

Auralisation zur Planung von Büroräumen

– Anleitung zur Software –

Die Anleitung zur Software wurde vom Institut für Rundfunktechnik GmbH im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erstellt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Starten der Demonstration	1
2.1	Technische Voraussetzung Browser	1
3	Der Player.....	2
3.1	Verwendung des Players.....	2
3.2	Testen der Umschaltverzögerung ihres Computers.....	3
4	Audiowiedergabe über Kopfhörer.....	3
5	Raumakustische Parameter und Kenngrößen	4
6	Fachbegriffe und Kenngrößen.....	5
7	1-Personen-Büro	6
7.1	Technische Beschreibung des Raumes und der Raumakustik.....	6
7.2	Einzahlwerte für normalen und erhöhten Schallschutz (gemäß DIN 4109 – Beiblatt 2)	7
7.3	Schalleistungspegel bzw. Schalldruckpegel der Schallquellen	7
7.4	Raumakustische Parameter und Kenngrößen nach DIN EN ISO 3382-3 und VDI 2569	8
7.5	Zeitliche Abfolge der Schallsignale.....	8
7.6	Hörbeispiele 1-Personen-Büro	10
7.6.1	Vergleich der schlechtesten und besten Situation.....	10
7.6.2	Schallschutz in Büros nach DIN 4109	11
7.6.3	Einfluss der Trittschalldämmung.....	12
7.6.4	Einfluss der Fassadendämmung	13
7.6.5	Einfluss einer Vorsatzschale.....	14
7.6.6	Einfluss der Schreibtischposition im Nachbarbüro	15
7.6.7	Einfluss von Ausführungsmängeln	16
8	3-Personen-Büro	17
8.1	Technische Beschreibung des Raumes und der Raumakustik.....	17
8.2	Beschreibung der Schallquellen und Szenenbeschreibung	19
8.3	Raumakustische Parameter und Kenngrößen nach DIN EN ISO 3382-3 und VDI 2569	20
8.4	Zeitliche Abfolge der Schallsignale.....	21
8.5	Hörbeispiele 3-Personen-Büro	22
8.5.1	Vergleich der schlechtesten und besten Situation.....	22
8.5.2	Schreibtische mittig angeordnet	23
8.5.3	Schreibtische an den Wänden angeordnet	25
8.5.4	Einfluss der Schreibtischanordnung	26
8.5.5	Einfluss der Druckerposition	27
9	Großraumbüro	28
9.1	Technische Beschreibung des Raumes und der Raumakustik.....	28
9.2	Beschreibung der Schallquellen und Szenenbeschreibung	29
9.3	Zeitliche Abfolge der Schallsignale.....	30
9.4	Hörbeispiele Großraumbüro	32
9.4.1	Vergleich der schlechtesten und besten Situation.....	32

9.4.2	Einfluss der Arbeitsplatzanordnung	33
9.4.3	Einfluss von Abtrennungen	36
9.4.4	Einfluss der Ausführung der Glasabtrennung	38
9.4.5	Einfluss der Glasabtrennung bei variabler Decke	42
9.4.6	Einfluss verschiedener Absorptionsmaßnahmen	46
9.4.7	Einfluss von Möbeln und Wänden bei optimaler Glasabtrennung	50
9.4.8	Einfluss von Maskierungsgeräuschen auf die schlechteste Situation	54
9.4.9	Einfluss von Maskierungsgeräuschen auf die beste Situation	56
9.5	Raumakustische Parameter und Kenngrößen nach DIN EN ISO 3382-3 und VDI 2569	58
9.5.1	Ungünstige Arbeitsplatzanordnung ohne absorbierende Decke	63
9.5.2	Ungünstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierender Decke	65
9.5.3	Günstige Arbeitsplatzanordnung ohne absorbierende Decke	68
9.5.4	Günstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierender Decke	71
9.5.5	Günstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierender Decke und Sideboard zum Gang, ohne absorbierende Möbel und Wände	74
9.5.6	Günstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierender Decke, Möbel und Sideboard zum Gang, ohne absorbierende Wände	77
9.5.7	Günstige Arbeitsplatzanordnung mit allen Optimierungsmaßnahmen (absorbierende Decke, Möbel, Wände und Sideboard zum Gang)	78
10	Großraumbüro mit thermisch genutzter Decke	81
10.1	Hörbeispiele Großraumbüro mit thermisch genutzter Decke	82
10.1.1	Vergleich der schlechtesten und besten Situation	82
10.1.2	Einfluss aller Verbesserungsmaßnahmen	83
11	Simulation und Auralisierung von Büroräumen	90

1 Einleitung

Zur Beurteilung und Minderung des Lärms an Arbeitsplätzen in Büros gibt es gute schriftliche Planungsunterlagen, die bei der akustischen Gestaltung der Arbeitsbereiche sehr hilfreich sind. In der Betrachtung dieses (durchaus sinnvollen) Geflechts von Kenngrößen und Planzahlen fragen sich viele Fachleute wie auch Nichtfachleute: „Wie hört sich das eigentlich an? Wie klingt der Raum? Wie hört sich Sprache im geplanten Raum an? Wie viele Störgeräusche dringen an den Arbeitsplatz?“

Zur Beantwortung dieser Fragen wenden sich die vorliegenden Auralisationen an Architekten, Bauingenieure und Bauherren sowie Planer und Betreiber von Büroräumen und Arbeitsplätzen. Mit den eigenen Sinnen kann man die subjektive Wirkung der vorgestellten Maßnahmen erfahren. Dem Hörer wird die Notwendigkeit einer bewussten akustischen Gestaltung und Fachplanung der Arbeitsplatzumgebung „vor Ohren“ geführt.

Für die aktuelle Version der „Auralisation zur Planung von Büroräumen“ wurde die Benutzeroberfläche neu gestaltet und in der Weise erweitert, dass die im aktuellen Regelwerk verankerten akustischen Größen in der interaktiven Präsentation integriert sind. Dabei wurden im Wesentlichen die raumakustischen Parameter und Kenngrößen nach DIN EN ISO 3382-3 (Mai 2012) und nach VDI 2569 (Entwurf Februar 2016) berücksichtigt. Beispiele hierfür sind äquivalenter Dauerschallpegel, Sprachübertragungsindex, Ablenkungsabstand, Vertraulichkeitsabstand, räumliche Abklingrate der Sprache, Sprachpegel in 4 m Abstand, Fremdgeräuschpegel, Schallpegeldifferenz gegenüber Verkehrsflächen sowie bauakustische und raumakustische Schallschutzklassen.

Durch die Verknüpfung der subjektiven, hörbaren Wahrnehmungsebene mit technischen Größen aus Beurteilungsnormen, Gestaltungsrichtlinien und technischen Regeln sollen die Notwendigkeit und das Potenzial, aber auch die Grenzen akustischer Gestaltungsoptionen demonstriert werden.

Zusätzlich wird der Einfluss von Schallmaskierungsgeräuschen auf die akustischen Messgrößen und die subjektive Wahrnehmung dargestellt.

2 Starten der Demonstration

Die Auralisationen zur Planung von Büroräumen können von jedem aktuellen Internet-Browser wiedergegeben werden, sowohl für Desktop-Rechner, Tablets oder Smartphones.

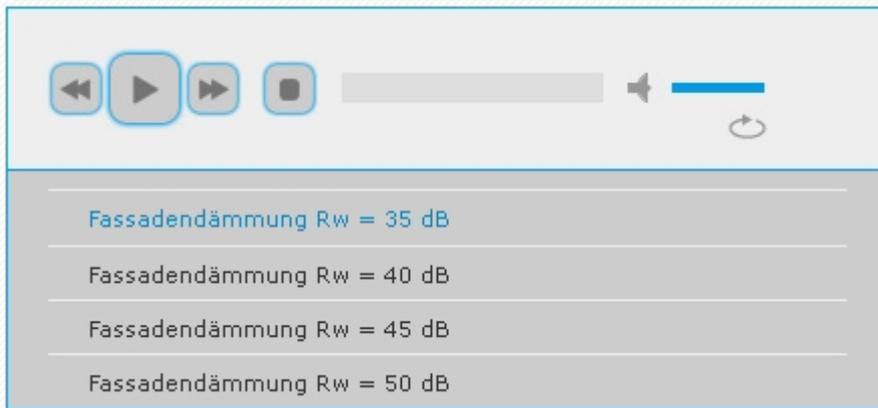
2.1 Technische Voraussetzung Browser

Die multimediale Darstellung dieser Seite wurde erfolgreich mit allen aktuellen Browsern getestet. Die aktuellen Versionen zum Zeitpunkt der Erstellung waren: Mozilla Firefox 55, Opera 48, Chrome 61, Internet Explorer 11, Microsoft Edge 41 und Safari 11. Ältere Versionen dieser Browser wurden ebenfalls zum größten Teil erfolgreich getestet. Der Internet Explorer unterstützt die verwendeten HTML5 Standards allerdings erst ab Version 9.

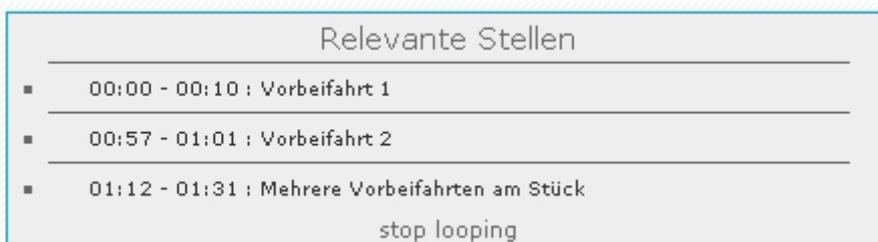
3 Der Player

3.1 Verwendung des Players

Mit dem hier verwendeten Player ist es möglich, lückenlos zwischen den Beispielen hin und her zu schalten. Somit können Sie die Hörbeispiele direkt miteinander vergleichen und nehmen die Unterschiede am besten wahr.



Die Hörbeispiele wurden möglichst realistisch angelegt. Aus diesem Grund sind manche Maßnahmen auch nur an bestimmten Stellen des Beispiels wahrzunehmen, wenn beispielsweise ein Auto an der Fensterfront des dargestellten Raumes vorbeifährt. Um Ihnen diese relevanten Stellen leicht zugänglich zu machen, befindet sich bei den meisten Vergleichen eine zusätzliche Box neben dem Player und der Playliste, mit der Sie diese relevanten Stellen direkt anwählen können. Diese wiederholen sich dann so lange, bis sie von Ihnen wieder deaktiviert wird.



Das gelbe Ausrufezeichen-Symbol unter der Auswahlliste der jeweiligen Vergleiche zeigt durch einen Mausklick die jeweilige Zusammenfassung in einem neuen Fenster an



3.2 Testen der Umschaltverzögerung ihres Computers

Da bei manchen Computern das Umschalten zwischen den Beispielen ein wenig verzögert passieren kann, haben Sie hier die Möglichkeit, die bei Ihrem Computer auftretende Latenz bei zwei sehr unterschiedlichen Signalen zu testen.



Auswahl:

- Testsignal 1
- Testsignal 2

Dieser Test gibt Ihnen eine Vorstellung davon, wie groß die Verzögerung beim Umschalten zwischen zwei Beispielen auf Ihrem Computer ist. Sollte sich bei diesem Test herausstellen, dass ihr Computer eine störend lange Umschaltverzögerung hat, sollten Sie zunächst sicherstellen, dass sich das Archiv mit allen Dateien wirklich auf der Festplatte befindet und von dort geladen wird. Kommt es dennoch zu Verzögerungen, sollten Sie versuchen, eine andere Soundkarte zu verwenden und diese als System-Standard einzurichten oder auf einen anderen Computer ausweichen.

4 Audiowiedergabe über Kopfhörer

Die Hörbeispiele sind für die Wiedergabe über Kopfhörer optimiert. Bei Wiedergabe über Lautsprecher können diese und vor allem der Wiedergaberaum das Hörerlebnis verfälschen.

Kalibrierung

Die Kalibrierung kann entweder subjektiv oder messtechnisch durchgeführt werden. Bei der subjektiven Kalibrierung stellen Sie den Wiedergabepegel am Kopfhörer so ein, dass sich die Sprache realistisch anhört. Bei der alternativen messtechnischen Kalibrierung können Sie den Pegel mittels eines genormten 1kHz-Tons (entsprechend 70dB Schalldruckpegel) einstellen.

Wenn Sie verschiedene Situationen miteinander vergleichen wollen, sollten Sie den Lautstärkereglern während des Vergleichs konstant halten.

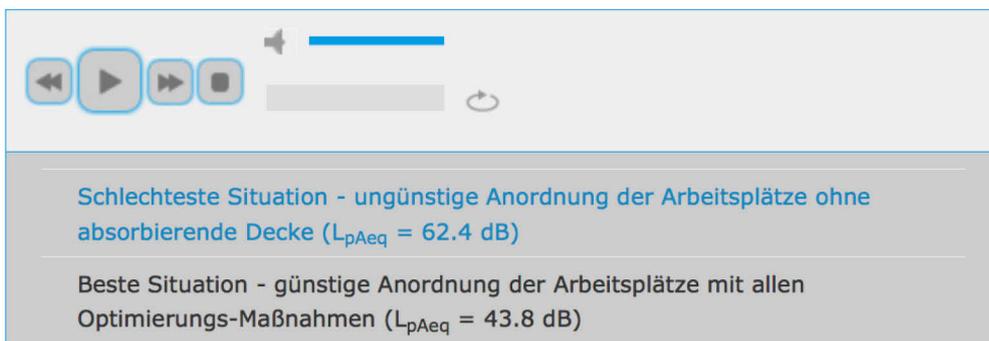
Auswahl:

- Subjektive Kalibrierung
- Messtechnische Kalibrierung mittels Sinuston (1kHz, 70dB)

5 Raumakustische Parameter und Kenngrößen

Um die Notwendigkeit und das Potenzial, aber auch die Grenzen akustischer Gestaltungsoptionen zu demonstrieren, werden die subjektiv, hörbare Wahrnehmungsebene mit technischen Größen aus Beurteilungsnormen und Gestaltungsrichtlinien verknüpft. Dafür werden bei den 3-Personen- und Großraumbüros raumakustische Parameter und Kenngrößen nach DIN 45645-2, DIN EN ISO 3382-3 (Mai 2012) und nach VDI 2569 (Entwurf Februar 2016) mit angegeben.

Der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel (L_{pAeq}) nach DIN 45645-2 wird bei allen Hörbeispielen in der Bezeichnung im Player mit angegeben. Grundlegende akustische Kenngrößen werden direkt unter dem Player angezeigt und die weiteren Parameter STI, Räumliche Abklingrate, Nachhallzeit und Akustische Kenngrößen im Detail können je nach Verfügbarkeit über die jeweiligen Ausklappmenüs angezeigt werden.



Schlechteste Situation - ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke ($L_{pAeq} = 62.4$ dB)

Beste Situation - günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen ($L_{pAeq} = 43.8$ dB)

Akustische Kenngrößen						
Nachhallzeit T_N/s (250Hz - 4kHz)	Fremdgeräuschpegel $L_{P,A,B} / dB$	4m-Sprachpegel $L_{P,A,S,4m} / dB$ (Pfad 1)	Pegelabfall $D_{2,S} / dB$ (Pfad 1)	Ablenkungsabstand r_D / m (Pfad 1)	Vertraulichkeitsabstand r_P / m (Pfad 1)	Raumakustikklasse VDI 2569
-	-	-	-	-	-	-
0.56	30	52.3	10.7	7.0	14.8	>C
0.53	30	49.1	11.0	6.9	13.2	>C
0.40	30	45.5	13.2	5.9	11.7	>C

STI +

Räumliche Abklingrate +

Nachhallzeit +

Akustische Kenngrößen im Detail +

Für die 3-Personenbüros werden auf der Internetseite für jedes Hörbeispiel der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel (L_{pAeq}), die akustischen Kenngrößen sowie eine Grafik zur Nachhallzeit angezeigt.

Bei den Großraumbüros wurde für insgesamt sieben Bürovarianten der BAuA-Auralisationsbeispiele die raumakustischen Parameter und Kenngrößen nach DIN EN ISO 3382-3 und VDI 2569 berechnet. Für diese sieben Bürovarianten stehen auf der Internetseite neben dem A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel (L_{pAeq}) im Player alle vorhandenen Informationen in der Tabelle und zum Ausklappen zur Verfügung. Je nach ausgewählter Variante im Player ändern sich auch die angezeigten akustischen Kenngrößen im Detail. Die Parameter STI, Räumliche Abklingrate und Nachhallzeit werden hier immer für zwei ausgewählte Varianten gegenübergestellt.

6 Fachbegriffe und Kenngrößen

L_w : Schalleistungspegel (einer Schallquelle kennzeichnet deren Schallenergieabstrahlung)

L_p : Schalldruckpegel (z.B. des Verkehrslärms vor der Fassade)

R_w : bewertetes Schalldämm-Maß (kennzeichnet z. B. die Schalldämmung einer Wand)

$L_{n,w}$: bewerteter Norm-Trittschallpegel (kennzeichnet die Trittschallübertragung z.B. einer Decke)

α_m : mittlerer Absorptionsgrad (kennzeichnet das Schall-Absorptionsvermögen einer Fläche im Frequenzbereich von 100 Hz bis 5 kHz)

T_n : mittlere Nachhallzeit (kennzeichnet das Nachklingen eines Raumes im Frequenzbereich von 100 Hz bis 5 kHz)

A: Äquivalente Absorptionsfläche kennzeichnet das Absorptionsvermögen eines Raumes (kann aus dem Absorptionsgrad und der Fläche berechnet werden)

L_{pAeq} : A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel nach DIN 45645-2 (Der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel L_{pAeq} ist die Grundlage zur Ermittlung des Beurteilungspegels L_r . Dieser wird nach DIN 45645-2 aus dem äquivalenten Dauerschallpegel unter Berücksichtigung von Zuschlägen zum Beispiel für Ton- und Informationshaltigkeit bestimmt. Die Zuschläge können bis zu 6 dB betragen.)

STI: Sprachübertragungsindex

r_D : Ablenkungsabstand (Abstand zur Schallquelle bei STI = 0,5)

r_P : Vertraulichkeitsabstand (Abstand zur Schallquelle bei STI = 0,2)

$L_{P,A,S,4m}$: Pegel in 4m Abstand zur Schallquelle

$L_{P,A,B}$: Fremdgeräuschpegel

$D_{2,S}$: Räumliche Abklingrate; Abklingvorgang des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache (Pegelabfall pro Entfernungsverdopplung)

Bauakustikklasse: Dreistufige Klassifizierung des Schallschutzes in Büros gemäß VDI 2569

Raumakustikklasse: Dreistufige Klassifizierung der Raumakustik in Büros gemäß VDI 2569

7 1-Personen-Büro

Im Einzelbüro spielt die gesprochene Sprache als Schallquelle im Raum eine untergeordnete Rolle. Hier steht mehr im Vordergrund, wie die Geräusche aus den benachbarten Räumen sowie die Verkehrsgeräusche aus dem Außenbereich die Konzentration auf die Tätigkeit beeinträchtigen können.

In den einschlägigen Vorschriften wird unterschieden zwischen üblicher und konzentrierter Tätigkeit am Arbeitsplatz. Der Büroraum kann dabei in normalen oder in erhöhtem Schallschutz ausgeführt werden.

Am Beispiel dieses Raumes werden die Ausführungsvarianten miteinander verglichen.

7.1 Technische Beschreibung des Raumes und der Raumakustik

Abmessungen:

Raumvolumen: 32 m³. (4.14 * 2.76 * 2.8 m³); Oberfläche: 61 m²

Grundfläche: 11.4 m² (4.14 m * 2.76)

Tischfläche: 160 cm * 80 cm; Tischhöhe: 72 cm

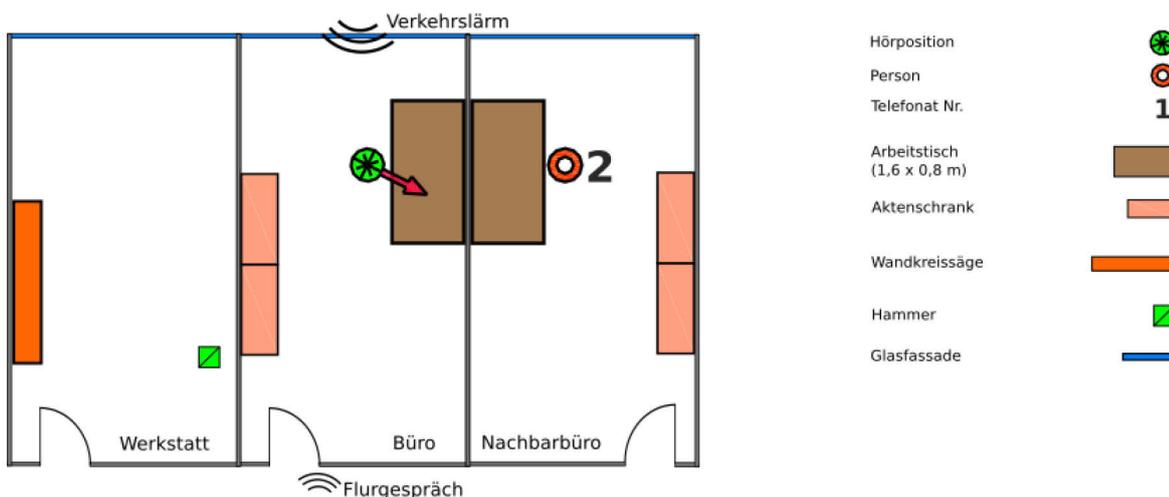
Raumakustik (akustische Büroausstattung normal)

mittlerer Absorptionsgrad $\alpha_m = 0.25$

Nachhallzeit $T_n = 0.3$ s

Äquivalente Absorptionsfläche $A = 15$ m²

- Teppichboden mittlerer Absorptionsgrad $\alpha_m = 0.17$ $A=2$ m²
- Einrichtung (Tische, Schränke, Vorhänge, Person, usw.) $A=11$ m²
- Grundabsorption der Wände und Decke: $\alpha_m = 0.04$ (4%) $A=2$ m²



Grundriss 1-Personen-Büro

7.2 Einzahlwerte für normalen und erhöhten Schallschutz (gemäß DIN 4109 – Beiblatt 2)

Einzahlwerte R_w und $L_{n,w}$:

für übliche Tätigkeit bei normalem / erhöhtem Schallschutz sind:

Fassade R_w : 35 dB / 35 dB

Nachbarbüro R_w : 37 dB / 42 dB (Bauakustikklasse B / A nach VDI 2569)

Flurwand R_w : 37 dB / 42 dB (Bauakustikklasse B / B nach VDI 2569 bei geringer Frequentierung;
Bauakustikklasse C / C nach VDI 2569 bei hoher Frequentierung)

Flurtür R_w : 27dB / 27dB

Werkstatt R_w : 37 dB / 42 dB (Bauakustikklasse B / A nach VDI 2569)

Decke $L_{n,w}$: 53 dB / 46 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569)

für konzentrierte Tätigkeit bei normalem / erhöhtem Schallschutz sind:

Fassade R_w : 35 dB / 35 dB

Nachbarbüro R_w : 45 dB / 52 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569)

Flurwand R_w : 45 dB / 52 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569 bei geringer Frequentierung;
Bauakustikklasse B / A nach VDI 2569 bei hoher Frequentierung)

Flurtür R_w : 37dB / 37dB

Werkstatt R_w : 45 dB / 52 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569)

Decke $L_{n,w}$: 53 dB / 42 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569)

Praktische Deckenkonstruktionen zu den bewerteten Norm-Trittschallpegeln

Ausgangssituation: Rohdecke (300 kg/m²) ohne Belag: $L_{n,w}$ = 78 dB

- mit Estrich normaler Schallschutz: $L_{n,w}$ = 53 dB mit Teppich 49 dB

- mit Estrich erhöhter Schallschutz: $L_{n,w}$ = 46 dB mit Teppich 42 dB

7.3 Schalleistungspegel bzw. Schalldruckpegel der Schallquellen

Computer im Raum L_w = 38 dB(A)

Person 2 im Nachbarbüro telefoniert L_w = 65 dB(A)

Verkehrslärm vor der Fassade L_p = 66 dB(A)

Flurgespräch: 3 Personen mit L_w = 70 dB(A)

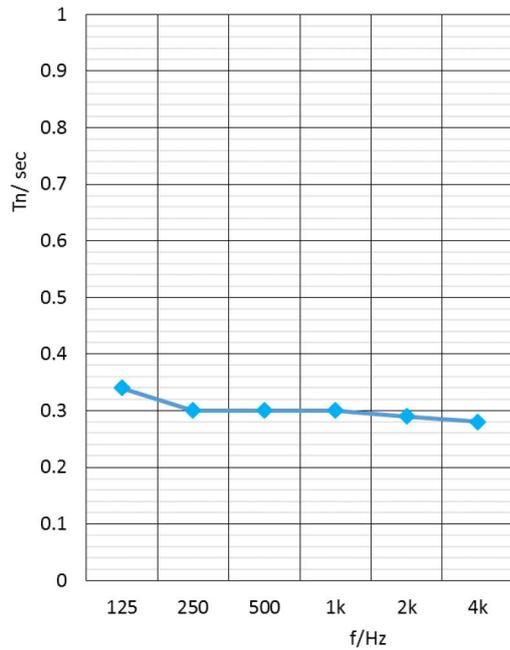
Werkstatt Kreissäge L_w = 90 dB(A)

Hammer L_w = 91 dB(A)

7.4 Raumakustische Parameter und Kenngrößen nach DIN EN ISO 3382-3 und VDI 2569

Nachhallzeit T_N :

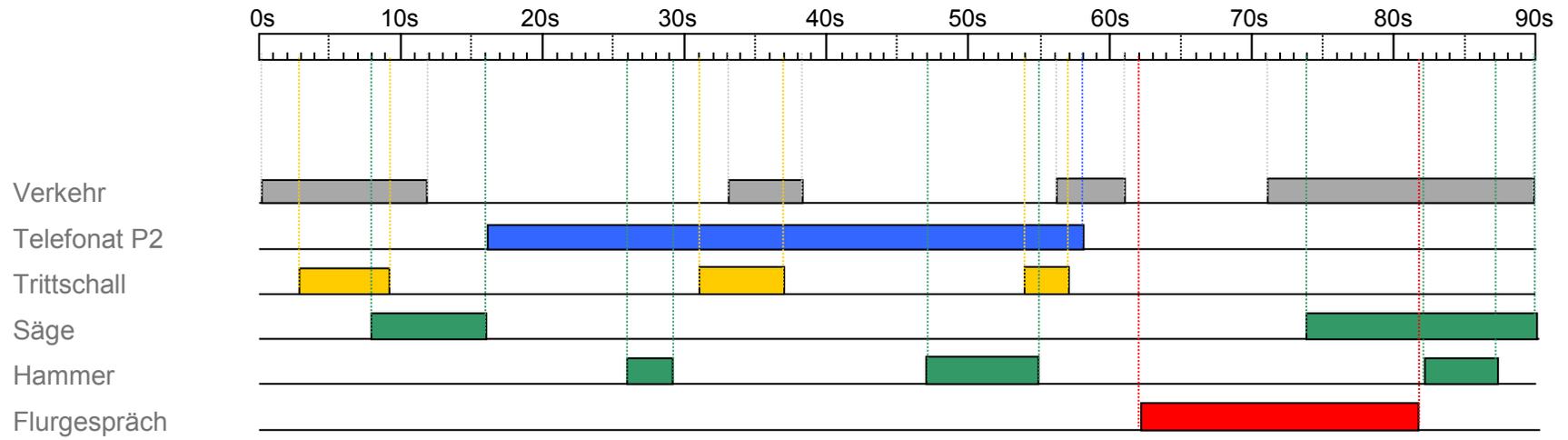
Nachhallzeit T_N / s (250 Hz-4kHz)	Raumakustikklasse VDI 2569
0.3	A



7.5 Zeitliche Abfolge der Schallsignale

Verkehr 1	0 s - 12 s
Verkehr 2	33 s - 38 s
Verkehr 3	56 s - 61 s
Verkehr 4	71 s - 90 s
Telefonat Person 2	16 s - 58 s
Trittschall	3 s - 9 s
Trittschall	31 s - 37 s
Trittschall	54 s - 57 s
Säge Werkstatt	8 s - 16 s
Säge Werkstatt	74 s - 90 s
Hammer	26 s - 29 s
Hammer	47 s - 55 s
Hammer	82 s - 87 s
Flurgespräch	62 s - 82 s

Zeitliche Abfolge der Schallsignale im 1-Personen-Büro



7.6 Hörbeispiele 1-Personen-Büro

7.6.1 Vergleich der schlechtesten und besten Situation

In diesem Vergleich wird der Schallschutz mit den geringsten und den höchsten Anforderungen gegenübergestellt. Für das Büro mit üblicher Tätigkeit bei normalem Schallschutz wird von folgenden Werten ausgegangen (die geringsten Anforderungen):

R_w Fassade: 35 dB

R_w Nachbarbüro: 37 dB

R_w Flur (mit Tür): 32 dB

R_w Werkstatt: 37 dB

$L_{n,w}$ Decke (ohne Estrich mit Fliesen): 78 dB

Für das Büro mit konzentrierter geistiger Tätigkeit bei erhöhtem Schallschutz wird von folgenden Werten ausgegangen (höchste Anforderungen):

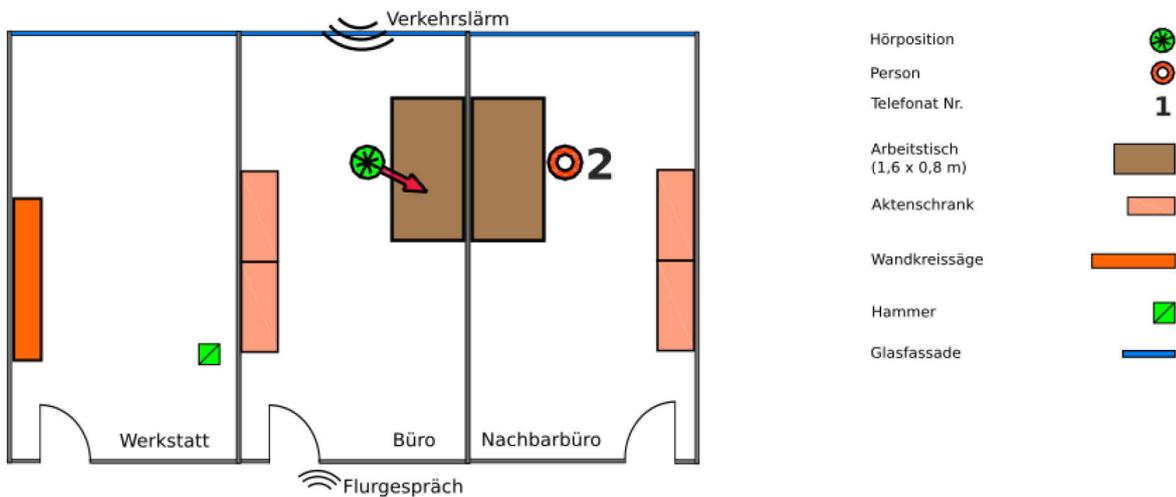
R_w Fassade: 50 dB

R_w Nachbarbüro: 52 dB

R_w Flur (mit Tür): 43 dB

R_w Werkstatt: 52 dB (inkl. Vorsatzschale)

$L_{n,w}$ Decke (mit Estrich 40 dB und Teppich): 36 dB



Auswahl:

- 1-Personen-Büro - schlechteste akustische Situation
- 1-Personen-Büro - beste akustische Situation

Relevante Stellen:

- 00:00 - 00:10: Vorbeifahrt 1
- 00:08 - 00:16: Wandkreissäge im Nachbarraum

- 00:03 - 00:09: Trittschall im Büro darüber
- 00:16 - 00:58: Telefonat im Nachbarbüro
- 00:26 - 00:29: Hammer im Nachbarraum
- 00:31 - 00:37: Trittschall im Büro darüber ein wenig kürzer
- 00:47 - 00:53: Hammer im Nachbarraum unterschiedlich
- 00:57 - 01:01: Vorbeifahrt 2
- 01:02 - 01:22: Gespräch auf dem Flur
- 00:54 - 00:57: Trittschall kurz
- 01:12 - 01:31: Mehrere Vorbeifahrten am Stück
- 01:14 - 01:30: Hammer und Wandkreissäge im Nachbarraum gleichzeitig

7.6.2 Schallschutz in Büros nach DIN 4109

Es wird verglichen, wie sich die baulichen Maßnahmen nach DIN 4109 Beiblatt 2 auf die akustische Situation im Büro auswirken. Dabei wird für jeweils ein Büro mit üblicher bzw. konzentrierter geistiger Tätigkeit der normale und erhöhte Schallschutz dargestellt.

