

Tutorial





Tutorial

Die in diesen Unterlagen enthaltenen Angaben und Daten können ohne vorherige Ankündigung geändert werden. Die ggf. in den Beispielen verwendeten Namen und Daten sind frei erfunden, soweit nichts anderes angegeben ist. Ohne ausdrückliche schriftliche Erlaubnis der DataKustik GmbH darf kein Teil dieser Unterlagen für irgendwelche Zwecke vervielfältigt oder übertragen werden, unabhängig davon, auf welche Art und Weise oder mit welchen Mitteln, elektronisch oder mechanisch dies geschieht.

© DataKustik GmbH. Alle Rechte vorbehalten.

Greifenberg, 2015

CadnaR ist ein eingetragenes Warenzeichen der Datakustik GmbH, Greifenberg, Deutschland.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1 - Immissionspunkte berechnen

Punktquellen eingeben	11
Linienquelle eingeben	17
Immissionspunkt eingeben und berechnen	19
Schallstrahlen darstellen	21
Berechnungsprotokoll erstellen	25
Immissionspunkt an Maschine platzieren	27
Immissionspunkt an Maschinengruppe platzieren.	29

Kapitel 2 - Horizontales Raster berechnen

Objektfang verwenden	35
Flächenquellen eingeben	37
Quaderquellen eingeben	43
Rasterberechnung starten	47
Rasterarithmetik anwenden	51

Kapitel 3 - 3D-Pegelverteilung berechnen

Hindernisquader eingeben	55
Schirm eingeben	59
Voxelgitter berechnen	61
3D-Ansichtsoptionen	63
Plot-Designer editieren	67

Kapitel 4 - Raumeigenschaften eingeben

Teilflächen editieren	75
Punktquelle und Schirme eingeben	79

Kapitel 5 - Richtwirkung bei Punktquellen

Richtwirkung eingeben	87
Richtwirkung zuweisen und orientieren	91

Kapitel 6 - Maschinenraum modellieren

Absorbierende Deckenbereiche eingeben	101
Schirmhöhe vergrößern	105
Gesamte Decke absorbierend	107

Kapitel 7 - Büroraum modellieren

Schallabsorbierende Decke installieren	119
Flurseitige Wand verkleiden	121
Längswand verkleiden	123
Teilchen-Ping-Pong anzeigen.	125

Kapitel 8 - Deckensegel eingeben

Ebene Deckensegel.	131
Gekrümmte Deckensegel	133
Beliebige Raumdeckengeometrien.	137

Kapitel 9 - Gütemaße an Immissionspunkten berechnen

Gütemaße auswählen.	143
Frequenzbereich anpassen	145
Abklingkurven anzeigen	147
Immissionspunkte etikettieren	149

Kapitel 10 - Immissionspunktketten berechnen

Berechnungskonfiguration einstellen	159
Immissionspunktkette eingeben	161
Immissionspunktkette berechnen	165
Schallabsorbierende Decke installieren	169
Schallabsorbierende Decke abändern	173

Kapitel 11 - Gütemaße im Raster berechnen

Varianten	179
Konfiguration einstellen	183
Nachhallzeit berechnen	185
Echogramme und Abklingkurven anzeigen	189
Zusätzliche raumakustische Maßnahmen	193

Hintergrundgeräuschpegel	197
Sprachverständlichkeit ohne Störpegel	201
Sprachverständlichkeit mit Störpegel	207

Kapitel 12 - SAK berechnen

Kapitel 13 - Statistische Berechnung

CadnaR - Tutorial

In diesem Handbuch werden die Funktionen von **CadnaR** anhand von Berechnungsbeispielen erläutert, die der Anwender Schritt für Schritt nachvollziehen kann.

Bei der Abfassung der Beispiele wurde davon ausgegangen, dass diese in der vorgegebenen Reihenfolge nachvollzogen werden, da die Beispiele aufeinander aufbauen. Daher sind die Beschreibungen in den ersten Abschnitten detaillierter als in den späteren gehalten. Insbesondere wird zunehmend darauf verzichtet, schon beschriebene Abläufe erneut detailliert zu schildern, falls die Besonderheiten des jeweiligen Beispiels dies nicht erfordern. Rückwärtige Verweise zu vorherigen Beispielen erfolgen nicht. Es werden immer alle notwendigen Schritte, allerdings mit abnehmender Ausführlichkeit, beschrieben.

Zu der Mehrzahl der Beispiele stehen entsprechende **CadnaR**-Dateien zur Verfügung, die es erlauben, den Berechnungsgang auch dann nachzuvollziehen, wenn man auf die Eingabe der Quellen und Hindernisse aus Zeitgründen verzichten möchte. Die jeweiligen **CadnaR**-Dateien sind dazu in der äußeren Textspalte mit dem Dateiauswahlsymbol referenziert.

 CADNAR-Datei

In der Regel wird das kombinierte Berechnungsverfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“ verwendet, mit Spiegelquellen bis einschließlich der nullten Ordnung und mit Teilchen bis einschließlich der 5ten Ordnung bei einer Referenz-Teilchenzahl von 100.000 - falls nichts anderes gesagt ist.

Berechnungskonfiguration

Diese Einstellung stellt einen Kompromiss zwischen der Genauigkeit des berechneten Pegelwertes einerseits und der erforderlichen Rechenzeit andererseits dar.

Für reale Planungsaufgaben sind u.U. eine höhere Reflexionsordnung und eine höhere Referenz-Teilchenzahl erforderlich, um - insbesondere in un-ausgestatteten Räumen - einen stationären Pegel zu erreichen.

Kapitel 1 - Immissionspunkte berechnen

Bei der Berechnung und Auswertung von Schallpegeln an definierten Immissionspunkten sind folgende Merkmale im Vergleich zu Rasterberechnungen relevant:

- Es kann ein Berechnungsprotokoll erstellt werden, das alle Ausgangs- und Zwischenwerte der Berechnung enthält (z.B. die Dämpfungsmaße und für alle Ordnungen).
- Es können Schallstrahlen zwischen den Quellen und dem Immissionspunkt angezeigt werden. Dies ermöglicht eine geometrische Analyse der Ausbreitungssituation unter Einbeziehung von Reflexion und Abschirmung.
- Für jeden Immissionspunkt kann ein Grenzwert festgelegt werden, bei dessen Überschreitung das Symbols in Rot angezeigt wird.
- Die Teilpegelliste zeigt alle am Immissionsort einwirkenden Teilpegel aller berücksichtigten Quellen an.
- Für jeden Immissionspunkt kann festgelegt werden, dass dieser einen Arbeitsplatz bei einer bestimmten Schallquelle repräsentiert. Im Zuge der Berechnung wird für diesen Arbeitsplatz der arbeitsplatz-bezogene Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} der referenzierten Quelle als kennzeichnende Größe für deren Direktschallanteil verwendet, zu dem die Direktanteile der anderen Quellen und die Anteile des Raumschalls addiert werden (abhängig vom gewählten Berechnungsverfahren).
- Für aktive Immissionspunkte kann die Echogramme und Abklingkurven berechnet und in einem separaten Dialog angezeigt werden. Es können die zur Auswertung der Nachhallzeiten T30, T20, T10 und EDT berechneten Regressionsgeraden und die Ergebniswerte in Okta-ven und für Gesamt angezeigt werden (siehe Kapitel 9.2).

- Nach Berechnung der Echogramme und Abklingkurven werden in das Info-Fenster der aktiven Immissionspunkte die in der Konfiguration, ausgewählten raumakustischen Gütemaße als Textvariablen geschrieben.

1.1 Punktquellen eingeben

- Starten Sie **CadnaR** über das Programmsymbol auf dem Desktop oder durch Auswahl des Eintrags **DataKustik/CadnaR** im Startmenü.
- Wählen Sie die Punktquelle aus dem Werkzeugkasten aus.

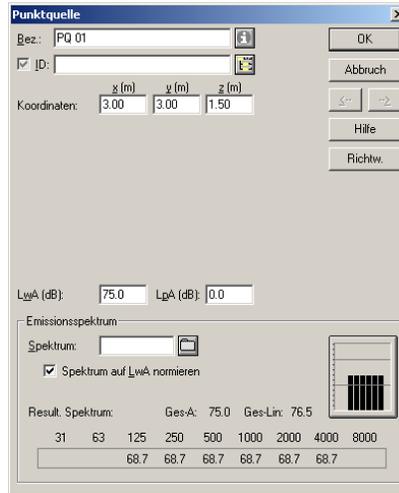


- Tippen Sie jetzt auf der Tastatur die Taste "3", um die x-Koordinate der Punktquelle einzugeben.
- Geben Sie im Dialog **Punkteingabe** auch für die y-Koordinate einen Wert von 3 m ein.



Nach Schließen des Dialog mit OK wird die Punktquelle bei $(x, y)=(3, 3)$ m platziert.

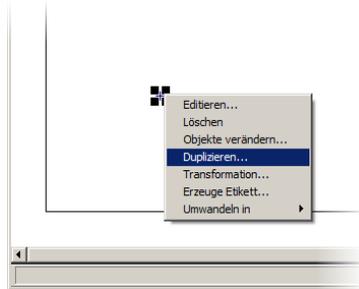
- Um den Dialog **Punktquelle** zu öffnen, klicken Sie im Eingabemodus - das Objektsymbol der Punktquelle wird immer noch neben dem Mauszeiger angezeigt - mit der rechten Maustaste auf den Rand des Punktquellen-Symbols.
- Alternativ können Sie über das Symbol  im Werkzeugkasten in den Editiermodus wechseln und mit der linken Maustaste doppelt auf den Rand des Punktquellen-Symbols klicken.



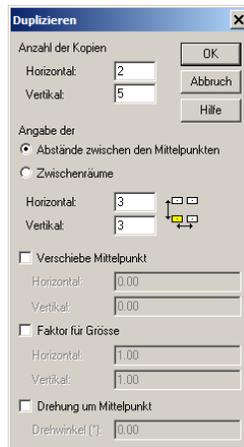
- Geben Sie die Bezeichnung "PQ 01" ein.
- Aktivieren Sie die Option „Spektrum auf LwA normieren“ und geben Sie im Feld „LwA“ einen A-bewerteten Schallleistungspegel von 75 dB(A) ein.
- ☞ Für einen Frequenzbereich von 125-4000 Hz (siehe Kapitel 9.1.3.1, Registerkarte „Allgemein“ im **CadnaR**-Handbuch) ist der lineare Oktavbandpegel um etwa 6.3 dB kleiner als der A-bewertete Summenpegel.

Die Standardhöhe bei Punktquellen von 1,5 m wird beibehalten.

- Schließen Sie den Dialog **Punktquelle** mit OK.
- Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf die Umfangslinie der Quelle.
- Wählen Sie aus dem Kontextmenü den Befehl **Duplizieren**.



- Um ein Netz aus Punktquellen zu erzeugen, geben Sie 2 Kopien in horizontaler (+x) und 5 in vertikaler Richtung (+y) bei 3 m Zwischenräumen in x- und y-Richtung ein. Bei der Anzahl der Kopien zählt das Original jeweils mit.



- Drücken Sie die OK-Taste.

Es wird ein Netz aus 2x5 Punktquellen erzeugt, die alle die gleiche Schallleistung wie das Original aufweisen.

- Öffnen Sie die Tabelle der Punktquellen (Menü **Tabellen|Quellen|Punktquelle**).

Die Punktquellen weisen z.Z. alle die gleiche Bezeichnung auf (diejenige der Originalquelle).

- Klicken Sie mit der rechten Maustaste in die Spalte "Bezeichnung" und wählen Sie aus dem Kontextmenü den Befehl **Spalte verändern**.
- Geben Sie unter "String-Ersetzung" für "Ersetzen durch" ein: PQ ##

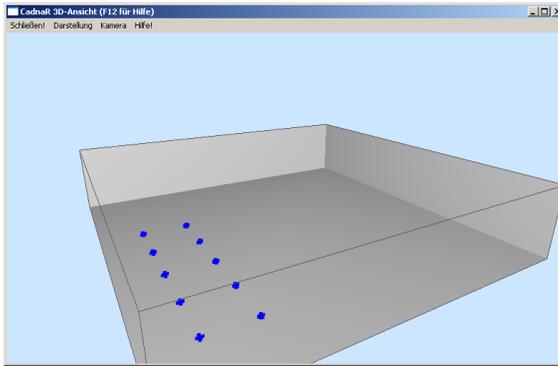


- Klicken Sie OK, um die neuen Einstellungen anzuwenden.

Damit wird der Name in allen Tabellenzeilen durch die Zeichenkette "PQ", ein Leerzeichen und eine zweistellige Zählziffer ersetzt.

