

# Lydforhold og akustiske parametre i undervisningsrom

KUNNSKAPSGRUNNLAG



SINTEF Fag

Anders Homb

# **Lydforhold og akustiske parametre i undervisningsrom**

Kunnskapsgrunnlag

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 92  
Anders Homb

**Lydforhold og akustiske parametre i undervisningsrom**  
**Kunnskapsgrunnlag**

Emneord:  
Litteraturstudium, akustisk regulering, støy, undervisningsrom

ISSN 1894-1583  
ISBN 978-82-536-1763-3 (pdf)

Prosjektnummer: 102023029

Foto/illustrasjon omslag:  
Rom for kunst og håndverk, Hebekk skole, Nordre Follo.  
Arkitekter: Planforum arkitekter AS. Foto: Eli Haugen Sandnes.



© 2022 Forfatterne. Utgitt av SINTEF akademisk forlag  
Denne rapporten er publisert med åpen tilgang etter CC BY-lisensen  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

SINTEF akademisk forlag  
SINTEF Community  
Børrestuveien 3  
Postboks 124 Blindern  
0314 OSLO  
Tlf.: 40 00 51 00

[www.sintef.no/community](http://www.sintef.no/community)  
[www.sintefbok.no](http://www.sintefbok.no)

## Forord

Denne rapporten inngår i en serie publikasjoner, rapporter og studier i prosjektet "Morgendagens skoler – et skoleeksempel". Prosjektet pågår fra 2020 til 2023 og er et innovasjonsprosjekt i offentlig sektor, finansiert av Norges Forskningsråd. "Morgendagens skoler" er et samarbeid mellom SINTEF Community, Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Universitet (NTNU) – Institutt for pedagogikk og livslang læring, Tromsø kommune, Bergen kommune, Trondheim kommune og Nordre Follo kommune. Tromsø kommune er prosjekteier. Denne rapporten er en leveranse for milepel 6 i henhold til prosjektets framdriftsplan.

Rapporten presenterer resultater fra en innledende kartlegging av forskningslitteratur om akustiske forhold i undervisningslokaler. Formålet har vært å samle eksisterende kunnskap om hvilke effekter ulike akustiske forhold har på elever og å evaluere metoder som kan være relevante for å planlegge gode læringsarealer. Kartleggingen skal danne grunnlag for videre forskningsarbeider i prosjektet. Kapitlene i rapporten presenterer resultater fra litteraturgjennomgangen innenfor ulike temaområder knyttet til de akustiske forholdene.

Rapporten er skrevet av Anders Homb ved SINTEF Community. Manuset er gjennomgått og faglig kvalitetssikret av Gjermund Holøyen, SINTEF Community.

Trondheim 5. mai 2022

Anders Homb  
Seniorforsker  
SINTEF Community

Solvår Wågø  
Prosjektleder og seniorforsker  
SINTEF Community

Karin Rendahl  
Prosjekteier  
Tromsø kommune

## Sammendrag

Rapporten presenterer resultater fra en kartlegging av forskningslitteratur om akustiske forhold i undervisningsrom. Hovedformålet er å sammenstille kunnskapsgrunnlaget og å evaluere relevante metoder for å planlegge gode undervisningsarealer.

Arbeidet er basert på en større litteraturgjennomgang samt innhenting av erfaringsbasert kunnskap fra noen nordiske akustikere. Kartleggingen er avgrenset til litteratur og innhold om romakustikk og støy, og rapporten er inndelt i temaområder innenfor disse hovedtemaene. Momenter knyttet til luft- og trinnlydisolasjon mellom rom i skolebygg inngår ikke i dette arbeidet.

Fra et akustisk synspunkt kjennetegnes et godt læringsmiljø ved at alle oppfatter taleinformasjon tilstrekkelig tydelig i alle rom som er planlagt for verbal kommunikasjon. Videre er det viktig at elevene i liten grad blir distraheret av støyende aktiviteter, slik at de kan opprettholde konsentrasjon om læringsarbeidet. For å belyse dette er rapporten oppdelt i temaområdene tale tydelighet, aktivitetsstøy, åpne undervisningsarealer, måle- og beregnings-parametre samt krav og retningslinjer. Flere av disse temaområdene griper imidlertid inn i hverandre. Rapporten inneholder i tillegg et kapittel som evaluerer kunnskapsstatus.

Eksisterende forskningslitteratur gir et godt underlag og en rekke anbefalinger basert på omfattende dokumentasjon. Det er imidlertid nokså mangelfulle kunnskaper når det gjelder parametre som er sikre indikatorer for de akustiske forholdene i større rom, og hvordan slike rom skal defineres og prosjekteres. For større romløsninger er det ikke et konsistent kunnskapsgrunnlag, men klart belyst at elever med økte læringsbehov er spesielt følsomme for effekten av uheldige akustiske forhold. En annen konklusjon er at store, åpne undervisningsarealer kun bør velges når man kan forutsette at det er en høy grad av koordinering mellom aktivitetene i de ulike sonene/gruppene.

## Summary

The report presents results from a survey of research literature on acoustic conditions in classrooms. The main purpose is to compile the knowledge base and evaluate relevant methods for planning good teaching areas.

The work is based on a major literature review and the acquisition of experience-based knowledge from some Nordic acousticians. The survey is limited to literature and content on room acoustics and noise, and the report is divided into thematic areas within these main themes. Factors related to air and impact sound insulation between rooms in school buildings are not included in this work.

From an acoustic point of view, a good learning environment is characterized by everyone perceiving speech information sufficiently clearly in all rooms that are planned for verbal communication. Furthermore, it is important that the students only to a small extent are distracted by noisy activities, so that they can stay focused on the learning process. To shed light on this, the report is divided into the thematic areas of speech intelligibility, activity noise, open teaching areas, measurement and calculation parameters as well as requirements and guidelines. However, several of these thematic areas interfere with each other. The report also contains a chapter that evaluates the status of knowledge.

Existing research literature provides a good basis and a number of recommendations based on extensive documentation. However, there is quite a lack of knowledge regarding parameters that are reliable indicators of the acoustic conditions in larger rooms, and how such rooms should be defined and planned. There is no consistent knowledge base for larger rooms, but it is clearly illustrated that students with special needs are particularly sensitive to the effects of unfortunate acoustic conditions. Another conclusion is that large, open teaching areas should only be chosen when it can be assumed that there is a high degree of coordination between the activities in the various zones / groups.

# Innhold

<b>FORORD</b> .....	<b>3</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>4</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>5</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>8</b>
1.1 OM DENNE RAPPORTEN.....	8
1.2 BAKGRUNN.....	8
1.3 METODIKK.....	8
1.4 AVGRENSNING AV PROBLEMSTILLING.....	9
1.5 SENTRALE BEGREPER.....	10
<b>2 KRAV TIL LYDFORHOLD</b> .....	<b>13</b>
2.1 TYPER UNDERVISNINGSROM.....	13
2.2 VANLIGE UNDERVISNINGSROM.....	13
2.3 ÅPNE UNDERVISNINGSAREALER.....	14
2.4 LYDNIVÅ FRA TEKNISKE INSTALLASJONER.....	15
2.5 OPPSUMMERING.....	15
2.6 REFERANSER.....	16
<b>3 TALETYDELIGHET</b> .....	<b>18</b>
3.1 LITTERATURGJENNOMGANG.....	18
3.2 OPPSUMMERING.....	20
3.3 REFERANSER.....	21
<b>4 AKTIVITETSSTØY</b> .....	<b>24</b>
4.1 LITTERATURGJENNOMGANG.....	24
4.2 OPPSUMMERING.....	25
4.3 REFERANSER.....	26
<b>5 ÅPNE UNDERVISNINGSAREALER</b> .....	<b>28</b>
5.1 LITTERATURGJENNOMGANG.....	28
5.2 OPPSUMMERING.....	31
5.3 REFERANSER.....	32
<b>6 MÅLE- OG BEREKNINGSPARAMETRE</b> .....	<b>34</b>
6.1 LITTERATURGJENNOMGANG.....	34
6.2 OPPSUMMERING.....	35
6.3 REFERANSER.....	37
<b>7 EVALUERING AV KUNNSKAPSSTATUS</b> .....	<b>40</b>

Figur 1  
Vestibulen på Hebekk  
skole, Nordre Follo.  
Arkitekter: Planforum  
arkitekter AS. Foto: Eli  
Haugen Sandnes





# 1 Innledning

## 1.1 Om denne rapporten

Som et grunnlag for forskningsaktiviteter i prosjektet "Morgendagens skoler – et skoleeksempel" er det planlagt å utarbeide "state-of-the art" innenfor alle temaområdene. Denne rapporten presenterer resultater fra en kartlegging av nasjonal og internasjonal forskningslitteratur om akustiske forhold i undervisningsrom. Temaene avgrenser seg særlig til åpne undervisningsløsninger eller store romløsninger.

Målet er å klarlegge status og sammenstille det eksisterende kunnskapsgrunnlaget om akustikk i skolebygg og å evaluere relevante metoder som kan brukes til å planlegge gode undervisningsarealer. Rapporten peker også på områder som trenger nærmere avklaring og utvikling og hva som skal prioriteres av innhold i de kommende case-studiene.

## 1.2 Bakgrunn

Trenden de seinere årene har vært at man ønsker å legge til rette for mer varierte undervisningsformer med større undervisningsarealer som kan gi større bruksmessig fleksibilitet. Tidligere har det også vært perioder hvor man planla skolebygg med åpne undervisningsarealer, men trenden skiftet tilbake igjen til mer ordinære klasserom på 80-tallet. Fra begynnelsen av 2000-tallet gikk utviklingen igjen (blant annet i Norge og Sverige) i retning av større romløsninger, begrunnet i ønsket om mer varierte undervisningsformer.

Med større romløsninger fulgte nye begreper for å beskrive undervisningsarealene som base og hjemmeområde. Ønsket og behovet for større pedagogisk samhandling er et viktig element når man planlegger store romløsninger, noe som mange skoleeiere nå legger stor vekt på. Arbeidshypotesen i prosjektet "Morgendagens skoler – et skoleeksempel" er at trenden med større pedagogisk samhandling er en ønsket retning framover, og at de fysiske omgivelsene derfor i størst mulig grad bør tilrettelegge for en slik utvikling.

## 1.3 Metodikk

Arbeidet har blitt gjennomført på to måter med ulike innfallsvinkler:

1. Vi har gjennomført en generell litteraturgjennomgang av internasjonal forskningslitteratur, med stor vekt på artikler som har vært fagfellevurdert.
2. Vi har samlet underlag fra norske arbeider (i all hovedsak ikke fagfellevurdert) og innhentet erfaringer fra noen nordiske akustikere.

Selve litteraturgjennomgangen har resultert i et meget stort antall artikler og rapporter. Selv om hovedfokuset har vært "open plan classrooms", så viser litteratursøket en rekke artikler med tilgrensende problemstillinger. Vi har skrevet sammendrag fra en stor andel av disse artiklene. Artiklene er deretter gruppert i tre kategorier: høy interesse, middels interesse og lav interesse i forhold til videre analyse og bruk i prosjektet. Det er imidlertid enkelt i å finne fram til andre artikler dersom det er aktuelt å utvide interessefeltet.

Tilbakemeldinger fra nordiske fagpersoner på området har vi presentert sammen med krav og retningslinjer for hvert enkelt land. Det har imidlertid vært tidkrevende å få slike tilbakemeldinger, og det er derfor et begrenset materiale fra denne aktiviteten. Det har vært få studier i Norge med prosjektets fokus og derfor er det få rapporter å vurdere, men disse er inkludert i litteraturgjennomgangen.

## 1.4 Avgrensning av problemstilling

Prosjektet har lagt mest vekt på å undersøke romløsninger i skolebygg som vi forventer vil være mest aktuelle i årene framover. Dette ekskluderer ikke undervisningsrom (klasserom) med ordinær størrelse (60–80 m<sup>2</sup>), men det legges større vekt på dokumentasjon fra og erfaringer med større romløsninger og en variasjon i romstørrelser.

Fra et akustisk synspunkt kjennetegnes et godt læringsmiljø ved to hovedmomenter:

1. Alle oppfatter taleinformasjon tilstrekkelig tydelig i de rommene som er planlagt for verbal kommunikasjon og uansett hvor i rommet man er.
2. Elever blir i liten grad distraheret av støyende aktiviteter slik at de kan opprettholde konsentrasjon om læringsarbeidet.

For å ivareta disse overordnede momentene stiller lovverket krav til akustisk regulering, støy fra installasjoner, støy fra utendørs kilder og lydisolering mellom rom. I Norge har kravene vært gjenstand for revisjon en rekke ganger, basert på erfaringer og vitenskapelig dokumenterte anbefalinger. TEK17 viser til grenseverdier gitt i NS 8175:2012 [1], men det finnes en nyere versjon, NS 8175:2019, som ikke er juridisk bindende i Plan og bygningsloven. Temaet behandles i kapittel 2.

Denne rapporten har hovedvekt på bygningstekniske (passive) tiltak. Slike tiltak er viktig uavhengig av aktive løsninger. Aktive løsninger som taleforsterkningsanlegg/ lydutfjvning-anlegg er ikke omtalt i denne rapporten. For hjelp til prosjektering av slike anlegg ble det i desember 2021 publisert en veileder for installering av lydutfjvning-anlegg. NTNU samfunnsforskning har også nylig publisert en rapport om erfaringer knyttet til implementering av lydutfjvning-anlegg i seks skoler i Oslo. En standard for implementering av lydutfjvning-anlegg i Norge er også under utarbeidelse, "NS8179:2022 Lydtekniske løsninger for universell utforming". Slike tekniske/aktive løsninger fungerer best når rommene er godt dempet med jevn frekvensfordeling og nivået av bakgrunnsstøy er lavt.

