



Begrænsning af generende støj i storrumskontorer – nye måder og metoder

30. april 2010

GMCB-rapport nr. T2.015.10
Sag nr. 35.3240.01

RAPPORT

T2.015.10

**"Begrænsning af generende støj i storrumskontorer
– nye måder og metoder"
støttet af Arbejdsmiljøforskningsfonden**

30. april 2010
Projekt: 35.3240.01

Udarbejdet	: Grontmij Carl Bro: Claus Møller Petersen, Stig Junge, Eva Thoft, Signe Mehlsen JJW Arkitekter: Katja Viltoft
Kontrolleret	: DTU Elektro, Akustisk Teknologi: Torben Poulsen ODEON A/S: Jens Holger Rindel
Vedlagt	: Bilag: 7 stk. rapporter med detaljerede før-/efter-undersøgelsesresultater fra fire virksomheder: Ballerup Rådhus, Grontmij Carl Bro, Danske Bank og JJW Arkitekter
Kopi til	: Arbejdsmiljøforskningsfonden: Torben Grønnebæk

RESUMÉ

Baseret på Arbejdsmiljøforskningsfondets bevilling nr. 6-2007-03/20070014633 af 13. juni 2007 til projekt "Begrænsning af generende støj i storrumskontorer – nye måder og metoder" har projektdeltagerne: Grontmij | Carl Bro, JJW Arkitekter, DTU Elektro Akustisk Teknologi, ODEON A/S gennemført et interventionsprojekt. Projektet har vist, at en tværfaglig kortlægning af arbejdsmiljøet i storrumskontorer, med hovedvægt på de lydmæssige aspekter er en effektiv metode.

Det har givet nye erkendelser at anvende spørgeskemaer, der belyser såvel de arbejdsmiljømæssige, de arkitektoniske som de akustiske forhold, og som giver medarbejderne mulighed for at udpege de for dem væsentlige lydmæssige problemer. Ved at optegne medarbejdernes lydindtryk i en samlet figur og sammenholde denne med akustiske kortlægningsmålinger/ -beregninger samt arbejdsorganisatoriske analyser kan der udarbejdes forbedringsforslag, hvor akustik, organisation og arkitektur integreres, optimeres og fremstår som en samlet helhed.

De akustiske parametre der beskriver lydens udbredelse (DL_2), rummets forstærkning af lyden (DL_1) og lokale akustiske forhold – giver optimale muligheder for at målrette indsatsen med akustiske tiltag overfor de arbejdspladser som oplever de største gener. Netop det, at der nu findes værktøjer til at sætte ind lokalt på de enkelte arbejdspladser – og ikke kun betragte arbejdsrummets gennemsnitlige lydforhold – vurderes at være den væsentligste akustik-faglige landvinding, som dette projekt har bidraget med. De bedst mulige lydforhold i storrumskontorer kan kun opnås ved tværfagligt at tage hensyn til akustik, indretning og arbejdsmiljø. Det er vores håb, at medarbejdere i fremtidens storrumskontorer vil komme til at nyde godt af projektets resultater.

ENGLISH SUMMARY

Based on grant no. 6-2007-03/20070014633 from the Danish Working Environment Research Foundation of 13th of June 2007 for the project "Limiting annoying noise in open-plan offices – new ways and methods" an intervention project has been carried out by the project-participants:

- Grontmij | Carl Bro
- JJW Arkitekter
- DTU Elektro Akustisk Teknologi
- ODEON A/S.

The project has shown that a multi-technical mapping of the working environment in open-plan offices with emphasis on the acoustical aspects is an efficient method.

It has provided new knowledge to use questionnaires illustrating as well the working environmental, the architectural as the acoustical conditions. Further the questionnaires enable the employees to point out the acoustical problems that are significant to them. All the employees' acoustical impressions are included in a common graphical representation which is compared to acoustic mapping measurements/calculations together with organizational analyses. This forms a basis for suggesting measures of improvement where acoustics, organization and architecture are integrated and optimized, and appear as a unity.

The special acoustical parameters describing sound propagation (DL_2), the acoustic amplification of a room (DL_r) and also certain local acoustical conditions – provide an excellent basis for targeting the effort of acoustical measures on the workplaces experiencing the most inconveniences. In particular it is seen as the most significant acoustical achievement of this project that new tools are provided that focus on the individual workplace – not only on the average acoustic conditions of the entire room.

Optimum acoustical conditions in open-plan offices are only achievable taking into account acoustics, architectural lay-out and working environment. Hopefully many employers in future open-plan offices will benefit from this project.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Indledning.....	4
2	Baggrund.....	4
3	Formål	4
4	Litteraturundersøgelse.....	4
4.1	Historik	4
4.2	Storrumskontorets udfordringer	4
4.3	De akustiske udfordringer	4
4.4	Sammenfatning – litteratur	4
5	Objekt - virksomhederne i undersøgelsen.....	4
6	Overordnet metodebeskrivelse	4
6.1	Førundersøgelser.....	4
6.2	Tværfaglig analyse – forslag til intervention.....	4
6.3	Intervention / realisering	4
6.4	Eftermåling	4
6.5	Supplerende cases	4
7	Akustiske målemetoder	4
7.1	Efterklangstid / Ækvivalent absorptionsareal	4
7.2	DL _f , DL ₂	4
7.3	STI	4
7.4	Måleudstyr	4
8	Akustiske beregningsmetoder.....	4
8.1	Akustisk modellering – kalibrering / prediktion	4
8.2	Plads til plads relationer: DL _f -Matricen	4
8.3	Hot-spot	4
8.4	Andre parametre	4
9	Spørgeskemaundersøgelser.....	4
9.1	Spørgeskemaernes opbygning.....	4
9.2	Piletegning	4
9.3	Spørgeskemaets forskellige spørgsmål.....	4
9.4	Usikkerhedsvurderinger (spørgeskemaer).....	4
10	Resultater	4
10.1	Spørgeskema-resultater	4
10.2	Akustiske måleresultater	4
10.3	Samkøring mellem akustiske parametre og spørgeskemaer	4
10.4	Forsøg med andre parametre.....	4
10.5	Supplerende virksomheder og undersøgelser	4
11	Erfaringer	4
11.1	Måletekniske - med reference til virksomhederne.....	4
11.2	Modellering – prædikteringsmuligheder / best practice.....	4
11.3	Spørgeskemaer / piletegninger	4
11.4	Syntese - mixede fagligheder	4
11.5	Akustik – rum og indretning	4
11.6	Anbefalinger – redskaber - ved fremtidige projekter	4
12	Konklusion	4
	APPENDIX	4
A.	Supplerende cases	4
A1.	Kontor i tagetage	4
A2.	Kontor med ensidig taghældning	4
B.	Publikationer og produkter som resultat af bevillingen	4
C.	Litteratur.....	4

BILAG - Syv selvstændige rapporter med detaljerede før-/efter-undersøgelsesresultater fra fire virksomheder: Ballerup Rådhus, Grontmij | Carl Bro, Danske Bank og JJW Arkitekter.

1

INDLEDNING

Projekt "Begrænsning af generende støj i storrumskontorer – nye måder og metoder" blev bevilget af Arbejdsmiljøforskningsfonden, AMFF den 13. juni 2007.

Projektet tager afsæt i, at generende støj i storrumskontorer på mange arbejdspladser ofte nævnes som et problem. Dette projekts formål er at komme tættere på årsager og sammenhænge mht. støj i storrumskontorer og komme med bud på hvordan problemet kan minimeres. For at opnå dette er projektet tilrettelagt som et tværfagligt interventionsprojekt med faglig ekspertise fra områderne akustik, arkitektur og arbejdsmiljø og i gennemføres samarbejde med en række virksomheder, der alle i større eller mindre grad har erfaringer med støj i storrumskontorer. Virksomhederne har indvilget i at blive analyseret mht. akustiske forhold, rumforhold og indretning og organisation og arbejdsmiljø og efterfølgende med afsæt i anbefalingerne at udføre visse interventioner, dvs. ændre indretning eller bygge om. Efter interventionen er virksomhederne igen blevet analyseret mht akustik, rumforhold/indretning og organisation/arbejdsmiljø, for at se hvilken indflydelse interventionerne har haft på den generende støj i storrumskontoret.

I praksis gennemførte kun 3 af de oprindeligt 5 virksomheder hele projektet. En virksomhed deltog kun i før-undersøgelsen og en anden "afstod" helt fra sit oprindelige tilsagn. Virksomheden, der alene deltog i før-undersøgelsen havde længe planer om at intervenere og bygge om, men udskød dem så længe, at de ikke kunne inddrages i nærværende projekt. Dette projekt har derfor – efter aftale med AMFF – fået forlænget afleveringsfristen og rapporten er suppleret ved at inddrage resultater fra opgaver i tilsvarende virksomheder, samt en litteraturgennemgang.

Rapporten er disponeret med indledende afsnit om formål og den overordnede arbejdshypotese, samt den vigtige "tre-enighed": Akustik-Arkitektur-Arbejdsmiljø, som en væsentlig parameter for opnåelse af medarbejdertilfredshed i storrumskontorer. Rapporten formidler en række resultater og analyser af akustiske målinger og modelberegninger, som kan være svære at forstå for lægfolk. Det gælder dele af kapitlerne 7, 8 og 10. Fremgangsmåde/metoder samt redskaber/værktøjer beskrives for både deltagende og inddragede virksomheder. I efterfølgende afsnit beskrives resultaterne af akustiske, arkitektoniske og arbejdsmiljømæssige undersøgelser af storrumskontorerne fra før- til efter-situationerne. Rapporten afsluttes med formidling af erfaringer ligesom der gives anbefalinger til forebyggelse i fremtidige projekter. Hovedvægten er således lagt på "læren" af de anvendte metoder, mens de konkrete detailløsninger, som er relevante for virksomhederne findes i billagsrapporterne.

Som supplement til denne rapport er der i Appendix B (Publikationer og produkter som resultat af undersøgelsen) bl.a. henvist til artikler, indlæg på konferencer og det udgivne "Idékatalog – Akustik – Storrumskontorer", mens Appendix C indeholder en litteraturliste.

2

BAGGRUND

Et vigtigt afsæt for undersøgelsen var erfaringer fra forskellige virksomheder og organisationer, hvor støj i storrumskontorer hos nogle var et stort problem, og hos andre med næsten tilsvarende lokaler ikke var et problem. Hvordan kan man få et mere nuanceret billede af, hvorfor storrumskontoret i én virksomhed bliver beskrevet som et generende støjproblem og i en anden virksomhed bliver beskrevet som et dynamisk arbejdsmiljø. Hvornår og hvorfor opstår der støjproblemer i åbne kontorer? Blandt eksemplerne var støjklager i rum, hvor den gennemsnitlige akustik var god, men hvor lydudbredelsen var meget forskellig med en lydkilde i den ene ende af rummet i forhold til udbredelsen fra en lydkilde i den anden ende. I disse tilfælde virkede rummenes hårde overflader i den ene ende forstærkende på lyde, hvilket resulterede i at høje og generende lydniveauer udbredte sig til andre dele af rummene. Andre eksempler indeholdt det paradoks, at der blev klaget over støj fra én del af et kontor til en anden del, selv om kontorets gennemsnitlige akustiske forhold overholdt kravene i den gældende Arbejdstilsynsanvisning, AT-anv. 1.1.0.1. Analyser viste, at store glatte vægflader bag medarbejdere i den støjende del af kontoret var den fysiske årsag til problemet. Meget tydede på, at lydfelterne i disse tilfælde ikke var "diffuse" dvs. de overholdt ikke de generelle forudsætninger, som er forudsætningen for de traditionelle beregninger. Til gengæld så anvendelsen af akustiske parametre – som i kontormæssig sammenhæng er nye - ud til at kunne påvise individuelle forskelle. Her var et afsæt til videre undersøgelser! Men kun ved at undersøge mere detaljeret på en række parametre, der *både* inddrager akustiske forhold, rum- og indretningsforhold og arbejdsmiljø kan man komme tættere på at forstå storrumskontoret.

Endnu et aspekt var selve forholdet mellem lyd og støj. Projektets tese er, at mængden af problemer ofte hænger sammen med, om lyden i storrumskontoret er "generende støj" eller "nødvendig lyd". Altså ikke kun selve lydintensiteten, men oplevelsen hos medarbejderne af om denne lyd var ønsket eller uønsket.

Et interventionsprojekt ville være den ideelle måde til kortlægning af både de hårde og de bløde facetter. En ansøgning til AMFF blev udarbejdet, bl.a. baseret på forhåndstilsagn fra 5 virksomheder.

En katalysator for forskningsprojektet var en lang række meget positive erfaringer med tværfagligt samarbejde mellem de involverede parter: Akustikere, arkitekter og brugerprocesledere/arbejdsmiljøforskere med tværfagligt samarbejde. I dette tværfaglige samarbejde var der i tidligere projekter blevet udviklet mere nuancerede og velfungerende metoder og løsninger for storrumskontorer. Der var en samlet erkendelse af, at storrumskontorets dårlige ry som et støjinferno kun kunne ændres og om muligt forbedres ved at få øget og detaljeret viden om problemerne i et seriøst samspil mellem de tre fagområder akustik, rum/ indretning og organisation/arbejdsmiljø.

FORMÅL

"Via intervention i en række åbne kontorer at bestemme, hvordan man på forhånd kan beregne effekten af forskellige støjbegrænsende tiltag. Med den viden kan man nemmere målrette forebyggelse af generende støj med lydmæssig indretning. I gennem projektet finder vi de bedst mulige korrelationer mellem subjektivt oplevede effekter og objektivt målbare akustiske parametre, der er prædiktérbare, dvs. beregningsmæssigt forudsigelige. Målet er endvidere at beskrive en række indretningsmæssige tiltag (projektering af lokaler, valg af materialer og valg af inventar) og deres effekt på generende støj på baggrund af interventionerne. På grundlag af resultaterne udvikles et Idékatalog."

I nærværende undersøgelse har vi endvidere søgt at eftervise den overordnede hypotese, at medarbejdertilfredshed og dermed performance hænger sammen med medarbejdernes oplevelse af gode fysiske arbejdsforhold. Ved gode fysiske arbejdsforhold forstås en række delelementer:

- Akustik og lydforhold
- Arkitektur og indretning, herunder belysning/dagslys, rummelighed og handlemuligheder (for fx at "gå andre steder hen" og udføre arbejdet)
- Arbejdsmiljø og organisering

Samt en del flere, som vi har tilladt os at forudsætte værende inden for tolerancerne af det acceptable, fx det termiske indeklima (temperatur, lufthastighed og luftkvalitet) og ergonomiske forhold.

I akustikfaglige termer er formålet at undersøge nye/ bedre parametre til beskrivelse af kontorakustik og at vise nye metoder, som kan udnyttes til at skabe bedre lydmæssige arbejdsforhold.

Den populære udgave af formålet kan beskrives således: Vi vil gå fra at vide:

Hvor meget der skal gøres ?

til at kunne besvare spørgsmålene

*Hvordan skal der sættes ind:
Hvor skal absorbenterne / skærmene placeres?
Hvad der skal ske med rumindretningen?
Hvordan skal arbejdet bedst organiseres?
Hvilken effekt har handlemuligheder på oplevelsen af det åbne kontors indvirkning på kontorarbejdet?*

Lydmaskering/soundmasking* (dvs. tilførelse af støj for at sløre forståelse af tale) som aktivt virkemiddel for at forbedre kontorakustik indgår ikke i denne undersøgelse. Begrundelsen herfor er, at der kun er få anlæg af denne type i Danmark, samt at der herhjemme er en vis tradition for ikke at bekæmpe støj med støj.

*

Lydmaskering eller på engelsk soundmasking baserer sig på den psykoakustiske erkendelse, at hørelsen er indrettet således, at én lyd kan maskere en anden lyd, så denne ikke kan høres. I dette tilfælde anvendes bredbåndet (brusende) støj med relativt svage niveauer til at maskere tale, som dermed ikke kan forstås, men stadig høres.

4

LITTERATURUNDERSØGELSE

Sideløbende med at dette projekt blev sat i gang er der udført forskning og udvikling inden for området i andre lande, ikke mindst i Finland og Nordamerika. En del af denne forskning har understøttet vore hypoteser, fx at de akustiske parametre som DL_2 og DL_f er vigtige og at efterklangstiden ikke – alene – bør anvendes som lovgivningsnorm. Også vigtigheden af talestyrken er belyst i undersøgelser, som er kommet til siden vi startede, hvilket har relation til vore "hot-spot" undersøgelser (omtales i afsnit 8.3). Andre af de udenlandske resultater har mindre relevans for denne undersøgelse, fordi man i andre lande i udstrakt grad anvender lydmaskering. Endvidere er der i udlandet andre traditioner for indretning af storrumskontorer (højere skærme/båse og mere faste arbejdssteder/arbejdsstationer.) De danske traditioner medfører, at mulighederne for at regulere taleforståeligheden bliver mindre og dermed mere uforudsigelig i vor undersøgelse. Taleforståelighedsparameteren, STI er derfor tillagt mindre vægt i dette projekt.

4.1

Historik

Historikken bag storrumskontorer er resumeret i Pejtersen¹, der beskriver hvordan "en af de første bygninger designet til storrumskontorer menes at være en bygning opført af Frank Lloyd Wright i 1904 i New York."



Den bygning som omtales er Frank Lloyd Wright's Larkin-building, som vist på billederne.

Bygningens atrium var udnyttet til kontorarbejds-pladser med borde på række og der var åbent op til etagerne.



I ref. 1 beskrives videre, at "storrumskontorerne i 1960'erne for alvor blev populære i USA, med arbejdspladserne arrangeret i små grupper – opdelt af skærmvægge - for at opnå optimal arbejdsgang og organisering. Alle, også lederne sad i det åbne kontorlandskab. Ofte blev storrumskontorer opført for at reducere omkostningerne, fordi de krævede færre kvadratmeter pr. person og gav større fleksibilitet ved ombygning og vedligeholdelse end cellekontorer. I 1970'erne og i starten af 1980'erne kom der øget fokus på manglende privathed og støj fra kollegerne i de åbne kontorlandskaber. Fra omkring 1980 var tendensen at indrette cellekontorer i forbindelse med åbne kontorer. I Danmark fulgte man i store træk udviklingen i USA"

Et af de mest kendte danske eksempler på et egentligt storrumskontor er det ca. 11.000 m² store kontorlokale, som omkring 1975 blev opført for Top-Danmark. Storrumskontoret rummer ca. 800 arbejdspladser i ét etageplan. For at få så stort et kontorlandskab til at fungere akustisk godt i praksis, er der i vid udstrækning anvendt lydabsorberende kontorskærmvægge samt et lydmaskeringsanlæg (soundmasking) som udsender bredbåndet støj fra et distribueret højttalersystem i loftet. Et andet nyere eksempel fra 2001 på et stort kontorlandskab er NCC's hovedsæde i Tuborg Nord ved København. Her er der et stort atrium med reception og mødeområder, og der er åbent til alle 5 etager med kontorarbejdspladser i bygningens periferi. Her er også anvendt soundmasking, men denne gang i form af støj fra et brusende vandfald, som skyller ned over det centrale møderum i bunden af atriet. Derudover er der bygget i tusindvis af m² åbne kontorer i mindre skala – de allerfleste uden soundmasking.

Ref. 1 nævner, at "inden for de seneste 10 år er de åbne kontorlandskaber vendt tilbage, denne gang under nye navne som "New Ways of Working" eller "the New office". Der tales nu om at de fysiske omgivelser skal støtte det moderne kontorarbejde, med høj grad af videndeling, større anvendelse af projektgrupper og deraf følgende krav til fleksible omgivelser."

Tendensen synes at gå i retning af åbne kontorområder i overskuelige enheder. Soundmasking er ikke særligt udbredt i Danmark; der synes at være en vis modstand mod generelt "at bekæmpe støj med støj".

4.2

Storrumskontorets udfordringer

Blandt udfordringerne i storrumskontorer er spørgsmålet om, hvilke lyde, der opfattes som "nødvendig lyd" a.h.t. videndeling og hvilke der er "generende støj", som forstyrrer. I denne sondring indgår i høj grad også faktorer som

- Opfattelse af "arbejde"
- Organisering af arbejdet
- Kollegernes placering
- Kollegernes arbejdsopgaver
- Kontorets indretning
- Handlemuligheder – kan man søge væk fra den faste arbejdsplads, hvis særlige behov opstår (fx for møde, pause, ro eller privathed).

Spørgsmålet om "hvad rigtigt arbejde er" er meget relevant i sammenhæng med åbne kontorarbejdspladser. Bjerrum^{2 3} mener, at der findes en forældet opfattelse af "rigtigt arbejde", som hæmmer den optimale udnyttelse af åbne kontormiljøer og forårsager en negativ oplevelse af støj. Bjerrum nævner at "rigtigt arbejde" traditionelt er det *planlagte* (koncentrationsarbejde ved computeren) mens det *uplanlagte* arbejde (fx uformelle møder ved thekøkkenet) opleves som forstyrrelser. Denne arbejdsopfattelse dæmper og hæmmer adfærden i de åbne kontorer – både arbejdsmæssigt og socialt - hvilket kan føre til en "tyssekultur", som ligger langt fra de åbne kontormiljøers egentlige hensigtserklæring om videndeling og samarbejde.

Holdningen til kontormiljøerne viser, hvordan arbejdsopfattelsen er. Det nævnes også, at de fleste medarbejderes arbejde består af både fordybelse/koncentration og interaktion, og at udfordringen består i at skabe rammer, der kan tilgodese alle dele af arbejdet. Bjerrum konkluderer, at de fysiske rammer i sig selv ikke fører til noget; de støjer ikke i sig selv eller giver videndeling. Det er måderne, hvorpå forandringsprocesser gribes an, opfattelsen af "rigtigt arbejde", ledernes ageren og belønningssystemerne, som er vigtige. Visioner og arbejdsprocesser skal således samtænkes med den fysiske indretning.

Denne konklusion fører naturligt frem til, at den fysiske indretning dermed vil være vidt forskellig, forskellige brancher imellem: Graden af lydmæssig åbenhed, mængden af "service-rum", lukkede rum, afskærmede områder, café- og loungeområder og dermed nødvendigt areal pr. medarbejder og anvendelsen heraf vil variere. Et ønskemål for nærværende projekt kunne derfor være at finde frem til, hvad der skal til akustisk, indretningsmæssigt og organisatorisk for at skabe optimale forhold i forskellige virksomheder – set i relation til deres produktion og funktion.

I Nordic Guide to Workplace Design⁴ var formålet at finde det nordiske perspektiv for arbejdspladsdesign under hensyn til arkitektur, driftsledelse, vidensforvaltning og organisatoriske forandringer. Alle kontortyper (celle- samt små og store åbnekontorer) findes i de nordiske lande, men i Danmark er mindre åbenplan-kontorer[†] den mest udbredte kontortype, mens cellekontorer der er mest udbredt i de øvrige lande. Guiden omhandler i høj grad de ledelses- og organisationsmæssige aspekter af processen at lave arbejdspladsdesign, dvs. introduktionsstrategier, teknologi-tilgængelighed og – anvendelse, arealanvendelse herunder sondring mellem personlige arbejdspladser og "ikke-territoriale" arbejdspladser. Guiden giver også anbefalinger til indretning af arbejdspladser:

- Forskellighed i udøvelse af aktiviteter (grupper, teams)
- Forskellighed i arbejdspladser (særlige rum til særlige aktiviteter fordelt over arbejdsdagen)
- Undgå "ens-for-alle-løsninger"
- Lad placering af fælles funktioner (kopi, kaffemaskine mv.) styre bevægelsesmønstre i kontorerne
- Giv plads til forandringer/tilpasninger
- Overvej ledelsens placering - sammen med/ lige som medarbejderne

I guiden refereres en holdningsundersøgelse blandt ledere om kontorarbejdspladser som viser, at der er enighed om at "Indførelse af flere åbenplan kontorarbejdspladser kan bruges til strategisk at forøge videndeling" men også at "Øget brug af åben-plan kontorer er problematisk til koncentrationsskrævende arbejdsprocesser". Der er til gengæld ikke enighed om at "Det vigtigste spørgsmål i f.m. introduktion af åben-plan kontorer er at reducere omkostninger".

†

Mindre, åbne kontorer defineres som under 10 personer i et rum

En mere praktisk og direkte anvendelig guide er Storrumsguiden⁵, der på en pædagogisk måde giver en lang række gode råd, bl.a. baseret på referencerne, som nævnes i denne litteraturundersøgelse. Storrumsguiden er struktureret omkring 4 "ruter", der hver især - med temaer - tager fat i de forskellige faser af realiseringen af storrums - som en løbende proces. Støj behandles også, og der gives fx råd om gruppering af medarbejdere som har brug for at dele viden, om mulighed for at sidde for sig selv, om adfærdsregler og om lydløse trådløse telefoner. Støj på grund af dårlig akustik er også et tema, og det anbefales at kræve dokumentation fra arkitekter og ingeniører for de fremtidige lydforhold – samt at det langt fra er sikkert at det er nok at overholde gældende vejledninger og standarder for at opfylde de aktuelle behov. Trafikanalyse angives også som et aktivt støjdempningsredskab, og endelig at indflydelse på processen kan reducere irritation pga. støj.

4.3 De akustiske udfordringer

Vurderet ud fra et akustikfagligt perspektiv består udfordringen i at undgå, at medarbejdere kan høre og forstå tale, der indeholder informationer, de ikke har brug for. Dette synspunkt understøttes bl.a. i Lund⁶, som indeholder en omfattende undersøgelse af eksisterende viden om støj fra menneskelig aktivitet, ikke kun i kontormiljøer men også på skole- og undervisningsområdet, på dagsinstitutionsområdet samt i musik- og underholdningsbranchen.

Produktivitet/performance i f.t. støj eller tale:

Når tale kan forstås falder produktiviteten, hvilket er eftervist i flere undersøgelser, fx Helenius⁷, der nævner, at i sær kognitivt krævende opgaver forstyrres af talestøj, og at kontoransatte ændrer arbejdsstrategi for at hamle op med støjen. Der selvrapporterede tab af effektivitet er dobbelt så stort i åben plan kontorer som i cellekontorer.

Under laboratorieforhold ses også markant reduceret performance (40-60%), når støj fra tale sammenlignes med ro, jf. Banbury⁸. Der er også undersøgelser, der opstiller beregningsmodeller for tabt effektivitet (performance), som følge af for god taleforståelighed, jf. Hongisto^{9 10}: I rum med meget dårlig taleforståelighed (Speech Transmission Index, $STI^{\ddagger} \leq 0,2$) er forholdene neutrale, mens der i rum med god taleforståelighed ($STI \geq 0,6$) kan tapes ca. 7% i performance. Selv når brøkdele af disse 7% omsættes i årslønninger, kan investeringer i bedre lydforhold let retfærdiggøres.

At tale påvirker mere end anden støj er også vist af fx Zimmer¹¹, som redegør for en undersøgelse hvor opgaver blev løst med ledsagelse af støj både før, under og efter. Irrelevant tale generer signifikant mere end anden støj, som fx ventilationsstøj og især når talen forekommer under opgaveløsning (i f.t. før/efter). Antal af fejl er signifikant større med tale end med støj/ro. Øget varighed af tale giver øget gene. Endelig mener forfatteren, at begrebet "gene" skal nuanceres, så der kan skelnes mellem den afbrydende/forstyrrende effekt og til genen i sig selv (uden hensyn til den afbrydende effekt).

‡

STI, Speech Transmission Index se i DS/EN 60268-16 og IEC 60268-16 :2003) standarderne

I Pejtersen¹ henvises også til flere undersøgelser, som viser, at tale eller lyde med talelignende variationer generer mere end konstant støj. Der refereres også til en undersøgelse, som viser at 6 stemmer i kontoret er bedre end 2, fordi det er svært at skelne ordene når mange taler på én gang. Denne effekt kan også være forklaringen på et bemærkelsesværdigt resultat, der blev fundet i en undersøgelse af Balazova¹², som under laboratorieforhold viste, at stærkt dæmpede akustiske forhold kan give øgede gener og nedsat produktivitet, sammenlignet med mindre dæmpede lydforhold, fordi Signal/Støjforholdet øges (baggrundsstøjen reduceres også med øget dæmpning) – og dermed bliver talen tydeligere. Endelig refererer Pejtersen¹ til en nyere Dansk undersøgelse fra Arbejdsmiljøinstituttet som bl. a. viser, at klager over støj i lokalet stiger med størrelsen af kontorerne: I enkeltmandskontorer klager ca. 6% over støj i lokalet mens prævalensen af klager er ca. 28% i 3-6 personers kontorer, ca. 42% i 7 -27 personers kontorer og 60% i de største storrumskontorer med flere end 28 personer. "Social støtte og feedback" er ifølge undersøgelsen uafhængig af kontortype. "Indflydelse og udviklingsmuligheder" blev vurderet lavere i storrumskontorer end i cellekontorer. Forfatteren nævner storrumskontorer som en potentiel risikofaktor for stress.

Stressreaktioner i storrumskontorer:

Selv om der skal bearbejdes flere informationer i storrumskontorer viser en undersøgelse af Kristiansen¹³ om stressreaktioner, at kognitivt krævende opgaver giver sig udslag i mental belastning. Korttidsudsættelse for kontorstøj resulterer i øget oplevelse af spændinger i hovedet, men ikke i psykologiske stressreaktioner.

Videndeling i storrumskontorer:

At storrumskontorer altid giver øget videndeling er der ikke enighed om. I Hansen¹⁴ nævnes at storrumskontorer ikke fører til mere videndeling, men at det eksponerer virksomhedens kultur, og det påvirker de ansatte til at nedbryde grænsen mellem det professionelle og det private. Man kan både beskrive det åbne kontor ved "overvågning" og som et sted, hvor kompetencer vises frem. I modsætning hertil står den tidligere nævnte DEKAR⁴ holdningsundersøgelse som viser, at virksomhedsledere er enige om, at "Indførelse af flere åben-plan kontorarbejdspladser kan bruges til strategisk at forøge videndeling".

Adfærdsregulering i storrumskontorer:

Meget tyder således på, at der sker en form for adfærdsregulering i storrumskontorer, som også giver sig udslag i eller er en funktion af den indretning, der oftest ses i danske storrumskontorer. Her ønsker man en ret høj grad af visuel åbenhed, dvs. indretningen sker uden kontorskærme eller også vælges de så lave, at det stadig er muligt at se kollegerne – evt. ved at strække hals. Dermed kan man også signalere visuelt til hinanden, hvis der er særligt behov for kontakt eller ro. Bliver kontorskærme så høje, at man ikke mere kan kommunikere visuelt, glemmes hensynene til kollegerne, og risiko for støjende adfærd og høj stemmeføring øges.

I Pejtersen¹ refereres til, at oplevelse af privathed opdeles i psykologisk og arkitektonisk privathed. Psykologisk privathed er oplevelsen af kontrol over adgang til en selv og ens gruppe. Arkitektonisk privathed refererer til visuel og akustisk isolation i et givet kontormiljø. Undersøgelser viser sammenhæng mellem oplevelse af psykologisk privathed og arkitektonisk privathed, men ikke mellem arkitektonisk privathed og større interaktion mellem kolleger.

Lydstyrke af stemmer:

Om styrken af stemmer i storrumskontorer viser Warnock¹⁵, at de i USA hidtil anvendte tale-spektre og –niveauer (ASTM 1130) ikke nødvendigvis er korrekte. Undersøgelsen viser, at taleniveauet (lydtrykniveau i afstanden 0,9 m) er ca. 50 dBA, hvilket er en del lavere end de 57 dBA anført i ASTM 1130 eller 59 dBA i ANSI S3.5. Det anføres, at taleniveauerne antages at afhænge stærkt af taler/tilhører afstand, samtaleemne og "kontor-etikette".

Andre undersøgelser af stemmestyrke peger på, at mennesker har tendens til at tale højere i støjende omgivelser, den såkaldte Lombard-effekt, opkaldt efter Lombard¹⁶ i 1911. Dette har resulteret i undersøgelser af stemmestyrker under forskellige støj- og akustikforhold. Hodgson¹⁷ har gennemført en undersøgelse baseret på målinger og beregninger af støjniveauer og stemmestyrker i 10 spisesteder. Der er opstillet beregningsmodeller som inkluderer Lombard effekten. Lombard-hældningen er fundet til 0,69 dB/dB (dB øget stemmestyrke pr. dB øget støj). Stemmestyrker (lydtrykniveau 1 m fra) varierer mellem 56 og 83 dB.

I en undersøgelse af Nijs¹⁸ i klasserum, restauranter, daginstitutioner med volumener mellem 20-200 m³ og med 3-50 personer, vises det, at lydtrykniveauet, SPL reduceres med 6-8 dB pr. fordobling af absorptionen i støjende omgivelser og 4-5 dB ved normale forhold. Lombard effekten antages først at indtræffe ved støjniveauer over ca. 56 dB, hvor stemmelydeffekten er 62 dB, og derover er Lombardhældningen 0,5 dB/dB (0,5 dB øget stemmeniveau pr. dB øget støjniveau). Den nyeste undersøgelse af stemmestyrker i undervisningsrum er udført af Brunskog¹⁹. Undersøgelsen viser, at der er signifikant sammenhæng mellem læreres stemmestyrke, rummenes størrelse og en ny parameter, "rumforstærkning". I store rum, eller i rum, hvor rumforstærkningen er lille hæver lærerne stemmerne – for sammenlignelige forhold 1 – 2 dB. I undersøgelsen indgår baggrundsstøjen ikke som særlig undersøgt parameter. Det subjektive indtryk af, om et rum er godt at tale i hænger signifikant sammen med indtrykket af, om det er nødvendigt at hæve stemmen og om rummet giver støtte til taleren.

Hvorvidt spørgsmålet om stemmestyrker kan overføres direkte til storrumskontorer, som nærværende rapport omhandler, er stadig usikkert, bl.a. fordi der generelt er lavere støjniveauer i storrumskontorer sammenlignet med spisesteder, restauranter, klasserum og daginstitutioner. Endvidere er der også forskel på at tale til en forsamling og på at tale med den nærmeste kollega. Til gengæld er der ikke tvivl om, at den oplevede lydmæssige situation afhænger af de akustiske egenskaber af de nærmeste omgivelser – både for en talende person og for en lyttende. Dette forhold belyses senere i nærværende undersøgelse i forbindelse med "hot-spot" vurderinger, jf. afsnit 8.3.

Betydning af andre forhold end lydmæssige:

At det ikke kun er lydmæssige forhold, som har betydning for oplevelsen af tilfredshed i storrumskontorer viser en undersøgelse af Yildirim²⁰. Medarbejderes tilfredshed stiger med nærhed til vinduer og udsyn (modvirker i nogen grad ulemper ved storrumskontorer). Tilfredsheden øges yderligere, hvis medarbejderne også har kontorskærme (1,4 m høje) omkring sig, hvilket antages at hænge sammen med oplevelsen af at have et højere niveau af visuel og akustisk privacy. Mænd er mere positive overfor åben plan kontorer end kvinder.

Hvilke akustiske parametre hænger bedst sammen med oplevet tilfredshed?

I undersøgelsen af Bradley²¹ beskrives, at støjniveauer for masking-noise på 45 dBA op til 48 dBA er det mest foretrukne for at sikre tilfredsstillende akustisk komfort i åben-plan kontorer. Speech privacy (tale privathed) kan kun opnås, hvis Speech Intelligibility Index[§] (SII) maks. er 0,2. Bedste kompromis er, at både krav til højt baggrundsstøjniveau mindst ca. 45 dBA og lav SII (under ca. 0,20) skal være opfyldt. Mellem mere end 700 arbejdsstationer i Canada og USA fandt man, at 73% af kontorerne havde for god taleforståelighed og 53 % havde for lavt støjniveau til at give god speech privacy.

Krajcarz²² anvendte forholdet mellem talesignalet og den øvrige støj i lokalet, S/N signal-støj-forholdet som parameter for gode lydforhold i storrumskontorer. Baseret på vurderinger af taleforståelighed og S/N fremsættes en teori om, at der findes et smalt interval for S/N inden for hvilket kontoransatte både kan forstås og føre fortrolige samtaler. Dette begrundes med, at forskellen mellem god og dårlig taleforståelighed ligger indenfor et interval for S/N på ca. 10 dB, og at den "normale" talestyrke umiddelbart kan reguleres +/- 5 dB. Det optimale interval nås, hvis der skabes baggrundsstøj-forhold så man med normalt-hævet stemme (+5 dB) kan forstås "godt" og med normal-sænket stemme ikke kan forstås. Teorien eftervises alene med computersimuleringer. Der relateres kun til baggrundsstøjklender som teknisk udstyr, personer og udendørs støj.

Pop²³ undersøger hvilke STI-værdier, der skal til for at opnå forskellige grader af "tale-privathed" (speech privacy) mellem arbejdsplaser i et storrumskontor. Undersøgelsen er baseret på akustiske målinger og simuleringer (ODEON) af lydudbredelse. Resultatet er, at der til opnåelse af acceptabel tale-privathed kræves, at STI er under ca. 0,45 og til moderat god tale-privathed, at STI er under ca. 0,3 og til fortrolig tale-privathed, at STI er under ca. 0,15. Afstandsdæmpningen DL_2^{**} bør mindst være 4 dB for at sikre god tale-privathed.

§

Speech Intelligibility Index, SII se i ANSI S3.5-1997 standarden

**

DL_2 er en akustisk parameter, som beskriver dæmpning af lydniveauet, når afstanden fordobles. Jo større DL_2 , jo større (bedre) dæmpning.

Nilsson²⁴ viser at DL_2 og DL_f ^{††} er velegnede til at beskrive akustiske kvalitetsniveauer i storrumskontorer. Spørgeskemaundersøgelser i to kontorer viser, at man efter akustiske forbedringer har reduceret utilfredsheden med de akustiske forhold fra hhv. 60% og 69% til 10% og 29%. Samtidig blev DL_f reduceret fra hhv. 6,7dB og 7,5dB til 0,6dB og 2,6dB. DL_2 blev øget fra hhv. 3,3dB og 4,5dB til 5,0dB og 7,0dB.

Endelig er der i Hongisto²⁵ opstillet en rangordning af 15 kontorers akustiske kvaliteter, som førte til første forslag til klassifikation (senere fulgt op af Hongisto's kollega Virjonens forslag, som refereres efterfølgende). Der rapporteres overraskende stor variation for DL_{2s} [4 – 12 dB], hvilket er mere end de tidligere anbefalinger for $DL_{2s} = 5-6$ dB. DL_{2s} repræsenterer oplevet dæmpning (for afstande > 4m), og har højeste værdier i kontorer med høj absorption i både horisontal og vertikal retning og relativt høje skærme. DL_{2s} alene er dog ikke nok til at beskrive de akustiske forhold i et kontor, fordi hårde overflader tæt ved en arbejdsstation medvirker til at skabe et højt lydniveau, som - trods god udbredelsesdæmpning - alligevel kan nå langt fra den talende. Det er derfor vigtigt at overvåge talelydniveauet tæt på taleren^{‡‡} (i dette tilfælde 4 m fra, L_{ps4m}).

Undersøgelsen beviser også, at høj loftabsorption alene ikke kan garantere tilstrækkelig dæmpning. Ét af kontorerne havde meget høj loftabsorption, men med lave skærme var der fri lydudbredelse som resulterede i meget lav $DL_{2s} = 5$ dB. Høj DL_{2s} giver ikke garanti for høj taleprivathed dvs. lav STI. Undersøgelsen viser ingen korrelation mellem DL_{2s} og middelefterklangstid – hvorfor det ikke længere anbefales at bruge efterklangstid som primær rumakustisk designparameter i åbne kontorer – hvilket også bør være i erindring når nationale Bygningsreglementer skal revideres i fremtiden.

Senere har Virjonen²⁶ opstillet en forenklet målemetode som omfatter bestemmelse af baggrundsstøjniveau, dæmpning af STI og lydtrykniveau, SPL for almindelig tale langs en linie gennem rum med flere arbejdspladser. Tre parametre bestemmes for at beskrive et rum:

- Distraction distance r_D
- DL_2
- L_{ps4m}

I Finland har man i 2008 indført frivillig rangordning af åbne kontorer i klasserne A-D (A bedst) med værdier, som vist i tabel 1 – bemærk at alle parametrene DL_2 , L_{ps4m} og r_D skal være overholdt.

††

DL_f er en akustisk parameter, som beskriver hvor meget lydniveauet er faldet i en given afstand i forhold til udbredelse i frit felt. Jo lavere DL_f , jo mere stille lydforhold. I DL_{2s} eller DL_{fs} refererer "s" til speech; der anvendes et talespektrum.

‡‡

Da Hongisto arbejder med $L_{WAS} 68,4$ dBA vil $L_{ps4m, fritfelt} = 45,4$ dBA ved sfærisk udbredelse, hvorfor følgende sammenhæng gælder: $DL_f = L_{ps4m} - 45,4$ dB. Andre af Hongistos undersøgelser viser at stærk dæmpning kombineret med lav baggrundsstøj ikke forbedrer taleprivatheden ved de nærmeste arbejdsstationer ($STI > 0,8$) => behov for soundmasking, når høj taleprivathed ønskes inden for korte afstande. Hongisto opererer med to særlige afstandsmål, r_D og r_P , hhv. radius of distraction og radius of privacy, som beregnes på basis af $STI < 0,5$ og $STI < 0,2$. r_D varierer også overraskende meget fra 5,5 – 18,5 m. L_{ps4m} varierer også relativt meget fra 43,4 – 57,2 dB, hvilket kan omregnes til en DL_f -variation fra -3,6 til 10,2 dB.

Klasse	Akustisk klassifikation	DL_{2s} [dB]	L_{pS4m} [dB]	r_D [m]
A	Excellent	> 11	< 48	< 5
B	Good	9 – 11	48 – 51	5 – 8
C	Fair	7 – 9	51 – 54	8 – 11
D	Poor	< 7	> 54	> 11

Tabel 1 Frivillig Finsk klassifikation af åbne kontorers akustik

Hvordan indrettes åben plan kontorer bedst?