Punktquelle															
Schließen Sync. Grafik Kopieren Drucken... Schriftart... Hilfe															
Bezeichnung	M	ID	Koordinaten			LwA (dB)	Spektrum Lw (dB)						LpA (dB)	Richtv	
			X (m)	Y (m)	Z (m)		125	250	500	1000	2000	4000			
PQ 01			3.00	3.00	1.50	75.0	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	0.0	(ke)
PQ 02			3.00	6.50	1.50	75.0	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	0.0	(ke)
PQ 03			3.00	10.00	1.50	75.0	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	0.0	(ke)
PQ 04			3.00	13.50	1.50	75.0	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	0.0	(ke)
PQ 05			3.00	17.00	1.50	75.0	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	0.0	(ke)
PQ 06			6.50	3.00	1.50	75.0	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	0.0	(ke)
PQ 07			6.50	6.50	1.50	75.0	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	0.0	(ke)
PQ 08			6.50	10.00	1.50	75.0	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	0.0	(ke)
PQ 09			6.50	13.50	1.50	75.0	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	0.0	(ke)
PQ 10			6.50	17.00	1.50	75.0	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	68.7	0.0	(ke)

- Schließen Sie die Tabelle über die Schaltfläche „Schließen“.
- Wählen Sie zur visuellen Kontrolle des Befehl **3D-Ansicht** im Menü **Eigenschaften** aus oder drücken Sie die Tastenkombination STRG+3 (oder über das Symbol ).



- Drücken Sie die Taste B, um die Farbe des Hintergrunds zu ändern.

Die 3D-Ansicht kann mit der Maus um den Mittelpunkt des Raumes rotiert und gezoomt werden.

- Zum Rotieren des Raumes halten Sie die linke Maustaste gedrückt und bewegen Sie die Maus nach oben/unten oder links/rechts.
- Zum Zoomen des Raumes halten Sie die rechte Maustaste gedrückt und bewegen Sie die Maus vor/zurück. Alternativ können Sie durch Drehen des Mausekzes die Ansicht zoomen.
- Zum Verschieben des Raumes halten Sie die STRG-Taste gedrückt und bewegen Sie die Maus nach oben/unten oder links/rechts
- Schließen Sie die 3D-Ansicht und speichern Sie ggf. die Datei.

1.2 Linienquelle eingeben

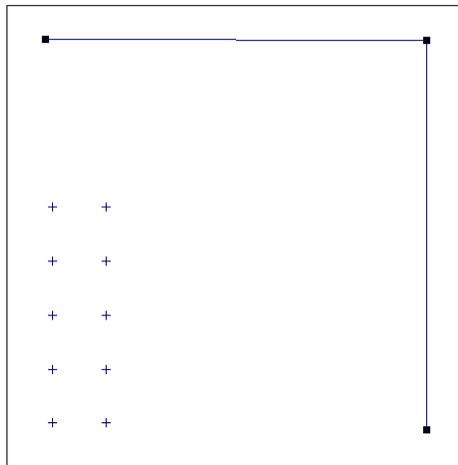
- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei, wenn Sie nicht ausgehend vom vorigen Abschnitt fortfahren.
- Wählen Sie die Linienquelle aus dem Werkzeugkasten aus.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 1/PQ.cni



- Zeichnen Sie in die Planansicht ein Linienpolygon aus drei Stützpunkten ein, das in einem Abstand von etwa 2,5 m entlang der rechten und der oberen Wand verläuft.
- Beenden Sie die Eingabe durch Klick mit der rechten Maustaste.

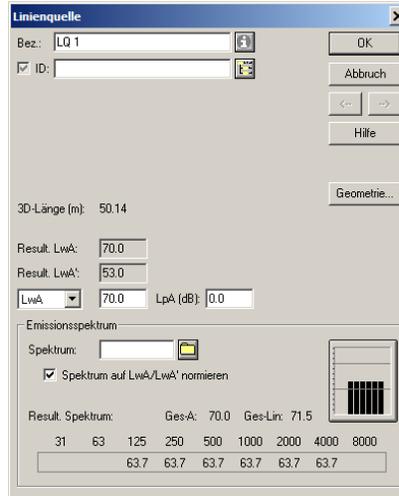
Danach sollte die Plansicht etwa wie nachfolgend dargestellt aussehen.



- Um den Dialog **Linienquelle** zu öffnen, klicken Sie im Eingabemodus

mit der rechten Maustaste oder alternativ im Editiermodus doppelt mit der linken Maustaste auf den Rand des Objekts.

- Geben Sie die Bezeichnung "LQ 01" ein.
- Aktivieren Sie die Option „Spektrum auf LwA normieren“ und geben Sie im Feld „LwA“ einen A-bewerteten Schallleistungspegel von 70 dB(A) ein.



- Klicken Sie anschließend auf die Schaltfläche "Geometrie" und geben Sie eine Höhe von 3 m für die Anfangshöhe ein.

Damit weisen alle Polygon-Stützpunkte eine Höhe von 3 m über der Raumgrundfläche auf.

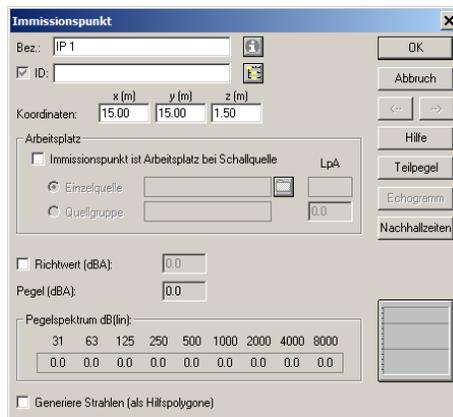
- ☞ Bei Linienquellen können an jedem Polygonpunkt eine individuelle Höhe eingegeben werden (Option "Höhe an jedem Punkt").
- Schließen Sie den Dialog **Geometrie** mit OK.
- ☞ Im Dialog **Linienquelle** werden die Werte „Result. LwA“ und „Result. LwA“ aktualisiert [$LwA' = LwA - 10 \lg(3D\text{-Länge})$].
- Schließen Sie den Dialog **Linienquelle** durch OK.

1.3 Immissionspunkt eingeben und berechnen

- Geben Sie jetzt einen Immissionspunkt bei $(x, y)=(15, 15)$ m ein. Wählen Sie dazu das Objekt aus dem Werkzeugkasten.
- Geben Sie im Dialog **Punkteingabe** die Zahl 15 sowohl für die x- als auch für y-Koordinate ein.



- Wechseln Sie in den Editiermodus (über das Werkzeugkasten-Symbol  oder STRG+e) und doppelklicken Sie auf den Immissionspunkt.
- Geben Sie als Bezeichnung "IP 1" ein und schließen Sie den Dialog mit OK.

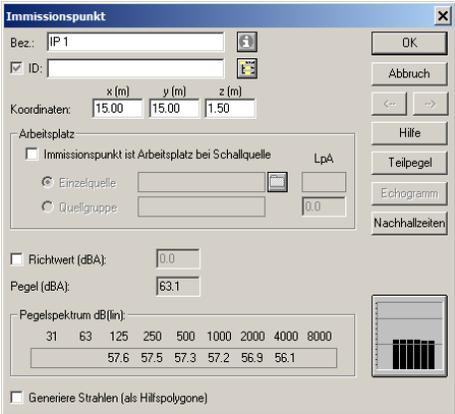


	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Pegelspektrum dB(ln):	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Die Standardhöhe von Immissionspunkten beträgt 1,5 m.

- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **Berechnung**|**Konfiguration**).
- Stellen Sie sicher, dass auf der Registerkarte „Berechnung“ das Verfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“, mit Spiegelquellen bis einschließlich der nullten Ordnung und mit Teilchen bis einschließlich der 5ten Ordnung mit einer Referenz-Teilchenzahl von 100.000 gewählt ist.
- Starten Sie die Pegelberechnung an Immissionspunkten durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste. Alternativ kann die Berechnung über den Befehl **Immissionspunkte berechnen** im Menü **Berechnung** gestartet werden.
- Öffnen Sie den Dialog **Immissionspunkt**.

Der Dialog zeigt den A-bewerteten Summenpegel und das lineare Oktavband-Pegelspektrum.



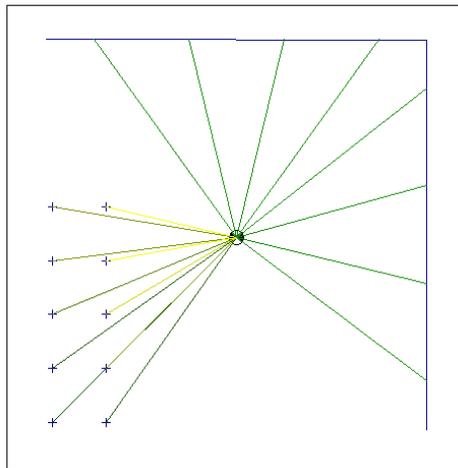
Pegelspektrum dB(ln):	
31	57.6
63	57.5
125	57.3
250	57.2
500	56.9
1000	56.1
2000	
4000	
8000	

- Ist ein Richtwert im Dialog **Immissionspunkt** eingeben, so wird das Symbol des Immissionspunktes im Fall einer Pegelüberschreitung in Rot angezeigt.
- Schließen Sie den Dialog **Immissionspunkt** und speichern Sie ggf. die Datei.

1.4 Schallstrahlen darstellen

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei, wenn Sie nicht ausgehend vom vorigen Abschnitt fortfahren.
- Öffnen Sie den Dialog **Immissionspunkt**.
- Aktivieren Sie die Option „Generiere Strahlen (als Hilfspolygone)“ und starten Sie erneut die Berechnung an Immissionspunkten.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 1/PQ_LQ_IP.cni

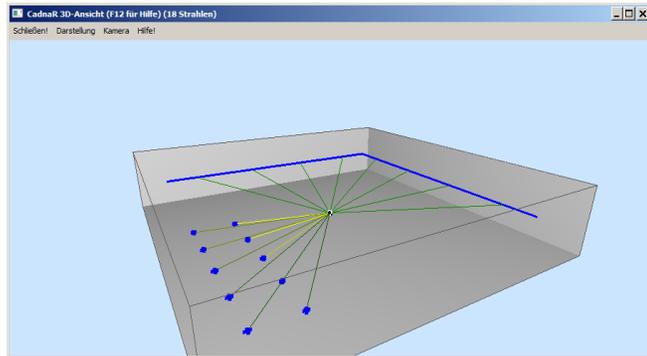


In diesem Fall werden nur die aus dem Spiegelquellen-Verfahren resultierenden Direktstrahlen (Strahlen nullter Ordnung) angezeigt.

- Öffnen Sie jetzt den Dialog **3D-Ansicht**.
- Drücken Sie die S-Taste (S für Strahl), um alle Direktstrahlen bis zur 0.Ordnung anzuzeigen.

👉 Wurden höhere Ordnungen nach dem Spiegelquellen-Verfahren berechnet, so kann durch Drücken der O-Taste (O für Ordnung), die anzuzeigende Ordnung durchgeschaltet werden. Die aus dem Teilchenmodell resultierenden Pfade können nicht angezeigt werden.

Die Strahlen werden standardmäßig ihrer Ordnung entsprechend gemäß der aktuellen Rasterdarstellung (Menü **Raster|Darstellung**) eingefärbt.



3D-Raumdarstellung mit Strahlen 0.Ordnung

Wie zu sehen ist, wird die Linienquelle in Abhängigkeit der Quellausdehnung und des Abstands zum Immissionspunkt segmentiert und in der Berechnung durch Punktquellen ersetzt.

Die 3D-Ansicht zeigt in der linken unteren Raumecke außerhalb des Raumes ein Koordinatenkreuz an. Die Farben rot/grün/blau ("RGB") entsprechen in ihrer Abfolge den Koordinaten x, y, z.

Hinter der Dialogbezeichnung **CadnaR 3D-Ansicht** wird in Klammern jeweils die Anzahl Strahlen der gewählten Ordnung oder aller berechneten Strahlen angezeigt.

- ☞ Die Strahlen werden als Hilfspolygon erzeugt. In der Tabelle **Hilfspolygon** (Menü **Tabellen|Diverse Objekte**) ist in deren ID die Strahlordnung und der Teilpegel enthalten, z.B.: „RAY_355_02“ weist auf einen Strahl mit einem Teilpegel von 35.5 dB(A) der 2.Ordnung hin.

Die Strahlen können global gelöscht werden:

- Wählen Sie dazu den Befehl **Strahlen löschen** im Menü **Tabellen|Sonstiges**) aus.



Die Strahlen können nicht nur nach ihrer Ordnung, sondern alternativ nach ihrem Teilpegel eingefärbt werden. Dazu wird die Option „Strahlfarbe als Pegel“ im Dialog **Eigenschaften|Sonstiges** aktiviert und die Berechnung an Immissionspunkten erneut gestartet.

1.5 Berechnungsprotokoll erstellen

Für Immissionspunkte kann ein detailliertes Berechnungsprotokoll erzeugt werden, dass für alle Teilquellen die Dämpfungsterme etc. auflistet.

