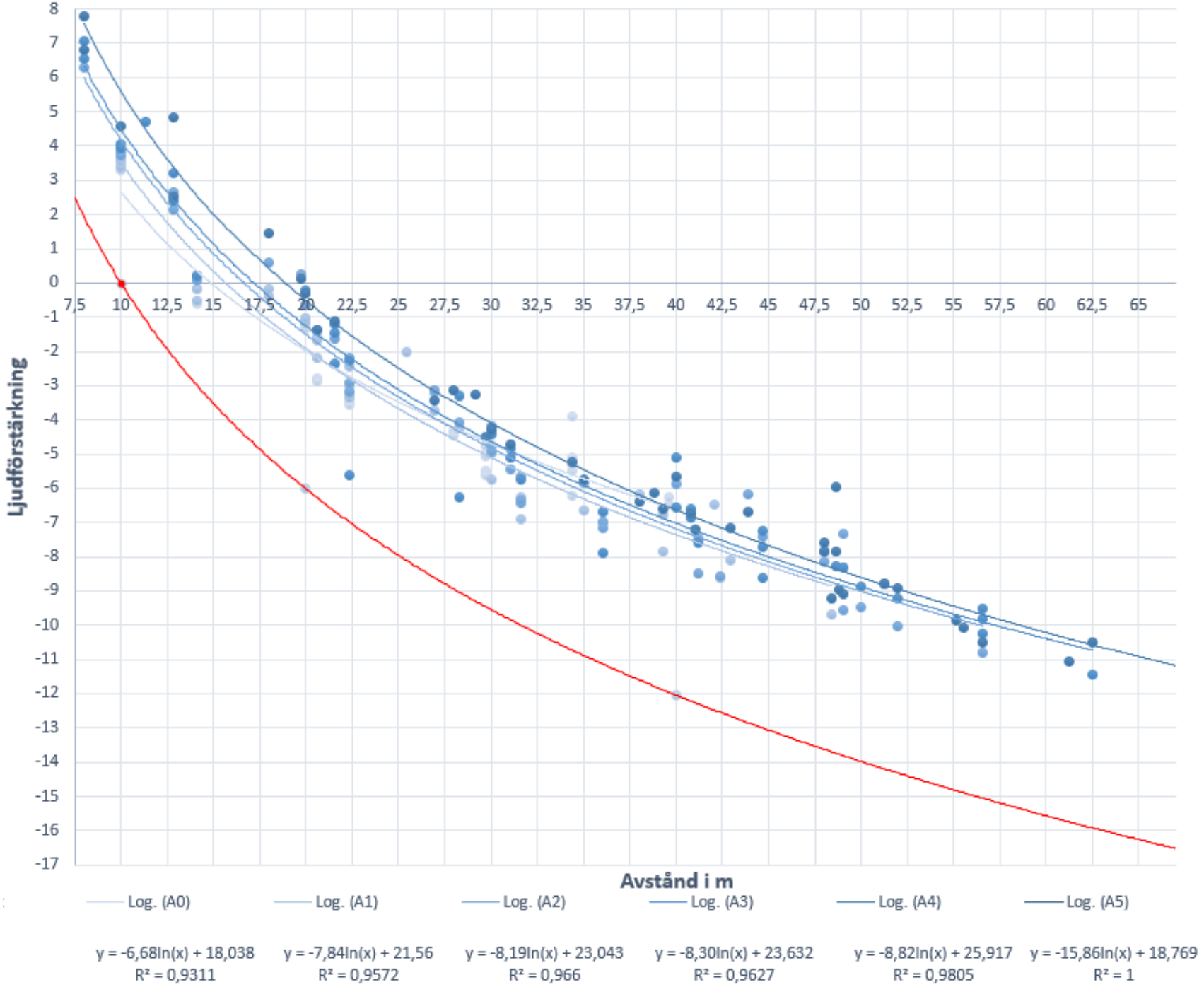
Figur B.4. Variationsbredd för de enskilda beräkningarna för efterklangstid (vänster) och ljudförstärkning (höger) när antalet slumpvisa vektorer som användes i beräkningen varierades. Antal vektorer var 10 000 (10 k), 25 000 (25 k), 50 000 (50 k) och 225 815 (opt). Lådan visar den övre respektive under kvartilen som delas med ett sträck som markerar median. Medelvärdet visas med ett kryss och avvikande värden med cirklar.