Die Werte für das Büro mit **üblicher Tätigkeit** bei **normalem / erhöhtem** Schallschutz sind:

Fassade R_w : 35 dB / 35 dB

Nachbarbüro R_w : 37 dB / 42 dB (Bauakustikklasse B / A nach VDI 2569)

Flurwand R_w : 37 dB / 42 dB (Bauakustikklasse B / B nach VDI 2569 bei geringer Frequentierung, Bauakustikklasse C / C nach VDI 2569 bei hoher Frequentierung)

Flurtür R_w : 27dB / 27dB

Werkstatt R_w : 37 dB / 42 dB (Bauakustikklasse B / A nach VDI 2569)

Decke $L_{n,w}$: 53 dB / 46 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569)

Die Werte für das Büro mit **geistig konzentrierter Tätigkeit** bei **normalem / erhöhtem** Schallschutz sind:

Fassade R_w : 35 dB / 35 dB

Nachbarbüro R_w : 45 dB / 52 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569)

Flurwand R_w : 45 dB / 52 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569 bei geringer Frequentierung, Bauakustikklasse B / A nach VDI 2569 bei hoher Frequentierung)

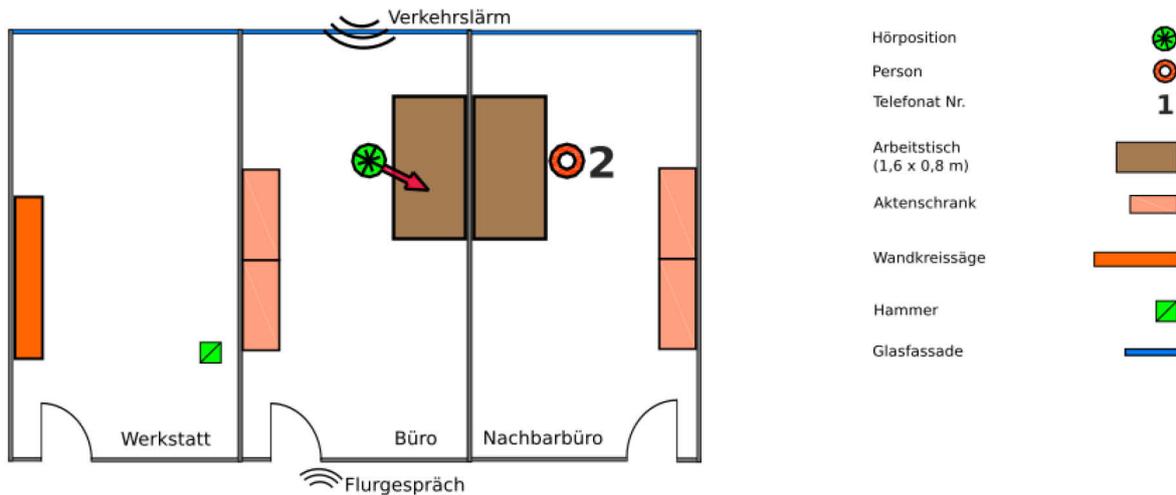
Flurtür R_w : 37dB / 37dB

Werkstatt R_w : 45 dB / 52 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569)

Decke $L_{n,w}$: 53 dB / 46 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569)

Auswahl:

- Büro mit üblicher Tätigkeit bei normalem Schallschutz
- Büro mit üblicher Tätigkeit bei erhöhtem Schallschutz
- Büro mit geistig konzentrierter Tätigkeit bei normalem Schallschutz
- Büro mit geistig konzentrierter Tätigkeit bei erhöhtem Schallschutz



Relevante Stellen:

- 00:00 - 00:10: Vorbeifahrt 1
- 00:08 - 00:16: Wandkreissäge im Nachbarraum
- 00:03 - 00:09: Trittschall im Büro darüber
- 00:16 - 00:58: Telefonat im Nachbarbüro
- 00:26 - 00:29: Hammer im Nachbarraum
- 00:31 - 00:37: Trittschall im Büro darüber ein wenig kürzer
- 00:47 - 00:53: Hammer im Nachbarraum unterschiedlich
- 00:57 - 01:01: Vorbeifahrt 2
- 01:02 - 01:22: Gespräch auf dem Flur
- 00:54 - 00:57: Trittschall kurz
- 01:12 - 01:31: Mehrere Vorbeifahrten am Stück
- 01:14 - 01:30: Hammer und Wandkreissäge im Nachbarraum gleichzeitig

7.6.3 Einfluss der Trittschalldämmung

Es wird verglichen, wie sich der Einsatz verschiedener Trittschalldämmungen auf die akustische Situation in einem Büro mit üblicher Tätigkeit bei normalem Schallschutz auswirkt. Bei dem hier simulierten Hörbeispiel wird von einer Decke mit einem Flächengewicht von ca. 300 kg/m² ausgegangen, die ohne schwimmenden Estrich einen bewerteten Norm-Trittschallpegel von $L_{n,w} = 78$ dB verursacht. Eine auf dieser Decke laufende Person erzeugt im Büro darunter einem Schallpegel von etwa 53 dB(A) (je nach Person, Schuhwerk und akustischer Ausstattung des Büros kann der Pegel in der Praxis davon abweichen). Alle anderen Pegel ergeben sich entsprechend den durch Estrich und Teppich verursachten Pegelminderungen.

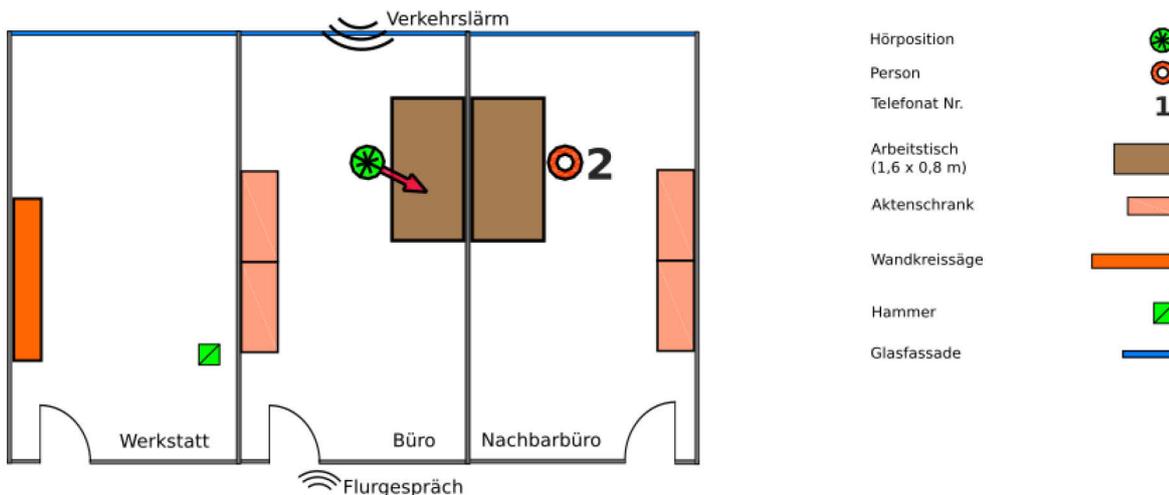
Die schwimmenden Estriche wurden so gewählt, dass sich die nach DIN 4109 empfohlenen Schallschutzanforderungen an den Trittschall ergeben

Rohdecke: $L_{n,w} = 78\text{dB}$

mit schwimmendem Estrich **normaler** Schallschutz: $L_{n,w} = 53\text{ dB}$, mit Teppich 49 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569)

mit schwimmendem Estrich **erhöhter** Schallschutz: $L_{n,w} = 46\text{ dB}$, mit Teppich 42 dB (Bauakustikklasse A / A nach VDI 2569)

Bei schwimmendem Estrich ohne Teppich kann von einem Fliesenbelag ausgegangen werden, der keine Trittschallminderung verursacht. Ein Teppich auf einem schwimmenden Estrich erhöht dagegen das bewertete Norm-Trittschalldämmmaß um etwa 4 dB.



Auswahl:

- Decke ohne schwimmenden Estrich mit Fliesen ($L_{n,w} = 78\text{ dB}$)
- Normaler Schallschutz: Decke mit schwimmendem Estrich und Fliesen ($L_{n,w} = 53\text{ dB}$)
- Normaler Schallschutz: Decke mit schwimmendem Estrich und Teppich ($L_{n,w} = 49\text{ dB}$)
- Erhöhter Schallschutz: Decke mit schwimmendem Estrich und Fliesen ($L_{n,w} = 46\text{ dB}$)
- Erhöhter Schallschutz: Decke mit schwimmendem Estrich und Teppich ($L_{n,w} = 42\text{ dB}$)

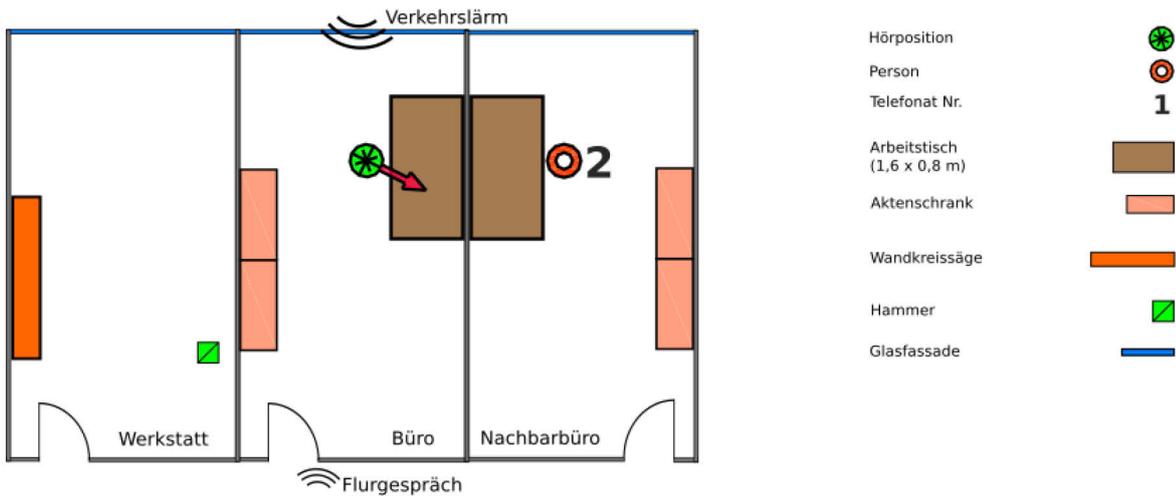
Relevante Stellen:

- 00:03 - 00:09: Trittschall im Büro darüber
- 00:31 - 00:37: Trittschall im Büro darüber ein wenig kürzer
- 00:54 - 00:57: Trittschall kurz

7.6.4 Einfluss der Fassadendämmung

Die Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen der DIN 4109 sehen ein Luftschalldämmmaß von $R_w = 35\text{ dB}$ vor, wenn der Außenlärmpegel im Bereich 66-70 dB(A) liegt (im Hörbeispiel hier: Verkehr mit $L_p = 66\text{ dB}$).

Es wird verglichen, wie sich die akustische Situation in einem Büro mit konzentrierter geistiger Tätigkeit und erhöhtem Schallschutz durch verschiedene Fassadendämmungen ändert.



Auswahl:

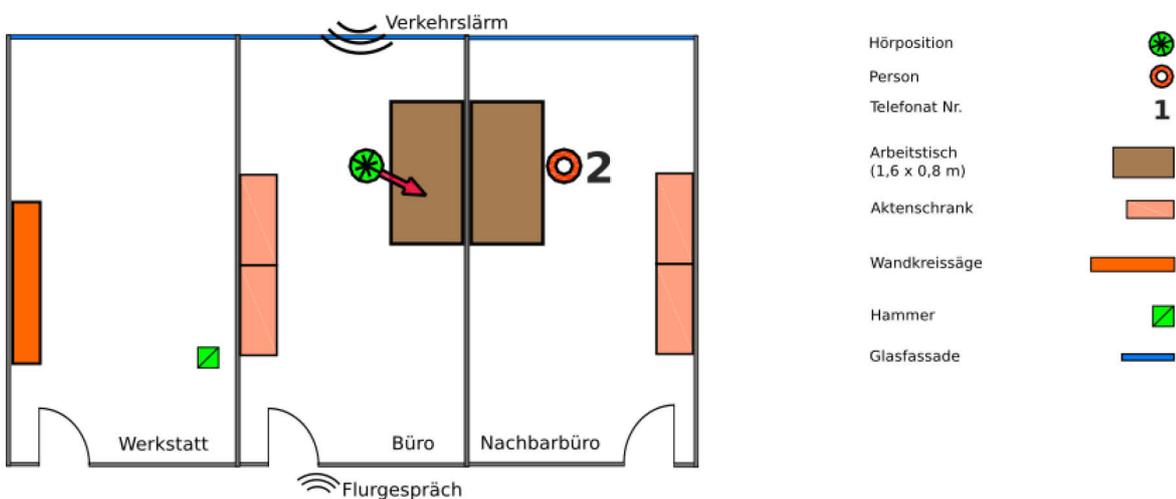
- Fassadendämmung $R_w = 35$ dB
- Fassadendämmung $R_w = 40$ dB
- Fassadendämmung $R_w = 45$ dB
- Fassadendämmung $R_w = 50$ dB

Relevante Stellen:

- 00:00 - 00:10: Vorbeifahrt 1
- 00:57 - 01:01: Vorbeifahrt 2
- 01:12 - 01:31: Mehrere Vorbeifahrten am Stück

7.6.5 Einfluss einer Vorsatzschale

Es wird verglichen, wie sich die akustische Situation in einem Büro mit üblicher Tätigkeit bei bereits erhöhtem Schallschutz durch den Einsatz einer Vorsatzschale an der Werkstattwand verbessert. Diese Maßnahme bewirkt eine Verbesserung der Dämmung um 10 dB.



Auswahl:

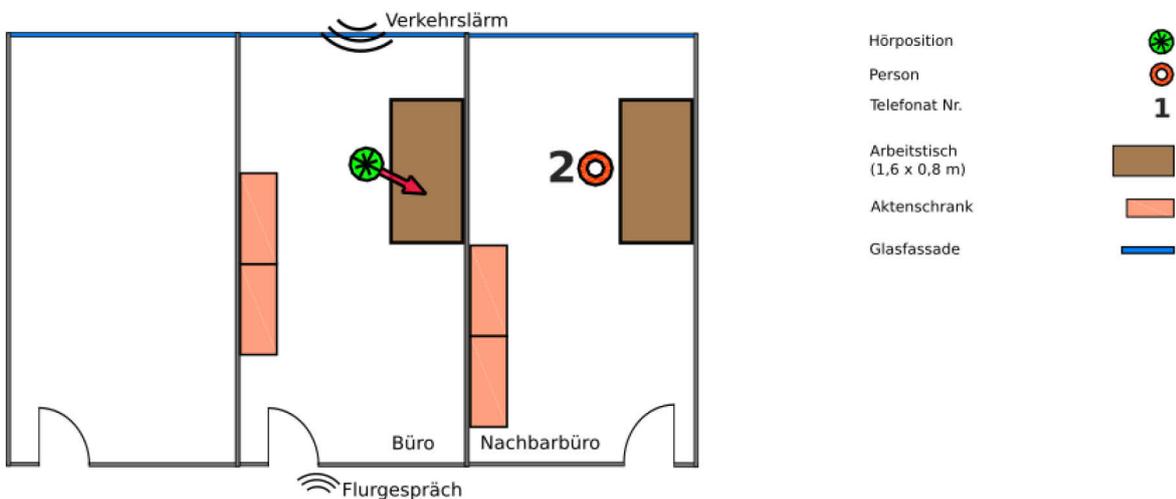
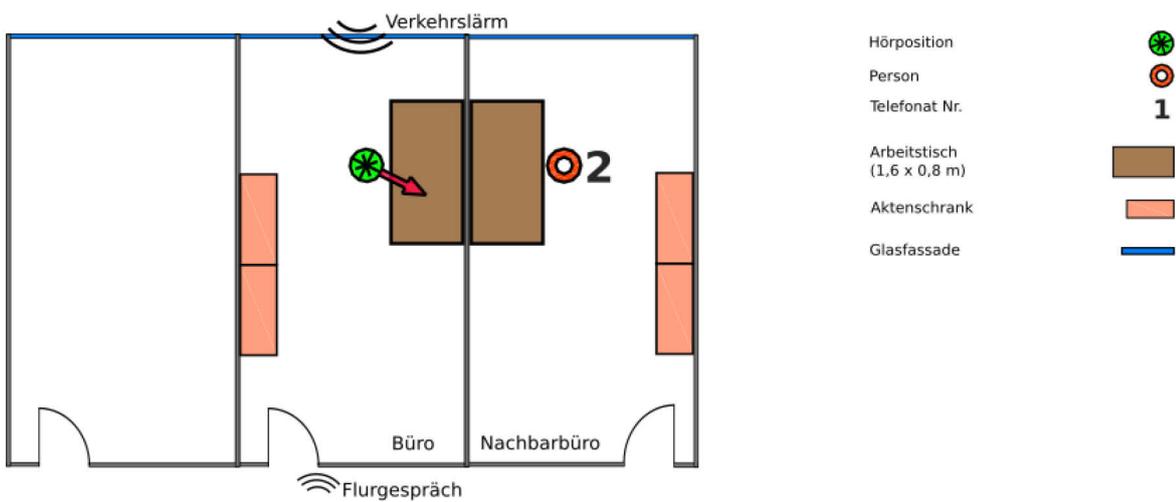
- Wand zur Werkstatt ohne Vorsatzschale
- Wand zur Werkstatt mit Vorsatzschale

Relevante Stellen:

- 00:08 - 00:16: Wandkreissäge im Nachbarraum
- 00:26 - 00:29: Hammer im Nachbarraum
- 00:47 - 00:53: Hammer im Nachbarraum unterschiedlich
- 01:14 - 01:30: Hammer und Wandkreissäge im Nachbarraum gleichzeitig

7.6.6 Einfluss der Schreibtischposition im Nachbarbüro

Es wird verglichen, wie sich die Position des Schreibtisches im Nachbarbüro auf die akustische Situation in einem Büro mit üblicher Tätigkeit bei normalem Schallschutz auswirkt. Bei diesen Vergleichen befindet sich keine Werkstatt im linken Raum.



Auswahl:

- Schreibtisch des Nachbarbüros an der anliegenden Wand
- Schreibtisch des Nachbarbüros an der alternativen Position

Relevante Stellen:

- 00:16 - 00:58: Telefonat im Nachbarbüro



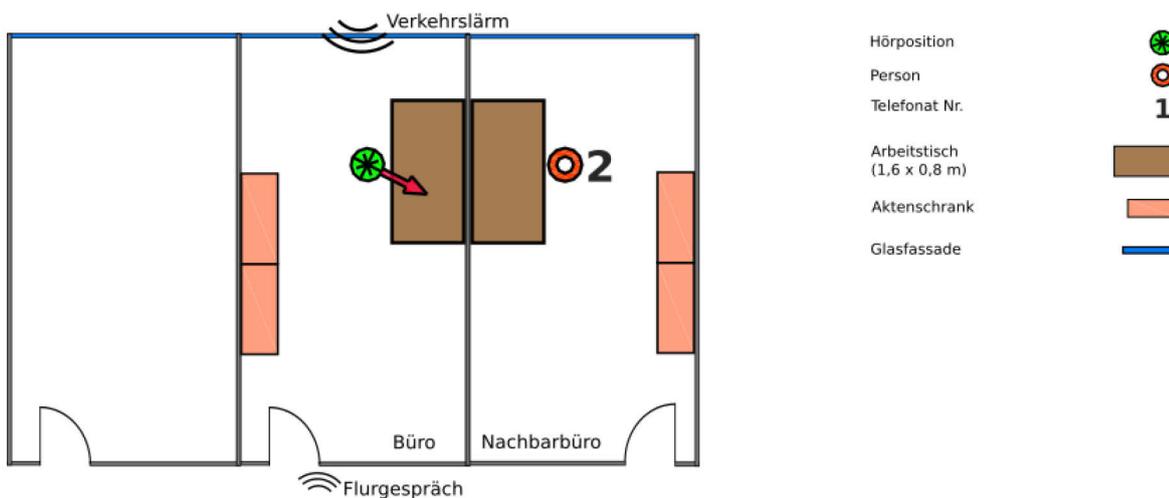
Zusammenfassung: 1 Personen Büro - Einfluss der Schreibtischposition im Nachbarbüro

Auch bei unveränderter Schalldämmung der Trennwand kann durch günstige Anordnung der Arbeitsplätze die Situation verbessert werden.

7.6.7 Einfluss von Ausführungsmängeln

Es wird verglichen, wie sich die akustische Situation in einem Büro mit üblicher Tätigkeit bei normalem Schallschutz durch Ausführungsmängel ändert. Bei diesen Vergleichen befindet sich keine Werkstatt im linken Raum. Folgende Situationen werden dabei simuliert:

- Flurtür schlecht abgedichtet (R_w Flur gesamt = 22 dB)
- undichte Kabeldurchführung zum Nachbarbüro
(Durchmesser = 10 cm, R_w Nachbarbüro gesamt = 31 dB)
- beide Mängel gleichzeitig



Auswahl:

- Akustische Situation ohne Ausführungsmängel
- Flurtür ist schlecht abgedichtet
- Undichte Kabeldurchführung zum Nachbarbüro
- Undichte Kabelführung und schlecht abgedichtete Flurtür

Relevante Stellen:

- 00:16 - 00:58: Telefonat im Nachbarbüro
- 01:02 - 01:22: Gespräch auf dem Flur



Zusammenfassung: 1-Personen-Büro - Einfluss von Ausführungsmängel

Auf die Ausführung achten!

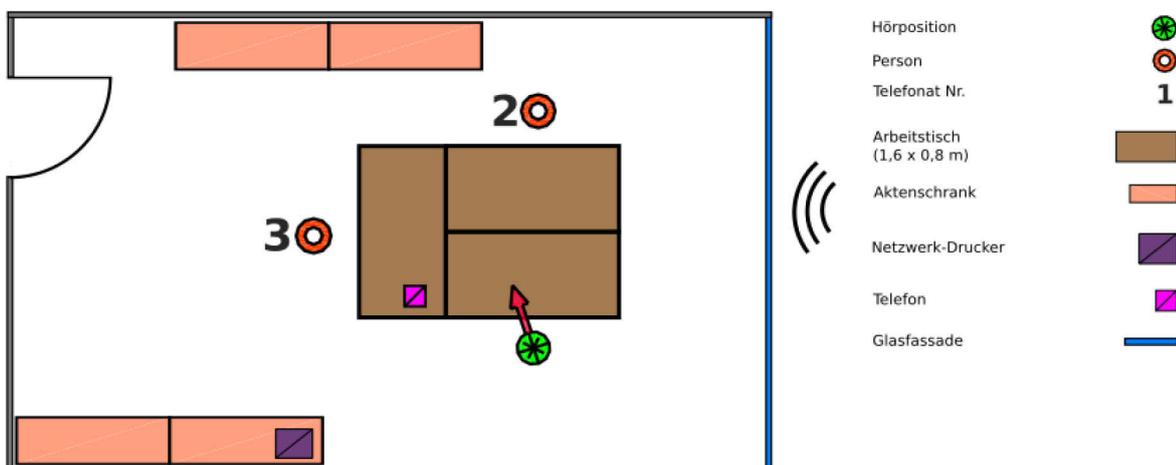
Undichtigkeiten vermindern den eigentlich möglichen Schallschutz.

8 3-Personen-Büro

Sobald man sich das Büro mit anderen teilt, bestimmen die beim Arbeiten bzw. Telefonieren entstehenden Geräusche der Kolleginnen und Kollegen im Büro die akustische Umgebung für die eigene Tätigkeit. In welchem Maß die verschiedenen Geräusche auf den Hörer einwirken, wird durch Raumakustik, Anordnung der Arbeitsplätze sowie Einsatz von abschirmenden Tischblenden bestimmt.

Bei der akustischen Gestaltung eines 3-Personen-Büros gibt es die Möglichkeit, Decke und Wände eher absorbierend oder reflektierend auszustatten. Bei der klassischen zueinander gewandten Anordnung der Arbeitsplätze werden Blenden zur akustischen Abschirmung eingesetzt. Eine Anordnung der Schreibtische an den Wänden kann Vorteile bieten. Auch die Positionierung von technischen Schallquellen im Raum (z.B. Drucker) kann günstig und ungünstig gewählt werden. Über Kopfhörer werden die akustischen Wirkungen dieser Maßnahmen an der Hörposition vorgeführt.

8.1 Technische Beschreibung des Raumes und der Raumakustik



Grundriss 3-Personen-Büro

Abmessungen:

Raumvolumen: 80 m^3 . ($4.14 * 6.9 * 2.8 \text{ m}^3$); Grundfläche: $26,6 \text{ m}^2$; Oberfläche: 119 m^2

Tischfläche $160 \text{ cm} * 80 \text{ cm}$, Tischhöhe 72 cm

Raumakustik:

Am Beispiel dieses Raumes werden hinsichtlich der Raumakustik drei verschiedene Qualitätsstufen miteinander verglichen. Diese sind „akustisch reflektierend“, „akustisch normal“ und „akustisch absorbierend“. Sie werden durch drei verschiedene Büroausstattungen definiert:

akustisch reflektierend:

mittlerer Absorptionsgrad $\alpha_m = 0.12$

Nachhallzeit $T_n = 0.86 \text{ s}$

Äquivalente Absorptionsfläche $A = 14 \text{ m}^2$

Ausstattung:

kein Teppichboden

keine absorbierende Decke

gering absorbierende Büroeinrichtung, keine Textilien

Einrichtung (Absorption durch Tische, Schränke, Personen) $A = 9 \text{ m}^2$

Grundabsorption der Wände und Decke: $\alpha_m = 0.04$ (4%) $A = 5 \text{ m}^2$

keine zusätzlichen Maßnahmen zur Absorption

akustisch normal:

mittlerer Absorptionsgrad $\alpha_m = 0.23$

Nachhallzeit $T_n = 0.43 \text{ s}$

Äquivalente Absorptionsfläche $A = 27 \text{ m}^2$

Ausstattung:

Teppichboden, mittlerer Absorptionsgrad $\alpha_m = 0.17$ $A = 5 \text{ m}^2$

stärker absorbierende Büroeinrichtung (mehr Möbel, Vorhänge, Blumen usw.) $A = 17 \text{ m}^2$

Grundabsorption der Wände und Decke: $\alpha_m = 0.04$ (4%) $A = 5 \text{ m}^2$

keine absorbierende Decke

akustisch absorbierend:

mittlerer Absorptionsgrad $\alpha_m = 0.39$

Nachhallzeit $T_n = 0.22 \text{ s}$

Absorptionsfläche $A = 46 \text{ m}^2$

Ausstattung:

Teppichboden mittlerer Absorptionsgrad $\alpha_m = 0.17$ $A = 5 \text{ m}^2$

stärker absorbierende Büroeinrichtung (mehr Möbel, Vorhänge, Blumen usw.) $A = 17 \text{ m}^2$

absorbierende Decke $\alpha_m = 0.80$ $A = 23 \text{ m}^2$

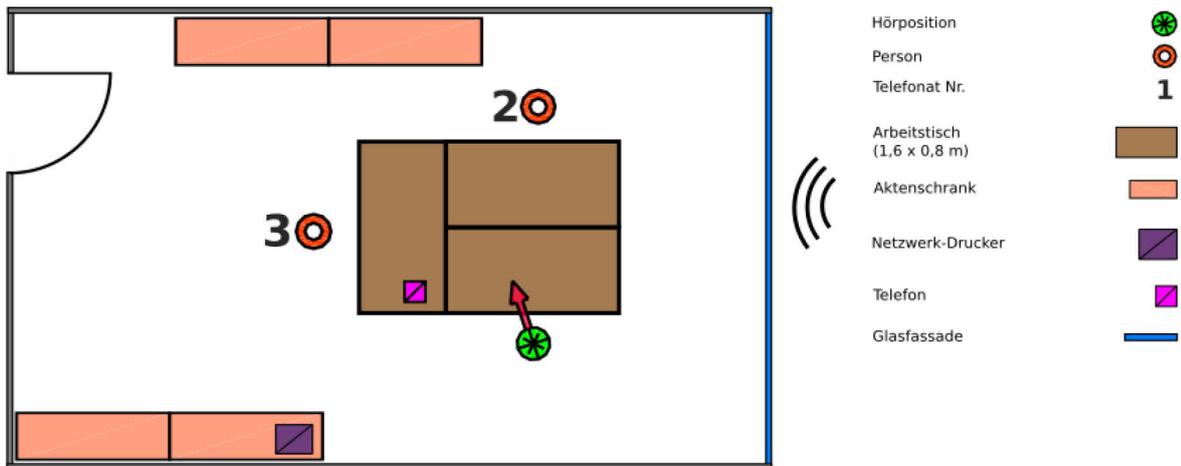
8.2 Beschreibung der Schallquellen und Szenenbeschreibung

Schallleistungspegel der Schallquellen

Personen P ₂ und P ₃	$L_W = 60 \text{ dB(A)}$
Computer	$L_W = 38 \text{ dB(A)}$
Drucker	$L_W = 48 \text{ dB(A)}$

Schalldruckpegel Verkehrslärm:

Verkehrslärm vor der Fassade (Schalldruckpegel)	$L_P = 73 \text{ dB(A)}$
Schalldämmung Fassade	$R_W = 35 \text{ dB}$



Szenenbeschreibung:

Der Hörer hält den Kopf in die mit Pfeil angegebene Richtung und hört dabei folgende Schallquellen:

Telefonierende Personen: $L_W = 60 \text{ dB(A)}$

Drucker druckt: $L_W = 48 \text{ dB(A)}$

Computer unter den Tischen: $L_W = 38 \text{ dB(A)}$

Verkehrslärm vor der Fassade: $L_p = 73 \text{ dB(A)}$

Person 2 erzeugt außerdem Arbeitsgeräusche mit Papier und Tacker und Person 3 schreibt auf der Tastatur. Die Schalldämmung der Fassade beträgt 35 dB (Pfosten-Riegelkonstruktion mit großen Glasflächen). Die Fenster sind geschlossen. Der Aktenschrank, auf dem der Drucker steht, hat eine Höhe von 1m. Die anderen Aktenschränke sind 1,5m hoch.