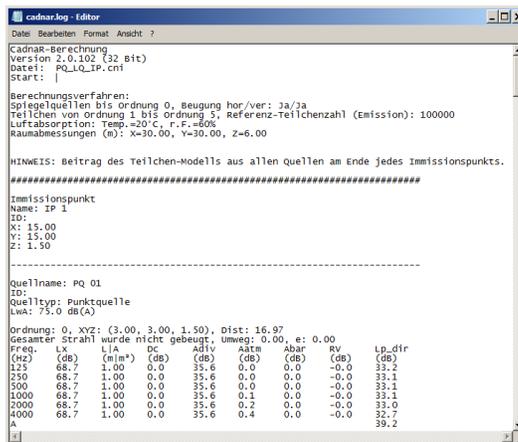
📁 Dateien/Tutorial/
Kap 1/PQ_LQ_IP.cni

- Aktivieren Sie dazu im Dialog **Berechnung|Protokoll** die Option "Schreibe Protokoll" und schließen Sie den Dialog mit OK.
- Starten Sie die Berechnung an Immissionspunkten durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste.

👉 Die Neuberechnung ist erforderlich, da das Protokoll erst zur Laufzeit geschrieben wird.

- Öffnen Sie erneut den Dialog **Protokoll** im Menü **Berechnung** und klicken Sie auf die Schaltfläche "Editieren".

Daraufhin wird das Protokoll mit dem im WINDOWS-System mit dem Dateityp TXT verknüpften Anwendung geöffnet.



```

cadnar.log - Editor
Datei Bearbeiten Format Ansicht ?
Cadnar-Berechnung
Version 2.0.102 (32 Bit)
Datei: PQ_LQ_IP.cni
Start: |

Berechnungsverfahren:
Spiegelquellen bis Ordnung 0, Beugung hor/ver: ja/na
Teilchen von Ordnung 1 bis Ordnung 5, Referenz-Teilchenzahl (Emission): 100000
Luftabsorption: Tsep.=20°C, r.F.=600%
Raumabmessungen (m): x=30.00, y=30.00, z=6.00

HINWEIS: Beitrag des Teilchen-Modells aus allen Quellen am Ende jedes Immissionspunkts.
=====
Immissionspunkt
Name: IP 1
ID:
X: 15.00
Y: 15.00
Z: 1.50
-----

Quellname: PQ 01
ID:
Quellentyp: Punktquelle
Lwa: 75.0 dB(A)

Ordnung: 0, XYZ: (3.00, 3.00, 1.50), Dist: 16.97
Gesamter Strahl wurde nicht gebeugt, Umweg: 0.00, e: 0.00
Freq. Lx LIA Dc Adiv Aatm Abar pv Lp_dif
(Hz) (dB) (m/m²) (dB) (dB) (dB) (dB) (dB)
125 68.7 1.00 0.0 35.6 0.0 0.0 -0.0 33.2
250 68.7 1.00 0.0 35.6 0.0 0.0 -0.0 33.1
500 68.7 1.00 0.0 35.6 0.0 0.0 -0.0 33.1
1000 68.7 1.00 0.0 35.6 0.1 0.0 -0.0 33.1
2000 68.7 1.00 0.0 35.6 0.2 0.0 -0.0 33.0
4000 68.7 1.00 0.0 35.6 0.4 0.0 -0.0 32.7
A
  
```

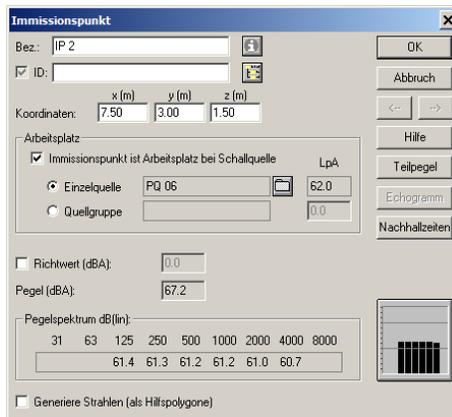
Beginn einer Protokoll-Datei

👉 Protokoll-Abkürzungen (siehe Kapitel 9.1.3.2 im **CadnaR**-Handbuch)

1.6 Immissionspunkt an Maschine platzieren

Jetzt wird noch ein Immissionspunkt eingegeben, der einen Arbeitsplatz in der Nähe einer Maschine darstellt.

- Geben Sie den Immissionspunkt IP 2 bei $(x, y, z) = (8, 3, 1.50)$ ein.
- Aktivieren Sie im IP 2 die Option „Immissionspunkt ist Arbeitsplatz bei Schallquelle, Einzelquelle“ und wählen Sie über das Dateiauswahl-Symbol  die Schallquelle PQ 06 aus.



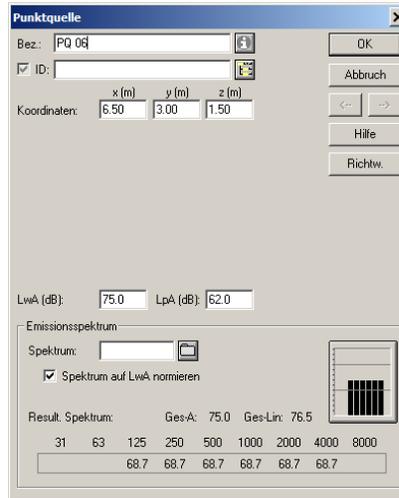
IP 2 stellt einen Arbeitsplatz in der Nähe von Quelle PQ 06 dar.

Gegenwärtig fehlt die Angabe des arbeitsplatz-bezogenen Emissions-Schalldruckpegels L_{pA} (dB) für die Punktquelle PQ 06. Daher wird diese jetzt nachgetragen.

*Emissions-Schalldruck-
pegel eingeben*

- Doppelklicken Sie auf die Punktquelle neben dem Immissionspunkt 2.
- Geben Sie im Feld „ L_{pA} “ der Quelle PQ 06 einen arbeitsplatz-bezogenen Emissions-Schalldruckpegel von $L_{pA} = 62$ dB(A) ein.

Damit ist in diesem Beispiel der A-bewertete Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} um 13 dB kleiner als der A-bewertete Schallleistungspegel LWA.



Angabe des Emissions-Schalldruckpegels L_{pA} für Punktquelle PQ 06

Damit sind alle erforderlichen Angaben zur Berechnung an den Immissionspunkten vorhanden.

- Starten Sie die Pegelberechnung an den Immissionspunkten durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 1/PQ_LQ_IP2.cni

Der in den Dialogen **Immissionspunkt** (oder in der Tabelle **Immissionspunkt**) für den IP 2 angezeigte Pegel wurde unter Verwendung des Emissions-Schalldruckpegels L_{pA} (dB) der referenzierten Quelle bestimmt, ergänzt um die Direktanteile anderer Quellen und die Anteile des Raumschalls resultierend aus dem Teilchenmodell.

1.7 Immissionspunkt an Maschinengruppe platzieren

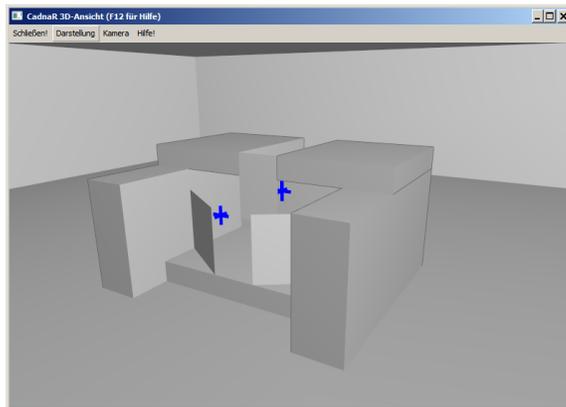
Alternativ zu einer Einzelquelle (siehe Kapitel 1.6) kann auch eine Quellgruppe einem Immissionspunkt, der einen Arbeitsplatz darstellt, zugewiesen werden. Dazu ist zunächst das Maschinenmodell unter Verwendung der **CadnaR**-spezifischen Objekte zu erstellen. Nachdem sich alle Objekte des Maschinenmodells, einschließlich des Immissionspunktes, der den Arbeitsplatz darstellt, in einer Gruppe befinden, erfolgt die Zuweisung der Quellgruppe zum Immissionspunkt automatisch.

Die Vorgehensweise wird nachfolgend anhand eines vorgegebenen Maschinenmodells erläutert.

- Wählen Sie das Teilchenmodell mit einer maximalen Laufzeit von 1000 ms und 1.000.000 Teilchen (siehe Kapitel 9.1.3, Registerkarte „Berechnung“ im **CadnaR** Handbuch).
- Öffnen Sie die nebenstehende Datei.
- Zeigen Sie die 3D-Darstellung an mit STRG+3.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 1/Maschinenmodell.cni

In der Datei befindet sich eine komplexe Maschine, die aus mehreren Hindernissen und Quellen besteht.



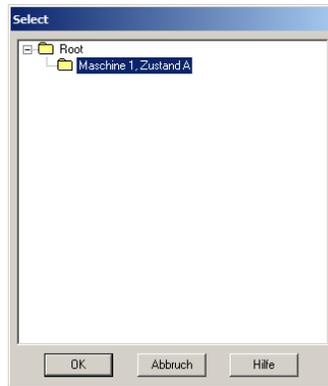
3D-Ansicht einer komplexen Maschine

*Immissionspunkt einer
Quellgruppe zuweisen*

- Geben Sie einen Immissionspunkt IP 1 bei $(x, y, z) = (17, 15, 1.50)$ ein und öffnen Sie den Dialog **Immissionspunkt**.
- Klicken Sie auf das Symbol  am Ende der Zeile „ID“, um den Immissionspunkt der Quellgruppe der Maschine zuzuweisen.

Daraufhin wird der Dialog **Select** des ObjectTree angezeigt.

- Klicken Sie auf „Root“, um den ObjectTree zu öffnen.
- Klicken Sie auf die Gruppenbezeichnung „Maschine 1, Zustand A“ und schließen Sie den Dialog mit OK.



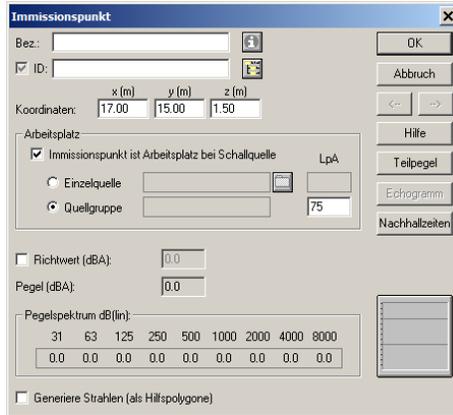
Dialog **Select** des ObjectTree

Daraufhin wird der automatisch erzeugte ID der Gruppe in das ID-Feld des Immissionspunktes eingetragen.

- Aktivieren Sie die Option „Immissionspunkt ist Arbeitsplatz bei Schallquelle“.
- Wählen Sie die Option „Quellgruppe“ und geben Sie einen Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} von 75 dB(A) ein.

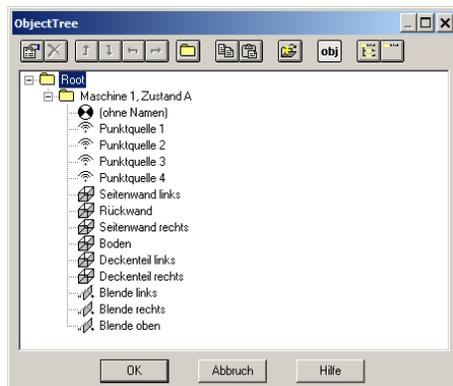
Dieser Emissions-Schalldruckpegel bezieht sich auf die gesamte Maschinenanordnung.

Danach sieht der Dialog wie nachfolgend dargestellt aus.



Immissionspunkt ist Arbeitsplatz an einer Quellgruppe

- Schließen Sie den Dialog **Immissionspunkt** und wählen Sie den Befehl **ObjectTree|Definition** aus dem Menü **Tabellen** aus.
- Klicken Sie auf das Symbol  in der Symbolleiste des Dialogs, um dessen Struktur vollständig zu öffnen.



Aus dem Dialog **ObjectTree** ist ersichtlich, dass der Immissionspunkt jetzt Bestandteil der Quellgruppe ist.

- Starten Sie die Berechnung durch Klick auf das Taschenrechner-Symbol  auf der Symbolleiste.

Im Rahmen einer Vorberechnung wird der an diesem Immissionspunkt unter Halbfreifeldbedingungen eintreffende Schalldruckpegel (Direktschall plus Bodenreflexion) unter Einbeziehung aller Quellen und Hindernisse innerhalb der Gruppe ermittelt. Alle Quellen und Hindernisse außerhalb dieser Quellgruppe sind bei dieser Vorberechnung deaktiviert.

Nach Abschluss der Vorberechnung wird das an diesem Arbeitsplatz berechnete Spektrum so umnormiert, dass der eingegebene Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} resultiert.

Der im Dialog **Immissionspunkt** angezeigte Pegel wurde unter Verwendung des eingegebenen Emissions-Schalldruckpegels L_{pA} (dB) der automatisch referenzierten Quellgruppe und der Raumerückwirkung unter alleiniger Einwirkung dieser Quellgruppe bestimmt.

 Dateien/Tutorial/
Kap 1/Maschinenmodell
2.cni

Kapitel 2 - Horizontales Raster berechnen

Das horizontale Raster zeigt die berechnete Pegelverteilung in einem vorgebbaren Rasterpunktabstand und Höhe über dem Raumboden an (Menü **Raster|Spezifikation**).