Beräkningsresultaten för STI skiljer sig inte nämnvärd med 0,01 som max för enskilda mätpunkter när beräkningen görs med samma villkor och antal vektorer.
För alla tre parametrar är osäkerheten som störst vid mottagarpunkterna i hörnen på modellen.

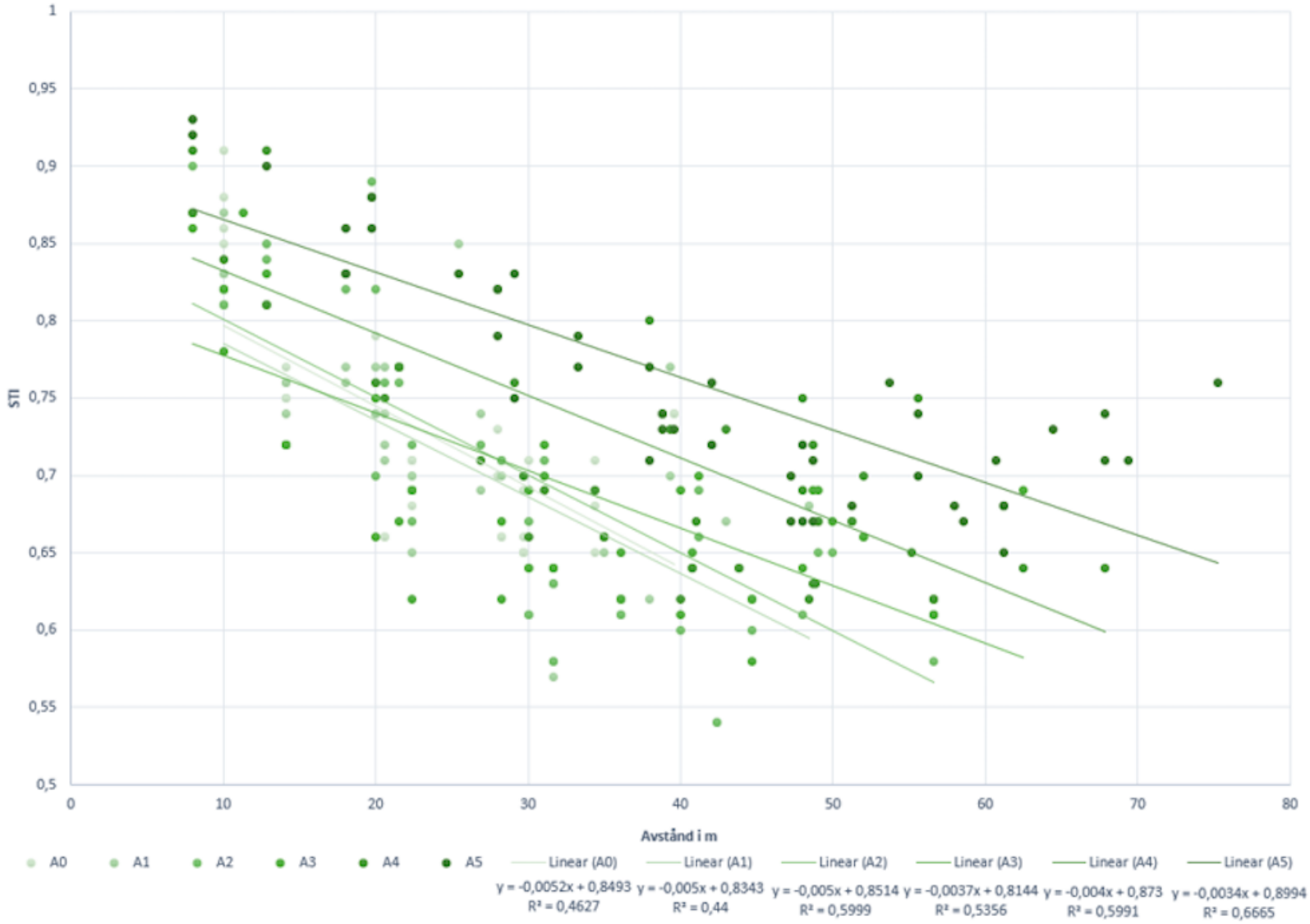
C AVSTÅNDBEROENDE FÖR EFTERKLANGSTID, LJUDFÖRSTÄRKNING OCH STI



Figur C.1. Efterklangstidens avståndsberoende.