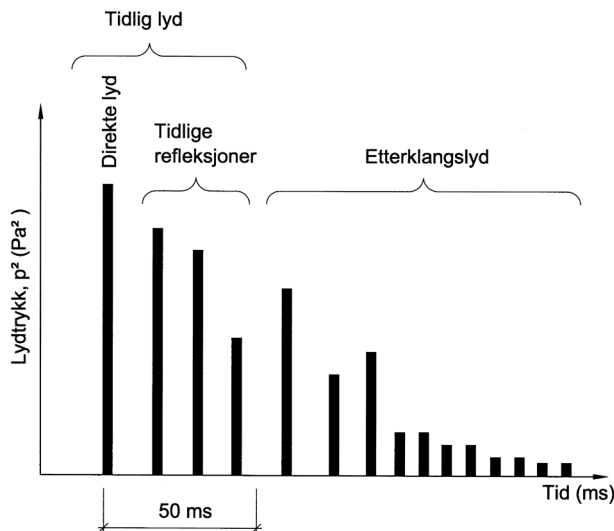
Norske erfaringer viser at lydisolering mellom rom ikke er en utfordring dersom grenseverdiene som er angitt for skillevegger og etasjeskillere følges. Det er også i hovedsak slik at støy fra utendørs kilder er svært lite problematisk for nyere, norske skoler. Dette skyldes i stor grad at man nå benytter balanserte ventilasjonsanlegg (unngår åpne vinduer) og at det tas hensyn til utendørs lydnivå når man prosjekterer fasadeløsningene. En rekke artikler beskriver svært problematiske undervisningssituasjoner når støy fra utendørs kilder og tekniske installasjoner overskrider grenseverdiene anbefalt av WHO. Norge har strengere grenseverdier enn WHO, og vi utelater derfor en vurdering av disse støykildene i denne rapporten.

Etterklangstid har vært den sentrale parameteren for å ivareta både taleoppfattelse og delvis støy nivå i undervisningsrommene. Fordi undervisningsrommene i mange tilfeller har blitt større, har det vært nødvendig å utvide verktøykassa. I 2012-versjonen av NS 8175 ble det derfor innført krav til taleoppfattelse, STI. Denne anbefalingen er basert på en del artikler, men det foreligger så vidt vi vet ingen konsekvensutredning av de ulike grenseverdienes fordeler og ulemper. Dette er derfor et viktig moment ved litteraturgjennomgangen. Forskningslitteratur om tale tydelighet i undervisningsrom presenteres i kapittel 3 og de relaterte måle- og beregnings-parametrene i kapittel 6.

Et annet viktig moment er krav til lydnivå i rom. Her fokuserer rapporten i hovedsak på de tekniske installasjonene. Dette er klart viktig siden det er kilder som er stasjonære (dvs. de går kontinuerlig). Behovsstyrte ventilasjonsanlegg gir imidlertid ikke kontinuerlig støy, men innebærer også større utfordringer med å oppfylle relativt strenge krav, se kapittel 2. En type støy som har hatt begrenset fokus i litteraturen, er aktivitetsstøy fra elevene selv. Dette varierer selvsagt mye med elevgruppe, arbeidsform og pedagogiske metoder, men handler også i økende grad om at man tilrettelegger for forskjellig aktivitet innenfor det samme undervisningsarealet. Forskningslitteratur og erfaringer om dette er forsøkt samlet i kapittel 4.



Figur 2  
Øret er vår lyd-sensor



Figur 3  
Lyd fra formidleren til mottakeren illustrert som funksjon av tid. Kilde: Figur 42 fra Byggdetaljer 421.402 i Byggforskserien

Det tredje momentet som det er viktig å undersøke, er forstyrrelser som skyldes støy fra gangsoner. Dette kan være internttrafikk i et større undervisningsareal eller elevtrafikk som tilhører en annen base eller hjemmeområde og som det er helt eller delvis åpne vegger mot. Visuelle forstyrrelser kan også være en del av disse forstyrrelsene, men vi finner få artikler som spesifikt omhandler dette. I tillegg ser vi etter artikler og erfaringer med bruk av foldevegger eller flyttbare vegger. Dette temaområdet er bearbeidet sammen med kunnskap spesifikt om åpne undervisningsarealer i kapittel 5.

## 1.5 Sentrale begreper

Tabell 1 gir en oversikt over begreper som brukes i rapporten, med definisjoner. Disse er i tråd med internasjonalt anerkjente definisjoner av begrepene benyttet i tilknytning til lydforhold i undervisningsrom.

Tabell 1. Begreper benyttet i rapporten

Begrep/ symbol	Definisjon og kommentar
<b>Aktive rom</b>	Undervisningsrom som er møblert, <u>med</u> elever/personer
<b>Inaktive rom</b>	Undervisningsrom som er møblert, <u>uten</u> elever/personer
<b>Lombard-effekten</b>	Økningen i stemmestyrke ved økende bakgrunnsstøy for å overdøve denne støyen. Effekten er velkjent på restauranter, kafeer osv. og i skoler/barnehager
<b><math>L_{pA,T}</math> / <math>L_{A,eq}</math></b>	Gjennomsnittlig lydnivå med A-veiekurve for en gitt tidsperiode, T
<b><math>L_{pA,max}</math> (dB)</b>	Høyeste observerte lydnivå i måleperioden med A-veiekurve
<b>RT (sek)</b>	Etterklangstid er tiden det tar før lydnivået har falt 60 dB. Bestemmes vanligvis ved nivåreduksjon på 30 dB (RT30) eller 20 dB (RT20)
<b>SNR (dB)</b>	Signal-til-støy forholdet. Differansen mellom ønsket lydnivå (for eksempel fra formidler) og uønsket støy (for eksempel tekniske installasjoner)
<b>EDT (sek)</b>	Early Decay Time. Tilsvarende etterklangstid, men bestemmes ut fra første del av etterklangsforløpet
<b>BGN (dB)</b>	Bakgrunnsstøy. Støynivået fra alle former for uønsket støy
<b>STI</b>	Speech Transmission Index. Objektiv kvantifisering av taleforståelighet. Verdi mellom 0 og 1. En forenklet versjon betegnes RASTI
<b>AI</b>	Artikulasjonsindex, som kvantifiserer taleoppfattelse til mottakeren/lytteren
<b><math>C_x</math> (dB)</b>	Clarity. Forholdet mellom lydenergien de første X millisekundene og lydenergien i resterende støysekvens. Det mest vanlige er X = 50 ms eller 80 ms
<b><math>D_y</math></b>	Deutlichkeit (Definition). Forholdet mellom lydenergien de første Y millisekundene og all lydenergien i signalet. Det mest vanlige er Y = 50 ms
<b>U</b>	Forholdet mellom ønsket og uønsket lydenergi (ønsket lydenergi = direktelyd + tidlige refleksjoner, uønsket lydenergi = lydenergi fra etterklangsfeltet + bakgrunnsstøy)
<b>G (dB)</b>	Strength. Forholdet mellom målt lydenergi til et kalibrert lydsignal i et rom og energi fra samme signal målt i fritt-felt.
<b><math>DL_{2,s}</math> (dB)</b>	Avstandsdemping. Reduksjonen av lydtryknivået i rommet per avstandsdobling



Figur 4  
Ett av flere ulike læringsrom i trinn-arealene på Huseby skolene, Trondheim kommune. Arkitekter: Filter og Spinn arkitekter. Interiørarkitekt: Norconsult. Foto: Jiri Havran

## 2 Krav til lydforhold

### 2.1 Typer undervisningsrom

I tilknytning til litteraturgjennomgangen er det samlet opplysninger om regler, forskrifter og retningslinjer i noen europeiske land samt USA og WHO. Vi har lagt hovedvekten på regelverk som gjelder for lydforhold i åpne skolelandskap eller store romløsninger, men også tatt med regelverk om etterklangstid/lydabsorpsjon og lydnivå i "normalklasserom". Krav som gjelder lydisolasjon og støy fra utendørs kilder er ikke tatt med. En mer omfattende sammenstilling av regelverket ble utarbeidet i Byggforsk-rapporten "Lydforhold i skoler – gjennomgang av litteratur og retningslinjer" (Byggforsk, 2005), men svært mange av kravene og retningslinjene har blitt endret etter dette.

### 2.2 Vanlige undervisningsrom

Tabell 2 gir en oversikt over ulike nasjoners krav og grenseverdier for etterklangstid i vanlige undervisningsrom. Flere detaljer finnes blant annet i Rasmussen et al. (2012) og Mealings (2016).

Tabell 2. Etterklangstid i vanlige undervisningsrom

Nasjon	Standard/retningslinje	Grenseverdi, T (sek)	Detaljer
Danmark	BR 2010 se Denmark (2010)	$\leq 0.6$	125 til 4 kHz, grense for hver 1/1-oktavbånd + 20 % ok for 125 Hz
Finland	SFS 5907 (2004) & Suomen C1 (2008)	$\leq 0.5 - 0.9$	Frekvensområde 250 – 2000 Hz Anbefalt STI $\geq 0,7$
Frankrike	Arrêté du 25 avril 2003, se France (2003)	$V < 250 \text{ m}^3: 0.4 \leq T \leq 0.8$ $V > 250 \text{ m}^3: 0.6 \leq T \leq 1.2$	Gjennomsnitt 500, 1000 og 2000 Hz
Norge	NS 8175:2012 (2012)	$\leq 0.5$ (lydklasse C) <sup>1)</sup>	125 til 4 kHz, grense for hver 1/1-oktavbånd + 40 % ok for 125 Hz
Sverige	SS 025268: 2007 Se Sverige (2007)	$\leq 0.5$ <sup>2)</sup>	Oktavbånd fra 125 – 4 kHz. Kan overskrides med 0,1 s generelt og med 0,2 sek ved 125 Hz
Tyskland	DIN 18041:2004 Se DIN (2004)	$T \leq 0.32 \log V(\text{m}^3) - 0.17$ $V=100 \text{ m}^3; T = 0.47$ $V=250 \text{ m}^3; T = 0.60$	Grenseverdier for 100 Hz til 5 kHz. $\pm 20\%$ tolereres mellom 250 og 2 kHz, utvidet progressivt til +20% / - 40% mot 100 Hz og 5 kHz. <u>In-aktive rom</u> + 0.2 sek
UK	BBR93: 2003 Se UK (2003)	Grunnskole: $\leq 0.6$ Videregående: $\leq 0.8$	Gjennomsnitt 500, 1000 og 2000 Hz. T kan gradvis økes ved lave frekvenser (250 og 125 Hz) men ikke mer enn 30 %
USA	ANSI/ASA S12.60-2010, se USA (2010)	$V \leq 283 \text{ m}^3 T \leq 0.6$ $V \leq 566 \text{ m}^3 T \leq 0.7$	-
WHO	Guideline 1999, se WHO (1999)	$\leq 0.6$	-

<sup>1)</sup> Etterklangstiden bør ikke være vesentlig lavere enn 0,4 sek.

<sup>2)</sup> I rom der talekommunikasjon er viktig, bør etterklangstiden verken være kortere eller lengre enn tabellert verdi. Kravene gjelder romvolum mindre enn 1500 m<sup>3</sup> og takhøyde mindre enn 4 m.

Fra denne oversikten ser vi at de strengeste kravene finner vi i Norge, Sverige og Tyskland. Et annet poeng er at det kun er Frankrike og Finland av de undersøkte landene som angir et intervall for etterklangstiden, det vil si at det er uønsket også med veldig lave etterklangstider. Se fotnote <sup>1)</sup> og <sup>2)</sup> i tabellen for Norges og Sveriges tilsvarende vurderinger. Kun Tyskland angir kravene i aktive (occupied) rom, det vil si at kravene gjelder når antallet elever (nominelt) har fast arbeidsplass rommet. Dette vurderes nærmere seinere i rapporten. For øvrig gjelder kravene for møblerte rom. Norge tillater det største avviket fra grenseverdien i det laveste frekvensbåndet, se tabell 2.

### 2.3 Åpne undervisningsarealer

Tabell 3 gir en oversikt over ulike nasjoners krav og grenseverdier for undervisningsarealer med åpne planløsninger. Krav og anbefalinger gjelder både etterklangstid, absorpsjonsareal, avstandsdemping, taleoppfattelse og lyd-demping mellom grupper. Flere detaljer finnes blant annet hos Rasmussen & al. (2012).

Tabell 3. Krav og anbefalinger til lydforhold i undervisningsarealer med åpne planløsninger

Nasjon	Standard/ retningslinje	Krav	Anbefaling
<b>Danmark, Island tilnærmet samme krav</b>	BR 2010 se Denmark (2010)	$A \geq 1,3 \times \text{gulv-areal}^{1)}$ $T \leq 0,4 \text{ sek } 1)$	Avstandsdemping, $DL_{2,S} \geq 5 \text{ dB}$ Taleoppfattelse, STI, se IEC (2020) - i en undervisningsgruppe $\geq 0,6$ - mellom undervisningsgrupper $\leq 0,2$ Effektiv lyd-demping mellom grupper 15-20 dB (for vanlig, A-veid tale)
<b>Finland</b>	Ingen	Ingen	Ingen
<b>Norge</b>	NS 8175 (2012)	$T \leq 0,4$ (lydklasse C) <sup>2)</sup> $STI \geq 0,7$ + merknad	Fra Byggforskserien (2012). Taleoppfattelse, STI, se IEC (2020): - uten aktivitetsstøy $\geq 0,75$ - i en undervisningsgruppe $\geq 0,65$ - mellom undervisningsgrupper $\leq 0,2$ Avstandsdemping, $DL_{2,S}$ : 5-8 dB, se NS-EN ISO 14257 (2002) Demping mellom grupper, 15-20 dB
<b>Sverige</b>	SS 025368: 2007 Se Sverige (2001)	$T \leq 0,4$	Gjelder kun for høyere utdanningsnivåer, ikke grunnskole
<b>UK</b>	BBR93: 2003 Se UK (2003)	$T \leq 0,8$ $STI \geq 0,6$	Under revisjon (per 2012)
<b>USA</b>	Ingen	Ingen	Ingen

<sup>1)</sup> Gjelder for hvert oktavbånd 125 – 4000 Hz. Ved 125 Hz aksepteres 20 % lavere absorpsjon / høyere etterklangstid.