Rasterspezifikation

Die Berechnung bezieht sich auf den gesamten Raumgrundfläche, solange keine Rechengebiete vorhanden sind. Mit dem Objekt „Rechengebiet“ kann der Bereich, in dem horizontale Raster berechnet wird, eingegrenzt werden. Es können mehrere Rechengebiete in einer Datei vorhanden sein.

Rechengebiet 

Es stehen zudem folgende Arten der Rasterdarstellung zur Verfügung (Menü **Raster|Darstellung**):

Rasterdarstellung

- Linien gleichen Schallpegels,
- Flächen gleichen Schallpegels,
- Flächenraster mit variabler Oversampling-Rate.

Die Rasterarithmetik gestattet es, ein neues Raster auf Basis von bis zu 6 Eingangsrastern zu berechnen. Diese Funktionen kann zum Beispiel dazu verwendet werden, um die Dämpfung durch Abschirmung A_{bar} auf dem Raster anzuzeigen.

Rasterarithmetik

2.1 Objektfang verwenden

- Starten Sie mit einer „leeren“ Datei indem Sie den Befehl **Neu** aus dem Menü **Datei** wählen.

Zur Vereinfachung der Eingabe von Flächen- und Quaderquellen wird zunächst ein Koordinatengitter definiert, an das neu einzugebende Objekte gefangen werden können.

- Wählen Sie den Befehl **Koordinatengitter** aus dem Menü **Eigenschaften** aus.
- Aktivieren Sie die Option „Koordinatengitter darstellen“ und geben Sie einen Gitterabstand von 5 m ein.
- Schließen Sie den Dialog mit OK.

Koordinatengitter definieren



- Wählen Sie den Befehl **Objektfang** aus dem Menü **Eigenschaften** aus.
- Stellen Sie sicher, dass die Option „Objektfang an aktivem Koordinatengitter“ aktiviert ist.

Objektfang einstellen



Bei Angabe eines „Fangradius in Pixel“ (hier: 10 Bildschirmpixel) ist dieser unabhängig vom gewählten Maßstab.

- Schließen Sie den Dialog mit OK.

2.2 Flächenquellen eingeben

- Wählen Sie die Flächenquelle  aus dem Werkzeugkasten aus und ziehen Sie mit dem Werkzeug ein Fläche von Koordinatengitterpunkt $(x_{min}, y_{min})=(5,5)$ m bis $(x_{max}, y_{max})=(10,15)$ m auf.

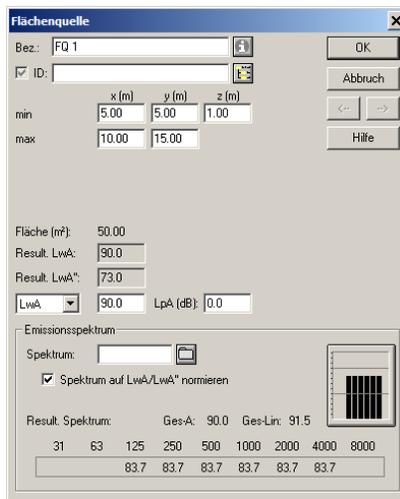
Flächenquelle eingeben

Beachten Sie dabei die Koordinatenanzeige in der Statuszeile. Befindet sich bei Klick auf die Maustaste ein Gitterpunkt innerhalb des Fangradius' um den Mauszeiger, so wird der Punkt auf diesen Gitterpunkt gefangen.

- Wechseln Sie in den Editiermodus, klicken Sie doppelt auf den Rand der Flächenquelle und geben Sie als Bezeichnung "FQ 1" ein.
- Aktivieren Sie die Option „Spektrum auf LwA normieren“ und geben Sie im Feld „LwA“ einen A-bewerteten Schallleistungspegel von 90 dB(A) und eine Quellhöhe von $z=1$ m ein.

 Für einen Frequenzbereich von 125-4000 Hz (siehe Kapitel 9.1.3.1, Registerkarte „Allgemein“ im **CadnaR**-Handbuch) ist der lineare Oktavbandpegel um etwa 6.3 dB kleiner als der A-Summenpegel.

- Schließen Sie den Dialog mit OK.



	x (m)	y (m)	z (m)
min	5.00	5.00	1.00
max	10.00	15.00	

Fläche (m²): 50.00
 Result. LwA: 90.0
 Result. LwA*: 73.0
 LwA: 90.0 LpA (dB): 0.0

Spektrum: Spektrum auf LwA/LwA* normieren

Result. Spektrum: Ges-A: 90.0 Ges-Lin: 91.5

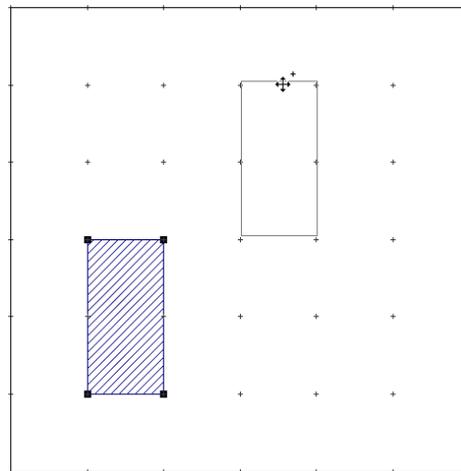
31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
83.7	83.7	83.7	83.7	83.7	83.7	83.7	83.7	83.7

Flächenquelle kopieren

Im nächsten Schritt wird auf grafischem Weg eine Kopie der Flächenquelle erzeugt und anschließend editiert.

- Markieren Sie dazu die Flächenquelle durch einen Klick mit der Maustaste auf dessen Rand und lassen Sie die Maustaste los.
- Klicken Sie erneut auf das Objekt, drücken Sie dann die STRG-Taste und halten diese gedrückt.

Das Objekt wird in der Grafik durch ein gepfeiltes Kreuz mit einem Plus-Zeichen markiert.



- Ziehen Sie die Kopie an eine neue Position - wie in der Darstellung angezeigt (etwa $(x_{min}, y_{min})=(15,15)$ m bis $(x_{max}, y_{max})=(20,25)$ m).
- Lassen jetzt zuerst die Maustaste los und erst danach die STRG-Taste.

Das duplizierte Objekt ist jetzt neben dem Original in der Grafik vorhanden. Das Duplikat hat dieselben Eigenschaften wie das Original, aber abweichende Ortskoordinaten.

- ☞ Wenn Sie zuerst die STRG-Taste und danach die Maustaste loslassen, wird das Original lediglich verschoben.

☞ Der Objektfang auf das Koordinatengitter ist nur bei der Neueingabe und nicht beim grafischen Kopieren von Objekten wirksam.

- Doppelklicken Sie jetzt auf die zweite Flächenquelle.
- Benennen Sie die Quelle in FQ 2 um und deaktivieren Sie die Option „Spektrum auf LwA normieren“.

In diesem Fall kann **CadnaR** statt der Eingabe des A-bewerteten Schallleistungspegels ein Emissionsspektrum referenziert werden. Dazu stehen zwei Eingabemöglichkeiten zur Verfügung:

Spektrum eingeben und auswählen

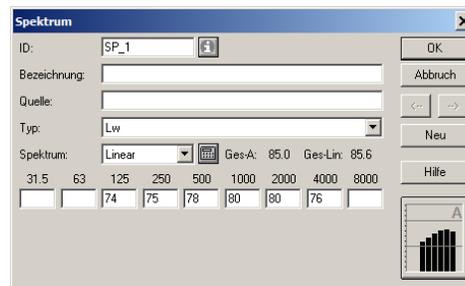
1. Eingabe eines Zahlenwertes im Feld „Spektrum“ im jeweiligen Quelldialog. Der eingegebene Wert wird als linearer (unbewerteter) Schallleistungspegel je Oktavband innerhalb des eingestellten Frequenzbereichs interpretiert.
2. Auswahl eines Emissionsspektrums aus der lokalen oder globalen Bibliothek **Schalleistung**.

Im Weiteren wird die Vorgehensweise für Möglichkeit 2 erläutert.

- Klicken Sie auf das Dateiauswahlsymbol , um die lokale Bibliothek **Schalleistung** zu öffnen.
- Klicken Sie mit der rechten Maustaste in die Tabelle und wählen Sie den Befehl **Einfügen nachher** aus dem Kontextmenü aus.

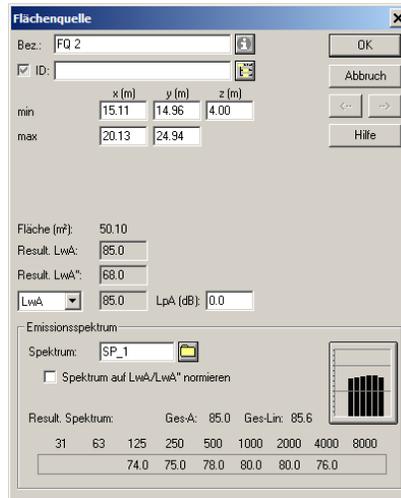


- Doppelklicken Sie in die neue Tabellenzeile, um den Dialog **Spektrum** zu öffnen.
- ☞ Alternativ kann die lokale Bibliothek **Schalleistung**, nachdem der Quelldialog geschlossen wurde, über das Menü **Tabellen|Bibliotheken (lokal)|Schalleistung** geöffnet und editiert werden.
- Geben Sie als Spektren-ID „SP_1“ ein.
- Geben Sie bei Einstellung „linear“ nachfolgend dargestellten Oktavwerte von 125 bis 4000 Hz ein. Die Oktaven 31.5, 63 und 8000 Hz bleiben leer.



Das eingegebene Spektrum hat einen A-bewerteten Schallleistungspegel von 85 dB(A).

- Schließen Sie beide Dialog mit OK: Das eingegebene Spektrum wird in der Quelle zugewiesen.
- Geben Sie jetzt noch eine Quellhöhe von $z=4$ m für FQ 2 ein.



- Schließen Sie den Dialog **Flächenquelle** mit OK.

☞ Das Emissionsspektrum ist damit auf ein Bibliotheksobjekt referenziert. Werden Änderungen an diesem Spektrum über das Menü **Tabellen|Bibliotheken (global)|Schalleistung** vorgenommen, so führt das automatisch zu einer Änderung der Emission aller Quellen, die dieses Spektrum referenzieren.

2.3 Quaderquellen eingeben

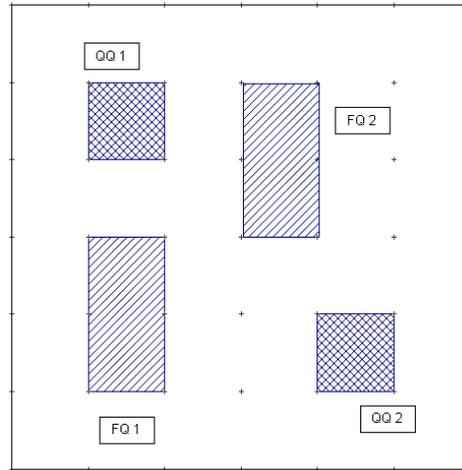
- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei, wenn Sie nicht ausgehend vom vorigen Abschnitt fortfahren.
- Wählen Sie das Objekt "Quaderquelle" aus dem Werkzeugkasten.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 2/FQ.cni



Die Quaderquelle ist ein achsparalleler Kubus, der allseitig mit Flächenquellen belegt ist. Dieser Quelltyp strahlt standardmäßig allseitig Schall ab und wirkt gleichzeitig abschirmend. Sie ist daher besonders zur Modellierung von Maschinen geeignet, die sowohl Quelle, als auch Hindernis darstellen. Die Abstrahlung einzelner Flächen kann unterdrückt oder auch die Hinderniswirkung pauschal deaktiviert werden. Die Oberfläche kann schallabsorbierende Eigenschaften aufweisen, die bei der Reflexionsrechnung berücksichtigt werden.

- Geben Sie zwei Quaderquellen mit nachfolgenden Koordinaten unter Verwendung des Objektfangs am Koordinatengitter ein..
 - Quaderquelle QQ 1: von $(x_{\min}, y_{\min})=(5, 20)$ m bis $(x_{\max}, y_{\max})=(20, 25)$ m, Höhen: $(z_{\min}, z_{\max})=(0, 4)$ m
 - Quaderquelle QQ 2: von $(x_{\min}, y_{\min})=(20, 5)$ m bis $(x_{\max}, y_{\max})=(25, 10)$ m, Höhen: $(z_{\min}, z_{\max})=(2, 4)$ m



☞ Die Quellen können unter Verwendung des Objekts "Textrahmen" aus dem Werkzeugkasten bezeichnet werden.

- Öffnen Sie den Dialog **3D-Ansicht**, um den Raum und die Objekte anzuzeigen.

Geometrie in 3D editieren

Mit Hilfe der 3D-Ansicht kann komfortabel die Geometrie der Objekte beurteilt werden. Zudem können Sie in der 3D-Ansicht auch Objekte anklicken, um deren Dialog anzuzeigen.

- Doppelklicken Sie z.B. auf die hinten liegende Quaderquelle und ändern Sie deren Höhe von 4 auf 3 m.
- Schließen Sie den Dialog **Quaderquelle** mit OK.