Flere undersøgelser har vurderet dette spørgsmål, fx Moreland²⁷, der ved brug af højttalere som talekilder har målt, hvor god (høj) speech privacy forskellige tiltag medførte mellem nabo-arbejdsstationer, (baseret på et basis maskerings-baggrundsstøjniveau på 43 dBA). Lydstyrken af stemmer i ANSI S3.5 er vurderet 4 dB for høj. Beregninger af speech privacy (i dette tilfælde med Articulation Index, AI) mellem arbejdsstationer viste, at loft-højde og –absorption er vigtigste enkeltfaktorer, og dernæst placering ved reflekterende vægge og lysarmaturer lige over arbejdspladser. Endelig giver akustisk hårde skærme lav speech privacy.

I en undersøgelse viser Bradley²⁸, at storrumskontorer kan optimeres akustisk (acceptabel høj speech privacy), hvis alle fysiske parametre (loftabsorption, skærm-højde og -absorption, arbejdspladsindretning, lydniveau af tale og endvidere lysarmaturers refl.egenskaber, lofthøjde, skærmlydisol. og gulvabs samt anvendelse af "kunstig" lydmaskering) er meget tæt på deres optimalværdier. Vurdering af enkeltparametres effekt på den forventede speech privacy (tale privathed): Loftabsorptionen, højden af skærmvægge (var. 1,3 – 1,9 m) og arbejdsstationernes størrelse (var. 2x2 til 4x4 m) er de vigtigste faktorer. Et succesfuldt åben-plan kontor skal også inkludere et sound masking spektrum og en kontoretikette, som opfordrer til at tale "sagte" (kan ændre Speech Intelligibility Index, SII fra 0,4 ved normal talestyrke til under 0,1 - dvs. konfidentiel forhold - ved sagte talestyrke).

Fra praksis viser en undersøgelse af Helenius²⁹, at selv om der er stor forskel på kontor-performance ændres markant når der tales i et laboratorium og når der er ro - kunne den tilsvarende effekt ikke påvises i denne undersøgelse, hvor 125 personer deltog i et interventionsprojekt, som omfattede reduceret efterklangstid fra 0,46 – 0,39 sek., installation af soundmasking system (36 – 42 dBA), opbygning af 2 mindre samtale- og telefon-rum og uddeling af retningslinier for god storrumskontoropførsel.

Der er også lavet beregningsmodeller for akustik i storrumskontorer, som inkluderer maskeringstøj, jf. Hongisto³⁰, der omtaler en model for beregning af STI mellem naboarbejdsstationer. Den tager - ud over den direkte lydvej - hensyn til flere transmissionsveje så som gennem kontorskærm, via loft/vægge (uden om skærm), diffrakteret lyd om skærmkanter samt tale i efterklangsfeltet. STI beregnes på basis af MTF metode. I Keränen³¹ henvises til en beregningsmodel til prediktering af bl.a. $L_{pA(\text{speech})}$, STI, radius of distraction r_D og DL_2 , baseret på input om rumdimensioner, loft- og vægabsorbenter, højde af møbler, maskerings- og talelydniveau. Modellen er frit tilgængelig på internettet.

4.4

Sammenfatning – litteratur

Åbne kontorer har en lang historie der går tilbage til starten af 1900-tallet i USA med senere afsmittende virkning i Europa. Formålet med de åbne kontorer var optimal arbejdsgang og omkostningsreduktion, men fra omkring 1970'erne kom der mere fokus på manglende privathed og støj fra kolleger. Det betød en vis stagnation indtil der fra omkring 1995 igen er kommet flere åbne kontorer. Nu er målsætningen, at de fysiske rammer bl.a. skal understøtte det moderne kontorarbejde og øge videndeling mere end det er at reducere omkostninger. Graden af succes med disse målsætninger har stor sammenhæng med implementeringen af det åbne kontorkoncept, virksomhedens kultur og organisering samt opfattelsen af, hvad rigtigt arbejde er for en størrelse. De akustiske udfordringer omhandler i høj grad gener fra "uvedkommende" tale, der opfattes mere generende end øvrig kontorbaggrundsstøj. Hvor højt eller lavt kontoransatte taler med deres stemmer kan være påvirket af kontorernes forskellige størrelser og akustiske forhold, mens forstærkning/dæmpning af en given stemme med sikkerhed er afhængig af de nære omgivelseres akustiske egenskaber.

Flere akustiske parametre har relation til tale-privathed i åbne kontorer, herunder forholdet mellem talesignal og baggrundsstøj, S/N-forholdet samt taleforståelighedsparametre, hvoraf især Speech Transmission Index, STI anvendes meget i Danmark. Derudover synes flere forfattere, at de to mål for udbredelsesdæmpning gennem et rum DL_2 og DL_f er gode til at beskrive åbne kontorer, helst sammen med andre parametre. I Finland har man indført en frivillig 4-trins rangordning af åbne kontorer, som dog ikke umiddelbart kan overføres til danske forhold, fordi man i Danmark kun sjældent anvender soundmasking (tilsættelse af kunstig støj) for at sløre/maskere tale fra andre arbejdspladser.

Det interessante er derfor at finde et sæt af parameterværdier, som i danske åbne kontormiljøer kan beskrive lydforholdene så optimalt som muligt – under skyldig hensyntagen til andre vigtige forhold i åbne kontorer: fx muligheder for samarbejde og videndeling.

5

OBJEKT - VIRKSOMHEDERNE I UNDERSØGELSEN

I projektet er følgende 4 deltagende virksomheder^{SS} undersøgt i detaljer:

- Ballerup Rådhus. Borgertorv
- Grontmij | Carl Bro. Ingeniørkontor
- Danske Bank. IT-afdeling
- JJW Arkitekter. Tegnastue

Overordnet er virksomhederne og deres arbejdsområder forskellige, men de har mindst ét fællestræk – de fungerer i åben plan kontorer.

Ballerup Rådhus - Borgertorvet

Areal: ca. 850 m². Lofthøjde: 2,6 m

Borgertorvet er et komplekst rum placeret tæt på foyeren ved hovedindgangen til rådhuset. Der er mange akustisk hårde overflader i form af vinduer, betonvægge og møbler, som reflekterer lyd herunder trinlyd og trommelyd fra parketgulvet i gangzonen. Loftet er akustisk regulerende men med baner af synlige bjælkeundersider, som reflekterer lyden. Der er ingen lyd-dæmpende eller -absorberende afskærmning og kun få absorbenter på væggene.

Borgertorvet er udformet som et kryds med gennemgangstrafik af ansatte fra andre afdelinger på rådhuset bl.a. på vej til og fra kantinen. Ventearealet ligger op til receptionen midt i gangarealet. I Borgertorvet fungerer de mange skranker som skillelinje mellem den offentlige del og arbejdsområderne. Indretningen af arbejdsområderne fremstår uensartet. I hvert arbejdsområde er der opstillet et mødebord, mens deciderede mødelokaler er placeret længere væk. Printere og kopimaskiner er placeret uafskærmet.

Borgertorvet modtager borgerhenvendelser, såvel personlige som via telefon. Personalet er opdelt i grupper og typen af arbejdsopgaver varierer fra gruppe til gruppe. Der er hurtige ekspeditioner fx ændring af folkeregister-adresse, udstedelse af pas og kørekort, og så er der mere kompliceret sagsbehandling fx tildeling af sociale ydelser. Der er generelt meget post, der skal behandles. Reception og telefonomstilling ligger også på Borgertorvet. Der bliver lagt vægt på at betjene borgeren med helhedsorienteret ekspertise. Det meste arbejde foregår i storrumskontoret enten ved skranken eller skrivebordet. Der er mulighed for at bruge mødelokaler, men de ligger langt væk. Der er formuleret leveregler af en støjgruppe.

Grontmij | Carl Bro

Areal: ca. 550 m². Lofthøjde: 3,9 m

Ingeniørvirksomheden er grupperet i to åbne kontorer adskilt af en skillevæg med åbent dørhul. I hvert kontor er opstillet 1,2 m høje reoler som rumdelere mellem arbejdspladser samt mod gange. Reolernes overflader er

SS

Ballerup Rådhus: Ballerup Kommune, Hold-an Vej 7. 2750 Ballerup
 Grontmij | Carlbro as: Skibhusvej 52 A 5000 Odense C
 Danske Bank: Ejby Industrivej 41, 2600 Glostrup
 JJW Arkitekter: Finsensvej 78, 2000 Frederiksberg

akustisk hårde, hvilket bevirker, at lyden reflekteres herfra og fra betonfacaderne. På en del af gangzonerne er udlagt tæppeløbere, som dæmper trin-støjen i modsætning til de gulvdele, som ikke er tæppebelagte. Lofter er akustisk absorberende og enkelte vægge er beklædt med akustiske spaltepaneler. Midterzonen i bygningen indeholder møderum, toiletter og garderobe samt kopi/print og kaffeautomat.

Arbejdet er hovedsagligt koncentrationskrævende og omfatter bl.a. beregning, opgaver med snarlig deadline, ikke-planlagte hasteopgaver samt koncentrationskrævende telefonsamtaler. Derudover har mange tilsyn og møder ud af huset. Ca. 40% af medarbejderne er ude af huset mindst én dag om ugen.

En del uformelle møder holdes ved reoler, ved skrivebordene, samt i receptionsområdet. I tilknytning til de to storrumskontorer er der små og store mødelokaler, som anvendes ved en del telefonsamtaler og korte møder. Alle har mobiltelefoner, og der er mulighed for at arbejde hjemme. Receptionen har sekretærfunktion og post. Den fungerer som samlingspunkt for medarbejderne, og derfor er der en del tale-aktivitet herfra. Da før-undersøgelsen blev gennemført var det tre år siden, man var flyttet til disse lokaler fra lokaler med cellekontorer. Sikkerhedsgruppen har vedtaget "Regler om adfærd i storrums".

Danske Bank – IT afdelingen

Areal: ca. 4000 m². Lofthøjde: 3,2 m

Storrumskontoret har akustiske lofter og gulvtæpper samt akustisk hårde vægge og facader. Kontoret er indrettet i en række sektioner opdelt af mange skærmvægge og høje reoler, som får rummet til at virke som en labyrint af lukkede gange og skjuler medarbejderne på den anden side af skærmvæggene. Skærmvæggene har stort set ingen lydabsorberende egenskaber. Dvs. at de kaster lyden tilbage i de delafsnit, som skærmene omkranser. Hovedparten af arbejdspladserne er placeret i kontorets centrale dele, hvor der i midten er ovenlys. Solokontorer og møderum er placeret ved facaden med dagslys og udkig.

I nogle afdelinger holdes mindre møder ved reolerne, mens andre holder småmøder ved cafébordene ved "Raketten", en central plads i krydset mellem to hovedadgangsveje.

IT-afdelingen arbejder projektorienteret typisk i grupper på 15-20 mand, og der er stor interaktion mellem projekternes deltagere. Medarbejderne arbejder typisk på tværs i afdelingen, men man har en fast arbejdsplads og flytter ikke rundt efter projekt, hvilket betyder, at medarbejderne ikke nødvendigvis sidder tæt på dem, de samarbejder med. Projekterne kræver både megen kommunikation og koordinering men også behov for koncentration og ro. Det meste arbejde foregår ved skrivebordet, da der ikke er møderum til rådighed. Alle, der sidder ved gangarealer, er udsatte for støj, da gangen ofte bruges til mobilsamtaler o.l. Der anvendes i stigende grad eksterne konsulenter pga. personalemangel.

Danske Banks arbejds-miljøorganisation har opsat "leveregler" for storrums-kontoret, men de bliver kun delvist efterlevet.

JJW Arkitekter

Areal: ca. 1020 m². Lofthøjde: 6 m

Tegnestuen er indrettet i et lokale med stort volumen, dobbelt etagehøjde og meget dagslys. Lokalet består af en etage i vinkel, kompletteret med en hems. Udenfor findes en stor grøn tagterrasse, der i sommerhalvåret også bruges som en del af arbejdsområdet til møder og pauser. Kontoret har søjler og dragere af beton, vægge af rå beton delvist beklædt med træpladematerialer. Der er store vinduespartier med sprosser og søjler af træ, akustiklofter af træbeton med dæmpet hulrum over, samt akustisk hårdt gulv af magnesit. Kontoret har naturlig ventilation. Kontorarealet er fleksibelt opdelt af 2,30 meter høje flytbare reoler med akustisk bagside, og derudover er der mellem gangzonen og arbejdszonen opstillet absorberende og afgrænsende opslagstavler.

JJW Arkitekter er inddelt i grupper efter byggeopgave. Medarbejderne arbejder projektorienteret og er vant til at flytte plads med jævne mellemrum, så medarbejderne sidder tættest på dem, de arbejder sammen med. Kontorets indretning sikrer, at alle kan finde et sted i rummet, som passer til den opgave, som de er i gang med. Der findes solorum, mødelokaler og en tagterrasse, hvor man kan arbejde stille, snakke i telefon eller holde møder med hinanden. Telefonsamtaler føres oftest ved skrivebordet, da tegningerne er på computeren. Der afholdes mange møder, så medarbejderne er ca. halvdelen af tiden ved deres skrivebord. Alle har bærbare telefoner. Nogle har bærbare computere. JJW flyttede ind i de nye lokaler i 2007, så ved førundersøgelsen var omgivelserne ret nye, og medarbejderne var inde i en fase, hvor de skulle lære storrummet at kende. Der har ikke været behov for at lave leveregler.

6

OVERORDNET METODEBESKRIVELSE

Projektet er tilrettelagt som et interventionsprojekt, hvor der er gennemført en række undersøgelser af virksomhederne før og efter interventionen med henblik på at påvise en sammenhæng mellem ændrede objektive akustiske parameterværdier og en ændring i medarbejdertilfredshed.

De undersøgelsesmetoderne, der er anvendt i projektet er diskuteret og udformet i en tværfaglig projektgruppe med kompetencer inden for akustik, arbejdsmiljø og arkitektur.

I det følgende gennemgås projektets metode i store træk. Der henvises til afsnit 7-9 for en nærmere gennemgang af de enkelte undersøgelsesmetoder.

I overensstemmelse med den opstillede tese, nemlig at de generelle akustiske parametre (efterklangstid og ækvivalent absorptionsareal) ikke er tilstrækkelige til at beskrive den lydmæssige variation, der er i et storrums, har der i alle de delundersøgelser og kortlægninger der beskrives i det følgende været specielt fokus på at anvende/opfinde metoder, som beskriver lydforholdene på den enkelte arbejdsplads og mellem arbejdspladserne indbyrdes (plads-til-plads-relationerne).

Endvidere skal det bemærkes, at der undervejs i projektet skete en justering af nogle af metoderne med begrundelse i de første praktiske erfaringer med metoderne. Beskrivelserne i det følgende er generelt dækkende, men i praksis er der mindre afvigelser i metoder og forløb mellem de enkelte virksomheder og mellem før- og eftermålinger.

6.1

Førundersøgelser

Førundersøgelserne af de medvirkende virksomheders kontorer havde til formål at kortlægge følgende forhold:

- De fysiske forhold, dvs. hvert kontors geometri, indretning, aptering og materialer
- De organisatoriske forhold, dvs. medarbejdergruppens sammensætning mht. alder, køn, stilling, høreelse, arbejdsopgaver, daglig tid på kontoret og samarbejdsrelationer. Disse oplysninger blev suppleret med kontorets historik, dvs. hvor mange år havde medarbejderne siddet i storrums, hvordan sad de før, osv.
- De akustiske forhold - beskrevet ved en række objektive parametre og suppleret med medarbejdernes subjektive vurderinger målt med spørgeskema.

Rent praktisk blev de fysiske og organisatoriske forhold kortlagt før de akustiske forhold, idet resultaterne af disse undersøgelser blev udnyttet i planlægningen af de akustiske målinger.

De fysiske forhold blev kortlagt ved opmåling og optegning i plan- og snittegninger. Der blev ved opmålingen lagt vægt på at bestemme den præcise placering af møblerne herunder medarbejdernes arbejdspladser ligesom højden af møbler og andre skærmende elementer blev registreret. Begge dele var af stor vigtighed i forhold til de efterfølgende modelleringer og akustiske målinger.

De organisatoriske forhold blev kortlagt ved interview af udvalgte medarbejdere og spørgeskemaer, som blev uddelt til alle medarbejdere i de enkelte kontorer.

Ved interviewene deltog så vidt muligt en ledelsesrepræsentant, en eller flere medarbejderrepræsentanter, sikkerhedsleder og sikkerhedsrepræsentant. Formålene med interviewene var at få et overordnet billede af kontoret, beskrevet ud fra følgende synsvinkler:

- Organisering af produktionen, herunder arbejdsopgaver, arbejdsmetoder og placering af funktioner
- Medarbejdernes historie
- Arbejdsmiljø
- Kontorrummets historie
- Det sociale liv
- Storrums-kulturen

Umiddelbart efter at interviewene var gennemført, blev de fulgt op af spørgeskemaer, som blev udleveret til alle medarbejdere. Spørgeskemaerne, blev i hvert tilfælde tilpasset oplysninger om faggrupper, arbejdsopgaver mv., som var blevet kortlagt via interviewene.

Formålene med spørgeskemaerne var dels at få et statistisk materiale, som kunne beskrive en række generelle forhold vedrørende medarbejderne bl.a. deres arbejdsopgaver samt deres oplevelse af storrummet og dets akustik og lydforhold, dels at få et billede af, hvordan medarbejderne specifikt oplevede lydfordelingen i rummet ud fra de enkelte medarbejders pladser. For opbygning af spørgeskemaundersøgelsen – se afsnit 9.

På grundlag af spørgeskemaerne var det muligt at få et overordnet billede af, hvordan medarbejderne oplevede rummets akustik og de lydgener, der var i kontoret. Et væsentligt middel til at få dette overblik var Piletegningen, som omtales i afsnit 9.1. Denne tegning dannes på baggrund af alle de udfyldte spørgeskemaer, og den giver et visuelt billede af, hvordan medarbejderne oplever, at de generende lyde udbredes i kontoret. Disse oplysninger er vigtige ved planlægningen af de efterfølgende akustiske målinger.

Det primære formål med de akustiske målinger var at belyse lokale variationer i lydudbredelse, rumforstærkning og taleforståelighed, STI. Det sekundære formål var at bestemme de gængse generelle parametre, efterklangstid og ækvivalent absorptionsareal for kontorerne, dvs. parametre, som efterfølgende kunne sammenlignes med medarbejderens generelle vurderinger af – herunder tilfredsheden med – de akustiske forhold.

De lokale variationer i akustikken indenfor det enkelte kontor blev belyst ved lydudbredelsesmålinger mellem enkelte pladser og langs lydudbredelsesveje i forskellige retninger. Endvidere blev taleforståeligheden målt mellem udvalgte par af arbejdspladser.

Endelig blev der opbygget en rumakustisk 3D-computermode af hvert kontor, der blev kalibreret i forhold til de udførte akustiske målinger. Efter kalibrering blev der gennemført en række beregninger i modellen af fx plads-til-plads relationer, som supplement til målingerne.

6.2 Tværfaglig analyse – forslag til intervention

I den efterfølgende fase, blev der foretaget en tværfaglig analyse af de data, der var indsamlet ved kortlægningen inklusive data fra den akustiske modellering. Ved analysen deltog både akustikere, arkitekter og arbejdsmiljøfolk.

I analysen indgik alle oplysninger om de fysiske og organisatoriske forhold, de akustiske målinger og medarbejdernes oplevelser af kontorets lydkilder og lydudbredelsen fra disse.

Formålet med analysen var at skabe et detaljeret billede af, i hvilken grad de eventuelt oplevede lydproblemer skyldtes:

- Utilfredsstillende akustiske forhold
- Uhensigtsmæssig placering af arbejdsfunktioner
- Manglende handlemuligheder i forhold til at undgå generende støj

idet løsningsforslaget, der efterfølgende skulle udarbejdes, ville afhænge af vægtningen af disse årsager.

På baggrund af analyseresultatet blev der – igen i tværfagligt regi - skitseret en række akustiske, arkitektoniske og organisatoriske virkemidler, der kunne anvendes ved udarbejdelsen af et konkret løsningsforslag til den enkelte virksomhed.

Herefter udarbejdede arkitekterne en række løsningsforslag til hver virksomhed. Den akustiske virkning af de enkelte løsningsforslag blev kontrolleret og optimeret i de akustiske modeller, eventuelt v.h.a. justeringer. Til sidst blev løsningsforslagene elementer grupperet og prioriteret, og forslagene blev præsenteret for virksomhederne – se bilagene til rapporten.

6.3 Intervention / realisering

Selve den fysiske realisering af interventionen var ikke en del af dette projekt. Løsningsforslagene, som blev overgivet til virksomhederne indeholdt resultaterne af de gennemførte analyser, de principper, der var anvendt ved udarbejdelse af løsningsforslagene samt de konkrete løsningsforslag med en beskrivelse af de forbedringer, der kunne forventes opnået.

Herefter var det op til de enkelte virksomheder selv at realisere løsningsforslagene helt eller delvist via deres egen arkitekt og akustiske rådgiver.

Der viste sig, at være ret store forskelle på, hvor meget hver enkelt virksomhed fik udført, ligesom en af virksomhederne helt faldt fra. Interventionernes begrænsede størrelse påvirker effekten på medarbejdertilfredsheden og dermed, hvor meget der efterfølgende kan konkluderes.

6.4

Eftermåling

Efter at virksomhederne havde realiseret deres interventioner, blev der gennemført endnu en række undersøgelser.

Disse havde som overordnet mål at undersøge om de opnåede ændringer i de akustiske parameterværdier gav en tilsvarende ændring i medarbejdernes tilfredshed og oplevelse af rummenes akustik.

Eftermålingerne omfattede principielt de samme undersøgelser som førmålingerne, nemlig:

- Kortlægning af de realiserede fysiske forhold
- Kortlægning af de organisatoriske forhold
- Kortlægning af de akustiske forhold

Der var dog enkelte ændringer i forhold til førmålingerne:

- Der blev ikke gennemført interviews
- Spørgeskemaerne blev tilpasset, så de primært belyste ændringer i medarbejdernes opfattelse i forhold til før

6.5

Supplerende cases

Sideløbende med projektet har projektgruppen gennemført flere andre rådgivningsprojekter, hvor metoderne fra nærværende projekt har været anvendt helt eller delvist. Det har drejet sig om normale rådgivningssituationer, dvs. situationer, som ikke har haft til formål at udvikle eller afprøve nye metoder, men udelukkende at løse et problem for kunderne.

Nogle af resultaterne fra disse projekter er inddraget i denne rapport, idet de indeholder nogle problemstillinger, som kan beskrives med de nye metoder, og som ikke har været så fremtrædende i de virksomheder, der indgik i nærværende projekt.

7 AKUSTISKE MÅLEMETODER

I dette afsnit beskrives de metoder som blev anvendt og udviklet til måling af de akustiske forhold i kontorerne

7.1 Efterklangstid / Ækvivalent absorptionsareal

Efterklangstid er målt i henhold til DS/ISO 3382 del 1, "Akustik - Måling af rumakustiske parametre. Del 2: Efterklangstid i almindelige rum". Ved målingerne var der kun de to måleteknikker tilstede i rummene. Målingerne er udført med målesystemet DIRAC, som foruden efterklangstid også måler blandt andet STI. Målingerne er udført helt traditionelt med et antal højttaler- og mikrofonpositioner jævnt fordelt over rummet på udvalgte kombinationer af arbejdspladser. De fundne efterklangstider er midlet sammen til en gennemsnitlig efterklangstid for hvert storrum.

Det ækvivalente absorptionsareal er beregnet for hvert storrum ved hjælp af Sabine's formel^{***} ud fra den målte gennemsnitlige efterklangstid og rummets volumen. Årsagen til at der anvendes målte efterklangstider, som dernæst omregnes til ækvivalente absorptionsarealer vha. Sabines formel er, at det kun er på basis af målinger, det er muligt at tilvejebringe et reelt "lydbillede", som viser, hvordan det aktuelle akustiske miljø opleves. Eksempelvis vil hverken generende flutterekko, stående bølger eller distinkte lydrefleksioner blive afsløret, hvis bestemmelsen af det ækvivalente absorptionsareal i et rum alene baseres på en opmåling af arealer^{†††}, som dernæst multipliceres med en absorptionskoefficient. Selv om der således er et problem med forudsætningen om diffust lydfelt vurderes det at ulemper/risici ved geometriske absorptionsopmålinger er større end måling af efterklangstider og omregning til ækvivalente absorptionsareal.

7.2 DL_f , DL_2

DL_2 beskriver, hvor meget lyden dæmpes når afstanden til kilden fordobles. DL_f beskriver forskellen mellem det aktuelle lydniveau og lydniveauet i frit felt fra samme kilde i samme afstand

DL_2 og DL_f er målt og beregnet i henhold til DS/ISO 14257, "Akustik – Bestemmelse af lydudbredelseskurver til vurdering af lydforhold i arbejdslokaler", 2002 med de modifikationer, der er angivet i udkast til ISO/DIS^{‡‡‡} 3382, "Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – part 3: Open plan spaces" (2009), herefter benævnt ISO/DIS 3382:3.

^{***} Sabines formel $A = 0,16 \cdot V/T$, hvor V er rummets volumen og T er den mlte efterklangstid

^{†††} Jf. den alternative metode som beskrives i Arbejdstilsynets vejledning A1.16, afsnit 2.2

^{‡‡‡} DIS står for Draft International Standard

Målingerne er udført med lyserød støj og med anvendelse af en kalibreret rundstrålende højttaler, hvis lydeffektniveau er kendt, hvilket er en forudsætning for at bestemme DL_f . Alle målinger er udført med lydkilde og mikrofon placeret 1,2 meter over gulv.

Værdierne for DL_2 og DL_f er konsekvent beregnet for et A-vægtet talespektrum svarende til det spektrum, der er angivet i ISO 3382:3, tabel 1.

I ISO 3382:3 er angivet at lydkilde og mikrofon skal placeres på arbejdspladserne. Desuden skal mikrofonpositionerne ved måling i møblerede rum fordeles i hele åben plan området. Det foretrækkes at afstanden mellem lydkilde og mikrofon vokser logaritmisk, men at der ikke nødvendigvis måles langs en linje. For hver lydkildeposition skal der som minimum måles i 6 modtagepositioner. Lydkilde og mikrofon skal have en minimumafstand til skærme på 1 meter og til vægge på 1,5 meter.

I projektet er der afvejet fra kravet om minimumafstande, idet det netop har været hensigten at belyse de oplevede forskelle mellem de forskellige arbejdspladser og lydudbredelsen mellem disse. Sidder en medarbejder tæt på en reflekterende væg, vil lydniveauet lokalt være forøget, og målingerne bør afspejle dette. Endvidere indgik målingerne i processen med at finde en måde, hvorpå man kunne anskueliggøre de akustiske relationer mellem de mange pladskombinationer og her var det vigtigt at finde så mange lokale variationer som muligt. Endeligt var det formålet at fremskaffe et omfattende datasæt, som kunne holdes op mod de efterfølgende rumakustiske simuleringer samt spørgeskemaer.

Ved målingerne blev arbejdspladserne nummereret og opstillet i en matrix, hvor hver søjle og hver række svarer til en bestemt arbejdsplads. Cellerne i matricen angiver dermed bestemte kombinationer af arbejdspladser to og to og måleresultatet mellem to konkrete arbejdspladser kan afbildes i den celle, hvis række og søjle svarede til de to arbejdspladser. Da de storrum, der indgik i projektet var forholdsvis store, var det ikke praktisk muligt at måle alle pladskombinationer, men så stor en del af matricen som det var praktisk muligt blev udfyldt.

Den parameter, som endeligt blev afbildet i matricen var DL_f mellem enkelte arbejdspladser og det værktøj, som blev udviklet, kaldes derfor i dette projekt for DL_f -matricen – se afsnit 8.2.

Ved eftermålingerne, hvor DL_f -matricen var færdigudviklet, blev der i højere grad målt efter linjer gennem rummene, men stadig med lydkilde og mikrofon anbragt på arbejdspladserne.

7.3 STI

For hver af de undersøgte storrums er der målt et antal STI-værdier. Målingerne er udført i henhold til ISO/DIS 3382-3 (og IEC 60268-16). De er i alle tilfælde udført mellem et antal kombinationer af arbejdspladser, så hver måling repræsenterer den STI-værdi, som medarbejderne på de to anvendte arbejdspladser oplever indbyrdes.

7.4 Måleudstyr

Under målingerne blev anvendt måleudstyr, kalibreret og kontrolleret i henhold til Grontmij | Carl Bro's DANAK-akkreditering nr. 134.

8 AKUSTISKE BEREGNINGSMETODER

8.1 Akustisk modellering – kalibrering / prediktion

Alle de storrums, der indgik i projektet er modelleret i det rumakustiske simuleringssprogram, ODEON. Modelleringen er foretaget ud fra den geometriske kortlægning af rummene og omfatter modellering af rummets overflader, skriveborde, skrivebordsstole, reoler, eventuelle skærmvægge og andre rumelementer, som har betydning for rummenes akustik.

Der er foretaget flere modelleringer af hvert rum. I første omgang er rummene modelleret, som de fremstod før interventionen modelleret, og disse modeller er kalibreret mod de målte akustiske parameterværdier for rummene, primært efterklangstiden.

Kalibreringerne omfattede en del forsøg for at få modellerne til at passe bedst muligt

Historisk set er ODEON fortrinsvis blevet udviklet og anvendt til modellering af auditorier, teatre og koncertsale. Disse rum er karakteriseret ved at formålet med rummene er at skabe så god lydudbredelse som muligt fra en scene eller en forelæser. Der vil som regel være en betydelig længere efterklangstid end i storrums, ligesom der vil være et betydeligt diffust felt. Endelig er der mange forholdsvis store og ensartede flader i disse rum.

Storrums er som regel den diametrale modsætning til de ovennævnte rum, idet man først og fremmest søger at dæmpe lydens udbredelse. Storrums er derfor typisk karakteriseret ved en lavere lofthøjde, forholdsvis kort efterklangstid, lydfeltet er ikke diffust. I stedet er lydudbredelsen bestemt af distinkte lydrefleksioner, og endelig er der utallige små flader fra møbler, kontormaskiner og lignende.

Der er derfor ikke tilsvarende omfattende erfaringer med modellering af storrums og kalibrering af modellerne, og det viste sig at byde på en del udfordringer. F.eks. var det ikke indlysende, hvordan man bedst skulle modellere et skrivebord, så det både var simpelt at modellere, men samtidig også i akustisk henseende opførte sig som et rigtigt skrivebord, hvor der sker en del diffraktion og spredning af lyden på grund af bordben, papirbunker, PC-udstyr mm. Her blev der forsøgt flere metoder.

Efterklangstiden i det virkelige kontor var som hovedregel kortere end modellens resultater, og der var tilsyneladende et betydeligt større ækvivalent absorptionsareal, end hvad der svarede til de indgående materialeoverflader.

Det var derfor nødvendigt at undersøge den bedste måde at indstille ODEONs beregningsparametre på. Erfaringerne fra disse kalibreringer er nærmere beskrevet i afsnit 11.2.

I analyse- og løsningsfasen er modellerne ændret så de afspejler de løsningsforslag, som arkitekten udarbejdede, og den akustiske effekt af løsningsforslagene er predikeret.

8.2 Plads til plads relationer: DL_F-Matricen

I første del af projektet blev der søgt en måde, hvorpå det var muligt at anskueliggøre de akustiske forhold mellem arbejdspladserne indbyrdes. Dette resulterede i den såkaldte DL_F-matrice, som også blev omtalt i afsnittet om de akustiske målinger.

Mens det som nævnt ikke var praktisk muligt at udfylde hele DL_F-matricen ved måling, så er det muligt ved hjælp af ODEON. Det kræver blot at der fra hver eneste arbejdsplads foretages en beregning af lydniveauet på de øvrige arbejdspladser.

	1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	2	20	21	22	23	24	25	3	4	5	6	7	8	9
1		-4,8	4,6	-18,2	-10,2	-7,0	-6,3	-10,0	-11,5	-8,7	-6,3	9,0	-7,1	-13,6	-8,5	-12,2	-9,7	-9,9	11,3	-2,9	-3,7	-3,5	1,5	2,9	6,6
10	-4,8		0,4	-11,8	-12,7	-9,7	-7,6	-8,7	-12,0	-13,7	-12,4	-10,2	-15,6	-12,7	-13,9	-15,2	-18,2	-15,8	-5,0	6,6	6,8	-2,4	-1,6	5,4	-1,3
11	-4,6	0,4		-11,2	-12,2	-9,1	-7,7	-10,7	-12,3	-15,3	-15,2	-1,1	-4,4	-10,9	-11,7	-13,5	-10,9	-10,4	-0,4	4,9	-2,4	-3,2	-2,0	5,8	2,1
12	-18,2	-11,8	-11,2		9,1	11,2	5,9	3,9	4,1	9,7	10,3	-5,9	0,1	10,3	5,4	0,5	4,6	4,6	-1,6	-6,2	-5,3	-4,8	-5,0	-5,1	-1,0
13	-10,2	-12,7	-12,2	9,1		9,6	5,3	5,5	0,1	3,2	5,1	-10,4	-1,3	-9,6	2,5	-1,2	3,4	3,7	-3,1	-4,6	-2,8	-6,7	-6,2	-6,0	-3,5
14	-7,0	-9,7	-9,1	11,2	9,6		5,8	10,4	5,6	4,2	4,1	-6,7	-0,7	-7,3	1,2	4,2	5,1	5,6	-14,4	-5,8	-3,9	-7,2	-5,1	-5,4	-8,2
15	-6,3	-7,6	-7,7	5,9	5,3	9,6		9,8	4,4	5,4	4,2	-3,9	7,1	-9,4	0,1	6,0	3,2	5,8	-5,7	-7,2	-2,3	-3,6	-2,6	-2,5	-5,4
16	-10,0	-9,7	-10,7	3,9	5,5	10,4	5,8		9,3	11,3	4,8	-6,3	0,3	-3,8	4,7	6,1	4,2	4,9	-5,4	-2,1	-13,3	-3,6	-2,6	-7,5	-4,9
17	-11,5	-12,0	-12,3	4,1	0,1	5,6	4,4	9,3		9,6	4,7	-11,1	-2,9	-6,9	2,9	3,4	1,2	2,4	-10,2	-3,4	-5,6	-10,7	-3,6	-8,7	-7,0
18	-8,7	-13,7	-15,3	9,7	3,2	4,2	5,4	11,3	9,6		7,4	-8,6	-0,5	-8,6	5,4	3,6	3,6	1,6	-5,8	-2,3	-2,6	-5,7	-12,6	-9,7	-4,8
19	-6,3	-12,4	-15,2	10,3	5,1	4,1	4,2	4,8	4,7	7,4		-6,3	-0,1	-7,4	3,2	1,9	1,9	-0,5	-5,2	-5,1	-4,5	-7,8	-9,1	-5,1	
2	9,0	-10,2	-1,1	-5,9	-10,4	-6,7	-3,9	-6,3	-11,1	-8,6	-6,3		-6,6	-14,5	-5,5	-6,1	-5,6	-5,8	9,4	-1,7	-3,5	-7,8	-3,3	3,0	6,4
20	-7,1	-15,6	-4,4	0,1	-1,3	-0,7	7,1	0,3	-2,9	-0,5	-0,1	-6,6		-13,6	-6,5	-6,7	-13,0	-7,0	-1,8	1,5	-2,2	-3,7	-1,7	-0,9	3,5
21	-13,6	-12,7	-10,9	-10,3	-9,6	-7,3	-9,4	-3,8	-6,9	-8,6	-7,4	-14,5	-13,6		-12,3	-10,2	-14,5	-9,9	-3,1	1,0	7,8	10,1	9,6	6,5	-1,5
22	-8,5	-13,9	-11,7	5,4	2,5	1,2	0,1	4,7	2,9	5,4	3,2	-5,5	-6,5	-12,3		8,4	6,6	9,7	-6,6	-6,2	-5,7	-6,2	-4,3	-6,3	-5,1
23	-12,2	-15,2	-13,5	0,5	-1,2	4,2	6,0	6,1	3,4	3,6	1,9	-8,1	-6,7	-10,2	8,4		2,5	3,7	-2,6	-4,1	-3,8	-2,9	-5,1	-8,0	-2,0
24	-8,7	-18,2	-10,9	4,6	3,4	5,1	3,2	4,2	1,2	3,6	1,9	-5,6	-13,0	-14,5	6,6	2,5		7,1	-3,5	-4,6	-5,6	-5,2	-9,6	-2,8	
25	-9,9	-15,8	-10,4	4,6	3,7	6,6	5,8	4,9	2,4	1,6	-0,5	-5,8	-7,0	-9,9	9,7	3,7	7,1		-3,0	-4,1	-4,6	-4,9	-5,0	-7,8	-2,7
3	11,3	-5,0	-0,4	-1,6	-3,1	-14,4	-5,7	-5,4	-10,2	-5,8	-5,2	9,4	-1,8	-3,1	-6,6	-2,6	-3,5	-3,0		1,0	8,4	-1,8	-1,7	3,9	6,1
4	-2,9	6,6	4,9	-6,2	-4,6	-5,8	-7,2	-2,1	-3,4	-2,3	-5,1	-1,7	1,5	1,0	-6,2	-4,1	-4,6	-4,1	1,0		10,1	7,4	6,3	7,2	3,0
5	-3,7	6,8	-2,4	-5,3	-2,8	-3,9	-2,3	-13,3	-5,6	-2,6	-4,5	-3,5	-2,2	7,8	-5,7	-3,8	-5,6	-4,6	8,4	10,1		9,4	11,7	1,3	4,6
6	-3,5	-2,4	-3,2	-4,8	-6,7	-7,2	-3,6	-3,6	-10,7	-5,7	-4,5	-7,5	-3,7	10,1	-4,2	-2,9	-5,6	-4,9	-1,8	7,4	9,4		9,7	0,3	0,5
7	1,5	-1,6	-2,0	-5,0	-6,2	-5,1	-2,6	-2,6	-3,6	-12,6	-7,8	-3,3	-1,7	9,8	-4,3	-5,1	-5,2	-5,0	-1,7	6,3	11,7	9,7		5,0	-2,4
8	2,9	5,4	5,8	-5,1	-6,0	-5,4	-2,5	-7,5	-8,7	-9,7	-9,1	3,0	-0,9	-6,5	-6,3	-8,0	-8,6	-7,8	3,9	7,2	1,3	0,3	6,0		-1,6
9	6,8	-1,3	2,1	-1,0	-3,5	-8,2	-5,4	-4,9	-7,0	-8,1	6,4	3,6	-1,5	-5,1	-2,0	-2,8	-2,7	6,1	3,0	4,6	0,5	-2,4	-1,6		

Figur 1. DL_F matrice lydudbredelse mellem arbejdspladser

Farvekoderne gør det nemt at formidle resultaterne til folk uden akustisk baggrund; grønt er godt og rødt er ikke godt. Gul farve svarer til lydudbredelsesforhold som i frit felt (fx udendørs). På den måde bliver det lettere at få overblik over, hvor skal sættes ind.

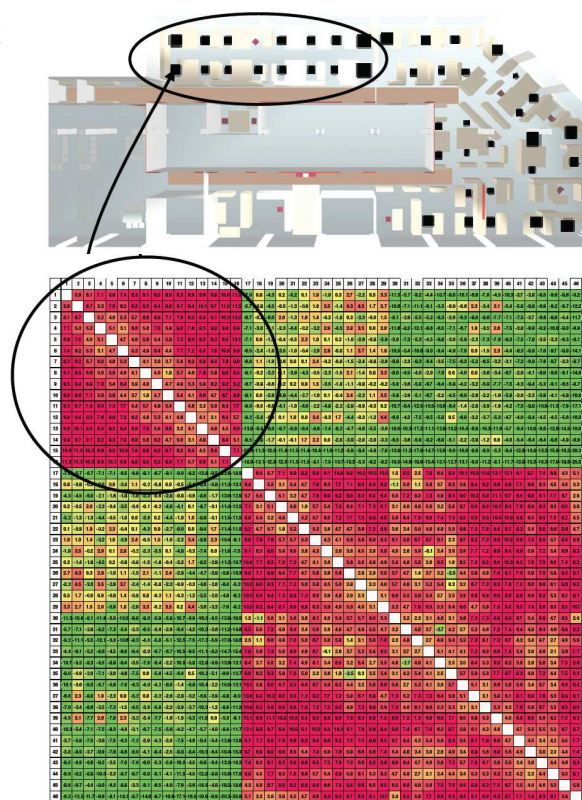
Det grønne område indikerer, at der generelt er en god dæmpning mellem området med pladserne 12-19 og området med pladserne 3-9. Det røde område indikerer, at der er en kraftig rumforstærkning indbyrdes mellem pladserne 12-19

På figuren til højre ses et eksempel på en DL_F-matrice fra et mindre kontor. Hver arbejdsplads er nummeret og numrene er angivet som akser i matricen. Hver celle refererer dermed til to arbejdspladser, og den beregnede værdi af DL_F kan angives i cellen. I den øverste vandrette hvide række og den lodrette søjle helt til venstre, kan man aflæse numrene på de to pladser, som cellen refererer til.

Da det ikke er så enkelt at få overblik over alle de tal matricen indeholder, er felterne forsynet med en farvekode. Er DL_F større end 5 dB er feltet mørkerødt og er feltet mindre end -5 dB er feltet mørkegrønt. Er DL_F mellem -5 og 5 dB anvendes en farveskala, der går fra grøn over gul til rød.

Matricens konkrete farvemønster vil afhænge af, hvordan man har nummeret arbejdspladserne. Det har vist sig hensigtsmæssigt at anvende en vis systematik således at arbejdspladser nummereres fortløbende indenfor de enkelte arbejdsgrupper. Herved vil resultaterne fra hver arbejdsgruppe samle sig i "klumper" på hver af akserne og matricens farvemønster vil ligeledes vise nogle kvadratmønstre, der ligger hen over matricens diagonal.