L_W = Schallleistungspegel

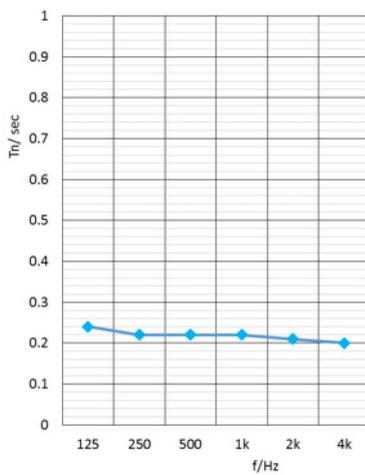
L_p = Schalldruckpegel

8.3 Raumakustische Parameter und Kenngrößen nach DIN EN ISO 3382-3 und VDI 2569

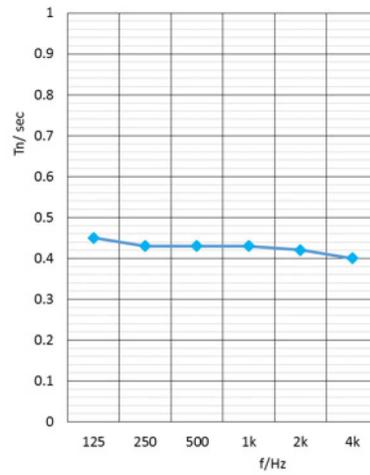
Nachhallzeit T_N :

Nachhallzeit T_N / s (250 Hz-4kHz)	Raumakustikklasse VDI 2569	Qualitätsstufe
0.22	A	absorbierend
0.43	B	normal
0.86	> C	reflektierend

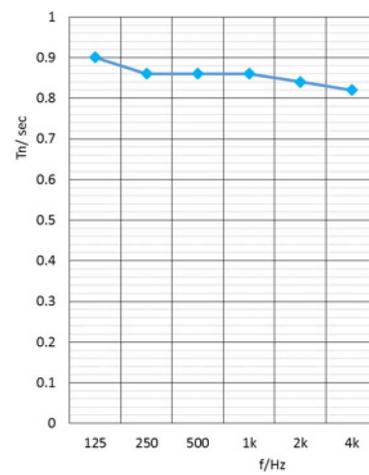
absorbierend



normal



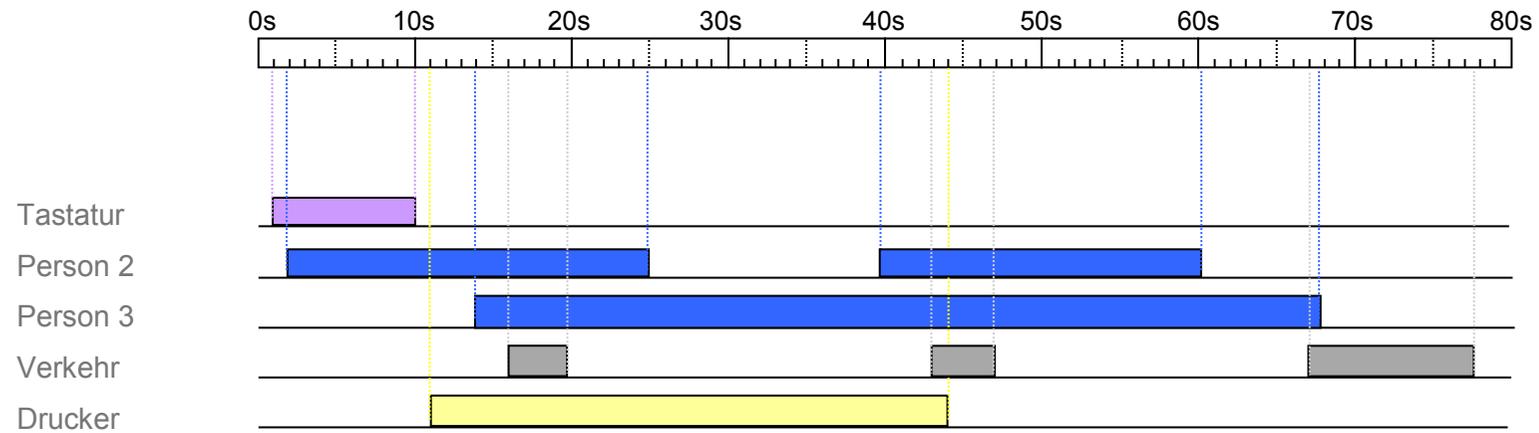
reflektierend



8.4 Zeitliche Abfolge der Schallsignale

3-Personen-Büro

Tastatur	1 s - 10 s
Telefonat Person 2	2 s - 25 s
Telefonat Person 2	40 s - 60 s
Telefonat Person 3	14 s - 68 s
Drucker	11 s - 44 s
Verkehr	16 s - 20 s
Verkehr	43 s - 47 s
Verkehr	67 s - 78 s

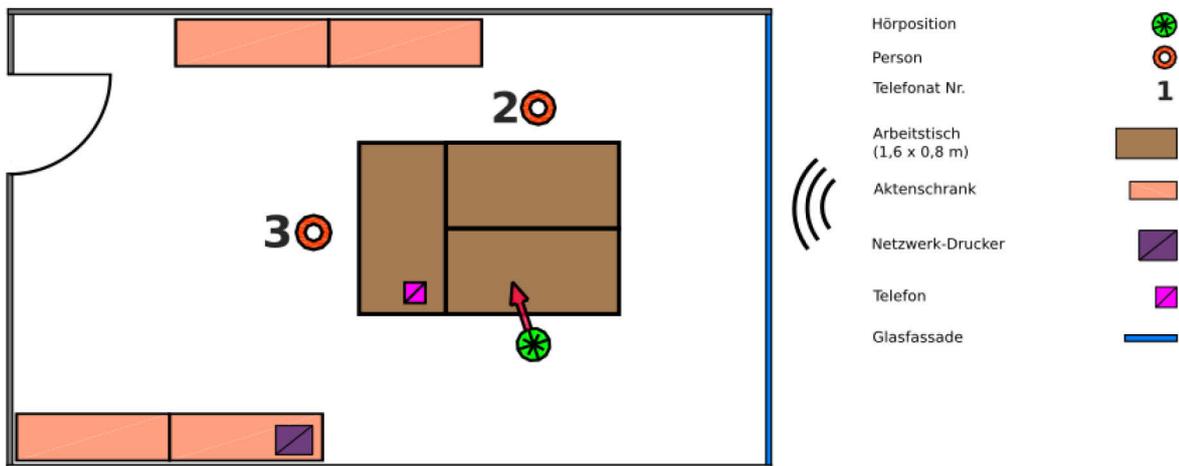


8.5 Hörbeispiele 3-Personen-Büro

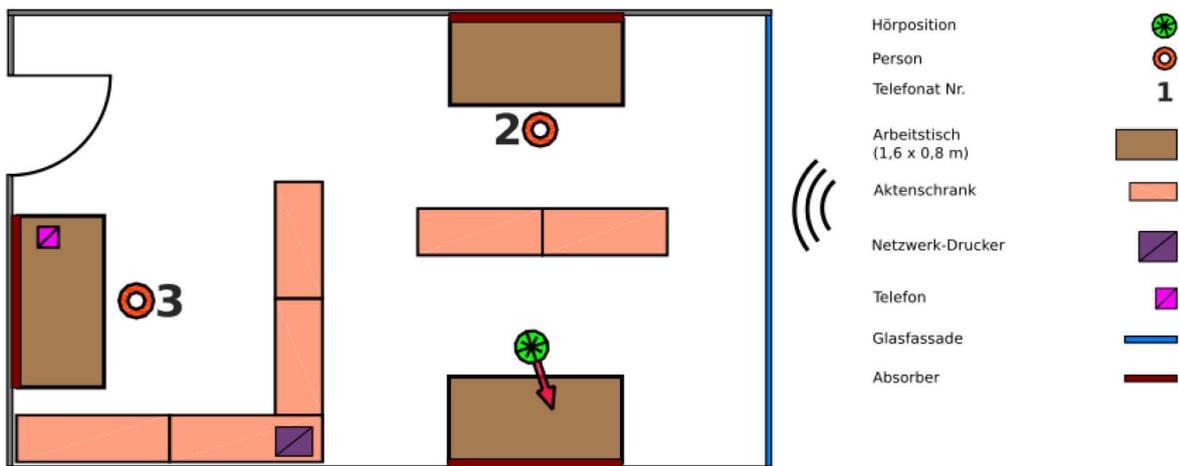
8.5.1 Vergleich der schlechtesten und besten Situation

In diesem Vergleich wird die jeweils schlechteste und beste Situation dargestellt. Die schlechteste Situation entspricht hier einem Raum, in dem die Schreibtische mittig angeordnet sind, keine Blenden zwischen den Schreibtischen haben und die Nachhallzeit 0,86 Sekunden beträgt. Bei der besten Situation sind die Schreibtische im Raum (Nachhallzeit 0,22 Sekunden) an den Wänden angeordnet und mit einem Absorber versehen.

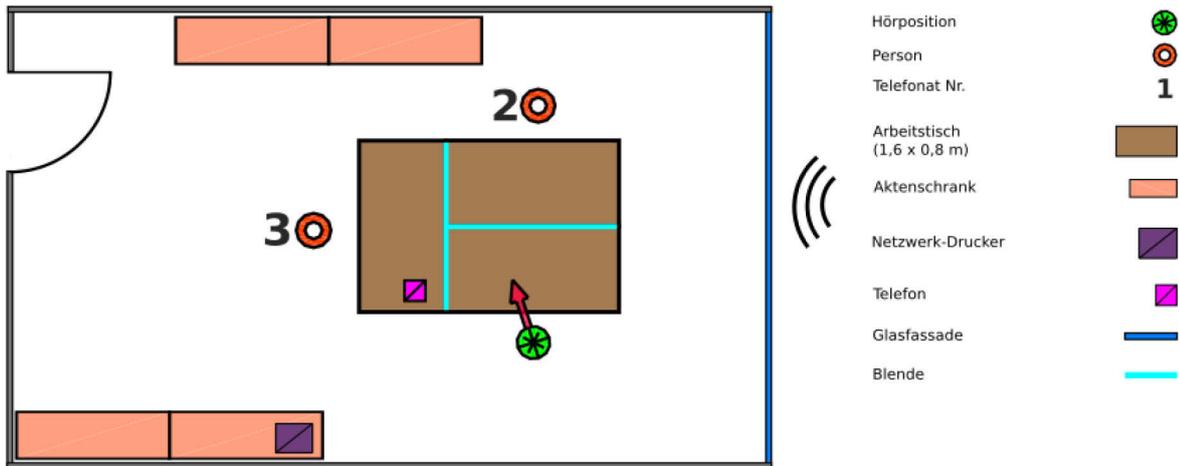
Auswahl:



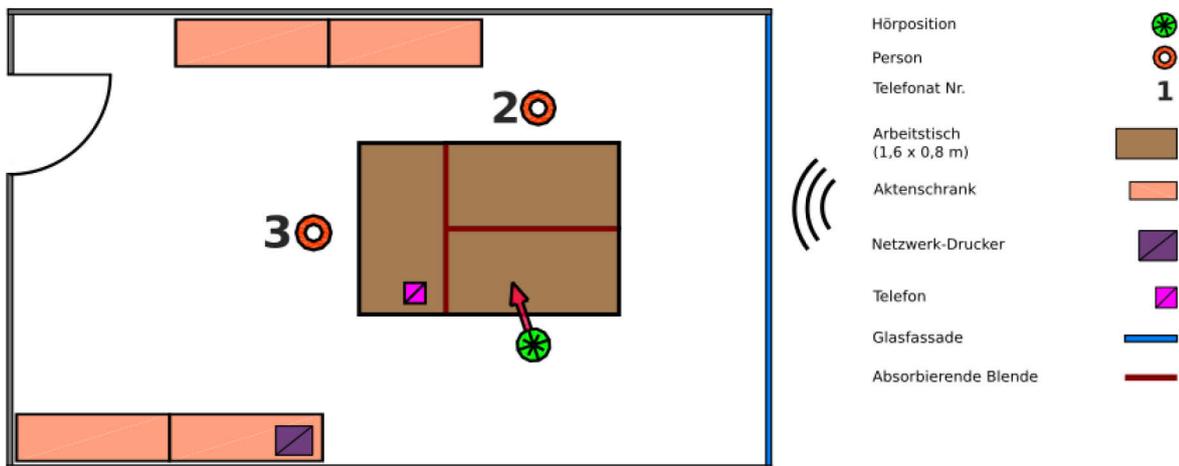
- Schlechteste Situation - Schreibtische mittig - Nachhallzeit 0.86 Sekunden – reflektierend ($L_{pAeq} = 51.3$ dB)



- Beste Situation - Schreibtische an den Wänden - Mit Absorber - Nachhallzeit 0.22 Sekunden – absorbierend ($L_{pAeq} = 38.0$ dB)



- Mit niedriger Blende - Nachhallzeit 0.22 Sekunden – absorbierend ($L_{pAeq} = 45.3$ dB)
- Mit Blende - Nachhallzeit 0.22 Sekunden – absorbierend ($L_{pAeq} = 41.1$ dB)
- Mit Blende - Nachhallzeit 0.86 Sekunden – reflektierend ($L_{pAeq} = 50.0$ dB)



- Mit absorbierender Blende - Nachhallzeit 0.22 Sekunden – absorbierend ($L_{pAeq} = 40.3$ dB)

Relevante Stellen:

- 00:01 - 00:10: Tastatur
- 00:02 - 00:14: Telefonat am Platz gegenüber der Hörposition
- 00:20 - 00:40: Telefonat am Platz links von der Hörposition



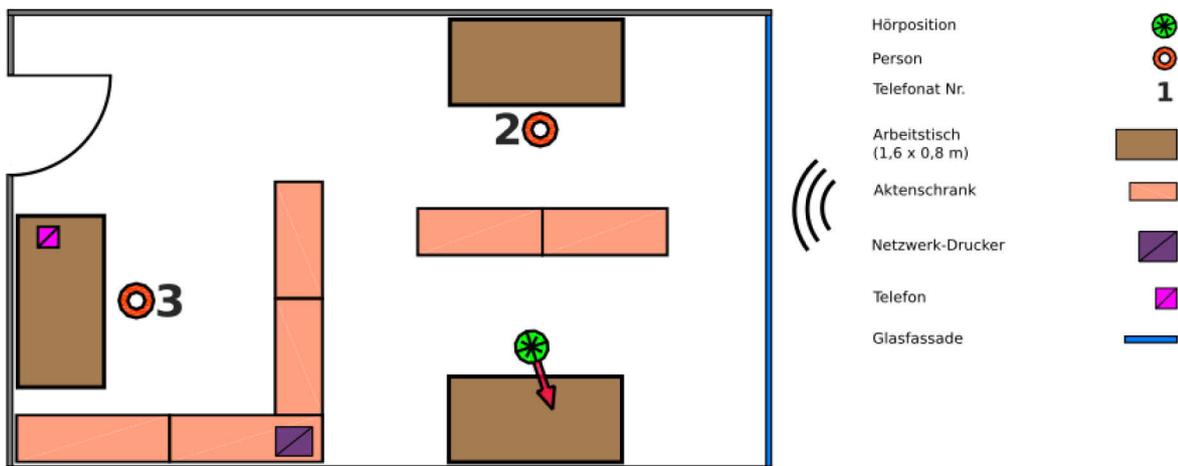
Zusammenfassung: 3-Personen-Büro - Einfluss der Blenden

Eine niedrige Blende mit lediglich 35 cm Höhe bringt keine Verbesserung!

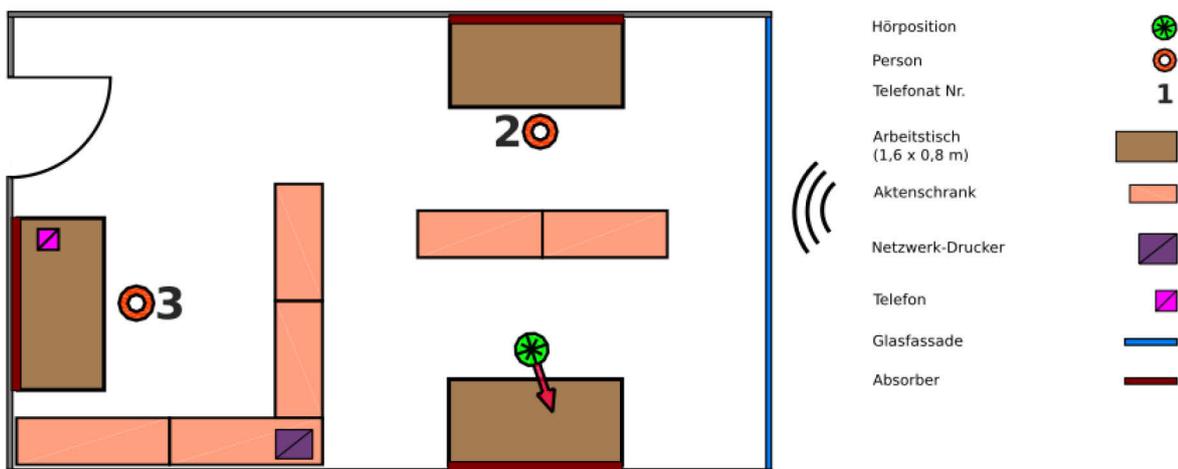
8.5.3 Schreibtische an den Wänden angeordnet

Akustische Situation in einem 3-Personen-Büro und an den Wänden angeordneten Schreibtischen. Die Aktenschränke (Höhe 1,5 m) wirken als Raumteiler zwischen den Arbeitsplätzen und verhindern den direkten Schalleinfall bei sitzenden Personen. Es wird der Einfluss unterschiedlicher akustischer Ausstattungen und dementsprechend unterschiedlicher Absorptionen dargestellt. Zusätzliche Absorber an den Wänden über den Schreibtischen verbessern die akustische Situation sogar bei niedriger Nachhallzeit (0,22 s).

Auswahl:



- Ohne Absorber - Nachhallzeit 0,22 Sekunden – absorbierend ($L_{pAeq} = 38.7$ dB)
- Ohne Absorber - Nachhallzeit 0,43 Sekunden – normal ($L_{pAeq} = 45.5$ dB)
- Ohne Absorber - Nachhallzeit 0,86 Sekunden – reflektierend ($L_{pAeq} = 49.4$ dB)



- Mit Absorber - Nachhallzeit 0,22 Sekunden – absorbierend ($L_{pAeq} = 38.0$ dB)

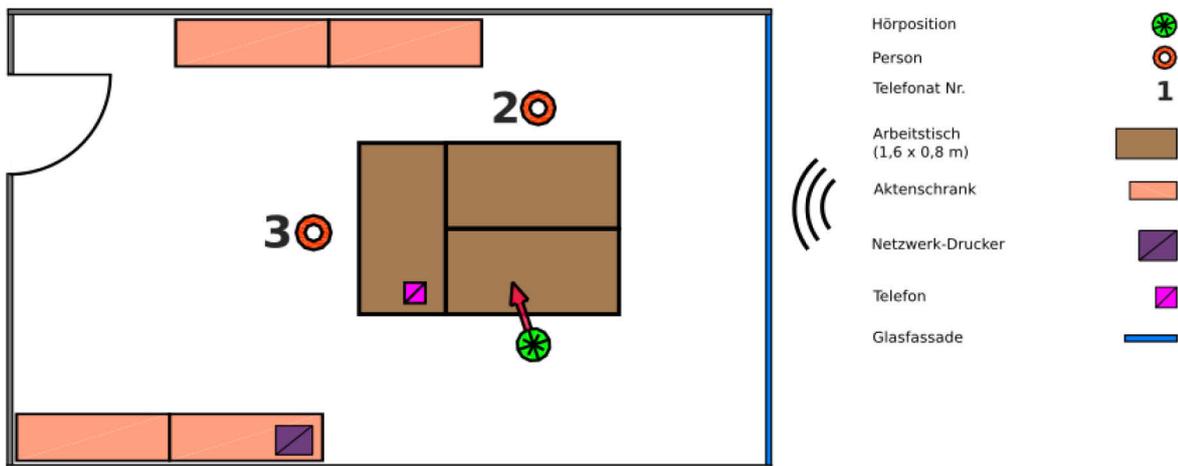
Relevante Stellen:

- 00:01 - 00:10: Tastatur
- 00:02 - 00:14: Telefonat am Platz gegenüber der Hörposition
- 00:11 - 00:44: Drucker druckt
- 00:20 - 00:40: Telefonat am Platz links von der Hörposition

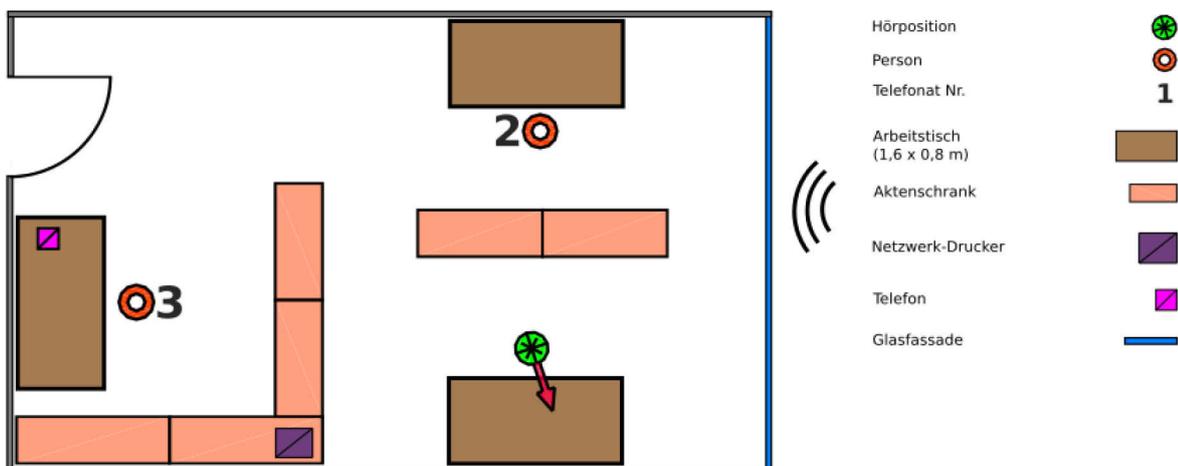
8.5.4 Einfluss der Schreibtisanordnung

Es wird verglichen, wie sich die Büroanordnung bei Nachhallzeiten von 0,22 s (absorbierend) und 0,86 s (reflektierend) auf die akustische Situation auswirkt. Blenden kommen in diesem Vergleich nicht zum Einsatz.

Auswahl:



- Schreibtische mittig - Nachhallzeit 0,22 Sekunden – absorbierend ($L_{pAeq} = 45.9$ dB)
- Schreibtische mittig - Nachhallzeit 0,86 Sekunden – reflektierend ($L_{pAeq} = 51.3$ dB)



- Schreibtische an den Wänden - Nachhallzeit 0,22 Sekunden – absorbierend ($L_{pAeq} = 38.7$ dB)
- Schreibtische an den Wänden - Nachhallzeit 0,86 Sekunden – reflektierend ($L_{pAeq} = 49.4$ dB)

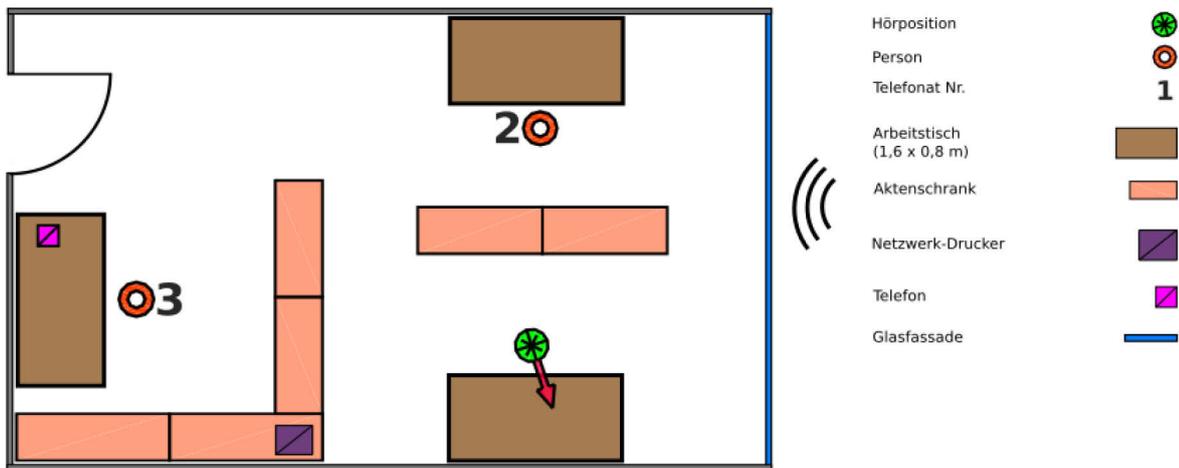
Relevante Stellen:

- 00:01 - 00:10: Tastatur
- 00:02 - 00:14: Telefonat am Platz gegenüber der Hörposition
- 00:20 - 00:40: Telefonat am Platz links von der Hörposition

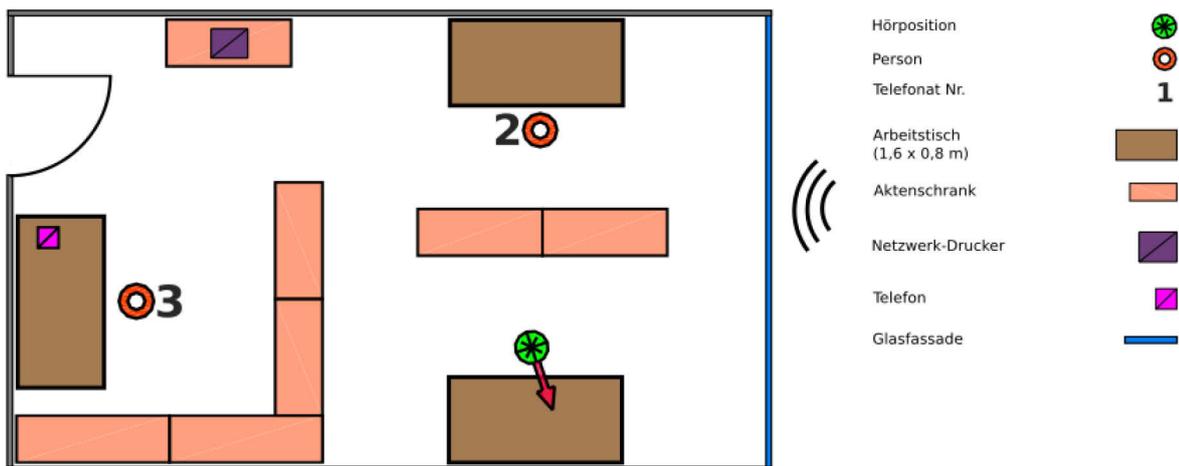
8.5.5 Einfluss der Druckerposition

Es wird verglichen, wie sich die Position des Druckers bei Nachhallzeiten von 0,22 s (absorbierend) auf die akustische Situation in einem 3-Personen-Büro mit an den Wänden positionierten Schreibtischen auswirkt.

Auswahl:



- Drucker an der herkömmlichen Position ($L_{pAeq} = 38.7$ dB)



- Drucker an der alternativen Position ($L_{pAeq} = 38.4$ dB)

Relevante Stellen:

- 00:11 - 00:44: Drucker druckt

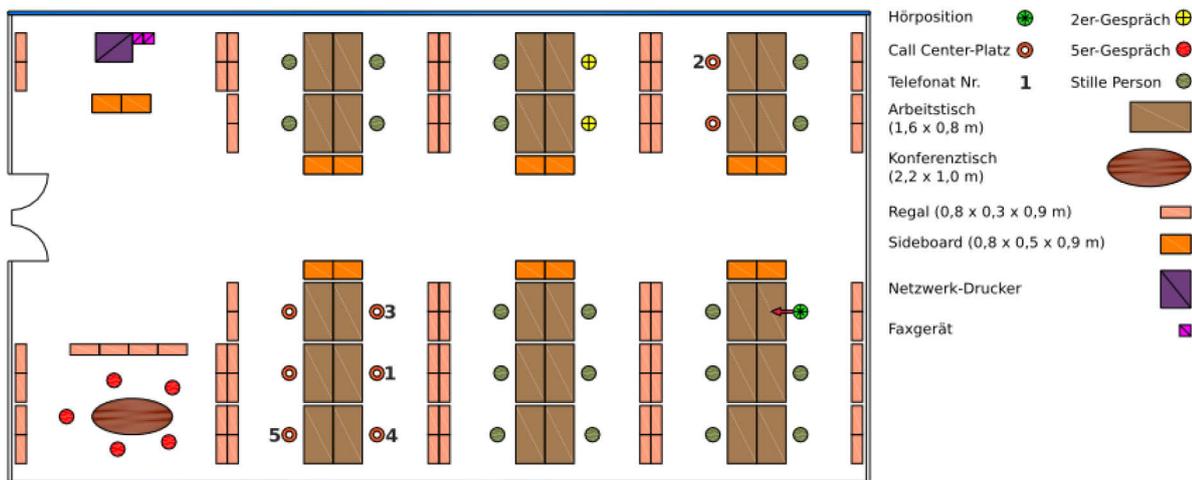
9 Großraumbüro

Das Großraumbüro mit zwei parallelen Fensterfronten bietet auf 302 m² Platz für 30 Arbeitsplätze einer Versicherung. Zusätzlich ist ein Stehtisch für kurze Besprechungen vorhanden. Es gibt sowohl Arbeitsplätze, an denen konzentriert gearbeitet werden soll (z.B. an der Hörposition), als auch Arbeitsplätze mit Kundenkontakt, an denen viel telefoniert wird. An dem Stehtisch haben sich fünf Mitarbeiter zu einer kurzen Besprechung versammelt.

Zur akustischen Raumgestaltung gibt es mehrere Möglichkeiten wie z.B. unterschiedliche Anordnung der Arbeitsplätze, das Einfügen von Schallabsorbern an Decke, Wänden und Möbeln oder der Einsatz von Glastrennwänden. Über Kopfhörer werden die akustischen Wirkungen dieser Maßnahmen an der Hörposition vorgeführt.

Bei den Büromöbeln ist die Schallabsorption nur mit den senkrechten Flächen kombiniert. Schreibtischplatten beispielweise sind selbstverständlich nicht absorbierend ausgeführt. Aus gestalterischen Gründen wurde in den 3D-Ansichten für senk- und waagrechte Möbelflächen dasselbe Dekor gewählt. Die senkrechten Flächen könnten perforiert und damit absorbierend sein.

9.1 Technische Beschreibung des Raumes und der Raumakustik



Grundriss Großraumbüro

Abmessungen:

Raumvolumen: 831 m³. (23,6 * 12,8 * 2,75 m³); Grundfläche: 302,1 m²; Oberfläche: 804 m²

Tischfläche 160 cm * 80 cm, Tischhöhe 72 cm

Raumakustik:

Sofern dieser Raum mit einer absorbierenden Decke und Teppichboden ausgestattet wird, ergibt sich rechnerisch eine Nachhallzeit T_n von 0,45 Sekunden. Die für die Beispiele verwendeten Absorptionsgrade sind im Einzelnen:

Teppichboden $\alpha_m = 0,17$

absorbierende Decke $\alpha_m = 0,8$

absorbierende Wände, wenn vorhanden	$\alpha_m = 0,80$
absorbierende Möbel, wenn vorhanden	$\alpha_m = 0,70$
Absorber in der Kante, wenn vorhanden	$\alpha_m = 0,86$
Absorbersegel über Tisch, wenn vorhanden	$\alpha_m = 0,65$

9.2 Beschreibung der Schallquellen und Szenenbeschreibung

Szenenbeschreibung:

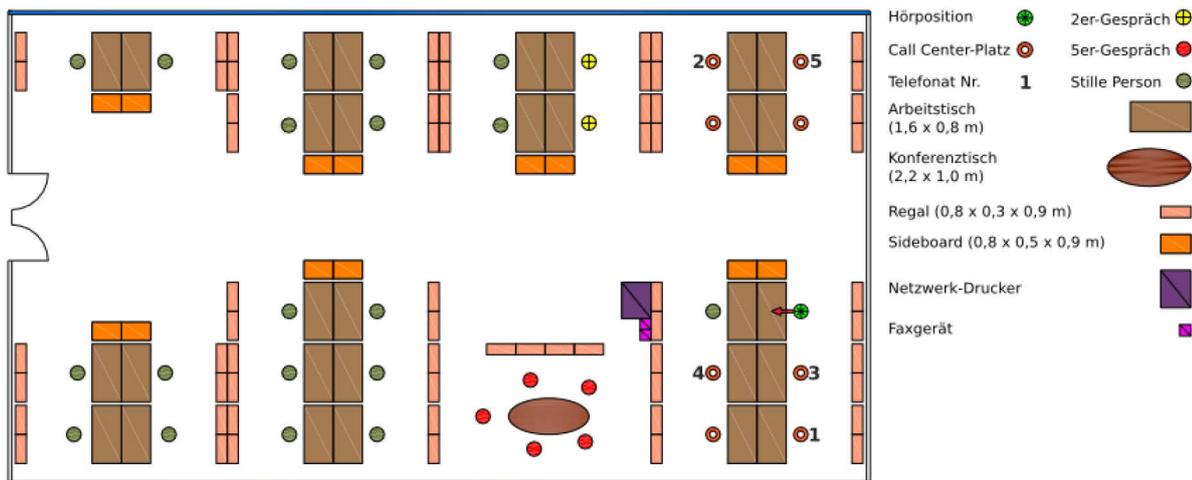
Der Hörer hält den Kopf in die mit Pfeil angegebene Richtung und hört dabei folgende Schallquellen mit den angegebenen Schallleistungspegeln:

Computer (pro Gerät)	$L_W = 38 \text{ dB(A)}$
Sprechende Personen (pro Person)	$L_W = 65 \text{ dB(A)}$
Telefonklingeln	$L_W = 65 \text{ dB(A)}$
Tastaturen	$L_W = 48 \text{ dB(A)}$
Drucker	$L_W = 58 \text{ dB(A)}$
FAX	$L_W = 58 \text{ dB(A)}$

Um eine realistische Arbeitsatmosphäre zu erzeugen, wurden weitere Geräusche von Schubladen, Türen von Aktenschränken, Schritte von laufenden Personen, Papierrascheln, Kaffeetasse auf Tisch stellen und Räuspfern eingefügt.