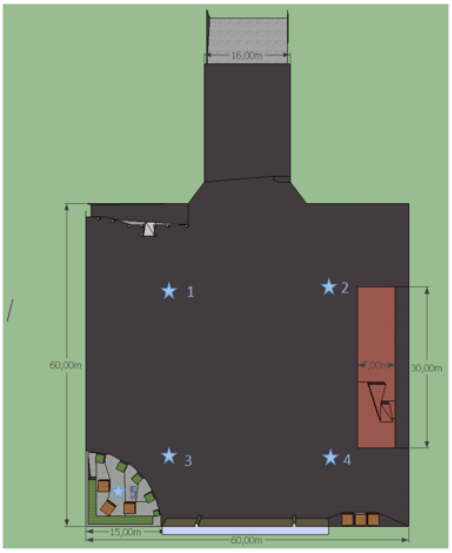
Figur C.2. Ljudförstärkning för de olika positionerna av ljudkällan med ökande avstånd. Röd linje visar avtagande i frifält.



Figur C.3. STI för de olika positionerna av ljudkällan med ökande avstånd.

D MÄTPROTOKOLL ADOLF FREDRIKS MUSIKKLASSER 2018-09-10 KL. 10.00 TILL 13.00

Mätningen genomfördes under en dag med vanlig skolverksamhet (Bruun, 5e september&22 november, 2018) och de meteorologiska förhållandena som rådde var 19 °C, vindstilla och lätt molnighet. Två byggplatser i närområdet hördes in på skolgården med jämna mellanrum. Inga mätningar togs när byggbuller hördes. Mätningen kalibrerades innan mätningen och genomfördes med en ljudmätare, klass 1 med inställning fast vid punkterna 1 till 5 (Figur D.1).

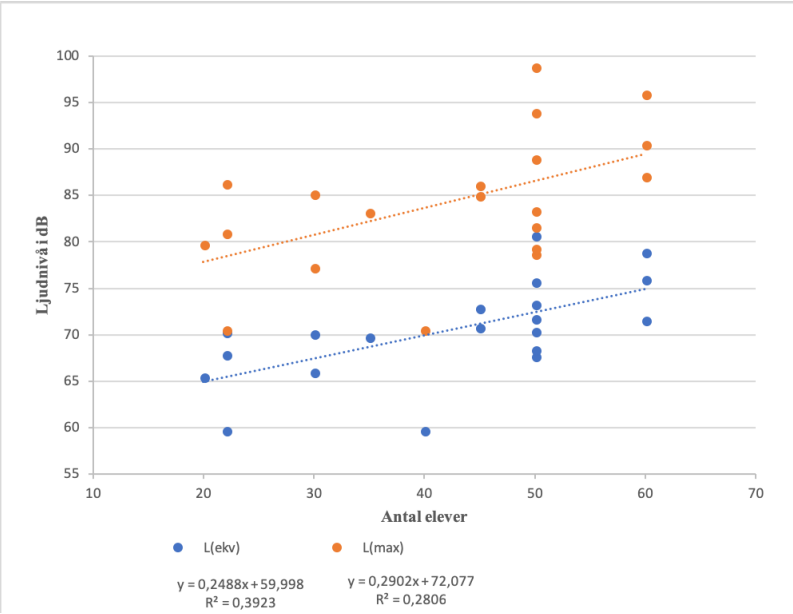


Mätpunkt	elevantal	L_{ekv} i dBA	L_{max} i dBA
1	20	65,6	79,9
1	60	79,0	96,0
1	45	73,0	85,1
1	50	73,4	89,1
1	30	70,2	85,3
2	40	59,8	70,7
2	50	67,8	78,8
2	50	68,5	81,8
2	22	59,8	70,7
3	22	70,4	86,4
3	50	70,5	79,4
3	45	70,9	86,2
3	60	76,1	90,6
3	50	71,9	83,5
3	30	66,1	77,4
4	22	68,0	81,1
4	35	69,9	83,3
4	50	75,8	94,1
4	60	71,7	87,2
4	50	80,8	99,0
5	30	67,1	81,7
5	15	60,3	69,2
5	60	66,5	74,0

Figur D.1. Sammanställning av uppmäta ljudnivåer i dBA på Adolf Fredriks Musikklasser. Varje mätning varade i 30 s.