Relationerne mellem de enkelte arbejdsgrupper bliver på den måde også lettere at identificere i skemaerne. Følges denne fremgangsmåde bliver begrænsning af lydniveauet mellem pladserne et spørgsmål om at få så "grøn" en matrix som muligt.



Figur 2. DL_f matrice (lydudbredelse mellem alle arbejdspladser – GMCB-Odense)

Læg i øvrigt mærke til, at matricen altid bliver symmetrisk. Dette er udtryk for et reciprocitetsprincip, som også kan genfindes ved faktiske lydudbredelsesmålinger – se afsnit 11.1.

Bemærk:

I mindre kontorer – op til 10 medarbejdere - er det en overkommelig opgave, at udfylde hele matricen, baseret på målinger. Da sådanne kontorer ofte er små sidder mange medarbejdere tæt på en eller flere reflekterende flader og udfyldning af hele matricen kan her give væsentlige informationer om karakteren af de foranstaltninger, der kan være gavnlige.

8.3

Hot-spot

Den lydmæssige relation mellem to arbejdspladser, dvs. hvordan lyden udbredes fra den ene arbejdsplads til den anden, er bestemt af følgende forhold:

- de nære lydrefleksionsforhold omkring lydkilden
- eventuelle afskærmninger og lydrefleksioner mellem kilde og modtager
- bidrag fra det diffuse efterklangsfelt
- de nære lydrefleksionsforhold omkring modtageren

DL_r-matricen gør det muligt at identificere kombinationer af arbejdspladser, hvor det indbyrdes lydniveau er uhensigtsmæssig højt. Med DL_r-matricen er det dog ikke muligt at afgøre, hvor/hvordan problemet skal løses, dvs. om det skal løses ved indgreb på den ene eller den anden af arbejdspladserne eller ved indgreb i transmissionsvejen.

For at kunne afgøre dette blev der i projektet indført en beregningsparameter, "Nærfeltsforstærkningen" (se Petersen³²), som et forsøg på at beskrive, hvor meget de nære omgivelser ved lydkilden eller modtageren medvirker til at forstærke lyden.

Nærfeltsforstærkningen indeholder summen af alle distinkte refleksioner og det diffuse felts bidrag til lydtrkniveauet.

Værdien for nærfeltsforstærkningen, D_{nf}^{sss} , beregnes pr. 1/1-oktav i frekvensområdet 125 – 4000 Hz som:

$$D_{nfj} = L_{pj, refl.} - L_{wj} \text{ [dB]}, \text{ hvor}$$

$L_{pj, refl.}$ er lydtrykniveauet for den reflekterede lyd i modtagepunktet,
 L_{wj} er lydkildens lydeffektniveau og j er den aktuelle 1/1-oktav.

Da lydtrykniveauet for den reflekterede lyd kan bestemmes som det totale lydtrykniveau fratrukket bidraget fra den direkte lyd, kan dette også skrives:

$$D_{nfj} = (L_{pj, tot} - L_{pj, dir}) - L_{wj} \text{ [dB]}, \text{ hvor}$$

$L_{pj, tot}$ er det totale lydtrykniveau i modtagepunktet,
 $L_{pj, dir}$ er bidraget fra den direkte lyd i modtagepunktet,
 L_{wj} er lydkildens lydeffektniveau og j er den aktuelle 1/1-oktav.

sss

Nærfeltsforstærkningen for tale, $D_{nf, s}$ beregnes som:

$$D_{nf, s} = 10 \log \frac{\sum_j 10^{(D_{nfj} + L_{wsj})/10}}{\sum_j 10^{L_{wsj}/10}} \text{ [dB]},$$

hvor

D_{nfj} nærfeltsforstærkningen, D_{nf} i 1/1-oktavniveauet j ,
 L_{wsj} er lydeffektniveauet for tale i 1/1-oktavniveauet j .

At lydniveauet tæt ved en hård lydreflekterende overflade er højere end i stor afstand fra overfladen vides fra teorien om akustiske lydfelter i rum. Her er tale om en tillægseffekt ud over den generelle (diffuse) rumforstærkning som følge af lydens mange refleksioner fra rummets overflader og inventar. Den særlige effekt^{****} er endnu mere tydelig tæt ved en kant, fx ved samlingen mellem to vægge og endnu mere tydelig tæt ved hjørnesamlingen mellem tre flader.

En anden effekt som har været studeret – teoretisk – er den stemmestyrke, som personer taler med i forskellige rum. I meget store rum eller i rum som er meget dæmpede har man tendens til at tale højere. Hvis en enkelt person skal tale i et område med dæmpede overflader omkring sig, vil der være en svag tendens til at tale højere^{††††}, og omvendt lavere hvis det akustiske miljø er hårdt og klangfuldt. Her er tale om ændringer på ca. 2 dB.

Hvor hårde omgivelser af fysiske årsager forstærker fx stemmer, hvis personer opholder sig tæt ved overflader, så har mennesker i samme omgivelser tendens til at sænke stemmen. Den kraftigste effekt synes dog at være den potentielle forstærkning, som de hårde overflader kan medvirke til. Nettovirkningen skønnes at kunne blive en forstærkning fra ca. 3 til 8 dB.

Parameteren "Nærfeltsforstærkning" har en vis tilknytning til den fra sceneakustikken velkendte støtteparameter, ST_{total} , som beskriver, hvor meget støtte en sanger eller instrumentalist oplever fra et rum. ST_{total} er imidlertid ikke så operationel i storrums-sammenhænge. Der måles nemlig med en afstand mellem lydkilde og modtager på 1 meter. På en scene er dette ikke noget problem, da der er forholdsvis langt til de nærmeste reflekterende flader bortset fra gulvet og de lokale variationer i ST_{total} er derfor små. Men i storrykmet er der tit kraftigt reflekterende flader tæt på arbejdspladserne og der kan derfor forventes betydelige variationer indenfor en cirkel med radius på 1 meter. Resultaterne vil derfor afhænge af, i hvilken retning mikrofonen placeres i forhold til modtageren.

I ODEON kan der udføres beregninger, som ikke for øjeblikket kan måles i praksis, og dette blev udnyttet i projektet.

Effekten kan forklares med at der foran fx en hård væg både er et lydbidrag fra kilden og et lydbidrag fra refleksionen i væggen. Dette kan også illustreres med en "spejlkilde" placeret bag væggen. Ved en retvinklet kant vil der være fire bidrag, et fra kilden og tre fra spejlkilderne, én i hver væg og én i selve hjørnet. Et retvinklet hjørne giver i alt otte bidrag. Hvis lyden indeholder mange frekvenser – som "talestøj" – er effekten mindre end hvis der er tale om lyd med en tone. For "talestøj" kan der maksimalt opnås 6 dB's forstærkning – i teorien, meget tæt ved en kant. I et hjørne maksimalt 9 dB. Hvor meget højere lydniveauet bliver, afhænger både af afstanden og lydens frekvens. Jo nærmere man kommer overfladen og jo lavere lydens frekvens er, jo højere bliver lydniveauet sammenlignet med en situation uden refleksionsbidrag. I praksis vil man ca. 50 cm fra en reflekterende væg opnå ca. 5 dB's forstærkning og ca. 10 dB fra en kant, som følge af refleksioner af bredbåndet lyd (støj), hvis hovedenergi ligger omkring 100 Hz. Samme effekt kan forventes med 25 cm og 200 Hz.

††††

Dette er en anden effekt end den som kendes fra sammenkomster i hårde rum, hvor man næsten råber for at tale sammen – for at overdøve de andres stemmer. Fænomenet hænger sammen med, den såkaldte Lombard-effekt, som først træder i kraft, når der er et vist støjniiveau - omkring 56 dB. Lombard-effekten vurderes derfor ikke at være relevant i almindelige storrumskontorer, hvor støjniiveauet vil være lavere.

Nærfeltsforstærkningen udtrykker rummets bidrag til den oplevede forstærkning af egen stemme på en given arbejdsplads. Parameteren bestemmes som det A-vægtede lydtrykniveau beregnet 20 centimeter over lydkilden uden den direkte lyd og fratrasket kildens lydeffektniveau. Dermed minder parameteren rent definitions-mæssigt om DL_f , der også beregnes som et lydtrykniveau minus kildens lydeffektniveau. Ud fra erfaringerne i projektet ser det ud til at parameteren varierer⁺⁺⁺ 4-6 dB i kontorerne.

Også denne parameter resulterer i et stort datamateriale, som med fordel kan afbildes grafisk for overskuelighedens skyld.

Figur 2, øverst, viser en måde dette kan gøres på. For hver arbejdsplads er parameteren afbildet som et sort kvadrat, idet kvadratets areal svarer til den beregnede nærfeltsforstærkning. De sorte kvadrater er afbildet ovenpå et billede fra ODEON af storrummet set i fugleperspektiv. Denne afbildning giver et godt overblik over de indbyrdes variationer mellem arbejdspladserne og er meget velegnet til videreformidling af resultater.

Der kan endnu ikke opstilles generelle retningslinjer for den optimale sammenhæng mellem den beregnede nærfeltsforstærkning og kvadraternes størrelse. Det må komme an på forsøg i det konkrete tilfælde. Det væsentlige er, at de beregnede lokale forskelle i parameterværdien bliver synlige.

8.4

Andre parametre

I løbet af projektet er flere andre parametre undersøgt. Det gælder f.eks. privacy og distraction radius som defineret i DIS/ISO 3382-3, og taleniveauets afhængighed af nærakustikken.

Som eksempel kan nævnes, at medarbejderne i spørgeskemaerne har markeret det område, indenfor hvilket de hver især kan høre og forstå kolleger. Med udgangspunkt i de tanker, der ligger til grund for privacy- og distraction-radius blev det forsøgt at finde en korrelation mellem medarbejdernes markeringer og forskellige objektive parametre.

Det har dog ikke været muligt at etablere andre sammenhænge end de, der fremlægges i denne rapport, idet der generelt har vist sig at være alt for stor spredning i datagrundlaget.

9

SPØRGESKEMAUNDERSØGELSER

Som beskrevet i afsnit 6.1 blev der i forbindelse med projektet udviklet et spørgeskema, som blev udfyldt af medarbejderne på de enkelte virksomheder før og efter interventionen. Formålet med spørgeskemaundersøgelsen før interventionen var at få et overblik over medarbejdergruppen og dennes arbejdsopgaver, samt tilfredshed med og oplevelsen af lydforholdene. Formålet med spørgeskemaundersøgelsen efter interventionen var primært at undersøge, om forbedringerne udført i forbindelse med interventionen førte til en ændring i tilfredshed med og oplevelse af lydforholdene.

⁺⁺⁺

De beregnede parameterværdiers middelværdier varierer typisk mellem -10 og -16 dB.

Derudover var det formålet at sammenligne medarbejdernes subjektive vurdering af akustikken med de akustiske målinger.

I det følgende fremdrages hovedresultaterne fra de fire virksomheder. De detaljerede resultater fra spørgeskemaerne før interventionen findes i de 4 løsningsforslag, der blev udarbejdet til virksomhederne. Resultaterne fra interventionen er behandlet i selvstændige rapporter fra de 3 virksomheder, som gennemførte interventioner.

9.1

Spørgeskemaernes opbygning

Spørgeskemaet er bygget op af to forskellige dele. Den ene del bygger på et traditionelt spørgeprincip, hvor respondenter registrerer sin vurdering og oplevelse af en række forhold i lokalet ved at sætte kryds ved en række udsagn. I den anden del sker registreringen på en plantegning af lokalet. På en plantegning registrerer respondenter de lydkilder, han kan høre, hvorefter han vurderer hver enkelt lydkilde. På en anden plantegning registrerer han, hvem han arbejder sammen med, og hvem han kan høre.

De to spørgeskemaer er opbygget om de samme emner, men der blev i efterspørgeskemaet også spurgt ind til ændringer i oplevelsen af lydforholdene, samt vurdering af tiltag og indsatsen – se tabel 2.

Emne \ Spørgeskema	Før-spørgeskema	Efter-spørgeskema
1 Piletegning: Registrering og vurdering af lydkilder	X	X
2 Registrering af samarbejde og taleforståelighed	X	X
3 Baggrundsoplysninger, herunder køn, alder, fag, antal år på plads, hørelse og hørebesvær	X	X
4 Kortlægning af tidsforbrug på arbejdsopgaver og hvor stor en del af arbejdstiden man sidder på sin arbejdsplads	X	X (kun hvor stor del af arbejdstiden man sidder på sin arbejdsplads, samt om der er ændringer i arbejdsopgaver)
5 Tilfredshed med og oplevelse af lydforholdene, herunder akustik og lydniveau	X	X (og ændring i disse)
6 Lydes positive betydning	X	X
7 Vurdering af tiltag		X
8 Vurdering af indsatsen		X
9 Vurdering af og ønsker til handlemuligheder fx stillerum og andre former for funktionsrum, hjemmearbejdsplads mv.	X	X (kun vurdering af nuværende tilgængelighed og om de virker efter hensigten)

Tabel 2. Oversigt over emner i før- og efterspørgeskemaet

De enkelte emner bliver beskrevet nedenfor.

Udgangspunktet for udformning af spørgeskemaerne til de enkelte virksomheder var et interview med nøglepersoner, som kortlagde hvilke arbejdsfunktioner og -opgaver, der skal udføres i rummet, og hvad det stiller af krav til fysiske rammer, uforstyrrelighed, samarbejde, videndeling og telefonkontakt. Via interviewet blev det også kortlagt hvilke faggrupper/personer, der arbejder tæt sammen, og hvad dette samarbejde indebærer. Se et eksempel på et før- og efterspørgeskema i Appendix B.

9.2

Piletegnning

Piletegningen er en metode, som er udviklet i projektet. Formålet er at få medarbejderne til at registrere og vurdere de enkelte lydkilder, som de påvirkes af. Erfaringen er, at det kan være svært at få et samlet overblik over lydkilderne og de gener, som medarbejderne oplever. Interview med nøglepersoner kan give et vigtigt fingerpeg, men det er ikke givet, at deres udsagn er repræsentative for kontoret som helhed. I almindelige spørgeskemaer vil man normalt kun kunne spørge til lydforholdene generelt. Ydermere er det svært at få en objektiv vurdering af lydforholdene, idet vurderingen ofte vil påvirkes af fx medarbejdernes humør³³, andre arbejdsmiljøforhold og det psykiske arbejdsmiljø.

Ved at bede medarbejderne om at registrere og vurdere de enkelte lydkilder var tanken, at man kunne få en mere fyldestgørende og retvisende vurdering. Samtidigt får man et lydbillede, som knytter sig til den enkelte arbejdsplads, og det bliver muligt at sige noget om, hvordan medarbejderen på én arbejdsplads oplever lydforholdene fra de andre arbejdspladser i lokalet.

9.2.1

Udfyldelse af piletegningen

Hver medarbejder fik udleveret en plantegning af lokalet. Medarbejderen skulle sidde på sin plads, når skemaet blev besvaret. De lydkilder, som medarbejderen bemærkede i løbet af sin arbejdsdag, blev registreret og for hver lyd tegnede medarbejderen en pil fra lydkilden til sin arbejdsplads. Hver lydkilde blev navngivet og nummereret – se figur 3. Samtidigt angav medarbejderen for hver lydkilde, om denne forstyrrede eller ikke forstyrrede ved at sætte et kryds på en skala fra 0 (forstyrrer ikke) til 5 (forstyrrer meget). Derudover vurderede medarbejderen ved afkrydsning i lukkede svarkategorier, hvor ofte lyden forekom. For lydkilder, som var tale, vurderede medarbejderen hvor godt vedkommende forstod talen på en skala fra 0 (nemt at forstå) til 5 (vanskeligt at forstå). For mere om anvendelse af skalaer – se afsnit 9.3 og Appendix B.

Lydkilde 1: _____ (skriv her)

Du skal for lydkilde 1 besvare følgende:

Hvordan påvirker lyden dit arbejde? (sæt et kryds på linjen)

Forstyrrer ikke Forstyrrer meget

0 1 2 3 4 5

Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

Hele tiden Ofte Sommetider Sjældent Aldrig/næsten aldrig

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Hvis lydkilden omfatter tale, så besvar følgende:

Hvor godt forstår du samtalen? (sæt et kryds på linjen)

Nemt at forstå Vanskeligt at forstå

0 1 2 3 4 5

*Figur 3: Eksempel fra spørgeskemaundersøgelse:
Registrering og vurdering af lydkilde i forbindelse med piletegning*

9.2.2

Udarbejdelse af samlet piletegning

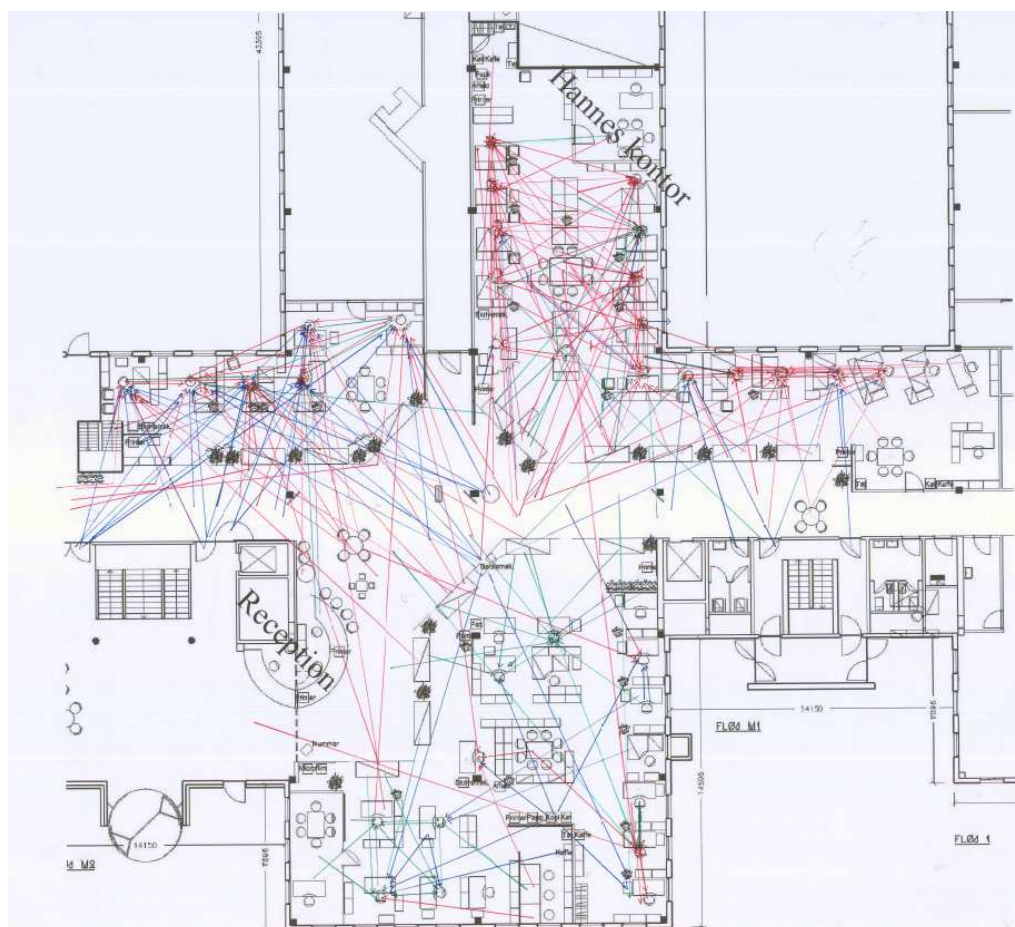
For at udarbejde den samlede piletegning samlede konsulenten alle de udfyldte piletegninger i en enkelt piletegning, hvor alle de pile medarbejderne havde tegnet blev overført til en ny plantegning af rummet.

For hver lydkilde, blev der tegnet en pil med en farve.

- Røde pile er tale, som forstyrrer (vurderet til 2 og derover)
- Grønne pile er tale, der ikke forstyrrer (vurderet til mindre end 2)
- Blå pile er anden støj end tale som forstyrrer (vurderet til 2 og derover).

Ved udarbejdelse af den samlede piletegning blev der skelnet overordnet mellem lydkilder, der indeholdt tale – fx telefonsamtaler og andre samtaler i rummet - og lydkilder, der ikke indeholdt tale – fx kopimaskiner, trinstøj, døre, der smækkede. Begrundelsen for at betragte tale som en særlig form for lydkilde, er at tale indeholder information. Både afsenderen og talers indhold har betydning for den, der kan høre den. Fx er det jo relevant at kunne høre hinanden, hvis man gerne vil have mulighed for at sparre med hinanden. Det må ikke glemmes at nogle lyde faktisk også er positive – nemlig lyde, der indeholder videndeling og støtte.

Resultatet blev et billede med en masse røde, grønne og blå pile, som viste hvordan lydene udbredtes i rummet. Ud fra koncentrationen af pile fik man et overblik over, hvor der evt. var nogle særligt problematiske akustiske forhold.



Figur 4 Samlet piltegning (Ballerup Rådhus)

9.2.3

Registrering af samarbejde og taleforståelighed

I førregistreringen ønskede vi et overblik over samarbejdsrelationerne og over talens udbredelse i rummet (taleforståeligheden). Derfor blev medarbejderne i forbindelse med spørgeskemaundersøgelsen bedt om på endnu en plantegning at markere henholdsvis de kolleger vedkommende samarbejder med, og hvilke kolleger vedkommende kan høre. Det samlede billede af samarbejdsrelationerne i rummet kan bruges som grundlag for placering af medarbejdere. For hver medarbejder kan man fx vurdere, om der er et sammenfald mellem de kolleger, medarbejderen kan høre og de kolleger medarbejderen samarbejder med. Er der ikke en vis grad af sammenfald mellem de to grupper, bør man overveje, om en anden placeringen af medarbejderne vil være mere gavnlig.

9.3 Spørgeskemaets forskellige spørgsmål

9.3.1 Baggrundsoplysninger

Spørgeskemaet indeholdt en række baggrundsspørgsmål, herunder køn, alder, fag, antal år på plads, samt hørelse og hørebesvær. Disse oplysninger blev anvendt i førregistreringen til at få et overblik over medarbejdersammensætningen og til at vurdere, om der var nogle medarbejdere, som der skulle tages særligt hensyn til i relation til hørebesvær. I efterregistreringen blev baggrundsoplysningerne brugt til at vurdere, om medarbejdergruppen havde ændret sig væsentligt i forhold til før interventionen.

9.3.2 Kortlægning af arbejdsopgaver og tid på arbejdsplads

I forbindelse med førregistreringen blev medarbejderne bedt om at angive tidsforbruget på en række arbejdsopgaver, som var prædefineret ud fra interviewet. Disse arbejdsopgaver var opdelt efter graden af koncentrationsbehov, idet forskning viser, at lydforholdene i højere grad påvirker løsning af koncentrationskrævende opgaver end mindre koncentrationskrævende³⁴. Endvidere blev medarbejderne bedt om at angive, hvor stor en del af arbejdstiden, man sidder på sin arbejdsplads. Det er relevant i forhold til forslagene til intervention at vide, om medarbejderne sidder på deres arbejdsplads og derfor er påvirket af lydforholdene hele arbejdstiden, eller om de bruger en stor del af deres tid på møder eller aktiviteter ud af huset. I efterspørgeskemaet blev medarbejderne spurgt, om deres arbejdsopgaver havde ændret sig væsentligt (blevet mere koncentrationskrævende) siden førregistreringen, samt hvor stor en del af arbejdstiden man sidder på sin arbejdsplads.

9.3.3

Tilfredshed med lydforholdene - herunder akustik og lydniveau

Spørgeskemaet indeholdt tre spørgsmål om lydforholdene, herunder akustik og lydniveau, og tilfredsheden med lydforholdene – se nedenfor.

Hvordan oplever du akustikken i rummet? (sæt et kryds på linjen)

Blød/
dæmpende

Hård/
rungende

-----|-----|-----|-----|-----|-----
0 1 2 3 4 5

Hvordan er det generelle lydniveau på din arbejdsplads? (sæt et kryds på linjen)

Meget lavt

Meget højt

-----|-----|-----|-----|-----|-----
0 1 2 3 4 5

Hvor tilfreds er du alt i alt med lydforholdene på din arbejdsplads? (sæt et kryds på linjen)

Meget tilfreds

Meget utilfreds

-----|-----|-----|-----|-----|-----
0 1 2 3 4 5

Figur 5 Uddrag af spørgeskema –om de generelle lydforhold

Der blev som nævnt anvendt afkrydsningsskalaer i spørgeskemaet som en anvendt metode til vurdering af lydforholdene³⁵. Det var muligt for medarbejderne at krydse af på et hvilket som helst punkt på skalaen, så det er ikke begrænset til at krydse af ved et bestemt tal. Teksterne, fx Meget lavt, knytter sig ikke til et bestemt tal, men viser hvilken vej skalaerne vender. Der er lavet stiplede linier i hver ende af skalaerne for at signalere, at det er muligt at krydse af udenfor henholdsvis nul og fem.

Der blev spurgt til disse vurderinger ved både før- og efterregistreringen for at undersøge, om medarbejdernes vurdering af tilfredshed med og oplevelse af lydforholdene havde ændret sig. Ydermere blev der ved efterregistreringen spurgt til, om medarbejderne selv oplevede en ændring i forhold til henholdsvis akustik, lydniveau og tilfredshed.

Vurderingen af de tre parametre er subjektiv, og der er en risiko for, at medarbejdernes opfattelse af skalaen ændrer sig over tid. Det kan være at forventningerne til, hvordan lyden bør være stiger, og dermed kan det påvirke vurderingen af lydforholdene i mere negativ retning, uden at lydforholdene har ændret sig. Eller det kan være, at forventninger til en ændring var større og derfor man svært ved at vurdere, at der er sket en ændring.

9.3.4 Lydes positive betydning

Der blev i spørgeskemaet spurgt til lydes positive betydning, det vil sige om samtale bidrager til henholdsvis faglig støtte og udvikling, samt til det sociale liv på kontoret, og hvor vigtigt dette er for den enkelte. Spørgsmålene er medtaget for at undersøge, om lydkilder også bidrager positivt til arbejdsmiljø, trivsel og videndeling på kontoret. Det har været et væsentligt fokus i dette projekt, at lyd ikke kun er belastende, men også nødvendigt og positivt i forhold til arbejdet i storrumskontorer.

9.3.5 Vurdering af tiltag

I efterregistreringen blev medarbejderne spurgt, hvordan de enkelte tiltag, som er gennemført, har haft betydning for arbejdsmiljøet, og hvordan ændringerne alt i alt har påvirket medarbejdernes udførelse af deres daglige arbejde. Tanken var, at medarbejderne skulle have mulighed for at vurdere de enkelte tiltag, da der kan være forskel på vurderingen alt efter, hvor man sidder i kontoret, hvilke arbejdsopgaver man har mm. Endvidere skulle der være mulighed for at lave en samlet vurdering af alle tiltag.

9.3.6 Vurdering af indsats

I efterregistreringen blev medarbejderne bedt om at vurdere, hvordan indsatsen, altså den samlede intervention, overordnet har haft betydning for deres arbejdsplads i forhold til henholdsvis akustik, arbejdsmiljø, samt rum og indretning. Fokus i projektet har været udnyttelse af henholdsvis akustikerens, arbejdsmiljøkonsulentens og arkitektens kompetencer, og derfor ønskede vi en vurdering af, om dette har skinnet igennem i projektet.

9.3.7 Vurdering og ønsker til handlemuligheder

Handlemuligheder er i dette projekt defineret som muligheder for at udføre sit arbejde i andre rum end storrumskontoret eller på andre måder. I vurderingen af medarbejdernes forhold er det relevant at vide, om der er mulighed for fx at anvende stillerum, at arbejde hjemme eller tage eventuelle problemer op med ledelsen. De i spørgeskemaet oplyste handlemuligheder blev defineret ved interviewet med nøglepersoner. Der blev i spørgeskemaet spurgt til vurdering af eksisterende handlemuligheder i forhold til, om handlemuligheden er til stede, hvor ofte den anvendes, og hvor vigtig den er. Tanken var ud over en registrering af de tilstedeværende handlemuligheder at undersøge, hvor ofte de anvendes, og hvor vigtige de er. Det skulle helst være sådan, at de handlemuligheder, som, medarbejderne mener, er vigtige, også er til stede. Dette overblik blev anvendt i udarbejdelsen af projektforslagene. I efterregistreringen blev der spurgt til en vurdering af nuværende tilgængelighed, og om de virker efter hensigten for at undersøge, om der er sket en ændring i tilgængeligheden af handlemulighederne. Dette var mest interessant i de virksomheder, som i forbindelse med interventionen har ændret eller tilføjet nogle handlemuligheder.

9.4

Usikkerhedsvurderinger (spørgeskemaer)

Der var generelt på virksomhederne kun en relativt lille medarbejdergruppe, som deltog i begge spørgeskemaundersøgelser, hvorfor datagrundlaget for at vurdere medarbejdernes oplevelse af ændringer i lydforholdene og tiltagene var relativt lille. Dette medfører en usikkerhed på resultaterne.

Sammenligning mellem lydens udbredelse i rummet angivet på den samlede piletegning og de akustiske målinger (DLf-matrice og hot-spot-plot) viser generelt, at der er god overensstemmelse mellem disse. Piletegningen er således en konsistent metode til at opnå et overblik over lydforholdene, som kan bruges til at planlægge de akustiske målinger så de blandt andet belyser de forhold, der er kommet frem i piletegningerne. Et sådant overblik over lydforholdene kan en spørgeskemaundersøgelse med traditionelt spørgeprincip ikke give.

Det var svært ud fra efterregistreringen at spore ændringer i medarbejdernes opfattelse af lydforholdene ud fra det traditionelle spørgeprincip. Det viste sig, at kun få af medarbejderne på de enkelte virksomheder vurderer, at der er sket ændringer i forbindelse med tiltag og indsats. Det er derimod tydeligt at se på den samlede piletegning, hvorvidt tiltagene har haft en betydning for det samlede lydbillede.

10 RESULTATER

I dette afsnit vil hovedresultaterne fra spørgeskemaerne blive præsenteret, efterfulgt af resultaterne af de akustiske målinger – dvs. de akustiske parametre, som beskrevet i afsnit 7: Efterklangstid, ækvivalent absorptionsareal, STI, DL_2 og DL_f . Detailresultater fra virksomhederne fremgår af bilagene til denne rapport.

10.1 Spørgeskema-resultater

I det følgende oplistes de væsentligste resultater fra spørgeskemaundersøgelserne for de enkelte virksomheder. For en yderligere beskrivelse og tegninger over kontorenes indretning henvises til bilagene for de 4 virksomheder (i alt 7 rapporter). Formålet med projektet er at beskrive medarbejdernes oplevelse af interventionerne, og derfor er det her de undersøgelsesresultater, der beskriver ændringerne, der er trukket frem. I de tre virksomheder, hvor der er gennemført interventioner, er der sket en udskiftning blandt medarbejderne, og ændringerne er derfor vurderet af ret få medarbejdere. Samtidig er kun en lille del af de foreslåede interventioner realiseret, og det er selvfølgelig en god grund til at de oplevede ændringer er ret små.

Analysen af spørgeskemaerne viste, at medarbejderne generelt har vanskeligt ved at vurdere ændringer i oplevelsen, samt tiltag og indsats. Det giver en betragtelig usikkerhed på analysens resultater.

10.1.1 Ballerup Rådhus:

Borgertorvet på Ballerup Rådhus er en servicefunktion, hvor der primært arbejder kontorassistenter.

Nedenfor ses en oversigt over nogle af resultaterne fra henholdsvis før- og efterregistreringen.

	Før	Efter
Antal svar (svar-%)	32 (78 %)	34 (77 %)
Gennemsnitsalder	45 år	42 år
Hørelse	91 % normal hørelse	97 % normal, 15 % med lidt hørebæsvær, 3 % med tinnitus
Antal medarbejdere, der deltog i begge undersøgelser	18	
Oplevelsen af rummets akustik	En tredjedel oplever, at akustikken er blevet mere blød / dæmpende, mens lidt over halvdelen mener, at der ikke er sket nogen ændring.	
Oplevelsen af lydniveauet	Ca. en tredjedel oplever, at lydniveauet er blevet lavere, mens lidt over halvdelen mener, at der ikke er sket nogen ændring.	
Medarbejdernes tilfredshed med lydforholdene	Næsten $\frac{3}{4}$ af medarbejderne oplever den samme tilfredshed som tidligere. De øvrige er blevet mere eller mindre tilfredse.	

Tabel 3. Hovedresultater fra spørgeskemaundersøgelsen på Ballerup Rådhus

Førregistreringen viste, at opfattelsen af lydforholdene generelt var negativ. En sammenligning af henholdsvis tilstedeværelsen og vigtigheden af handlemuligheder viste, at der var klart flere, som fandt stillerum vigtige, i forhold til muligheden for at anvende dem. Stillerum var netop også det højest prioriterede ønske.

Den samlede piletegning fra førregistreringen viste, at der var meget forskel på, hvor mange generende lyde medarbejderne oplevede i de forskellige områder af Borgertorvet. Det resultat, der overraskede mest var, at de største gener ikke forekom ude i det åbne område, hvor der er livlig aktivitet ved skrankerne, men derimod i de forholdsvis smalle "Fileter" (fx områder bag skrankerne) og ved facaderne, hvor lydens blev reflekteret mellem de hårde vægge og møbler. De medarbejdere, der sad her, havde generelt mere brug for koncentration, men det tillod det livlige lydmiljø ikke.

Det løsningsforslag, der blev udarbejdet søgte at løse dette problem ved at foretage en lydmæssig opdeling af kontoret i front-office og back-office og ved at tilføre betydeligt mere absorption på lodrette flader i de smalle fileter og langs facader.

Da Ballerup Kommune stod overfor en total ombygning af Borgertorvet, som lå ud over tidsplanen for dette projekt, valgte man ved interventionen at afprøve et udvalg af løsningsforslagene i det eksisterende miljø. Løsningsforslagets opdeling i front- og back-office blev derfor ikke realiseret i interventionen.

Efterregistreringen viste, at medarbejdergruppen ikke var ændret væsentligt med hensyn til medarbejdssammensætning, gennemsnitsalder og hørelse. Opfattelsen var at lydniveauet var uændret, men tilfredsheden med lydforholdene var blevet større.

Kun få af medarbejderne vurderede, at der var sket ændringer i forbindelse med tiltag og indsats, og det var svært for dem at vurdere de enkelte tiltags betydning. Der er dog nogle medarbejdere, som giver en positiv vurdering, og kun få som giver en negativ vurdering.

Den samlede piletegning viser en tydelig ændring i forhold til før, og det vurderes at piletegningen er en tydeligere indikator for medarbejdernes oplevelse af situationen før og efter, end spørgeskemaet.

Generelt er der angivet lige så mange forstyrrende mekaniske lydkilder som ved første spørgeskemaundersøgelse. Der er dog heller ikke gjort noget i projektet for at mindske disse.

10.1.2

Grontmij | Carl Bro A/S:

Grontmij | Carl Bro er en rådgivende ingeniørvirksomhed, som løser typiske ingeniøropgaver inden for byggeri, anlæg mm.

	Før	Efter
Antal svar (svar-%)	30 (63 %)	39 (svar-% ej beregnet)
Gennemsnitsalder	41 år	42 år
Hørelse	90 % normal hørelse, men også 13 % med hørebesvær	78 % normal, men også 22 % med lidt hørebesvær
Antal medarbejdere, der deltog i begge undersøgelser	17	
Oplevelsen af rummets akustik	3 medarbejdere oplever, at akustikken er blevet mere blød / dæmpende, mens 3/4-del af medarbejderne mener, at der ikke er sket nogen ændring.	
Oplevelsen af lyd-niveauet	Lidt over halvdelen af medarbejderne oplever ikke, der er sket en ændring af lyd-niveauet, mens 3 mener, at det er blevet højere, og 4 at det er blevet lavere.	
Medarbejdernes tilfredshed med lyd-forholdene	3 er blevet mere utilfredse med lydforholdene, mens 2/3 ikke mener, at deres tilfredshedsniveau er ændret.	

Tabel 4. Hovedresultater fra spørgeskemaundersøgelsen hos Grontmij | Carl Bro. Interventionen begrænsede sig til at lukke mellem kontor og reception. I interventionsperioden blev antallet af medarbejdere øget og kontoret udvidet med et ekstra rum

Førregistreringen blev besvaret af 30 personer, svarende til ca. 63% af medarbejderne. Registreringen viste, at opfattelsen af lydforholdene generelt er positiv. Dog er støj kortlagt som problem i arbejdspladsvurderingen. Der er mange tilgængelige handlemuligheder, og der er god overensstemmelse mellem de handlemuligheder, som respondenterne siger, er vigtige, og de som er til stede.

I hovedtræk viste den samlede piletegning fra førregistreringen, at en del medarbejdere oplevede lydgener fra receptionen, hvortil der var åben forbindelse og at det er medarbejderne tæt ved vinduerne, der angiver flest generende lyde.

Der var en del forskellige mekaniske lydkilder, både støj indenfor og udefra.

I løsningsforslaget blev der fokuseret på at mindske lydgenerne fra receptionen og at tilføre mere absorption på lodrette flader, især vinduesbånd og nøgne vægge.

Ved interventionen realiserede virksomheden et af de fremlagte løsningsforslag, nemlig aflukning mellem kontor og reception. Samtidig med interventionen blev kontoret udvidet, idet et tidligere trykkerum blev inddraget som kontor. Antallet af medarbejdere i kontoret steg fra før- til efterregistreringen.

Efterregistreringen viste, der var flere, som vurderede lydniveauet som højt, og at tilfredsheden var mindsket. Den generelle hørelse var blevet dårligere, men det kan dog ikke være hele forklaringen på, at det ser ud til, at lydforholdene er blevet mindre gode. Der er primært i den del af storrummet, der støder op til det tidligere trykkeri, at medarbejderne opfatter lydniveauet som højere og er mindre tilfredse. Dette rum er lille og med hårde vægge.

Kun få af medarbejderne vurderede, at der er sket ændringer i forbindelse med tiltag og indsats. Der er dog ca. 1/5 af medarbejderne, som angiver, at indsatsen har haft en positiv betydning for henholdsvis akustikken, arbejdsmiljøet, samt rum og indretning. Der er ingen, som angiver, at det har haft en negativ betydning.

Den samlede piletegning^{SSSS} fra efterregistreringen viser tydeligt, at den forstyrrende støj fra receptionen er forsvundet. Men samtidig viser den, at den nye dør frembringer noget forstyrrende støj, når den åbnes og lukkes. Inde i selve storrummet ser det ud til, at der er blevet mere forstyrrende tale – det gælder især i hjørnet og i den sydøstlige del af kontoret. Det kan hænge sammen med, at der er blevet flere mennesker i kontoret. Døre og trinstøj bliver stadig registreret som forstyrrende ligesom snak og maskinstøj fra kafferum og kopirum

10.1.3

Danske Bank:

Danske Banks IT-afdeling tager sig af udvikling og forvaltning af IT-systemer til hele banken.

De fleste medarbejdere er IT-udviklere eller forretningsudviklere. Flere afdelinger er placeret i det samme storrumskontor. To af afdelingerne indgik i projektet, mens resten ikke deltog. Konklusionerne fra projektet dækker derfor kun et mindre område af storrummet.

Da der ikke er gennemført et interventionsprojekt, fremhæves her medarbejdernes vurdering af lydniveau og deres tilfredshed i "før-situationen".

SSSS

På piletegning nr. 2 er grundlaget ændret en smule, så pile tegnes røde for alle lyde, der er 2 og derover, grønne for alle lyde under 2 og blå for alle lyde for 2 og derover. På den første tegning var der yderligere et kriterium, at lydene skulle forekomme ofte eller hyppigt. Det betyder, at der er kommet lidt flere pile med i nr. 2 tegning, da lyde der forekommer sommetider (18 pile) og sjældent (5) også er medtaget.

	Før
Antal svar	53
Gennemsnitsalder	43 år
Hørelse	77 % normal hørelse, men også 21 % med hørebesvær
Opfattelse af lydniveau	68 % vurderer det som højt
Tilfredshed med lydforholdene	72 % er tilfredse

Tabel 5. Hovedresultater fra spørgeskemaundersøgelsen hos Danske Bank.

Førregistreringen viste, at opfattelsen af lydforholdene generelt er negativ. En sammenligning af henholdsvis tilstedeværelsen og vigtigheden af handlemuligheder viste, at der var klart flere, som fandt stillerum vigtige, i forhold til muligheden for at anvende dem. Stillerum var netop også det højest prioriterede ønske.

Der blev lavet en samlet piletegnings for hver af de to undersøgte afdelinger.

Begge piletegninger viste, at områderne var meget belastede af støj. Der var megen tale, der forstyrrede, og mange af lydkilderne lå langt væk fra det område, som medarbejderne sad i. Lyden bevægede sig altså langt i rummet..

I forhold til tale, var der relativt få mekaniske lydkilder, som generede. Der var dog mange forskellige mekaniske lydkilder.

Afdelingerne var omgivet af hårde skærmvægge. Piletegningerne viste at i særlig en af afdelingerne bevægede lyden sig hovedsagelig inden for området afgrænset af skærmvæggene. De fleste medarbejdere i dette område angav, at de var forstyrret af kollegerne.

Danske Bank valgte at de ikke ville gennemføre interventioner, og der er derfor ingen efterregistreringer.

10.1.4

JJW Arkitekter:

JJW Arkitekter er en arkitektvirksomhed, som arbejder projektorienteret om byggeopgaver. De fleste medarbejdere er arkitekter og konstruktører.