<sup>2)</sup> Gjelder for hvert oktavbånd 125 – 4000 Hz. Ved 125 Hz aksepteres 40 % lavere absorpsjon / høyere etterklangstid. Etterklangstiden bør ikke være vesentlig lavere enn 0,3 sek.

Oversikten viser at Finland og USA ikke angir krav til lydregulering i undervisningsarealer med åpne planløsninger, det vil si at slike løsninger er uaktuelle i forskriftssammenheng. Det samme gjelder i Sverige for grunnskolenivået, der kravene kun gjelder for høyere utdanningsnivåer. Kravene til etterklangstid i Danmark (Island) og Norge må betegnes som strengt. For UK er kravet lite strengt selv om dette har vært vanlige løsninger der. Krav og anbefalinger for andre parametre enn etterklangstid er det svært komplisert å prosjektere og har motstridende målsettinger. For eksempel vil det ikke være mulig å tilfredsstille  $STI \geq 0,7$  når man

samtidig skal ha høy avstandsdemping i det samme rommet uten å benytte temporære eller faste skjermvegger/skillevegger.

## 2.4 Lydnivå fra tekniske installasjoner

Tabell 4 gir en oversikt over ulike nasjoners krav til maksimale lydnivåer fra tekniske installasjoner i undervisningsarealer. Flere detaljer finnes blant annet hos Rasmussen & Guigou-Carter (2016) og Mealings (2016).

Tabell 4. Krav til maksimale lydnivåer fra tekniske installasjoner i undervisningsarealer

Nasjon	Maksimalt lydnivå	Kommentar
Norge	$L_{p,A,T} \leq 28 \text{ dB} / L_{p,A,maks} \leq 30 \text{ dB}$	Gjelder også undervisningslandskap
Sverige	$L_{p,A} \leq 30 \text{ dB} / L_{p,C} \leq 45 \text{ dB}$	Gjelder også undervisningslandskap
Danmark	$L_{A,eq} \leq 30 \text{ dB}$	Gjelder også undervisningslandskap
Finland	$L_{A,eq} \leq 35 \text{ dB}$	-
UK	$L_{A,eq,30 \text{ min}} \leq 35 \text{ dB}$	Undervisningslandskap: $L_{A,eq,30 \text{ min}} \leq 40 \text{ dB}$
USA	Romvolum $\leq 283 \text{ m}^3$ : $L_{A,eq,1h} \leq 35 \text{ dB}$	Romvolum $\leq 566 \text{ m}^3$ : $L_{A,eq,1h} \leq 40 \text{ dB}$
WHO	$L_{A,eq} \leq 35 \text{ dB}$	-

## 2.5 Oppsummering

Oversiktene viser at det er grunnlag for å vurdere endringer av de norske kravene og anbefalingene. For vanlige klasserom bør det settes en nedre grense for etterklangstid av hensynet til stemmebruk for de som formidler. Se mer om dette i kapittel 3 og 5. Et annet moment er at rom i brukssituasjonen er aktive (occupied), og at det derfor er mest logisk å sette kravene til brukssituasjonen slik man gjør i Tyskland. Dette vil også medføre at etterklangstiden i virkelige situasjoner blir mer frekvensuavhengig, noe som er en klar fordel med henhold til taleoppfattelse. Tillatt avvik ved 125 Hz bør også begrenses. Begrunnelsen er at rommet i minst mulig grad bør påvirke/filtrere frekvensspekteret til lydkildene.

For undervisningsarealer med åpne planløsninger bør det først etableres en enighet om hvilke romstørrelser som inngår i denne definisjonen. En slik avgrensning er foreslått i Byggforskserien (2012), men dette bør evalueres nærmere. Kommer planløsningen inn under undervisningslandskap i henhold til NS 8175 (2012), blir prosjekteringskriteriene plutselig svært omfattende – uten at det er verifisert at målgruppen (både elever og lærere) nødvendigvis oppnår gode lydforhold for de tenkte læringsaktivitetene. Dersom en gjennomgang viser at åpne planløsninger er en aktuell strategi i Norge, bør det gjøres en evaluering av kunnskapsgrunnlaget og eventuelt gjennomføres en større studie som kan gi anbefalinger om veien videre.

Med hensyn til støy fra tekniske installasjoner viser oversikten at tre nordiske land har de strengeste grenseverdiene av utvalget som er tatt med her. I andre vestlige land er det svært vanlig med en grenseverdi som er 5 dB høyere, se tabell 4 og referanser. Kravnivå på  $L_{A,maks} / L_{A,eq} \leq 30 \text{ dB}$  er også anbefalt fra mange kilder, men kan være krevende med henhold til støy spesielt fra ventilasjonsanlegg.



## 2.6 Referanser

- Byggforsk (2005). Lydforhold i skoler. Gjennomgang av litteratur og retningslinjer. Rapport til Statens Bygningstekniske etat O 20642, 27.11.2005 (lukket).
- Byggforskserien (2012). Byggdetaljer 527.305. Lydforhold i skoler og barnehager, 2012.
- Denmark (2010). Danish Enterprise and Construction Authority, Danish Ministry of Economic and Business Affairs, Building Regulations 2010. Copenhagen, Denmark, 2010.
- DIN (2004). Deutsche Institut für Normung e.V., DIN 18041:2004 Acoustical quality in small to medium-sized rooms. Berlin, Germany, 2004.
- France (2003). French Ministry of Ecology and Sustainable Development, Arrêté du 25 avril 2003 relatif la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement (decree of 25 april 2003 relative to the noise limitation in educational settings). Paris, France, 2003.
- IEC 60268-16 (2020). Sound system equipment – Part 16: objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.
- Mealings, K. (2016). Classroom acoustic conditions: Understanding what is suitable through a review of national and international standards, recommendations, and live classroom measurements. *Proceedings of Acoustics 2016*, Brisbane Australia.
- NS 8175:2012 (2012). Lydforhold i bygninger, Lydklassifisering for ulike bygningstyper (Acoustic conditions in buildings - Sound classification of various types of buildings). Standard Norge, Norway, 2012.
- NS-EN ISO 14257 (2002). Akustikk. Måling og parametrisk beskrivelse av lydutbredelseskurver til bruk ved vurdering av akustiske forhold i arbeidsom.
- Rasmussen, B.; Brunskog, J. & Hoffmeyer, D. (2012). Reverberation time in classrooms – Comparison of regulations and classification criteria in the Nordic countries. *Proceedings of Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting*, 2012.
- Rasmussen, B. & Guigou-Carter, C. (2016). A pilot study on acoustic regulations for schools – Comparison between selected countries in Europe. *Proceedings Inter-Noise 2016*. Hamburg, Germany 2016.
- SFS 5907 (2004). Finsk standard: Rakennusten akustinen luokitus. Suomen standardisointiliitto, Helsinki; 2004. p. 34 [in Finnish].
- Suomen rakentamismääräyskokoelma C1 (2008). Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa. Ympäristöministeriö. Helsinki 4.6.1998. Sisäilmastoluokitus 2008. LVI 05–10440. 2008. 22 s [in Finnish].
- Sverige (2007). Svensk Standard SS 025268:2007+T1:2017. Byggakustik - Ljudklassning av utrymmen i byggnader - Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell.
- UK (2003). Department for Education and Skills, Building Bulletin 93. Acoustic Design of Schools: A Design Guide. London, UK, 2003.
- USA (2010). American National Standards Institute, 2010, ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools, American National Standards Institute.
- WHO (1999). World Health Organization. Guidelines for community noise, 1999, <http://www.who.int/peh/>



Figur 5  
Elevkunst, Hølen skole,  
Bergen. Arkitekt:  
Arkitektgruppen Cubus  
Foto: Solvår  
Wågø/SINTEF  
Community

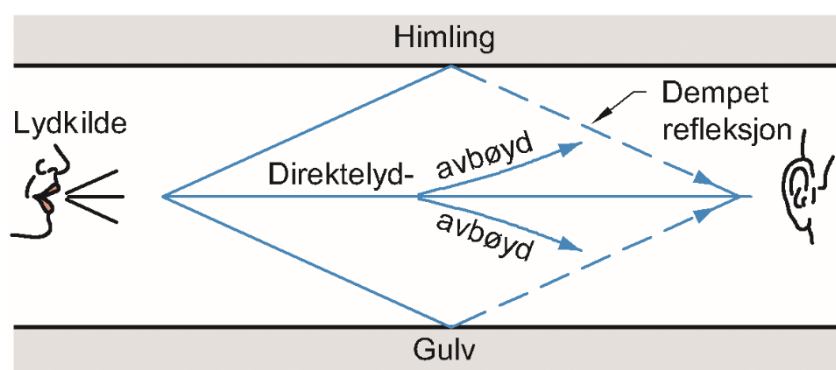
## 3 Taletydighet

### 3.1 Litteraturgjennomgang

Siden 70-tallet har det blitt gjennomført et betydelig antall studier og forskningsprosjekter om taletydighet. Målsettingen i disse studiene har vært å klarlegge hvilke fysiske parametre som kan eller bør velges for å kvantifisere taleforståelighet i et undervisningsrom, foreslå grenseverdier for disse parametrene og undersøke sammenhengen mellom de ulike parametrene og rommenes utforming. Sentrale bidrag til dette forskningsfeltet har vært fagfelleverderte artikler fra Bistafa, Bradley, Choi, Garcia, Nijs, Onaga og Sato.

Taleforståelighet er påvirket av romakustiske forhold og signal-til-støy forholdet (SNR) av tale og omgivelses-støy, se for eksempel Bradley et al. (1999). Denne studien viste at både U-ratio, STI og AI (artikulasjonsindeks) for konsonanter ga tilfredsstillende beskrivelse av taleforståelighet, men at SNR-forholdet var overordnet.

Det er en generell enighet om at etterklangstid (RT) bare til en viss grad gir en god korrelasjon til taletydighet, og begrenset til lukkede rom < ca. 100 m<sup>2</sup>. Et eksempel på en studie som underbygger dette er Bistafa & Bradley (2000), som i sin artikkel viser at man kan få ulike resultater for taleforståelighet i rom med samme akustiske forhold, det vil si at man ikke kan definere at en bestemt etterklangstid gir best taleforståelighet. Men artikkelen viser at en etterklangstid mellom 0,4 og 0,5 kan gi 100 % taleforståelighet dersom bakgrunnsstøynivået er 25 eller 20 dB under talenivået 1 m foran formidler. Tilsvarende anbefalinger oppsummeres i en artikkel fra Nelson & Soli (2000) for vanlige klasserom med RT mellom 0,4 og 0,6 sek når BGN er maksimalt 35 dB og SNR 15 dB.



Figur 6  
Illustrasjon av lyd fra formidler til mottaker i et rom. Kilde: Byggetaljer 527.309 i Byggeforskeren

Flere studier viser at god taleforståelighet er sterkt knyttet til tidlige refleksjoner, se for eksempel Bradley, Sato & Picard (2003a) eller Choi (2013). Dette øker det effektive signal-til-støyforholdet (SNR) og tilsvarende taleforståelighet både for normalhørende og hørselshemmede. Resultatene viser også at for vanlige forhold hvor direktelyd reduseres så er det kun mulig å forstå tale på grunn av tilstedeværelse av tidlige refleksjoner. Veldig kort RT svekker taleforståeligheten fordi tidligrefleksjonene svekkes. Energi innenfor 50 ms betegnes ERB (Early Reflection Benefit) og foreslås som en alternativ parameter. Artiklene nevnt over oppsummerer også at det er behov for mer kunnskap om hvordan man designer rom for å maksimere tidlig-energi og undertrykke seint refleksjoner fra talelyd. Onaga et al. (2001) har også studert betydningen av tidlig-energi, og viser at det er et avvik mellom STI og taleoppfattelse. Dette innebærer at STI ikke er en veldig gunstig parameter da den ikke skiller tilstrekkelig mellom viktig tidlig-energi og energi som ikke bidrar til taleoppfattelse. En artikkel av Prodeus et al. (2020) viser at taletydigheten er svakere i midten av rommet sammenlignet med nær

veggene. Dette forklares med forholdet mellom direktelyd, tidlige refleksjoner og seine refleksjoner, men studien er kun basert på ett test-objekt.

En annen studie av Bradley (2003b) konkluderer med at akseptabel omgivelsesstøy er viktigere enn å oppnå optimal etterklangstid. Omgivelsesstøy omfatter både støy fra eksterne kilder, tekniske installasjoner og aktivitetsstøy, se derfor også 3.2. og 3.3. En studie av Sato & Bradley (2008) bekrefter også at støy fra elevaktiviteter er et større problem enn andre akustiske parametre i undervisningsrom med kort etterklangstid.

Nyere studier fokuserer i økende grad på et intervall for RT som optimal situasjon framfor at RT skal være lavest mulig, se for eksempel Nijs & Rychtarikova (2011). For å oppnå eksellent taletydelighet i bakre del av klasserommet må RT være maksimalt 0,4 sek, men dette er med elever, møbler og annen innredning (det vil si aktive rom). Dersom SNR er høyere enn anbefalt, så er det samlet sett mer tilfredsstillende med 0,1 sek høyere RT for å øke andelen tidligrefleksjoner. Studien baserer seg på parametrene  $U_{50}$  og STI som har en høy innbyrdes korrelasjon. Med korte etterklangstider må stemmenivået til lærer eller elev heves med opptil 5 dB (rel. 100 m<sup>2</sup>) for at det skal være eksellent taleforståelighet på motsatt side av rommet.