Die Änderung der Quellgeometrie wird unmittelbar in der 3D-Ansicht angezeigt. Damit erstreckt sich die Quaderquelle 1 vom Boden bis in 3 m Höhe. Hingegen schwebt die Quaderquelle 2 in 2 m Höhe über dem Boden und erstreckt sich bis in 4 m Höhe.

Anschließend werden die Emissionsdaten der Quaderquellen editiert.

Emissionsdaten editieren

- Geben Sie für Quaderquelle QQ 1 einen LwA von 88 dB(A) und für Quaderquelle QQ 2 einen LwA von 90 dB(A) ein.

Die Emission einzelner Flächenquellen auf der Oberfläche einer Quaderquelle, kann unterdrückt werden.

- Deaktivieren Sie die Emission der westlichen und südlichen Flächenquelle der Quaderquelle QQ 1.

Wie aus nachfolgender linker Abbildung ersichtlich sind dazu die Optionen W und S im Quelldialog zu aktivieren. Dadurch reduziert sich die abstrahlende Fläche, was zu einer Änderung des angezeigten flächenbezogenen Schallleistungspegels LwA' führt.

☞ Nicht emittierende Flächenschallquellen werden in der 3D-Ansicht die nicht dargestellt.

<p>Emissions- und Geometriedaten der Quaderquelle QQ 1</p>	<p>Emissions- und Geometriedaten der Quaderquelle QQ 2</p>

*Absorptionsspektrum
auswählen*

Die Absorptionseigenschaften der Oberfläche der Quaderquelle können als Zahlenwert eingegeben (dann gilt dieser Wert für alle Oktaven) oder als Spektrum aus der lokalen oder globalen Bibliothek gewählt werden.

In diesem Beispiel wird ein mitgeliefertes Absorptionsspektrum aus der globalen Bibliothek **Absorptionen** referenziert. Gehen Sie dazu wie folgt vor:

- Öffnen Sie den Dialog der Quaderquelle QQ1.
- Klicken Sie bei gedrückter SHIFT-Taste auf die Schaltfläche „Absorption“.



- Klicken Sie einmal auf das Spektrum „Alfa 0,8“ und bestätigen Sie die Auswahl mit OK.



Das Spektrum wird übernommen und als Balkendiagramm auf der Schaltfläche dargestellt.

- Gehen Sie analog für die Quaderquelle QQ2 vor.
- ☞ Über die Schaltflächen „Streuung“ und „Transmission“ kann zusätzlich der Streu- und der Transmissionsgrad ausgewählt werden. In diesem Beispiel wird darauf verzichtet. Dann gelten die Standardwerte (siehe Kapitel 5.1, Abschnitt "Standardwerte" im **CadnaR**-Handbuch).

2.4 Rasterberechnung starten

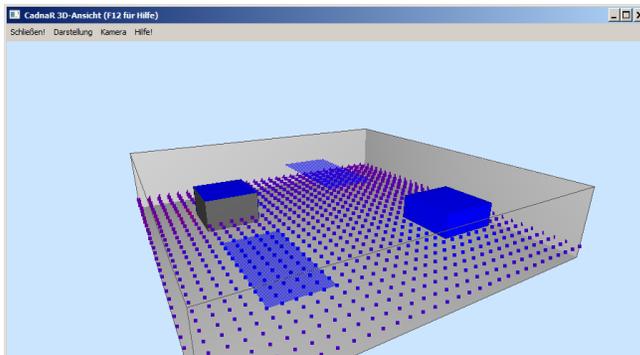
- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei, wenn Sie nicht ausgehend vom vorigen Abschnitt fortfahren.
- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **Berechnung|Konfiguration**).
- Stellen Sie sicher, dass auf der Registerkarte „Berechnung“ das Verfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“, mit Spiegelquellen bis einschließlich der nullten Ordnung und mit Teilchen bis einschließlich der 5ten Ordnung mit einer Referenz-Teilchenzahl von 100.000 gewählt ist.
- Starten Sie die Rasterberechnung (Menü **Raster**) oder über das Symbol

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 2/FQ_QQ.cni



Während der Berechnung wird der Berechnungsfortschritt angezeigt. Die Rasterberechnung kann abgebrochen werden (Schaltfläche „Stop“). Die benötigte Rechenzeit wird lokalen Textbaustein CALC_TIME und im Dialog **Raster|Statistik** angezeigt.

- Öffnen Sie nach Abschluss der Berechnung den Dialog **3D-Ansicht**.



3D-Ansicht nach erfolgter Rasterberechnung

Die Rasterpunkte befinden sich in einer Höhe von 1 m über dem Boden (siehe Menü **Raster|Spezifikation**).

3D-Darstellungsoptionen

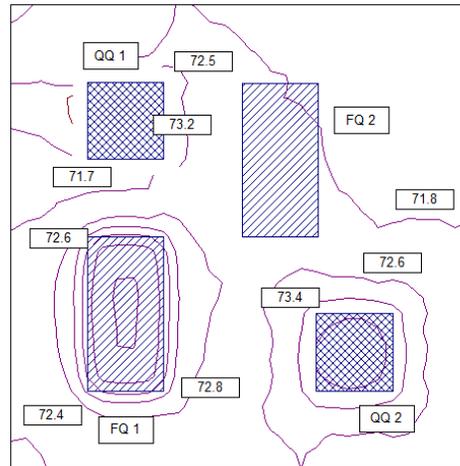
Über die + (plus) und - (minus) Taste können Sie die Rasterpunkte vergrößern oder verkleinern. Zudem kann für das Raster durch Drücken der Taste R zwischen folgenden Darstellungsoptionen zyklisch durchgeschaltet werden:

- aus
- Rasterpunkte
- Isolinien
- Rasterpunkte und Isolinien
- Rasterpunkte (Höhe = Pegel)
- Isolinien (Höhe = Pegel)
- Flächenraster, transparent
- Flächenraster, opaque

☞ Zu allen verfügbaren Darstellungsoptionen siehe Kapitel 9.1.4.1 "3D-Ansicht" im **CadnaR**-Handbuch.

Pegelrahmen verwenden

- Schließen Sie die 3D-Ansicht und wählen Sie dazu das Objekt  aus dem Werkzeugkasten aus.
- Klicken Sie an beliebigen Stellen innerhalb des Rasters, um den dort vorliegenden Pegel in einem Rahmen anzuzeigen.



- Sichern Sie das Raster über Menü **Raster|Speichern unter** (z.B. unter dem Namen "Raster Ordnung 5").
 - Öffnen Sie jetzt den Dialog **Konfiguration** im Menü **Berechnung** und erhöhen Sie die maximale Reflexionsordnung des Teilchenmodells von 5 auf 50.
 - Starten Sie erneut die Rasterberechnung.
 - Sichern Sie das Raster über Menü **Raster|Speichern unter** (z.B. unter dem Namen "Raster Ordnung 50").
- ☞ Die Rechenzeit bei Anwendung des Teilchenmodells steigt nicht exponentiell, sondern linear mit der Ordnungszahl. So dauert die Berechnung bis zur 50.Ordnung zehnmal so lange wie bis zur 5.Ordnung.

2.5 Rasterarithmetik anwenden

Die Rasterarithmetik kann verwendet werden, um den Pegelzuwachs durch Erhöhung der Reflexionsordnung im Teilchenmodell von 5 auf 50 auf dem Raster darzustellen.

- Öffnen Sie den Dialog **Rasterarithmetik** im Menü **Raster**.

Da die momentane Bildschirmanzeige das Raster bis 50.Ordnung enthält, muss nur die Datei mit dem Raster bis 5.Ordnung geladen werden.

- Klicken Sie dazu auf das Dateiauswahl-Symbol  am Ende der Zeile R1.
- Wählen Sie die gespeicherte Rasterdatei **Raster Ordnung 5.rst** aus.
- Tragen Sie als Ausdruck in „exp0“ ein: $r0-r1$.

Dabei bezeichnet $r0$ das aktuelle Raster (mit den Pegeln bis 50.Ordnung) und $r1$ das geladene Raster (mit den Pegeln bis 5.Ordnung).



Dialog **Rasterarithmetik** mit Einstellung zur Erzeugung des Differenzrasters $r0-r1$

- ☞ Alternativ können beide Raster aus den nebenstehend bezeichneten Dateien in R1 und R2 geladen werden. Der Ausdruck lautet dann: $r1-r2$ oder $r2-r1$.

 Dateien/Tutorial/
Kap 2/Raster Ordnung
5.rst & Raster Ordnung
50.rst

Die Rasterlinien sind zunächst nicht sichtbar, da die Farbklassen nicht an die niedrigeren Differenzpegel angepasst sind.

- Öffnen Sie dazu den Dialog **Rasterdarstellung** im Menü **Raster**.
- Ändern Sie den Darstellungsbereich wie unten angezeigt.

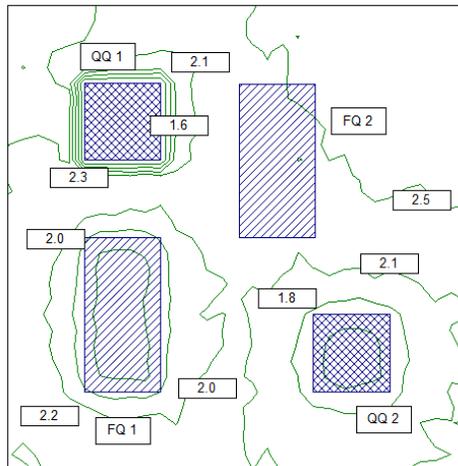


Änderung des Raster-Darstellungsbereichs

- Schließen Sie den Dialog mit OK.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 2/ FQ_QQ mit
 Differenzraster.cni

Die Darstellung zeigt die Pegelerhöhung infolge der Änderung der maximalen Reflexionsordnung des Teilchenmodells von 5 auf 50.



Pegelerhöhung durch Erhöhung der maximalen Reflexionsordnung

Kapitel 3 - 3D-Pegelverteilung berechnen

Unter 3D-Pegelverteilung wird hier ein dreidimensionales oder volumetrisches Raster in alle drei Koordinatenrichtungen verstanden. Dieses volumetrische Raster wird datentechnisch auch als Voxelgitter bezeichnet (wobei das Wort *voxel* eine Wortkombination aus den englischen Begriffen *volumetric* und *pixel* ist).

Die Berechnung der 3D-Pegelverteilung erfolgt auf Basis der im Dialog **Raumdaten** festgelegten Raumabmessungen. Eine Beschränkung auf Teilbereiche des Raumes ist nicht möglich.

3.1 Hindernisquader eingeben

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei, die schon zwei Flächen- und zwei Quaderquellen enthält.
- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **Berechnung|Konfiguration**).
- Stellen Sie sicher, dass auf der Registerkarte „Berechnung“ das Verfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“, mit Spiegelquellen bis einschließlich der nullten Ordnung und mit Teilchen bis einschließlich der 5ten Ordnung mit einer Referenz-Teilchenzahl von 100.000 gewählt ist.
- Wählen Sie das Objekt „Hindernisquader“ aus dem Werkzeugkasten

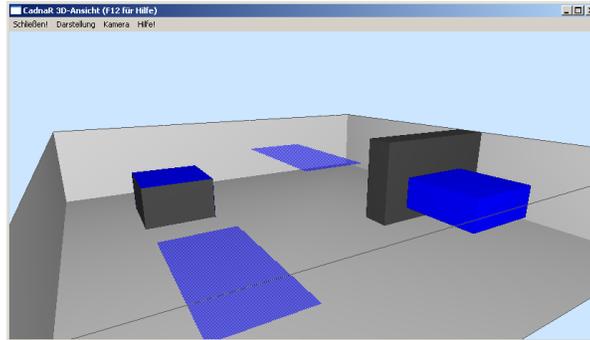
📁 Dateien/Tutorial/
Kap 3/FQ_QQ.cni



Der Hindernisquader ist ein achsenparalleler Kubus, der abschirmend wirkt. Er wird dazu verwendet, um Hindernisse zu modellieren, die in Richtung der Flächennormalen nicht dünn im Verhältnis zur Wellenlänge sind. Die Oberfläche kann - wie bei der Quaderquelle - schallabsorbierende Eigenschaften aufweisen, die bei der Reflexionsrechnung berücksichtigt werden (Standard: nicht absorbierend).

- Ziehen Sie mit dem Werkzeug ein Fläche von $(x_{\min}, y_{\min})=(20, 12)$ m bis $(x_{\max}, y_{\max})=(30, 14)$ m auf.
- Geben Sie als Bezeichnung "Treppenhaus" und eine Höhe von $z=6$ m ein.

In diesem Beispiel soll der Hindernisquader ein Treppenhaus darstellen, das in den Raum hineinragt.