	Før	Efter
Antal svar /svar-%)	24 (ca. 50%)	34 (63 %)
Gennemsnitsalder	36 år	37 år
Hørelse	88 % normal hørelse, men også 13 % med hørebesvær mm.	85 % normal, men også 15 % med lidt hørebesvær og 8 % med tinnitus
Antal medarbejdere, der deltog i begge undersøgelser	10	
Oplevelsen af rummets akustik	8 ud af 10 oplever, at der ikke er sket nogen ændring af akustikken.	
Oplevelsen af lydniveauet	Lidt over halvdelen mener ikke der er sket en ændring.	
Medarbejdernes tilfredshed med lydforholdene	Lidt over halvdelen oplever den samme tilfredshed som tidligere.	

Tabel 4. Hovedresultater fra spørgeskemaundersøgelsen hos JJW.

Førregistreringen viste, at opfattelsen af lydforholdene generelt var positiv. Der var mange tilgængelige handlemuligheder, og der var god overensstemmelse mellem de handlemuligheder, som respondenterne angav som vigtige, og de som var til stede.

Den samlede piletegning viste, at der var nogle enkelte støjkloder der forstyrrer – især var der forstyrrende støj fra hemsens og projektrummenes. Det var primært de personer, som sidder umiddelbart op af projektrummenes, som følte sig forstyrret af lydkilder herfra. Lyden fra hemsens blev kastet ned i arbejdsområdet.

Den samlede piletegning viste med al tydelighed, at lyden udbredte sig på tværs af rummet og ikke på langs. Der er da også opstillet lyddæmpende foranstaltninger i form af reoler og opslagstavler, som forhindrer lydens udbredelse på langs i rummet.

Der var relativt få mekaniske lydkilder, som generede.

I det løsningsforslag, der blev udarbejdet, blev der lagt vægt på at dæmpe taleniveauet fra hemsens ved at opsætte lydabsorbenter på facade og ved at nedhænge lydabsorberende frithængende tekstiler ved balkonforkanten. Desuden blev afskærmningen mellem projektrummenes og de øvrige områder forbedret. Grundlæggende var der tale om små lokale justeringer, idet forholdene generelt var tilfredsstillende.

Efterregistreringen viste, at medarbejdergruppen ikke var ændret væsentligt med hensyn til medarbejdssammensætning, gennemsnitsalder og hørelse. Opfattelsen af lydniveauet var ikke ændret, men tilfredsheden med lydforholdene var blevet mindre.

Kun få af medarbejderne vurderede, at der var sket ændringer i forbindelse med tiltag og indsats, og det var svært for dem at vurdere de enkelte tiltags betydning. Samtidigt var det et meget lille antal, som besvarede begge spørgeskemaundersøgelser.

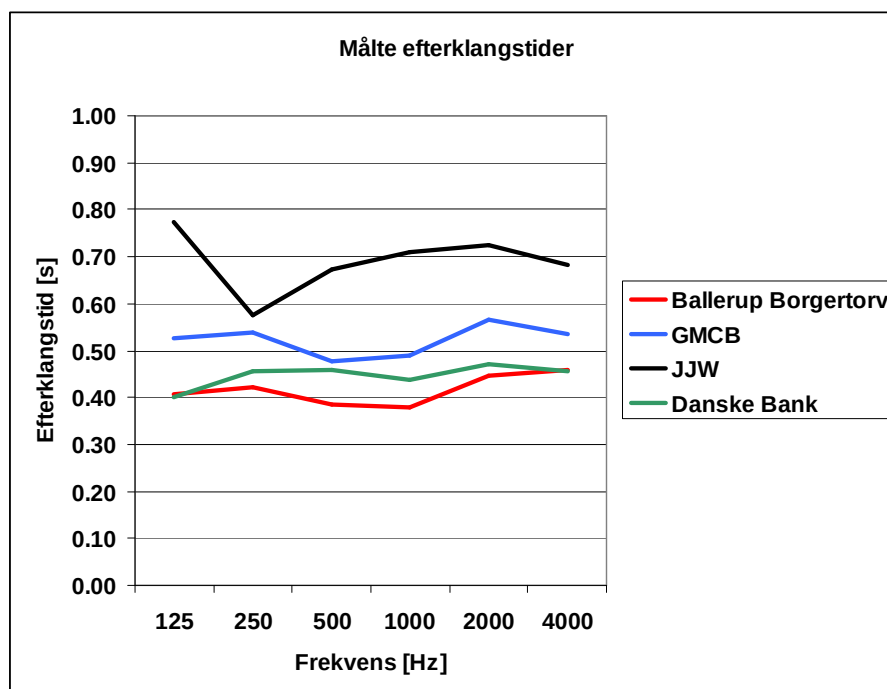
Den samlede piletegning for efterregistreringen viste igen med al tydelighed, at lyden udbreder sig på tværs af rummet og ikke på langs. Der blev også denne gang angivet lydkilder fra hemsen og projektrummen, men vurderingen var ændret, idet medarbejderne angav at lydkilderne nu ikke forstyrrede og/eller forekom sjældent. Det var tydeligt, at der var færre gener fra tale end ved sidste spørgeskemaundersøgelse, hvilket indikerede, at lydforholdene var blevet bedre. Der var heller ikke i samme grad som ved første spørgeskemaundersøgelse enkeltpersoner, der blev nævnt som lydkilder.

Piletegningen viser, at tiltagene, hvor der opsat absorberende på facadevægge i projektrummen, skærmende absorberende vægge foran projektrummen, samt absorberende på hemsen har haft en positiv betydning for lydforholdene.

10.2 Akustiske måleresultater

10.2.1 Efterklangstider og ækvivalente absorptionsarealer

Resultaterne af de traditionelle målinger af efterklangstid, ækvivalent absorptionsareal og STI i de fire virksomheder før interventionerne er vist i nedenstående figur pr. 1/1-oktav og i tabellen som middelværdier for frekvensområdet 125 – 4000 Hz:



Figur 6 Efterklangstid pr. 1/1 oktav i de 4 virksomheder

		Ballerup Borgertorv	GMCB- Odense	Danske Bank	JJW
Efterklangstid [s] 125 – 4000 Hz	Middelværdi	0,40	0,52	0,66	0,46
	Standardafv.	0,07	0,05	0,07	0,07
Lofthøjde [m]		2,70	3,90	3,20	6,00
Ækvivalent absorptionsfaktor i forhold til gulvarealet [m ² S] 125 – 4000 Hz		1,06	1,21	1,16	1,40
STI	Middelværdi	0,79	0,74	0,70	0,78
	Standardafv.	0,05	0,05	0,07	0,05

Tabel 7. Efterklangstid, lofthøjde, ækvivalent absorptionsfaktor samt STI for kontorerne i de 4 virksomheder. Bemærk, at middelværdien for den ækvivalente absorptionsfaktor er middel af faktorerne beregnet pr. 1/1-oktav.

Som det fremgår af tabellen, varierer den gennemsnitlige efterklangstid mellem 0,40 og 0,66 sekunder. I alle fire virksomheder ses en stigning i efterklangstiden fra 2000 Hz og op.

Den ækvivalente absorptionsfaktor (det ækvivalente absorptionsareal / gulvareal) varierer mellem 1,06 og 1,40, dvs. at alle de storrums, der indgår i projektet, overholder eller er tæt på at overholde de seneste krav fra Arbejdstilsynet og anbefalingerne i BR-08.

Taleforståeligheden er sammenlignelig og overordentlig god i alle 4 kontorer.

10.2.2 Lydudbredelsesparametrene DL_2 og DL_f

Parameterene DL_2 og DL_f beskriver følgende forhold for lydens udbredelse fra en kilde:

- DL_2 beskriver lyddæmpningen i dB per afstandsfordobling
- DL_f beskriver lydtrykniveauet i forhold til lydudbredelse i frit felt

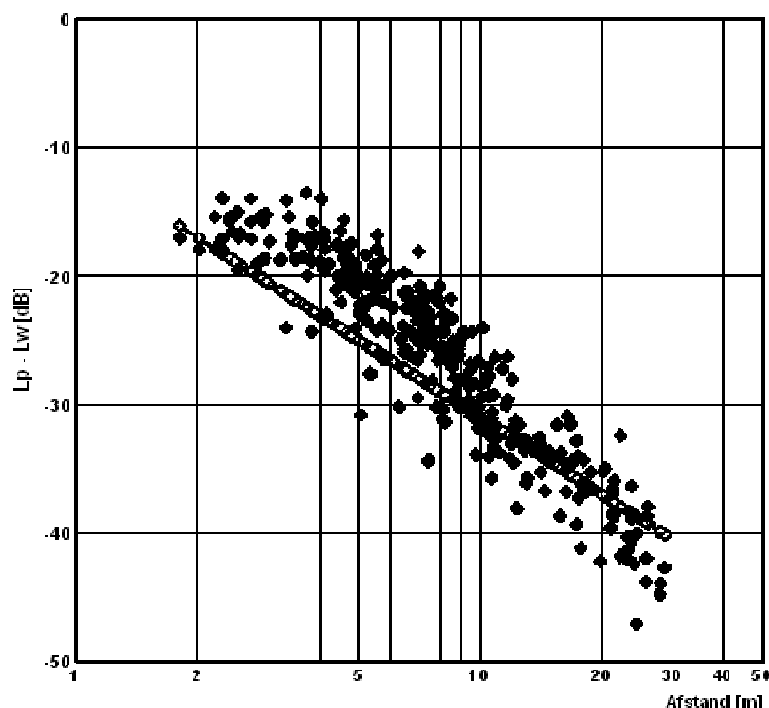
Som led i undersøgelserne med at beskrive og karakterisere de lydmæssige relationer mellem de enkelte arbejdspladser blev der ved alle før-målingerne målt et stort antal relationer jævnt fordelt over de enkelte kontorer. Dette står i modsætning til de målinger, der blev udført efter inventionerne, hvor der i stedet fortrinsvis er målt efter linjer gennem kontorerne som beskrevet i DIS/ISO 3382-3.

Før-målingerne var langt mere omfattende, end man normalt ville vælge i en rådgivningssituation. Her vil man måske vælge at måle efter et repræsentativt antal linjer gennem rummet, eventuelt suppleret med et antal udvalgte plads-til-plads-relationer, hvis der er særlige forhold, der ønskes belyst. Efterfølgende kan man så opbygge en ODEON-model, kalibrere den mod målingerne og derefter beregne alle de resterende parameterværdier.

Her præsenteres i store træk resultaterne af før-målingerne. Der henvises til de 4 mapper med løsningsforslag, der er anbragt i bilag for flere detaljer.

For hver virksomhed er resultaterne afbildet i en lydudbredelsesgraf. Figur 7, viser et eksempel herpå fra Ballerup Borgertorv. Grafen viser en punktsværmen og en række punkter som følger en skrå, ret linie. Den vandrette akse beskriver afstanden fra kilden og den lodrette akse beskriver det relative lydniveau (lydtrykniveau minus lydeffektniveau). Punktsværmen refererer til de mange relationer mellem arbejdspladserne (plads til plads relationer) og punkterne på den rette linie svarer til lydudbredelsen i frit felt, som jo aftager 6 dB, hver gang afstanden fordobles. Det ses, at niveauerne varierer meget både i det relativt nære felt og på større afstande. DL_f aflæses som den lodrette "afstand" i dB mellem et punkt i punktsværmen og den skrå linie. For afstandsområdet 4 – 10 meter ses f.eks. at DL_f varierer mellem ca. 0 og +10 dB, idet der ses bort fra enkelte isolerede punkter, der kan have en lavere DL_f -værdi fordi de f.eks. er skærmet. Punktsværmens hældning er lidt stejle-re end den rette linie for udbredelse i frit felt og DL_2 er derfor større end 6 dB.

En beregning af DL_2 giver som resultat 9 dB, men det kan diskuteres, om det giver mening at beregne en værdi for DL_2 , når punkterne repræsenterer lydudbredelse i mange retninger. Ydermere er der tale om et deludsnit af alle de mulige plads-til-plads-relationer, hvor især relationer over store afstande er forholdsvis svagt repræsenteret. I dette projekt er det derfor valgt at se på variationen af DL_f over et større afstandsområde.



Figur 7. Eksempel på målte værdier af DL_f for et udvalg af plads-til-plads-relationer. Vandret akse: Afstand til kilde. Lodret akse relativt lydniveau

Kontor	Variationsområde for DL_f i det relative nærfelt
Ballerup Borgertorv	0 - +10 dB
GMCB-Odense	0 - +10 dB
Danske Bank	-5 - +8 dB
JJW	0 - +8 dB

Tabel 8. Oversigt over variationsområdet for DL_f målt ved plads-til-plads-relationer.

Det fremgår af tabellen, at der ikke er de store forskelle på kontorerne, når der anlægges gennemsnitsbetragtninger, som her. Danske Bank er lidt anderledes end de øvrige virksomheder, da der også er en del negative DL_f -værdier. Det skyldes at der er mange gennemgående skærmvægge i storrummet og derfor mange plads-til-plads-relationer, hvor de to pladser er på hver sin side af en skærm. Her vil DL_f typisk være negativ.

Det interessante ved sådanne målinger ligger i detaljerne, f.eks. når det bliver muligt at identificere de plads-til-plads-relationer, der har en høj DL_f -værdi. Det giver nemlig mulighed for at udpege de steder i kontoret, hvor den akustiske regulering gør størst gavn. Dette er beskrevet detaljeret i afsnit 8.2 om DL_f -matricen.

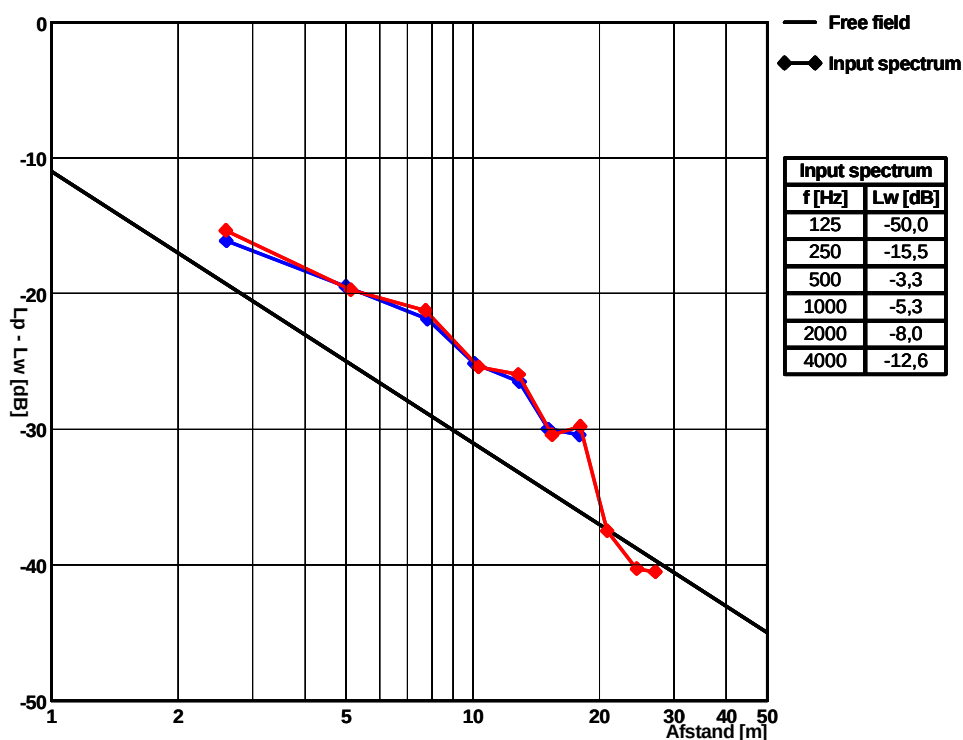
Reproducerbarhed

Projektet har givet mulighed for at belyse reproducerbarheden for udbredelsesmålinger.

I GMCB-Odenses BYG-afdeling, blev der nemlig ikke foretaget nogen interventioner udover, at det tidligere trykkeri blev inddraget i kontoret, men med kun en delvis åbning mellem den gamle og den nye del. Herudover var alting uændret mellem før- og eftermålinger, også møblernes og arbejdspladsernes indbyrdes placering.

Det gav anledning til at sammenligne to udbredelseskurver målt med 2 års mellemrum. I mellemtiden var der foretaget en rekalkibrering af den anvendte lydkilde, som havde vist at lydkilden lydeffektniveau var ændret en smule. Dette blev dog ikke afspejlet i målingen, der viste samme resultater i begge tilfælde.

Sammenligningen er vist i nedenstående figur, og det fremgår, at overensstemmelsen mellem de to målinger er overordentlig god.



Figur 8. Undersøgelse af reproducerbarhed ved måling langs den samme lydudbredelseslinje med 2 års mellemrum i GMCB-Odense, BYG. Den blå kurve er målt 9. november 2007 og den røde kurve er målt 15. december 2009.

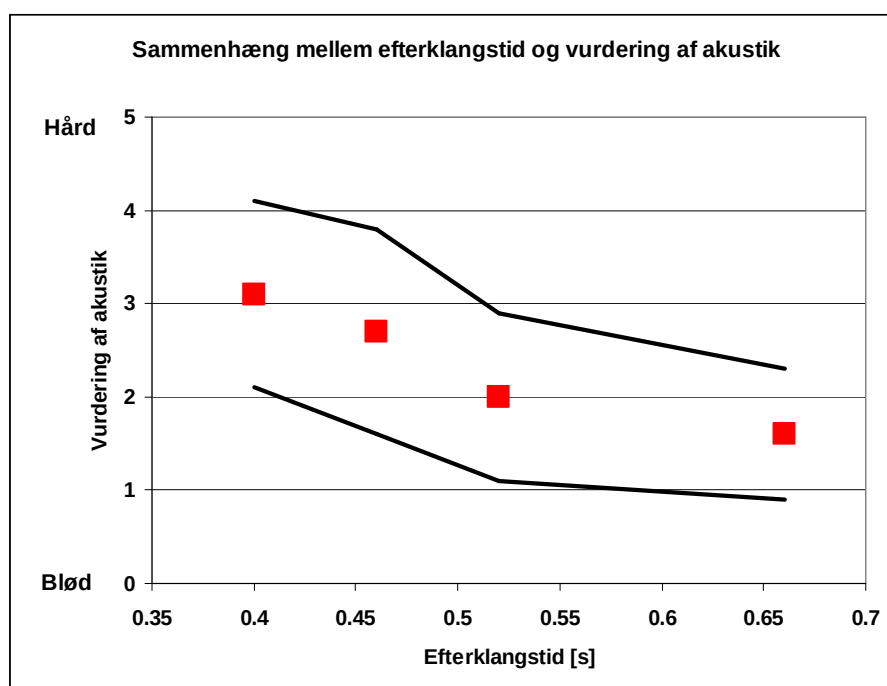
10.3 Samkøring mellem akustiske parametre og spørgeskemaer

10.3.1 Efterklangstid / Absorptionsareal og oplevet akustik

For et og samme rum vil der være den sammenhæng mellem efterklangstid og ækvivalent absorptionsareal, at efterklangstiden stiger, når det ækvivalente absorptionsareal falder. Tilsvarende vil rummet subjektivt opleves som mere "hårdt", når efterklangstiden stiger.

I spørgeskemaerne blev medarbejderne bedt om at afmærke på en skala, i hvilken grad de oplevede storrummet som hårdt eller blødt.

Nedenstående figur viser middelværdien og middelværdien +/- standardafvigelsen på besvarelserne i de fire kontorer som funktion af kontorenes efterklangstid.

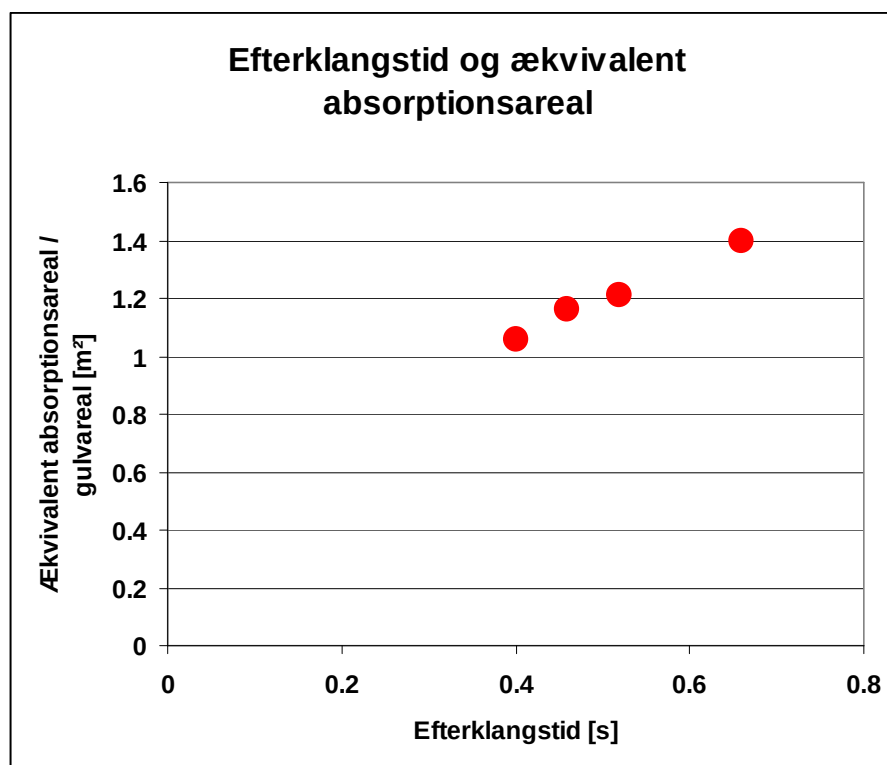


Figur 9. Sammenhæng mellem den målte middelefterklangstid og den subjektive oplevelse af akustikken i de 4 virksomheders storrum som "blød" eller "hård", plus og minus 1 standardafvigelse angivet med sorte linier.

Det er overraskende og stik imod normal erfaring, at medarbejderne oplever rummene som blødere, jo længere efterklangstiden er.

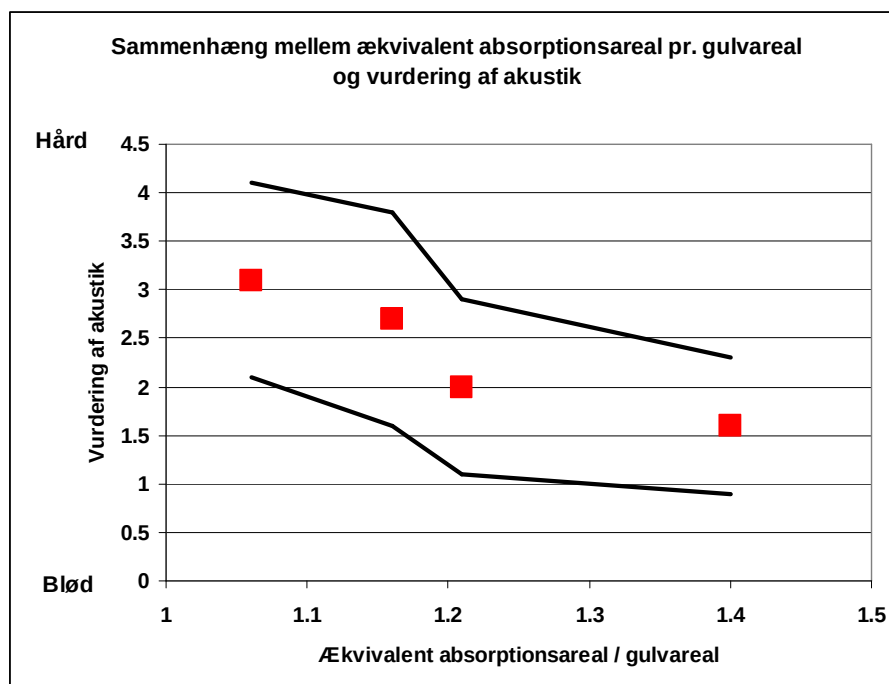
Der kan imidlertid opstilles en anden sammenhæng, som måske kan forklare dette.

De 4 kontorer, der indgår i projektet har meget forskellig lofthøjde, og når den ækvivalente absorptionsfaktor udregnes for hver af de 4 rum, viser det sig, at sammenhængen mellem rummenes efterklangstider og det tilsvarende ækvivalente absorptionsareal pr. gulvareal er næsten lineær.



Figur 10. Sammenhæng mellem efterklangstid og ækvivalent absorptionsareal i de fire kontorer, der indgår i undersøgelsen.

Afbildes medarbejdernes subjektive oplevelse af rummenes akustik nu i forhold til det ækvivalente absorptionsareal pr. gulvareal, ses derfor følgende sammenhæng:

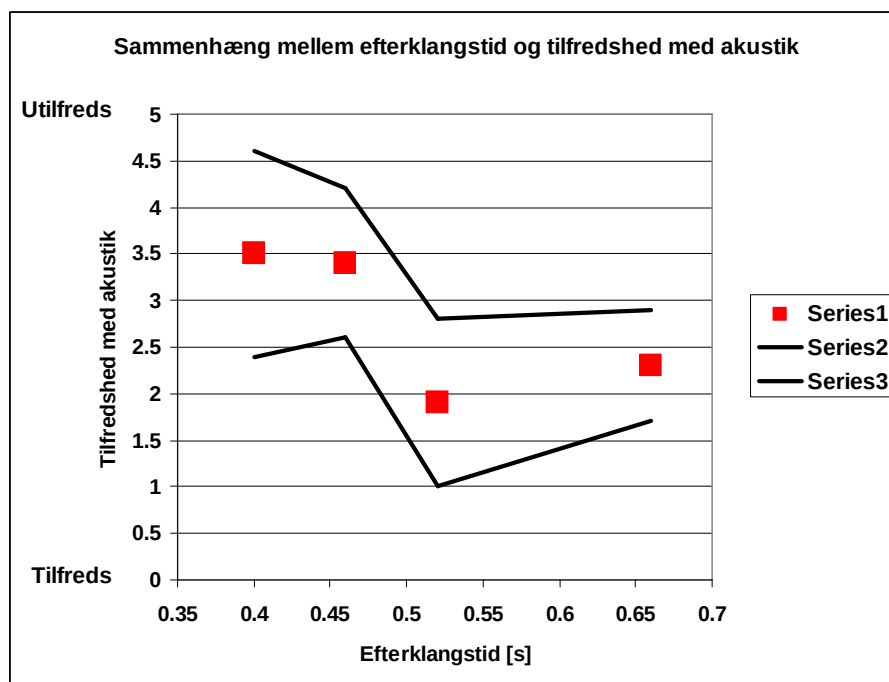


Figur 11. Sammenhæng mellem rummenes ækvivalente absorptionsareal pr. gulvareal og den subjektive oplevelse af storrummets akustik som "blød" eller "hård", plus og minus 1 standardafvigelse, angivet med sorte linier.

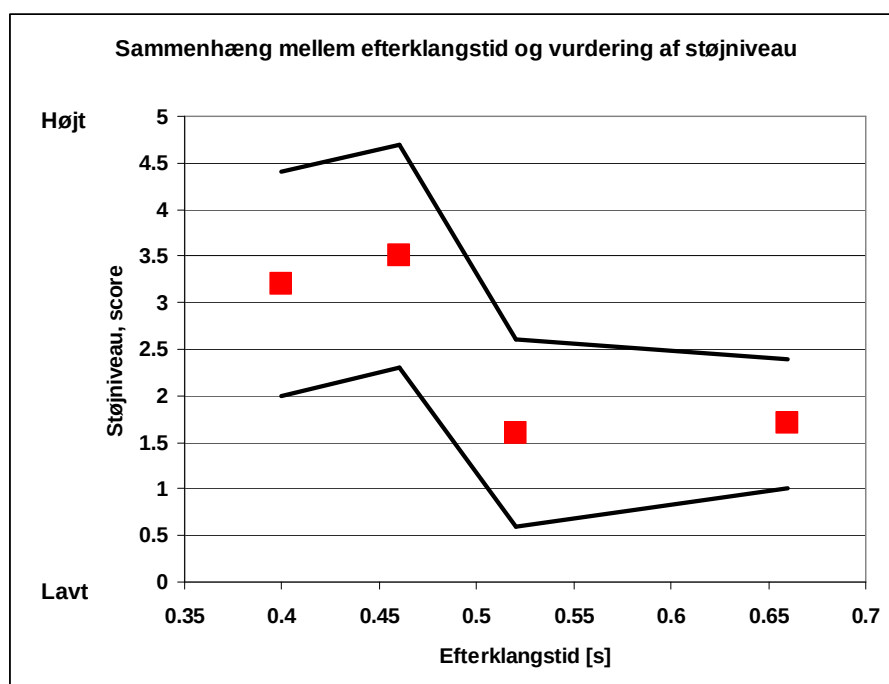
Denne sammenhæng er i overensstemmelse med den gængse erfaring, at når absorptionsarealet i et rum stiger, opleves akustikken som tilsvarende blødere.

Indenfor visse grænser er der altså noget der tyder på, at en længere efterklangstid oplevelsesmæssigt kan opvejes af, at det beregnede ækvivalente absorptionsareal pr. gulvareal stiger tilsvarende fordi lofthøjden øges.

Der ses ingen tilsvarende enkel sammenhæng mellem den målte efterklangstid og medarbejdernes subjektive oplevelse af lydniveau og deres tilfredshed med de akustiske forhold – se nedenstående figurer. Kurverne for det ækvivalente absorptionsareal pr. gulvareal vil være tilsvarende på grund af den næsten lineære sammenhæng mellem denne parameter og efterklangstiden.



Figur 12. Sammenhæng mellem efterklangstid og medarbejdernes tilfredshed med de akustiske forhold, plus og minus 1 standardafvigelse, angivet med sorte linier.

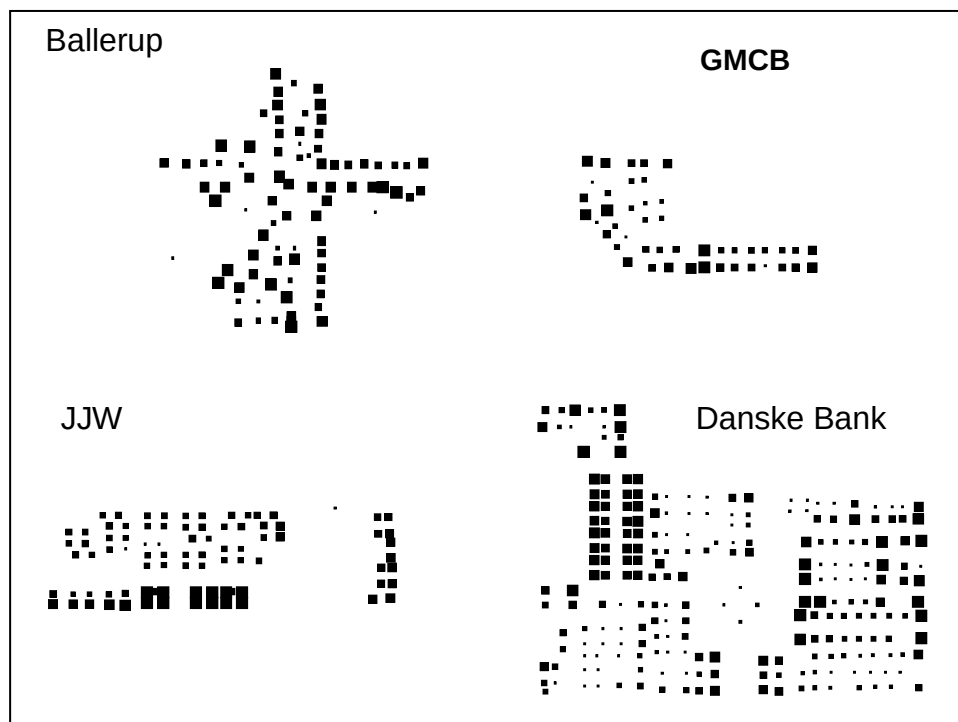


Figur 13. Sammenhæng mellem efterklangstid og medarbejdernes oplevelse af lydniveauet i kontoret, plus og minus 1 standardafvigelse angivet med sorte linier.

10.3.2

Erfaringer med beregning af nærfeltsforstærkning, D_{nfs}

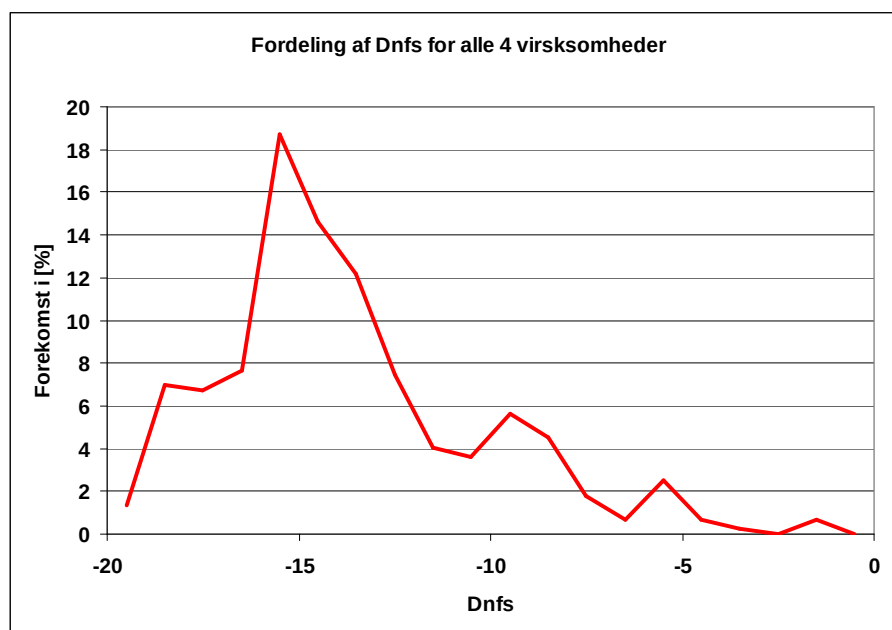
Som beskrevet i afsnit 8.3 er der udført beregning af nærfeltsforstærkningen, D_{nfs} , på alle arbejdspladser i de 4 undersøgte virksomheder. På figur 6 ses en grafisk afbildning af de beregnede værdier – i projektet kaldt hot-spot-plots – hvor de indtegnede kvadraters størrelse svarer til den beregnede værdi af D_{nfs} .



Figur 14. Hot-spot-plots: Grafisk afbildning af de beregnede værdier for nærfeltsforstærkningen, D_{nfs} .

Det fremgår af de viste figurer, at D_{nfs} varierer en del indenfor det samme kontor, og det er projektets hypotese, at variationen i de beregnede værdier repræsenterer den lokale forstærkning på arbejdspladserne, og dermed også viser potentialet for at blive generet eller selv genere kollegerne.

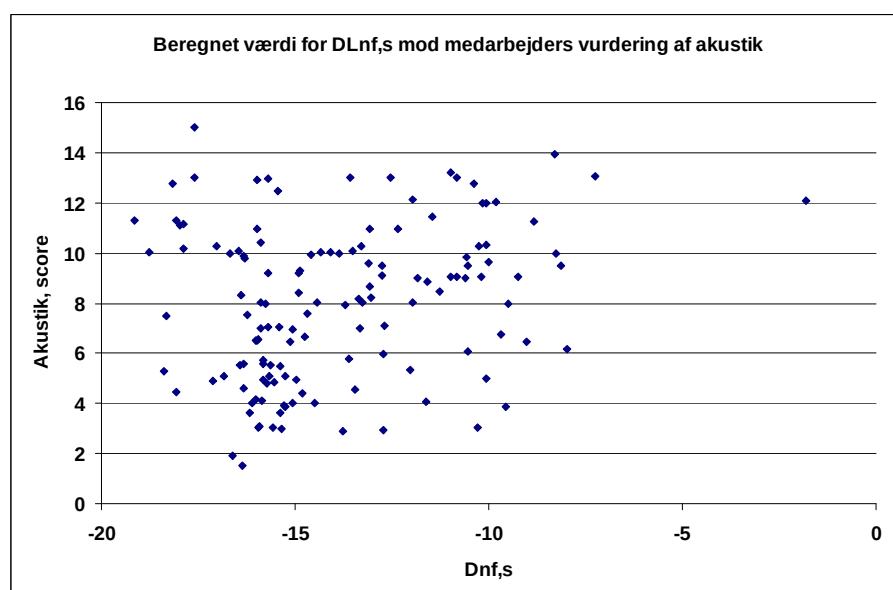
De beregnede værdier for D_{nfs} varierer i projektet mellem -1 og -20 dB med en middelværdi på -14 dB og en standardafvigelse på 3,5 dB. Fordelingen af D_{nfs} i de fire virksomheder tilsammen er vist i figur 15. Umiddelbart forekommer variationen i den beregnede parameter meget stor, og det er muligt at ODEON's beregningsalgoritmer endnu ikke er helt optimale til beregning af netop denne parameter.



Figur 15. Fordeling af beregnede værdier for D_{nfs} . Fordelingen er baseret på beregning af D_{nfs} på alle arbejdspladser i de fire virksomheder, i alt 444 arbejdspladser.

Det er så spørgsmålet, om der er en sammenhæng mellem den beregnede værdi for D_{nfs} på den enkelte medarbejders plads og medarbejdernes vurdering af de akustiske forhold.

Nedenstående graf i figur 16 viser sammenhængen mellem de beregnede værdier for D_{nfs} og medarbejdernes vurdering af de akustiske forhold (udtrykt ved summen af hver medarbejders score for vurdering af rumakustik, støjniveau og generel tilfredshed). Der er tilsyneladende en meget dårlig sammenhæng.



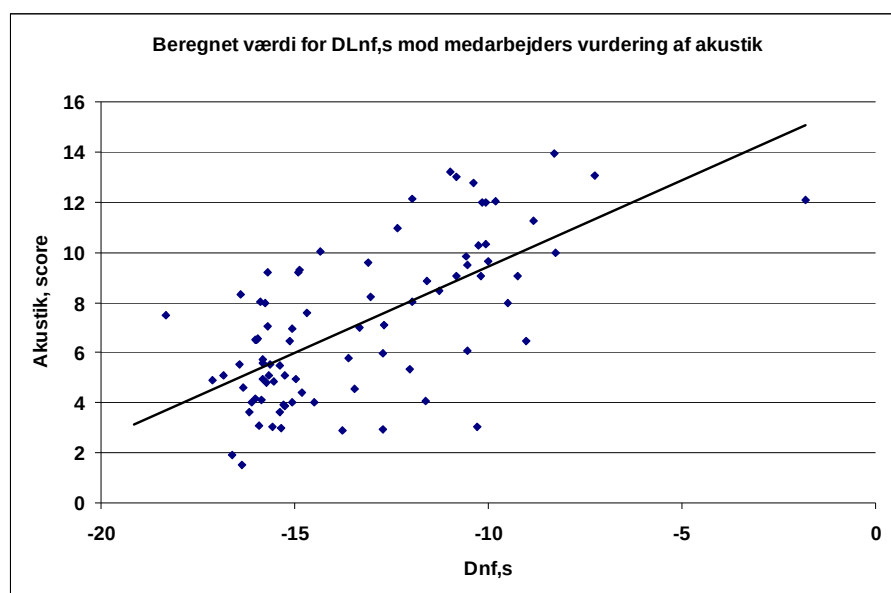
Figur 16. Sammenhæng mellem beregnede værdier for D_{nfs} og medarbejdernes score ved vurdering af de akustiske forhold.

En nærmere analyse viser dog, at datasættet fra Danske Bank bidrager væsentligt til spredningen i resultaterne. Udelades dette datasæt, fås en noget mindre spredning, og der ses tegn på en sammenhæng således at lavere værdier for $D_{nf,s}$ synes at svare til en lavere score i vurderingen af de akustiske forhold, hvilket er ensbetydende med at storrummet vurderes som havende blød akustik, et lavt støjniveau og at medarbejderen generelt set er tilfreds, se figur 17.

Ved vurdering af graferne er det vigtigt at huske på, at mens de beregnede værdier for $D_{nf,s}$ gælder for medarbejderens egen plads, så er medarbejderens vurdering hele tiden udtryk for den lydmæssige relation mellem egen plads og alle de øvrige kollegers pladser.

Dette medfører selvfølgelig, at der ikke kan forventes en entydig sammenhæng, og det kan måske også være en del af forklaringen på den noget større spredning i resultaterne fra Danske Bank.

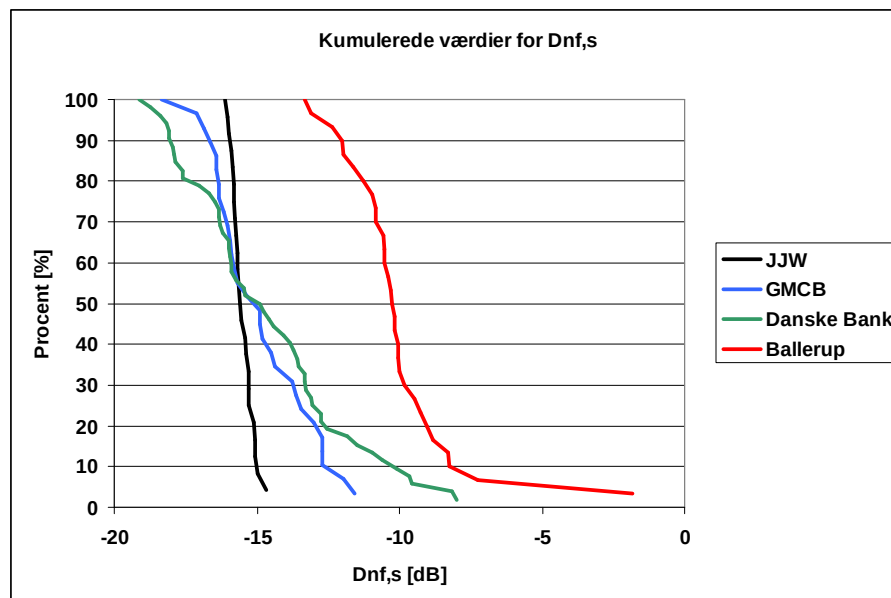
Dette kontor adskiller sig nemlig fra de øvrige ved, at det kun er en mindre del af medarbejderne, der har deltaget i undersøgelsen, og deres vurdering af de akustiske forhold kan være påvirket af, at der er nogle områder, hvor der er stor nærfeltsforstærkning. I det omfang medarbejderne på disse pladser generer de medarbejdere, der indgår i undersøgelsen, kan dette resultere i en betydelig spredning i resultaterne.