Ljudnivåerna på en tom skolgård varierade mellan 50 och 55 dBA ekvivalent ljudtrycksnivå vilket motsvarar ljudnivån ifrån bullerkartläggningen. Stickprovmätningar genomfördes där ljudtrycksnivån mättes under 30 s på 5 ställen (D.1). Då antalet elever varierade under mättillfället protokollfördes antal elever på gården. Vid under 30 elever räknades antal elever och när antalet översteg 30 elever på gården uppskattades elevantalet. Avståndet till elevgrupperna varierar då mätningen genomfördes på fasta punkter och eleverna rördes sig över gården. De ekvivalenta ljudnivåerna varierade med 60 och 80 dBA ekvivalent ljudtrycksnivå. Den maximala ljudnivån var 99 dB.

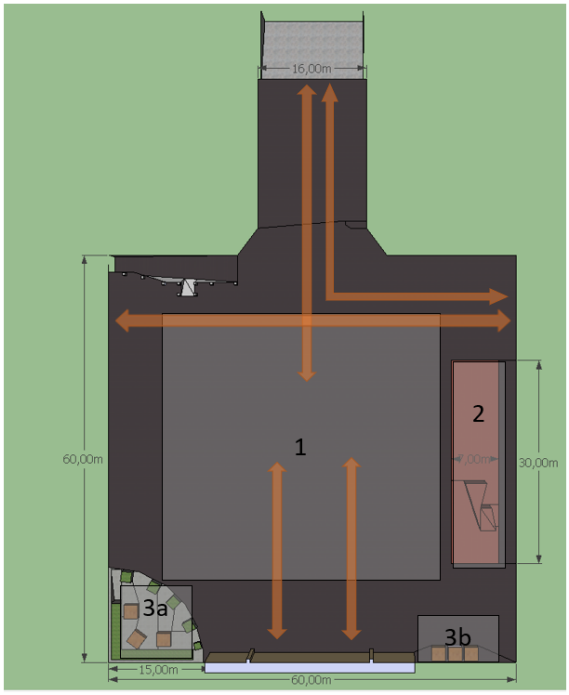
Uppmätt ekvivalent och maximal ljudnivå skiljer sig svagt mellan mätplatserna när värdena korrigeras för antal elever och ett samband kan på grund av korta och få mätningar inte säkerställas (Figur D.2). Det hittades ett svagt samband mellan ljudnivå och antal barn som inte heller kan säkerställas på grund av få mätvärden.



Figur D.2. Samband mellan ljudnivå och anal elever på skolgården.

Ljudnivån varierar utifrån hur mycket barn som är ute och vilka aktiviteter barnen ägnar sig åt. Flest elever var ute under lunchrasten och den mest högljudda aktiviteteten var basket. Eftersom höga ljudnivåer förkom när barn ägnade sig åt fysiska lekar i grupper från 3 elever och var ljudnivåerna särskilt höga när leken inkluderade skrik eller studsande av en basketboll.

1 Indelning i zoner och identifiering av aktiviteter
Skolgården används oftast enbart av ett begränsat antal elever på grund av olika rasttider. Beroende på elevernas ålder varierade aktiviteterna på skolgården. Skolgården kan utifrån aktiviteterna delas in i 4 zoner som delvis går in i varandra. Zonerna visa i Figur D.3.



Figur D.3. Aktiviteter på skolgården. Indelning i zonerna 1, 2, 3a och 3b samt en fjärde zon som markeras med pilar.