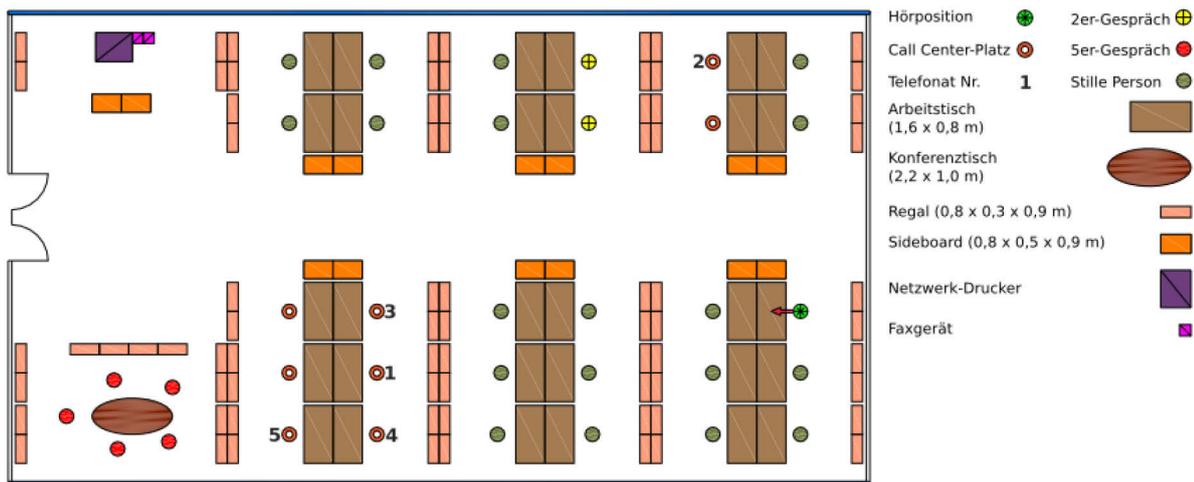
Entfernung der Schallquellen:

In den Hörbeispielen wird eine ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze mit einer günstigen Anordnung verglichen. Im Folgenden wird für jede Quelle angegeben, in welcher Entfernung zum Hörer sie sich befindet.



Entfernung sprechender Personen zum Hörer bei **ungünstiger** Arbeitsplatzanordnung:

Person 1	3.4 m	Person 2	6.9 m	Person 3	1.6 m
Person 4	3.0 m	Person 5	6.7 m	Person 6	4.7 m
2er Gespräch	8.0 m				
5er Gespräch	7.6 m				



Entfernung sprechender Personen zum Hörer bei **günstiger** Arbeitsplatzanordnung:

Person 1	12.0 m	Person 2	6.9 m	Person 3	11.9 m
Person 4	12.3 m	Person 5	14.6 m	Person 6	14.3 m
2er Gespräch	8.0 m				
5er Gespräch	18.5 m				

9.3 Zeitliche Abfolge der Schallsignale

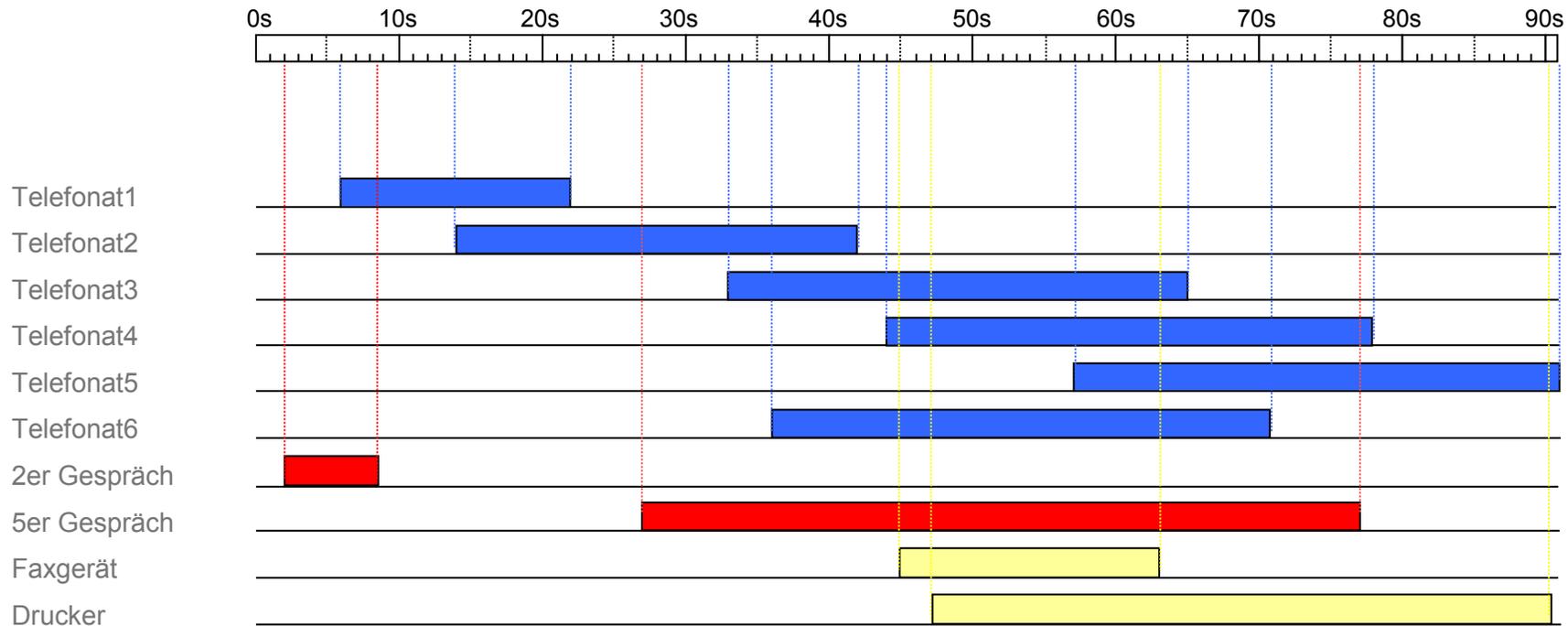
Zeitliche Abfolge der Gespräche:

Telefonat Person 1	6 s - 22 s	„KB-Versicherungen mein Name ist Lose ...“
Telefonat Person 2	14 s - 42 s	„Ja, hi, hier ist die Claudia, du kennst dich doch mit ...“
Telefonat Person 3	33 s - 65 s	„KB-Versicherungen, Hartmut Klein am Apparat, ...“
Telefonat Person 4	44 s - 78 s	„Hier KB-Versicherungen, mein Name ist Schmittbauer, ...“
Telefonat Person 5	57 s - 91 s	„KB-Versicherungen, Schmidt, guten Tag, was kann ...“
Telefonat Person 6	36 s - 71 s	„Guten Tag, KB-Versicherungen, Helene Meier am ...“
2er Gespräch	2 s - 9 s	„Ich werde mir noch eine Tasse Kaffee holen ...“
5er Gespräch	27 s - 77 s	„Danke, dass ihr euch hier alle eingefunden habt ...“
Faxgerät	45 s - 62 s	
Drucker	47 s - 90 s	

Zeitliche Abfolge der Schallsignale im Großraumbüro

Zeitliche Abfolge der Gespräche:

Telefonat Person 1	6 s - 22 s	„KB-Versicherungen mein Name ist Lose ...“
Telefonat Person 2	14 s - 42 s	„Ja, hi, hier ist die Claudia, du kennst dich doch mit ...“
Telefonat Person 3	33 s - 65 s	„KB-Versicherungen, Hartmut Klein am Apparat, ...“
Telefonat Person 4	44 s - 78 s	„Hier KB-Versicherungen, mein Name ist Schmittbauer, ...“
Telefonat Person 5	57 s - 91 s	„KB-Versicherungen, Schmidt, guten Tag, was kann ...“
Telefonat Person 6	36 s - 71 s	„Guten Tag, KB-Versicherungen, Helene Meier am ...“
2er Gespräch	2 s - 9 s	„Ich werde mir noch eine Tasse Kaffee holen ...“
5er Gespräch	27 s - 77 s	„Danke, dass ihr euch hier alle eingefunden habt ...“

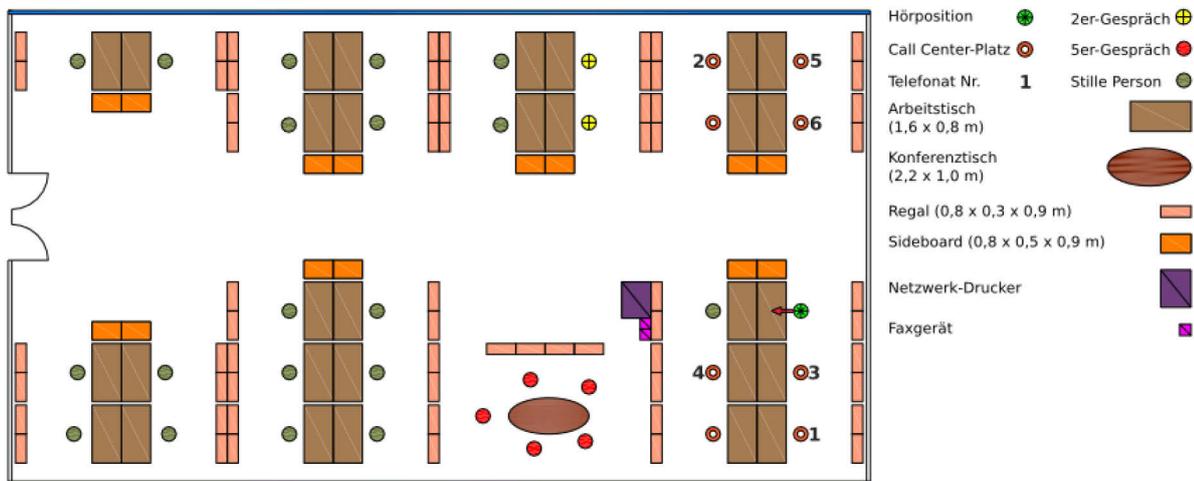


9.4 Hörbeispiele Großraumbüro

9.4.1 Vergleich der schlechtesten und besten Situation

In diesem Vergleich wird die schlechteste und beste Situation gegenübergestellt. Die schlechteste Situation stellt hier eine ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Raumelemente dar, welche mit einer günstigen Anordnung mit absorbierenden Raumelementen und zusätzlichen Trennelementen verglichen wird. Absorbierende Raumelemente sind Decke, Wände und Möbel. Zusätzlich wurden zur weiteren Optimierung Trennelemente wie Call-Center-Boxen, Glasabtrennungen und eine Abtrennung zum Gang durch Sideboards eingesetzt.

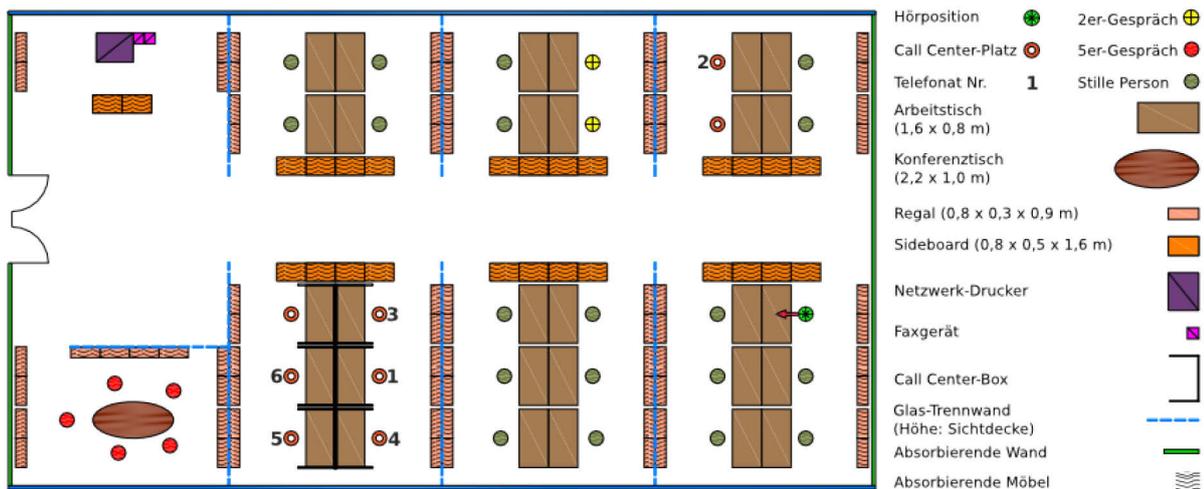
Auswahl:



2D-Ansicht: Schlechteste Situation - ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke ($L_{pAeq} = 62.4$ dB)



3D-Ansicht: Schlechteste Situation - ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke ($L_{pAeq} = 62.4$ dB)



2D-Ansicht: Beste Situation - günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen ($L_{pAeq} = 43.8$ dB)

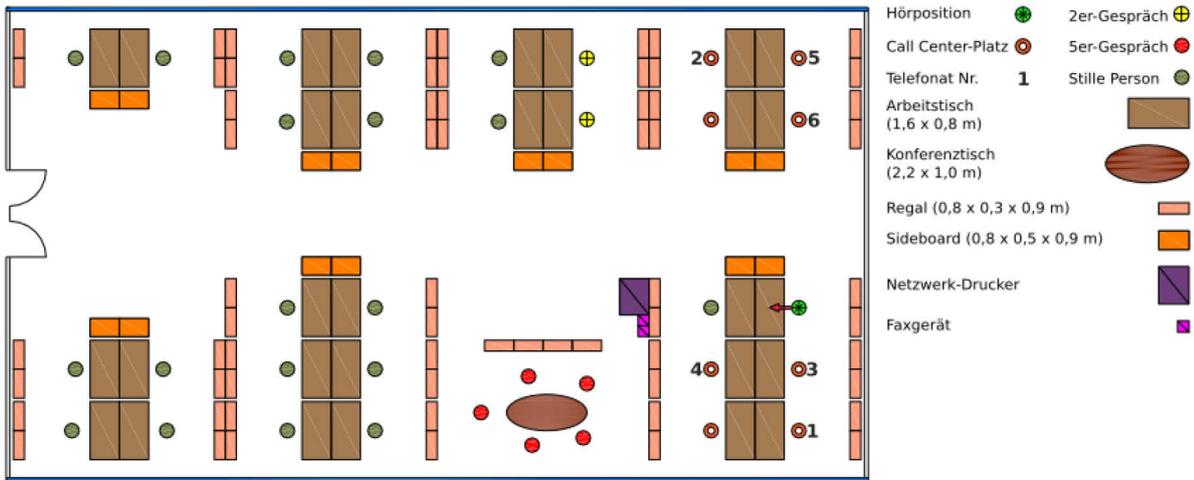


3D-Ansicht: Beste Situation - günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen ($L_{pAeq} = 43.8$ dB)

9.4.2 Einfluss der Arbeitsplatzanordnung

In diesem Vergleich wird dargestellt, wie sich die Anordnung der verschiedenen Arbeitsplätze und Geräte in einem Großraumbüro auf den Geräuschpegel auswirken. Es wird eine **ungünstige** Anordnung, bei der die unterschiedlichen Arbeitsplätze (Viel-Telefonierer, Besprechungsecken) und Geräte willkürlich zwischen den restlichen, ruhigen Arbeitsplätzen verteilt sind mit einer **günstigen** Anordnung verglichen. Bei der günstigen Anordnung wurden lediglich die häufig Telefonierenden nebeneinander platziert sowie die Besprechungsecke und die Bürogeräte (Drucker und Fax) in jeweils eine Raumecke positioniert. Zusätzlich wird der Einsatz einer absorbierenden Decke dargestellt.

Auswahl:



2D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze **ohne** absorbierende Decke ($L_{pAeq} = 62.4$ dB)

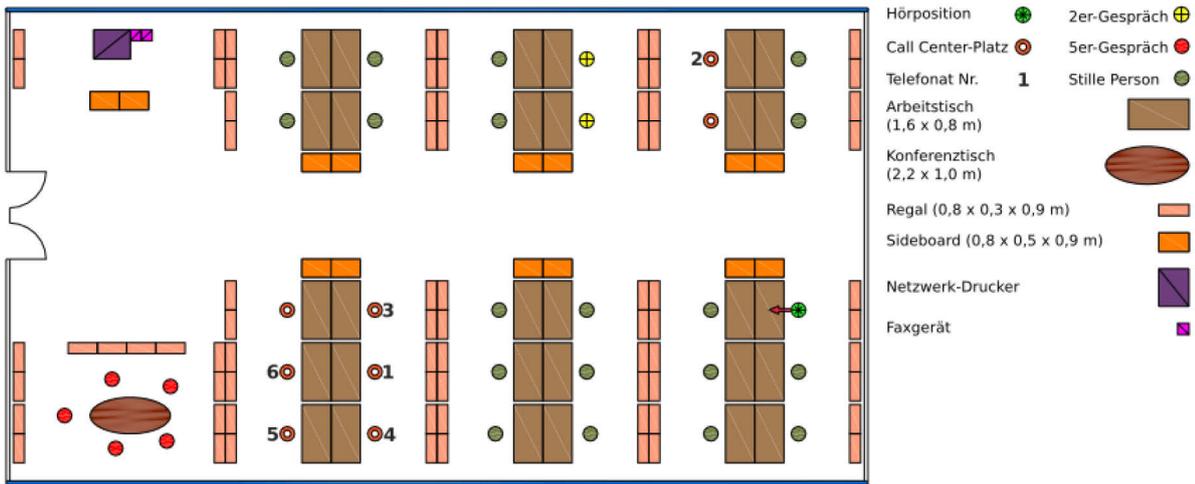
2D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze **mit** absorbierender Decke ($L_{pAeq} = 59.9$ dB)



3D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze **ohne** absorbierende Decke ($L_{pAeq} = 62.4$ dB)



3D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze **mit** absorbierender Decke ($L_{pAeq} = 59.9$ dB)



2D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke ($L_{pAeq} = 56.3$ dB)

2D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit absorbierender Decke ($L_{pAeq} = 52.0$ dB)



3D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze **ohne** absorbierende Decke ($L_{pAeq} = 56.3$ dB)



3D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze **mit** absorbierender Decke ($L_{pAeq} = 52.0$ dB)

Relevante Stellen:

- 00:06 - 00:22: Telefonat Nr. 1
- 00:26 - 00:41: 5er-Gespräch
- 00:34 - 01:04: Telefonat Nr. 3
- 00:39 - 01:12: Telefonat Nr. 6
- 00:48 - 01:01: Fax
- 00:45 - 01:22: Telefonat Nr. 4



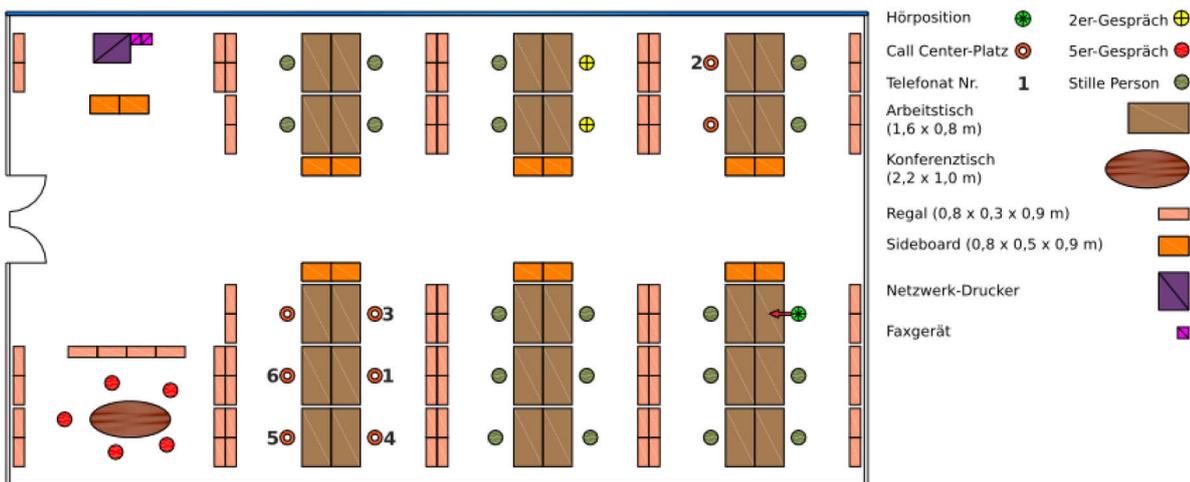
Zusammenfassung: Großraumbüro - Einfluss der Arbeitsplatzanordnung

Eine günstige Anordnung der Arbeitsplätze verbessert den Höreindruck deutlich und verhilft der absorbierenden Decke zu größerer Wirkung.

9.4.3 Einfluss von Abtrennungen

Durch den Einsatz von Glasabtrennungen zwischen den Regalen bis zur Sichtdecke und zur Fensterfront wird eine verbesserte akustische Trennung zu den Arbeitsplätzen auf der unteren Seite des Raumes erreicht. Um auch eine verbesserte Trennung zu den Plätzen über den Gang zu erreichen, werden zusätzliche Sideboards zum Gang eingesetzt. Ebenso werden die vieltelefonierenden Plätze mit Call Center-Boxen ausgestattet. Die Decke im Raum ist bei beiden Beispielen absorbierend.

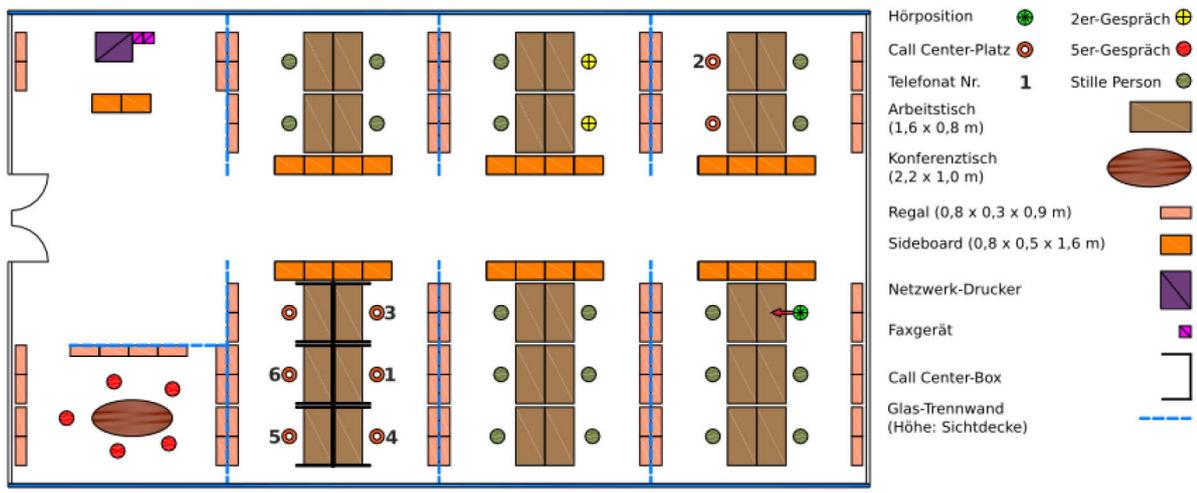
Auswahl:



2D-Ansicht: Ohne Glasabtrennung sowie ohne Sideboard ($L_{pAeq} = 52.0$ dB)



3D-Ansicht: Ohne Glasabtrennung sowie ohne Sideboard ($L_{pAeq} = 52.0$ dB)



2D-Ansicht: Mit Glasabtrennung und Sideboard zum Gang ($L_{pAeq} = 47.9$ dB)



3D-Ansicht: Mit Glasabtrennung und Sideboard zum Gang ($L_{pAeq} = 47.9$ dB)

Relevante Stellen:

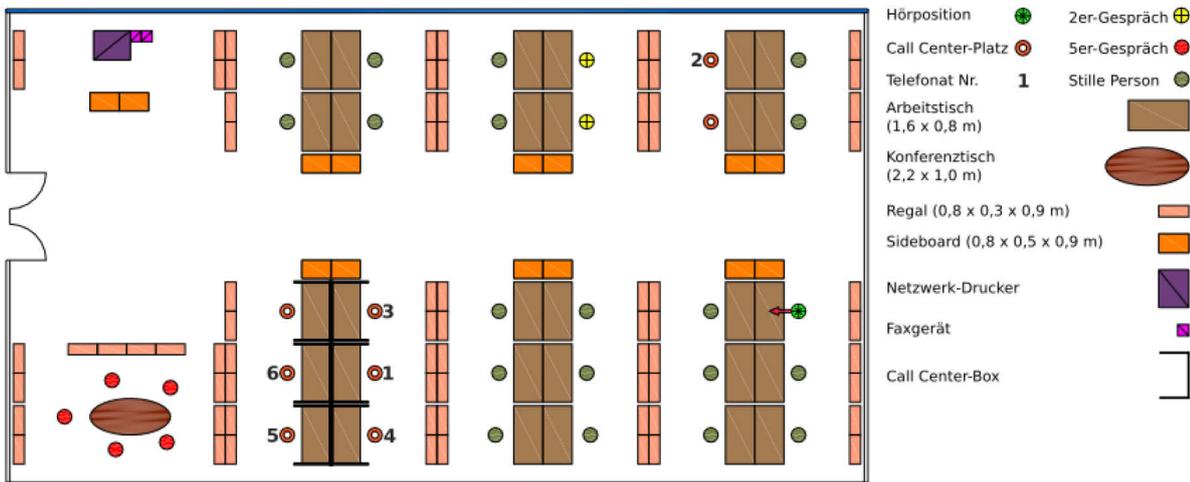
- 00:26 - 00:41: 5er-Gespräch

- 00:34 - 01:04: Telefonat Nr. 3
- 00:48 - 01:01: Fax
- 00:57 - 01:30: Telefonat Nr. 5

9.4.4 Einfluss der Ausführung der Glasabtrennung

Es wird verglichen, wie sich der Einsatz zusätzlicher Glasabtrennungen zwischen den Regalen auf die Geräuschkulisse auswirkt. Dabei kommen zum einen Glasabtrennungen zum Einsatz, welche zwei Meter hoch sind und einen Zwischenraum zur Fensterfront lassen und zum andern Glasabtrennungen, welche bis zur Sichtdecke und bis zur Fensterfront reichen. Zusätzlich wird der Einsatz von absorbierenden Möbeln für die erste Variante dargestellt. Die Ausgangssituation ist für alle Auralisationen gleich: Es befindet sich eine absorbierende Decke im Raum und die häufig telefonierenden Arbeitsplätze sind mit zusätzlichen Call-Center-Boxen ausgestattet.

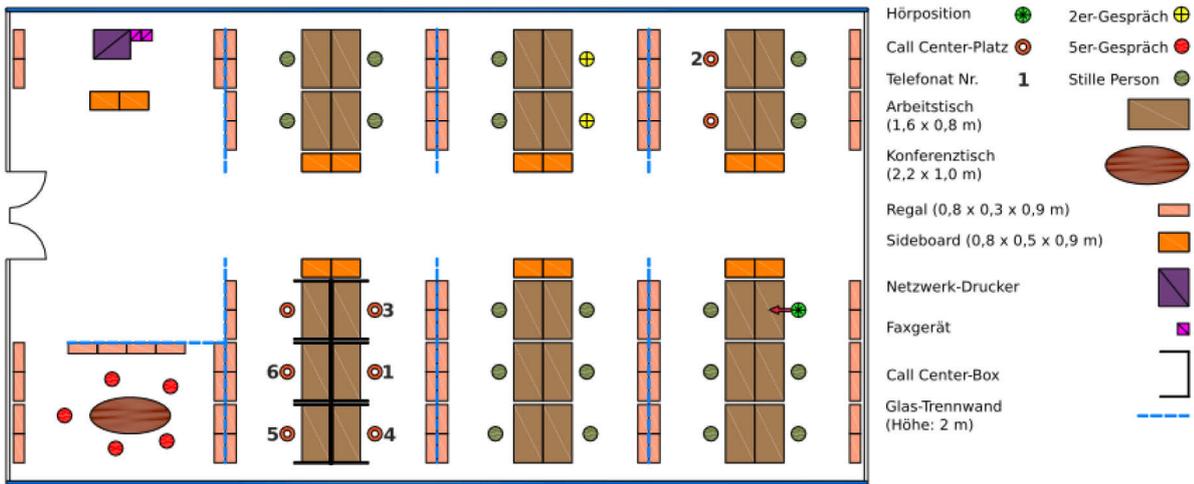
Auswahl:



2D-Ansicht: Ohne Glasabtrennung sowie ohne absorbierende Büromöbel und Wände ($L_{pAeq} = 50.1$ dB)



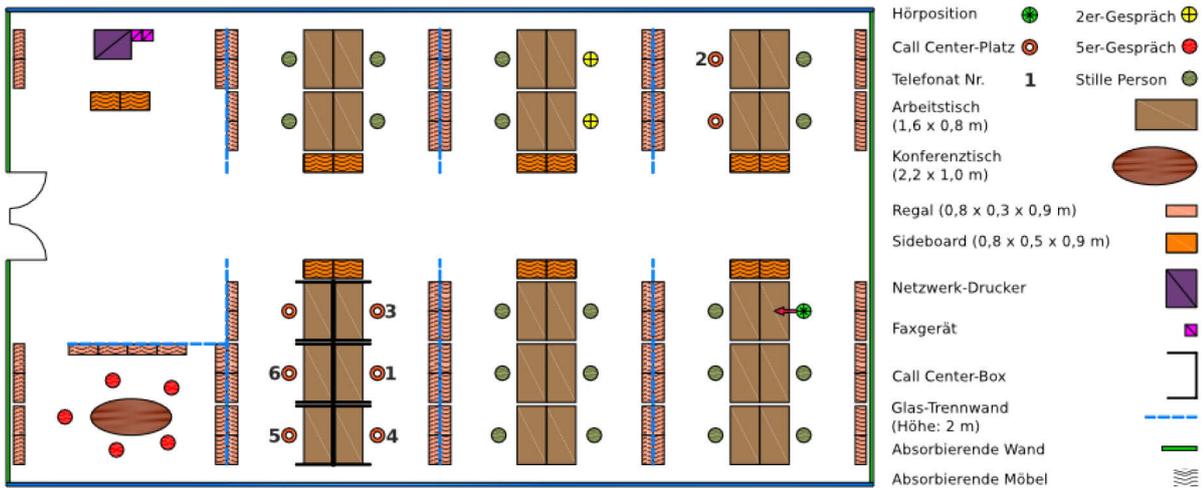
3D-Ansicht: Ohne Glasabtrennung sowie ohne absorbierende Büromöbel und Wände ($L_{pAeq} = 50.1$ dB)



2D-Ansicht: Glasabtrennung zwei Meter hoch mit Zwischenraum zur Fensterfront jedoch ohne absorbierende Büromöbel und Wände ($L_{pAeq} = 49.3 \text{ dB}$)



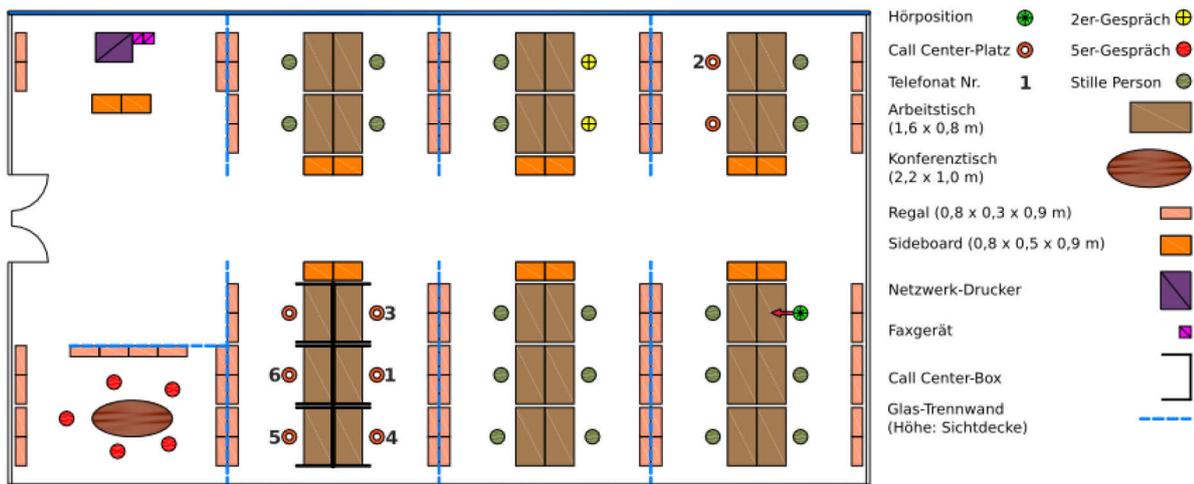
3D-Ansicht: Glasabtrennung zwei Meter hoch mit Zwischenraum zur Fensterfront jedoch ohne absorbierende Büromöbel und Wände ($L_{pAeq} = 49.3 \text{ dB}$)



2D-Ansicht: Glasabtrennung zwei Meter hoch mit Zwischenraum zur Fensterfront sowie absorbierenden Möbeln und Wänden ($L_{pAeq} = 47.6$ dB)



3D-Ansicht: Glasabtrennung zwei Meter hoch mit Zwischenraum zur Fensterfront sowie absorbierenden Möbeln und Wänden ($L_{pAeq} = 47.6$ dB)



2D-Ansicht: Glasabtrennung bis zur Sichtdecke und bis zur Fensterfront jedoch ohne absorbierende Büromöbel und Wände ($L_{pAeq} = 48.5$ dB)



3D-Ansicht: Glasabtrennung bis zur Sichtdecke und bis zur Fensterfront, jedoch ohne absorbierende Büromöbel und Wände ($L_{pAeq} = 48.5$ dB)

Relevante Stellen:

- 00:26 - 00:41: 5er-Gespräch
- 00:34 - 01:04: Telefonat Nr. 3
- 00:48 - 01:01: Fax
- 00:57 - 01:30: Telefonat Nr. 5



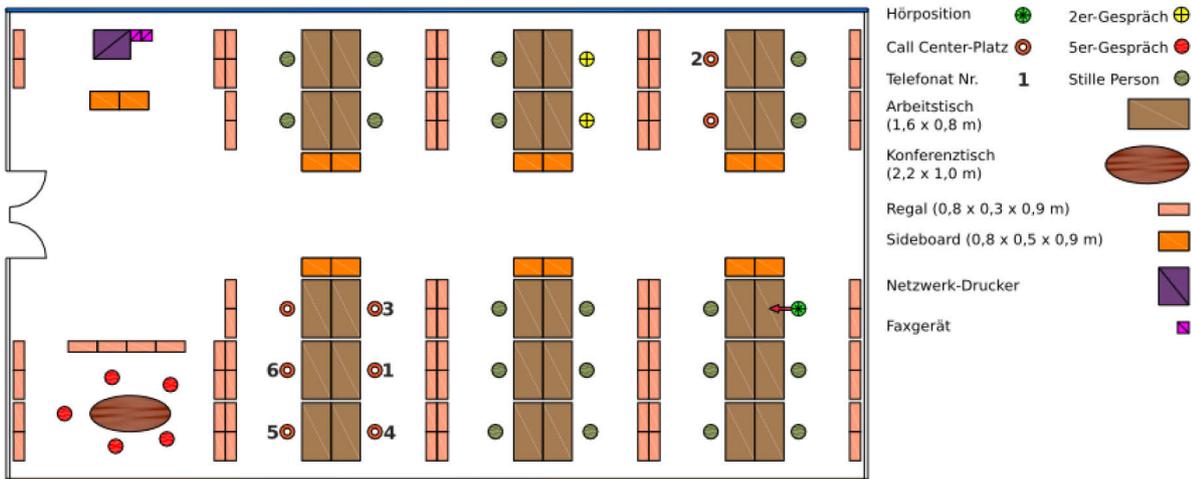
Zusammenfassung: Großraumbüro - Einfluss der Glasabtrennung

Glasabtrennungen bis zur Fensterfront und zur Sichtdecke sind besser als Glasabtrennungen, die nicht an Wand und Decke anschließen. Absorbierende Möbel können auch bei unvollständiger Abtrennung die störenden Geräusche deutlich vermindern.