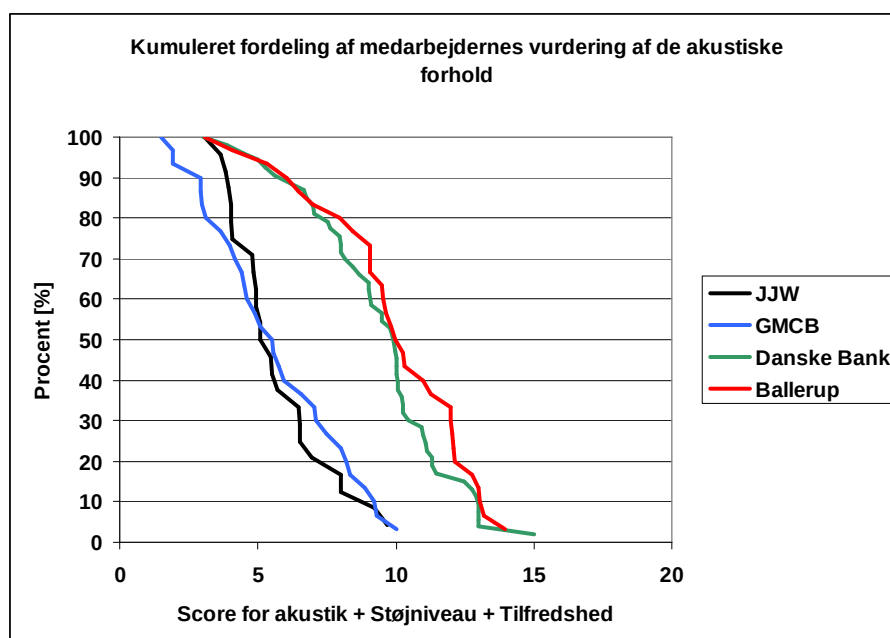
Figur 17. Sammenhæng mellem beregnede værdier for $D_{nf,s}$ og medarbejdernes score ved vurdering af de akustiske forhold, hvor data fra Danske Bank er udeladt.

En anden måde at vurdere anvendeligheden af $D_{nf,s}$ på er ved at kigge lidt mere overordnet på datasættene.

I de to følgende figurer er dette forsøgt. Figur 18 viser de beregnede værdier for $D_{nf,s}$ for alle de pladser, hvor medarbejderne har vurderet de oplevede akustiske forhold, her som en kumuleret fordeling i [%]. Figur 19 viser tilsvarende medarbejdernes score ved vurdering af de akustiske forhold, her også som kumuleret fordeling.



Figur 18. Kumulerede kurver for beregnede værdier af $D_{Lnf,s}$ på alle de pladser, hvor medarbejderne har vurderet de akustiske forhold



Figur 19. Kumulerede kurver for medarbejdernes score ved vurdering af de akustiske forhold.

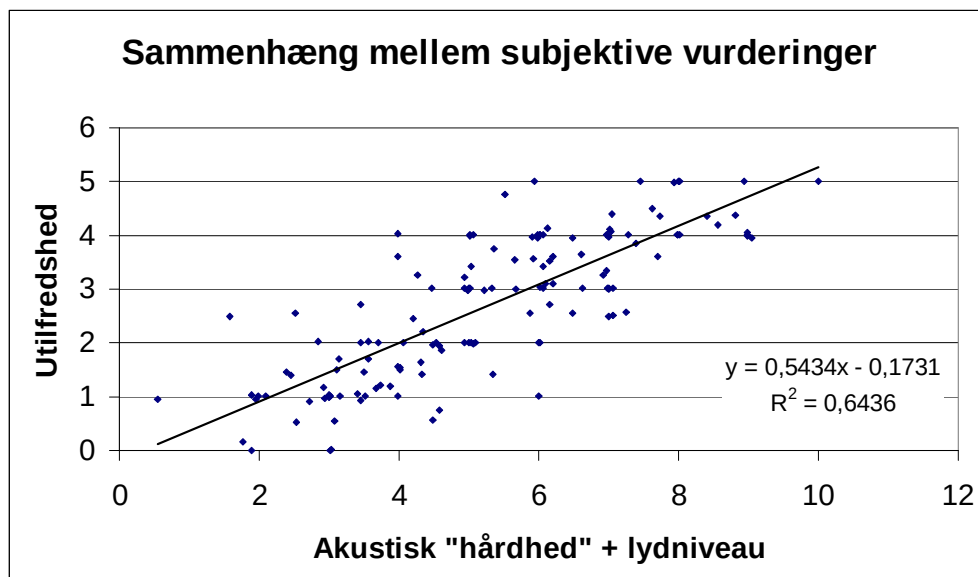
Hvis der i første omgang ses bort fra Danske Bank, ses den samme tendens i begge kurver: Ballerup Borgertorv udviser betydeligt højere værdier for $D_{nf,s}$ og medarbejdernes score end de to andre virksomheder, GMCB og JJW, som ligger nogenlunde ens i begge figurer.

I Danske Bank ses ikke den samme tendens, men der er dog omkring 10 % af de omkring 250 arbejdspladser i dette storrums, hvor værdien for $D_{nf,s}$ er på niveau med værdierne på Ballerup Borgertorv, og dette er måske nok til at de medarbejdere, der har deltaget i undersøgelsen opnår en høj score.

Endeligt kan andre faktorer såsom arbejdsmiljø, lysforhold m.m. også spille ind i medarbejderens vurdering.

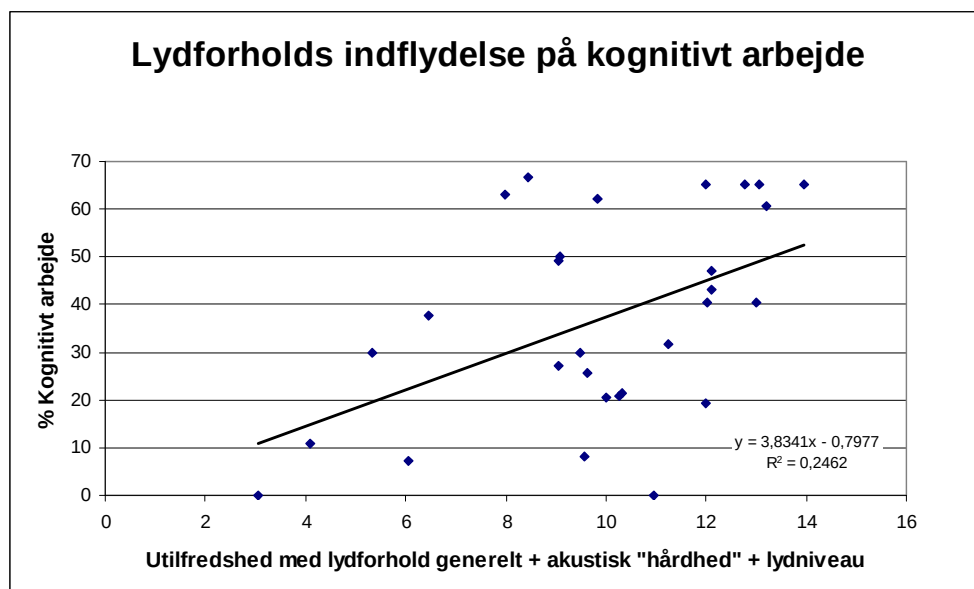
Det er projektets vurdering, at de fundne tendenser berettiger til at anvende parameteren $D_{nf,s}$ som et af flere redskaber til at udpege de arbejdspladser, hvor potentialet for at opnå forbedringer i storrums er størst. Generelt vil projektet opfordre til at der indhentes flere erfaringer med denne parameter, ligesom det er ønskeligt at parameterens betydning for de oplevede akustiske forhold undersøges nærmere, og at der udvikles en metode til at måle parameteren.

Tidligt i projektet blev det forsøgt afklaret hvilken sammenhæng der var mellem respondenternes generelle "Utilfredshed" med de lydmæssige forhold og de to andre generelle spørgsmål: hvor "Hård" akustikken opleves og hvor "Højt" lydniveauet opleves. Sammenhængen fremgår af figur 20. Det fremgår at tendensen går mod større utilfredshed når lydniveauet er højt og akustikken bliver hård.



Figur 20 Sammenhæng mellem forskellige subjektive vurderinger
Skala for hver subjektiv vurdering er "0 – 5" for hver parameter

Ligeledes blev det undersøgt om der i dette projekt kunne eftervises en sammenhæng mellem andelen af "kognitivt" arbejde og den samlede score for Utilfredshed, akustik og lydniveau. Figur 21 viser at der er en svag tendens til en sådan sammenhæng. Denne sammenhæng er vist i flere andre undersøgelser.



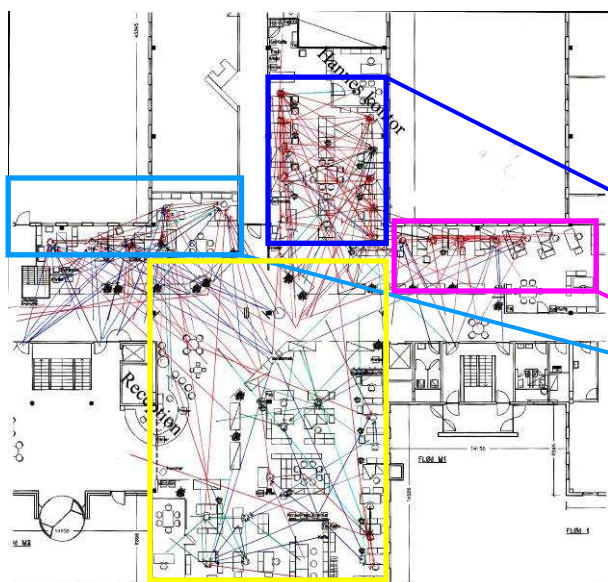
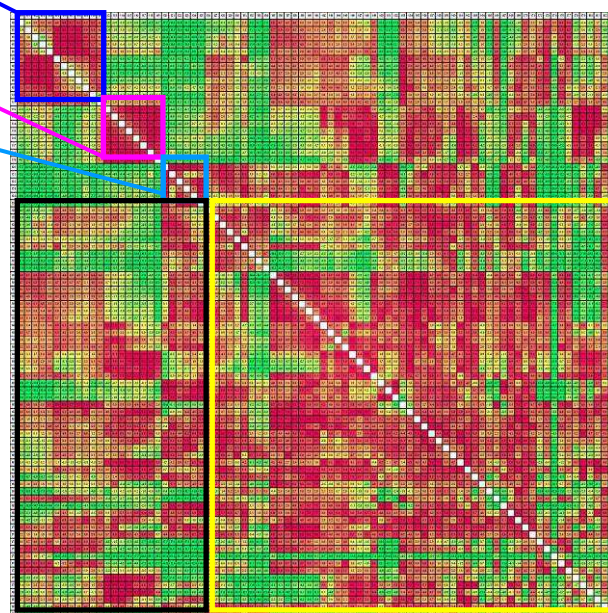
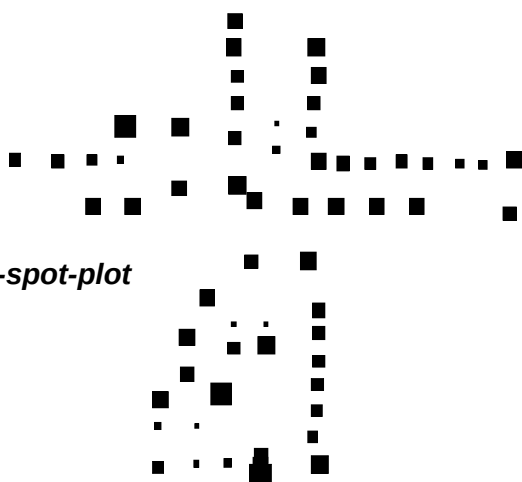
Figur 21 Akustikkens indflydelse på kognitivt arbejde (Ballerup Rådhus)
Skala for hver subjektiv vurdering er "0 – 5" for hver parameter.
Skala for kognitivt arbejde er 0 – 100 % af arbejdstiden.

10.3.3

Eksempel på samlet analyse af piletegning, DL_r-matrix og hot-spot-plot

Som tidligere nævnt er de løsningsforslag, der er udarbejdet til de 4 virksomheder bearbejdet i et tværfagligt forum. I dette forum var de tre grafiske værktøjer, der er beskrevet her i rapporten: Piletegning, DL_r-matrix og Hot-spot-plot vigtige redskaber til at få et detaljeret billede af lydudbredelsen i storrummene, og hvor der var behov for akustiske tiltag.

Her skal vises et enkelt eksempel på en sådan analyse. De tre illustrationer på figur 22 viser alle nogle særlige aspekter af lydudbredelsesforholdene og giver tilsammen et fyldestgørende billede.

Piletegning **DL_f -matrice****Hot-spot-plot**

Relationer mellem
skranker, åbent om-
råde og arbejdsplad-
serne i fileterne

Åbent område inkl.
skranker

Figur 22. Samlet analyse af piletegning, DL_f -matrice og hot-spot-plot.

De tre grafiske billeder af lydforholdene på Ballerup Borgertorv. Øverst til venstre, Piletegningen baseret på medarbejdernes udpegnings af de lydkilder, de oplever som generende – røde pile er tale, der kan høres og forstås. Til højre: DL_f -matricen for det samme område. Nederst: Hot-spot-plot, der viser nærfeltsforstærkningen, $D_{nf,si}$, grafisk.

Arbejdspladserne er nummeret så de arbejdspladser, der hører til samme område er nummeret fortløbende. Herved samles disse arbejdspladser i kvadrater omkring diagonalen i DL_f -matricen, som derved bliver mere overskuelig. På DL_f -matricen og Piletegningen er der indtegnet kvadrater, der viser, hvordan udsnit i matricen svarer til arbejdsområder i Piletegningen. De udsnit i matricen, der ligger udenfor diagonalen, vil da svare til relationerne mellem de forskellige arbejdsområder, som det er vist med kvadratet i nederste venstre hjørne af matricen. Det fremgår af matricen, at specielt de tre øverste kvadrater (omkranset af et mørkeblåt, tyrkis og lyseblåt rektangel) er meget "røde" svarende til høje værdier for DL_f internt i de tilsvarende arbejdsområder ("Filetterne") på Piletegningen. Der er også mange høje DL_f -værdier (= "røde felter") i det område i matricen, der repræsenterer det åbne område og skrankerne (omkranset af et gult rektangel), og ikke mindst er der mange høje DL_f -værdier i det område i matricen, der repræsenterer relationerne mellem det åbne område og arbejdspladserne i fileterne (omkranset af et sort rektangel). Derimod er der færre høje DL_f -værdier mellem de tre arbejdsområder i fileterne. Det samlede billede er, at der generelt er en stor rumforstærkning i storrummet, ikke mindst i fileterne, og at lyden udbreder sig langt uden af dæmpes væsentligt (= høje DL_f -værdier i relationerne mellem det åbne område og fileterne).

Det viste hot-spot-plot illustrerer, at den største nærfeltsforstærkning opleves på pladser, der er i hjørner eller tæt på en eller flere høje reoler, ligesom pladserne langs væggene generelt har en større nærfeltsforstærkning end arbejdspladserne ude i rummet.

Den Piletegning, som medarbejderne har genereret giver i store træk det samme billede. Der er mange røde pile internt i fileterne, men ikke så mange fra hver filet til de andre. Der er en del røde pile, der går fra områderne i fileterne til det store åbne område. Derimod er der ikke så mange røde pile internt i det åbne område, hvilket tyder på, at medarbejderne i dette område ikke oplever den forholdsvis store rumforstærkning, der ses i DL_f -matricen, som et stort problem. Dette kan forklares ud fra den organisatoriske synsvinkel, idet medarbejderne i det åbne område ikke har samme omfang af koncentrationskrævende arbejde som medarbejderne i fileterne.

Det overordnede billede af storrummet bliver, at der er for stor overhøring mellem "livlige" arbejdsområder (det åbne område), og områder, hvor medarbejderne har behov for at kunne koncentrere sig (fileterne). Samtidig er rumforstærkningen alt for stor i fileterne, hvilket både medfører at man forstyrres internt i hver filet, og at lydene fra det åbne område forstærkes i fileterne.

Ved det fysiske løsningsforslag er det derfor vigtigt at opnå en lydmæssig adskillelse mellem de arbejdsfunktioner, der har forskellige behov og at indføre betydelig mere lokal dæmpning internt i fileterne. Her kan DL_f matricen og hot-spot-plottene bruges til at vurdere, hvor indsatsen gør mest gavn. Den organisatoriske løsningsdel indeholder bl.a. forslag om funktionsopdeling, og er omtalt detaljeret i forslagsmappen. Det samme gælder behov for flere handlemuligheder.

10.3.4 Evaluering af tiltag (eftermålinger) i de tre virksomheder.

Sammenfattende har det været vanskeligt at uddrage generelle resultater vedrørende ændringen i de objektive akustiske forhold og den subjektive oplevelse heraf. Det skyldes at omfanget af de gennemførte interventioner har været ret beskeden.

I dette afsnit fremdrages derfor hovedkonklusionerne fra de rapporter, der omhandler evalueringen af hver enkelt virksomhed.

Ballerup Borgertorv

Ballerup Kommune har implementeret en del af løsningsforslagets ideer i et afgrænset område af Borgertorvet. Større indgreb, som f.eks. etablering af effektive afskærmninger i form af glasvægge er valgt fra.

På trods af dette ses der mindre, men positive, effekter af de implementerede tiltag, og det gælder både for de objektive akustiske parametre og for resultaterne fra spørgeskemaundersøgelserne.

På de akustiske parametre ses at det ækvivalente absorptionsareal er øget i det højfrekvente område og at frekvenssammensætningen af tale er ændret på afstande større end 5 meter, så der nu er dårligere taleforståelighed over større afstande og derfor mindre genevirkning.

Disse forventninger bekræftes af spørgeskemaundersøgelsen, der viser, at medarbejderne nu oplever rummet mere blødt / dæmpende end før, og tilsvarende opleves lydniveauet som lavere end før.

Den generelle tilfredshed med de akustiske forhold er dog ikke påvist at være ændret. Det kan hænge sammen med flere ting, f.eks. er der ikke arbejdet med at forbedre handlemuligheder og der er heller ikke gjort noget ved alle de mekaniske støjkluder, som medarbejderne har udpeget. Det er tillige en parameter, der er svær at måle, da man må regne med, at besvarelserne ikke kun er influeret af medarbejdernes oplevelse af akustik, men også arbejdsmiljø, indeklima, lysforhold osv.

Det er tilsyneladende ikke så enkelt for medarbejderne at vurdere de enkelte tiltag i forhold til arbejde og rumindretning. Den samlede vurdering er dog overvejende positiv og der er kun få, som giver en negativ vurdering.

Skærmningen opleves som positiv i det omfang den dæmper støjen og afskærmer medarbejderne visuelt fra borgerne, men det opfattes som negativt, når effekten bliver en opdeling indenfor arbejdsgrupperne.

JJW-Arkitekter

De udførte akustiske undersøgelser viser, at når der måles generelle akustiske parametre – efterklangstid, ækvivalent absorptionsareal eller generel lydudbredelse kan der ikke påvises nogen effekt af tiltagene.

Tilsvarende viser besvarelserne af de mere generelle spørgsmål vedrørende de akustiske forhold ingen sikre tegn på ændringer.

Måles der derimod mere specifikt på lydudbredelse fra udvalgte steder og i udvalgte retninger, kan der påvises forskelle i lydudbredelsen, som harmonerer med medarbejdernes udpegning og vurdering af enkelte lydkilder i spørgeskemaerne (pilediagrammerne).

Der er således fundet følgende sammenhænge mellem de akustiske målinger og spørgeskemaerne:

- De akustiske målinger viser at udbredelsen af tale har et højere niveau, når den sker på tværs af lokalet end når den sker på langs. Dette afspejler sig i pilediagrammerne ved at der er flere røde pile på tværs af lokalet end på langs af lokalet.
- De akustiske målinger viser tiltagene omkring projektrummen har resulteret i et lavere taleniveau fra projektrummen til det øvrige kontor. Tilsvarende viser pilediagrammet fra runde 2 langt færre røde pile fra disse rum end pilediagrammet fra runde 1.

I pilediagrammerne er der fundet færre røde pile fra balkonen i runde 2 - både fra biblioteket og fra arbejdspladserne - og der er heller ikke som i runde 1 udpeget enkeltpersoner som særlige støjkluder. Det har ikke været muligt at påvise en tilsvarende effekt i lydudbredelsen. Det kan dog delvis skyldes, at der savnes referencemålinger fra runde 1. Det er dog lige så sandsynligt at tiltagene ikke har effekt på lydudbredelsen, men derimod stimulerer til et lavere taleniveau, som vil resultere i mindre genevirkning.

GMCB-Odense

Resultaterne af den 2. undersøgelse er, at de akustiske forhold i kontoret generelt er dæmpet lidt. Ændringen er sket i BYG, hvor det tidligere trykkeri nu er inddraget i kontoret. I ANL er forholdene uændrede.

Måling af lydudbredelse viser, at rumforstærkningen i det tidligere trykkeri er noget større end i resten af kontoret, og at dæmpningen til den øvrige del af BYG er beskeden. Alt i alt fører dette til et øget lydniveau i BYG, som både afspejler sig i piletegningen og spørgeskemaerne fra 2. undersøgelse.

Den nye dør mellem reception og ANLÆGs-kontorafsnittet giver en effektiv lyddæmpning og undersøgelsen tyder på, at generne fra receptionen til kontoret er blevet elimineret.

10.4

Forsøg med andre parametre

I løbet af projektet har der været afprøvet en række parametre og beregningsmetoder og forskellige former for samkøring mellem svarene fra spørgeskemaerne og de objektive målte og beregnede parametre.

Mange af disse undersøgelser har ikke resulteret i et konkret brugbart resultat, fordi der har været alt for stor spredning på resultaterne. De medtages derfor ikke i denne rapport, hvor der i stedet fokuseres på de positive resultater og erfaringer, der kan hjælpe til bedre indretning af storrumskontorer.

En enkelt parameter skal dog kort berøres, fordi den er indeholdt i DIS/ISO 3382-3, nemlig r_D , radius of distraction.

Parameteren skal beskrive den radius, indenfor hvilken en medarbejder vil blive distraheret af tale fra kolleger. Værdien for r_D findes ved at kortlægge taleforståeligheden, STI, i stadig større afstand fra en valgt arbejdsplads. Ved beregningen anvendes et standardiseret taleniveau og derudover kræver metoden kendskab til efterklangstiden og baggrundsstøjen pr. 1/1-oktav i alle målepunkter på målelinjen.

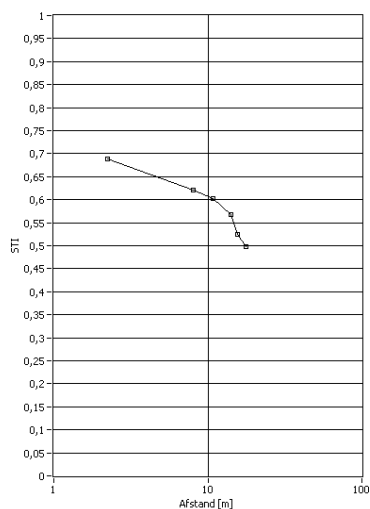
Med stigende afstand fra lydkilden vil værdien for STI falde, idet signal-/støjforholdet mellem lyden fra lydkilden og den generelle baggrundsstøj vil blive stadig ringere. Den afstand, hvor STI bliver mindre end 0,5 beskrives som radius of distraction eller r_D .

r_D er sikkert en udmærket parameter, når den anvendes til at dokumentere forholdene i et givet eksisterende storrum. Men ved projektering, hvor man er henvist til prediktering, har der vist sig at være ret store usikkerheder knyttet til bestemmelsen af r_D , som igen bygger på måling/beregning af STI.

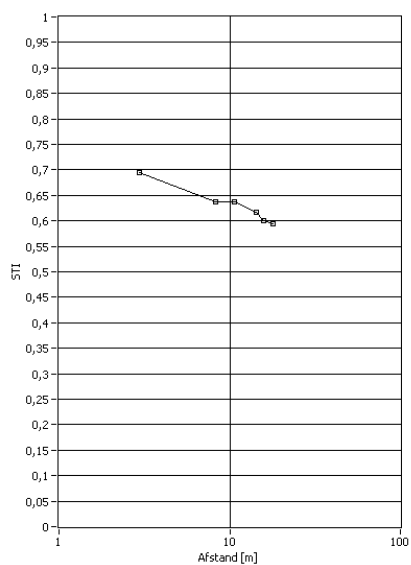
I projektet er der – udover arbejdet med r_D - lavet en del beregninger og forsøg hvor netop STI indgår. Disse eksperimenter har bekræftet, at specielt i akustisk dæmpede storrum er det ikke efterklangstiden, men signal-/støjforholdet der bestemmer værdien af STI. I storrum er det vanskeligt at styre baggrundsstøjen uden brug af sound masking, og derfor er STI for følsom som praktisk projekteringsparameter.

Her skal kun fremhæves et enkelt eksempel, der belyser disse usikkerheder. Eksemplet er fra GMCB-Odense, hvor r_D er bestemt ved måling hhv. beregning efter en linje, der går gennem kontoret, og med måle-/beregningspunkter på arbejdspladserne. Der vises 3 eksempler på beregning af r_D , det første er på grundlag af målt lydudbredelse, de to øvrige er på grundlag af beregnet lydudbredelse ved hjælp af ODEON's survey-metode og den optimale metode, se afsnit 11.2.

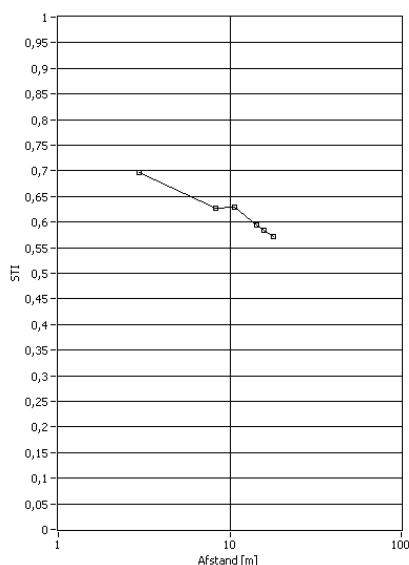
Figur 23 viser r_D som den kan beregnes ud fra de målte lydudbredelseskurver. r_D bestemmes som den afstand, hvor kurven skærer $STI=0,5$. De anvendte baggrundsstøjniveauer er L95-niveauer målt pr. 1/1-oktav. Figur 24 og 25 viser estimering af r_D ud fra resultater beregnet i ODEON. Da STI-værdierne hovedsagelig er bestemt af signal-/støjforholdet, bliver de meget følsomme for usikkerheder i de beregnede niveauer og er derfor for nærværende ikke særligt egnede som projekteringsparametre.



Figur 23. Bestemmelse af r_D ud fra måling. r_D er 18 meter.



Figur 24. Bestemmelse af r_D ud fra beregnet lydudbredelse i ODEON (survey-metoden). Her kan r_D ikke bestemmes eksakt, men ved ekstrapolation vurderes den til lidt over 30 meter.



Figur 25. Bestemmelse af r_D ud fra beregnet lydudbredelse i ODEON (optimeret beregning). Heller ikke her kan r_D bestemmes eksakt, men kan ved ekstrapolation vurderes til ca. 25 meter.

10.5

Supplerende virksomheder og undersøgelser

I dette afsnit gennemgås resultater fra de supplerende kontorer og undersøgelser, som er inddraget i rapporten. Resultaterne omhandler både de relativt kraftige lydniveauer som kan opleves i "mindre" kontorer, en konkret anvendelse af måle- og analyse-værktøjerne angivet i denne rapport, samt en ny måde at beskrive lyd-udbredelsen eller -dæmpningen mellem to kontorafsnit, som er adskilt med en åbning eller passage.

10.5.1

Kontor i tagetage

I et mindre kontorlokale indrettet i en tagetage var loftet ført helt til kip og medarbejderne sad tæt på skrå- og skunkvægge. I forbindelse med akustisk dæmpning blev der udført måling af lydudbredelse mellem arbejdspladserne samt efterklangstiden før og efter dæmpning. Detaljerede måleresultater findes i Appendix A1.

Problemstillingen var, at kontorlokalet ved ibrugtagningen viste sig at være lydmæssigt meget ubehageligt for medarbejderne. En besigtigelse af lokalet viste, at det eneste egentligt lydabsorberende materiale var et gulvtæppe. I Appendix A1 er vist billeder af kontorlokalet efter at der er opsat vægabsorbenter på en stor del af skråvæggene. Rummets geometri er: Gulvareal: 88 m², volumen: 308 m³

Før dæmpning var middelefterklangstiden i frekvensområdet 250 – 2000 Hz målt til 0,8 sekunder. For at få belyst, hvor meget skrå- og skunkvægge egentlig bidrager til forøgelse af lydtrykniveauet i den type lokale, målt lydudbredelsen mellem arbejdspladserne. Resultatet af denne måling er vist i Appendix A1, som viser lydudbredelseskurven, to tabeller over hhv. DL_2 og DL_f for nær- og fjernfeltet, og endelig en matrix, der viser DL_f for målingerne mellem de enkelte pladser.

Det fremgår, at der generelt sker en meget kraftig forstærkning af lyden på de enkelte arbejdspladser og at lydtrykniveauet i fjernfeltet på nogle pladser er op til 16 dB over det tilsvarende fritfeltsniveau. Middelværdien for DL_f er 14,2 dB i fjernfeltet i afstande mellem 6 og 13 meter – en meget høj værdi, som vanskeligt kan forklares ud fra rummets efterklangstid, men skyldes de mange refleksioner fra loft, skrå- og skunkvægge.

Indgrebet i kontorlokalet bestod derfor primært i at fjerne så mange af disse refleksioner som muligt og sekundært i at nedbringe efterklangstiden. I alt er der tilført 21 m² porøs vægabsorbent svarende til, at efterklangstiden i frekvensområdet burde falde fra 0,8 sekund til 0,6 sekund.

Efter dæmpning blev efterklangstiden i frekvensområdet fra 250 – 2000 Hz målt til 0,6 sekund som forventet, svarende til en dæmpning af lydtrykniveauerne på -1,3 dB, hvis der forudsættes diffust lydfelt.

En ny måling af lydudbredelsen mellem arbejdspladserne viste følgende ændringer i DL_2 og DL_f :

Parameter	Før regulering [dB]	Efter regulering [dB]	Ændring [dB]
DL_2 , nærfelt	3,5	5,3	1,8
DL_2 , fjernfelt	3,1	6,1	3,0
DL_f , nærfelt	9,6	6,9	-2,7
DL_f , fjernfelt	14,2	8,7	-5,5

Tabel 9. Lydudbredelse i tagetage-kontor.

Konklusion: Den opnåede dæmpning af lydudbredelsen mellem de enkelte pladser er betydeligt større end man ville forvente ud fra den opnåede ændring af efterklangstiden, i fjernfeltet næsten 6 dB mod forventet 1,3 dB. Det skyldes, at lydtrykniveauet ikke primært er styret af det diffuse lydfelt, men af kraftigt lydreflekterende flader nær medarbejderne.

Dette er en typisk problemstilling i mange kontorer, men problemet er betydeligt værre i tagetager, hvor skråvæggene bidrager kraftigt til refleksionerne. Der er derfor næppe nogen vej udenom at gøre disse flader lydabsorberende i så høj grad som muligt.

Medarbejderne har efter reguleringen givet udtryk for tilfredshed med de nye forhold, på trods af, at DL_f stadig vurderes at være i overkanten, men de har jo også oplevet en stor forbedring i forhold til tidligere.

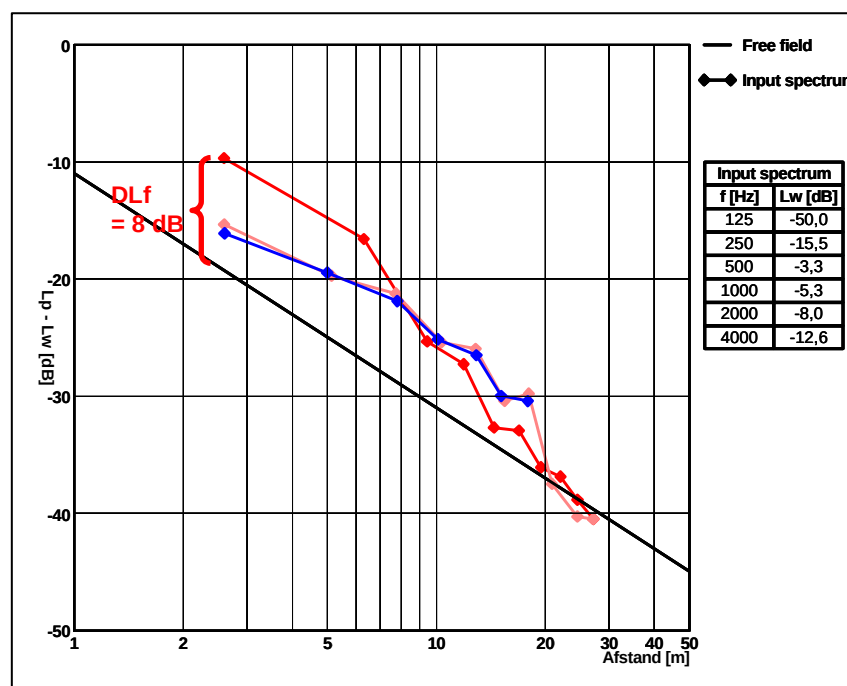
10.5.2

Mindre kontor med relativt hårde vægge

I løbet af projektperioden blev en del af kontoret hos GMCB-Odense ombygget, idet et lokale, der tidligere indeholdt et trykkeri på ca. 50 m² blev tilknyttet det ene storrumskontor ved at etablere et dørhul. Den akustiske regulering af det ny lokale bestod i akustikloft, mens væggene fremstår med relativt akustisk hårde overflader.

En måling af lydudbredelse internt i kontoret og videre ud i storrumskontoret er gengivet i figur 26.

Det fremgår, at DL_f på 2,5 meters afstand er ca. 8 dB i kontoret, hvilket er en ret høj værdi, som tilskrives de hårde vægflader i det relativt lille kontor. Supplerende akustiske vægbeklædninger ville kunne forbedre denne værdi – på samme måde som det blev beskrevet i afsnit 10.5.1



Figur 26 Lydudbredelse fra nyt kontor hos GMCB-Odense ud til storrumskontoret. Rød kurve viser måling med lydkilde i det ny kontor. De to andre kurver viser lydudbredelsen i den "gamle" del af kontoret.

10.5.3

Kontor med ensidig taghældning

To identiske kontorer var indrettet i en bygning med ensidig taghældning. Loftet og én endevæg var lydabsorberende, gulvene i arbejdszonen var generelt hårde mens der var tæpper i ganzone. Gældende AT-krav var overholdt med god margin. Detaljerede måleresultater findes i Appendix A2.

Problemstillingen var, at medarbejderne var generet af tale fra kolleger. En spørgeskemaundersøgelse viste, at der både oplevedes gener fra kolleger placeret nær ved og længere væk. Der var meget begrænset skærmning mellem arbejdspladserne pga. hårde bordskærme og hårde langsgående vægge. Såvel akustiske forhold som samarbejdsrelationer blev undersøgt og anvendt til udarbejdelse af løsningsforslag. Rummenes geometri er: Gulvareal: 173 m², volumen: 600 m³

Eksisterende lydudbredelsesforhold:

Middelefterklangstid i frekvensområdet 250 – 2000 Hz målt til 0,4 sekunder svarende til $A = 1,35 \times \text{Gulvareal}$. Målinger af lydudbredelsen mellem arbejdspladserne viste middelværdier for $DL_2 = 4,5 \text{ dB}$ og $DL_f = 4,2$.

På figur 27 ses DL_f -værdier for alle plads til plads relationer (DL_f -maricen)

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S1		1,0	7,2	7,6	3,2	3,5	7,2	5,4	4,6	4,1	5,0	4,1	4,4	4,7
S2	1,0		7,1	8,4	3,7	3,4	7,5	7,8	5,0	5,0	7,1	5,8	6,9	7,9
S3	7,2	7,1		1,1	7,5	5,1	2,0	2,1	4,6	3,7	2,5	2,4	4,9	2,6
S4	7,6	8,4	1,1		7,8	6,8	-0,5	1,5	4,8	4,4	2,6	2,9	6,2	4,2
S5	3,2	3,7	7,5	7,8		1,0	8,1	7,4	2,9	3,8	6,0	5,2	5,9	7,1
S6	3,5	3,4	5,1	6,8	1,0		7,6	7,7	4,0	3,0	6,5	7,0	6,5	8,7
S7	7,2	7,5	2,0	-0,5	8,1	7,6		0,1	6,0	4,7	1,9	3,0	7,0	4,5
S8	5,4	7,8	2,1	1,5	7,4	7,7	0,1		5,8	4,6	0,1	2,4	7,6	4,8
S9	4,6	5,0	4,6	4,8	2,9	4,0	6,0	5,8		-0,9	4,0	4,9	4,6	7,4
S10	4,1	5,0	3,7	4,4	3,8	3,0	4,7	4,6	-0,9		5,0	5,6	4,4	7,8
S11	5,0	7,1	2,5	2,6	6,0	6,5	1,9	0,1	4,0	5,0		-0,1	8,0	4,7
S12	4,1	5,8	2,4	2,9	5,2	7,0	3,0	2,4	4,9	5,6	-0,1		7,8	3,9
S13	4,4	6,9	4,9	6,2	5,9	6,5	7,0	7,6	4,6	4,4	8,0	7,8		9,1
S14	4,7	7,9	2,6	4,2	7,1	8,7	4,5	4,8	7,4	7,8	4,7	3,9	9,1	

Figur 27. Lydudbredelse eksisterende forhold i kontor med ensidig taghældning

Forslag til forbedring:

Der blev udarbejdet flere forslag til forbedring som beregningsmæssigt resulterede i gennemsnitlig ca. 2 dB's forbedring (forbedring) af DL_f . Fordelingen af DL_f -værdier for alle plads til plads relationer ses på figuren til højre. Det fremgår at det fx er de yderste pladser i øverste vandrette bånd som får de største forbedringer, som følge af en forslået absorberende endevæg, lige bag dem.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S1		0,2	5,8	4,8	2,1	2,3	4,7	3,8	3,3	2,5	3,6	2,3	1,5	1,1
S2	0,2		3,8	7,0	2,9	1,9	6,1	6,4	3,3	2,8	5,5	3,2	2,4	2,9
S3	5,8	3,8		0,2	5,0	3,7	0,7	0,7	3,3	2,1	0,8	0,8	1,8	-0,4
S4	4,8	7,0	0,2		4,9	3,4	-1,3	0,1	3,1	2,2	0,8	0,8	2,4	0,1
S5	2,1	2,9	5,0	4,9		-0,1	6,8	4,4	1,6	2,2	3,0	3,0	1,8	3,4
S6	2,3	1,9	3,7	3,4	-0,1		3,9	5,4	3,3	1,2	5,0	2,8	2,0	4,4
S7	4,7	6,1	0,7	-1,3	6,8	3,9		-0,9	2,7	2,1	0,2	1,2	3,1	0,4
S8	3,8	6,4	0,7	0,1	4,4	5,4	-0,9		1,8	1,4	-1,5	0,6	3,3	0,6
S9	3,3	3,3	3,3	3,1	1,6	3,3	2,7	1,8		-2,3	2,7	-0,3	0,9	2,2
S10	2,5	2,8	2,1	2,2	2,2	1,2	2,1	1,4	-2,3		-0,3	4,0	0,1	2,5
S11	3,6	5,5	0,8	0,8	3,0	5,0	0,2	-1,5	2,7	-0,3		-1,5	2,7	0,5
S12	2,3	3,2	0,8	0,8	3,0	2,8	1,2	0,6	-0,3	4,0	-1,5		2,5	-0,3
S13	1,5	2,4	1,8	2,4	1,8	2,0	3,1	3,3	0,9	0,1	2,7	2,5		5,4
S14	1,1	2,9	-0,4	0,1	3,4	4,4	0,4	0,6	2,2	2,5	0,5	-0,3	5,4	

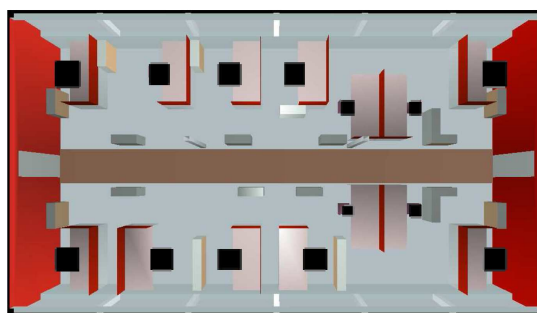
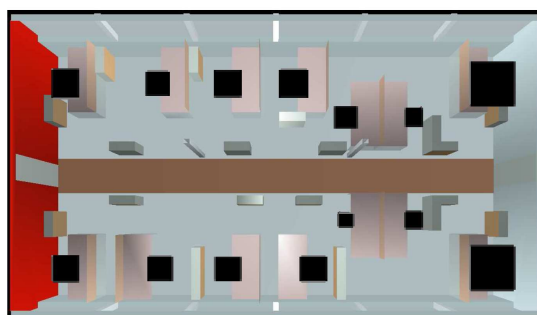
Figur 28. Lydudbredelse med forslag indarbejdet i kontor med ensidig taghældning.