Det er også flere studier som vurderer sammenhengen mellom akustiske forhold og stemmebruk hos formidleren, se Garcia et al. (2014). Studien har spesielt fokus på stemmebruk i forhold til parameteren  $U_{50}$  og SNR-nivåer. Disse analysene viser at optimal RT bør være i et intervall mellom 0,45 og 0,6 i aktive undervisningsrom for fleksible læringsformer (mellom 0,6 og 0,7 i inaktive, men møblerte rom), for rom med maksimalt 40 elever og volum under 210 m<sup>3</sup>. For større undervisningsrom bør det gjennomføres spesielle akustiske studier som tar hensyn til geometri, materialbruk og tale-/lytte-posisjoner, se kapittel 5. Noe tilsvarende oppsummeres i en artikkel av Oberdörster & Tiesler (2008).

Artikkelen fra Garcia et al. (2014) foreslår retningslinjer for akustisk design av klasserom basert på gjennomførte studier. Fra arbeidet foreslås det samme intervall for RT som nevnt over, da lavere RT enn 0,45 i aktive rom ikke er gunstig for stemmebruk. Artikkelens funn viser at maksimal RT på 0,4 i inaktive rom er ødeleggende for komfortabel stemmebruk. RT lavere enn 0,3 medfører overdemping, det vil si en overflødig demping av talenivået i bakre del av rommet. Artikkelen påpeker at det norske kravet om RT = 0,5/0,4 i inaktive rom er for lavt, og det anbefales i tillegg å inkludere volumet i kriteriet. Rommets volum kan paradoksal nok økes dersom elevtettheten reduseres.

Det har også blitt gjennomført studier av hvordan ulike overflater påvirker de akustiske forholdene i rommene. Choi (2013) har benyttet modell-målinger for å undersøke fordelingen av lydspredende (diffuserende) og absorberende overflater med hensyn til optimalisering av  $C_{50}$  og G-verdiene. Diffusorer var gunstig for å forbedre tidlig refleksjonslyd ved mottakerposisjoner lengst unna formidler, noe som ga mer likeverdige akustiske forhold i hele rommet. En andel diffuserende elementer plassert i himling, på frontvegg istedenfor bakvegg var også gunstig. Eksisterende anbefalinger for plassering av diffusorer er på bakvegg og delvis sidevegger, og Chois funn bør derfor undersøkes nærmere. Det har også blitt gjennomført flere tyske arbeider som undersøker fordelingen av absorberende flater i rommet i forhold til taletydelighet, se for eksempel Hengst et al. (2020). For god taletydelighet må seine refleksjoner undertrykkes. Ovennevnte artikkel og en artikkel fra Teuber (2009) er også tydelig på at undervisningsrom uten absorberende eller diffuserende flater på minst to veggflater er helt uakseptabelt. Rom med kun sterkt absorberende himling er ugunstig. Artikkelen fra Mikulski & Radosz (2011) viser at tepper har stor betydning både for etterklangstid og taleforståelighet, men utgangspunktet er svært mye høyere etterklangstider i disse klasserommene enn det som er vanlig i nyere skoler i Norden.

En konferanseartikkel av Mikulski (2012) viser at det er sterk korrelasjon mellom  $RT_{\text{freq}}$  og STI forutsatt neglisjerbar BGN. Dette er kjent fra tidligere forskning, men artikkelen

konkluderer med at korrelasjonen er best når frekvensområdet som tas i betraktning ( $RT_{\text{freq}}$ ) er middel av verdiene for 2000 og 4000 Hz, alternativt kun sistnevnte. Korrelasjonen er vesentlig dårligere dersom man baserer seg på middelvei for frekvensområdet ved RASTI-beregning (500 og 2000 Hz) eller STI (125 til 8000 Hz).

Basert på lydopptak av talelyd og støy fra aktiv undervisning (aktive rom) kvantifiserte Choi (2020) aktivitetsstøy i 11 klasserom (volum fra 188 til 343 m<sup>3</sup>) i tillegg til måling av parametrene  $U_{50}$ ,  $C_{50}$ , STI og RT. Studien viser at  $U_{50}$  og STI er sterkt korrelerte, og Choi beskriver omtrent de samme egenskapene for klasserommene med henhold til taleydighet. Parameteren  $C_{50}$  er ikke like godt egnet da den forutsetter SNR på minst 10 dB for at de akustiske forholdene i rommet skal betegnes som "gode" eller "eksellente" (vanlig anbefaling er SNR på minst 20 dB). En artikkel fra Gheller et al. (2020) oppsummerer en rekke artikler knyttet til taleforståelighet. En anbefaling er at det i sammenheng med design av undervisningsrom planlegges målinger av objektive størrelser som RT og STI samt bedømming av oppfattet tale, for eksempel AI (artikulasjons-index). Artikkelen tydeliggjør også behovet for anbefalinger knyttet til de akustiske forholdene i aktive rom, både for barn med og uten sensoriske vansker.

### 3.2 Oppsummering

Litteraturgjennomgangen viser at det har vært gjennomført mye omfattende forskning om temaet og betydningen av taleforståelighet. Mange av resultatene har også blitt implementert i forskrifter og anbefalinger om lydforhold i undervisningslokaler i en rekke land. Det gjelder spesielt krav til etterklangstid og støynivå (fra eksterne eller interne kilder) i bygningene. For lukkede undervisningsrom med ordinære romstørrelser og relativt kort etterklangstid har det ikke vært presserende å angi grenseverdier for taleforståelighet. Slike grenseverdier blir derimot viktige for større rom, åpne undervisningsarealer eller rom med mer kompleks geometri enn "skoeskeform".

Flere artikler peker på at tidlig-reflektert lydenergi er viktig, og at EDT (eventuelt et annen parameter) kanskje bør erstatte RT som krav-parameter, da kort RT svekker tidlig-refleksjonene. For å ivareta tidlig reflektert energi konkluderer flere studier med at minst to vegger må ha absorberende eller diffuserende flater og at kun sterkt absorberende himling er uheldig. Det er også underlag som dokumenterer at STI har begrensninger da den ikke skiller tilstrekkelig mellom viktig tidlig-energi og energi som ikke bidrar til taleforståelighet.

Flere studier konkluderer med at akseptabel omgivelsesstøy er viktigere enn å planlegge veldig korte etterklangstider. Flere nyere artikler fokuserer også på stemmebruk for lærerne. Disse analysene viser at optimal RT bør være i et intervall, for eksempel mellom 0,45 og 0,6 i aktive undervisningsrom med romvolum opp til 210 m<sup>3</sup>.

Det er også flere nyere studier som fokuserer på de akustiske forholdene i aktive rom som en viktigere grensebetingelse enn i inaktive rom. For større romløsninger (økte romvolumer) og mer kompleks geometri vil det være aktuelt å supplere med en parameter som ivaretar taleydighet, men underlaget tilsier at det kan være mer relevant med  $U_{50}$  eller  $C_{50}$  framfor STI. Se for øvrig kapittel 2 og kapittel 6.

### 3.3 Referanser

- Bistafa, S.R. & Bradley, J.S. (2000a). Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics. *J. Acoust. Soc. Am* 107 (2), February 2000.
- Bistafa, S.R. & Bradley, J.S. (2000b). Optimum acoustical conditions for speech intelligibility in classrooms. *Noise & Vibration Worldwide*, October 2000.
- Bradley, J.S. (2003). Acoustics for speech in classrooms and meeting rooms. *NRCC-46120*. A version of this document is published in WESPAC (Western Pacific Acoustics Conference, Melbourne Australia, April 7-9, 2003, pp. 1-4.
- Bradley, J.S.; Reich, R.D. & Norcross, S.G. (1999). On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility. *J. Acoust. Soc. Am.* 106 (4), Pt. 1, October 1999 0001-4966/99/106(4)/1820/9.
- Bradley, J.S., Sato, H. & Picard, M (2003). On the importance of early reflections for speech in rooms. *J. Acoust. Soc. Am.* 113 (6), June 2003 0001 -4966/2003/113(6)/3233/12.
- Choi, Y-J. (2013). Effect of periodic type diffusers on classroom acoustics. *Applied Acoustics* 74 (2013) 694-707.
- Choi, Y-J. (2020). Evaluation of acoustical conditions for speech communication in active university classrooms. *Applied Acoustics* 159 (2020).
- Garcia, D.P.; Rasmussen, B. & Brunskog, J. (2014). Classroom acoustics design for speakers' comfort and speech intelligibility. A European perspective. *Proceedings of Forum Acusticum* 2014.
- Gheller, F.; Lovo, E.; Arsie, A. & Bovo, R. (2020). Classroom acoustics: Listening problems in children. *Building Acoustics* 2020, Vol. 27 ( ) 47-59.
- Hengst, K.; Späh, M. & Zhou, X. (2020). Klassenraumakustik und Absorberverteilung. *Applica* 7/2020.
- Mikulski, W. (2012). Acoustic properties of classrooms in elementary schools – correlation coefficient between reverberation time and speech transmission index. *Proceedings Inter.noise* 2012. August 19-22. New York, USA.
- Mikulski, W. & Radosz, J. (2011). Acoustics of Classrooms in primary schools – Results of the reverberation time and the speech transmission index assessments in selected buildings. *Archives of acoustics*, 35, 4 p. 777-793 (2011).
- Nelson, P.B. & Soli, S. (2000). Acoustical Barriers to Learning: Children at Risk in Every Classroom. *Language, Speech and Hearing Services in Schools*, Vol. 31 • 356-361 October 2000.
- Nijs, L. & Rychtarikova, M. (2011). Calculating the optimum reverberation time and absorption coefficient for good speech intelligibility in classroom design using U50. *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 97 (2011), 93-102.
- Oberdörster, M. & Tiesler, G. (2008). “Modern Teaching” Needs Modern Conditions – Communication Behaviour of Pupils and Teachers in Highly Absorbent Classrooms. *Building Acoustics*, Vol 15 nu. 4, 2008.
- Onaga, H.; Furue, Y. & Ikeda, T. (2001). The disagreement between speech transmission index (STI) and speech intelligibility. *Acoust. Sci. & Tech.* 22, 4 (2001).
- Pelegrín García, D.; Brunskog, J. & Rasmussen, B. (2014). Speaker-oriented classroom acoustics design guidelines in the context of current regulations in European countries. *Acta Acustica united*. 2014 – ingentaconnect.com.

- Prodeus, A., Didkovska, M., Motorniuk, D. & Dvornyk, O. The effect of Noise, Early and Late Reflections on Speech Intelligibility. Proceedings of IEEE 40<sup>th</sup> International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 22-24 April 2020, Kyiv, Ukraine.
- Sato, H., Bradley, J.S. (2008). Evaluation of acoustical conditions for speech communication in working elementary school classrooms. *The journal of the acoustical society of America*, 123, 2064 (2008).
- Teuber, W. (2009). Room acoustics in schools – Experiences using DIN 18041. NAG/DAGA 2009 – Rotterdam.



Figur 7  
Gymsal, Huseby-  
skolene, Trondheim  
kommune. Arkitekter:  
Filter arkitekter as og  
Spinn arkitekter as  
Foto: Stig O.H Larssen/  
Bydelsnytt



## 4 Aktivitetsstøy

### 4.1 Litteraturgjennomgang

Siden midten av 80-tallet har det vært gjennomført en rekke studier og forskningsprosjekter som omhandler lydnivåer i undervisningsrom, for situasjoner både uten og med elever i rommene. For rom uten elever (inaktive rom) er nivåene bestemt av støy fra tekniske installasjoner, naboarealer eller utendørs støy. Dette kapitlet omhandler imidlertid situasjoner med elever i rommene (aktive rom) der aktivitetsstøyen domineres av elevene selv. Aktivitetsstøyen har stor innflytelse på taleoppfattelse, mulighet for konsentrasjon og distraksjon fra andre grupper. Sentrale bidrag til dette forskningsfeltet har vært artikler fra Bistrup, Sato, Hygge, Shield, Choi, Tielser, Brill og Mealings. Mange av artiklene er fagfellevurderte. For en detaljert oversikt over samlet kunnskapsgrunnlag, så viser vi til Mealings (2016).

Aktivitetsstøyen kjennetegnes ved at støynivåene domineres av direktelyd fra naboelever, det vil si at nivåene kun kan kildekontrolleres, se for eksempel Sato & Bradley (2004). Denne artikkelen viser også at økt lydabsorpsjon i rommet ikke senker støynivået signifikant. Det påvises også at lærerne må øke stemmenivået for å overgå omgivelsesstøyen. Artikkel fra Choi (2016) viser at elever i rommet hadde mye større påvirkning på absorpsjonen/etterklangstiden i rom med lang etterklangstid (mange reflekterende flater) enn rom med kort etterklangstid (mange absorberende flater). Artikkel fra Sato & Bradley (2008) viser imidlertid at selv i rom med kort etterklangstid så ble denne redusert med ca. 10 % i aktive rom (med elever) i forhold til inaktive rom (uten elever). Hygge et al. (2011) fokuserer mer på lærings situasjonen og konkluderer, logisk nok, med at økt støy i klasserommet fører til dårligere innlæring. Tilsvarende konklusjon finner vi hos Tiesler (2018), der redusert støy i klasserommet gir bedre taleoppfattelse, mindre fatigue og bedre konsentrasjon. Artikkelen viser også at rom med "meget god akustikk" gir signifikant lavere aktivitetsstøy enn rom med "god akustikk". Definisjonen av disse to kategoriene er imidlertid ikke klarlagt i artikkelen.