9.4.5 Einfluss der Glasabtrennung bei variabler Decke

Es wird der Einsatz einer Glasabtrennung, welche zwei Meter hoch ist und einen Zwischenraum zur Fensterfront lässt, bei absorbierender und nicht absorbierender Decke verglichen.

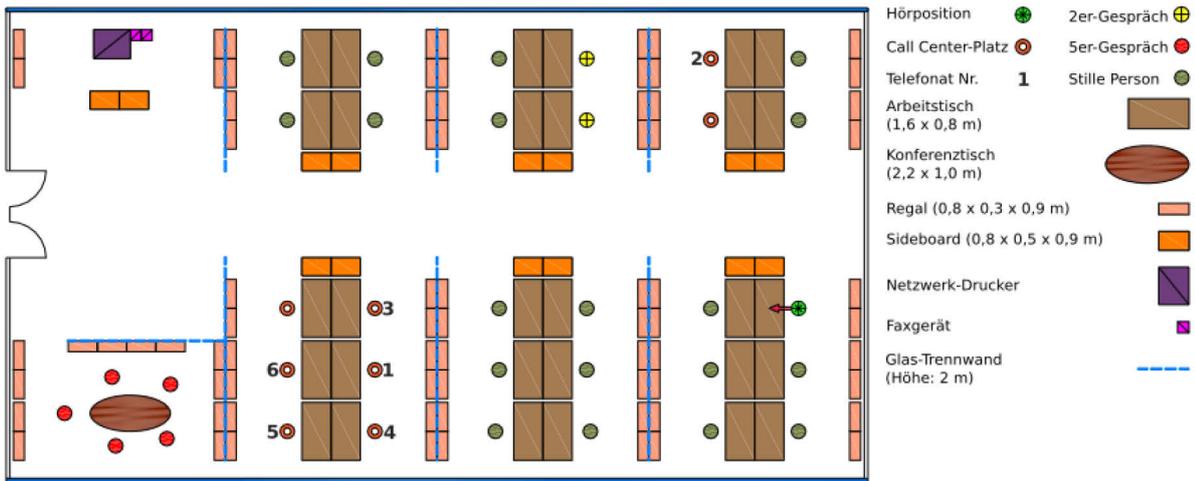
Auswahl:



2D-Ansicht: Ohne absorbierende Decke sowie ohne Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 56.3$ dB)



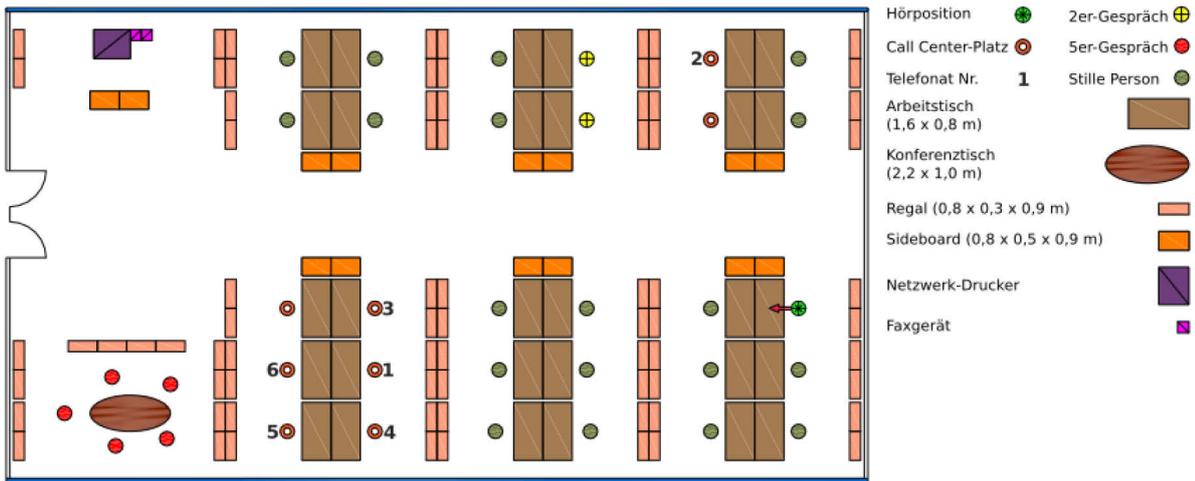
3D-Ansicht: Ohne absorbierende Decke sowie ohne Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 56.3$ dB)



2D-Ansicht: Ohne absorbierende Decke, jedoch mit Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 54.6 \text{ dB}$)



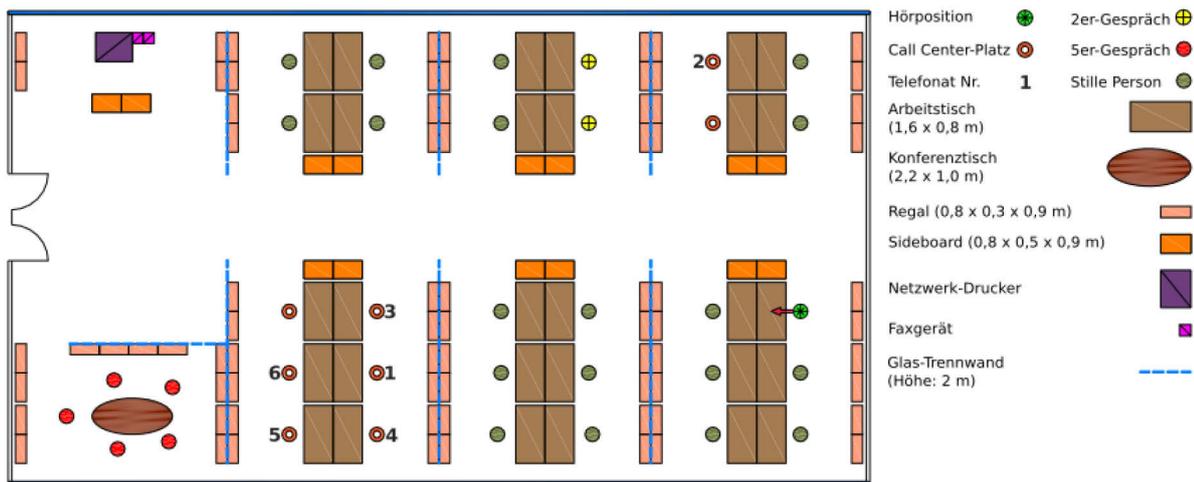
3D-Ansicht: Ohne absorbierende Decke, jedoch mit Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 54.6 \text{ dB}$)



2D-Ansicht: Mit absorbierender Decke, jedoch ohne Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 52.0 \text{ dB}$)



3D-Ansicht: Mit absorbierender Decke, jedoch ohne Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 52.0 \text{ dB}$)



2D-Ansicht: Mit absorbierender Decke sowie mit Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 53.8 \text{ dB}$)



3D-Ansicht: Mit absorbierender Decke sowie mit Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 53.8 \text{ dB}$)

Relevante Stellen:

- 00:26 - 00:41: 5er-Gespräch
- 00:34 - 01:04: Telefonat Nr. 3
- 00:48 - 01:01: Fax
- 00:57 - 01:30: Telefonat Nr. 5



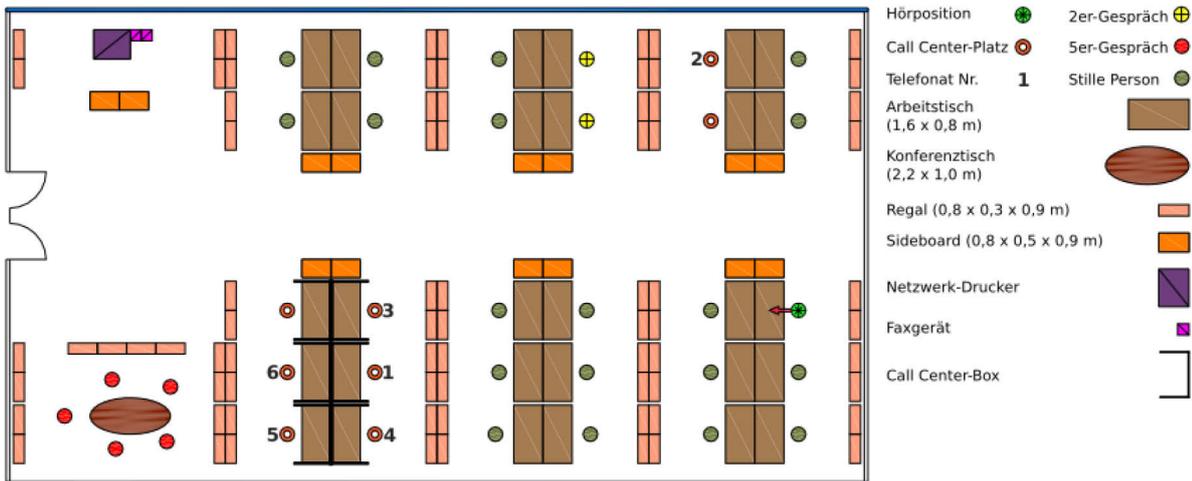
Zusammenfassung: Großraumbüro - Einfluss der Glasabtrennung bei variabler Decke

Die schallmindernde Wirkung von Glasabtrennungen, die nicht bis zur Decke gehen (2m), wird durch eine absorbierende Decke deutlich gesteigert.

9.4.6 Einfluss verschiedener Absorptionsmaßnahmen

Es wird verglichen, wie sich der Einsatz von unterschiedlichen Absorptionsmaßnahmen auswirkt. Die Decke im Raum ist absorbierend und die häufig telefonierenden Arbeitsplätze sind mit zusätzlichen Call-Center-Boxen (Gesamthöhe 1,4 m; mittlerer Absorptionsgrad $\alpha_m=0.55$) ausgestattet. Es werden nun absorbierende Büromöbel und Wände einzeln sowie kombiniert bei den Beispielen eingesetzt.

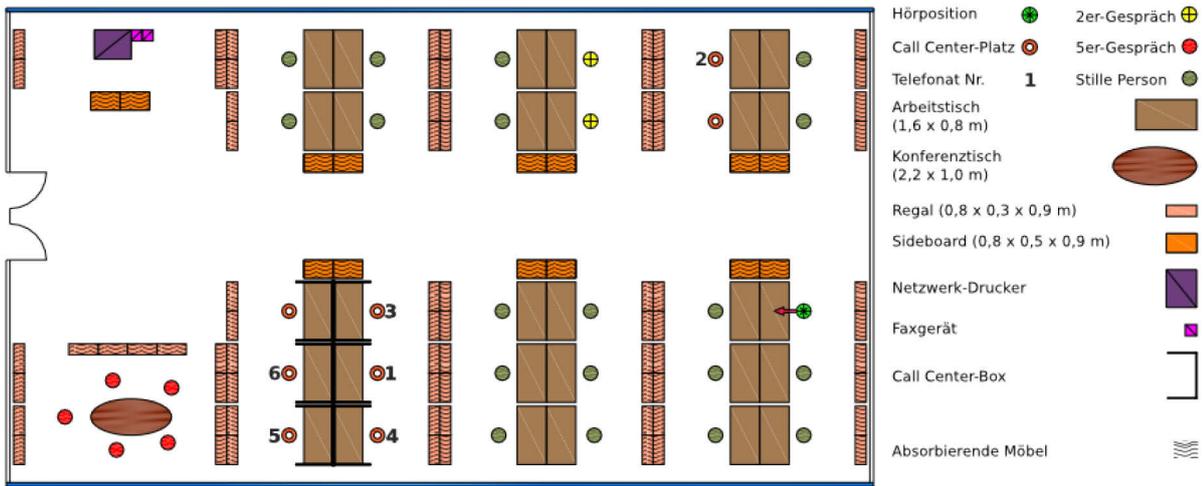
Auswahl:



2D-Ansicht: Ohne absorbierende Büromöbel und Wände ($L_{pAeq} = 50.1$ dB)



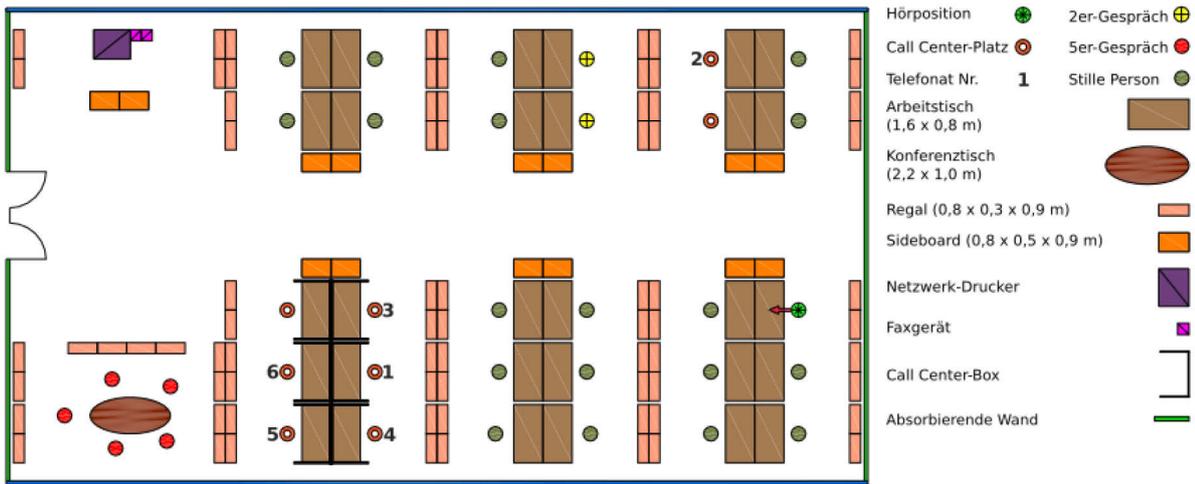
3D-Ansicht: Ohne absorbierende Büromöbel und Wände ($L_{pAeq} = 50.1$ dB)



2D-Ansicht: Mit absorbierenden Büromöbeln, jedoch ohne absorbierende Wände ($L_{pAeq} = 49.5$ dB)



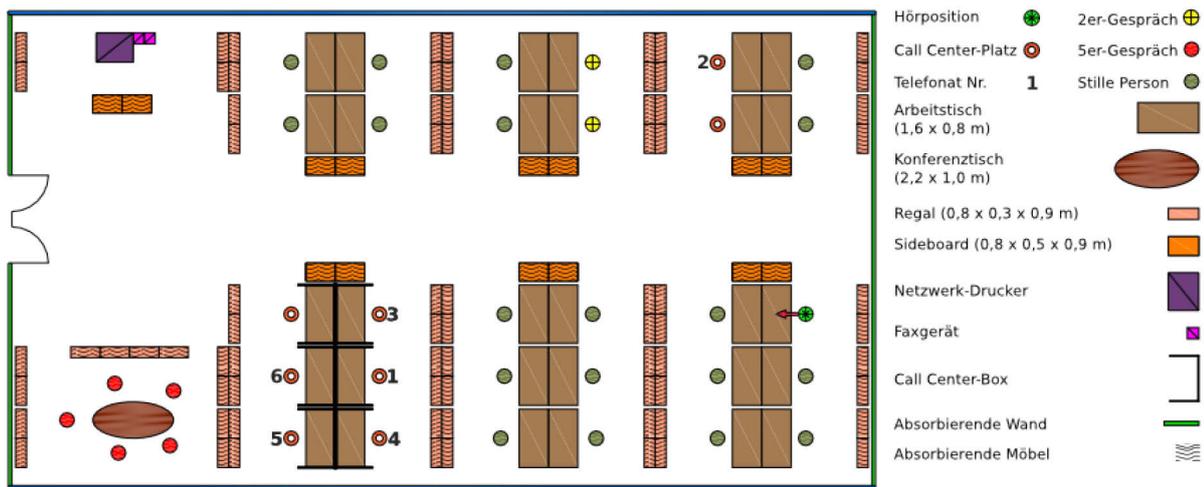
3D-Ansicht: Mit absorbierenden Büromöbeln, jedoch ohne absorbierende Wände ($L_{pAeq} = 49.5$ dB)



2D-Ansicht: Mit absorbierenden Wänden jedoch ohne absorbierende Büromöbel ($L_{pAeq} = 49.2$ dB)



3D-Ansicht: Mit absorbierenden Wänden, jedoch ohne absorbierende Büromöbel ($L_{pAeq} = 49.2$ dB)



2D-Ansicht: Mit absorbierenden Büromöbeln und Wänden ($L_{pAeq} = 48.7$ dB)



3D-Ansicht: Mit absorbierenden Büromöbeln und Wänden ($L_{pAeq} = 48.7$ dB)

Relevante Stellen:

- 00:06 - 00:22: Telefonat Nr. 1
- 00:01 - 00:07: 2er-Gespräch
- 00:13 - 00:40: Telefonat Nr. 2
- 00:57 - 01:30: Telefonat Nr. 5

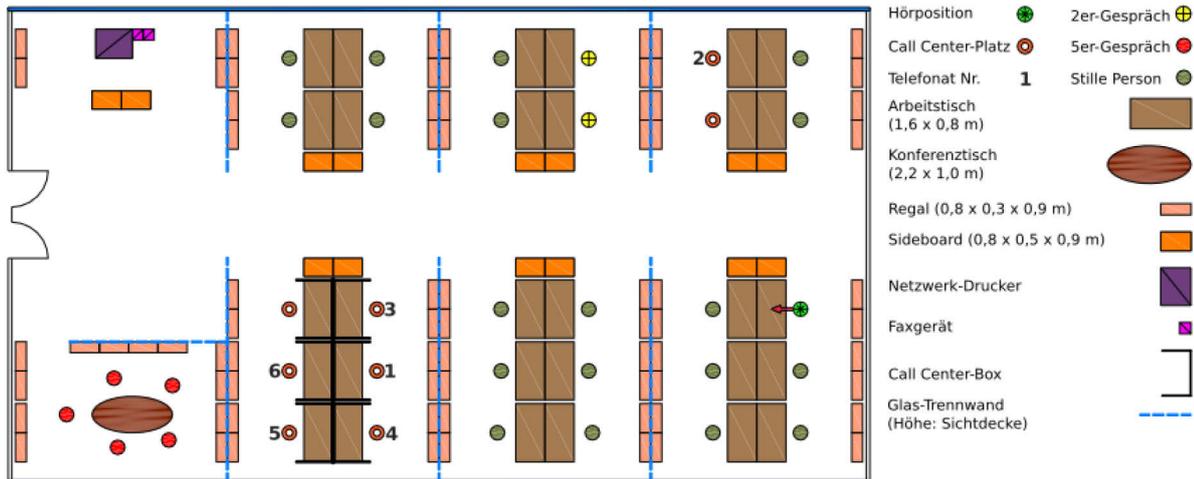


Zusammenfassung: Großraumbüro - Einfluss verschiedener Absorptionsmaßnahmen

Auch bei vorhandener Wand- und Deckenabsorption führen absorbierende Büromöbel zu hörbaren Verbesserungen.

9.4.7 Einfluss von Möbeln und Wänden bei optimaler Glasabtrennung

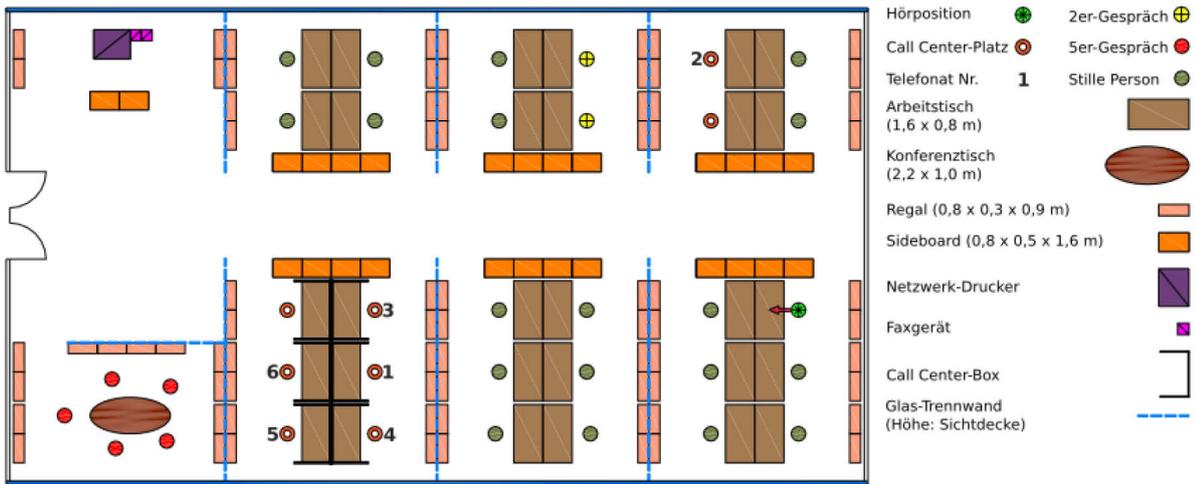
Durch den Einsatz von Glasabtrennungen zwischen den Regalen bis zur Sichtdecke und zur Fensterfront wird eine verbesserte akustische Trennung zu den Arbeitsplätzen auf der unteren Seite des Raumes erreicht. Um auch eine verbesserte Trennung zu den Plätzen über den Gang zu erreichen, werden zusätzliche Sideboards zum Gang eingesetzt. Die Decke im Raum ist bei allen Beispielen absorbierend und die viel telefonierenden Plätze sind mit Call-Center-Boxen ausgestattet. Zusätzlich wird der Einsatz von absorbierenden Möbeln und Wänden dargestellt.



2D-Ansicht: Ohne absorbierende Möbel und Wände sowie ohne Sideboard zum Gang ($L_{pAeq} = 48.5$ dB)



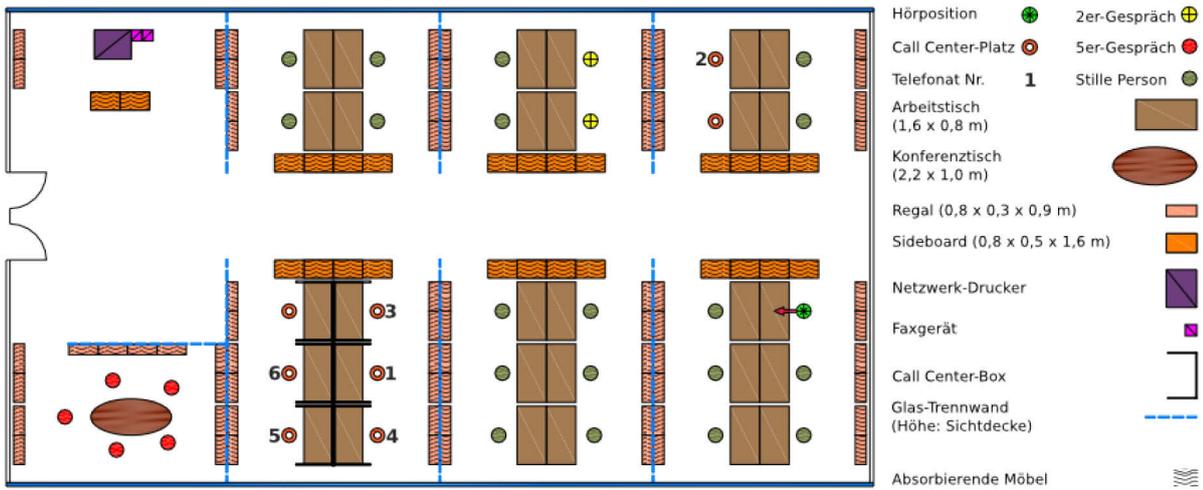
3D-Ansicht: Ohne absorbierende Möbel und Wände sowie ohne Sideboard zum Gang ($L_{pAeq} = 48.5$ dB)



2D-Ansicht: Ohne absorbierende Möbel und Wände, jedoch mit Sideboard zum Gang ($L_{pAeq} = 47.9$ dB)



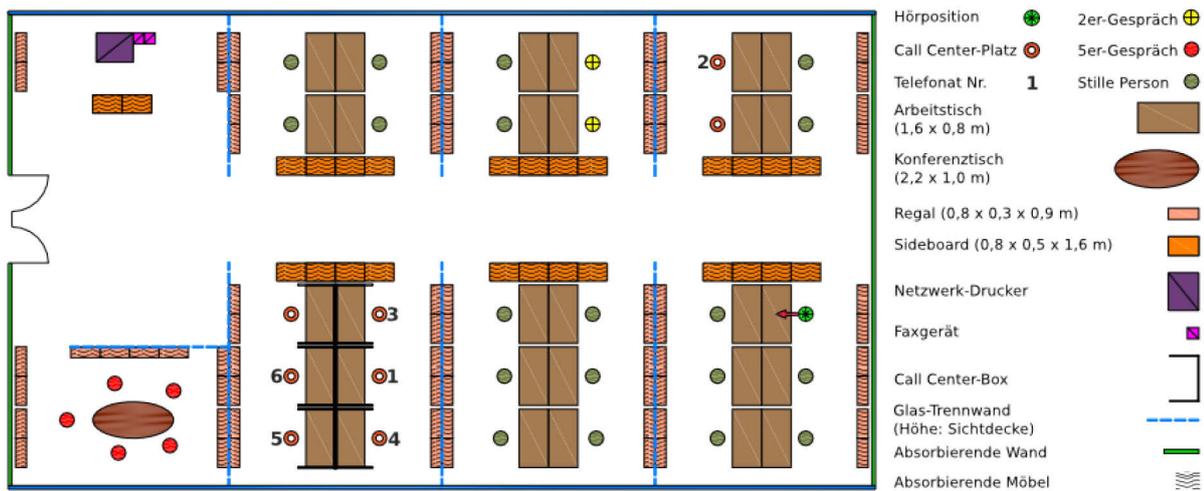
3D-Ansicht: Ohne absorbierende Möbel und Wände, jedoch mit Sideboard zum Gang ($L_{pAeq} = 47.9$ dB)



2D-Ansicht: Mit absorbierenden Möbeln sowie mit Sideboard zum Gang ($L_{pAeq} = 45.9$ dB)



3D-Ansicht: Mit absorbierenden Möbeln sowie mit Sideboard zum Gang ($L_{pAeq} = 45.9$ dB)



2D-Ansicht: Mit absorbierenden Möbeln und Wänden sowie mit Sideboard zum Gang ($L_{pAeq} = 43.8$ dB)



3D-Ansicht: Mit absorbierenden Möbeln und Wänden sowie mit Sideboard zum Gang ($L_{pAeq} = 43.8$ dB)

Relevante Stellen:

- 00:01 - 00:07: 2er-Gespräch
- 00:13 - 00:40: Telefonat Nr. 2
- 00:29 - 00:39: Telefonklingeln
- 00:57 - 01:30: Telefonat Nr. 5

9.4.8 Einfluss von Maskierungsgeräuschen auf die schlechteste Situation

Sprachsignale sind, auch wenn sie relativ leise auf benachbarte Arbeitsplätze in Mehrpersonenbüros einwirken, deutlich störender als gleichlaute nicht sprachliche Geräusche, verursacht beispielsweise vom Straßenverkehr oder von einer Lüftungsanlage. Grund hierfür sind die semantischen und temporalspektralen Eigenschaften von Sprache, welche jeweils einen eigenständigen Beitrag zum Störpotenzial von Sprachsignalen leisten.

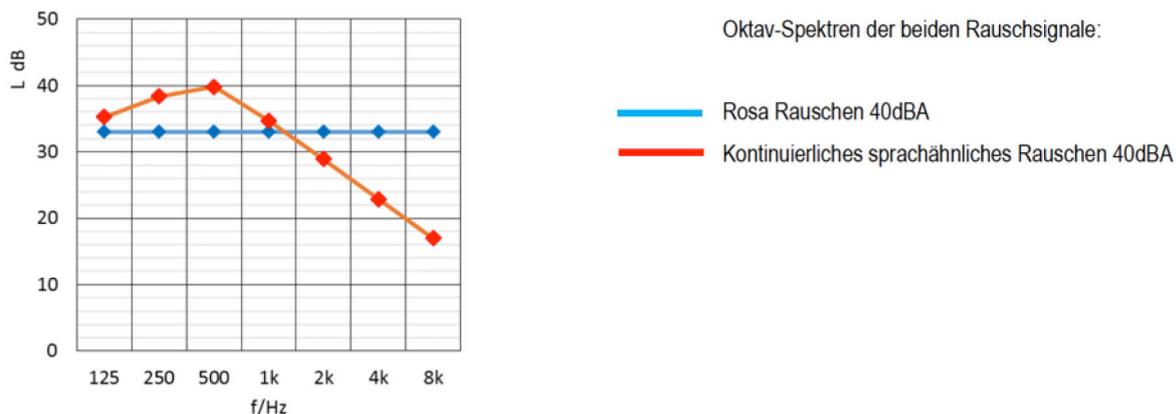
Durch ein gleichmäßiges, informationsloses Hintergrundgeräusch lassen sich störende Sprachgeräusche verdecken oder „maskieren“. Hierdurch sinkt der STI, so dass die störende Sprachverständlichkeit im Raum bei gleichem Abstand geringer ausfällt. Unter Laborbedingungen wurde gezeigt, dass die negativen Wirkungen von Sprache auf die Arbeitsleistung beginnen sich schnell zu verringern, wenn der STI unter 0,50 fällt (Ablenkungsabstand r_D) und verschwinden bzw. sich dann nicht mehr weiter verringern lassen, wenn der STI unter 0,2 ist (Vertraulichkeitsabstand r_p). Zu beachten ist, dass dabei aber oftmals unzumutbar hohe Pegel eingespielt werden müssen, wenn keine zusätzlichen raumakustischen Maßnahmen, z. B. Schallschirmungen, eingesetzt werden.

Eine Möglichkeit zur Einstellung eines regulierbaren Hintergrundgeräuschs ist die Einspielung von Geräuschen mittels elektroakustischer Anlagen.