Øvrige forbedringsforslag omfattede udskiftning af bordskærme til absorberende typer og supplerende skærme til begrænsning af lydudbredelse på i tværs af rummet.

Rumforstærkningen (nærfeltsforstærkning)

På figuren ses "Hot-spot plots", der viser rumforstærkning under eksisterende forhold (øverst) og efter en foreslået ændring (nederst).

Det fremgår at kvadraterne bliver mindre, svarende til mindre nærfeltsforstærkning, som følge af dæmpningen.



Figur 29. Plantegninger i perspektiv med Hot-spot plots af rumforstærkning. Øverst eksisterende forhold. Nederst dæmpningsforslag

Resultatet af piletegninger over lydmæssige og samarbejds-mæssige relationer er vist i A2.

I det efterfølgende oversigtsskema ses effekten af forskellige løsningsforslag:

	Storrum	
	DL_f	ΔDL_f
Eksisterende	4,3	-
Løsningsforslag A	1,6	-2,7
Løsningsforslag B	1,8	-2,5
Løsningsforslag C	1,7	-2,6

Tabel 10. Lydudbredelse, eksisterende forhold og med alternative dæmpningsforslag i kontor med ensidig taghældning.

Konklusion: Den anvendte teknik til måling og beregning af specifikke udbredelsesforhold set i sammenhæng med en spørgeskemaundersøgelse giver gode muligheder for at vurdere og illustrere de forventede dæmningsresultater. Dette giver brugere og konsulenter et godt vurderingsgrundlag for at træffe beslutninger. Ikke mindst når de viste hot-spot-plot sammenlignes med piletegningerne over oplevet lydgener og samarbejdsrelationer i kontoret, se Appendix A2.

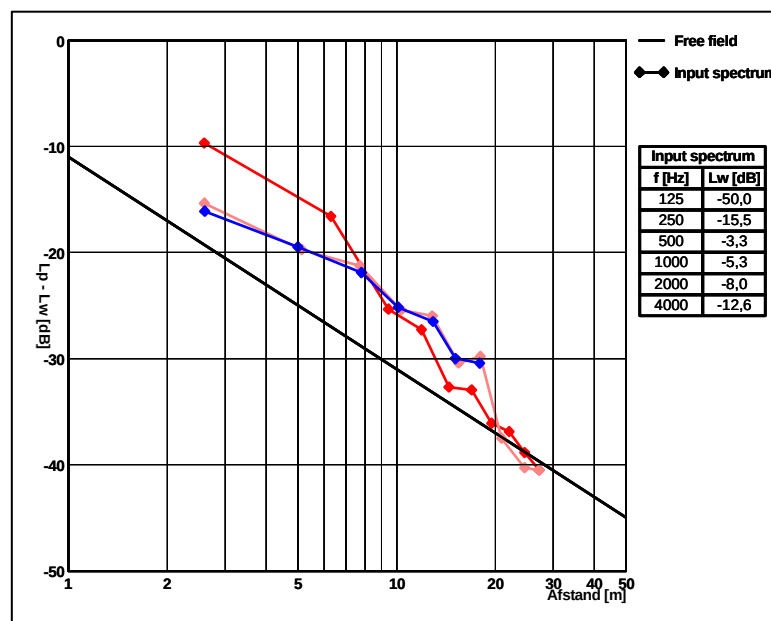
10.5.4

Åbninger mellem kontor-afsnit.

Fra målingen hos GMCB-Odense i det ny kontor (se evt. 10.5.2) kan også uddrages en erfaring om lyddæmpning mellem kontorafsnit, som kun er adskilt af en åbning. Af figur 17 kan det ses, at lydniveauet falder mere fra 6,5 m til 9,5 m end fra 2,5 til 6,5 meter (hældningen på den røde kurve er mere stejl end fra 2,5 m til 6,5 m). Denne dæmpning skyldes åbningen, som befinder sig ca. 8 m fra kilden. Bemærk dog, at niveauet kun aftager ca. 10 dB når lyden passerer åbningen og at DL_f i afstanden 9,5 m stadig er positiv ca. 5 dB. Havde der været en dør i åbningen ville dæmningsværdien have været 30 dB eller mere.

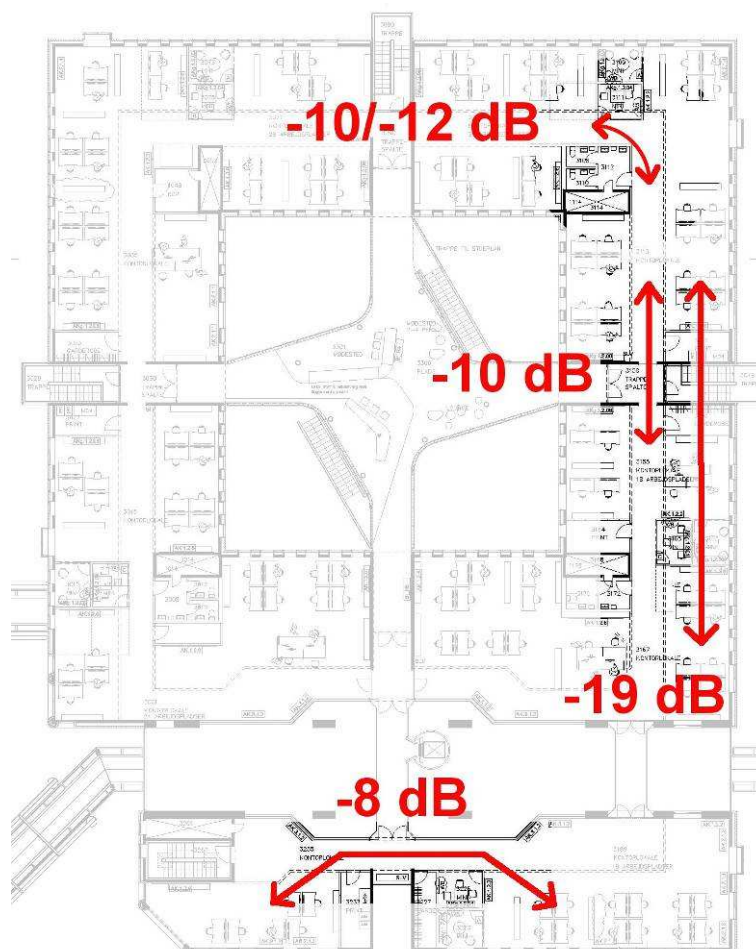
En anden måde at beskrive lyddæmpningen via en åbning er at se på, hvor meget DL_f ændres i stedet for at kigge på ændringen i lydniveauet. I dette tilfælde er $DL_f = 10$ dB i afstanden 6,5 m og $DL_f = 5$ dB i afstanden 9,5 m (på den anden side af åbningen), dvs. en "tillægdsdæmpning" ud over afstands-dæmpningen 5 dB.

At 5 dB er en uhyre beskeden dæmpning, og at et lydsluse-arrangement vil kunne forbedre forholdene er kendt stof for fagfolk. Det nye er, at der nu kan sættes dB-værdier på – og regnes på forbedringen af en given løsning.



Figur 30. Lydudbredelse mellem kontorafsnit GMCB-Odense fra nyt kontor til storrumskontor. Rød kurve viser måling med lydkilde i det ny kontor.

I et andet af de supplerende kontorer er der også målt "tillægdsdæmpning" mellem kontorafsnit. Hovedresultaterne fra denne undersøgelse, som følger principperne fra figur 30, kan ses på figur 31. Det fremgår at passagerne giver anledning til tillægdsdæmpning på 8 – 10 dB. Ved passage af 2 åbninger måles en tillægdsdæmpning på 20 dB.



Figur 31. Målt tillægdsdæmpning mellem kontorafsnit

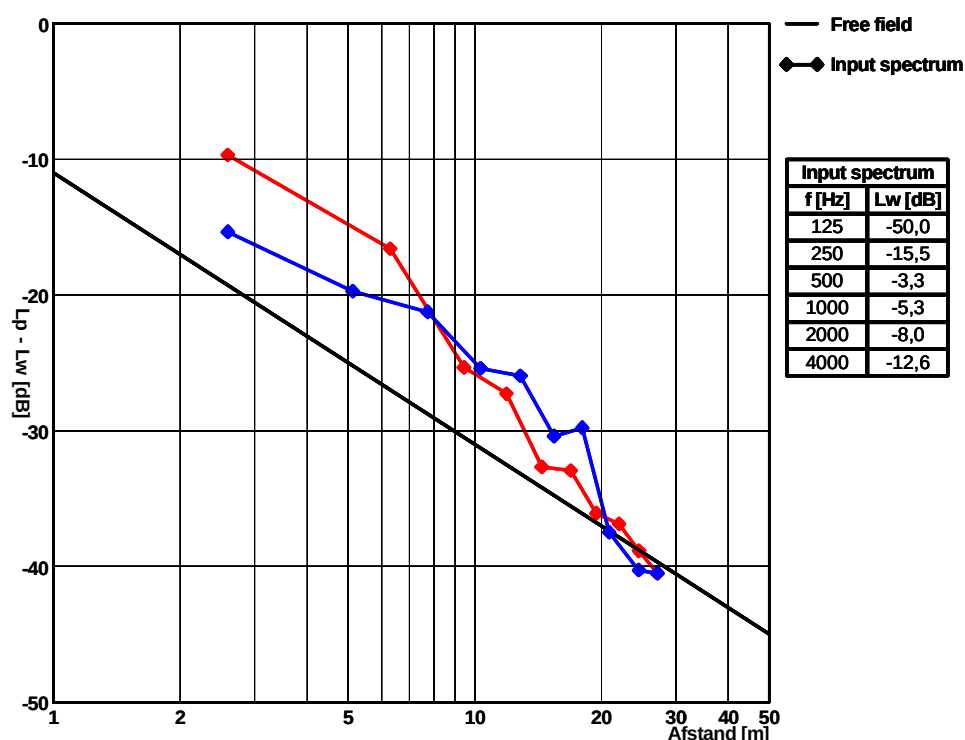
11 ERFARINGER

11.1 Måletekniske - med reference til virksomhederne

Reciprocitet

Det store datamateriale, der er indsamlet har gjort det muligt at verificere, at der er reciprocitet i måling af plads-til-plads-relationerne forstået på den måde, at det er ligegyldigt om der måles fra plads nummer 1 til plads nummer 2, eller omvendt. Resultatet er det samme, sålænge der anvendes en rundstrårende højttaler og en mikrofon med kuglekarakteristik. Det samme har vist sig at gælde for beregningerne i ODEON.

Det medfører det fænomen, at når der måles langs en lydudbredelsesvej i begge retninger, vil kurverne altid mødes i det punkt, der repræsenterer måling mellem linjens endepunkter. Et eksempel herpå er vist i nedenstående figur der er fra eftermålingerne i GMCB-Odense, BYG (eksemplet er vist i rapporten over eftermålingerne, se bilag).



Figur 32. Eksempel på reciprocitet. Der måles i begge retninger langs en linje. Begge kurver mødes i punktet ved ca. 28 meter, svarende til at der måles mellem linjens endepunkter.

Målingerne viser endvidere det udbytte man kan få af at måle i begge retninger langs en lydudbredelseslinje.

Ved kurvernes start (ved afstanden ca. 2,5 meter) er der betydelig forskel i niveauet for de to kurver. Det kan derfor sluttet, at der ved den arbejdsplads, hvor den røde kurve starter, sker en betydelig kraftigere forstærkning af lydfeltet end ved arbejdspladsen i den modsatte ende af målelinjen, hvor den blå kurve starter. Denne viden kan udnyttes til at placere de støjdæmpende tiltag der, hvor de gør mest gavn.

11.2 Modellering – prædikteringsmuligheder / best practice

11.2.1 Erfaringer med beregningsparametre

Som nævnt er de ODEON-modeller, der blev udarbejdet i starten af projektet og som afspejler de eksisterende forhold, primært kontrolleret og kalibreret i forhold til de efterklangstider, der er målt i de fire virksomheders kontorer. Men den akustiske parameter, som løsningsforslagene primært har søgt at ændre, er lydtrykniveauet fra den ene arbejdsplads til den anden, udtrykt ved parameteren DL_f . Det er derfor væsentligt at vide, hvor præcist denne parameter bestemmes i ODEON.

I alle de målte kontorer, blev der, som tidligere beskrevet, udført et stort antal målinger af lydtrykniveauet fra arbejdsplads til arbejdsplads.

Efter at de akustiske modeller var justeret så målte og beregnede efterklangstider passede bedst muligt, blev der foretaget sammenligninger mellem de målte og beregnede DL_f -niveauer.

De tidligste beregninger, viste uacceptabelt store afvigelser mellem de målte og de beregnede niveauer på lidt større afstande. Dette var særligt uheldigt, da det netop var formålet at dæmpe lyden mellem kolleger, der sidder med en vis afstand.

Gennem hele projektet har ODEON-selskabet arbejdet på at forbedre ODEON, så det bliver mere præcist i rum med manglende diffusitet, små overflader og manglende direkte sigt mellem lydkilde og modtager. En række forhold vedrørende den bedste indstilling af ODEON's beregningsparametre er undervejs blevet belyst.

I den seneste version af ODEON, der er anvendt i projektet (version 10.02), er de beskrevne forbedringer indarbejdet, heriblandt beregning af diffraktion omkring skærme – en forbedring, som især er væsentlig i de situationer, hvor der ikke er direkte sigt mellem kilde og modtager.

I det følgende vises en række sammenligninger mellem beregnede og målte lydtrykniveauer – udtrykt ved DL_f - beregnet med forskellige indstillinger af ODEON's beregningsparametre.

I afsnit 11.2.2 gøres der yderligere rede for de erfaringer, der er gjort i projektet i form af en "best practice"-guide for modellering af storrums i ODEON.

Sammenligningerne mellem målte og beregnede DL_f -værdier er foretaget i GMCB-kontoret i Odense.

Sammenligningerne er foretaget ved at beregne på den samme model med 3 forskellige sæt af beregningsparametre.

ODEON har 3 standardindstillinger: Survey, Engineering og Precision, hvor survey er den "groveste" og mest upræcise metode, hvor der anvendes færrest stråler, og Precision er den mest præcise metode, hvor der beregnes med et stort antal stråler.

Da beregning af en fuld DL_T -matrice tager en vis tid, er det afgørende at have en fornemmelse af, hvor få stråler, man kan nøjes med at anvende i beregningen. I den sammenhæng giver indstillingen Precision meget lange beregningstider, og den er derfor ikke afprøvet.

De 3 sæt beregninger kan beskrives således:

1. Survey beregning med ODEON's standardværdier. Her sætter ODEON antallet af stråler. Parameteren "Despike decays" er manuelt slået til.
2. Engineering beregning med ODEON's standardværdier. Også her sætter ODEON antallet af stråler.
3. En beregning med de indstillinger, som ODEON's udviklere anbefaler for beregning i rum med ringe diffusitet. Antal nødvendige stråler er estimeret som beskrevet i afsnit 11.2.2. I henhold til anbefalingerne i ODEON's manual er de anvendte værdier for lydabsorption trunkeret til intervallet 0,05 – 0,90.

Beregningsparametrene er vist i efterfølgende tabel.

Parameter		Parameterværdier		
		Survey	Engineering	Optimal
Scattering method	Method	Lambert	Lambert	Lambert
	Oblique Lambert	Enabled	Enabled	Enabled
	Reflection based scatter	Enabled	Enabled	Enabled
	Key diffraction frequency	707 Hz	707 Hz	707 Hz
	Interior margin	0,10 m	0,10 m	0,10m
	Scatter coefficients to be handled uniformly	0,50	0,50	0,50
Decimate late rays		Enabled	Enabled	Disabled
Number of rays		11318	22637	50000
Max reflection order		2000	2000	2000
Impulse response length		1000 ms	1000 ms	700 ms
Impulse response resolution		9,0 ms	9,0 ms	9,0 ms
Angular absorption		Disabled	Soft materials only	Disabled
Despike decays		Enabled	Enabled	Enabled
Screen diffraction		Disabled	Disabled	Enabled
Early reflections	Transition Order	2	2	0
	Number of early scatter rays	50	100	100
	Smooth early late ratios	Enabled	Enabled	Enabled
Point and multipoint responses	Desired late reflection density	50 /ms	100 /ms	300 /ms

Tabel 11. Beregningsparametre for ODEON med alternativ præcision..

Der skal knyttes følgende bemærkninger til de optimale parameter-værdier:

Ved beregning over større afstande i rum med manglende diffusitet, viste det sig i projektet at være et problem, at der ikke var tilstrækkeligt mange stråler, der nåede frem til beregningspunktet.

For at sikre, at det beregnede impulssvar indeholder tilstrækkeligt mange stråler er antallet af stråler øget i forhold til Engineering, algoritmen "Decimate late rays" slås fra og "Desired late reflection density" er øget til 300 /ms.

Parameteren "Transition order" bestemmer, hvordan de første refleksioner for hver stråle beregnes. Er værdien for eksempel 2, beregnes alle 1. ordens og 2. ordens refleksioner efter spejlkildemetoden og resten efter strålegangsmetoden. I rum med meget inventar såsom storrums er der mange overflader tæt på lydkilden og det betyder, at den udsendte fysiske bølgefront i praksis brydes op i mange små dele, og det bliver meningsløst at anvende spejlkildemetoden. Derfor sættes "Transition order" lig 0, hvilket får ODEON til udelukkende at anvende strålegangsmetoder.

Endeligt er beregning med skærmdiffraktion slået til.

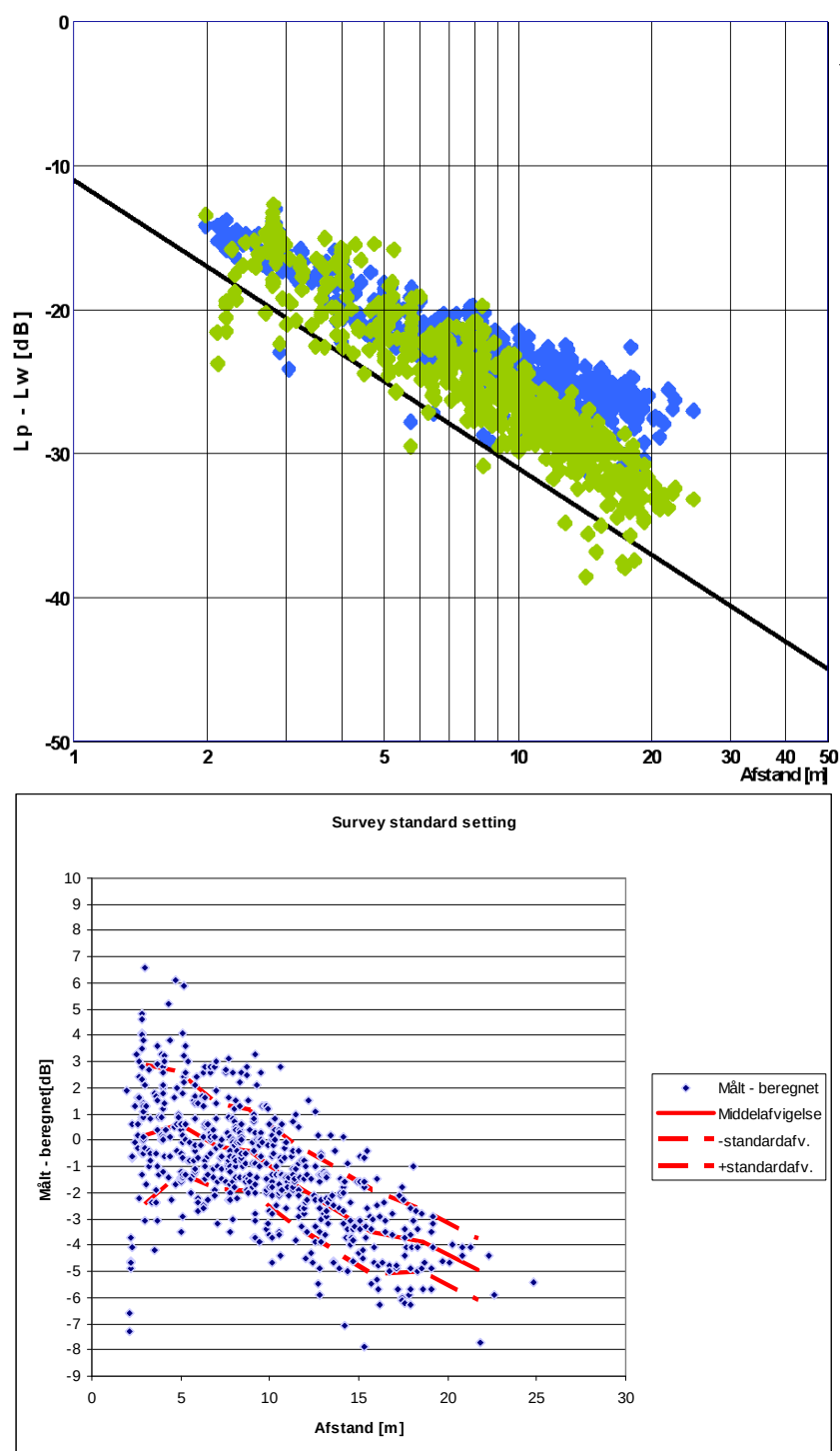
11.2.2

Sammenligning af beregningerne

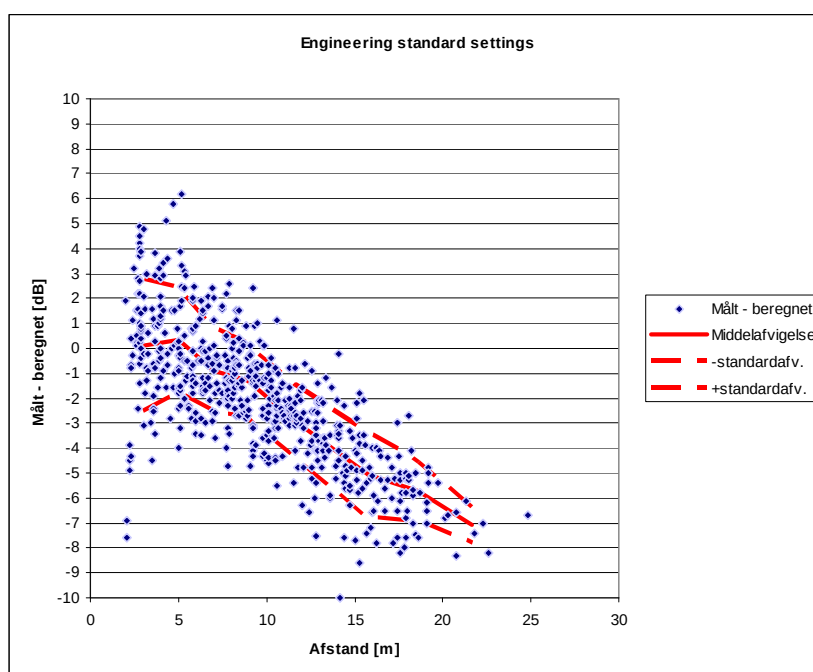
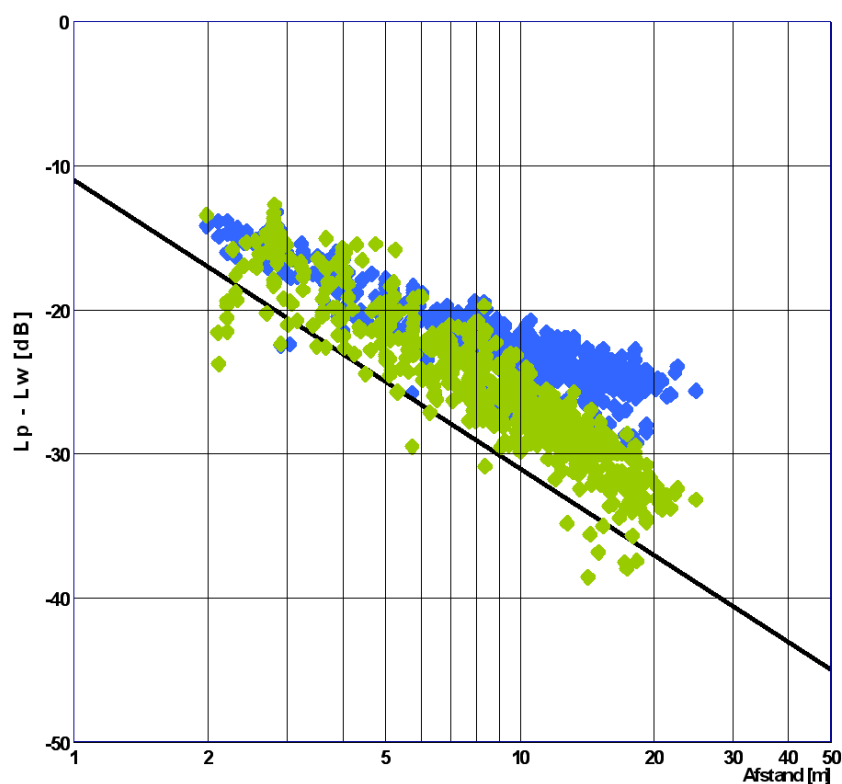
GMCB-kontoret består af to koblede rum. Der er derfor en betydelig del af beregningsresultaterne, hvor kildeposition og modtageposition ligger i hvert sit rum. I disse tilfælde er der tale om meget stor skærmvirkning og afvigelsen mellem målte og beregnede værdier bliver forholdsvis stor. For at give et billede af, hvordan ODEON regner indenfor ét og samme kontor, er disse datasæt udeladt af de følgende sammenligninger.

De tilbageværende datasæt består dermed af alle målinger/beregninger, hvor kilde- og modtageposition er i samme rum.

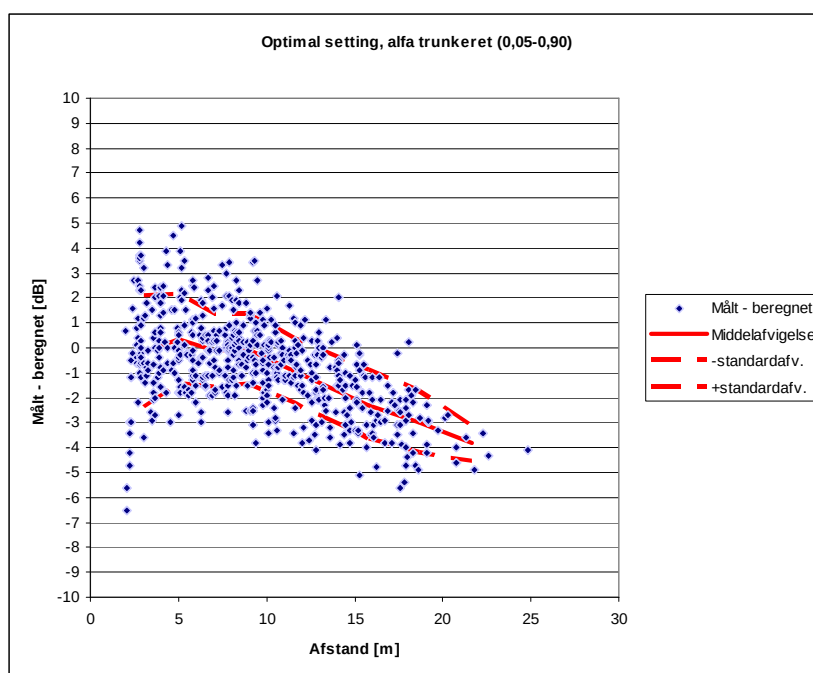
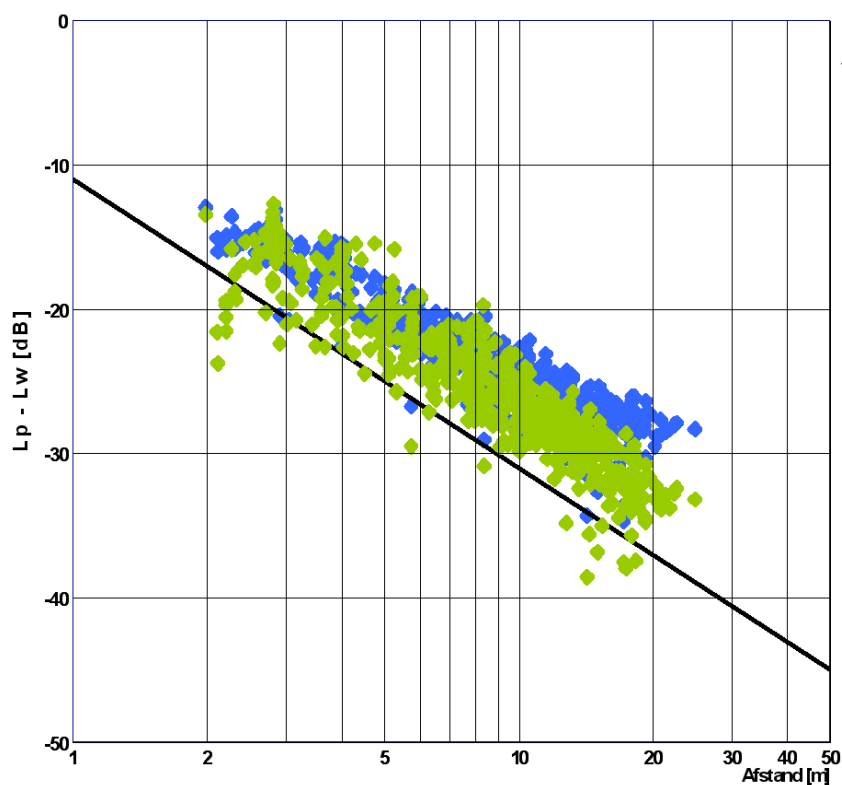
De tre følgende grafer viser målte og beregnede værdier af D, dvs. det beregnede lydtrykniveau minus kildens lydeffektniveau. Beregningerne gælder for et A-vægtet talespektrum og er bestemt i henhold til ISO 14257. De blå punkter er de beregnede værdier og de grønne punkter er de målte værdier. Hver graf er suppleret med en graf, der viser forskellen mellem beregnede og målte værdier som funktion af afstand mellem lydkilde og modtager. På disse grafer er indtegnet linjer, der viser gennemsnitlig afvigelse samt gennemsnitlig afvigelse +/- standardafvigelsen, alle 3 værdier opgjort som funktion af afstanden.



Figur 33. Øverst: Sammenligning mellem målte og beregnede værdier for D ved anvendelse af ODEON's standardindstilling, Survey. Grønne punkter er målinger, blå punkter er beregninger. Nederst: Afvigelse mellem målte og beregnede værdier opgjort som funktion af afstand mellem lydkilde og modtager.



Figur 34. Øverst: Sammenligning mellem målte og beregnede værdier for D ved anvendelse af ODEON's standardindstilling, Engineering. Grønne punkter er målinger, blå punkter er beregninger. Nederst: Afvigelse mellem målte og beregnede værdier opgjort som funktion af afstand mellem lydkilde og modtager.



Figur 35. Øverst: Sammenligning mellem målte og beregnede værdier for D ved anvendelse af de fundne optimale indstillinger. Grønne punkter er målinger, blå punkter er beregninger. Nederst: Afvigelse mellem målte og beregnede værdier opgjort som funktion af afstand mellem lydkilde og modtager.

Nedenstående tabel giver en oversigt de gennemsnitlige afvigelser og standardafvigelser for nogle udvalgte afstande.

Afstand [m]	Survey		Engineering		Optimal	
	Differens, middel[dB]	Standard- afvigelse [dB]	Differens, middel [dB]	Standard- afvigelse [dB]	Differens, middel [dB]	Standard- afvigelse [dB]
3	0,2	2,6	0,1	2,6	-0,1	2,2
5	0,6	2,0	0,3	2,1	0,3	1,8
7	-0,3	1,7	-0,9	1,7	-0,1	1,5
9	-0,4	1,6	-1,3	1,5	-0,1	1,4
12	-1,8	1,5	-2,9	1,5	-1,0	1,3
16	-3,5	1,6	-5,1	1,7	-2,3	1,4
20	-3,9	1,2	-5,7	1,2	-3,0	1,2
22	-5,0	1,2	-7,1	0,7	-3,8	0,7

Tabel 12. Differenser (målt-ODEON beregnet) og standardafvigelser med alternative beregningspræcision

Gennemsnitlig differens mellem målte og beregnede værdier af D for 3 forskellige sæt af beregningsparametre og vist for en række forskellige afstande mellem lydkilde og modtager.

Ud fra tabellens data kan konkluderes vedrørende differensen mellem målte og beregnede værdier for D:

Generelt bliver differensen større, jo større afstanden er mellem lydkilden og modtageren, op til 7 dB ved 22 meter afstand ved Engineering.

Når beregningsnøjagtigheden øges fra Survey til Engineering, øges differensen, og standardafvigelsen på differensen forbliver nogenlunde den samme, måske med en svag tendens til at aftage med stigende afstand.

Når de optimale beregningsparametre anvendes, falder både middeldifferensen og standardafvigelsen, idet den maksimale middeldifferens ved 22 meter afstand er ca. 4 dB med en standardafvigelse på ca. 1 dB.

11.2.3

ODEON – best practice

Dette afsnit sammenfatter projektets erfaringer med anvendelse af ODEON til beregning af akustik i storrumskontorer. Afsnittet indeholder dels praktiske råd om opbygning af den akustiske model, dels praktiske råd om de bedste beregningsindstillinger i ODEON. Anvisningerne gælder for ODEON, version 10.

Generelt kan det siges, at lydfeltet i storrum normalt ikke er diffust. Dette er en følge af at:

- Absorptionen ikke er jævnt fordelt over rummets 3 dimensioner
- Rummets dimensioner er meget forskellige (typisk lav lofthøjde sammenlignet med sammenlignet med længde og brede)

- Storrumskontorer består ofte af et antal delvolumener (koblede rum), hvilket giver anledning til krumme efterklangskurver, der ved små ændringer i hvordan delvolumenerne kobler til hinanden (på grund af spredning, absorption og geometri) kan give store variationer, specielt ifht. T30.

Samtidig er antallet af "fittings" og dermed små overflader langt større end i f.eks. auditorier og koncertsale, hvilket på den anden side bidrager til en konstant opbrydning af bølgefronterne.

Ved sammenligning af modelleringsresultater med målte værdier, viser det sig ofte, at der er et vist ækvivalent absorptionsareal, som det ganske enkelt er vanskeligt at gøre rede for og dermed indregne korrekt i den akustiske model. Der er flere årsager til dette. Der kan blandt andet nævnes følgende:

- I et typisk kontor er der utallige små objekter såsom skraldespande, PC'er, bordben og –stel, fremlagte og opstillede genstande som billeder, papirbunker, planter mv. Alle disse småting modelleres normalt ikke, men de bidrager både til at sprede og absorbere lyden i et eller andet omfang.
- ODEON's beregninger indeholder nogle begrænsninger i forhold til virkeligheden. F.eks. vil der normalt være et vist energitab, når en bølgefront udbreder sig parallelt med og tæt på en flade. I ODEON er energien repræsenteret ved en stråle, og ODEON "opdager" ikke, at der er en flade tæt på. Der sker derfor intet energitab.
- I virkelighedens verden er der formodentlig nogle 'kant effekter', som ikke repræsenteres korrekt i modellen.

Alle disse forhold har nogle gange gjort det vanskeligt at opnå tilstrækkelig god overensstemmelse mellem de faktiske og de modellerede akustiske forhold i storrums. Der er dog løbende sket en afklaring af de betydende forhold, som også afspejles i ODEON's løbende udvikling.

Mange af de erfaringer, der er opnået til dato fremgår af ODEON's manual og her er derfor kun udvalgt de vigtigste erfaringer fra dette projekt.

Best practice – modellering

Generelt er der ikke de store problemer i at modellere selve rumgeometrien og de store rumelementer. Men storrumsrummet indeholder en mængde mindre elementer, og i det følgende gives anvisninger på modellering af disse.

Inventar bør generelt modelleres således at lydfeltet bliver brudt af både vandrette og lodrette flader.

Skriveborde

Skriveborde kan (afhængigt af det forventede anvendte bord) modelleres som en boks hvor bunden, én kortsider og én langsider gøres 100% transparent. De 2 resterende sider kan evt. også gives en 'transparency'-koefficient. Denne vælges under hensyntagen til understellets konkrete udformning og materialer og vil typisk ligge i intervallet 0,4 – 0,8.

Computerskærm, telefon, o.a. som ligger på bordet modelleres ikke men simuleres ved at give bordpladen en *scatter coefficient* på 0,5 og lidt ekstra absorption. Da dette er en af de parametre, der kan reguleres på, når en model skal justeres i forhold til virkeligheden, kan det variere, hvor meget ekstra absorption, der skal tilføres. Erfaringerne herfra kan selvfølgelig udnyttes ved modellering af ikke-eksisterende rum.

Reoler / bogkasser

Reoler eller bogkasser modelleres som bokse og en af siderne tildeles et materiale svarende til en reol med bøger og en *scatter coefficient* på 0,4. Såfremt øvrige af reolens flader er gjort lydabsorberende, skal dette selvfølgelig også afspejles i modellen.

Stole

Stole kan modelleres som en vandret flade 0,6 meter over gulv og en lodret flade, der gør det ud for ryglænen. Afhængigt af typen af ryglæne skal den lodrette flade gøres større/mindre end bundfladen.

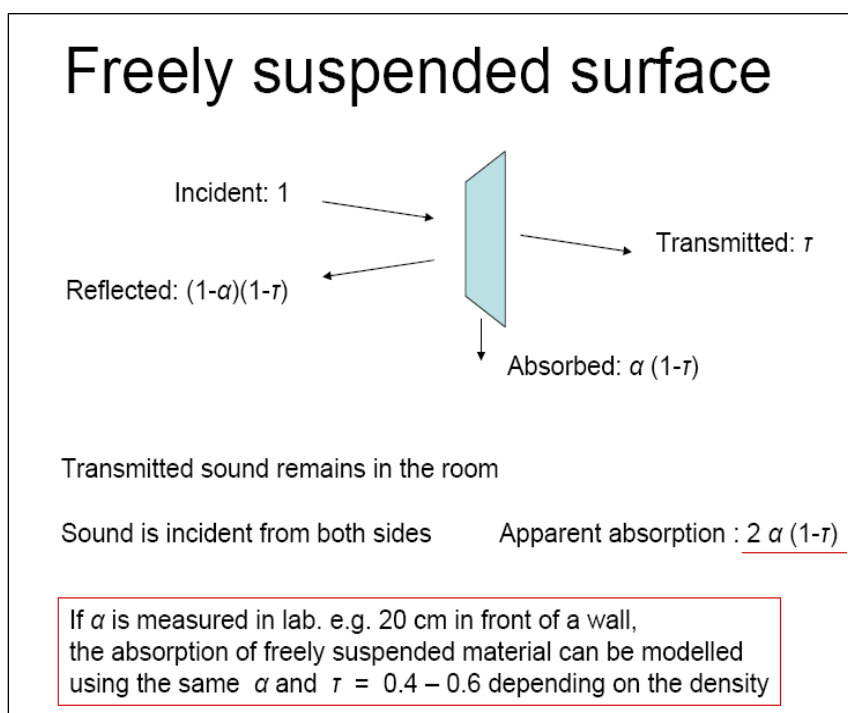
Frithængende tekstiler

Der er to muligheder for modellering af frithængende tekstiler.

I den første metode anvendes absorptionskoefficienter fra målinger udført efter ISO 354 på tilsvarende frithængende tekstiler.

Ved modelleringen sættes fladens transparency og scatter = 0,5.

Den anden metode er beskrevet i nedenstående figur (Jens Holger Rindel)



Figur 36. ODEON-modellering af frithængende tekstiler I flg. J. H. Rindel

Lydabsorptionskoefficienter

I storrum er der ofte en eller to af rummets tre dimension, hvor materialernes lydabsorptionskoefficienter er meget lave, og dette kan få meget stor indflydelse på resultaterne.

I virkelighedens storrumskontorer, klasse lokaler mv. vil der altid være noget absorption i alle tre dimensioner af lokalet pga. inventar. Ved at trukkere absorptionskoefficienterne nedadtil, tvinges der noget absorption ind i alle tre rumdimensioner.

Absorptions koefficienter på 0.98, 0.99, 1.00 (og >1.00) er ikke udsædvanlige at se i datablade. Det er spørgsmålet om dette er realistiske værdier eller om de i virkeligheden snarere siger noget om målemetoderne for absorption - hvor man måler på et endeligt prøve areal, hvilket giver forøget absorption pga. kant bidrag.

Fra "Danish Acoustical Society Round Robin on room acoustic computer modelling" blev der fundet en meget bedre overensstemmelse mellem målte og simulerede parametre for alle deltagende rum modeller (der havde forskellige absorptionsdata) når absorptions værdierne blev trukkere til at ligge mellem 0.05 og 0.9. Uden denne trukkering ville lydfeltet i beregningerne gå fra at 3D til 2D eller 1D med dramatiske forskelle på resultaterne til følge.

I storrum frarådes det derfor generelt at anvende absorptionskoefficienter udenfor intervallet 0,05 – 0,90. I ODEON er der indbygget en funktion, der begrænser absorptionskoefficienterne til dette interval.

Best practice - beregningsparametre og justering af model

Når der modelleres et rum, der også findes i virkelighedens verden, er det god praksis at justere modellen, så den passer så godt som muligt med virkeligheden. Som oftest har man målinger af efterklangstiden i det aktuelle rum, men det er også muligt at justere efter andre parametre, f.eks. SPL, C80 eller andre parametre. Det skal nævnes, at som justeringsparameter kan efterklangstiden være påvirket af, at lydfelterne i storrum ikke er diffuse og at der tit er tale om koblede rum, hvilket kan føre til krumme henfaldskurver, der vanskeliggør modeljusteringen.