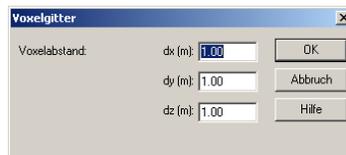
Raum mit Treppenhaus

Absorptionseigenschaften

In der Standardeinstellung sind den Oberflächen des Hindernisquaders noch keine Absorptionseigenschaften zugewiesen. In diesem Beispiel wird ein mitgeliefertes Absorptionsspektrum aus der globalen Bibliothek **Ab-sorptionen** referenziert. Gehen Sie dazu wie folgt vor:

- Öffnen Sie den Dialog des Hindernisquaders.
- Klicken Sie bei gedrückt gehaltener SHIFT-Taste auf die Schaltfläche „Absorption“.
- Klicken Sie einmal auf das Spektrum „Alfa 0,3“ und bestätigen Sie die Auswahl mit OK, um das Spektrum zu übernehmen.
- Überprüfen Sie die aktuellen Einstellungen für das Voxelgitter (Menü **Voxelgitter|Spezifikation**).

Der Voxelabstand soll auf $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 1$ m stehen.



- Starten Sie die Berechnung des Voxelgitters über das Menü **Voxelgitter**.

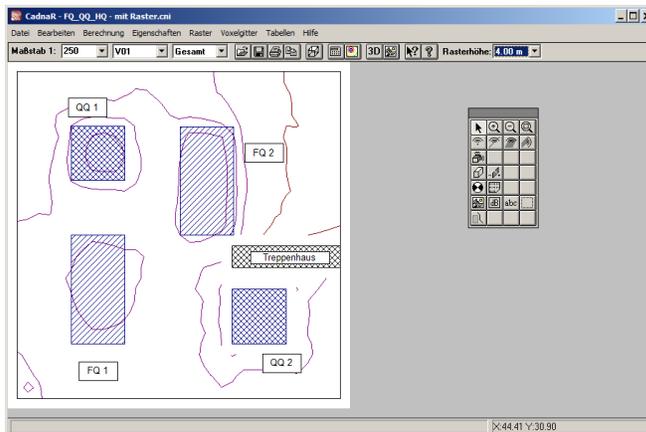
Nach Abschluss der Berechnung wird ein zusätzliches Listenfeld auf der Symbolleiste des **CadnaR**-Hauptfensters angezeigt, das die Auswahl der angezeigten Rasterhöhe z gestattet.



Listenfeld zur Auswahl der Rasterhöhe z

- Setzen Sie den Fokus in dieses Listenfeld, indem Sie mit der Maus eine Höhe auswählen.
- Jetzt können Sie sich mit den Pfeiltasten oben/unten durch die Liste bewegen.

Auf dem Bildschirm wird jeweils das Raster für die aktuell gewählte Höhe angezeigt.



Linienraster in 4 m Höhe

3.2 Schirm eingeben

Der Schirm steht senkrecht auf dem Boden und besteht immer aus zwei Polygonpunkten. Er kann auch als schwebender Schirm eingegeben werden (d.h. „schwebend“ über dem Raumboden). Die Oberfläche des Schirms kann schallabsorbierende/streuende/transmittierende Eigenschaften aufweisen, die bei der Reflexionsrechnung berücksichtigt werden (Streuung/Transmission nur für „Teilchenmodell“, siehe Kapitel 5.1 im **CadnaR**-Handbuch).

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 3/FQ_QQ_HQ.eni

- Verwenden Sie die Datei aus dem vorigen Abschnitt.
- Aktivieren Sie das Koordinatengitter.



- Aktivieren Sie den Objektfang mit einem Fangradius von 10 Pixeln.



- Wählen Sie das Objekt „Schirm“ aus dem Werkzeugkasten und zeichnen Sie mit der Maus den ersten Schirm von $(x_1, y_1) = (22, 30)$ m bis $(x_2, y_2) = (22, 16)$ m.
- Doppelklicken Sie auf den Schirm und geben Sie eine z-Höhe bei P2 von 4 m ein.

- Klicken Sie auf die Schaltfläche "Absorption" und geben Sie nachfolgendes Absorptionsspektrum in die lokale Bibliothek ein.

Bezeichnung	ID	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Quelle
	ABS_1			0.10	0.20	0.35	0.50	0.60	0.70		

- Referenzieren Sie dieses Spektrum für die linke und die rechte Seite des Schirms.

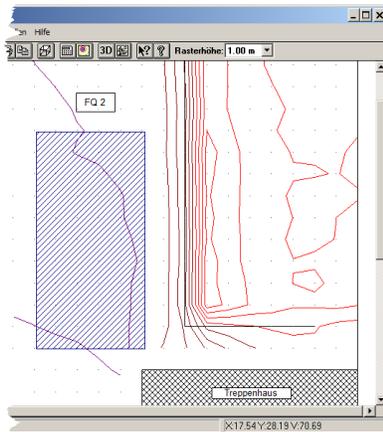
- Geben Sie den zweiten Schirm von $(x_1, y_1) = (22, 16)$ m bis $(x_2, y_2) = (28, 16)$ m ein.

Die Schirmhöhe und die Absorptionseigenschaften von Schirm 2 werden automatisch von Schirm 1 übernommen.

3.3 Voxelgitter berechnen

- Starten Sie die Berechnung des Voxelgitters über den Befehl **Voxelgitter berechnen** im Menü **Voxelgitter**.
- Schalten Sie im Dialog **Rasterdarstellung** (Menü **Raster**) auf die Option „Linien gleichen Schallpegels“ um.
- Wählen sie das Objekt „Pegelrahmen“ und platzieren Sie zwei Pegelrahmen, einen außerhalb und einen innerhalb des von den Schirmen abgeschirmten Bereichs (siehe folgende Abbildung).

Beispiele/Kap 3/
FQ_QQ_HQ_Schirm.cni



Pegelverlauf auf dem Voxelgitter in 1 m Höhe über Boden

- Wählen Sie aus dem Listenfeld auf der Symbolleiste die anderen Höhen nacheinander aus.

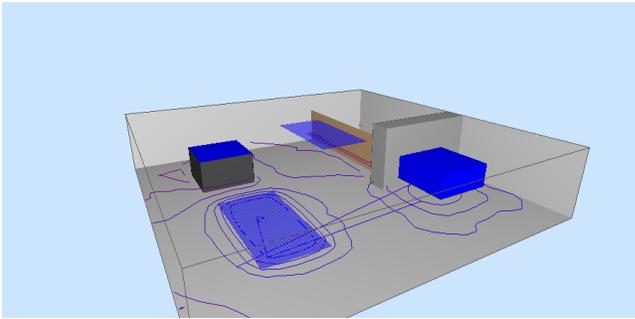
Da der Voxelabstand standardmäßig auf $\Delta z=1$ m steht, liegen insgesamt 7 Raster vor (einschließlich der Höhe $z=0$ m und bei einer Raumhöhe von 6 m).

3.4 3D-Ansichtsoptionen

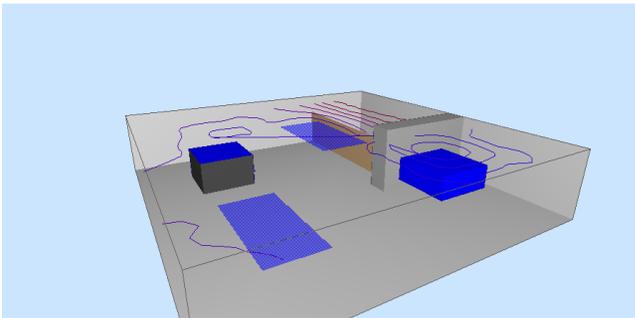
- Öffnen Sie die 3D-Ansicht (über das Menü **Eigenschaften** oder durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste).

Auf das Listenfeld „Rasterhöhe“ auf der Symbolleiste des **CadnaR**-Hauptfensters kann auch bei geöffneter 3D-Ansicht zugegriffen werden.

- Wählen Sie eine andere Höhe aus, um das Raster in dieser Höhe anzuzeigen.



Raster in 1 m Höhe

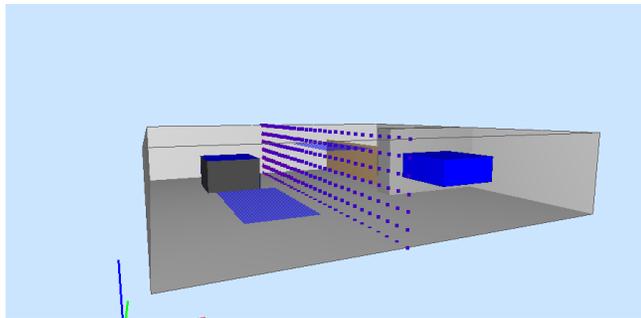


Raster in 5 m Höhe

- Drücken Sie in der 3D-Ansicht die Taste R solange, bis das Raster nicht mehr dargestellt wird.
- Drücken Sie jetzt die X-Taste.

Daraufhin wird die Ergebnisse des Voxelgitters als Punkteraster in einer senkrecht zur x-Achse stehenden Projektionsebene angezeigt.

- Drücken Sie jetzt wiederholt die X-Taste, um die Position der Projektionsebene entlang der x-Achse durch den Raum zu verschieben. Die Schritte entsprechen dem Voxelabstand dx (siehe Menü **Voxelgitter**|**Spezifikation**).
- ☞ Das Koordinatensystem mit den Farben Rot-Grün-Blau (RGB) entspricht der Abfolge der Koordinatenrichtungen XYZ (z.B.: Rot R entspricht der x-Richtung etc.).



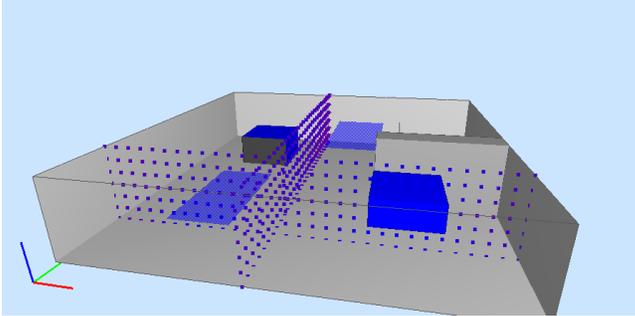
Voxelgitter in x-Richtung (x-Koordinate = 13 m)

- Wählen Sie aus dem Menü **Kamera** der **CadnaR 3D-Ansicht** den Befehl **Preset speichern 1** aus.



Damit wird dieser Betrachtungswinkel und die anderen Darstellungsoptionen als Preset 1 gespeichert.

- Drücken Sie jetzt wiederholt die Y-Taste, um die Position der Projektionsebene entlang der y-Achse durch den Raum zu verschieben. Die Schritte entsprechen dem Voxelabstand dy .



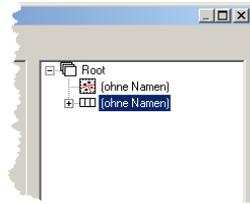
Voxelgitter in x- und y-Richtung ($x=13\text{ m}$, $y=6\text{ m}$)

- Wählen Sie aus dem Menü **Kamera** der **CadnaR 3D-Ansicht** jetzt den Befehl **Preset speichern 2** aus, um die Ansicht als Preset 2 zu speichern.



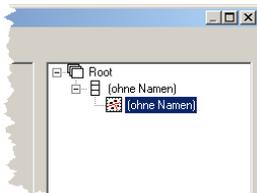
3.5 Plot-Designer editieren

- Schließen Sie die 3D-Ansicht und klicken Sie auf das Drucker-Symbol  auf der Symbolleiste, um den Dialog **Drucken Grafik** zu öffnen und klicken Sie auf die Schaltfläche „Plot-Designer“.
- Wählen Sie den horizontalen Container  durch Klick auf dessen Symbol in der Legendenvorschau in der rechten Spalte aus.
- Löschen Sie den horizontalen Container durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste des Dialogs **Plot-Designer** und bestätigen Sie dazu die Sicherheitsabfrage.



Löschen des horizontalen Containers

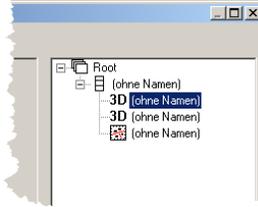
- Setzen Sie den Fokus auf die Planzelle „(ohne Namen)“ und klicken Sie das Symbol , um einen vertikalen Container einzufügen.
- Setzen Sie den Fokus erneut auf die Planzelle „(ohne Namen)“.
- Verschieben Sie die Planzelle durch einen Klick auf das Symbol  in den vertikalen Container.



Planzelle im vertikalen Container

- Setzen Sie den Fokus auf den vertikalen Container und klicken Sie zweimal auf das Symbol , um zwei 3D-Zellen einzufügen.

Danach siehe die Legrendefinition wie folgt aus:



Legrendefinition nach dem Einfügen von zwei 3D-Zellen

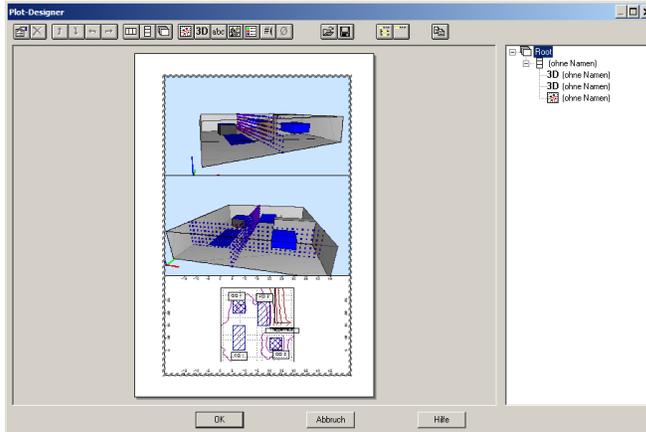
- Doppelklicken Sie in der Legende auf die erste 3D-Zelle.
- Wählen den „Preset 1“ aus dem Listefeld auf der Registerkarte „3D-Ansicht“ aus.