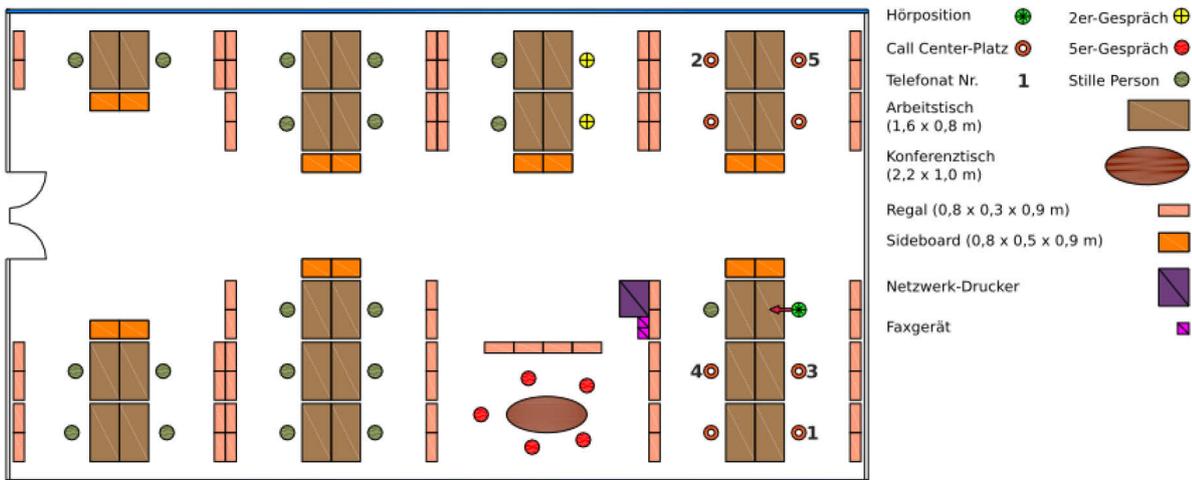
Die Auralisationsbeispiele mit Maskierungsrauschen wurden mit zwei Typen von Rauschen und zwei verschiedenen Schallpegeln erstellt. Die Lautsprecher befinden sich oberhalb des Hörers und an den benachbarten Arbeitsplätzen jeweils an der Decke (insgesamt 4 Stück).

1) Rosa Rauschen (RR), 40dB(A) und 45dB(A)

2) Kontinuierliches sprachähnliches Rauschen (SL), (Continuous Speech-like Noise), 40dB(A) und 45dB(A)



Auswahl:



- 2D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke ($L_{pAeq} = 62.4$ dB)
- 2D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke – Maskierung: Rosa Rauschen 40 dB ($L_{pAeq} = 62.4$ dB)
- 2D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke – Maskierung: Sprachsimulierendes Rauschen 40 dB ($L_{pAeq} = 62.4$ dB)
- 2D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke – Maskierung: Rosa Rauschen 45 dB ($L_{pAeq} = 62.5$ dB)
- 2D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke – Maskierung: Sprachsimulierendes Rauschen 45 dB ($L_{pAeq} = 62.5$ dB)



- 3D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke ($L_{pAeq} = 62.4$ dB)
- 3D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke – Maskierung: Rosa Rauschen 40 dB ($L_{pAeq} = 62.4$ dB)
- 3D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke – Maskierung: Sprachsimulierendes Rauschen 40 dB ($L_{pAeq} = 62.4$ dB)
- 3D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke – Maskierung: Rosa Rauschen 45 dB ($L_{pAeq} = 62.5$ dB)
- 3D-Ansicht: Ungünstige Anordnung der Arbeitsplätze ohne absorbierende Decke – Maskierung: Sprachsimulierendes Rauschen 45 dB ($L_{pAeq} = 62.5$ dB)

Relevante Stellen:

- 00:01 - 00:07: 2er-Gespräch
- 00:13 - 00:40: Telefonat Nr. 2
- 00:34 - 01:04: Telefonat Nr. 3



Zusammenfassung: Großraumbüro - Einfluss von Maskierungsgeräuschen auf die schlechteste Situation

Die Maskierung wirkt sich vor allem auf die Verstehbarkeit von weit entfernten Stimmen aus (2er-Gespräch) und hat deutlich weniger Einfluss auf die Verstehbarkeit von Stimmen aus dem näheren Umfeld.

9.4.9 Einfluss von Maskierungsgeräuschen auf die beste Situation

Besonders auffällig sind Störungen durch Sprachsignale in Büroräumen, die durch einen guten Schutz gegen Außenlärm, leise Lüftungsanlagen und hohe Raumbedämpfung sehr ruhig sind. Gerade in derartigen Räumen liegen oftmals eine geringe Nachhallzeit sowie ein niedriges Grundgeräusch und damit ein sehr hoher STI vor, sodass Sprache auch über große Distanzen sehr gut verständlich ist.

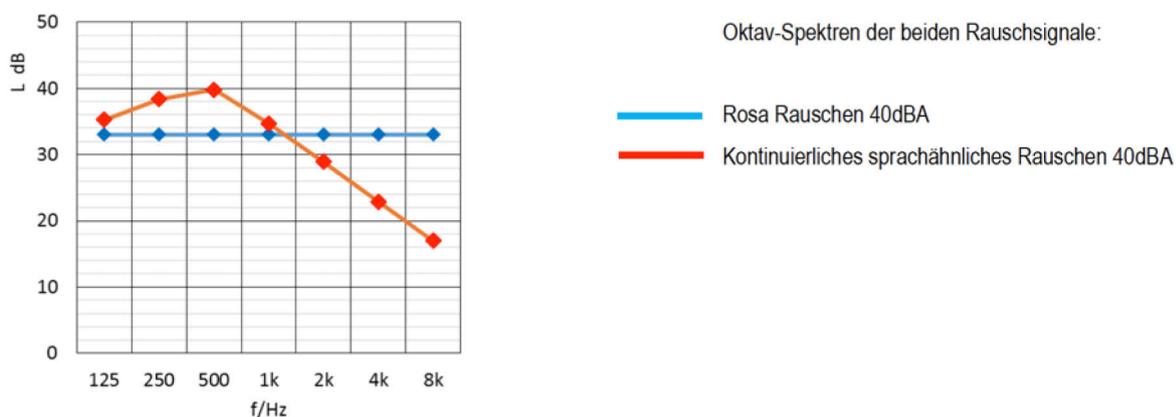
Durch ein gleichmäßiges, informationsloses Hintergrundgeräusch mit A-bewerteten Schallpegeln zwischen 40 dB und 45 dB lassen sich störende Sprachgeräusche verdecken oder „maskieren“. Hierdurch sinkt der STI, so dass die störende Sprachverständlichkeit im Raum bei gleichem Abstand geringer ausfällt.

Eine Möglichkeit zur Einstellung eines regulierbaren Hintergrundgeräuschs ist die Einspielung von Geräuschen mittels elektroakustischer Anlagen.

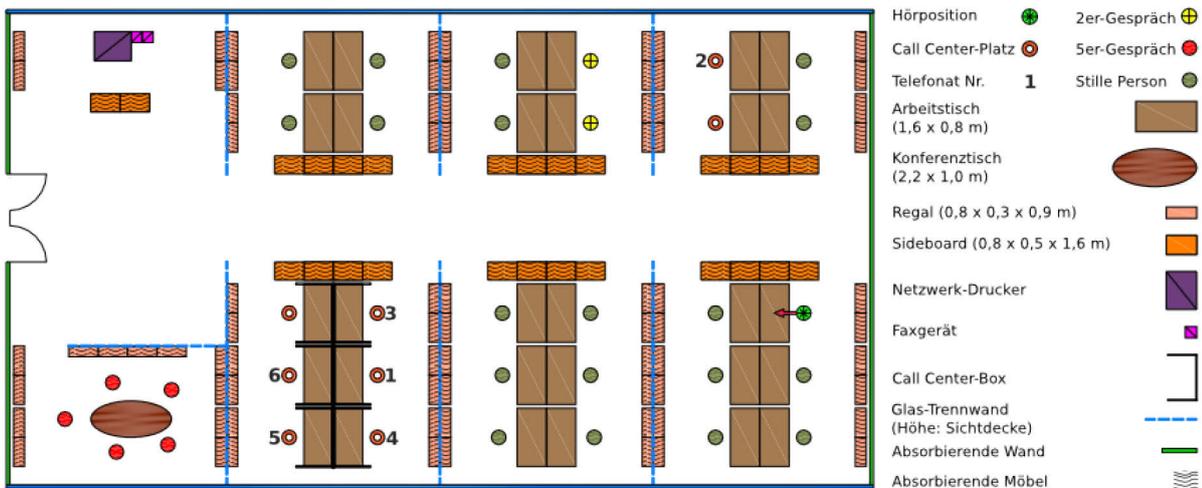
Die Auralisationsbeispiele mit Maskierungsrauschen wurden mit zwei Typen von Rauschen und zwei verschiedenen Schallpegeln erstellt. Die Lautsprecher befinden sich oberhalb des Hörers und an den benachbarten Arbeitsplätzen jeweils an der Decke (insgesamt 4 Stück).

1) Rosa Rauschen (RR), 40dB(A) und 45dB(A)

2) Kontinuierliches sprachähnliches Rauschen (SL), (Continuous Speech-like Noise), 40dB(A) und 45dB(A)



Auswahl:



- 2D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen ($L_{pAeq} = 43.8$ dB)
- 2D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen – Maskierung: Rosa Rauschen 40 dB ($L_{pAeq} = 45.3$ dB)
- 2D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen – Maskierung: Sprachsimulierendes Rauschen 40 dB ($L_{pAeq} = 45.3$ dB)
- 2D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen – 2D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen – Maskierung: Sprachsimulierendes Rauschen 45 dB ($L_{pAeq} = 47.5$ dB)



- 3D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen ($L_{pAeq} = 43.8$ dB)
- 3D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen – Maskierung: Rosa Rauschen 40 dB ($L_{pAeq} = 45.3$ dB)
- 3D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen – Maskierung: Sprachsimulierendes Rauschen 40 dB ($L_{pAeq} = 45.3$ dB)
- 3D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen – Maskierung: Rosa Rauschen 45 dB ($L_{pAeq} = 47.5$ dB)
- 3D-Ansicht: Günstige Anordnung der Arbeitsplätze mit allen Optimierungs-Maßnahmen – Maskierung: Sprachsimulierendes Rauschen 45 dB ($L_{pAeq} = 47.5$ dB)

Relevante Stellen:

- 00:01 - 00:07: 2er-Gespräch
- 00:13 - 00:40: Telefonat Nr. 2
- 00:34 - 01:04: Telefonat Nr. 3



Zusammenfassung: Großraumbüro - Einfluss von Maskierungsgeräuschen auf die beste Situation

Die Maskierung wirkt sich vor allem auf die Verstehbarkeit von weit entfernten Stimmen aus (2er-Gespräch) und hat deutlich weniger Einfluss auf die Verstehbarkeit von Stimmen aus dem näheren Umfeld.

9.5 Raumakustische Parameter und Kenngrößen nach DIN EN ISO 3382-3 und VDI 2569

Für folgende sieben Bürovarianten der BAuA-Auralisationsbeispiele Großraumbüros wurden die raumakustischen Parameter und Kenngrößen nach DIN EN ISO 3382-3 und VDI 2569 berechnet:

- Ungünstige Arbeitsplatzanordnung ohne absorbierende Decke
- Ungünstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierender Decke
- Günstige Arbeitsplatzanordnung ohne absorbierende Decke
- Günstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierende Decke
- Günstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierender Decke und Sideboard zum Gang, ohne absorbierende Möbel und Wände
- Günstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierender Decke, Möbel und Sideboard zum Gang, ohne absorbierende Wände
- Günstige Arbeitsplatzanordnung mit allen Optimierungsmaßnahmen (absorbierende Decke, Möbel, Wände und Sideboard zum Gang)

Die raumakustischen Parameter wurden für alle sieben Varianten mit den Fremdgeräuschpegeln ohne, 30dB(A), 35dB(A) und 40dB(A) bestimmt. Das wurde als sinnvoll erachtet, um den Einfluss des Fremdgeräuschpegels auf den Sprachübertragungsindex STI und die daraus abgeleiteten Parameter besser beurteilen zu können. Außerdem kann der Fremdgeräuschpegel die Raumakustikklasse nach VDI 2569 bestimmen.

Die Auswahl der Beispiele erlaubt die Aussagekraft der raumakustischen Kenngrößen sowohl hinsichtlich großer raumakustischer Unterschiede als auch kleinerer Unterschiede zu beurteilen.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

Die Ergebnisse der raumakustischen Parameter für die sieben Bürovarianten sind auf den folgenden Seiten im Detail angegeben. Für jede Raumsituation werden die Nachhallzeit, der 4m-Sprachpegel, der räumliche Pegelabfall, der Ablenkungsabstand (STI=0,5) und der Vertraulichkeitsabstand (STI=0,2) ermittelt.

Die Gesamtbeurteilung erfolgte dabei einmal durch die Einteilung in raumakustische Klassen A-C nach VDI 2569. Zum anderen wurden die Ergebnisse mit den Beispielen für die Zielvorgaben im Anhang der DIN EN ISO 3382-3 verglichen. Diese Zielvorgaben betreffen den Ablenkungsabstand, die räumliche Abklingrate des Sprachpegels und den Sprachpegel in 4 m Abstand.

Vergleicht man die Ergebnisse der einzelnen Parameter über die verschiedenen raumakustischen Ausstattungen miteinander, so lässt sich ein Zusammenhang sowohl mit dem raumakustischen Aufwand als auch dem subjektiven Hörerlebnis der entsprechenden Auralisationsbeispiele erkennen. Zusätzliche schallschirmende und schallabsorbierende Maßnahmen führen zu besseren Parameterwerten und zu einem besseren Hörerlebnis. In der objektiven Bewertung können die Zielvorgaben der DIN EN ISO 3382-3 mit zunehmender Verbesserung der raumakustischen Situation bei immer mehr Messpfaden erreicht werden. Das gilt sowohl für die Parameter, die auf Schallpegeln beruhen als auch für jene, die auf dem STI aufbauen wie beispielsweise der Ablenkungsabstand. Die untersuchten Bürovarianten ohne Schallschirmung erreichen diese Zielvorgabe nicht, jedoch lassen sich Verbesserungen der Kenngrößen Ablenkungsabstand und Sprachpegel bei Vorhandensein einer absorbierenden Decke auch hier ablesen.

Irritierend ist dabei die Tatsache, dass mit absorbierender Decke die Nachhallzeit ansteigt, ein Phänomen, das bei Flachräumen durchaus vorkommen kann. Die Ursache hierfür ist in der Zusammensetzung der Reflexionen für die Nachhallzeitauswertung zu finden. In Flachräumen ohne absorbierende Decke bestimmen zunächst die ersten Deckenreflexionen den Beginn der auszuwertenden Nachhallkurve. In zeitlichen Abstand folgen die Reflexionen der weiter entfernten Seitenwände. (In einigen Fällen sind diese beiden Reflexionspakete zeitlich und energetisch so stark voneinander getrennt, dass es zu einer geknickten Nachhallkurve kommt.) Durch eine absorbierende Decke wird das vordere Reflexionspaket in seiner Energie deutlich reduziert. Die späteren seitlichen Wandreflexionen behalten aber ihr energetisches Niveau. In der Folge verläuft die Nachhallkurve flacher und die ausgewertete Nachhallzeit steigt an. (Hinweis: Der Direktschall wird bei der Ermittlung der zeitlichen Abklingkurve nicht berücksichtigt.)

In Flachräumen mit einer absorbierenden Decke besitzen die Reflexionen also bei der längeren Nachhallzeit deutlich weniger Energie, sie haben deshalb auf den Sprachübertragungsindex STI einen geringeren Einfluss. Dieser Zusammenhang lässt sich auch an den geringen Verbesserungen des A-bewerteten Sprachpegels ablesen, der mit absorbierender Decke etwas niedriger wird. Es zeigt sich damit, dass die Nachhallzeit nur begrenzte oder manchmal sogar widersprüchliche Aussagekraft besitzt.

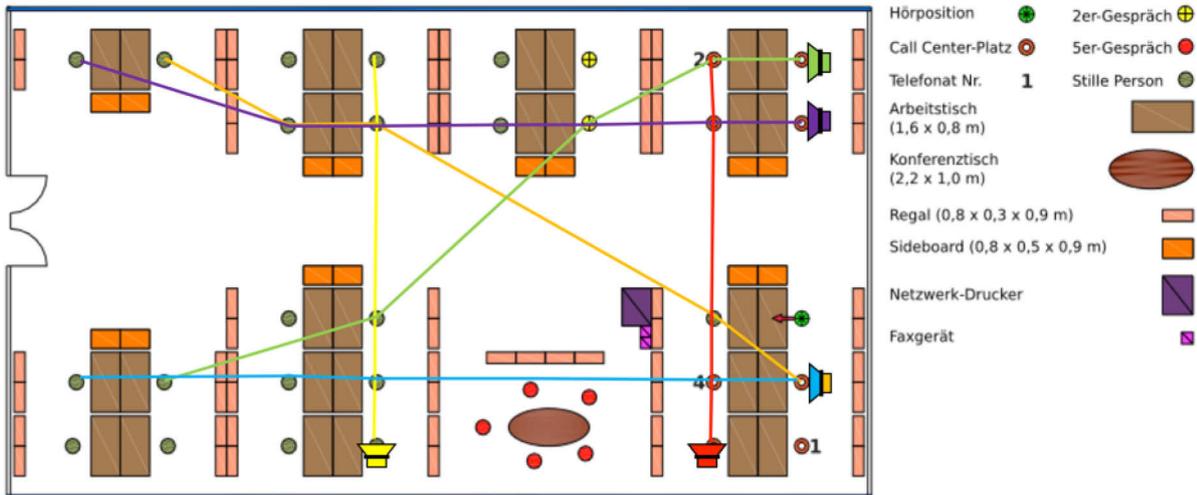
Die vorhandene Korrelation zwischen den messbaren Parametern und dem subjektiven Höreindruck der Auralisationsbeispiele spiegelt sich bei der Einteilung in raumakustische Klassen nach VDI 2569 aber nicht wieder. Keine der berechneten Bürovarianten erreichte eine der Klassen A-C. Alle mussten schlechter als C eingestuft werden. Die in den Auralisationen mit „schlechteste und beste Situation“ bezeichneten Bürovarianten werden also als gleich schlecht bewertet.

Die Ursache liegt in der Vorgehensweise, nach der die Einteilung in Klassen vorgenommen wird. So gilt zunächst, dass alle Parameter die Empfehlungen für eine bestimmte Klasse erreichen müssen. Wenn nur ein Parameter eine Klasse nicht erreicht, bestimmt dieser die Gesamtklasse.

Wenn beispielsweise von sechs Messpfaden fünf die Schallausbreitungsstufe 1 haben und der sechste Messpfad die Stufe 3, dann wird die Raumakustikklasse B zugeordnet, wenn der sechste Messpfad die Stufe 3 nicht erreicht, ist die Raumakustikklasse bereits schlechter als C (statt B). Das gilt auch dann, wenn die Nachhallzeit und das Fremdgeräusch Klasse A oder B einhalten. Die Einteilung in Raumakustikklassen spiegelt daher manche deutlichen Unterschiede in der subjektiven und objektiven Beurteilung nicht differenziert wieder.

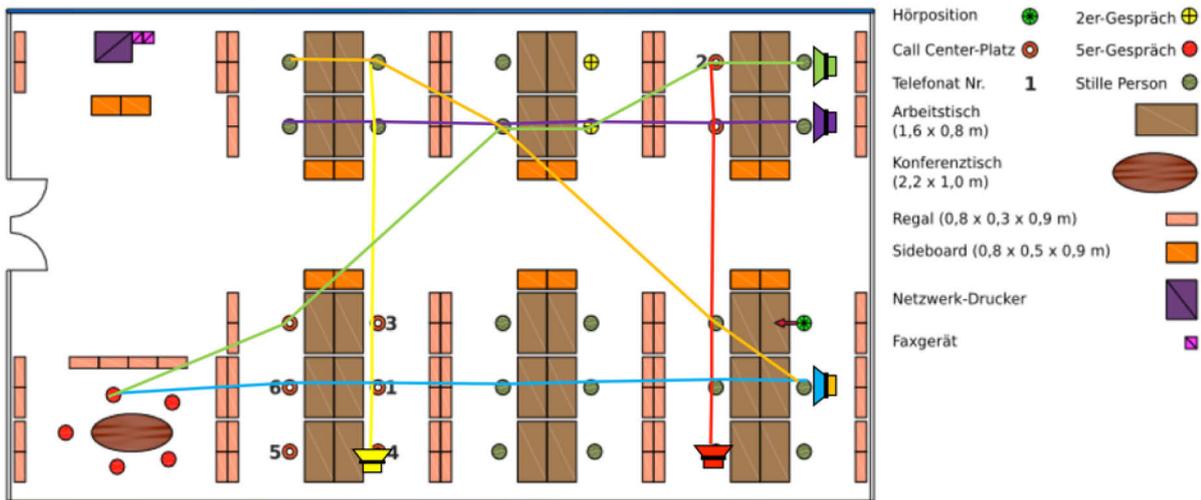
Messpfade:

Messpfade gültig für ungünstige Arbeitsplatzanordnung



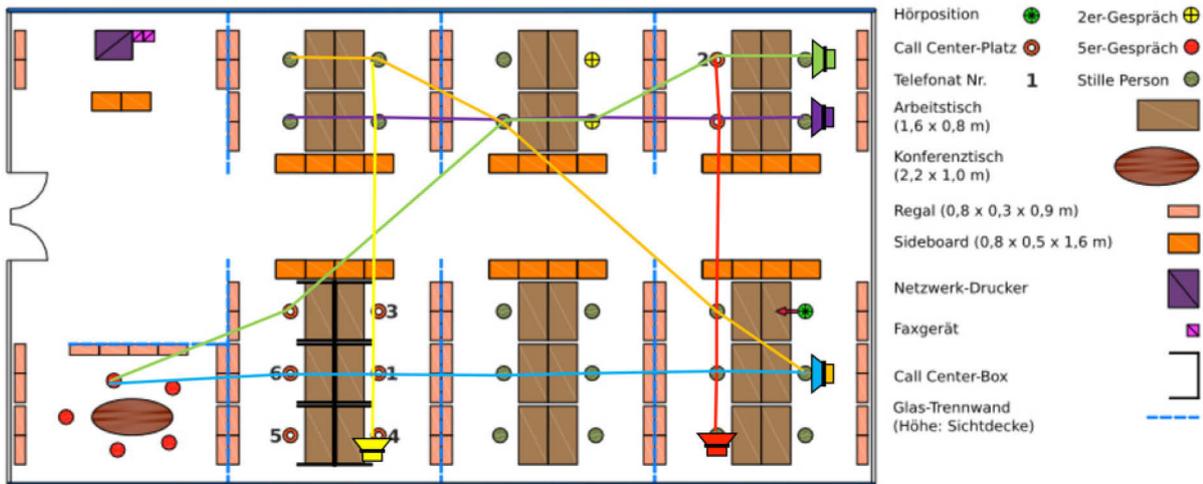
Pfadnr.	Anz	r ₁ /m	r ₂ /m	r ₃ /m	r ₄ /m	r ₅ /m	r ₆ /m
1	6	2,3	7,0	11,5	13,9	17,4	19,6
2	4	2,8	13,2	15,2	19,2		
3	6	2,2	5,9	7,9	11,7	13,6	19,5
4	4	2,0	6,2	13,3	19,2		
5	4	1,8	3,5	7,9	10,2		
6	4	1,8	3,9	8,0	10,2		

Messpfade gültig für günstige Arbeitsplatzanordnung



Pfadnr.	Anz	r ₁ /m	r ₂ /m	r ₃ /m	r ₄ /m	r ₅ /m	r ₆ /m
1	6	2,3	6,0	7,9	11,7	13,7	18,4
2	4	3,0	10,2	14,4	16,1		
3	5	2,2	5,9	7,9	11,7	13,6	
4	5	2,0	6,1	8,3	15,1	20,6	
5	4	1,8	3,5	7,9	10,2		
6	4	1,8	3,9	8,0	10,2		

Messpfade gültig für günstige Arbeitsplatzanordnung mit Trennwänden



Pfadnr.	Anz	r ₁ /m	r ₂ /m	r ₃ /m	r ₄ /m	r ₅ /m	r ₆ /m
1	6	2,3	6,0	7,9	11,7	13,7	18,4
2	4	3,0	10,2	14,4	16,1		
3	5	2,2	5,9	7,9	11,7	13,6	
4	5	2,0	6,1	8,3	15,1	20,6	
5	4	1,8	3,5	7,9	10,2		
6	4	1,8	3,9	8,0	10,2		

9.5.1 Ungünstige Arbeitsplatzanordnung ohne absorbierende Decke

Raumakustische Parameter:

Nachhallzeit T_N / s (250 Hz- 4kHz)	Fremdgeräusch- pegel $L_{P,A,B}$ / dB	4m- Sprachpegel $L_{P,A,S,4m}$ / dB (Pfad 1)	Pegelabfall $D_{2,S}$ / dB (Pfad 1)	Ablenkungs- abstand r_D / m (Pfad 1)	Vertraulichkeits- abstand r_P / m (Pfad 1)	Raumakustik- klasse VDI 2569
0.58	30	55.2	3.1	32.5	83.7	>C

Akustische Kenngrößen im Detail:

Parameter	Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	$L_{P,A,B}/dB$
STI am nächsten Arbeitsplatz	0.74	0.73	0.74	0.83	0.73	0.70	
	0.72	0.71	0.72	0.79	0.72	0.70	30
	0.71	0.70	0.72	0.79	0.72	0.70	35
	0.70	0.64	0.67	0.76	0.68	0.65	40
Ablenkungsabstand r_D in m	52.16	55.93	56.02	29.31		46.68	
	32.50	30.23	30.45	21.47	653.59	27.72	30
	21.81	20.72	20.30	16.55	47.05	17.17	35
	13.28	13.21	13.01	12.40	21.94	11.18	40
Vertraulichkeitsabstand r_P in m	128.51	131.51	139.45	60.77		120.68	
	83.69	72.33	75.85	45.91	1622.53	70.80	30
	58.05	49.38	50.28	35.64	115.84	42.60	35
	37.24	37.69	37.62	29.10	60.55	33.51	40
Räumliche Abklingrate des A-bewerteten SPL der Sprache $D_{2,S}$ in dB	3.06	3.03	2.84	3.74	2.16	2.22	
A-bewerteter SPL der Sprache im Abstand von 4 m $L_{P,A,S,4m}$ in dB	55.23	54.77	55.20	55.89	56.27	55.41	

(Tabellenpositionen, die nicht ausgefüllt sind, ergaben keine sinnvollen Werte)

Nachhallzeit

Frequenz/Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
T_{n20}/sec	0.63	0.61	0.62	0.61	0.55	0.52	0.43

Beurteilung nach DIN EN ISO 3382-3				Beurteilung					
(gemäß der Zielwerte in Anhang A)									
Ablenkungsabstand r_D	Zielwert ≤ 5 m	ohne Fremdgeräusch		nicht erreicht					
		$L_{P,A,B} = 30dB$		nicht erreicht					
		$L_{P,A,B} = 35dB$		nicht erreicht					
		$L_{P,A,B} = 40dB$		nicht erreicht					
Räumliche Abklingrate $D_{s,2}$	Zielwert ≥ 7 dB			nicht erreicht					
Sprachpegel in 4m $L_{P,A,S,4m}$	Zielwert ≤ 48 dB			nicht erreicht					
Ermittlung der Raumakustik-Klasse nach VDI 2569				Raumakustikklasse					
				(gemäß Tabelle 10)					
Stufen der Schallausbreitung nach Tabelle 8				Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6
Stufe für $D_{s,2}$				>3	>3	>3	>3	>3	>3
Stufe für $L_{P,A,S,4m}$				>3	>3	>3	>3	>3	>3
Nachhallzeit				Im gesamten Bereich <0.7					
				Klasse B					
Raumakustikklasse (die Klasse, die alle Parameter erfüllen)				schlechter Klasse C					

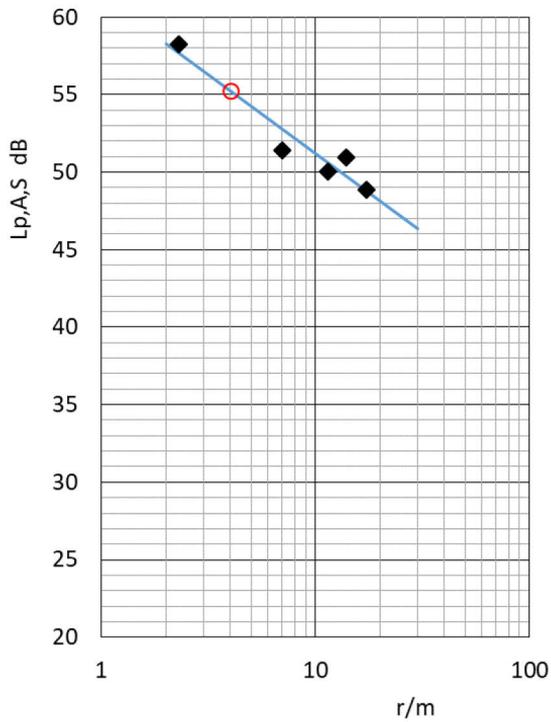
Nachhallzeit T_N :



Abklingvorgang des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache über dem Messpfad 1:

$L_{p,A,S,4m}$ = Pegel bei 4m Abstand zur Schallquelle (roter Kreis)

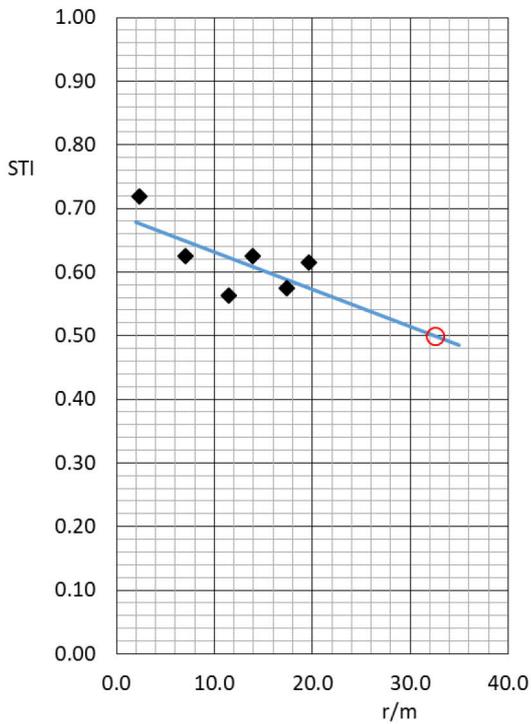
$D_{2,s}$ = Pegelabfall pro Entfernungsverdopplung (Steigung der Regressionsgeraden)



Abnahme des STI über dem Messpfad 1:

Ablenkungsabstand r_D = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.5

Vertraulichkeitsabstand r_P = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.2



9.5.2 Ungünstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierender Decke

Raumakustische Parameter:

Nachhallzeit T_N / s (250 Hz- 4kHz)	Fremdgeräusch- pegel $L_{P,A,B}$ / dB	4m- Sprachpegel $L_{P,A,S,4m}$ / dB (Pfad 1)	Pegelabfall $D_{2,S}$ / dB (Pfad 1)	Ablenkungs- abstand r_D / m (Pfad 1)	Vertraulichkeits- abstand r_P / m (Pfad 1)	Raumakustik- klasse VDI 2569
0.89	30	53.8	2.9	18.3	46.7	>C

Akustische Kenngrößen im Detail:

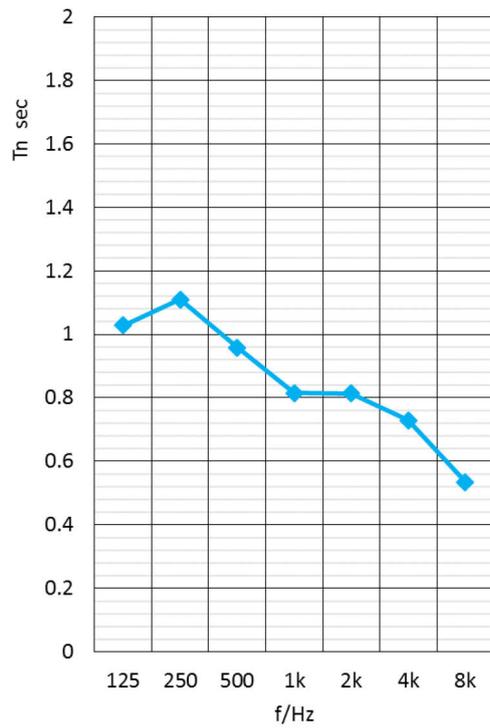
Parameter	Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	L _{P,A,B} /dB
STI am nächsten Arbeitsplatz	0.78	0.78	0.78	0.80	0.79	0.76	
	0.74	0.74	0.75	0.77	0.76	0.74	30
	0.72	0.71	0.73	0.76	0.75	0.72	35
	0.67	0.65	0.67	0.70	0.70	0.67	40
Ablenkungsabstand r _D in m	22.61	22.41	18.66	19.33	24.94	13.89	
	18.29	18.24	14.97	15.78	18.98	13.13	30
	12.84	14.27	10.88	12.01	13.59	11.61	35
	8.15	9.58	6.62	8.32	9.63	7.02	40
Vertraulichkeitsabstand r _P in m	53.92	46.32	47.65	41.65	50.94	30.00	
	46.65	39.63	38.42	36.35	40.56	29.53	30
	35.67	32.47	30.01	28.97	29.33	27.72	35
	28.26	26.05	24.69	24.19	23.37	18.42	40
Räumliche Abklingrate des A-bewerteten SPL der Sprache D _{s,2} in dB	2.92	2.97	2.91	3.26	2.51	2.37	
A-bewerteter SPL der Sprache im Abstand von 4 m L _{P,A,S,4m} in dB	53.81	52.97	53.40	53.08	54.59	53.12	

Nachhallzeit

Frequenz/Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Tn20/sec	1.03	1.11	0.96	0.82	0.81	0.73	0.54

Beurteilung nach DIN EN ISO 3382-3				Beurteilung					
(gemäß der Zielwerte in Anhang A)									
Ablenkungsabstand	r _D	Zielwert <= 5 m	ohne Fremdgeräusch						
			L _{P,A,B} = 30dB	nicht erreicht					
			L _{P,A,B} = 35dB	nicht erreicht					
			L _{P,A,B} = 40dB	nicht erreicht					
Räumliche Abklingrate	D _{s,2}	Zielwert >= 7 dB		nicht erreicht					
Sprachpegel in 4m	L _{P,A,S,4m}	Zielwert <= 48 dB		nicht erreicht					
Ermittlung der Raumakustik-Klasse nach VDI 2569				Raumakustikklasse					
				(gemäß Tabelle 10)					
Stufen der Schallausbreitung nach Tabelle 8				Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6
Stufe für D _{s,2}				>3	>3	>3	>3	>3	>3
Stufe für L _{P,A,S,4m}				>3	>3	>3	>3	>3	>3
Nachhallzeit				Überschreitung 250 Hz und 500 Hz					
Raumakustikklasse (die Klasse, die alle Parameter erfüllen)				schlechter Klasse C					

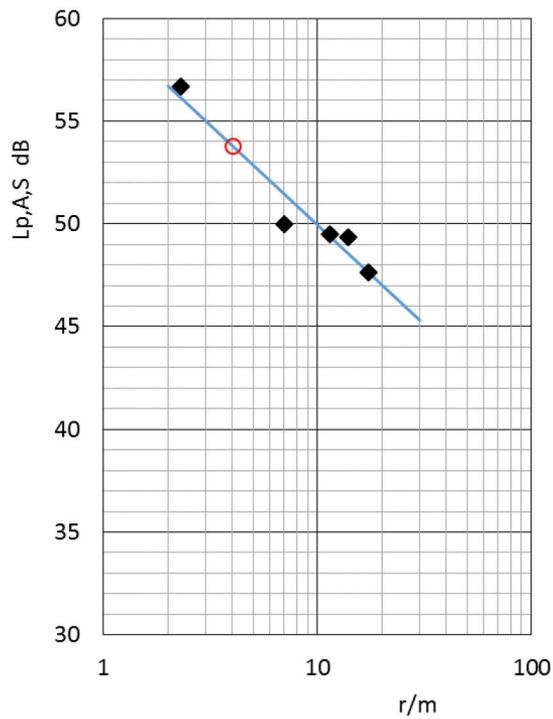
Nachhallzeit T_N :



Abklingvorgang des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache über dem Messpfad 1:

$L_{p,A,S,4m}$ = Pegel bei 4m Abstand zur Schallquelle (roter Kreis)

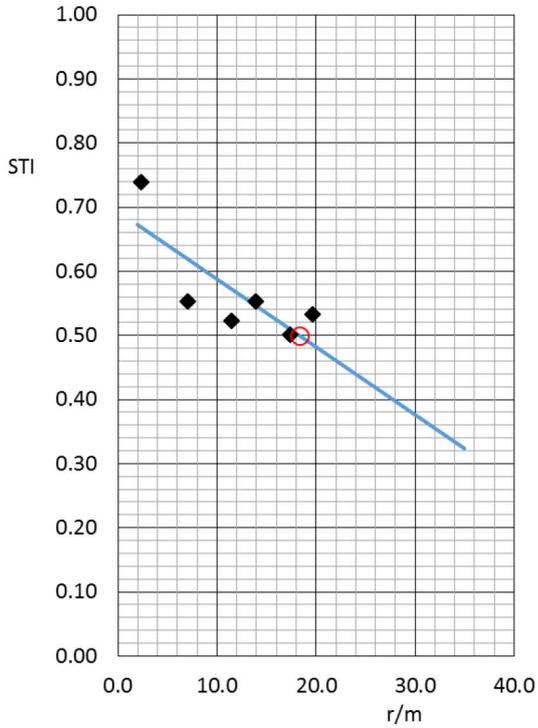
$D_{2,s}$ = Pegelabfall pro Entfernungsverdopplung (Steigung der Regressionsgeraden)



Abnahme des STI über dem Messpfad 1:

Ablenkungsabstand r_D = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.5

Vertraulichkeitsabstand r_P = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.2



9.5.3 Günstige Arbeitsplatzanordnung ohne absorbierende Decke

Raumakustische Parameter:

Nachhallzeit T_N / s (250 Hz- 4kHz)	Fremdgeräusch- pegel $L_{P,A,B}$ / dB	4m- Sprachpegel $L_{P,A,S,4m}$ / dB (Pfad 1)	Pegelabfall $D_{2,s}$ / dB (Pfad 1)	Ablenkungs- abstand r_D / m (Pfad 1)	Vertraulichkeits- abstand r_P / m (Pfad 1)	Raumakustik- klasse VDI 2569
0.57	30	55.9	3.0	24.1	56.0	>C

Akustische Kenngrößen im Detail:

Parameter	Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	$L_{P,A,B}/dB$
STI am nächsten Arbeitsplatz	0.73	0.72	0.74	0.81	0.74	0.72	
	0.75	0.74	0.76	0.79	0.78	0.75	30
	0.72	0.69	0.72	0.80	0.72	0.71	35
	0.67	0.64	0.68	0.76	0.68	0.66	40
Ablenkungsabstand r_D in m	34.97	137.61	30.42	43.41		40.88	
	24.14	32.80	22.29	24.87	86.02	25.02	30
	17.87	22.30	17.19	19.17	15.95	16.40	35
	12.04	14.24	11.60	13.52	19.87	10.84	40
Vertraulichkeitsabstand r_P in m	83.09	324.37	69.71	92.89		104.35	
	55.96	74.47	49.99	53.40	200.56	59.65	30
	42.28	53.33	40.27	42.59	35.81	37.98	35
	32.44	39.10	30.16	33.75	54.22	30.98	40
Räumliche Abklingrate des A-bewerteten SPL der Sprache $D_{s,2}$ in dB	2.99	2.62	2.85	3.61	2.18	2.17	
A-bewerteter SPL der Sprache im Abstand von 4 m $L_{P,A,S,4m}$ in dB	55.85	54.82	55.25	56.09	56.27	55.28	

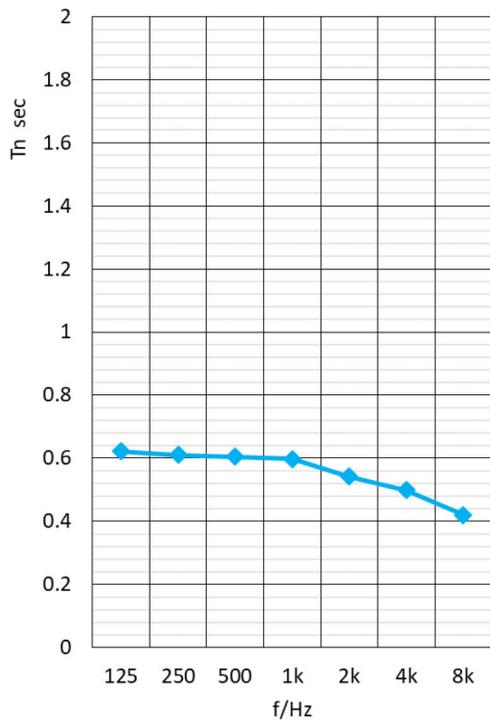
(Tabellenpositionen, die nicht ausgefüllt sind, ergaben keine sinnvollen Werte)

Nachhallzeit

Frequenz/Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
T_{n20}/sec	0.62	0.61	0.60	0.60	0.54	0.50	0.42

Beurteilung nach DIN EN ISO 3382-3							Beurteilung
(gemäß der Zielwerte in Anhang A)							
Ablenkungsabstand r_D	Zielwert ≤ 5 m	ohne Fremdgeräusch					nicht erreicht
		$L_{P,A,B} = 30dB$					nicht erreicht
		$L_{P,A,B} = 35dB$					nicht erreicht
		$L_{P,A,B} = 40dB$					nicht erreicht
Räumliche Abklingrate $D_{s,2}$	Zielwert ≥ 7 dB						nicht erreicht
Sprachpegel in 4m $L_{P,A,S,4m}$	Zielwert ≤ 48 dB						nicht erreicht
Ermittlung der Raumakustik-Klasse nach VDI 2569							Raumakustikklasse
							(gemäß Tabelle 10)
Stufen der Schallausbreitung nach Tabelle 8	Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	
Stufe für $D_{s,2}$	>3	>3	>3	>3	>3	>3	schlechter Klasse C
Stufe für $L_{P,A,S,4m}$	>3	>3	>3	>3	>3	>3	
Nachhallzeit	Geringe Überschreitung bei 250 Hz (beinahe Kl.A)						Klasse B
Raumakustikklasse (die Klasse, die alle Parameter erfüllen)							schlechter Klasse C

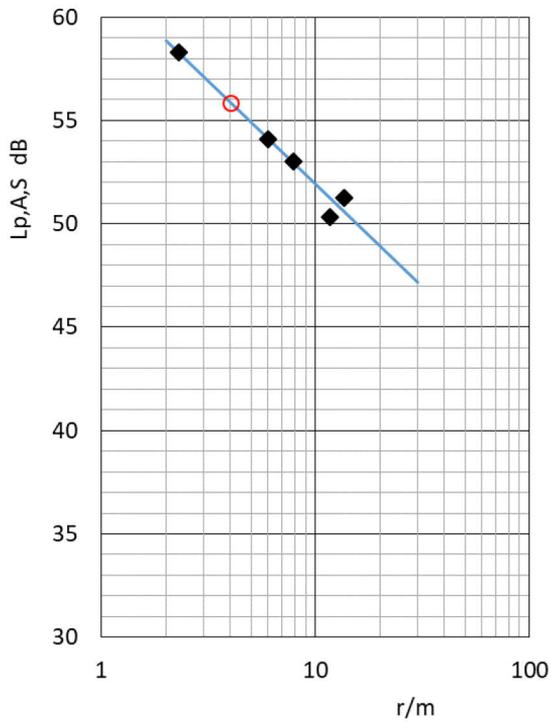
Nachhallzeit T_N :



Abklingvorgang des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache über dem Messpfad 1:

$L_{p,A,S,4m}$ = Pegel bei 4m Abstand zur Schallquelle (roter Kreis)

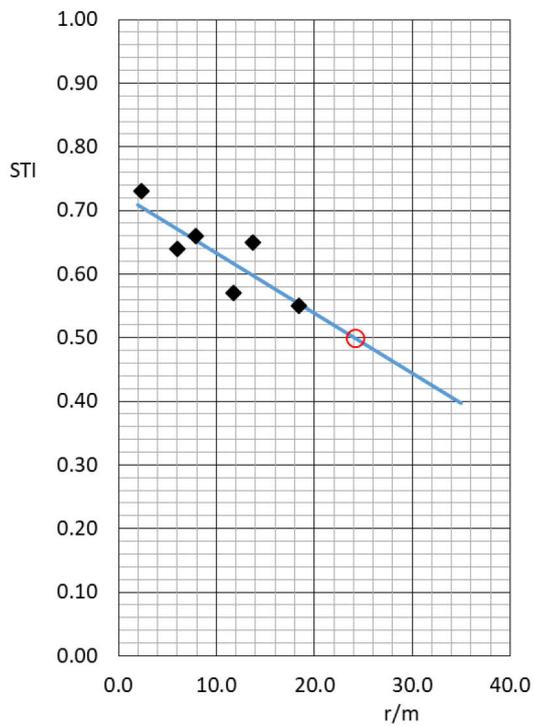
$D_{2,s}$ = Pegelabfall pro Entfernungsverdopplung (Steigung der Regressionsgeraden)



Abnahme des STI über dem Messpfad 1:

Ablenkungsabstand r_D = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.5

Vertraulichkeitsabstand r_P = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.2



9.5.4 Günstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierender Decke

Raumakustische Parameter:

Nachhallzeit T_N / s (250 Hz- 4kHz)	Fremdgeräusch- pegel $L_{P,A,B}$ / dB	4m- Sprachpegel $L_{P,A,S,4m}$ / dB (Pfad 1)	Pegelabfall $D_{2,S}$ / dB (Pfad 1)	Ablenkungs- abstand r_D / m (Pfad 1)	Vertraulichkeits- abstand r_P / m (Pfad 1)	Raumakustik- klasse VDI 2569
0.86	30	53.9	2.8	14.7	35.5	>C

Akustische Kenngrößen im Detail:

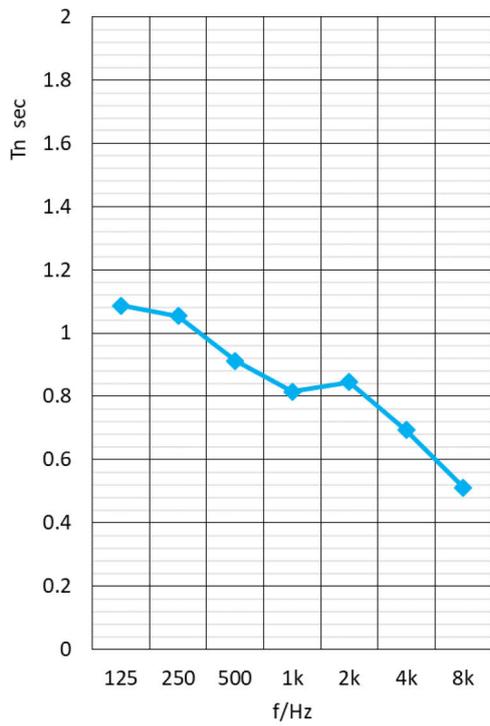
Parameter	Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	$L_{P,A,B}/dB$
STI am nächsten Arbeitsplatz	0.78	0.78	0.78	0.81	0.80	0.77	
	0.75	0.74	0.76	0.79	0.78	0.75	30
	0.72	0.71	0.73	0.76	0.75	0.72	35
	0.66	0.64	0.67	0.70	0.70	0.67	40
Ablenkungsabstand r_D in m	19.01	20.40	13.65	25.00	26.46	14.21	
	14.73	15.79	11.92	16.77	17.20	12.35	30
	11.10	12.59	9.73	12.74	13.59	9.92	35
	7.58	8.93	6.57	7.83	9.63	7.02	40
Vertraulichkeitsabstand r_P in m	44.92	40.62	29.50	56.61	54.00	30.21	
	35.49	33.50	26.36	39.99	35.13	29.73	30
	29.03	27.97	23.47	34.47	29.33	22.71	35
	24.98	23.92	19.90	28.30	23.37	18.42	40
Räumliche Abklingrate des A-bewerteten SPL der Sprache $D_{s,2}$ in dB	2.81	2.68	2.90	3.11	2.48	2.34	
A-bewerteter SPL der Sprache im Abstand von 4 m $L_{P,A,S,4m}$ in dB	53.90	52.80	53.38	53.00	54.64	53.17	

Nachhallzeit

Frequenz/Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
T_{n20}/sec	1.09	1.05	0.91	0.82	0.85	0.69	0.51

Beurteilung nach DIN EN ISO 3382-3							Beurteilung
(gemäß der Zielwerte in Anhang A)							
Ablenkungsabstand	r_D	Zielwert ≤ 5 m	ohne Fremdgeräusch				nicht erreicht
			$L_{P,A,B} = 30dB$				nicht erreicht
			$L_{P,A,B} = 35dB$				nicht erreicht
			$L_{P,A,B} = 40dB$				nicht erreicht
Räumliche Abklingrate	$D_{s,2}$	Zielwert ≥ 7 dB					nicht erreicht
Sprachpegel in 4m	$L_{P,A,S,4m}$	Zielwert ≤ 48 dB					nicht erreicht
Ermittlung der Raumakustik-Klasse nach VDI 2569							Raumakustikklasse
							(gemäß Tabelle 10)
Stufen der Schallausbreitung nach Tabelle 8	Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	schlechter Klasse C
Stufe für $D_{s,2}$	>3	>3	>3	>3	>3	>3	
Stufe für $L_{P,A,S,4m}$	>3	>3	>3	>3	>3	>3	
Nachhallzeit	Überschreitung 250 Hz und 500 Hz						Schlechter Klasse C
Raumakustikklasse (die Klasse, die alle Parameter erfüllen)							schlechter Klasse C

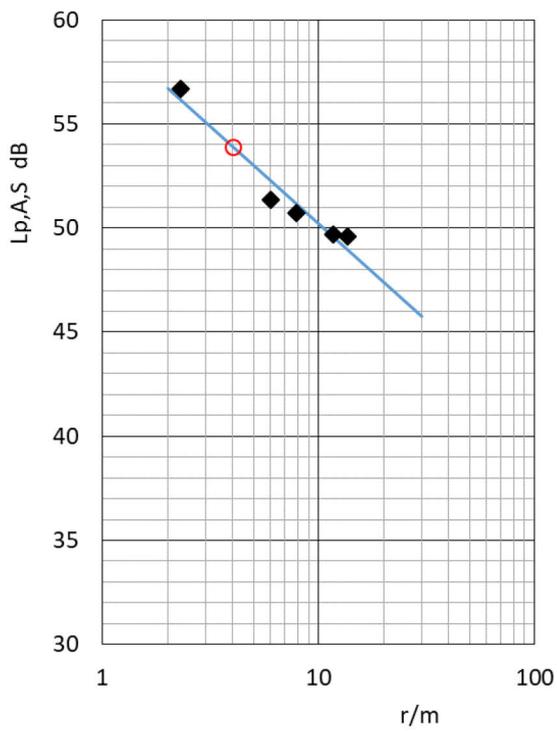
Nachhallzeit T_N :



Abklingvorgang des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache über dem Messpfad 1:

$L_{p,A,S,4m}$ = Pegel bei 4m Abstand zur Schallquelle (roter Kreis)

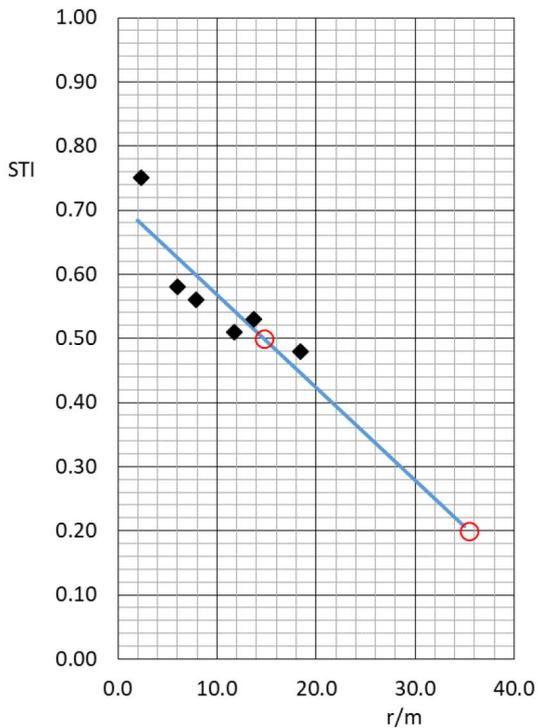
$D_{2,s}$ = Pegelabfall pro Entfernungsverdopplung (Steigung der Regressionsgeraden)



Abnahme des STI über dem Messpfad 1:

Ablenkungsabstand r_D = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.5

Vertraulichkeitsabstand r_P = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.2



9.5.5 Günstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierender Decke und Sideboard zum Gang, ohne absorbierende Möbel und Wände

Raumakustische Parameter:

Nachhallzeit T_N / s (250 Hz- 4kHz)	Fremdgeräusch- pegel $L_{P,A,B}$ / dB	4m- Sprachpegel $L_{P,A,S,4m}$ / dB (Pfad 1)	Pegelabfall $D_{2,S}$ / dB (Pfad 1)	Ablenkungs- abstand r_D / m (Pfad 1)	Vertraulichkeits- abstand r_P / m (Pfad 1)	Raumakustik- klasse VDI 2569
0.56	30	52.3	10.7	7.0	14.8	>C

Akustische Kenngrößen im Detail:

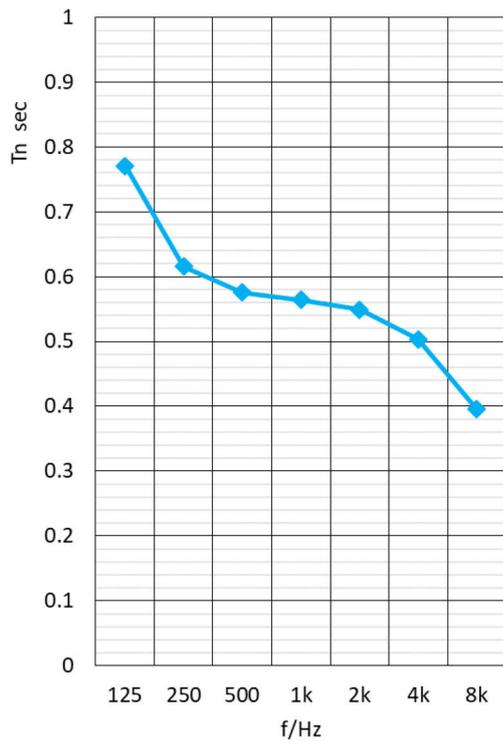
Parameter	Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	L _{P,A,B} /dB
STI am nächsten Arbeitsplatz	0.75	0.62	0.78	0.76	0.75	0.81	
	0.74	0.61	0.77	0.76	0.74	0.80	30
	0.72	0.70	0.75	0.73	0.72	0.77	35
	0.68	0.65	0.61	0.70	0.68	0.77	40
Ablenkungsabstand r _D in m	9.71	13.58	10.60	11.03	32.91	17.87	
	7.04	8.85	7.37	7.89	21.09	13.41	30
	5.67	8.75	5.94	6.05	15.04	10.31	35
	3.91	6.81	2.60	3.93	9.91	10.31	40
Vertraulichkeitsabstand r _P in m	20.32	38.06	23.62	24.01	70.66	33.22	
	14.76	23.84	16.75	17.62	45.79	24.85	30
	12.95	18.07	14.23	15.68	33.47	19.42	35
	11.42	15.33	11.93	13.57	23.82	19.42	40
Räumliche Abklingrate des A-bewerteten SPL der Sprache D _{s,2} in dB	10.73	7.63	8.57	7.48	3.79	4.65	
A-bewerteter SPL der Sprache im Abstand von 4 m L _{P,A,S,4m} in dB	52.26	54.71	51.87	50.98	56.39	54.25	

Nachhallzeit

Frequenz/Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Tn20/sec	0.77	0.62	0.58	0.56	0.55	0.50	0.40

Beurteilung nach DIN EN ISO 3382-3				Beurteilung			
(gemäß der Zielwerte in Anhang A)							
Ablenkungsabstand r _D	Zielwert	<= 5 m	ohne Fremdgeräusch	nicht erreicht			
			L _{P,A,B} = 30dB	nicht erreicht			
			L _{P,A,B} = 35dB	nicht erreicht			
			L _{P,A,B} = 40dB	bei 3 Pfaden erreicht			
Räumliche Abklingrate D _{s,2}	Zielwert	>= 7 dB		bei 4 Pfaden erreicht			
Sprachpegel in 4m L _{P,A,S,4m}	Zielwert	<= 48 dB		nicht erreicht			
Ermittlung der Raumakustik-Klasse nach VDI 2569				Raumakustikklasse			
				(gemäß Tabelle 10)			
Stufen der Schallausbreitung nach Tabelle 8	Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	schlechter Klasse C
Stufe für D _{s,2}	1	2	1	2	>3	3	
Stufe für L _{P,A,S,4m}	>3	>3	>3	3	>3	>3	
Nachhallzeit	Geringe Überschreitung bei 250 Hz (beinahe Kl.A)					Klasse B	
Raumakustikklasse (die Klasse, die alle Parameter erfüllen)				schlechter Klasse C			

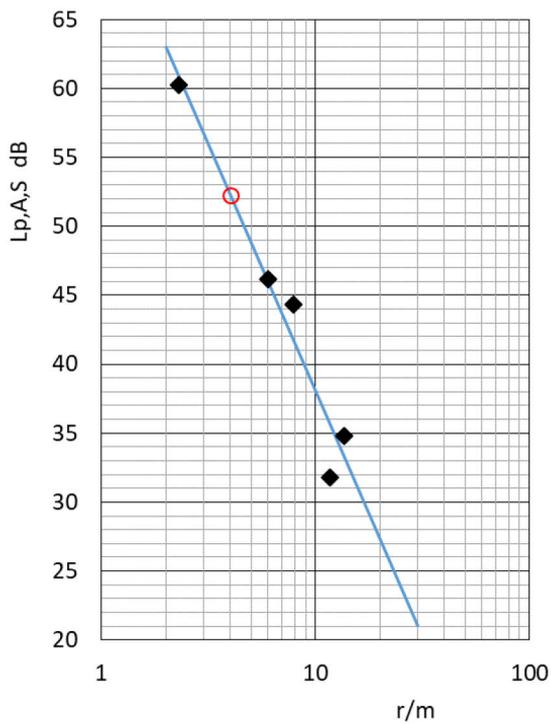
Nachhallzeit T_N :



Abklingvorgang des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache über dem Messpfad 1:

$L_{p,A,S,4m}$ = Pegel bei 4m Abstand zur Schallquelle (roter Kreis)

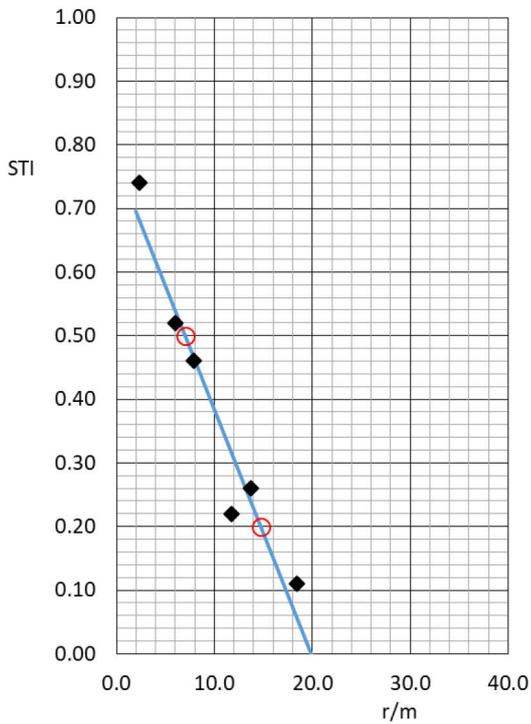
$D_{2,s}$ = Pegelabfall pro Entfernungsverdopplung (Steigung der Regressionsgeraden)



Abnahme des STI über dem Messpfad 1:

Ablenkungsabstand r_D = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.5

Vertraulichkeitsabstand r_P = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.2



9.5.6 Günstige Arbeitsplatzanordnung mit absorbierender Decke, Möbel und Sideboard zum Gang, ohne absorbierende Wände

Raumakustische Parameter:

Nachhallzeit T_N / s (250 Hz- 4kHz)	Fremdgeräusch- pegel $L_{P,A,B}$ / dB	4m- Sprachpegel $L_{P,A,S,4m}$ / dB (Pfad 1)	Pegelabfall $D_{2,S}$ / dB (Pfad 1)	Ablenkungs- abstand r_D / m (Pfad 1)	Vertraulichkeits- abstand r_P / m (Pfad 1)	Raumakustik- klasse VDI 2569
0.53	30	49.1	11.0	6.9	13.2	>C

Akustische Kenngrößen im Detail:

Parameter	Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	L _{P,A,B} /dB
STI am nächsten Arbeitsplatz	0.79	0.79	0.82	0.82	0.79	0.79	
	0.78	0.77	0.80	0.81	0.78	0.79	30
	0.75	0.72	0.78	0.79	0.75	0.77	35
	0.69	0.67	0.73	0.74	0.70	0.73	40
Ablenkungsabstand r _D in m	9.50	13.32	7.82	11.58	79.50	23.53	
	6.88	10.11	4.77	7.18	21.49	13.46	30
	5.34	8.65	3.86	5.30	14.32	9.84	35
	3.28	6.83	2.61	2.34	8.96	7.26	40
Vertraulichkeitsabstand r _P in m	16.95	23.96	18.74	24.03	165.31	46.17	
	13.19	18.25	12.24	16.90	43.83	25.60	30
	11.95	16.46	10.53	15.02	30.46	18.60	35
	10.66	13.95	9.03	12.70	20.65	14.26	40
Räumliche Abklingrate des A-bewerteten SPL der Sprache D _{2,S} in dB	10.99	7.90	9.43	7.00	3.79	5.59	
A-bewerteter SPL der Sprache im Abstand von 4 m L _{P,A,S,4m} in dB	49.08	52.39	46.73	47.64	53.72	54.59	

Nachhallzeit

Frequenz/Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Tn20/sec	0.55	0.56	0.52	0.55	0.54	0.49	0.39

Beurteilung nach DIN EN ISO 3382-3							Beurteilung			
(gemäß der Zielwerte in Anhang A)										
Ablenkungsabstand	r _D	Zielwert <= 5 m	ohne Fremdgeräusch				nicht erreicht			
			L _{P,A,B} = 30dB				bei 1 Pfad erreicht			
			L _{P,A,B} = 35dB				bei 1 Pfad erreicht			
			L _{P,A,B} = 40dB				bei 3 Pfaden erreicht			
Räumliche Abklingrate	D _{s,2}	Zielwert >= 7 dB					bei 4 Pfaden erreicht			
Sprachpegel in 4m	L _{P,A,S,4m}	Zielwert <= 48 dB					bei 2 Pfaden erreicht			
Ermittlung der Raumakustik-Klasse nach VDI 2569							Raumakustikklasse			
							(gemäß Tabelle 10)			
Stufen der Schallausbreitung nach Tabelle 8				Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	
Stufe für D _{s,2}				1	2	1	2	>3	3	schlechter Klasse C
Stufe für L _{P,A,S,4m}				2	>3	1	2	>3	>3	
Nachhallzeit										Klasse A
Raumakustikklasse (die Klasse, die alle Parameter erfüllen)										schlechter Klasse C

9.5.7 Günstige Arbeitsplatzanordnung mit allen Optimierungsmaßnahmen (absorbierende Decke, Möbel, Wände und Sideboard zum Gang)

Raumakustische Parameter:

Nachhallzeit	Fremdgeräuschpegel	4m-Sprachpegel	Pegelabfall	Ablenkungsabstand	Vertraulichkeitsabstand	Raumakustikklasse
T _N / s	L _{P,A,B} / dB	L _{P,A,S,4m} / dB	D _{2,S} / dB	r _D / m	r _P / m	VDI 2569
(250 Hz-4kHz)		(Pfad 1)	(Pfad 1)	(Pfad 1)	(Pfad 1)	
0.40	30	45.5	13.2	5.9	11.7	>C

Akustische Kenngrößen im Detail:

Parameter	Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	$L_{P,A,B}/dB$
STI am nächsten Arbeitsplatz	0.87	0.87	0.89	0.88	0.88	0.79	
	0.85	0.85	0.88	0.87	0.87	0.79	30
	0.82	0.79	0.85	0.84	0.83	0.77	35
	0.74	0.70	0.78	0.78	0.76	0.73	40
Ablenkungsabstand r_D in m	8.50	10.98	7.18	8.64	19.70	26.07	
	5.89	8.65	3.88	5.37	11.85	14.14	30
	4.92	7.52	3.06	3.32	8.92	10.03	35
	2.29	6.06	2.10	1.01	6.62	7.54	40
Vertraulichkeitsabstand r_P in m	14.13	17.39	18.71	16.05	33.90	51.46	
	11.71	13.71	11.18	13.13	20.03	27.02	30
	11.02	12.63	9.96	11.77	15.51	19.04	35
	9.63	11.62	8.47	10.36	12.37	15.05	40
Räumliche Abklingrate des A-bewerteten SPL der Sprache $D_{s,2}$ in dB	13.24	11.71	9.21	10.66	5.26	5.61	
A-bewerteter SPL der Sprache im Abstand von 4 m $L_{P,A,S,4m}$ in dB	45.51	49.81	42.67	43.81	50.86	54.56	