Justering af modellen kan ske ved at justere på materialeparametre, dvs. scatter og absorptionskoefficienter. Justeringerne bør dog normalt være fysisk velbegrundede, f.eks. som det er beskrevet ved modellering af skriveborde i forrige afsnit, hvor scatter og absorptionskoefficient øges for at simulere den akustiske effekt af de ting, der ligger på skrivebordet. Efterhånden opnås et erfaringsgrundlag, som kan udnyttes ved projektering af nye rum, der jo ikke kan justeres i forhold til en kendt efterklangstid.

I forbindelse med justeringer, er det en god ide at lave et *multipoint response* for mindst et par kilder og et passende antal modtagere. Man kan derefter se i *multipoint response* under fanebladet *Statistics* hvordan den gennemsnitlige efterklangstid bliver og hvor stor udsving der er mellem modtagerne i rummet.

Beregningernes validitet kan kontrolleres ved beregning af Single point response. I storrum er det særligt vigtigt at beregne et antal Single point responses, hvor der er stor afstand mellem lydkilden og modtageren og kontrollere validiteten af disse beregninger.

Man bør kontrollere i fanebladet *Decay Curves*, om henfaldskurverne ser "pæne" ud. Samtidigt bør man kontrollere *Reflection density* for at sikre, at der er et passende antal stråler pr. millisekund. Erfaringen viser, at dette tal bør være 300.

Reflection density kan øges ved at justere følgende parametre i Room Setup:

- Antallet af stråler i modellen øges
- Decimate late rays slås fra
- Værdien for Late reflection density sættes op (> 300)

Man kan få en idé om det nødvendige antal stråler ved at anvende funktionen *Global Estimate*. Der regnes i et antal punkter jævnt fordelt i rummet og når efterklangstiden er stabiliseret og jævn ned til -60 dB, aflæses det antal stråler, ODEON er kommet til. De noterede tal giver en idé om, hvor mange stråler, der bør anvendes i beregningerne.

11.3 Spørgeskemaer / piletegninger

Erfaringen fra projektet er, at den samlede piletegning giver et godt og konsistent billede af lydforholdene på arbejdspladsen, som kan bruges til at planlægge de akustiske målinger.

Spørgeskemaer med traditionelt spørgeprincip giver ikke det samme overblik over lydforholdene, men kan være med til at give oplysninger om medarbejdergruppen og deres generelle opfattelse af lydniveau og tilfredshed, samt tilgængeligheden og ønsket om handlemuligheder.

Ligeledes er erfaringen, at det er svært ud fra efterregistreringen at spore ændringer i medarbejdernes opfattelse af lydforholdene ud fra det traditionelle spørgeprincip. Det er derimod tydeligt at se på den samlede piletegning, hvorvidt tiltagene har haft en betydning for det samlede lydbillede.

11.4 Syntese - mixede fagligheder

Gennem den tværfaglige registrering blev der tilvejebragt et langt mere komplekst og nuanceret billede af, hvilke støjproblemer der var i den enkelte virksomhed og hvorfra de stammede. Hvor vi fra starten havde et billede af at de forskellige virksomheder, alle med åbne storrumskontorer, ville have samme problemer og behov for de samme løsninger, viste den meget omhyggelige registrering af akustiske forhold, rum/indretningsforhold og organisatoriske og arbejdsmiljømæssige forhold, at problemerne var meget forskellige og krævede forskellige løsninger.

Problemerne var i flere tilfælde andre steder i rummet end vi troede ved første øjekast. F.eks. forventede vi, at lydproblemerne på borgertorvet i Ballerup Rådhus måtte være i det store meget åbne kontorområde tæt på indgangen, men viste sig at være i de smalle "kontorfileter" længst væk fra indgangen. Skrækken for det store åbne rum var ubegrundet, fordi her blev lyden spredt og fik et præg en dæmpet "baggrundssummen", men til gengæld var arbejdspladser op ad en væg i de mindre lommer et rent støjinferno, fordi lyden blev reflekteret mellem en række hårde flader og dermed forstærket. Dette var svaret fra piletegningerne og de akustiske målinger – og det var ret uventet. Det var noget imod den umiddelbare menneskelige opfattelse af, at støjproblemerne måtte være størst "på den åbne prærie" og mindst "i de skærmede lommer". Når dette uventede svar kom frem i lyset skyldtes det, at de fysiske forhold blev analyseret mere detaljeret og nuanceret end man normalt gør og at forholdene blev analyseret fra flere forskellige tværfaglige vinkler.

Tilsvarende viste støjproblemerne hos JJW Arkitekter sig at findes i de "særlige overraskende og uforudsigelige hjørner" af storrummet. F.eks. når en medarbejder - for at kunne tale privat i telefon - vendte sig ind mod væggen og dermed fik sin samtale reflekteret ud over hele storrummet uden selv at opdage det. Her viste det sig, at forholdene omkring lyd var bedst i de meget store åbne kontorområder, når der var mange på kontoret og derfor en vis baggrundssummen som et "diskretionsbagtæppe". Disse overraskende opdagelser kom frem ved den detaljerede analyse af mange forskellige rumlige situationer i det åbne kontor og ved at sammenholde det med medarbejdernes aktiviteter i rummet.

I Grontmij/Carl Bros storrumskontor viste et sig - meget uventet - at en del af problemerne med støj opstod, fordi der var for lidt lyd på kontoret, så selv den mindste lyd blev meget generende. Denne overraskende erkendelse ville ikke være fremkommet uden en tværfaglig tilgang til opgaven og en meget grundig analyse af hvorfor nogle lyde blev ekstra generende.

Hos Danske Bank havde man for særlig at forbedre de akustiske forhold indkøbt og opsat hundredevis af skærme som rumdelere. De akustiske målinger viste, at skærmene *forstærkede* støjproblemerne ved at kaste lyden frem og tilbage. Skærmene var desværre ikke lydabsorberende, men reflekterende. Svarene fra spørgeskemaerne viste at lydproblemerne var betydelige pga. skærmene, fordi der blev talt højt lige på den anden side af skærmen uden at man kunne komme visuelt i kontakt med vedkommende og signalere at det forstyrrede. De nuancerede analyser og registreringer gav igen et andet billede af støjproblemerne end det man kunne få ved første blik. Og den tværfaglige tilgang fik afkodet mange af årsagerne bag de målte virkninger.

11.5 Akustik – rum og indretning

Storrumskontorets rumlige forhold og indretning har stor betydning for oplevelsen af støj. Hvor Bygningsreglementet principielt kun stiller krav til bygningens overflader viser projektet, at de øvrige elementer, møbler og rumdelende elementer også skal inddrages for at sikre gode akustiske forhold.

Bygningsniveau: for at opfylde Bygningreglementets krav om efterklangstider er de fleste kontorlokaler udstyret med akustisk dæmpende lofter. Dette er i de allerfleste tilfælde en nødvendighed for at opnå en god akustik. Der er dog mange tilfælde, hvor det ikke er nok, fordi rummets geometri gør at den akustiske flade ikke kommer i nok spil f.eks. i rum med stor rumhøjde og glatte/parallelle vægflader.

Ud over de akustiske lofter er der i de fleste kontorer behov også for akustisk dæmpning på nogle lodrette flader på væggene. Jo smallere rummet er jo større er behovet for lodrette absorbenter. Det spiller positivt ind på akustikken, hvis de lodrette flader ikke er helt glatte, f.eks. hvis en glasfacade har profiler og sprosser, der er med til at bryde lyden.

Rumdelende elementer:

I åbne kontorer er der ofte få vægge og disse er enten facader med vinduer, døre el. andet. For at øge mængden af lodrette akustiske flader kan det være en fordel at indføre andre, store rumdelende elementer. Dette kan være skærme el. store reoler beklædt på bagsiden med akustisk regulerende materiale. Disse elementer kan bryde og dæmpe lyden og kan samtidig bruges indretningsmæssigt til at underopdele et stort storrumskontor.

Inventar:

Møbler og inventar betyder også meget for det samlede akustiske miljø. Her er det i høj grad hensigtsmæssig opstilling og inventarets overflader, som har betydning. Ligger ganglinierne rigtigt, generer medarbejderne hinanden eller har de glæde af at arbejde sammen etc. Det typiske inventar i et kontor er arbejdsbord, stol og opbevaringselement. Skal akustikken forbedres yderligere kan en absorbent på undersiden af bordpladen være med til at dæmpe lyden i rummet, ligesom polstrede kontorstole og reoler uden låger hjælper til at dæmpe. Hertil kan i nogle tilfælde adderes akustiske bordskærme, særligt i call-centre og lignende rum, hvor der tales meget i telefon. Nogle kontorer er i et forsøg på at forbedre de akustiske forhold blevet opdelt med reoler el. hårde skærme i mindre båse. Dette virker stik mod hensigten, med mindre at reoler el. skærmvægge er akustisk absorberende. Afskærmning kan have akustiske fordele, men kan også give problemer. Hvis man ikke kan se lydkilden opfattes lyden ofte som mere generende og når den, der støjer ikke kan se at man forstyrrer, dæmper man sig ikke. Igen spiller adfærd og akustik sammen.

Samtænkningen af akustik i bygningsforhold, lofter og vægge, rumlige elementer, rumdelere el. reoler og inventar er nøglen til et storrums kontor uden støjproblemer. I hvert fald hvis man kun ser på de rent fysiske forhold.

De værste odds har

- høje, smalle rum med glatte overflader
- Korte forbindelsesveje – for ringe dæmpning mellem kontorafsnit

De bedste odds har

- store, brede rum med mange absorberende lodrette flader.

Arbejdsfunktioner

Generelt kan man sige, at man bør planlægge indretningen af storrums kontoret, så medarbejdere med forskellige typer arbejdsfunktioner, fx koncentrationskrævende arbejder og meget talende arbejde sidder adskilt fra hinanden.

Man bør placere medarbejderne sådan, at medarbejdere, som har brug for at høre og forstå hinanden, sidder tæt sammen.

Handlemuligheder og Adfærd

Når man vælger at indrette sig i storrums kontor, er det væsentligt, at der er nogle handlemuligheder, det vil sige muligheder for at udføre sit arbejde i andre rum end storrums kontoret eller på andre måder. Der vil være nogle arbejdsopgaver, som det ikke er hensigtsmæssigt at udføre i storrums kontoret, enten fordi de kræver stor koncentration, eller fordi de medfører et støjniiveau, som de andre medarbejdere vil blive forstyrret af. Handlemulighederne kan være stillerum, mulighed for at arbejde hjemme mm. Det er vigtigt, at rammerne for arbejdet understøtter brugen af handlemulighederne. Det nytter ikke at lave stillerum, hvis medarbejderne fx ikke har mulighed for at tage en bærbar computer med i rummet.

Det er ligeledes vigtigt at synliggøre handlemulighederne og angive, hvordan disse skal anvendes. Det skal også være legitimt at anvende dem, fx sidde i sofa og læse, uden at andre medarbejdere har en opfattelse af, at man ikke arbejder.

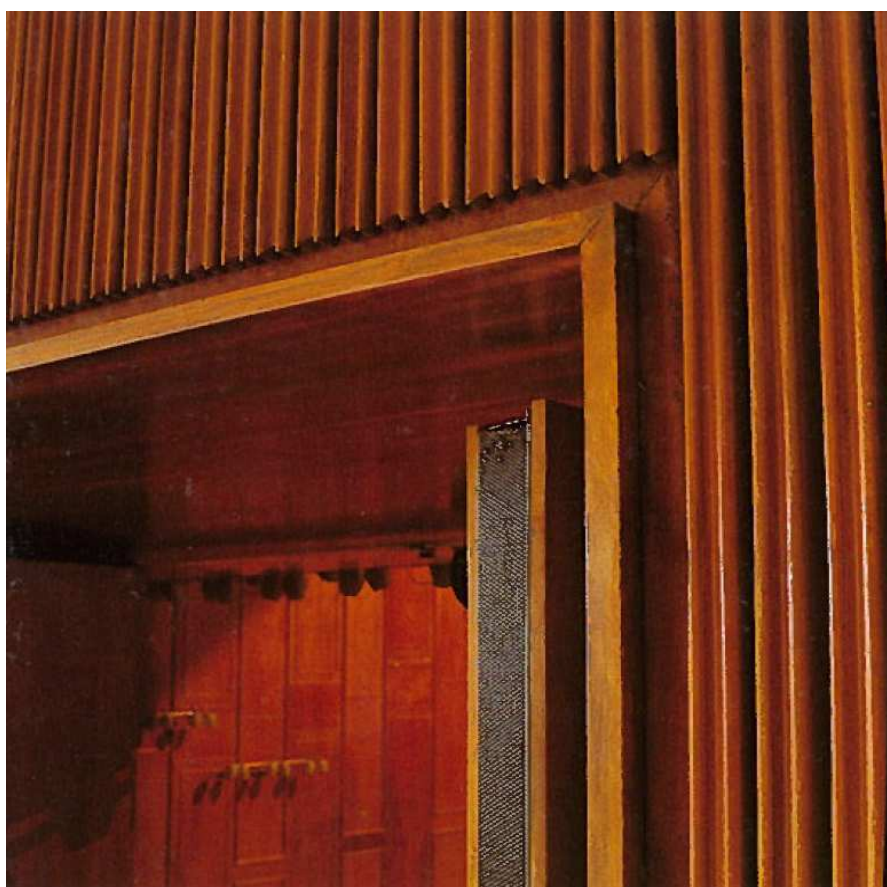
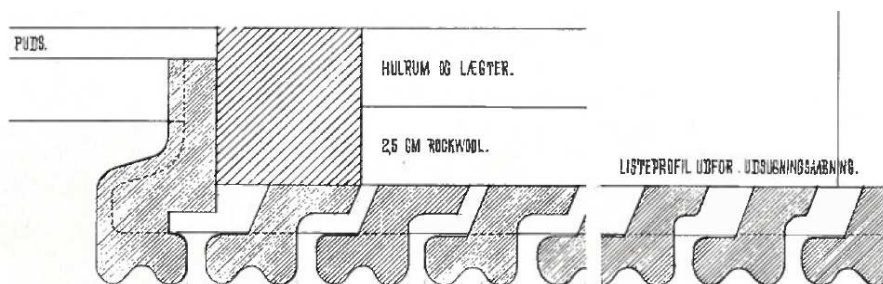
Det kan også være nødvendigt at sætte fokus på adfærd i storrumskontoret. Nogle virksomheder formulerer leveregler / spilleregler for brug af rummet og handlemulighederne. Dette arbejde kan fx varetages af eller sammen med sikkerhedsorganisationen.

Med adfærdsregler skal man dog passe på, at der ikke bliver sat en dagsorden af de mest strikse eller nervøse, og som ikke repræsenterer den måde organisationen ønsker at arbejde på. Skrækeksemplet er det store skilt, på døren til kontoret: "STILLE- vi er nogen der arbejder". Det nogen medarbejdere opfatter som en levende og sjov arbejdsplads, hvor man taler sammen, opfatter andre som en useriøs og forstyrrende arbejdsplads, hvor man ikke kan få ro. Virksomhedens ledelse har derfor en vigtig rolle i at tage stilling til, hvilken arbejdskultur der ønskes og hvilke adfærdsgelser, der understøtter den.

Den positive indarbejdning i arkitekturen

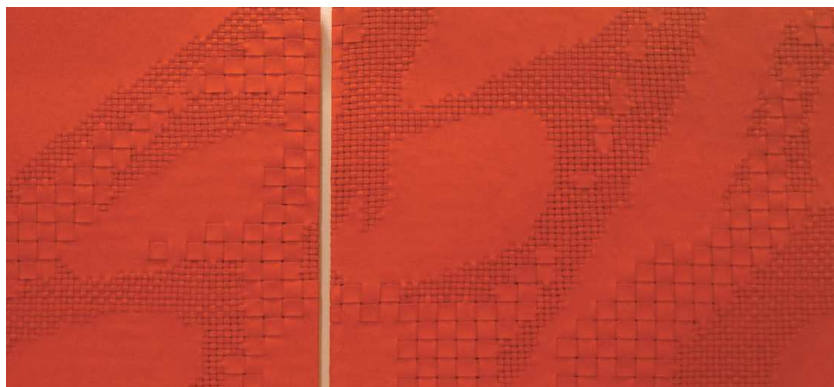
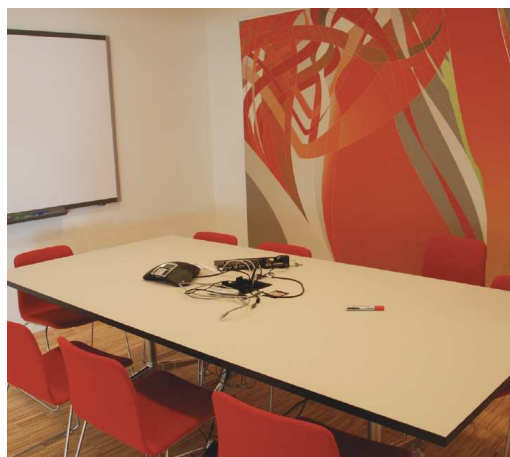
Akustiske løsninger er sjældent smukke, hvis de ikke er en naturlig del af resten af bygningen eller rummets indretning. I øjeblikket udføres der rigtig mange "akustiske renoveringer" af bygninger. Disse har ofte karakter lappeløsninger. Overalt hvor der er en bar vægflade opsættes der bløde plader, ofte i små stumper, fordi de skal tilpasses rørføringer og vinduesnicher. Resultaterne er akustisk funktionelle, men ikke noget der øger den arkitektoniske kvalitet i bygningerne.

Hvis de akustiske løsninger til gengæld er integrerede helhedsløsninger kan de hæve selve bygningens karakter og udsmykning. Et meget fint eksempel er Vilhelm Lauritzens Radiohuset Rosenørns Allé, Frederiksberg, som nu huser musikkonservatoriet. Her er der i mange lofts-, væg- og inventarløsninger integrerede akustiske funktioner; bl.a. er et gennemgående element en meget smuk lameltrævæg (med spalteabsorbenten som går under navnet "The Copenhagen Panel"), der her mange generationer senere stadig står lige så fin.



*Figur 37. Spaltepaneler fra Radiohuset Rosenørns Allé
(Ill. fra "Vilhelm Lauritzen, En moderne Arkitekt" – Bergiafonden – Aristo 1994).*

Derfor er det så vigtigt at tænke arkitektur og akustik sammen fra starten af i et projekt. I stedet for først at bygge en væg og derefter montere en akustisk plade, er målet, at man kan bygge en væg, der udover at fungere som en normal væg også er akustisk regulerende, *en akustisk væg*. Tilsvarende er idealet, at der ikke først indkøbes reoler og derefter akustiske skærme, men at reoler udføres med akustiske bagsider eller låger, så flere formål integreres i samme element, *en akustisk reol*. Dette kræver et helhedssyn, der går på tværs af fag, på tværs af bygning og inventar og på tværs af funktionsopdelinger. Kun ved at efterspørge helhedsløsninger kan modsætningsforholdet mellem "grim påklistret akustik" og "smuk ikke fungerende arkitektur" blive ophævet.



Figur 38: Eksempler på akustiske vægge (absorbenter med print og tekstilkunst), samt akustisk reol

Nye løsninger og produkter.

Undervejs i projektet blev en række akustiske løsninger og produkter til stor-rumskontorindretning ny- og videre-udviklet.

Bygningsintegrerede akustikelementer:

- Robuste overflader kombineret med absorbenter, f.eks.
- trælameller eller hulplader (metal, træ, gips) med absorbenter bag
- akustikpuds
- microperforerede plader
- kompositmaterialer

Fordelen ved disse akustikelementer er, at de kan integreres i bygningens overflader og blive en naturlig del af rummenes arkitektoniske løsning. Når de akustisk regulerende flader er lodrette og inden for rækkevidde kræver det, at overfladerne er langt mere robuste end normalt for fx akustiske lofter. Når det drejer sig om overflader til skoler er problemet endnu større end i kontorbyggeri.

Transparente akustiske løsninger:

- Microperforerede transparente el. translucente akrylpaneler til montering
 - o foran vinduer, f.eks. foran hele glasfacader, hvor de også kan fungere som solafskærmning, eller
 - o som rumdelere hvor gennemsyn vil fastholdes

Akustikelementer brugt som udsmykning:

- Grafisk tryk på absorbenter
- Mobiler

Rumdelende akustisk regulerende elementer:

- Skærmvægge
 - lystransparente og lydabsorberende
 - blot lydabsorberende
- evt. på hjul for at bevare fleksibiliteten

Fotos af produkter med lydabsorberende egenskaber:



Figur 39: Akustiske vægbeklædninger og inventar



Figur 40: Akustisk inventar, møbler og mobiler

Den akustiske funktionalitet

En forudsætning for succes hos de "nye" lydabsorberende vægbeklædninger, inventardele og mobiler er et grundigt udviklingsforløb, som udover design og funktionalitet i bred forstand også har omfattet akustisk produktudvikling. Her har mange producenter taget udgangspunkt i kendte og genkendte materialer, så som de "porøse" lydabsorbenter, dvs. materialer som fungerer akustisk ved at "bremse" lydens trykbølger med modstand i form af porøsitet og ved at øve modstand for luftgennemstrømning. Dette princip er nok det mest effektive absorptionsprincip og kendes fra "akustiklofter" (mineraluld- eller glasuldplader) med en optimeret overflade, som nu også kan fremstilles med mønster og fotografier. Også tekstiler (gardiner), fil og møbler hører til denne kategori. Som nævnt har disse materialer potentiale til at blive højeffektive absorbenter – som kan nå den bedste lydabsorptionsklasse A jf. ISO 11654 (med absorptionskoefficienter omkring 0,9 - bemærk 1,0 er maksimumværdien)

Hvis overfladen på en sådan absorbent skal beskyttes kan det ske med perforerede plader (metal, træ, gips) eller beklædninger med spalter (jf. tidligere eksempler) – som "blot" skal have tilstrækkelig åbningsgrad (>20-25%) for at ikke at reducere den bagvedliggende absorbent. Der findes også lydduge (papirstynde), som med optimeret strømningsmodstand og placeret bag en perforeret plade også giver optimal absorption.

Mikroperforation dvs. meget små huller (under 1 mm i diameter) i et plademateriale er relativt ny metode til at skabe lydabsorption. Princippet er hér at selve hullerne giver strømningsmodstanden og dermed absorptionen. Dette princip udnyttes arkitektonisk i visse absorbenter, bl.a. de transparente og translucente, hvor mikroperforerede plastmaterialer giver nye muligheder for lydangang. Den "akustiske effektivitet" af disse absorbenter er ofte kun ca. halvt så god som de porøse – til gengæld kan de anvendes steder hvor de traditionelle absorbenter ikke kan (fx foran vinduer).

Den sidste absorbenttype er membranabsorbenterne – hvor svingningen af en tæt overflade foran et hulrum, udfaser lyden. Denne type absorbent ses anvendt hvor særlige frekvenser ønskes dæmpet – fx musik- og målerum, men den kan også anvendes i alm. lokaler. Et oliemaleri (uden glas) fungerer lydmæssigt efter dette princip.

Den sidste overfladetype er diffusorer, som virker ved at sprede lyden i vilkårlige retninger. Dette princip kan anvendes til at imødegå problemer fra akustisk hårde parallelle overflader. En del almindelige bygningsdele virker lydspredende, fx vindues sprosser og inventar med ujævn overflade.

Producenternes øgede opmærksomhed stimuleret af arkitekters virke

Med Bygningsreglement 2008, BR08 kom der et indirekte "lovkrav" om en vis mængde vægabsorbenter i storrumskontorer. Hvor der i årevis har været fokus på udvikling af loftsløsninger, som både var akustisk velfungerende og smukke, var der ikke på markedet et tilsvarende udvalg af vægabsorbenter, fordi efterspørgselen ikke havde været der. De mest gængse vægprodukter er nærmest en isoleringsplade med stof trukket over; ikke et kvalitetsmateriale, som bygherrer og arkitekter drømmer om at fylde væggene i bygningerne med. Vægabsorbenter er langt mere udsat for slag og slid end loftsplader, og det var også med til at gøre udvalget af produkter meget lille. Med det nye bygningsreglement kom der en efterspørgsel fra arkitekter efter andre akustiske materialer og produkter, der ville kunne tilføre bygningerne materiemæssig og visuel kvalitet samtidig med at de var meget holdbare.

Der er langsomt ved at komme andre produkter på markedet: microperforede transparente akrylpaneler, akustiske løsninger integreret i reoler og skabe, frithængende akustiske "skyer", grafisk formbare akustikpaneler, "usynligt" akustikpuds, laserskårrede træpladeløsninger med absorbenter bag og Den Akustiske Lampe!

Disse produkter er bud på løsninger på paradokset i åbne kontorer: hvordan kombinerer man transparens og åbenhed i kontoret med flere akustiske flader. Mange af produkterne ligger i feltet mellem bygningsdele og inventar: rumelementer, halvvægge, skærme etc. som kan være med til at underopdele åbne kontorer i mindre enheder uden at dele dem i flere rum. Det er elementer der kan være med til at skabe akustiske rum i rummet, forskellige lyd-zoner inden for de samme vægge.

De skærpede krav, efterspurgt af nytænkende søgende arkitekter og byggherrer samt vågne og innovative producenter kan føre til en hel verden af nye akustiske produkter, som i højere grad opfylder både bygherrers, arkitekters og akustikeres krav. En del af løsningerne er stadig 1. generation og mangler at blive gennemprøvet i praktisk brug over en længere periode og er stadig forholdsvis dyre. Over tid bliver produkterne forhåbentlig optimerede i driftssammenhæng og billigere. Indtil da må både arkitekter og byggherrer være med på at afprøve nogle af disse nye løsninger og vise vejen for en fortsat udvikling af området for at det ikke skal være et spørgsmål om enten akustik eller arkitektur men et både-og.

Arkitekternes opmærksomhed overfor akustik

Lyd er ikke synlig, måske er det derfor akustik ofte får for lidt opmærksomhed, når arkitekter tegner projekter. Med de skærpede krav til akustik i BR08 er der kommet et større fokus på akustiske løsninger, men akustiske tiltag ses fortsat ofte fra arkitektside som et fordyrende element, der ikke tilfører bygningen ekstra kvalitet. Tværtimod oplever mange arkitekter, at de akustiske tiltag "ødelægger" bygningen. Hvilket ikke er helt forkert, når man ser de mange eksempler hvor absorbenter klistres på i små bidder spredt rundt på lofter og vægge for at lappe på akustikken.

Akustiske løsninger kan blive en smuk integreret del af en bygning, hvis de indtænkes fra starten, men det kræver at der fra alle; arkitekt, akustiker og bygherres side er fokus på og økonomi allokert til kvalitative akustiske løsninger fra første færd. Kun ved at arkitekter viser "lydhørhed" og større viden om akustik og fra starten af hver opgave arbejder sammen med akustikere, kan der udvikles løsninger der både give god lyd og smukke rum.

Desværre har der været enkelte eksempler på det modsatte. Et af de markante danske eksempler er Statens Museum for Kunst i København, som heldigvis blev løst efterfølgende til alles tilfredshed. Museet skulle i 1998 udvides og fik en smuk hvid tilbygning, som udover rum til udstillinger også indeholdt et panoptisk rum samt et multifunktionelt område med scene og skrå publikumsopbygning. Desværre blev der - trods akustiske råd herom - ikke integreret lydabsorberende overflader i det ny meget store rumvolumen. Resultatet kunne høres klart og tydeligt: Med ny rekord i efterklangstid på ca. 10 sek. var rummet uanvendeligt til de planlagte formål. Den faglige dialog under projekteringen havde ikke fungeret – fokus havde alene været på rummets visuelle kvaliteter. Konsekvensen blev en akustisk ombygning i stor skala - i form af eftermontage af ca. 2000 m² akustisk puds placeret usynligt under lofter og monteret uden på store lodrette vægflader. Samme løsning kunne problemfrit have været etableret fra starten. Med en efterklangstid på ca. 3 sek er brugerne tilfredse, og rummet kan anvendes til alle de planlagte formål.



Figur 41 Statens Museum for Kunst med akustisk beklædning (væg og loft)

Et eksempel på et meget frugtbart samarbejde mellem arkitekter og akustikere og procesrådgivere er Tryg Vesta projektet, beskrevet nærmere i Appendix A1. I forbindelse med ombygningen af Tryg Vestas kontorer i Danmark og Norge skulle 2500 medarbejdere flytte fra lukkede til åbne kontorer. Målet var at gøre organisationen mere transparent, både fysisk og mentalt, opnå en større grad af videndeling og give virksomheden en fælles visuel identitet på tværs af landgrænser.

Fra starten af var der fra bygherrens side stort fokus på støj og medarbejdernes bekymring for, at de ikke ville kunne få arbejdsro. Første skridt var på baggrund af interviews med medarbejdere med forskellige typer arbejdsopgaver at kortlægge hvilke typer rum og omgivelser, der bedst muligt ville kunne understøtte medarbejdernes arbejde. Med afsæt i dette blev der lavet en akustikstrategi, som beskrev ønsker til lydkvaliteter i forskellige områder afhængig af om der var behov for fordybelse eller interaktion. Således skulle et solo-rum være meget lyddæmpet mens et cafeområde skulle have en vis baggrundssummen for at give det dynamik og mulighed for privathed omkring samtaler.

I den videre projektering blev de akustiske behov integreret i bygningsdele, rumelementer og inventar og koblet sammen med Tryg Vestas nye visuelle identitet. De akustiske løsninger blev udviklet i det tværfaglige samarbejde, så de understøttede de arkitektoniske og arbejdsmiljømæssige mål og dermed blev et tilskud til bygningen og ikke noget der ville "skæmme" den.



Figur 42. Interiør fra Tryg Vesta med integrerede akustiske løsninger i lofter (akustisk puds) i balkonværn (perf. metalplader) og i vægge bag skranke.

11.6

Anbefalinger – redskaber - ved fremtidige projekter

For at afdække de komplekse sammenhænge omkring lyd i åbne kontorer er det nødvendigt med en tværfaglig projekteringsproces med involvering af akustiker, arkitekt og arbejdsmiljø/brugerproces-rådgiver. Alt for ofte oplever man at forløbet kun fokuserer på én af de tre facetter og dermed ikke kommer omkring problemet.

Første tanke hos mange virksomheder er at lydproblemer skal løses af en akustiker. Ved alene at have en akustiker involveret bliver fokus primært på de målbare lydforhold, på at opsætte absorbenter eller skærme eller lave tilsvarende "lyd-reparationer" af rummet.

Erfaringen fra forskningsprojektet er, at en ensidig løsning med akustikfokus i flere af tilfældene ville være spildte kræfter fordi støjproblemerne var så tæt koblet til adfærd, organisation og indretning: En lang række problemer og frustrationer blandt medarbejdere bliver ofte benævnt som "støjproblemer", fordi det i mange virksomheder er mere legitimt at påtale et fysisk fænomen snarere end organisatoriske og adfærdsmæssige forhold.

Tilsvarende viser forskningsprojektet, at en ensidig arkitektvinkel uden akustiske målinger ikke ville have afsløret de meget uventede lydforhold i flere af rummene. Bygningsændringer og indretningsændringer kunne være blevet sat ind de helt forkerte steder, f.eks. i de store åbne rum i stedet for i "lommer" og "fileter". Og i alle tilfælde ville en ensidig fokusering på rum og indretning være utilstrækkelig, hvis ikke medarbejdernes måde at arbejde på blev lagt til grund for de fysiske løsninger. Det er ikke muligt at skræddersy en arbejdsplads uden at tage mål først!

Var opgaven med støj i storrumskontoret blevet lagt udelukkende hos arbejdsmiljøeksperter ville det fysiske og målbare grundlag mangle. Mange antagelser om, hvorfor der var støjproblemer, ville være blevet taget for gode varer, ligesom i eksemplet Danske Bank, hvor der blev indkøbt en mængde skærmvægge for at afhjælpe støjproblemet, men det viste sig bare at forværre støjen. Arbejdsmiljøeksperter ville nok via interview med medarbejdere kunne have fået et billede af kompleksiteten bag årsagerne til støjproblemerne, men ville mangle handlemuligheder for at ændre på dem.

En tværfaglig proces er derfor den eneste måde at løse denne type komplekse opgaver på. En tværfaglig projekteringsproces kræver en viden blandt parterne om, hvad de enkelte fagkompetencer kan bidrage med og kræver en stor vilje til at lytte og samarbejde. Erfaringerne fra projektet er, at de nye erkendelser er opstået pga. af denne tværfaglighed og fordi parterne fik opbygget en fælles faglig vidensbase og kunne bevæge sig længere ind på hinandens fagfelter end det normalt er kutyme.

I et projekteringsforløb omkring storrumskontorer har akustiker, arkitekt og arbejdsmiljøekspert forskellige roller undervejs i forløbet.

Ofte vil arkitekten stå for den koordinerende rolle i projektet, og vil sammen med virksomheden tilrettelægge en proces fra analyse, over løsningsforslag og projektering til udførelse og evaluering.

- I analysefasen vil alle tre fagekspertiser bidrage med deres analyse af problemet, så der skabes et kvalificeret afsæt for løsninger.
- I løsningsfasen vil arkitekten med afsæt i de første analyser komme med et eller flere skitseforslag. Skitseforslaget er af akustikeren blevet vurderet og justeret mht. akustiske forhold og arbejdsmiljøeksper-ten/brugerprocesrådgiveren har bidraget med input fra organisatio-nen.
- Når virksomheden sammen med rådgiverne har valgt den løsning, der skal arbejdes videre med, vil det ligge hos arkitekt og akustiker at projektet kan udføres.
- Inden indflytning skal arbejdsmiljøekspert/brugerprocesrådgiver igen inddrages i dialogen med virksomheden for at sikre at medarbejder-ne, der skal bruge storrumskontoret, er bevidste om muligheder og udfordringer, så de kommer godt fra start.

KONKLUSION

Projektet har givet en række nye værdifulde erfaringer og redskaber til bestemmelse af individuelle lydforhold på de enkelte kontorarbejdspladser, og har i høj grad vist vigtigheden af et godt samspil mellem de tre fagdiscipliner: Akustik, Arkitektur og Arbejdsmiljø.

Erfaringer, redskaber, arbejds- og analysemetoder samt konklusioner af projektet er beskrevet indgående i rapporten. Her skal blot nævnes nogle få hovedpunkter:

- Akustisk er det ikke tilstrækkeligt blot at overholde Bygningsreglement 2008. Der skal ses mere nuanceret på de lydmæssige relationer i storrumskontorer, herunder specielt på lydudbredelsen mellem arbejdspladser og de lokale akustiske forhold.
- Der foreligger nu en række metoder og værktøjer, der gør det muligt at optimere den akustiske indretning af storrum med en detaljeringsgrad, der går helt ned på den enkelte arbejdsplads. Mulighederne for at udnytte lydabsorbenter og afskærmning optimalt er dermed blevet markant forbedrede.
- Det vil være ønskeligt med større viden/opmærksomhed fra arkitekters side overfor akustik. Øget opmærksomhed vil føre til flere integrerede løsninger eller helhedsløsninger, hvor det ikke er et spørgsmål om enten akustik eller arkitektur, men et både-og. Der skal fokus på inventar og rumdelende elementer, og på paradokset: Hvordan laver man store åbne rum med mange lodrette akustiske flader? Endelig skal en række akustiske materialer ny- og videreudvikles – ikke mindst til brug på lodrette overflader.
- Arbejdsmiljømæssigt skal der ske en samtænkning af arbejdsfunktioner og arbejdspladsens udformning.
- Tværfagligheden skal styrkes via kendskab til og udvikling af flere brugbare redskaber hos de tre faggrupper.
- Selvom der i projektet har været fokus på den praktiske anvendelse, er der taget hul på række akustisk faglige spørgsmål, som der forhåbentlig vil blive arbejdet videre med i fremtiden, fx. nærfeltsforstærkningen og sammenhængen mellem det ækvivalente absorptionsareal og oplevelsen af blød/hård akustik.

APPENDIX

A. SUPPLERENDE CASES

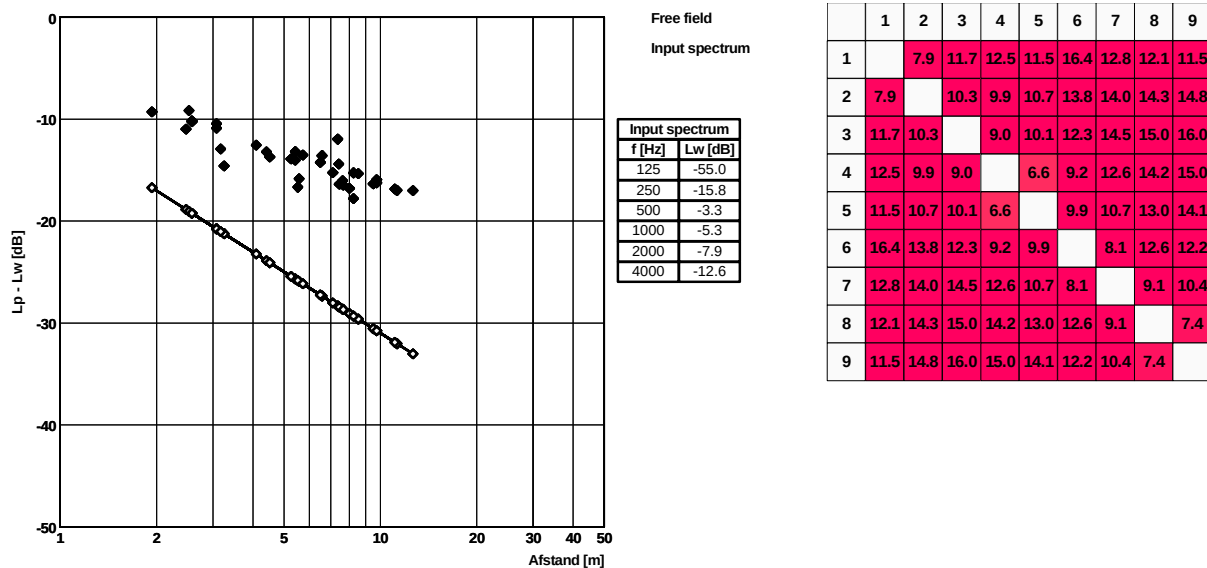
A1. Kontor i tagetage

Beskrivelse af kontorindretning, problemstilling og hovedresultater fremgår af afsnit 10.5.

Nedenstående billeder viser kontorlokalet efter at der er opsat 40 mm Ecophon-absorbenter (Wall Panel Alpha) på en stor del af skråvæggene.



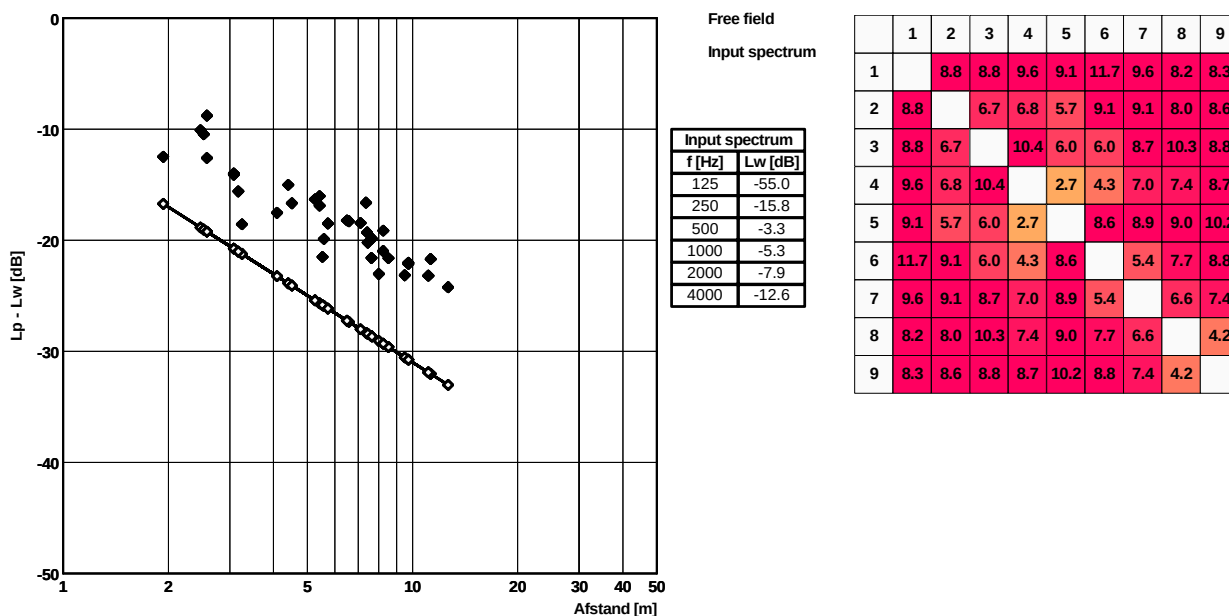
Lydudbredelse mellem de enkelte arbejdspladser før regulering



DL2 [dB]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	Spectrum
Near range: 2 m to 6 m	3.8	4.3	4.0	2.9	2.9	3.4	3.5
Middle range: 6 m to 13 m	4.8	1.8	3.1	3.0	3.0	2.8	3.1
Far range: 13 m to 13 m	---	---	---	---	---	---	---

DLf [dB]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	Spectrum
Near range: 2 m to 6 m	6.2	9.1	10.0	9.4	8.9	8.9	9.6
Middle range: 6 m to 13 m	11.2	12.9	14.5	14.0	13.8	13.3	14.2
Far range: 13 m to 13 m	---	---	---	---	---	---	---

Lydudbredelse mellem de enkelte arbejdspladser efter regulering



Lydudbredelse mellem de enkelte arbejdspladser efter regulering

DL2 [dB]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	Spectrum
Near range: 2 m to 6 m	3.1	5.0	6.1	3.8	4.6	4.3	5.3
Middle range: 6 m to 13 m	3.0	6.3	5.8	5.7	7.1	7.1	6.1
Far range: 13 m to 13 m	---	---	---	---	---	---	---

DLf [dB]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	Spectrum
Near range: 2 m to 6 m	7.2	7.6	7.4	5.9	6.3	6.3	6.9
Middle range: 6 m to 13 m	12.0	10.3	8.7	8.1	8.8	9.0	8.7
Far range: 13 m to 13 m	---	---	---	---	---	---	---

Resultat af måling af efterklangstid

Klient: Kontor i tagetage

Måling: T1

Måledato: 09-01-07

Udført af: SJu

Beskrivelse af måleobjekt

Internationale storkunder, OMP11, 4. sal

Senderum:

Modtagerum:

Rumvolumen:

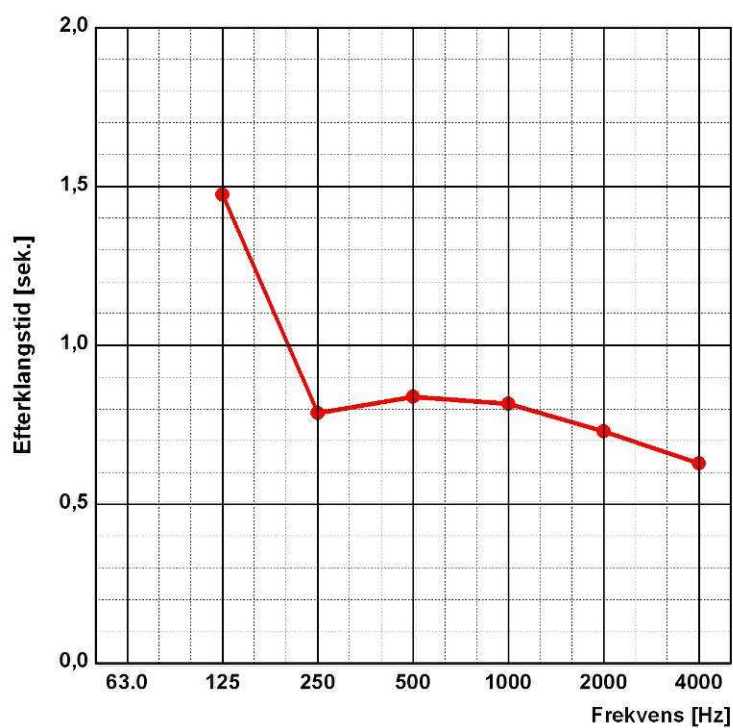
308 m³

Resultat: $T_{125-4000,1/1} = 0.9$ sek.