- Zon (1) är zonen som tar mest utrymme där livliga lekar, samling i grupp och bollspel förekommer. Aktiviteterna pågick under alla tider där flera barn befann sig på gården.
- Zon (2) är området vid fallskyddet där eleverna klättrar, balanserar och leker både för sig själva och i grupp. Området användes av de yngre barnen på skolan och stod mer oanvänd när enbart äldre elever hade rast.
- Zon (3) är lugna zoner där det finns bänkar. Under den observerade dagen vad det mest enskilda som använde bänkarna.
- Zon (4) är mer diffus och uppstår när elever går över gården. Skolgården är den enda vägen att ta sig till och från byggnaden. Elever som kommer till och lämnar skolan både på morgonen eller i samband med idrottslektioner eller tar sig mellan delar av skolbyggnaden passerar över gården. Därför valdes den sista zonen mer diffus (pilar i Figur D.3).

2 Önskad akustisk miljö
För varje zon bestäms en önskad ljudmiljö och en kort kommentar ges.

Tabell D.1. Beskrivning av den önskade ljudmiljön i zonerna (1) till (4).

Zon	Klass	Kommentar
(1)	C, G	Under lekarna behöver barnen kunna höra varandra samtidigt som tal i bakgrunden kan maskera ljud från bullret som skapas av andra barns lek
(2)	C, G	Barn i närheten ska kunna höras tydligt samtidigt som tal i bakgrunden kan maskera ljud från bullret som skapas av andra barns lek
(3a)	D, E	Plats där naturljud möjliggör återhämtning
(3b)	G	Plats som möjliggör kommunikation med god taluppfattning
(4)	G	Möjliggör samtal i lägre ton vid passerandet över gården

3 Indelning i önskat och oönskat ljud
Här inventeras både de nuvarande befintliga ljuden och de förväntade ljuden som förväntas tillkomma när ljudmijön förändras.

Tabell D.2. Beskrivning av önskade och oönskade ljud i zonerna 1 till 4.

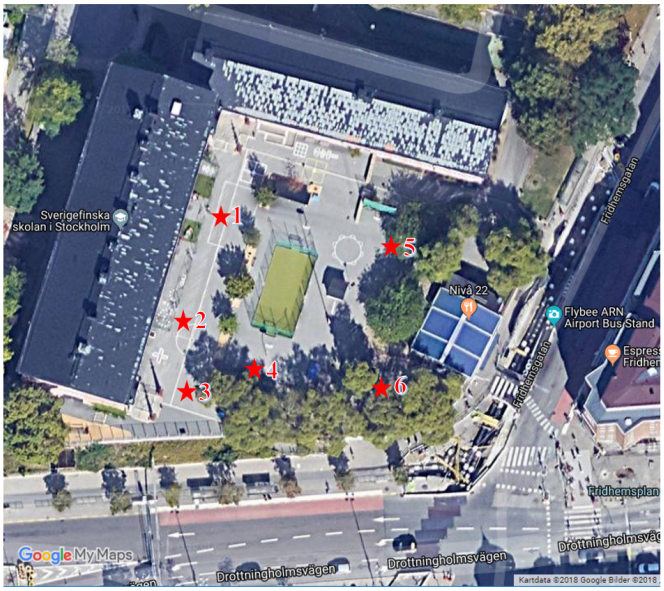
Zon	Önskat ljud	Oönskat ljud
(1) & (2)	lekkamraternas röster bakgrundsljud som maskerar onödig information	studsande av bollarna skrik bakgrundsljud som stör talkommunikation
(3a)	fågelkvitter vegetationsljud (löv i vinden) (rinnande vatten)	ljud från barnens lek förståeligt tal onaturliga ljud som trafikljud
(3b) & (4)	tal på korta avstånd maskerande ljud	Plats som möjliggör kommunikation med god taluppfattning

E MÄTPROTOKOLL SVERIGEFINSKA SKOLAN 2018-09-19 KL. 9.00 TILL 12.00

Mätningen genomfördes tisdag, den 18 september 2018, som enligt skolans rektor var en dag med vanlig skolverksamhet (Lindström, 18 september, 2018, telefonsamtal). De meteorologiska förhållandena var 18 °C, lätt vind och lätt molnighet. Ljudmätningen genomfördes med en ljudmätare av klass 1 som kalibrerades direkt innan mätningen.