Preset 1 auswählen

- Schließen Sie den Dialog mit OK.
- Doppelklicken Sie in der Legende auf die zweite 3D-Zelle.
- Wählen den „Preset 2“ aus dem Listefeld auf der Registerkarte „3D-Ansicht“ aus.
- Schließen Sie den Dialog erneut mit OK.

In der Vorschau werden jetzt die in den Presets 1 und 2 gespeicherten Ansichten und darunter die Planansicht angezeigt.



Plot-Designer mit zwei 3D-Ansichten und der Plandarstellung

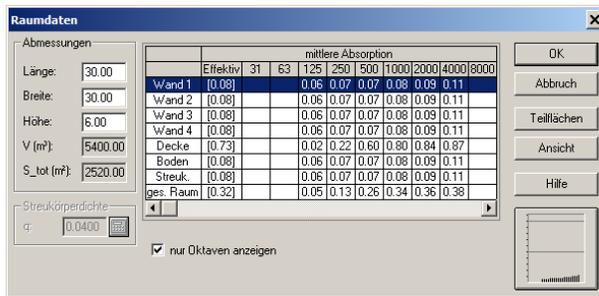
☞ Diese Formatierung der Legende kann über das Symbol  gespeichert und in einer anderen Datei wieder geladen werden (dann über Symbol ).

☞ Mit **CadnaR** werden diverse Legendendefinitionen mitgeliefert, die Sie unmittelbar für verschiedene DIN-Blattformate verwenden können.

 PlotDesigner/Plot
Vorlagen DIN

Kapitel 4 - Raumeigenschaften eingeben

- Wählen Sie den Befehl **Neu** aus dem Menü **Datei**.
- Öffnen Sie den Dialog **Raumdaten** über das Menü **Eigenschaften**|**Raum** oder klicken Sie alternativ auf das Symbol .



Dialog **Raumdaten**: Ausgangszustand

Der Dialog **Raumdaten** dient zur Eingabe der Raumabmessungen, der Auswahl der Belegung der einzelnen Raumbegrenzungsflächen (bzw. eventueller Teilflächen) und der Streukörperdichte. Die Streukörperdichte wird zur Abschätzung des diffus gestreuten Schalleinteils bei der Berechnung der Schallausbreitungskurve nach VDI 3760 benötigt. Bei statistischer Berechnung kann die Streukörperabsorption bei der Berechnung der äquivalenten Absorptionsfläche A (und mithin der Nachhallzeit T) berücksichtigt werden oder unberücksichtigt bleiben.

In diesem Dialogbereich werden die Abmessungen des Raums eingegeben (in Metern). Die Raumhöhe ist die akustisch relevante Raumhöhe, die z.B. bei absorbierenden Decken bis zu deren Unterkante reicht. Der Luftabstand einer absorbierenden Decke wird bei der Berechnung des effektiven Raumvolumens im Zuge der Berechnung berücksichtigt.

Abmessungen

Zusätzlich wird das sich aus den Raumabmessungen ergebende Raumvolumen V (in m^3) und die Raumbofläche S_{tot} (in m^2) angezeigt. In

beiden Angaben wird das Volumen bzw. die Oberfläche ggf. vorhandener Hindernisse oder Quellen nicht berücksichtigt.

Streukörperdichte

Die Streukörperdichte q im Raum kann entweder eingegeben oder nach Klick auf das Rechnersymbol aus einer vorgegebenen Liste gewählt oder aus Geometriedaten berechnet werden.

- ☞ Die Streukörperdichte ist nur für die Berechnungsverfahren „Diffusfeld (statistisch)“ und „VDI 3760“ relevant.

Schallabsorptionsgrade zuweisen

Die Tabelle zeigt die aktuellen mittleren Absorptionswerten in Oktav- oder Terzbandbreite (abhängig von der Option „nur Oktaven“) für die sechs Raumbegrenzungsflächen und die Streukörperabsorption.

- Doppelklicken Sie in die Tabelle, um die Tabelle **Teilflächenliste** zu öffnen.
- Doppelklicken Sie in die Zeile „Wand 1“, um den Dialog **Teilfläche** für „Wand 1“ zu öffnen, über den schallabsorbierende Konstruktionen aus der mitgelieferten Datenbank ausgewählt werden.

Das Piktogramm zeigt in hellblauer Farbe die Orientierung der Teilfläche im Raum an (vordere Wand 1 bis linke Wand 4 entgegen dem Uhrzeigersinn).

Neben der Totalbelegung der Teilfläche stehen weitere Optionen zur Beschränkung des belegten Wandbereichs zur Verfügung (zu alle Optionen

siehe Kapitel 9.1.4.2 "Raum", Abschnitt "Belegung", im **CadnaR**-Handbuch).

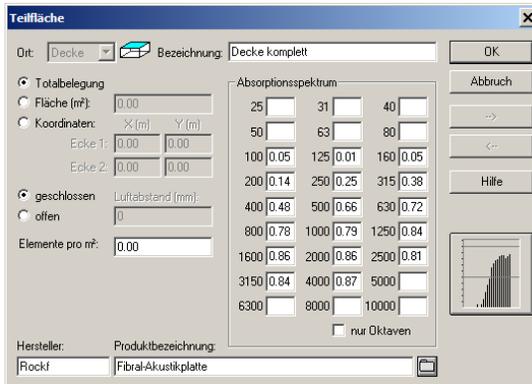
- Schließen Sie den Dialog **Teilfläche** für Wand 1 und doppelklicken Sie in die Tabellenzeile „Decke“.
- Klicken Sie auf das Dateiauswahlsymbol  unten rechts im Dialog (Bereiche „Hersteller/Produktbezeichnung“).

Absorbierende Decke auswählen

Daraufhin wird die Datenbanktabelle angezeigt.

- Wählen Sie aus der Tabelle das Produkt „Rockfon Fibral-Akustikplatte“ mit einem Abstand von 0 mm aus.

Nach erfolgter Auswahl wird die Produktbezeichnung und das Spektrum als Balkendiagramm angezeigt.



Teilfläche

Ort: Bezeichnung:

Totalbelegung
 Fläche (m²):
 Koordinaten: X (m) Y (m)
 Ecke 1:
 Ecke 2:
 geschlossen Luftabstand (mm):
 offen
 Elemente pro m²:

Hersteller: Produktbezeichnung:

25	31	40
50	63	80
100	125	160
200	250	315
400	500	630
800	1000	1250
1600	2000	2500
3150	4000	5000
6300	8000	10000

nur Oktaven

Dialog **Teilfläche** nach Auswahl des Deckenabsorbers

- Schließen Sie den Dialog **Teilfläche** mit OK.

Daraufhin wird der mittlere Absorptionsgrad je Oktave im Dialog **Raumdaten** für die Teilfläche „Decke“ aktualisiert und der Gesamt-Absorptionsgrad neu berechnet.

4.1 Teilflächen editieren

Weiterhin soll in diesem Beispiel die rechte untere Raumecke absorbierend ausgekleidet und durch Schirme vom übrigen Raumbereich abgetrennt werden.

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei, wenn Sie nicht ausgehend vom vorigen Abschnitt fortfahren.
- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **Berechnung**|**Konfiguration**).
- Stellen Sie sicher, dass auf der Registerkarte „Berechnung“ das kombinierte Verfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“, mit Spiegelquellen bis zur nullten Ordnung und mit Teilchen bis zur 5-ter Ordnung mit einer Referenz-Teilchenzahl von 100.000 gewählt ist.
- Öffnen Sie den Dialog **Raumdaten** und klicken Sie auf die Schaltfläche „Teilflächen“.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 4/Decke absorbierend.eni

Ort		Abbruch	Kopieren	Drucken...	Schrittart...	Hilfe	Absorptionsgrad															
Ort	Bezeichnung	Fläche																				
	(m²)	25	31	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	
Wand 1	180.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0	
Wand 2	180.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0	
Wand 3	180.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0	
Wand 4	180.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0	
Decke	Decke komplett	900.00						0.05	0.01	0.05	0.14	0.25	0.38	0.48	0.66	0.72	0.78	0.79	0.84	0.86	0	
Boden	900.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0	
Streuk								0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0	

Tabelle **Teilflächenliste** (absorbierende Decke schon ausgewählt, siehe voriges Kapitel)

In der Tabelle **Teilflächenliste** können über deren Kontextmenü Teilflächen hinzugefügt, editiert oder gelöscht werden. Standardmäßig existiert pro Raumbegrenzungsfläche jeweils eine Teilfläche mit Totalbelegung, d. h. die Teilfläche nimmt die komplette Fläche ein, die sich aus den Raumabmessungen ergibt.

Teilfläche auf Wand 1
einfügen

Um die rechte untere Raumecke absorbierend auszukleiden, ist zunächst eine Teilfläche in Wand 1 einzufügen.

- Klicken Sie mit der rechten Maustaste in die Zeile „Wand 1“ und wählen Sie aus dem Kontextmenü den Befehl **Einfügen nachher** aus.

Es entsteht eine neue Zeile, die ebenfalls zu Wand 1 gehört.

Teillflächenliste		Absorptionsgrad																				
Ort	Bezeichnung	Fläche (m²)	25	31	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
Wand 1		180.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0
Wand 1			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wand 2		180.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0
Wand 3		180.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0
Wand 4		180.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0
Decke	Decke komplett	900.00							0.05	0.01	0.05	0.14	0.25	0.38	0.48	0.66	0.72	0.78	0.79	0.84	0.86	0
Boden		900.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0
Streuk									0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0

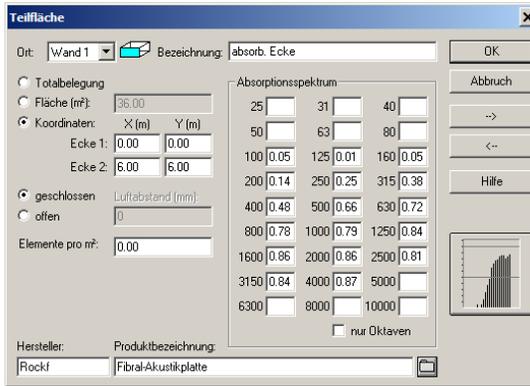
Neue Teilfläche innerhalb Wand 1

- Doppelklicken Sie in diese neue Zeile, um den Dialog **Teilfläche** zu öffnen.
- Geben Sie als Bezeichnung "absorb. Ecke" ein und wählen Sie für die Geometrie die Variante "Koordinateneingabe".

Der lokale Koordinatenursprung ist links unten bei Ansicht aus dem Raum erinnern. Daher beginnt die schallabsorbierende Auskleidung bei $(x, y)=(0, 0)$. Der schallabsorbierende Bereich soll eine Fläche von $6*6$ m umfassen.

- Geben Sie daher $(x1, y1)=(0, 0)$ m und $(x2, y2)=(6, 6)$ m ein.
- Wählen Sie über das Dateiauswahlsymbol  das Produkt "Rockwool Fibral-Akustikplatte" mit einem Abstand von 0 mm aus der Datenbank aus.

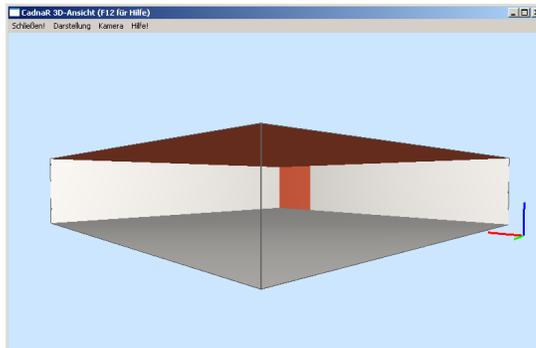
Nach der Auswahl sieht der Dialog für die zweite Teilfläche auf Wand 1 wie nachfolgend dargestellt aus:



Daten der absorbierenden Teilfläche in Wand 1

- Schließen Sie alle Dialoge mit OK.
- Öffnen Sie die 3D-Ansicht mit der Tastenkombination STRG+3.
- Drücken Sie die Taste A, um die Absorptionsflächen anzuzeigen.
- Drehen Sie den Raum so, dass die neue Teilfläche auf Wand 1 von innen zu sehen ist.

Der Koordinatenursprung ist durch die farbigen Koordinatenpfeile markiert. Die neue Absorptionsfläche liegt somit rechts unten in der Raumecke (bezogen auf die 2D-Planansicht).



3D-Raumansicht mit absorbierender Decke und Wandverkleidung auf Wand 1

Teilfläche auf Wand 2
einfügen

Jetzt muss noch eine entsprechende Teilfläche auf Wand 2 eingegeben werden.