Bemærkninger

Måling før regulering af rumakustik

BAM, ver. 1.3.3



Frekvens [Hz]	T [sek.]
125	1.47
250	0.79
500	0.84
1000	0.82
2000	0.73
4000	0.63

Resultat af måling af efterklangstid

Klient: Kontor i tagetage

Måling: T1

Måledato: 14-05-07

Udført af: SJu

Beskrivelse af måleobjekt

Internationale storkunder, OMP11, 4. sal

Senderum:

Modtagerum:

Rumvolumen:

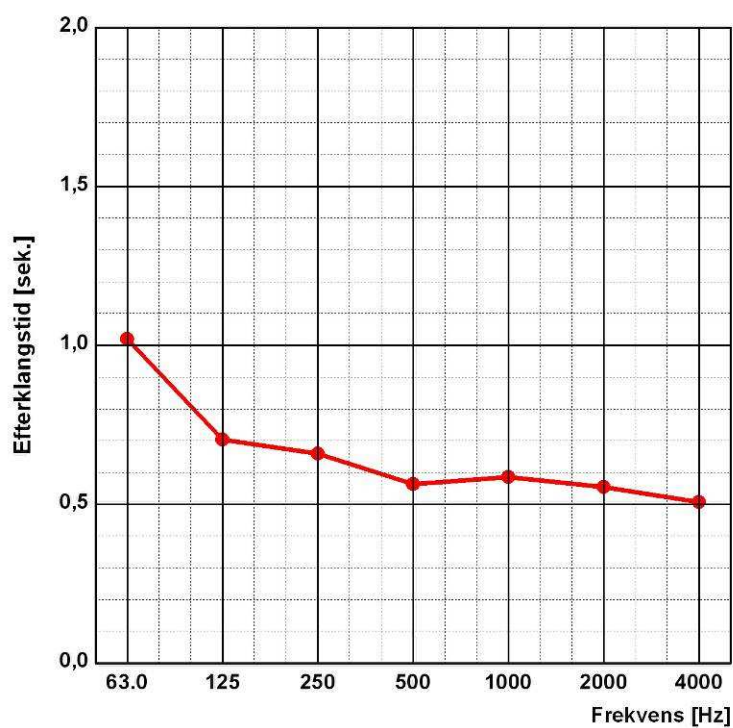
308 m³

Resultat: $T_{63-4000,1/1} = 0.7$ sek.

Bemærkninger

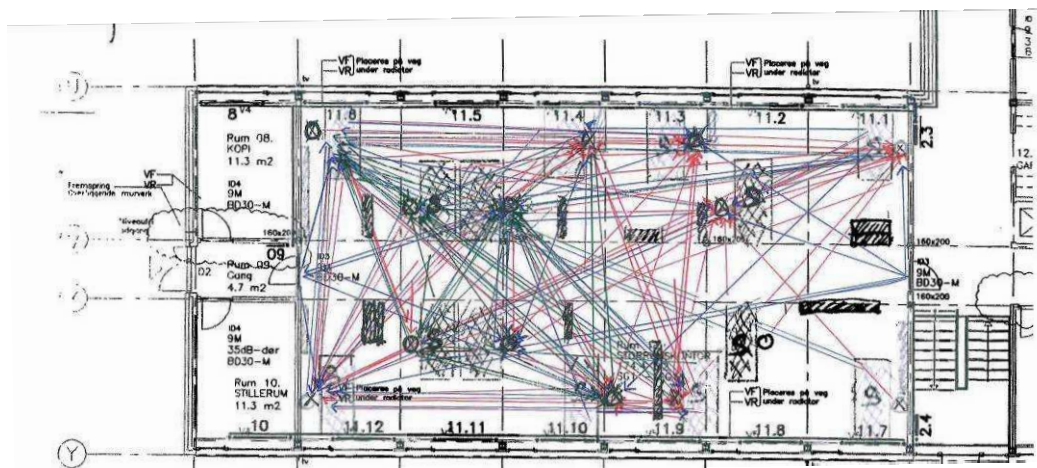
Måling efter regulering af rumakustik.

BAM, ver. 1.3.3



Frekvens [Hz]	T [sek.]
63	1.02
125	0.70
250	0.66
500	0.56
1000	0.59
2000	0.55
4000	0.51

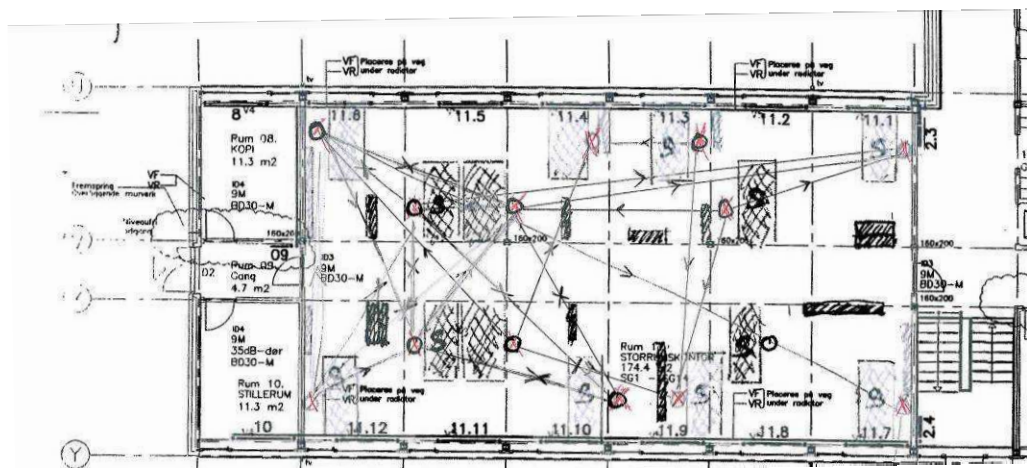
A2. Kontor med ensidig taghældning



Subjektive lydforhold, Storrums kontor

Røde pile: Tale, der forstyrrer. **Grønne** pile: Tale der ikke forstyrrer

Blå pile: Andre lydkilder end tale, fx kopimaskiner, telefoners ringetoner, trinstøj



Storrums kontor – Pile indikerer nærmeste samarbejdspartnere.

B. PUBLIKATIONER OG PRODUKTER SOM RESULTAT AF BEVILLINGEN

Artikel:

Petersen, C. M., "Limiting annoying noise in open-plan offices" Proceedings from Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting, Reykjavik, Iceland (2008)

Idékatalog:

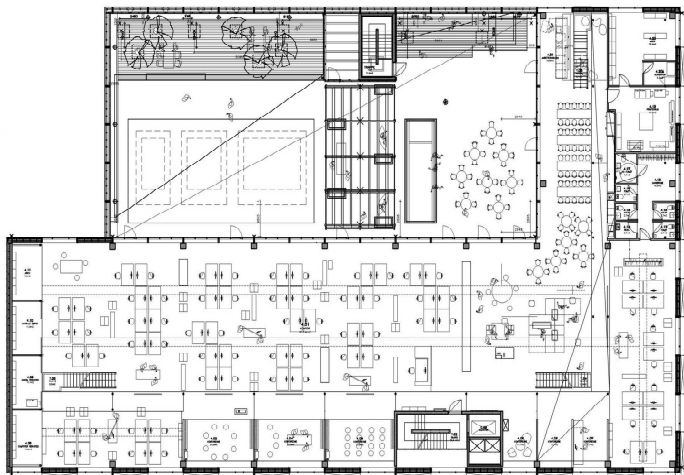
Idékatalog – Akustik – Storrumskontorer, Grontmij | Carl Bro og JJW Arkitekter (2010)

Udadvendte aktiviteter:

- TV-udsendelse (DR1 og DR2) "Det god arbejde" (Claus Møller Petersen, Stig Junge m.fl. marts, 2008)
- Præsentation på Joint Baltic-Nordic Acoustic Meeting (2008)
- Arbejdsmiljøkonferencen Nyborg Strand (Signe H. Mehlsen, Eva Thoft, Thomas Fløe, oktober, 2008)
- TV-indslag (TV-avisen, DR1). Interview om støj i storrumskontorer (Eva Thoft, 2009)

Spørgeskemaer:**FØR SPØRGSSKEMA**

Spørgeskema om arbejde og lydforhold i storrumskontorer



Lydkilder:

- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____
- 4 _____
- 5 _____
- 6 _____
- 7 _____
- 8 _____
- 9 _____
- 10 _____

X Her sidder jeg

← Placering af lydkilde

1 Nummerering af pil

Telefon ringer Navngivning af lydkilde

○ Område, hvor du kan høre og forstå tale

△ Kolleger du arbejder tættest sammen med.

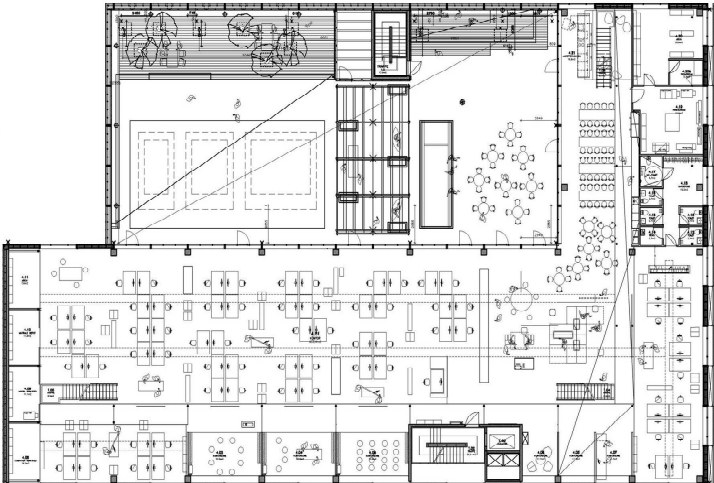
Lydkilder, som du påvirkes af på din arbejdsplads

Dette spørgeskema skal bruges til at kortlægge din oplevelse af lyde og støj i storrumskontoret. Du bør sidde på din sædvanlige plads, når du udfylder spørgeskemaet.

- Kig på plantegningen over kontoret og sæt kryds ved din plads.
- Angiv med pile de lydskilder, som påvirker dig i din dagligdag (tænk på en længere tidsperiode, fx 4 uger). Eksemplet på forsiden viser, hvordan du gør.
- Giv hver pil et nummer og skriv i boksen i højre side, hvad lydilden er. Brug evt. bagsiden, hvis der ikke er plads nok.
- På de næste sider bliver der spurgt ind til de enkelte lydskilder.

Lydskilder kan være menneskelig aktivitet (fx samtale, gang, møder) og mekaniske (fx telefon, trafik, køtermaskiner).

Lydskilder kan både forstyrre (så du fx mister koncentrationen) og hjælpe dig (fx give vigtige informationer) i dit arbejde.

TIL AFLEVERING


Lydkilder:

- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____
- 4 _____
- 5 _____
- 6 _____
- 7 _____
- 8 _____
- 9 _____
- 10 _____

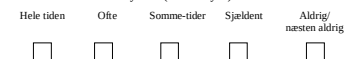
r:\projects\glo\35\35324001\06_output\amff-slutarpport\gældende version\amff-rapport-støj-i-storrumskontorer-30-apr-2010.doc **Grontmij | Carl Bro A/S**

Lydkilde 9: _____ (skriv her)**Du skal for lydkilde 9 besvare følgende:**

Hvordan påvirker lyden dit arbejde? (sæt et kryds på linjen)



Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

**Hvis lydkilden omfatter tale, så besvar følgende:**

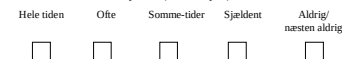
Hvor godt forstår du samtalen? (sæt et kryds på linjen)

**Lydkilde 11: _____ (skriv her)****Du skal for lydkilde 11 besvare følgende:**

Hvordan påvirker lyden dit arbejde? (sæt et kryds på linjen)



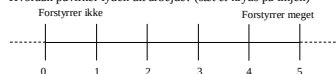
Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

**Hvis lydkilden omfatter tale, så besvar følgende:**

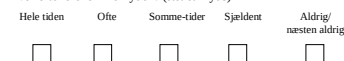
Hvor godt forstår du samtalen? (sæt et kryds på linjen)

**Lydkilde 10: _____ (skriv her)****Du skal for lydkilde 10 besvare følgende:**

Hvordan påvirker lyden dit arbejde? (sæt et kryds på linjen)



Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

**Hvis lydkilden omfatter tale, så besvar følgende:**

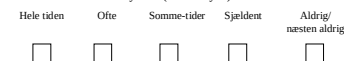
Hvor godt forstår du samtalen? (sæt et kryds på linjen)

**Lydkilde 12: _____ (skriv her)****Du skal for lydkilde 12 besvare følgende:**

Hvordan påvirker lyden dit arbejde? (sæt et kryds på linjen)



Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

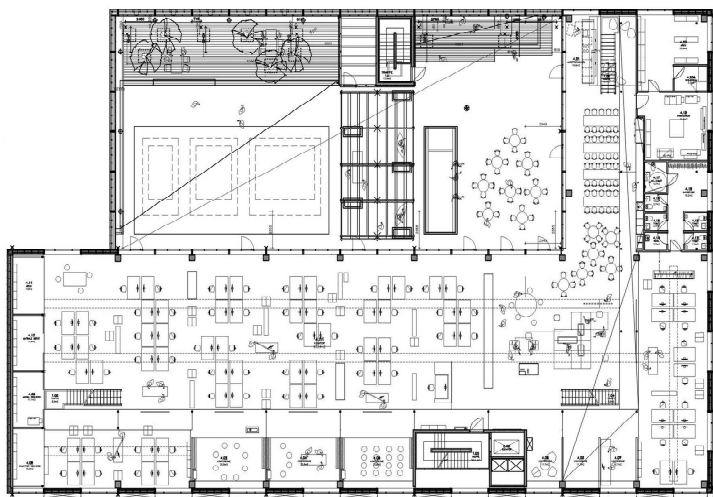
**Hvis lydkilden omfatter tale, så besvar følgende:**

Hvor godt forstår du samtalen? (sæt et kryds på linjen)

**De kolleger du kan høre, og som du samarbejder med**

Disse spørgsmål skal anvendes sammen med de tekniske målinger og ved udarbejdelse af forslag til forbedringer.

- Kig på plantegningen over kontoret og sæt kryds ved din plads.
- Indtægn det område hvor du kan høre og forstå dine kollegers tale. Eksemplet på forsiden viser, hvordan du gør.
- Marker med trekanter 1-5 kolleger, som du arbejder tættest sammen med og deler viden med (tænk på en længere periode, fx 4 uger).



Bagegrundsplysninger

Dette spørgeskema skal bruges til førregistreringen i projektet. Da vi også skal lave en efterregistrering, er det nødvendigt at kunne identificere dig for at kunne sammenligne svarene fra disse to spørgeskemaer. Du bedes derfor skrive dine initialer nedenfor.

Dine initialer _____

Din stilling _____

Er du (sæt et kryds): ☐ Kvinde ☐ Mand

Hvor gammel er du? (År) _____

Hvor længe har du siddet på din nuværende plads? År _____ Måneder _____

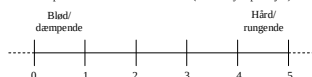
Hvor længe har du arbejdet i storrumskontor? År _____ Måneder _____

Hvordan vil du karakterisere din høreke? (sæt kryds)

- ☐ Jeg kan høre normalt, dvs. kan høre og forstå almindelig tale
- ☐ Jeg har lidt besvær med at forstå almindelig tale, hvis der er støj omkring mig
- ☐ Jeg har ofte lidt besvær med at forstå almindelig tale
- ☐ Jeg skal helst kunne se ansigtet på den, der taler
- ☐ Jeg lider af lydoverfølsomhed (hyperacusis)
- ☐ Jeg har et høretab
- ☐ Jeg har tinnitus
- ☐ Jeg bruger høreapparat

Generelle spørgsmål

Hvordan oplever du akustikken i rummet? (sæt et kryds på linjen)



Hvordan er det generelle lydniveau på din arbejdsplads? (sæt et kryds på linjen)



Hvor tilfreds er du alt i alt med lydforholdene på din arbejdsplads? (sæt et kryds på linjen)

**Dit arbejde**

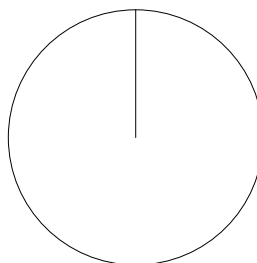
Hvilken type arbejde udfører du (tænk over en længere periode, fx 4 uger)?

•Angiv hvor mange timer om ugen du gennemsnitligt bruger på de angivne typer af arbejde. Du kan enten angive antal timer nedenfor eller tegne den procentvise fordeling ind på cirklen nedenfor.

•Angiv gerne selv andre typer arbejde, hvis nødvendigt – brug evt. bagsiden.

•Angiv til sidst det totale timeforbrug.

- _____ Særligt koncentrationskrævende opgaver, fx beskrivelser og projektering
- _____ Mindre koncentrationskrævende arbejde
- _____ Koncentrationskrævende telefonsamtaler, fx oplysninger om ny opgave eller ved uoverensstemmelser
- _____ Andre telefonsamtaler
- _____ Ikke-planlagte hastepgaver
- _____ Korte overleveringer af informationer til/fra andre medarbejdere
- _____ Sparring med andre medarbejdere (uformelle møder)
- _____ Byggetilsyn
- _____ Møder
- _____ Andet (angiv) _____
- _____ Andet (angiv) _____
- _____ **TOTAL (antal timer)** _____

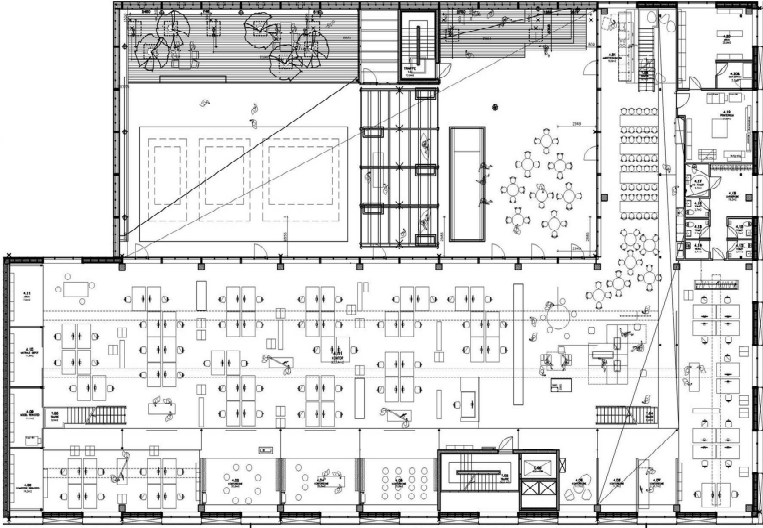


Angiv hvor mange timer om ugen du gennemsnitligt bruger væk fra din plads _____

Angiv de arbejdsopgaver, hvor lyd er mest belastende for dig (skriv højst tre typer arbejde)

EFTER SPØRGSSKEMA

Spørgeskema om arbejde og lydforhold i storrumskontorer



Lydkilder:

- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____
- 4 _____
- 5 _____
- 6 _____
- 7 _____
- 8 _____
- 9 _____
- 10 _____

X Her sidder jeg
 ← Placering af lydkilde
 ① Numerering af pil
 Telefon ringer Navngivning af lydkilde
 Område, hvor du kan høre og forstå tale
 △ Kolleger du arbejder tættest sammen med.

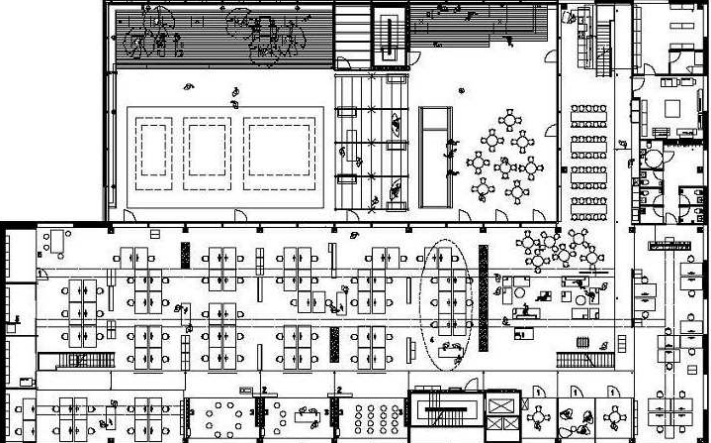
Lydkilder, som du påvirkes af på din arbejdsplads

Dette spørgeskema skal bruges til at kortlægge din oplevelse af lyde og støj i storrumskontoret. Du bør sidde på din sædvanlige plads, når du udfylder spørgeskemaet.

- Kig på plantegningen over kontoret og sæt kryds ved din plads.
- Angiv med pile de lydkilder, som påvirker dig i din dagligdag (tænk på en længere tidsperiode, fx 4 uger). Eksemplet på forsiden viser, hvordan du gør.
- Giv hver pil et nummer og skriv i boksen i højre side, hvad lydkilden er. Brug evt. bagsiden, hvis der ikke er plads nok.
- På de næste sider bliver der spurgt ind til de enkelte lydkilder.

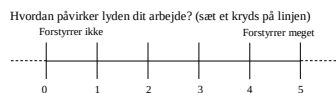
Lydkilder kan være menneskelig aktivitet (fx samtale, gang, møder) og mekaniske (fx telefon, trafik, kontormaskiner).
 Lydkilder kan både forstyrre (så du fx mister koncentrationen) og hjælpe dig (fx give vigtige informationer) i dit arbejde.

TIL AFLEVERING



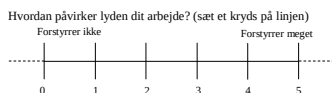
Lydkilder:

- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____
- 4 _____
- 5 _____
- 6 _____
- 7 _____
- 8 _____
- 9 _____
- 10 _____
- 11 _____
- 12 _____

Lydkilde 1: _____ (skriv her)**Du skal for lydkilde 1 besvare følgende:**

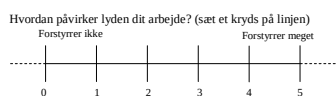
Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐

Lydkilde 3: _____ (skriv her)**Du skal for lydkilde 3 besvare følgende:**

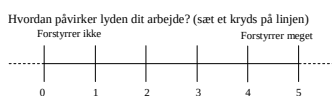
Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐

Lydkilde 2: _____ (skriv her)**Du skal for lydkilde 2 besvare følgende:**

Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

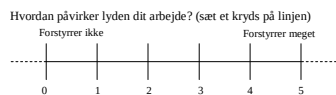
Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐

Lydkilde 4: _____ (skriv her)**Du skal for lydkilde 4 besvare følgende:**

Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

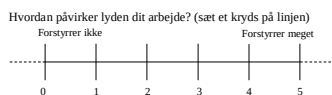
Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐

4

Lydkilde 5: _____ (skriv her)**Du skal for lydkilde 5 besvare følgende:**

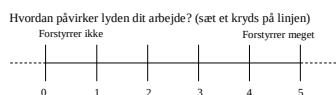
Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐

Lydkilde 7: _____ (skriv her)**Du skal for lydkilde 7 besvare følgende:**

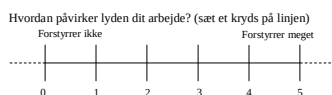
Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐

Lydkilde 6: _____ (skriv her)**Du skal for lydkilde 6 besvare følgende:**

Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐

Lydkilde 8: _____ (skriv her)**Du skal for lydkilde 8 besvare følgende:**

Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐

5

Lydkilde 9: _____ (skriv her)

Du skal for lydkilde 9 besvare følgende:

Hvordan påvirker lyden dit arbejde? (sæt et kryds på linjen)

Forstyrrelse ikke Forstyrrelse meget

0 1 2 3 4 5

Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐

Lydkilde 11: _____ (skriv her)

Du skal for lydkilde 11 besvare følgende:

Hvordan påvirker lyden dit arbejde? (sæt et kryds på linjen)

Forstyrrelse ikke Forstyrrelse meget

0 1 2 3 4 5

Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐

Lydkilde 10: _____ (skriv her)

Du skal for lydkilde 10 besvare følgende:

Hvordan påvirker lyden dit arbejde? (sæt et kryds på linjen)

Forstyrrelse ikke Forstyrrelse meget

0 1 2 3 4 5

Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐

Lydkilde 12: _____ (skriv her)

Du skal for lydkilde 12 besvare følgende:

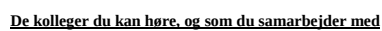
Hvordan påvirker lyden dit arbejde? (sæt et kryds på linjen)

Forstyrrelse ikke Forstyrrelse meget

0 1 2 3 4 5

Hvor ofte forekommer lyden? (sæt et kryds)

Hele tiden	Oft	Somme-tider	Sjældent	Aldrig/ næsten aldrig
☐	☐	☐	☐	☐



Baggrundsoplysninger

Dette spørgeskema skal bruges til efterregistreringen i projektet. Det er nødvendigt at kunne identificere dig for at kunne sammenligne svarene med førregistreringen. Du bedes derfor skrive dine initialer nedenfor. Hvis du ikke deltog i sidste spørgeskemaundersøgelse, skal du stadig besvare spørgsmålene.

Dine initialer _____

Din stilling _____

Er du (sæt et kryds): ☐ Kvinde ☐ Mand

Hvor gammel er du? (År) _____

Hvor længe har du siddet på din nuværende plads? År _____ Måned _____

Hvor længe har du arbejdet i storrumskontor? År _____ Måned _____

Hvordan vil du karakterisere din hørelse? (sæt kryds)

☐ Jeg kan høre normalt, dvs. kan høre og forstå almindelig tale

☐ Jeg har lidt besvær med at forstå almindelig tale, hvis der er støj omkring mig

☐ Jeg har ofte lidt besvær med at forstå almindelig tale

☐ Jeg skal helst kunne se ansigter på den, der taler

☐ Jeg lider af lydoverfølsomhed (hyperacusis)

☐ Jeg har et høretab

☐ Jeg har tinnitus

☐ Jeg bruger høreapparat

Dit arbejde

Angiv hvor mange timer om ugen du gennemsnitligt bruger væk fra din plads _____

Er der blevet flere koncentrationskrævende opgaver siden sidste spørgeskemaundersøgelse? (sæt et kryds)

☐ Ja ☐ Nej ☐ Jeg deltog ikke i sidste undersøgelse

Angiv de arbejdsopgaver, hvor lyd er mest belastende for dig (skriv højst tre typer arbejde)

Er dit arbejde ændret væsentligt siden sidste spørgeskemaundersøgelse? (sæt et kryds)

☐ Ja ☐ Nej ☐ Jeg deltog ikke i sidste undersøgelse

Hvis ja, skriv ændringen kort:

Generelle spørgsmål

Hvordan oplever du akustikken i rummet? (sæt et kryds på linjen)

Blød/
dæmpende

012345

Hård/
rængende

Hvordan vil du beskrive akustikken nu i forhold til tidligere? (sæt et kryds)

Meget mere
blød / dæmpende

Mere blød /
dæmpende

Det samme

Mere hård /
rængende

Meget mere
hård / rængende

Jeg deltog ikke i
sidste undersøgelse

Hvordan er det generelle lydniveau på din arbejdsplads? (sæt et kryds på linjen)

Meget lavt

012345

Meget højt

Hvordan vil du beskrive lydniveauet nu i forhold til tidligere? (sæt et kryds)

Meget lavere

Lavere

Det samme

Højere

Meget højere

Jeg deltog ikke i
sidste undersøgelse

Hvor tilfreds er du alt i alt med lydforholdene på din arbejdsplads? (sæt et kryds på linjen)

Meget tilfreds

012345

Meget utilfreds

Hvordan vil du beskrive din tilfredshed i forhold til tidligere? (sæt et kryds)

Meget mere
tilfreds

Mere
tilfreds

Det samme

Mere
utilfreds

Meget mere
utilfreds

Jeg deltog ikke i
sidste undersøgelse

Lydes positive betydning

Bidrager samtale i kontoret til faglig støtte og udvikling?					Hvor vigtigt er det for dig?		
I meget høj grad	I høj grad	Delvist	I ringe grad	I meget ringe grad	Vigtig	Hverken/ eller	Ikke vigtig
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
4	3	2	1	0	2	1	0
Bidrager samtale i kontoret til det sociale liv på kontoret?					Hvor vigtigt er det for dig?		
I meget høj grad	I høj grad	Delvist	I ringe grad	I meget ringe grad	Vigtig	Hverken/ eller	Ikke vigtig
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
4	3	2	1	0	2	1	0

Vurdering af tiltag

I forbindelse med projektet er der gennemført en række tiltag på din arbejdsplads, fx akustisk beklædning af vægge. Du skal nu vurdere tiltagene enkeltvis i forhold til, hvordan de har påvirket udførelsen af dit daglige arbejde. Hvis det angivne tiltag ikke er indført på din arbejdsplads, kan du krydse af i Ikke relevant.

Jeg deltog i sidste spørgeskemaundersøgelse? (sæt et kryds)

Ja ☐ Nej ☐

- Hvis nej gå til side 12 nederst (slut på spørgeskemaet)

Hvordan har følgende tiltag haft betydning for udførelsen af dit daglige arbejde?

- Akustisk beklædning, vægge: (sæt et kryds)

Positivt ☐ Neutralt ☐ Negativt ☐ Ikke relevant ☐

Uddyb evt.:

- Gulvbelægning: (sæt et kryds)

Positivt ☐ Neutralt ☐ Negativt ☐ Ikke relevant ☐

Uddyb evt.:

- Andre afskærmninger (sæt et kryds)

Positivt ☐ Neutralt ☐ Negativt ☐ Ikke relevant ☐

Uddyb evt.:

- Andet: _____: (sæt et kryds)

Positivt ☐ Neutralt ☐ Negativt ☐ Ikke relevant ☐

Uddyb evt.:

- Akustisk beklædning, reolbagsider (sæt et kryds)

Positivt ☐ Neutralt ☐ Negativt ☐ Ikke relevant ☐

Uddyb evt.:

- Bordskærme (sæt et kryds)

Positivt ☐ Neutralt ☐ Negativt ☐ Ikke relevant ☐

Uddyb evt.:

- Omorganisering (sæt et kryds)

Positivt ☐ Neutralt ☐ Negativt ☐ Ikke relevant ☐

Uddyb evt.:

Hvordan har ændringerne alt i alt påvirket udførelsen af dit daglige arbejde? (sæt et kryds)

Positivt ☐ Neutralt ☐ Negativt ☐

Uddyb evt.:

10

Vurdering af indsatsen

Her skal du vurdere, hvordan indsatsen overordnet har haft betydning for Jeres arbejdsplads.

Hvordan har indsatsen haft betydning for følgende?

- Akustik: (sæt et kryds)

Positivt ☐ Neutralt ☐ Negativt ☐

Uddyb evt.:

- Arbejdsmiljø, generelt: (sæt et kryds)

Positivt ☐ Neutralt ☐ Negativt ☐

Uddyb evt.:

- Rum og indretning: (sæt et kryds)

Positivt ☐ Neutralt ☐ Negativt ☐

Uddyb evt.:

11

C. LITTERATUR

Normer og standarder:

DS/ISO 3382-2 Akustik – Måling af rumakustiske parametre. Del 2 Efterklangstid i almindelige rum. (2006)

ISO/DIS 3382-3 Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – part 3: Open plan spaces. (2009)

ISO 14257 Acoustics – Measurements and parametric description of spatial sound distribution curves in workrooms for evaluation of their acoustical performance (2001)

DS/EN 602168-16 Lyddstyr – Del 16: Objektiv klassificering af taletydelighed ved taletransmissionsindex (IEC 60268-16:2003) (2003)

ANSI S3.5 Methods for calculation of the speech intelligibility index (1997)

Litteratur

¹ Pejtersen, J. "Indeklima og psykosocialt arbejdsmiljø i storrumskontorer", Temanummer om indemiljø i Miljø og sundhed, supplement nr. 6, maj 2006

² Bjerrum E., Fangel A.B. "Arbejdsopfattelsens betydning for videnarbejdspladsen" Knowledge Management, Børsens forlag 2007

³ Bjerrum E. og Simonsen J.B. "User driven Innovation in new Workspace Design" præsentation ved Ekspertworkshoppen: *Den gode lyd i åbne kontorer*, 2008.

⁴ Bakke j. W. (editor), Bjarnason T., Bjerrum R., Gunnarsdóttir S., Hreinsdóttir H., Julsrud T.E., Koskinen T., Steen J., Suominen R., Þorsteinsson S.E., Aaløkke S. "DEKAR – Den Nordiske Kunnskapsarbejdspladsen (The Nordic Workplace Design for Knowledge Work)", Nordic Innovation Centre 2007.

⁵ Storrumsguiden, Branchearbejdsmiljørådet Finans / Offentlig Kontor & Administration, 2007

⁶ Lund, S.P., Kristiansen J., Shibuya H., Clausen T., Pejtersen J.H., Nielsen P.M., Nielsen K.S., Kolstad H., Poulsen T., Rindel J.H., Christensen-Dalsgaard J. "Støj fra menneskelig aktivitet – et udredningsarbejde" Arbejdsmiljøinstituttet, København (2006)

⁷ Helenius, R., Keskinen E., Haapakangas A., Hongisto V. "Acoustic environment in Finnish offices – the summary of questionnaire studies", Proceedings International Congress on Acoustics 2007.

⁸ Banbury S., Berry D. C., "Habituation and Dishabituation to Speech and Office Noise", Journal of Experimental Psychology: Applied 3, pp. 181-195, (1997)

⁹ Hongisto, V., "A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance", proceedings fra Indoor Air 15, pp. 458-468, (2005)

¹⁰ Hongisto, V., "Work performance and office noise – do they correlate", proceedings fra International Congress on Acoustics 2007

¹¹ Zimmer, K., Ghani J., Ellermeier W. "The role of task interference and exposure duration on judging noise annoyance" Journal of Sound and Vibration 311, pp. 1039-1051 (2008).

-
- ¹² Balazova, I., Clausen G., Rindel J.H., Poulsen T., Wyon D.P., "Noise in open-plan office environments: A laboratory experiment on human perception comfort and office work performance." Proceedings of the 6th international conference Indoor Climate in Buildings, High Tatras, Slovakia, p. 77-84 (2007)
- ¹³ Kristiansen J, Mathiesen L., Nielsen P.K., Hansen Å.M., Shibuya H., Petersen H.M., Lund S.P., Skotte J., Jørgensen M.B., Søgaaard K., "Stress reactions to cognitively demanding tasks and open-plan office noise.", *Int. Arch. Occup. Environ. Health* (2008)
- ¹⁴ Hansen, H. L., "Spaces for learning and working. A quantitative study of change of work, management, vehicles of power and social practices in open plan offices" PhD-thesis, Department of Management, Politics and Philosophy, Copenhagen Business School (2006).
- ¹⁵ Warnock, A.C.C., Chu, W.T., "Speech Levels In Open Plan Offices" *Canadian Acoustics* Vol. 30, No. 3, pp.38-39 (2002).
- ¹⁶ Lombard, E., "Le signe de l'élévation de la voix" *Annales des Maladies de l'Oreille, du Larynx, du Nez et du Pharynx*, 37, 101-119 (1911)
- ¹⁷ Hodgson M., Steininger G., Razavi Z., "Measurement and prediction of speech and noise levels and the Lombard effect in eating establishments", *J. Acoust. Soc. Am.* 121 (4), p. 2023-2033 (2007).
- ¹⁸ Nijs, L., "Influence of Sound Absorption on Human Vocal Output", presentation at Ecophon international Acoustic seminar 2006.
- ¹⁹ Brunskog, J., Gade A.C., "Increase in voice level and speaker comfort in lecture rooms" *J. Acoust. Soc. Am.* 125 (4), pp. 2072-2028 (2009)
- ²⁰ Yildirim, K., Akalin-Baskaya A., Celebi M., "The effects of window proximity, partition height, and gender on perceptions of open-plan offices." *J. of Environmental Psychology* 27, pp. 154-165 (2007).
- ²¹ Bradley, J. S., Gover, B. N., "Criteria for Acoustic Comfort in Open-plan Offices", proceedings of Inter-noise (2004)
- ²² Krajcarz, F., "Open office acoustic design – multi-dimensional case studies", proceedings of International Congress of Acoustics, Madrid (2007)
- ²³ Pop, C. B. and Rindel, J. H., "Perceived Speech Privacy in Computer Simulated Open-plan Offices", Proceedings of Inter-noise 2005, Rio de Janeiro, Brazil, 7-10 August 2005.
- ²⁴ Nilsson, Erling and Hellström, B., "Room acoustic design in open-plan offices", proceedings of Euronoise, Edinburgh (2009).
- ²⁵ Hongisto, V., Virjonen P., Keränen J., "Determination of acoustic conditions in open offices and suggestions for acoustic classification", proceedings of International Congress of Acoustics, Madrid (2007)
- ²⁶ Virjonen, P., Keränen J., Hongisto V., "Determination of Acoustical Conditions in Open-plan Offices: Proposal for New Measurement Method and Target Values." *Acta Acustica unite with Acustica* Vol. 95 pp. 279-290 (2009).
- ²⁷ Moreland, J.B., "Speech privacy Evaluations in Open-Plan Offices Using the Articulation Index", *Noise Control Engineering Journal* pp. 23-32 (1989)
- ²⁸ Bradley, J.S., "The Acoustical design of conventional open plan offices" *Canadian Acoustics* 23 vol. 31, no.2 (2003).

-
- ²⁹ Helenius, R., Hongisto V., "The effect of acoustical improvement of an open-plan office on workers", proceedings of Inter-noise congress in Prague, (2004)
- ³⁰ Hongisto, V., Keränen J., Larm P., "Simple model for the Acoustical Design of Open-plan Offices", Acta Acoustica United with Acustica Vol. 90 pp. 481-495 (2004)
- ³¹ Keränen J., Virjonen P., Hongisto V., "A new model for acoustic design of open-plan offices" proceedings of the International Congress on Acoustics, Madrid (2007)
- ³² Petersen, C.M., "Limiting Annoying noise in open-plan offices", Proceedings Baltic-Nordic Acoustic Meeting (2008)
- ³³ Västfjäll, D: "Influences of Current Mood and Noise Sensitivity on Judgment of Noise Annoyance", The Journal of Psychology, 136(4), p. 357-370 (2002) og Landström, U.et al: "Special Character, Exposure Levels and Adverse Effects of Ventilation Noise in Offices"
- ³⁴ Landström, U. et al: "Annoyance and Performance Effects of Nearby Speech", Acta Acustica United with Acustica Vol. 88, p. 549-553 (2002)
- ³⁵ Leather, Phil et al: "Noise, psychosocial stress and their interaction in the workplace", Journal of Environmental Psychology 23, p. 213-222 (2003)

BILAG

til rapport* af 30. april 2010 til Arbejdsmiljøforskningfonden:
"Begrænsning af generende støj i storrumskontorer
– nye måder og metoder"

Førundersøgelser og forslag:

- Ballerup Rådhus – Analyser og skitseforslag, 07-04-2008
- JJW Arkitekter – Analyser og skitseforslag, 10-12-2008
- Grontmij | Carl Bro – Analyser og skitseforslag, 20-06-2008
- Danske Bank – Analyser og skitseforslag, 07-05-2008

Efterundersøgelser:

- Ballerup Kommune, Borgertorvet - Evaluering af akustiske tiltag, 18-06-2009
- JJW - Evaluering af akustiske tiltag, 25-06-2009
- Grontmij | Carl Bro – Evaluering af akustiske tiltag, 03-02-2010

*) Rapporten "Begrænsning af generende støj i storrumskontorer
– nye måder og metoder" har Grontmij | Carl Bro – Acoustica rapport nr.: T2.015.10