Det er også nyttig å studere artiklene fra Shield & Dockrell (2008), Shield et al. (2015) og Brill et al. (2018) som i stor grad omhandler de akustiske forholdene i rom med elever. Det konkluderes blant annet med at aktivitetsstøy i rommet (og støy fra utendørs kilder) har en signifikant negativ effekt på læringsprosess og prestasjoner. Barn med spesielle behov (sensoriske vansker eller læringsvansker) er mest påvirket av høye nivåer. Nivåene øker med antall elever og er høyest for de yngste. Det foreslås også å koble retningslinjene opp mot romsituasjonen med elever til stede (aktive rom), da det er underlag som tilsier at slike arbeidssituasjoner er bedre koblet til læringsutbytte enn rom evaluert uten elever (inaktive).

En større, norsk studie av aktivitetsstøy er utført av Bolstad (2019) i relativt nye skoler, både skoler med baseløsning og vanlige klasserom. Studien viser at lydnivåene øker med antall elever, men ulikt enkelte andre studier så er den målte aktivitetsstøyen ikke signifikant korrelert med etterklangstid eller bakgrunnsstøy. Dynamikkområdet for disse to måleparametrene er imidlertid snevrere enn andre tilsvarende studier. Artikkel fra Choi (2020) gir også nyttig kunnskap knyttet til parametre for tale tydelighet i henholdsvis inaktive og aktive rom, se også kapittel 3. Det er for øvrig vanlig at lærerne forsøker å begrense støyende aktiviteter for å unngå å forstyrre andre grupper, se for eksempel Bistrup et al. (2001).

Med hensyn til kvantifisering av støynivåer fra elevaktiviteter i rommet, så anbefaler vi å studere artikkelen fra Mealings (2016). En tabelloversikt her viser en generell trend om at nivåene ikke har endret seg signifikant de seinere 30 årene, men at det er svært store variasjoner mellom studiene. Samlet sett varierer de målte nivåene fra 48 dB til over 80 dB, og på tvers av studiene er det ingen entydig trend at kortere etterklangstid gir lavere aktivitetsstøy. Selv med etterklangstider i området 0,4 til 0,7 sek viser de ulike studiene spredning i aktivitetsstøy fra 49 til 77 dB. Men kortere etterklangstid vil gi lavere beregnet og opplevd støynivå for samme elevaktivitet.

## 4.2 Oppsummering

Samlet sett er det svært stor spredning i nivået på aktivitetsstøyen som er målt i de ulike studiene, men det ser ikke ut til å være noen signifikant endring over tid (30-årsperiode). Dette til tross for at kravene til kortere etterklangstider har blitt strengere i den samme perioden. Dette betyr at det er kildekontroll som er desidert viktigst.

Aktivitetsnivåene øker med antall elever i rommet, og Lombard-effekten blir tydelig med økende nivåer. Lombard-effekten påvirkes av gruppestørrelse, tilgjengelig areal og hvor mange som prater samtidig. Det å begrense elevstørrelsen er derfor en måte å oppnå godt miljø både for lærere og elever. God lyddemping i rommet vil forbedre de akustiske forholdene, men det er ikke mulig å dempe akustikken i rommet så mye at aktivitetsstøyen blir uten innflytelse på læringssituasjonen. Kildnivåene må derfor begrenses med lavere elevtetthet samt organisatoriske eller disiplin-rettede tiltak.

### 4.3 Referanser

- Bistrup et al. (2001). Health effects noise children. Copenhagen 2001.
- Bolstad, E. (2019). Room acoustic conditions in primary schools. *Master Thesis, NTNU* 2019.
- Brill, L.C., Smith, K. & Wang, L.M. (2018). Building a Sound Future for Students: Considering the Acoustics in Occupied Active Classrooms. *Acoustics today. Fall 2018, Volume 14, issue 3*.
- Choi, Y-J. (2016). Effect of occupancy on acoustical conditions in university classrooms. *Applied Acoustics 114* (2016) 36-43.
- Choi, Y-J. (2020). Evaluation of acoustical conditions for speech communication in active university classrooms. *Applied Acoustics 159* (2020).
- Hygge, S.; Jahncke, H.; Ljung, R. & Sörqvist, P. (2011). Okat brus i klassrum ger samre inlärning hos elev. Husbyggaren nr. 7, 2011.
- Mealings, K. (2016). Classroom acoustic conditions: Understanding what is suitable through a review of national and international standards, recommendations, and live classroom measurements. *Proceedings of Acoustics 2016*. 9-11 November 2016, Brisbane, Australia.
- Sato, H.; Bradley, J.S. (2004). Evaluation of acoustical conditions for speech communication in active elementary school classrooms. *NRCC-46870*. A version også I ICA, Kyoto, Japan, April 2004.
- Sato, H.; Bradley, J.S. (2008). Evaluation of acoustical conditions for speech communication in working elementary school classrooms. *The journal of the acoustical society of America, 123, 2064* (2008).
- Shield, B. & Dockrell, J. (2008). The effects of classroom and environmental noise on children's academic performance. *Proceedings, 9th International Congress on noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008*.
- Shield, B.M. et al. (2015). A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary school classrooms in England. *J. Acoust. Soc. Am. 137 (1)*, January 2015.
- Tiesler, G. (2018). Communication Behaviour and Workload of Students and Teachers in Highly Absorbent Classrooms. *Euronoise 2018*, Crete.

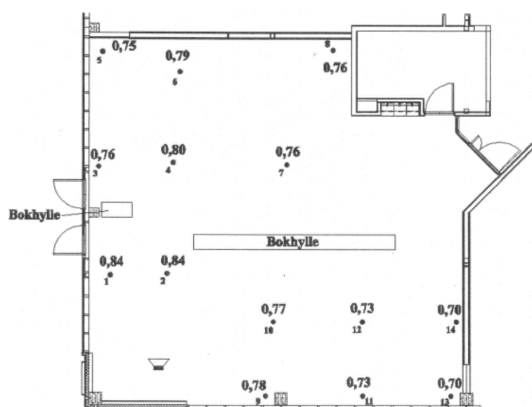
Figur 8  
Læringsareal for  
småtrinnet ved Ulsmåg  
skole, Bergen  
kommune. Arkitekt: Ola  
Roald Arkitektur  
Foto: Eva Rosa Hollup



## 5 Åpne undervisningsarealer

### 5.1 Litteraturgjennomgang

På 60- og 70-tallet var det en trend i mange land å bygge skoler med svært åpne planløsninger. Prinsippet var trolig drevet av nye ideer om pedagogikk og fleksibilitet i undervisningsmetodene. Dette startet også en rekke studier og forskningsarbeider, da det relativt fort oppsto problematiske arbeidssituasjoner på grunn av støyforstyrrelser. Det er ikke uvanlig at støy og stimulering er for sterkt forstyrrende og at elever har vanskelig for å arbeide og konsentrere seg i slike skoler. Noen typiske randbetingelser var at de akustiske kravene var svake, men det var nokså vanlig med teppegolv. I de påfølgende tiårene finner vi viktige kunnskapsbidrag fra blant andre Evans, Ahrentzen, Weinstein, Hoffmeyer, Bradley, Dockrell, Shield og Mealings, hvorav mange er fagfellevurderte artikler. De første tiårene var det svært store sammenhengende arealer ved disse åpne løsningene, minst 200 m<sup>2</sup> og opptil 1000 m<sup>2</sup>. Flere studier fokuserte derfor på hvordan inndeling med for eksempel skjermvegger påvirket støysituasjonen i rommene, se for eksempel Evans & Lovell (1979). Flere alternative designløsninger ble derfor foreslått.



Figur 9  
Eksempel på 1960- og 70-tallets åpne planløsning [Homb 2017]. Denne er på ca. 250 m<sup>2</sup>.

En studie fra Ahrentzen & Evans (1984) konkluderte med at økt åpenhet (beskrevet med rommets perimeter) korrelerte negativt med elevenes tilfredshet, men positivt for lærerne. En forklaring var at lærerne tilpasser lærerplanene og undervisningsmetoder for å møte uønskede eller potensielt forstyrrende omgivelser (de reorganiserer også sosial struktur). Et annet trekk som ble registrert, var at elever som ønsket å være alene eller konsentrere seg, søkte mot bortgjemte arealer eller hjørner av rommet, men at dette burde studeres nærmere.

Flere studier forsøker også å kvantifisere betydningen av støy på ferdigheter i lesing og regning. En studie fra Weinstein (2001) konkluderte med at støy ikke hadde signifikant effekt på nøyaktigheten eller lesehastigheten, for (kortvarige) lydnivåer opptil 66 dB. Men rommenes akustiske egenskaper ble ikke beskrevet, så det er usikkert hvor overførbare resultatene er til andre skoler. Utover 80- og 90-tallet ble det vanlig med strengere akustiske krav i en del land, se for eksempel Homb (2017). Erfaringer med nye undervisningsformer, se Hoffmeyer & Møller Petersen (2002), viser at det for åpne undervisningsarealer var behov for lavere etterklangstider enn de generelle kriteriene.

Større forskningsarbeider utført og publisert av Bradley (2005) konkluderer med at et designmål bør være RT maksimalt 0,6 sek for romvolum opptil 250 m<sup>3</sup> og L<sub>pA</sub> ≤ 35 dB. I artikkelen hevdes det at hoveddelen av læringsaktiviteten er verbal og involverer lytting til tale, og at taletydigheten derfor er svært viktig. Da blir konseptet med åpne undervisningsarealer inkonsistent fordi det ikke er mulig å nå 35 dB når det er tale i et annet læringsområde (fra annen gruppe) i det samme rommet. Dette understøttes av flere andre studier og beregninger.

En av de få norske studiene er arbeidet av Støfringsdal (2008). Her vises resultater fra målinger før og etter modifisering av rom med skjermende og absorberende løsninger. Det er mulig å oppnå god akustisk skjerming mellom ulike deler av rommene uten å lukke dem, men det krever godt planlagte akustiske tiltak og planløsning, se også Evans & Lovell (1979). En annen konklusjon er imidlertid at store, åpne undervisningsarealer generelt bør frarådes når man ikke kan forutsette at en høy grad av koordinering mellom aktivitetene i de ulike sonene/gruppene. Dette sammenfaller med resultater fra Bradley (2005).

En annen case-studie er fra Jerkø & Homb (2009), der målet var å evaluere hvorvidt forhold knyttet til akustikk, støy og "forstyrrelser" oppleves som et problem med hensyn til planløsning og bruksmønster. Dette var en studie ved ni skoler med baseløsninger, nybygde eller rehabiliterte i perioden 2005 til 2008. Størrelsene på stor-rommene varierte fra 85 til 150 m<sup>2</sup> og samlet baseareal fra 180 til 350 m<sup>2</sup>, noe som innebærer 2,6 til 4,1 m<sup>2</sup> gulvareal per elev. I fire av basearealene var det gjennomgangstrafikk. De viktigste konklusjonene var at ingen av skolene tilfredsstilte alle akustiske krav i NS 8175:2005, men overskridelsene var i noen tilfeller moderate. Fra brukererfaringene var svakhetene primært gjennomgangstrafikk og/eller utforming av rommene. Der elever og lærere opplevde at det var mye støy, ble dette primært tilskrevet disiplin i større grad enn rommets akustiske egenskaper, uegnet planløsning, adferdsproblemer eller et bruksmønster hvor de hadde både formidling og selvstendig arbeid i samme rom samtidig. Fra baser hvor de opplevde et godt lydmiljø, hadde de også mange av de negative faktorene, men de fokuserte i særlig stor grad på disiplin for å oppnå en god arbeidssituasjon.

En undersøkelse fra Knudtzon (2011) viser at for hørselshemmede så medfører tale i undervisningslandskap et betydelig problem, og at halvparten av respondentene i undersøkelsen ofte eller alltid har vanskelig for å konsentrere seg. Forskning publisert av Bradley (2009) konkluderer med at talekommunikasjon er den mest støysensitive læringsaktiviteten. Derfor må rommene tilfredsstille kommunikasjonsbehov selv om mye av tiden går til elevsentrert arbeid / gruppe-arbeid. For yngre elever er støy et større problem enn etterklangstiden. Studien bekrefter en anbefalt RT på 0,6 sek i inaktive undervisningsrom, men dette er trolig ikke spesielt relatert til åpne undervisningsarealer. Artikkelen påpeker også at lavere eller høyere RT bør unngås og at elever med sensoriske utfordringer har spesielle behov.

En omfattende fagfelleverdert artikkel er publisert av Shield et al. (2010). I artikkelen presenteres en gjennomgang av 124 artikler fra de seineste 40 årene som omhandler åpne undervisningsarealer. En hovedkonklusjon er at forstyrrende støy fra nærliggende klassegrupper er et hovedproblem, noe som reduserer taleforståelighet og graden av "privacy" (det å være uforstyrret av støy fra medelever). Slike situasjoner innebærer forstyrrelser og misnøye både for elever og lærere. Men målinger av aktivitetsstøy har holdt seg på et overraskende stabilt nivå, se også kapittel 4. Støybegrensende tiltak er nødvendig for å minimere distraksjon og støyforstyrrelse for å opprettholde akseptabel taleforståelighet. Artikkelen oppsummerer en del tiltak som er viktige for å redusere den skadelige effekten av støy på læringsutbyttet:

- installering av absorberende himling, med maksimal himlingshøyde på 3,5 m
- lineær layout til klassegrupper (usikker på hva som menes)
- lyddemping mellom grupper (dvs. mer semi-åpne planløsninger)
- begrensning av antallet klassegrupper til tre eller færre og tilstrekkelig gulvareal per elev
- strategier for å organisere undervisningsaktiviteten slik at man unngår potensielle støykonflikter mellom nabogrupper

I en konferanse-artikkel fra Møller Petersen & Rasmussen (2012) presenteres resultater fra to nyere danske skoler med åpne planløsninger hvor de nye danske kravene har blitt benyttet. Hjemmeområdene hadde et areal på mellom 330 og 400 m<sup>2</sup> for elevtall mellom 75 og 100. De

påpeker at suksess med åpne løsninger forutsetter ekko-frie betingelser, noe man kan oppnå med korte etterklangstider, men at slike løsninger frarådes for elever yngre enn 10 år. De påpeker viktigheten av gode planløsninger i samspill med spesialdesign av de akustiske forholdene. Artikkelen kan brukes som mal for case-studiene i dette prosjektet.