Ljudnivån, L_{ekv} mättes i intervaller på 30 s och mätplatsernas fördelning visas i figur E.1 och bilder på hur platserna ser ut finns i figur E.2. Mätningarna genomfördes både när skolgården var tom och under rasten där mer än 100 elever vistades ute samtidigt och de uppmätta ljudnivåerna på respektive plats ses i Figur E.1. När skolgården var tom varierade ljudnivån mellan 50 dBA och 56 dBA. Under rasten uppmättes ljudnivåer mellan 64 dBA och 82 dBA.

	L_{ekv} i dBA	
Mätpunkt	Tom skolgård	Under rasten
1	-	67,3
1	-	67,0
1	-	68,7
1	-	64,2
2	54,7	77,3
2	50,4	74,4
2	56,4	-
3	54,6	76,1
3	53,4	59,8
3	53,9	-
4	56,3	79,4
4	53,4	81,6
5	-	82,1
6	55,2	75,0
6	52,8	-



Figur E.1. Sammanställning av uppmäta ljudnivåer i dBA på Sverigefinska skolans innergård. Varje mätning varade i 30 s. Källa för kartan: MyMaps (2018).

När skolgården var tom dominerade ljud från vägtrafik och under rasten dominerade ljuden från barnen på skolgården. Ljuden som förekom kan delas in i mekaniska (personbilar, tunga fordon, bussar, lastbilar och motorcyklar), mänskliga (lekar, ropande, skratt, skrik och studsande från bollar) och naturliga (enstaka fågelljud, löv i träden).

(a). Mätpunkt 2,3,4

(b). Mätpunkt 5

(c). Mätpunkt 6

Figur E.2. Olika platser på Sverigefinska skolans skolgård. Foto: Hanna Leidholdt

1 Indelning i zoner och identifiering av aktiviteter

Barnen använde skolgården på många olika sätt. Det förekom fysiska lekar som bollspel, gungande, hopplekar, springande och klättring vid lekredskapen. Några elever satt mer avskilt och några stod vid bullerplanken och observerade trafiken på vägen utanför. En del elever gick omkring och pratade. Aktiviteterna ändrades snabbt och varierade från tidpunkt till tidpunkt.

En övergripande indelning gjordes i de tre zonerna (1) ”on stage”, (2) ”off-stage” och (3) ”back-stage” som beskrevs i avsnitt 2.5.1.

- Zon (1) är där livliga lekar och bollspel förekommer. Här lekte eleverna oftast i grupp. Till zonen räknas alla centrala och öppna platser på skolgården som fotbollsplanen, kingrutorna, ytan vid basketkorgarna och de olika lekredskapen.
- Zon (2) är platser där eleverna håller sig i nära anslutning till zon (1) men ägnar sig åt att prata och gå omkring på skolgården. Den här zonen förekom längs med buskarna vid fotbollsplanen, vid paviljongen och på de öppna ytornas yttre områden.
- Zon (3) är där barnen var mer för sig själva, exempelvis under träden och i området längs med bullerskärmen.

2 Önskad akustisk miljö

För varje zon ges förslag på en önskad ljudmiljö och förslagen redovisas i Tabell E.1.

Tabell E.1. Beskrivning av den önskade ljudmiljön i zonerna (1), (2) och (3).

Zon	KLass	Kommentar
(1)	C, G	Under lekarna behöver barnen kunna höra varandra samtidigt som tal i bakgrunden kan maskera ljud från bullret som skapas av andra barns lek
(2)	C, G	Barn i närheten ska kunna höras tydligt samtidigt som tal i bakgrunden kan maskera ljud från bullret som skapas av andra barns lek
(3)	D, E	Plats där naturljud dominerar och möjliggör återhämtning Förutsättning ges för samtal i lägre ton

3 Indelning i önskat och oönskat ljud

Både de nuvarande befintliga ljuden och ljuden som kan vara önskade sammanställs i Tabell E.2.

Tabell E.2. Beskrivning av önskade och oönskade ljud i zonerna 1 till 4.

Zon	Önskat ljud	Oönskat ljud
(1)	lekkamraternas röster bakgrundsljud som maskerar	studsande av bollar skrik
(2)	tal på kortare avstånd lekkamraternas röster bakgrundsljud som maskerar	studsande studsande av bollar skrik
(3)	fågelkvitter vegetationsljud (löv i vinden) maskerande ljud (rinnande vatten)	ljud från barnens lek förståeligt tal mekaniska ljud som trafikljud