Nachhallzeit

Frequenz/Hz	125	250	500	1k	2k	4k	8k
T_{n20}/sec	0.42	0.37	0.41	0.41	0.42	0.37	0.28

Beurteilung nach DIN EN ISO 3382-3							Beurteilung
(gemäß der Zielwerte in Anhang A)							
Ablenkungsabstand r_D	Zielwert ≤ 5 m	ohne Fremdgeräusch					nicht erreicht
		$L_{P,A,B} = 30dB$					bei 1 Pfad erreicht
		$L_{P,A,B} = 35dB$					bei 3 Pfaden erreicht
		$L_{P,A,B} = 40dB$					bei 3 Pfaden erreicht
Räumliche Abklingrate $D_{s,2}$	Zielwert ≥ 7 dB						bei 4 Pfaden erreicht
Sprachpegel in 4m $L_{P,A,S,4m}$	Zielwert ≤ 48 dB						bei 3 Pfaden erreicht
Ermittlung der Raumakustik-Klasse nach VDI 2569							Raumakustikklasse
							(gemäß Tabelle 10)
Stufen der Schallausbreitung nach Tabelle 8	Pfad 1	Pfad 2	Pfad 3	Pfad 4	Pfad 5	Pfad 6	
Stufe für $D_{s,2}$	1	1	1	1	3	3	Klasse B
Stufe für $L_{P,A,S,4m}$	1	1	1	1	3	>3	schlechter Klasse C
Nachhallzeit							Klasse A
Raumakustikklasse (die Klasse, die alle Parameter erfüllen)	Beinahe Klasse B (nur 1 Wert von Pfad 6 verursacht das schlechte Ergebnis)						schlechter Klasse C

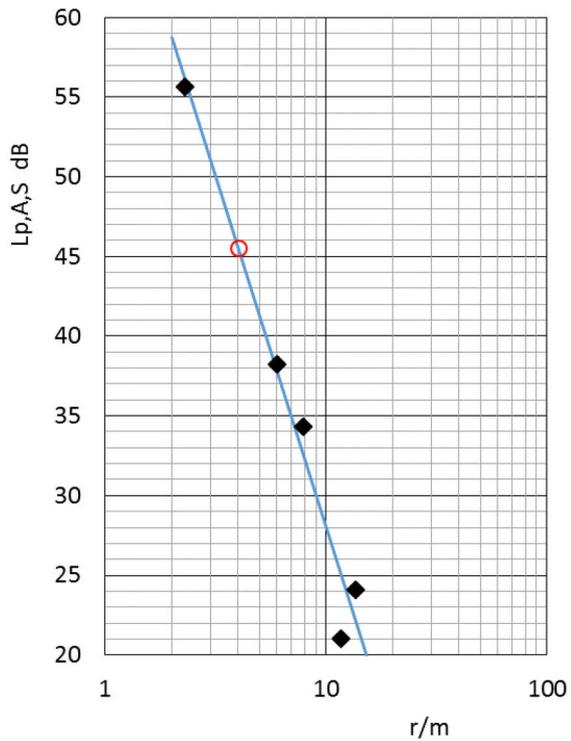
Nachhallzeit:



Abklingvorgang des A-bewerteten Schalldruckpegels der Sprache über dem Messpfad 1:

$L_{p,A,S,4m}$ = Pegel bei 4m Abstand zur Schallquelle (roter Kreis)

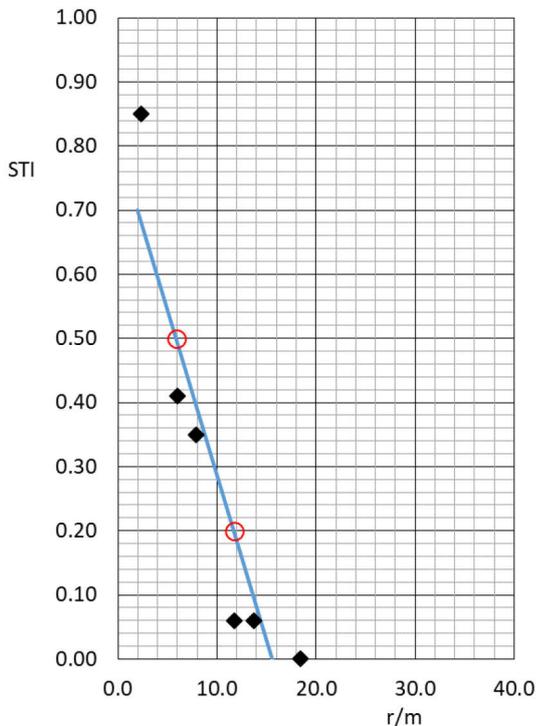
$D_{2,s}$ = Pegelabfall pro Entfernungsverdopplung (Steigung der Regressionsgeraden)



Abnahme des STI über dem Messpfad 1:

Ablenkungsabstand r_D = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.5

Vertraulichkeitsabstand r_P = Abstand zur Schallquelle bei STI = 0.2



10 Großraumbüro mit thermisch genutzter Decke

Beim Neubau von Bürogebäuden wird zunehmend eine passive oder aktive Klimatisierung durch thermisch genutzte Decken realisiert. Dabei wirken die massiven Betondecken als thermische Speichermassen. Eine parallele Nutzung der Decken für die übliche raumakustische Bedämpfung hätte zumindest eine Beeinträchtigung der thermischen Wirkung zur Folge.

Es kommt also zu einem Flächen-Nutzungs-Konflikt zwischen der thermischen Speicherwirkung einerseits und der akustischen Bedämpfung andererseits, der hinsichtlich eines an der Nutzung orientierten Kompromisses aufgelöst werden kann.

Im Folgenden werden die Höreindrücke der Maßnahmen vorgeführt, welche trotz bauteilaktivierter Decke zur Verbesserung der Akustik ergriffen werden können.

Raumabmessungen, Schallquellen, Szenenbeschreibung und zeitliche Abfolge der Schallsignale sind unverändert zum Großraumbüro ohne thermisch genutzte Decke (siehe 9.1 – 9.3).

Statt einer absorbierenden Decke können über den Arbeitstischen Akustiksegel und entlang der Fensterfronten Kantenabsorber angebracht werden.

Die Akustiksegel über allen sechs Arbeitstischen mit den Abmessungen 4,8 m * 1,6 m bzw. 3,2 m * 1,6 m haben eine Stärke von 6 cm und einen mittleren Absorptionsgrad von $\alpha_m = 0,65$.

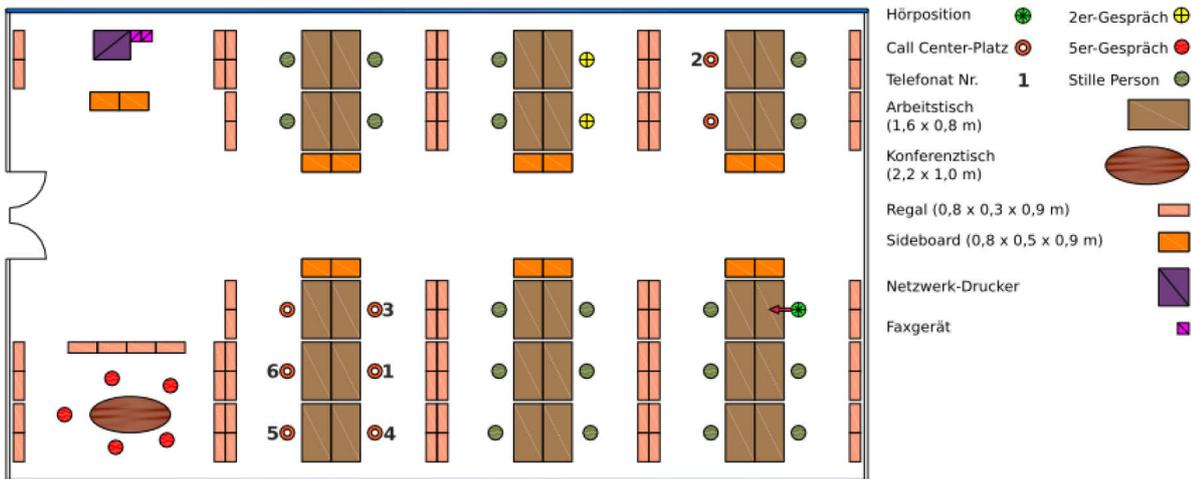
Die Kantenabsorber entlang der Fensterfronten (2 * 24 m) haben eine Breite von 100 cm, eine Stärke von 15 cm und einen mittleren Absorptionsgrad von $\alpha_m = 0,86$.

10.1 Hörbeispiele Großraumbüro mit thermisch genutzter Decke

10.1.1 Vergleich der schlechtesten und besten Situation

In diesem Vergleich wird die schlechteste und beste Situation gegenübergestellt. Die schlechteste Situation stellt hier eine Raum ohne absorbierende Raumelemente und Trennelemente dar welcher mit einem bauteilaktivierten Raum mit absorbierenden Raumelementen und zusätzlichen Trennelementen verglichen wird. Absorbierende Raumelemente sind Akustiksegel und Kantenabsorber sowie Wände und Möbel. Zusätzlich wurden zur weiteren Optimierung Trennelemente wie Call Center-Boxen, Glasabtrennungen und eine Abtrennung zum Gang durch Sideboards eingesetzt.

Auswahl:

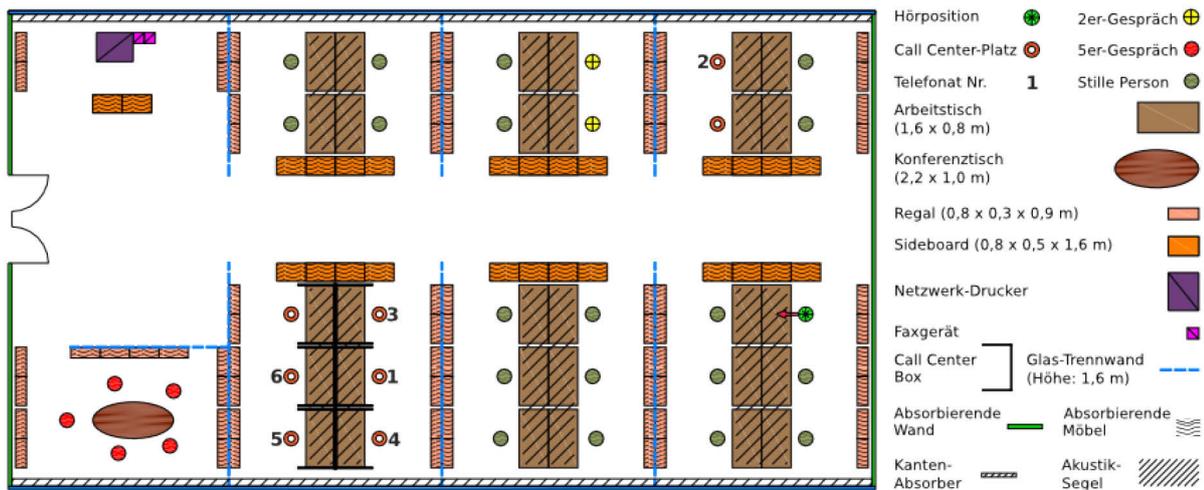


2D-Ansicht: Schlechteste Situation - ohne absorbierende Raumelemente sowie ohne jegliche Trennelemente ($L_{pAeq} = 56.3$ dB)



3D-Ansicht: Schlechteste Situation - ohne absorbierende Raumelemente sowie ohne jegliche

Trennelemente ($L_{pAeq} = 56.3 \text{ dB}$)



2D-Ansicht: Beste Situation - mit allen Optimierungs-Maßnahmen ($L_{pAeq} = 46.7 \text{ dB}$)

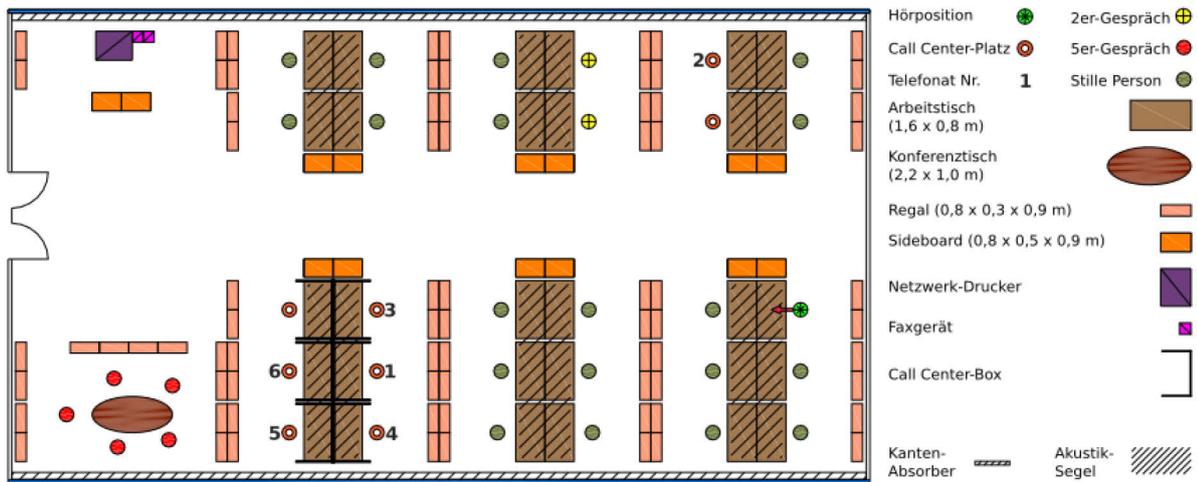


3D-Ansicht: Beste Situation - mit allen Optimierungs-Maßnahmen ($L_{pAeq} = 46.7 \text{ dB}$)

10.1.2 Einfluss aller Verbesserungsmaßnahmen

Es wird der Einsatz verschiedener Maßnahmen in einem Raum mit thermisch genutzter Decke und Call Center-Boxen verglichen. Die Bauteilaktivierung umfasst hier bei allen Beispielen Akustik-Segel über den Arbeitstischen sowie Kanten-Absorber über den Glasfronten. Als zusätzliche Maßnahmen kommen absorbierende Büromöbel und Wände zum Einsatz. Eine weitere Verbesserung wird durch zusätzliche Trennelemente (Glasabtrennung und Sideboards) erreicht. Dabei ist zu beachten, dass die Glasabtrennungen auf Grund der Bauteilaktivierung nicht bis zur Sichtdecke und zur Fensterfront reichen darf.

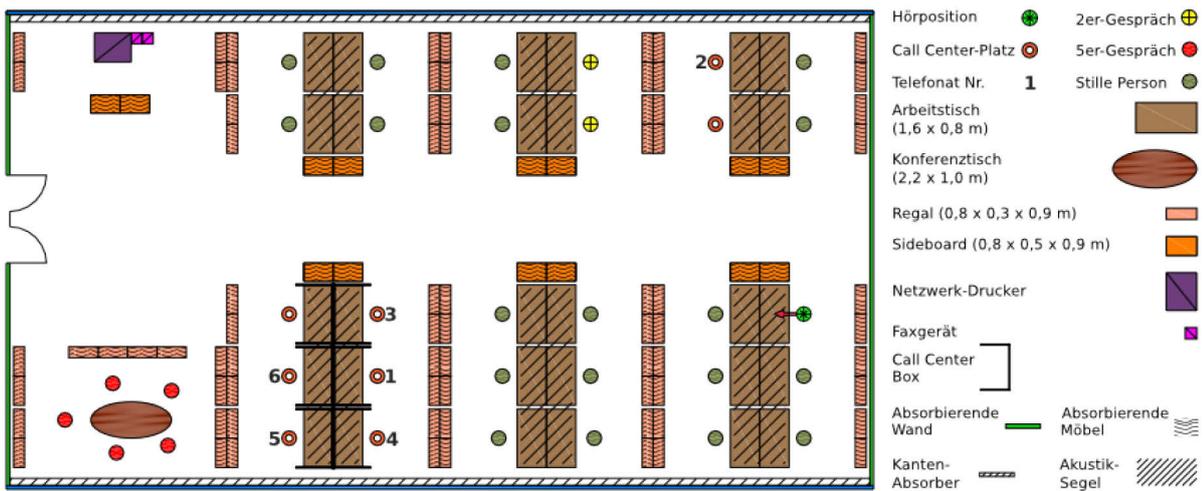
Auswahl:



2D-Ansicht: Ohne weitere Optimierungs-Maßnahmen ($L_{pAeq} = 51.4$ dB)



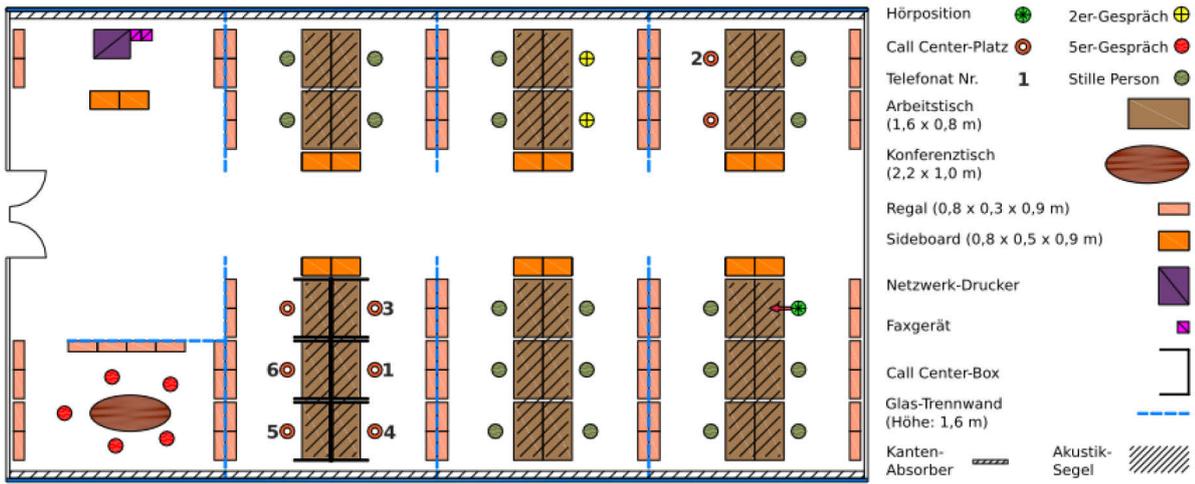
3D-Ansicht: Ohne weitere Optimierungs-Maßnahmen ($L_{pAeq} = 51.4$ dB)



2D-Ansicht: Mit absorbierenden Büromöbeln und Wänden ($L_{pAeq} = 49.2$ dB)



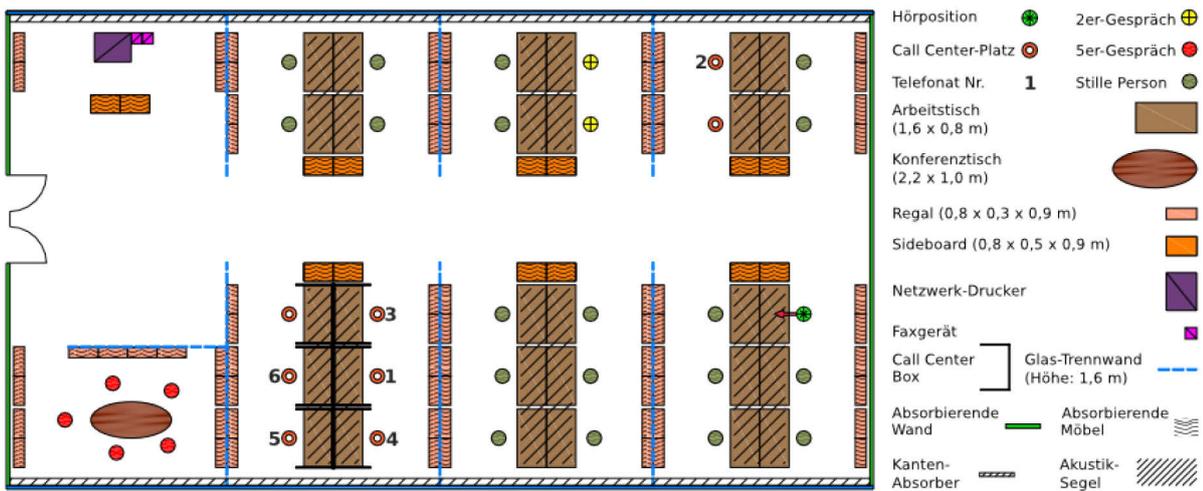
3D-Ansicht: Mit absorbierenden Büromöbeln und Wänden ($L_{pAeq} = 49.2$ dB)



2D-Ansicht: Ohne absorbierende Büromöbel und Wände, jedoch mit Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 50.4 \text{ dB}$)



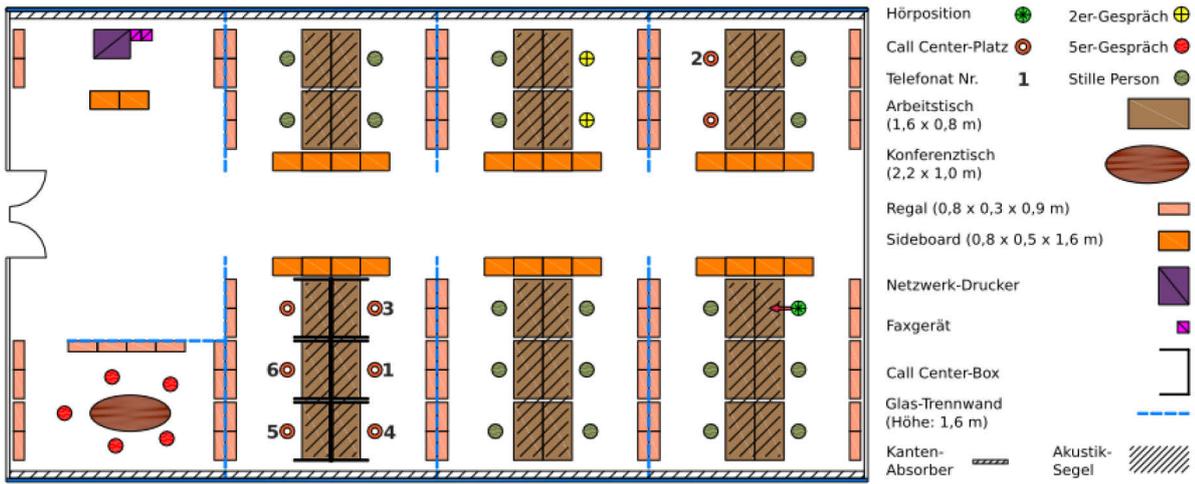
3D-Ansicht: Ohne absorbierende Büromöbel und Wände, jedoch mit Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 50.4 \text{ dB}$)



2D-Ansicht: Mit absorbierenden Büromöbeln und Wänden sowie mit Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 47.7$ dB)



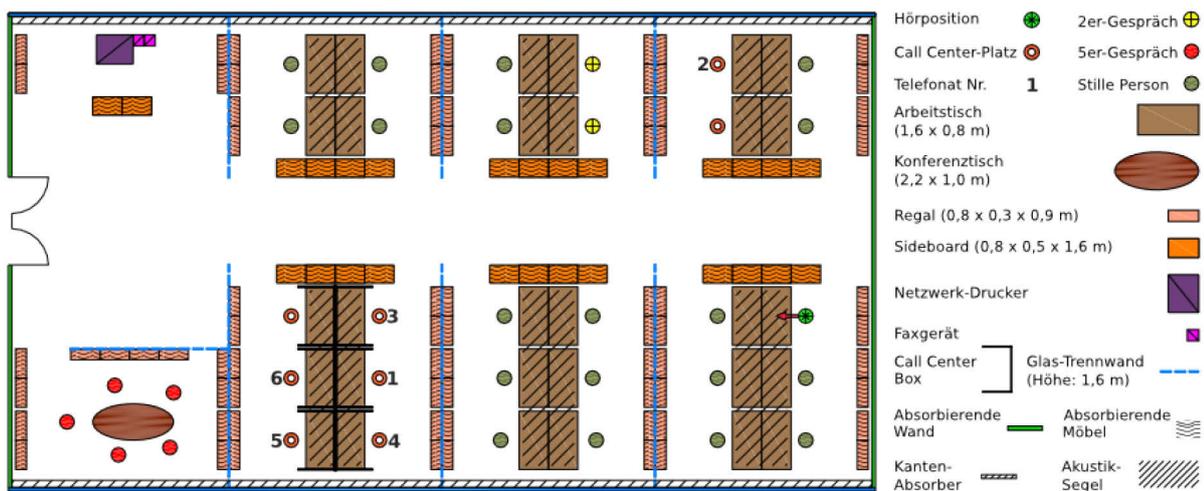
3D-Ansicht: Mit absorbierenden Büromöbeln und Wänden sowie mit Glasabtrennung ($L_{pAeq} = 47.7$ dB)



2D-Ansicht: Ohne absorbierende Büromöbel und Wände, jedoch mit Glasabtrennung und erhöhten Sideboards zum Gang ($L_{pAeq} = 49.6$ dB)



3D-Ansicht: Ohne absorbierende Büromöbel und Wände, jedoch mit Glasabtrennung und erhöhten Sideboards zum Gang ($L_{pAeq} = 49.6$ dB)



2D-Ansicht: Mit absorbierenden Büromöbeln und Wänden sowie mit Glasabtrennung und Sideboards zum Gang ($L_{pAeq} = 46.7$ dB)



3D-Ansicht: Mit absorbierenden Büromöbeln und Wänden sowie mit Glasabtrennung und Sideboards zum Gang ($L_{pAeq} = 46.7$ dB)

Relevante Stellen:

- 00:01 - 00:07: 2er-Gespräch
- 00:13 - 00:40: Telefonat Nr. 2
- 00:26 - 00:41: 5er-Gespräch
- 00:29 - 00:39: Telefonklingeln
- 00:34 - 01:04: Telefonat Nr. 3
- 00:48 - 01:01: Fax
- 00:57 - 01:30: Telefonat Nr. 5



Zusammenfassung: Großraumbüro (bauteilaktiviert) - Einfluss aller Verbesserungsmaßnahmen

Da die Glasabtrennungen in diesem Fall nur 1,6 m hoch sein dürfen, kommt der Absorption der Büromöbel und der Wände eine umso größere Bedeutung zu.

11 Simulation und Auralisierung von Büroräumen

Es ist das Ziel einer raumakustischen Simulation, vor dem Bau oder Umbau eines Raumes das Schallfeld in diesem Raum zu bestimmen. Dabei sollen störende akustische Effekte bereits bei der Planung erkannt und durch Änderungen in der akustischen Gestaltung minimiert werden. Die Auralisierung (Hörbarmachung) soll realitätsnah die akustische Situation im Raum wiedergeben und zur subjektiven Bewertung der Planung dienen.

Bei jeder raumakustischen Computersimulation müssen die Eigenschaften des nachzubildenden realen Raumes in das Berechnungsmodell übertragen werden. Die Form und die Abmessungen des Raumes, die schallreflektierenden Eigenschaften seiner Oberflächen sowie die Richtcharakteristiken der Quellen und des Empfängers müssen für die Simulation zur Verfügung stehen. Darüber hinaus wird ein geeignetes Berechnungsverfahren zur Nachbildung der Schallausbreitung und Schallreflexion benötigt. Für die Schallfeldsimulation und Auralisierung der Büroakustik wurde das im IRT selbst entwickelte Computerprogramm AUVIS (Auralisation Virtueller Studios) verwendet, das schon an Tonregieräumen bewiesen hat, wie gut die Simulation mit der später gebauten Realität übereinstimmt. Im Folgenden werden die wichtigsten Bausteine dieser hier zum Einsatz kommenden akustischen Simulation erläutert.

Zunächst werden die Raumgeometrie und alle akustisch relevanten Oberflächen innerhalb des Raumes eingegeben. In einem zweiten Schritt werden den Oberflächen frequenzabhängige Reflexionseigenschaften (Schallabsorption) zugeordnet, um in der Simulation festzulegen, wie der auftreffende Schall vom jeweiligen Oberflächensegment reflektiert wird. Diese Reflexionsfaktoren können dabei sowohl aus akustischen Messungen als auch aus theoretischen Modellen abgeleitet werden. Trennwände erhalten außerdem Daten zur Schalldämmung, um Schallquellen in Nachbarbüros richtig abzubilden.

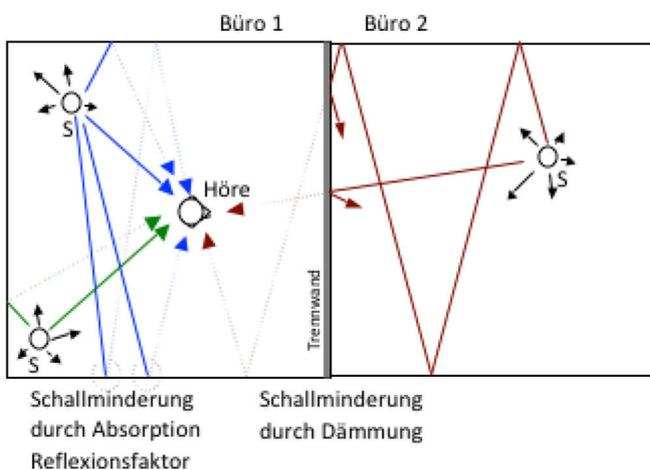
Danach werden alle relevanten Schallquellen in ihrer Position und Ausrichtung festgelegt und charakteristische Eigenschaften zugeordnet. Dazu gehören die frequenz- und richtungsabhängige Abstrahlcharakteristik in Amplitude und Phase sowie die Schalleistung.

Ziel der Simulation ist letztlich ein Schallsignal, welches, über einen Kopfhörer angehört, einen realitätsnahen räumlichen Eindruck der akustischen Situation im Büro vermitteln soll. Dazu wird ein virtueller Hörer benötigt, der sich im Computermodell an einem bestimmten Ort befindet und dort die akustischen Signale der Schallquellen aufnimmt. Ähnlich den Schallquelleneigenschaften wird er beschrieben durch die frequenz- und richtungsabhängige binaurale Außenohrübertragungsfunktion, welche mit Hilfe eines Kunstkopfes in feiner Frequenz- und Winkelauflösung messtechnisch bestimmt wird.

Nach Eingabe aller Daten wird für jede Kombination Schallquelle-Hörer die eigentliche akustische Berechnung durchgeführt. Das Ergebnis stellt zunächst eine charakteristische zweikanalige (zwei Ohren) Funktion zur Verfügung, welche die akustischen Eigenschaften der Übertragungsstrecke von der Schallquelle zum Hörer beschreibt. Wird diese Funktion mit einem Signal, wie beispielsweise der menschlichen Sprache oder dem Geräusch eines Druckers, verrechnet (Faltung), entsteht ein weiteres Signal, das die akustischen Eigenschaften des Raumes enthält. Um das akustische Gesamtbild im Büro abzuschließen, müssen die so erhaltenen Signale aller Schallquellen addiert werden.

Zur Erläuterung dieses Verfahrens zeigt folgende Abbildung schematisch den Grundriss eines Raumes mit Schallquellen S und Hörer. Die Schallquellen strahlen Schall entsprechend ihrer Richtcharakteristiken in alle Raumrichtungen ab. Den Hörer erreichen sowohl direkte als auch indirekte Schallanteile (Reflexionen) über eine oder mehrere Wände. Der Reflexionsfaktor der reflektierenden Wandoberfläche gibt an, welcher Schallanteil an der Wand reflektiert und welcher absorbiert wird. Außerdem erreichen Schallanteile aus Nachbarräumen den Hörer, die jedoch über schalldämmende Trennwände entsprechend gemindert werden (gilt auch für Decken, z.B. Trittschall). Werden genügend viele Schallanteile einer Schallquelle am Empfänger zusammengefasst, so dass sich ein realitätsnahes Abbild der raumakustischen Situation ergibt, erhält man daraus die

Raumübertragungsfunktion zwischen Quelle und Empfänger. Da die Schallquellen unterschiedliche Signale abstrahlen, müssen diese Raumübertragungsfunktionen mit den jeweiligen Signalen gefaltet und anschließend addiert werden, um das gesamte akustische Szenario zu erhalten.



Stand: Dezember 2017