En artikkel fra Connolly et al. (2015) omhandler elevers oppfattelse av de akustiske forholdene og påvirkningen av støy i lærings situasjonen. Et funn var at ungdomsskoleelever er gode bedømmere og i stand til pålitelig å identifisere de akustiske forholdene som forstyrrer læringen. Resultatene viste at støy fra eksterne kilder og interne forstyrrelser fra aktiviteter i åpne undervisningsarealer var signifikant ugunstig sammenlignet med skoler uten disse faktorene. Elever med økte læringsbehov (blant annet språk, hørselsnedsettelse eller behov for ekstra læringsstøtte) er spesielt følsomme for effekten av uheldige akustiske forhold.

Mealings et al. (2015a og 2015b) har gjennomført en case-studie av fire klasserom med varierende størrelse (åpenhet) til undervisningsarealene. En hovedkonklusjon er at klasserom med mer enn 90 elever ikke er et passende læringsmiljø for unge barn på grunn av påtrengende støynivåer og ugunstige lytteforhold som oppstår i slike rom. De fire kategoriene klasserom var lukket for 25 elever, dobbel for 44 elever, helt åpen trippel for 91 elever og semi-åpen for 205 elever. Det er imidlertid ikke kjent hvilke akustiske egenskaper disse rommene har (utover at de trolig oppfyller australske krav). Det nevnes at det er et potensiale med bedre tilrettelegging av de akustiske forholdene. Både læring og stemmebruk blir et problem fordi talenivået må heves. Forfatterne anbefaler lukkede vegger med begrenset gulvareal for denne elevgruppen, alternativt rom som kan deles opp med foldevegg/skyvevegg o.l. Dette kan også ivareta fleksibiliteten for andre aktiviteter hvor lærerne ønsker mer åpent areal. Talekommunikasjonen kan også bli tilfredsstillende i dobbel-klasserom hvis læringsaktivitetene er koordinerte og støyen kontrollert.

En artikkel som også kan være et nyttig underlag, er skrevet av Bluysen (2017). Dette er en review-artikkel som omhandler aspekter rundt helse, komfort og prestasjoner til barn i klasserom. Innfallsvinkelen er at rommene brukes både til arbeid i grupper, diskusjoner, rollespill med mer, og at dette innebærer ulike former for møblering og konfigurasjoner i rommet, noe som også endrer rommets akustiske forhold. Spesielt interessant er også funnet om at uheldige/dårlige akustiske forhold påvirker den sosiale adferden til barna.

Vinje (2014) har i sitt PhD-arbeid gjennomført omfattende studier av trenden med baseskoler. Forskingen omhandler ikke spesifikt de akustiske forholdene, men resultatene som presenteres er viktig i sammenheng med utformingen av de fysiske omgivelsene. Det overordnede fokuset med baseskoler er på areal og utforming av dette, det vil si at arkitekturen har blitt brekkstang for ny pedagogikk – og ikke omvendt. Forskning på hva som er god læring støtter ganske entydig opp om klasseromsmodellen og en lærerstyrt organisering av undervisning og elevers arbeid. Modellen med baseskoler har sitt utspring i det svenske prosjektet "Skola 2000", der prinsippet var en ny type skolebygg kombinert med en ny og mer prosjektbasert organisering av skolehverdagen. Men i Norge kom baseløsningene uten krav til en tilhørende pedagogikk og bibehold av klasseinndelingen. Dette harmonerer ifølge Vinje dårlig med en arealløsning med et stort åpent landskap (der store fellesrom blir lite brukt) og omkringliggende smårom. I Sverige ble planen med "Skola 2000" ganske raskt forkastet etter negative erfaringer i form av støy og uro, og et læringsmiljø som særlig gikk ut over de svakeste elevene. Se også kapittel 2 for gjeldende krav i Sverige til akustiske forhold i undervisningsrom.

Løsninger med store, sammenhengende undervisningsarealer innebærer nokså ofte at gangsoner eller transportsoner blir en del av arealet. Det finnes en rekke eksempler på slike planløsninger, men svært få vitenskapelige undersøkelser der dette er eksplisitt studert. En større studie er gjennomført av Ito & Yokoyama (2019) der man har studert sammenhengen mellom graden av konsentrasjon, åpenhet i planløsningen og design av skille mellom

undervisningsareal og kommunikasjonsveiene. Studien inkluderte ca. 30 elever i både konvensjonelle og semi-åpne undervisningsrom. Resultatene viste at graden av konsentrasjon ble påvirket av planløsningen og antall barn som krevde spesiell støtte i undervisningen, men den ble ikke påvirket av undervisningserfaringene til lærerne. Det generelle konsentrasjonsnivået avvek imidlertid ikke klart i forhold til konvensjonelle klasserom. For undervisningsarealer med flyttbare paneler eller delvis separering mot gangarealer er konsentrasjonen signifikant lavere enn andre typer klasserom. All eksternt støy ga også økende distraksjon med økende åpenhet som gjorde det nødvendig med fysiske forbedringer. Artikkelen angir at delvis fysisk avskjerming var en ineffektiv strategi, men at et bedre tiltak var å utforme romløsningen og møbleringen slik at man fikk tilstrekkelig avstand og ryggen til gangsoner. Erfaringer med delvis separering mellom undervisningsarealer og gangsoner har vi også fra nyere, norske skoler, se også Jerkø og Homb (2009). Spesielt der gangsonen benyttes av andre elevgrupper, har distraksjonen vært svært markert. I flere av disse tilfellene har det derfor blitt gjennomført ombygging ved å dele av arealene fysisk.

## 5.2 Oppsummering

Fra de vurderte artiklene er det en gjennomgående konklusjon at åpne undervisningsarealer bør frarådes når man ikke kan forutsette en høy grad av koordinering mellom aktivitet i de ulike sonene/gruppene. Dette fordi det ikke er mulig å oppnå tilfredsstillende taleoppfattelse i én del av rommet, når det er en annen aktivitet et annet sted i det samme rommet. En hovedkonklusjon er at forstyrrende støy fra nærliggende klassegrupper er et hovedproblem. Da må man i så fall skjerme aktivitetene med innredning, flyttbare skjermvegger og lignende. Talekommunikasjon er den mest støysensitive læringsaktiviteten. Rommene må tilfredsstillende dette kommunikasjonsbehovet selv om mye av tiden går til elevsentrert arbeid eller gruppearbeid.

Andre funn er at støy er et større problem enn etterklangstid, at sensitive elevgrupper har spesielle behov og at RT hverken bør være for lav eller høy (en artikkel angir at RT bør være lavest mulig). Målinger av aktivitetsstøy har holdt seg på et overraskende stabilt nivå, tilsynelatende uavhengig av romstørrelsene, se også kapittel 4. Men støybegrensende tiltak er nødvendig for å minimere distraksjon og støyforstyrrelse for å opprettholde taleforståelighet. Få forskningsarbeider har undersøkt baseløsninger spesifikt, men det er noen hovedtrekk fra de norske erfaringene. Brukererfaringene viser at svakheter i stor grad er knyttet til gjennomgangstrafikk og/eller utforming av rommene. Der elever og lærere opplevde at det var mye støy, ble dette primært tilskrevet disiplin i større grad enn rommets akustiske egenskaper. Elever med økte læringsbehov (annet språk, hørselsnedsettelse eller behov for ekstra læringsstøtte) er spesielt følsomme for effekten av uheldige akustiske forhold.

Flere studier konkluderer med at transportsoner utgjør en kritisk faktor med hensyn til distraksjon og konsentrasjon i undervisningen. Anbefalingene er derfor at man i planløsningen bør sørge for å unngå transportsoner som er helt eller delvis åpne mot det nærliggende undervisningsarealet. Dette blir mindre kritisk dersom undervisningsaktivitetene koordineres eller man innretter møblering og romutforming med avstand slik at man i størst mulig grad hindrer både visuell og auditiv distraksjon.

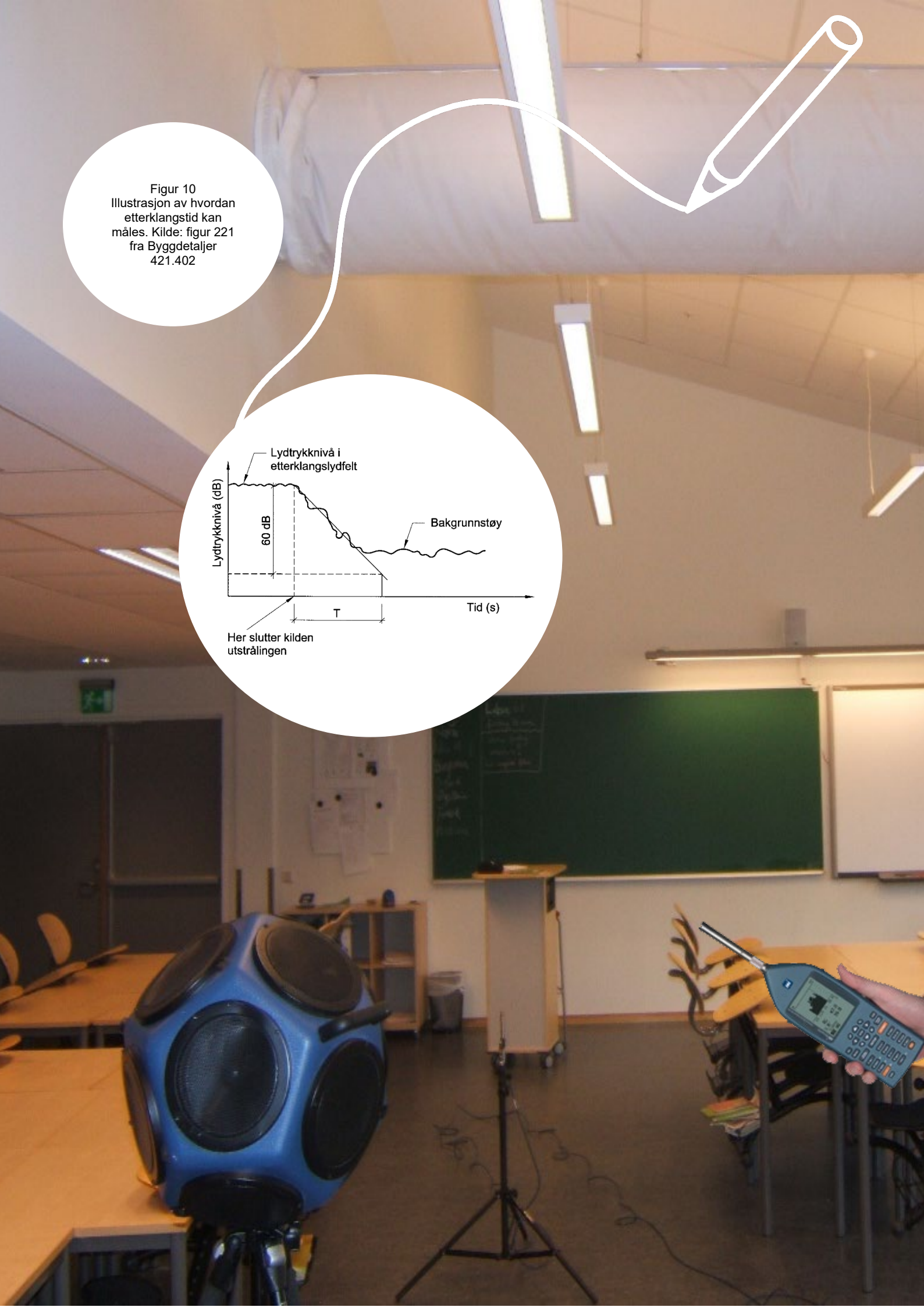
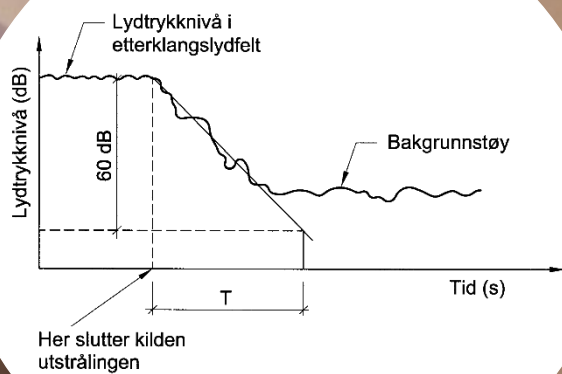
Videre vurderinger av lydforhold i undervisningslandskap og større undervisningsrom betinger en nærmere grenseoppgang med hensyn til romstørrelser. Vanlige (lukkede) undervisningsrom har gjerne en gulvflate på inntil ca. 80–90 m<sup>2</sup>. De tidlige løsningene med åpne undervisningslandskap hadde romstørrelser på minst 250 m<sup>2</sup> uten skillevegger. De vanligste basearealer eller hjemmeområder i dag har gjerne arealer imellom dette. NS 8175 definerer ikke størrelsen på undervisningsrom, men blant de prosjekterende og i henhold til Byggforskeren (2012) er det vanlig å betrakte disse som undervisningslandskap. Dette utløser, som nevnt i kapittel 2, krevende og delvis motstridende akustiske krav.



### 5.3 Referanser

- Ahrentzen, S. & Evans, G. (1984). Distraction, privacy and classroom design. *Environment and behaviour*, Vol. 16 No. 4, July 1984, 437-454.
- Bluyssen, P.M. (2017). Health, comfort and performance of children in classrooms – New directions for research. Review article. *Indoor and Built Environment Vol 26(8)* 2017.
- Bradley, J.S. (2005). Does the classroom assist or impede the learning process? NRCC-47710. A version of this document is published in Canadian Association of Principals Journal, v. 13, no. 1, Winter 2005, pp. 32-34.
- Bradley, J.S. (2009). A new look at acoustical criteria for classrooms. NRCC-51320, August 2009. A version also in InterNoise 2009.
- Byggforskserien (2012). Byggdetaljer 527.305. Lydforhold i skoler og barnehager, mai 2012.
- Connolly, D.M.; Dockrell, J.E.; Shield, B.M.; Conetta, R. & Cox, T.J. (2015). Student's perceptions of school acoustics and the impact of noise on teaching and learning in secondary schools: Finding of a questionnaire survey. *Energy Procedia 79* (2015), p. 3114-3110.
- Evans, G.W. & Lovell, B. (1979). Design Modification in an Open-Plan School. *Journal of Educational Psychology* 1979, Vol. 71, No. 1, 41-49.
- Hoffmeyer, D. & Møller Petersen, C. (2002). Lyd- og støjforhold i skolelokaler – efterklangstid og akustisk regulering. *Byg-erfa, Erfaringsblad 010302*, 2002.
- Homb, A. (2017). Norwegian experience with acoustics in classrooms. Presentation at conference, Acoustics' 17, Boston. America organization of Acoustics.
- Ito, K. & Yokoyama, Y. (2019). Relationship between classroom plan types and the degree of concentration of the children in elementary schools. A comparative study of open-plan classrooms and conventional-plan classrooms. *Japan Architectural Review*, 2019; 2:88-100.
- Jerkø, S. & Homb, A. (2009). Planløsning, akustikk og støy i baseskoler. *Prosjektrapport 43. SINTEF Byggforsk*, Oslo 2009.
- Knudtzon, L. (2011). Syns- og hørselshemmedes opplevelse av lydforhold i rom og arealer. *NIBR Notat 2011:102*.
- Mealings, K.T.; Buchholz, J.M.; Demuth, K. & Dillon, H. (2015a). Investigating the acoustics of a sample of open plan and enclosed Kindergarten classrooms in Australia. *Applied Acoustics 100* (2015) 95-105.
- Mealing, K.T.; Demuth, K.; Buchholz, J.M. & Dillon, H. (2015b). The effect of different open plan and enclosed classroom acoustic conditions on speech perception in kindergarten children. *J. Acoust. Soc. Am.* 138 (4), october 2015.
- Møller Petersen, C. & Rasmussen, B. (2012). Acoustic design of open plan schools and comparison of requirements. *Proceedings of BNAM 2012*. Aalborg University.
- Shield, B.; Greenland, E. & Dockrell, J. (2010). Noise in open plan classrooms in primary schools. A review. *Noise Health 2010*;12: 225-34.
- Støfringsdal, B. (2008). Speech intelligibility in open plan education spaces. *Auditorium acoustics 2008*.
- Vinje, E. (2014). De norske baseskolene. *PhD-avhandling, Aalborg universitet, Institut for læring og filosofi*. 2014.
- Weinstein, C.S. & Weinstein, N.D. (2001). Noise and Reading Performance in an Open Space School. *The journal of educational research*, page 210, 2001.

Figur 10  
Illustrasjon av hvordan  
etterklangstid kan  
måles. Kilde: figur 221  
fra Byggetaljer  
421.402



## 6 Måle- og beregningsparametre

### 6.1 Litteraturgjennomgang

Fokuset på målemetoder for akustiske forhold skjøt fart på 80-tallet, i stor grad drevet av nye romløsninger for undervisningsarealer. Det var også i denne tidsperioden en rivende utvikling med hensyn til mer effektivt og avansert måleutstyr. Av fagfellevurderte artikler så er det ikke så mange forfattere som har fokusert spesielt på måle- og beregningsmetoder, men forfatterne nevnt nedenfor har til gjengjeld produsert en rekke artikler. Sentrale bidrag til å øke kunnskapsnivået, spesielt med hensyn til målemetoder, har vært Bradley, Hodgson, Bistafa, Keränen og Choi.

De vanligste parametrene for å vurdere akustiske egenskaper i undervisningsrom har vært etterklangstid (RT) og signal-til-støyforhold (SNR), der sistnevnte er differansen mellom ønsket lydnivå og uønsket støy. For mer spesifikt å vurdere taleoppfattelse, har det blitt introdusert andre parametre, der de vanligste er STI (Speech Transmission Index), U (Useful to detrimental sound ratio), C (Clarity) og D (Deutlichkeit). For definisjoner, se tabell i kapittel 1.5. For de tre sistnevnte parametrene (U, C og D) så benyttes det ulike tidsintervaller for beregningen, det vil si at man har ulike varianter innen hver parameter. I seinere tid har EDT (Early Decay Time) kommet inn som en supplerende eller alternativ parameter til RT.

I en artikkel av Bradley (1986) sammenlignes resultater med SNR, STI og U. De beste variantene av hver parameter hadde tilsvarende nøyaktighet, men U-ratio basert på 80 ms tidsintervall var mest presis. Flere av disse parametrene var sterkt relatert til hverandre selv om de var basert på forskjellige beregningsprosedyrer. Deutlichkeit foreslås ofte som mål for taletydelighet, men forskning fra Bradley et al. (1999) viser at  $C_{50}$  er mer passende fordi den er lineær relatert til subjektiv respons. Men for ikke-eksperter er det vanskelig å detektere små forskjeller selv med kontrollerte forsøk. Det vil si at forskjellene er signifikante når C-verdi endres minst 3 dB eller STI minst 0,1.

Flere artikler presenterer resultater fra målinger i undervisningsrom, med et "knippe" av de nevnte parametrene, se for eksempel Hodgson et al. (1999) og Kousaie & Hodgson (2002) for rom både med og uten elever. Sistnevnte studie kvantifiserte også betydningen av stoler, der resultatene kan brukes i empiriske modeller for å forbedre beregningsmodellene. Tilsvarende studier er gjennomført av Choi (2017a og 2020), som også konkluderer med at  $U_{50}$  og STI er sterkt korrelerte. En artikkel fra Gärdhagen & Simmons (IF-2007) konkluderer med at absorpsjonsmengden ved etterklangsmålinger undervurderes når det ikke er diffus-felt i rommet, noe som er typisk ved heldekkende himlinger og parallelle vegger. De poengterer også at det er viktig å unngå lange etterklangstider ved lave frekvenser.

Choi (2017b) har utviklet en relativt enkel prosedyre for å estimere de akustiske egenskapene i aktive klasserom fra målinger i inaktive rom. Det vises at små endringer av blant annet EDT,  $C_{50}$  og  $U_{50}$  kan beregnes med utgangspunkt i lydabsorpsjon for inaktive rom når man inkluderer elevtettheten. Prediksjonen tar imidlertid ikke hensyn til forskjellige fordelinger av elevene med stoler, møblering og gruppering og absorpsjonseffekten dette kan gi, samt at dette er begrenset til frekvensområdet fra 500 til 1000 Hz (bør videreutvikles). Studien viser at  $U_{50}$  er like nøyaktig som STI, men at  $U_{50}$  vurderes som mer praktisk anvendelig. I en annen artikkel fra Choi (2018) kvantifiseres også effekten elever i rommet har på absorpsjonsarealet. Effekten er relativt sett størst i de mer reflekterende rommene, og avtar noe med økende elevtetthet. Personer bidrar mest til absorpsjon ved høyere frekvenser (2000 til 4000 Hz). Regresjonskurver er utarbeidet for hjelp til beregninger som er basert på RT30 for inaktive rom. Simuleringer vist av Simmons (2016) trekker også i samme retning, der resultater tyder på at det er viktigst å dempe mellomfrekvens-området. Derfor foreslås det også en alternativ veiekurve for absorbenter, se NS-EN ISO 11654 (1997).

Pääkkönen et al. (2015) har gjennomført en pilotstudie i noen nye skoler og nye former for framtidige skoler. Målinger inkluderer flere av de akustiske parametrene som er nevnt tidligere. Resultatene viste generelt gode akustiske forhold i de undersøkte rommene, og eksempler på at korridorene (fellesarealene) kunne benyttes for undervisningsaktivitet når det var myke tepper på golvene. Forfatterne påpeker at det er behov for å utvikle nye verktøy for å evaluere læringsarealer når det skal introduseres nye læringskonsepter.

Det har også selvsagt blitt utarbeidet standarder for måling av flere av de vanligste, romakustiske parametrene. Måling av etterklangstid for slike typer rom bør følge NS-EN ISO 3382-2 (2008) og tilhørende rettelsesblad, mens måling av STI bør gjennomføres i henhold til IEC 60268-16 (2020). For sistnevnte parameter så er det en rekke metodiske alternativer både med hensyn til måleutstyr og analyse. Metoden er ganske komplisert, og det kan være krevende å oppnå repeterbare resultater. På grunn av ujevn fordeling av refleksjoner og støynivå kan målte verdier variere ganske mye mellom ulike posisjoner i rommet. Det vil si at man bør være svært varsom med aritmetisk midling av måleresultatene for et rom. NS-EN ISO 9921 (2003) kan også være relevant for vurdering av talekommunikasjon. For etterklangstid er det svært vanlig med aritmetisk midling av måleposisjoner, selv om resultatene for RT også varierer med posisjon i rommet.

Flere artikler omhandler beregninger av de aktuelle parametrene mer inngående, blant annet Keränen et al. (2004). De viser at STI kan beregnes med enkle metoder i små rom, men i større og mer komplekse rom bør STI beregnes med akustiske modeller. Bakgrunnen for dette er at forholdet mellom tidlige og seintrefleksjoner er viktig. Dette gjør det også komplisert å beregne EDT som legger hovedvekten på den tidlige fasen av lydrefleksjonene. Forfatterne påpeker behovet for mer forskning for å optimalisere lydforholdene der taletydighet er viktig, blant annet på grunn av påvirkningen fra tilhørere og innredning.

Bistafa & Bradley (2000) har fokusert på beregning av etterklangstider i simulerte klasserom for sammenligning med eksperimentelle resultater. Beregninger i henhold til Sabine (analytisk beregningsmodell for etterklangstid) underestimerte konsekvent etterklangstiden. Andre beregningsmetoder ga bedre korrelasjon mot målte verdier, det vil si høyere RT enn med Sabine. De analytiske beregningene ble også mer presise med en andel lydspredning i rommet. Lydspredningen påvirker også måleresultatet som nevnt av Gärdhagen & Simmons (2007). Numeriske beregninger ble gjennomført med Raynoise 3.0 og Odeon 2.6, men ingen av disse var mer nøyaktige enn den beste analytiske beregningen. Av de numeriske metodene ga Odeon det nøyaktigste resultatet av de to metodene. De to nevnte numeriske beregningsverktøyene ble også brukt til å beregne talenivå,  $C_{50}$  og STI i en artikkel av Bistafa & Bradley (2001). Analytisk beregning av talenivå og  $C_{50}$  ble mer nøyaktig enn beregning av STI. Beregningsprogrammene ga noenlunde samme nøyaktighet for STI, men for de simulerte klasserommene var enkle analytiske beregninger generelt mer presise enn beregningene med de numeriske metodene.

## 6.2 Oppsummering

Etterklangstid (RT) og bakgrunnsstøy (BGN) er svært viktige parametre for å beskrive de akustiske forholdene. Disse inngår også i forskriftskrav i en rekke land. Men RT er ikke en fullgod parameter, spesielt når romstørrelsene går opp eller romgeometrien er utfordrende, fordi den svakt korrelerer med taletydighet. Det kan derfor være aktuelt å gjøre nærmere studier av EDT (tidlig etterklangsforløp) som i større grad vektlegger tidlige refleksjoner. Tidlige refleksjoner er viktig for taletydigheten.

Det finnes en rekke parametre for å beskrive taletydighet, med STI som den mest vanlige så langt, og som spesifiseres i en del anbefalinger ved større romløsninger. Målinger viser imidlertid at det kan være stor romlig spredning i nivåene, og parameteren er krevende å måle. Det kan derfor være krevende å tolke resultatene i forhold til de foreslåtte anbefalingene. Parameteren er også komplisert å beregne for store rom eller rom med ugunstig geometri. Det

finnes forslag om å benytte C (Clarity), D (Deutlichkeit) eller U (ønsket/uønsket-forhold) istedenfor STI for å kvantifisere taletydelighet. Forskningsresultater som er gjennomført peker i retning av at  $U_{50}$  gir meget god korrelasjon til taleoppfattelse samtidig som at den teknisk sett kan være enklere å måle enn STI.

Beregning av etterklangstid bør gjennomføres med en metode som er mer avansert enn Sabine, men ingen av de numeriske metodene er mer nøyaktige enn de analytiske. Det samme gjaldt beregning av C (Clarity). Det bør utvikles verktøy for å gjøre analytisk beregning av etterklangstid mer tilgjengelig og verifisere mot fysiske målinger.

### 6.3 Referanser

- Bistafa, S.R. & Bradley, J.S. (2000). Predicting reverberation times in a simulated classroom. *J. Acoust. Soc. Am.* 108 (4), October 2000 0001 -4966/2000/108(4)/1721/11.
- Bistafa, S.R. & Bradley, J.S. (2001). Predicting speech metrics in a simulated classroom with varied sound absorption. *J. Acoust. Soc. Am.* 109 (4), April 2001 0001 - 4966/2001/109(4)/1474/9.
- Bradley, J.S. (1986). Predictors of speech intelligibility in rooms. *J. Acoust. Soc. Am.* 80 (3), September 1986 0001-4966/86/090837-09.
- Bradley, J.S.; Reich, R. & Norcross, S.G. (1999). A just noticeable difference in C50 for speech. *Applied Acoustics* 58 (1999) 99-108.
- Choi, Y-J. (2017a). Comparison of Two Types of Combined Measures, STI and U50, for Predicting Speech Intelligibility in Classrooms. *Archives of Acoustics* Vol. 42, no. 3 (2017).
- Choi, Y-J. (2017b). Predicting classroom acoustical parameters for occupied conditions from unoccupied data. *Applied Acoustics* 127 (2017), 89-94.
- Choi, Y-J. (2018). Effects of the distribution of occupants in partially occupied classrooms. *Applied Acoustics* 140 (2018), 1-12.
- Choi, Y-J. (2020). Evaluation of acoustical conditions for speech communication in active university classrooms. *Applied Acoustics* 159 (2020).
- Gårdhagen, B. & Simmons, C. (2007). Ny ljudklassnings-standard för lokaler. *Bygg og teknik* 03/07.
- Hodgson, M.; Rempel, R. & Kennedy, S. (1999). Measurement and prediction of typical speech and background-noise levels in university classrooms during lectures. *The Journal of Acoustical Society of America* 105, 226 (1999).
- IEC 60268-16 (2020). Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.
- ISO 3382-3:2012. Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 3: Open plan offices.
- ISO 14257:2001. Acoustics – Measurement and parametric description of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance.
- Keränen, J.; Larm, P. & Hongisto, V. (2004). Simple application of STI-method in predicting speech transmission in classrooms. *Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2004*, 8-10 June 2004, Mariehamn, Åland BNAM:2004.
- Kousaie, K. & Hodgson, M. (2002). Measurement of sound absorption of unoccupied and occupied chairs in classrooms. *Canadian Undergrad Phys J. Volume 1*, Pages 7-10, september 2002.
- NS-EN ISO 11654 (1997). Akustikk – Lydabsorbenter til bruk i bygninger – Vurdering av lydabsorpsjon (ISO 11654:1997).
- NS-EN ISO 3382-2 (2008). Akustikk – Måling av romakustiske parametere – Del 2: Etterklangstid i vanlige rom (ISO 3382-2:2008) og Rettelsesblad AC til del 2: Etterklangstid i vanlige rom (ISO 3382-2:2008/Cor 1:2009).
- NS-EN ISO 9921 (2003). Ergonomi. Vurdering av talekommunikasjon (ISO 9921:2003)

- Pääkkönen, R.; Vehviläinen, T.; Jokitulppo, J.; Niemi, O.; Nenonen, S. & Vinha, J. (2015). Acoustics and new learning environment – a case study. *Applied Acoustics* 100 (2015), 74-78.
- Simmons, C. (2016). New ratings in ISO 11654 of plane sound absorbers made for speech communication in classrooms and meeting rooms. *Inter.noise Hamburg 2016*.

Figur 11  
Kommunikasjonsareal,  
Holen skole i Bergen  
kommune. Arkitekt:  
Arkitektgruppen Cubus.  
Foto: Bergen kommune





## 7 Evaluering av kunnskapsstatus

Kravet til etterklangstid i norske undervisningslokaler er relativt strengt, det samme gjelder kravet til lydnivåer fra tekniske installasjoner og utendørs støy. For undervisningsarealer med åpne planløsninger er kravet enda strengere, uten at alle konsekvenser av dette er godt verifisert eller dokumentert. Kravet til etterklangstid er imidlertid "ensidig" ved at det kun er en øvre grense som er definert, mens forskning viser at det også bør være en nedre grense. I de fleste land, Norge inkludert, settes kravet til rom uten elever, noe som i realiteten gjør rommene mer dempet enn kravet tilsier når de er i bruk. Kravet til maksimalt lydnivå fra tekniske installasjoner er innenfor et anbefalt nivå og medvirker til at ønsket lyd oppfattes lettere for alle elevgrupper og lærere.

For undervisningsarealer med åpne planløsninger mangler det en klar definisjon eller avgrensning av hvilke romstørrelser dette dreier seg om. I historisk perspektiv var "åpne planløsninger" forstått som gulvarealer fra ca. 250 m<sup>2</sup> til over 1000 m<sup>2</sup> uten skillevegger eller lignende. Det er omfattende dokumentasjon som bekrefter at de akustiske forholdene blir svært krevende når arealene øker – fordi det da også er tilsvarende økning i antall elever som samtidig har undervisning her. Aktivitetsnivåene øker med antall elever i rommet og formidling kompliseres, noe som gir en signifikant negativ effekt på læringsprosess og prestasjoner.

I undervisningsarealer med åpne planløsninger er kildekontroll svært viktig framfor meget kraftig lyddemping av rommet. Anbefalingene til akustiske forhold for slike romløsninger i Danmark og Norge er svært krevende og samtidig motstridende. Konseptet med åpne undervisningsarealer blir inkonsistent fordi det ikke er mulig å lytte til en formidler med tilstrekkelig tydelighet (eller fravær av distraksjon) når det er tale i et annet læringsområde (fra annen gruppe) i det samme rommet. Studier viser også tydelig at elever med økte læringsbehov (annet språk, hørselsnedsettelse, konsentrasjonsvansker eller behov for ekstra læringsstøtte) er spesielt følsomme for effekten av uheldige akustiske forhold. Det er mulig å oppnå god akustisk skjerming mellom de ulike delene av rommene uten å lukke dem, men det krever godt planlagte akustiske tiltak og gjennomtenkt planløsning. En annen konklusjon er at store, åpne undervisningsarealer bør frarådes når man ikke kan forutsette at det er en høy grad av koordinering mellom aktivitetene i de ulike sonene/gruppene.

Det er godt dokumentert at transportsoner utgjør en kritisk faktor med tanke på distraksjon og konsentrasjon i undervisningen. Det er derfor klare anbefalinger om å unngå planløsninger der transportsoner er helt eller delvis åpne mot det nærliggende undervisningsarealet. Det finnes avbøtende tiltak, men mulighetene til å finne gunstige løsninger avtar med økende, sammenhengende arealer. Distraksjon er også nært knyttet til lydtransmisjon fra andre støykilder.

Hjemmeområder eller baser som har blitt bygd i Norge de seinere årene har nesten alltid arealer under 250 m<sup>2</sup>. Det vil si at de arealmessig er i en "gråson" mellom ordinære klasserom (opptil ca. 80–90 m<sup>2</sup>) og de åpne undervisningsarealene. Enkelte bruker begrepet "semi-åpne" klasserom om slike romutforminger. Det bør derfor etableres akustiske kriterier som er tilpasset slike elevstørrelser og relevante planløsninger. Den logiske konsekvensen er blant annet å unngå den inkonsistente situasjonen nevnt over med formidling versus aktivitet.

Litteraturgjennomgangen viser at en rekke parametre brukes eller har blitt brukt i prosjekterings- og forskningsøyemed for å beskrive og verifisere de akustiske forholdene i undervisningsrom. I denne sammenhengen er mange parametre sterkt knyttet til hvordan tale- og arbeidssituasjonen oppfattes. Det er imidlertid få studier som kobler de akustiske egenskapene til undervisningsformer og pedagogikk. Selv om enkelte akustiske parametre bør ligge fast, så er det grunn til å vurdere alternative eller supplerende parametre der formålet er så enkle metoder som mulig. Samtidig er det viktig å utvikle fullgode verktøy for akustisk prosjektering av framtidige undervisningsarealer.

Figur 11  
Kommunikasjonsareal,  
Holen skole i Bergen  
kommune. Arkitekt:  
Arkitektgruppen Cubus.  
Foto: Bergen kommune



## 7 Evaluering av kunnskapsstatus

Kravet til etterklangstid i norske undervisningslokaler er relativt strengt, det samme gjelder kravet til lydnivåer fra tekniske installasjoner og utendørs støy. For undervisningsarealer med åpne planløsninger er kravet enda strengere, uten at alle konsekvenser av dette er godt verifisert eller dokumentert. Kravet til etterklangstid er imidlertid "ensidig" ved at det kun er en øvre grense som er definert, mens forskning viser at det også bør være en nedre grense. I de fleste land, Norge inkludert, settes kravet til rom uten elever, noe som i realiteten gjør rommene mer dempet enn kravet tilsier når de er i bruk. Kravet til maksimalt lydnivå fra tekniske installasjoner er innenfor et anbefalt nivå og medvirker til at ønsket lyd oppfattes lettere for alle elevgrupper og lærere.

For undervisningsarealer med åpne planløsninger mangler det en klar definisjon eller avgrensning av hvilke romstørrelser dette dreier seg om. I historisk perspektiv var "åpne planløsninger" forstått som gulvarealer fra ca. 250 m<sup>2</sup> til over 1000 m<sup>2</sup> uten skillevegger eller lignende. Det er omfattende dokumentasjon som bekrefter at de akustiske forholdene blir svært krevende når arealene øker – fordi det da også er tilsvarende økning i antall elever som samtidig har undervisning her. Aktivitetsnivåene øker med antall elever i rommet og formidling kompliseres, noe som gir en signifikant negativ effekt på læringsprosess og prestasjoner.

I undervisningsarealer med åpne planløsninger er kildekontroll svært viktig framfor meget kraftig lyddemping av rommet. Anbefalingene til akustiske forhold for slike romløsninger i Danmark og Norge er svært krevende og samtidig motstridende. Konseptet med åpne undervisningsarealer blir inkonsistent fordi det ikke er mulig å lytte til en formidler med tilstrekkelig tydelighet (eller fravær av distraksjon) når det er tale i et annet læringsområde (fra annen gruppe) i det samme rommet. Studier viser også tydelig at elever med økte læringsbehov (annet språk, hørselsnedsettelse, konsentrasjonsvansker eller behov for ekstra læringsstøtte) er spesielt følsomme for effekten av uheldige akustiske forhold. Det er mulig å oppnå god akustisk skjerming mellom de ulike delene av rommene uten å lukke dem, men det krever godt planlagte akustiske tiltak og gjennomtenkt planløsning. En annen konklusjon er at store, åpne undervisningsarealer bør frarådes når man ikke kan forutsette at det er en høy grad av koordinering mellom aktivitetene i de ulike sonene/gruppene.

Det er godt dokumentert at transportsoner utgjør en kritisk faktor med tanke på distraksjon og konsentrasjon i undervisningen. Det er derfor klare anbefalinger om å unngå planløsninger der transportsoner er helt eller delvis åpne mot det nærliggende undervisningsarealet. Det finnes avbøtende tiltak, men mulighetene til å finne gunstige løsninger avtar med økende, sammenhengende arealer. Distraksjon er også nært knyttet til lydtransmisjon fra andre støykilder.

Hjemmeområder eller baser som har blitt bygd i Norge de seinere årene har nesten alltid arealer under 250 m<sup>2</sup>. Det vil si at de arealmessig er i en "gråson" mellom ordinære klasserom (opptil ca. 80–90 m<sup>2</sup>) og de åpne undervisningsarealene. Enkelte bruker begrepet "semi-åpne" klasserom om slike romutforminger. Det bør derfor etableres akustiske kriterier som er tilpasset slike elevstørrelser og relevante planløsninger. Den logiske konsekvensen er blant annet å unngå den inkonsistente situasjonen nevnt over med formidling versus aktivitet.

Litteraturgjennomgangen viser at en rekke parametre brukes eller har blitt brukt i prosjekterings- og forskningsøyemed for å beskrive og verifisere de akustiske forholdene i undervisningsrom. I denne sammenhengen er mange parametre sterkt knyttet til hvordan tale- og arbeidssituasjonen oppfattes. Det er imidlertid få studier som kobler de akustiske egenskapene til undervisningsformer og pedagogikk. Selv om enkelte akustiske parametre bør ligge fast, så er det grunn til å vurdere alternative eller supplerende parametre der formålet er så enkle metoder som mulig. Samtidig er det viktig å utvikle fullgode verktøy for akustisk prosjektering av framtidige undervisningsarealer.

# Lydforhold og akustiske parametre i undervisningsrom

## KUNNSKAPSGRUNNLAG

Denne rapporten presenterer resultatene fra en kartlegging av internasjonal forskningslitteratur om akustiske forhold i undervisningsrom. Hovedformålet er å sammenstille det eksisterende kunnskapsgrunnlaget om akustikk i skolebygg og å evaluere relevante metoder for å planlegge gode undervisningsarealer.

Kartleggingen avgrensers seg særlig til forskningslitteratur om åpne undervisningsløsninger eller store romløsninger. Resultatene viser at det er manglende kunnskap om hvilke parametre som egner seg best for å vurdere de akustiske forholdene i slike undervisningsarealer, og dermed hvordan slike rom skal defineres og prosjekteres. Forskningsresultater viser likevel tydelig at akustiske forhold er krevende i store, åpne undervisningsarealer, spesielt for elever med økte læringsbehov. Store, åpne undervisningsarealer bør kun velges når man kan forutsette en høy grad av koordinering mellom aktivitetene i de ulike sonene/gruppene.

Kunnskapsinnhenting kan brukes av kommuner, arkitekter og akustiske rådgivere som skal planlegge skolebygg.

Litteraturstudien er gjennomført som et ledd i hovedprosjektet "Morgendagens skoler – et skoleeksempel". Prosjektet pågår fra 2020 til 2023 og er finansiert av Norges forskningsråd.