- Öffnen Sie den Dialog **Raumdaten** und klicken Sie auf die Schaltfläche "Teilflächen".
- Erzeugen Sie eine zusätzliche Teilfläche für Wand 2, indem Sie mit der rechten Maustaste in diese Zeile klicken und dann im Kontextmenü den Befehl **Einfügen nachher** auswählen.

Da der Ursprung von Wand 2 am nördlichen Ende liegt, muss man die X-Koordinaten mit Hilfe der Länge des Raums berechnen. Somit hat Ecke 1 links unten die Koordinaten (24, 0) m und Ecke 2 rechts oben (30, 6) m.

- Geben Sie die Daten entsprechend ein und klicken Sie OK.

25		31		40	
50		63		80	
100	0.05	125	0.01	160	0.05
200	0.14	250	0.25	315	0.38
400	0.48	500	0.66	630	0.72
800	0.78	1000	0.79	1250	0.84
1600	0.86	2000	0.86	2500	0.81
3150	0.84	4000	0.87	5000	
6300		8000		10000	

Daten der absorbierenden Teilfläche in Wand 2

- Durch Klick auf OK in der Tabelle **Teilflächenliste** kehren Sie zum Dialog **Raumdaten** zurück.

Wie bei Wand 1 nimmt der mittlere Absorptionsgrad für Wand 2 durch die neu eingegebene Teilfläche zu.

- Öffnen Sie die 3D-Ansicht mit der Tastenkombination STRG+3.
- Drücken Sie die Taste A, um die Absorptionsflächen anzuzeigen.
- Drehen und zoomen Sie den Raum so, dass die neuen Teilflächen auf den Wänden 1 und 2 und der Decke zu sehen sind.

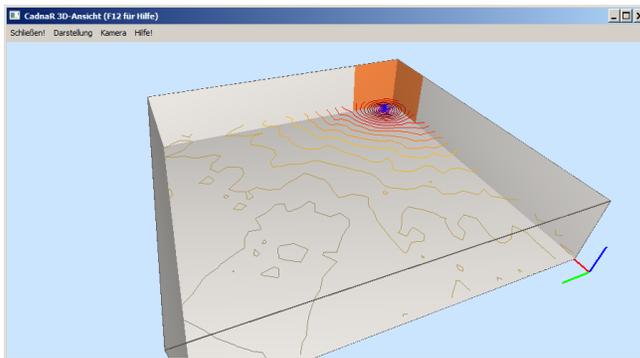
4.2 Punktquelle und Schirme eingeben

Jetzt soll die sich ergebende Schallpegelverteilung im Raum berechnet werden.

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei, wenn Sie nicht ausgehend vom vorigen Abschnitt fortfahren.
- Geben Sie eine Punktquelle bei $(x, y)=(27, 3)$ m ein mit einem A-Schallleistungspegel von 80 dB(A).
- Berechnen Sie jetzt das Raster in 1.5 m Höhe (über den Befehl **Raster berechnen** im Menü **Raster** oder über das Symbol ).

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 4/Wandecke 1+2
absorbierend.cni

Punktquelle eingeben



3D-Ansicht der Pegelverteilung mit schallabsorbierender Raumecke mit Punktquelle
(ggf. die Rasterdarstellung mit der Taste R verändern)

Die absorbierend ausgekleidete Raumecke soll zusätzlich durch zwei Schirme vom restlichen Raumvolumen abgetrennt werden, wobei ein Zugang mit 1 m Breite verbleiben soll.

Schirme eingeben

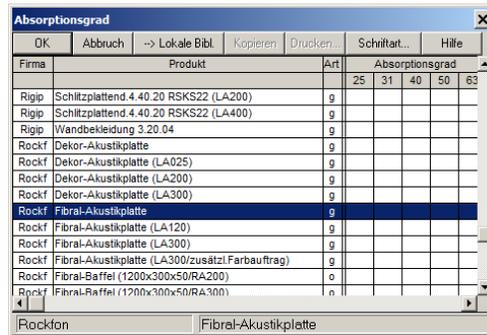
- Wählen Sie das Objekt "Schirm" aus dem Werkzeugkasten aus.
- Geben Sie den ersten Punkt P1 des Schirms S1 bei $(x_1, y_1)=(24, 0)$ m ein und als zweiten Punkt P2 $(x_2, y_2)=(24, 6)$ m.
- Geben Sie die Bezeichnung „S 1“ und für den Punkt P2 eine Höhe von

$z=4$ m ein.

Absorptionseigenschaften

Als Absorptionswerte der Schirmaußenflächen sollen die gleichen Werte wie für die zusätzlich eingefügten Wandteilstflächen verwendet werden. Gehen Sie dazu wie folgt vor:

- Öffnen Sie über den Dialog **Raumdaten** die Tabelle **Teilflächen**.
- Doppelklicken Sie in die Zeile, die die zusätzliche absorbierende Teilfläche der Wand 1 enthält.
- Navigieren Sie über das Dateiauswahlsymbol  im Dialog **Teilfläche** das Produkt "Rockwool Fibral-Akustikplatte" mit einem Abstand von 0 mm in der Datenbank an.



OK	Abbruch	-> Lokale Bibl.	Kopieren	Drucken	Schrittart...	Hilfe
Firma	Produkt	Art	Absorptionsgrad			
Rigid	Schilzplattend.4.40.20.RSKS22 (LA200)	g	25	31	40	50 63
Rigid	Schilzplattend.4.40.20.RSKS22 (LA400)	g				
Rigid	Wandbekleidung 3.20.04	g				
Rockf	Dekor-Akustikplatte	g				
Rockf	Dekor-Akustikplatte (LA025)	g				
Rockf	Dekor-Akustikplatte (LA200)	g				
Rockf	Dekor-Akustikplatte (LA300)	g				
Rockf	Fibral-Akustikplatte	g				
Rockf	Fibral-Akustikplatte (LA120)	g				
Rockf	Fibral-Akustikplatte (LA300)	g				
Rockf	Fibral-Akustikplatte (LA300/zusätzl.Farbaufrag)	g				
Rockf	Fibral-Baffel (1200x300x50/RA200)	o				
Rockf	Fibral-Baffel (1200x300x50/RA300)	o				

Absorptionsgrad-Datenbank: Daten des Produkts "Rockwool Fibral-Akustikplatte" in die lokale Bibliothek **Absorptionen** kopieren

- Klicken Sie auf die Schaltfläche „-> Lokale Bibl.“ im Kopf der Bibliotheks-Tabelle.

Damit wird der Datensatz in die lokale Bibliothek **Absorptionen** (für Hinweise) kopiert. Im nächsten Schritt wird dieses Absorptionsspektrum den Schirmoberflächen zugewiesen.

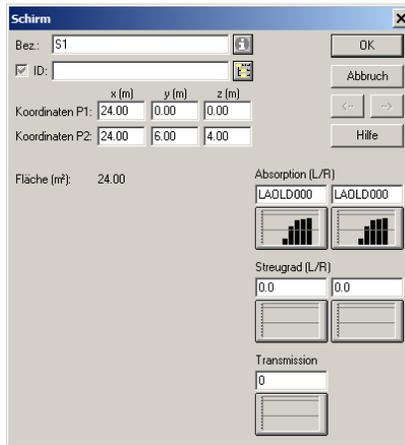
- Schließen Sie zunächst alle vier geöffneten Dialoge mit „Abbruch“.
- Öffnen Sie den Objektdialog von Schirm 1 und klicken Sie auf die

Schaltfläche „Absorption“ für die linke Schirmoberfläche.

Absorptionen (lokal)									
OK Abbruch Kopieren Drucken... Schrittlart... Hilfe									
Bezeichnung	ID	Oktavspektrum							
Rockfon, Fibral-Akustikplatte	LAOLD000	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000
		0.02	0.22	0.60	0.80	0.84	0.87		

Kopiertes Absorptionsgrad-Spektrum in der Bibliothek **Absorptionen (lokal)**

- Wählen Sie das Spektrum mit OK aus.
- Gehen Sie analog vor, um dieses Spektrum auch der rechten Schirmoberfläche zuzuweisen.



Schirm S1 mit zugewiesenen Absorptionsspektren

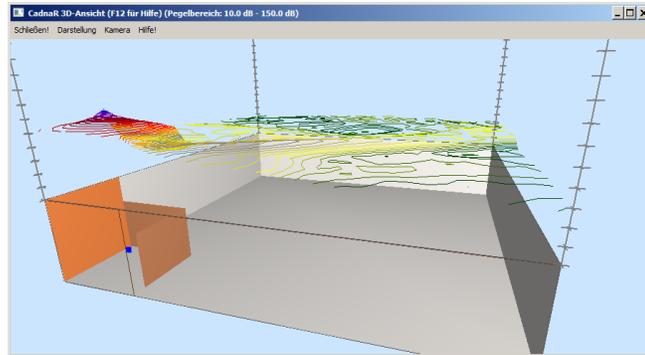
- Schließen Sie den Dialog **Schirm** jeweils mit OK.
- Geben Sie einen weiteren Schirm S2 mit folgenden Koordinaten ein: P1 bei $(x_1, y_1)=(24, 6)$ m und P2 bei $(x_2, y_2)=(29, 6)$ m.
- Öffnen Sie den Dialog von Schirm 2, ändern Sie den Namen auf "S2" und geben Sie für den Punkt P2 ebenfalls eine Höhe von $z=4$ m ein.

☞ Der Schirm S2 weist die gleichen Absorptionseigenschaften wie der

Schirm S1 auf, da die Daten vom zuletzt eingegebenen Objekt übernommen werden.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 4/Raster mit 2 Schir-
men.cni

- Berechnen Sie jetzt das Raster und öffnen Sie danach die 3D-Ansicht.



3D-Ansicht der Objekte und des Pegelrasters

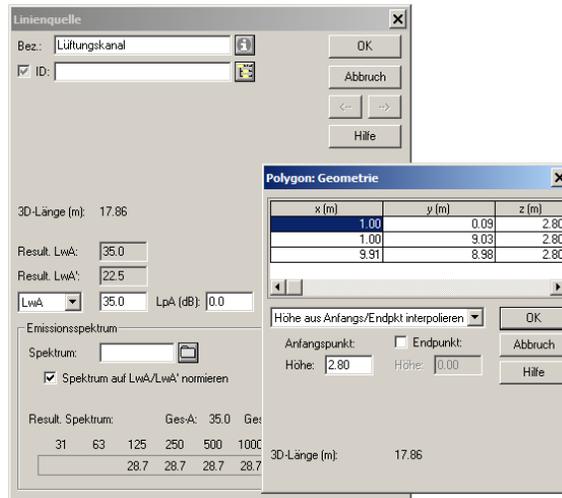
- ☞ Bei der oben eingestellten Rasterdarstellungsart „Isolinien (Höhe = Pegel)“ wird für die Ordinate der Darstellungsbereich des Rasters (hier 10 bis 150 dB, siehe Titelleiste) verwendet. Die Teilstriche auf den 4 an den Raumecken befindlichen Ordinatenachsen haben in diesem Fall einen Abstand von 10 dB (siehe Kapitel 9.1.4.1 im **CadnaR**-Handbuch).

Kapitel 5 - Richtwirkung bei Punktquellen

Punktquellen kann eine Richtwirkung zugewiesen werden. Die erforderlichen Einstellungen erfolgen im Dialog **Richtwirkung**, der über den Dialog **Punktquelle** zugänglich ist. Die ausgewählte Richtwirkung wird immer auf einen Summenpegel von Null normiert, um die emittierte Schallleistung der Schallquelle nicht zu verändern.

In nachfolgendem Beispiel wird ein Lüftungskanal als Linienquelle und die Lüftungsauslässe als Punktquellen mit Richtwirkung modelliert.

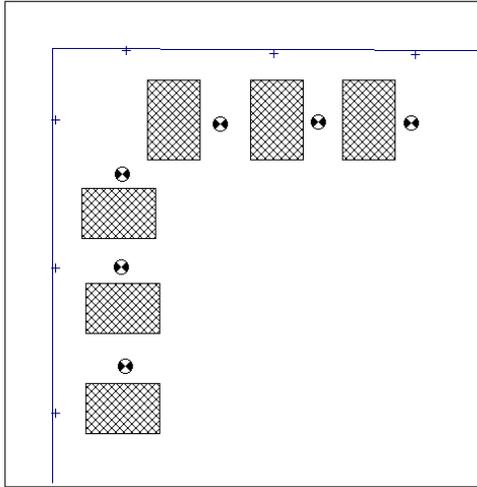
- Wählen Sie den Befehl **Neu** aus dem Menü **Datei**.
- Öffnen Sie den Dialog **Raumdaten** (Menü **Eigenschaften** oder Klick auf ) und geben Sie die Länge/Breite/Höhe = 10/10/3 m ein.
- Wählen Sie die Linienquelle aus und geben einen Linienzug über Eck in 1 Metern Entfernung von der linken und der oberen Wand ein.
- Benennen Sie diesen zu "Lüftungskanal" und geben Sie bei aktivierter Option „Spektrum auf LwA normieren“ einen LwA=35 dB(A) ein.
- Geben Sie im Dialog **Polygon: Geometrie** eine Anfangspunkthöhe von 2,8 m ein.



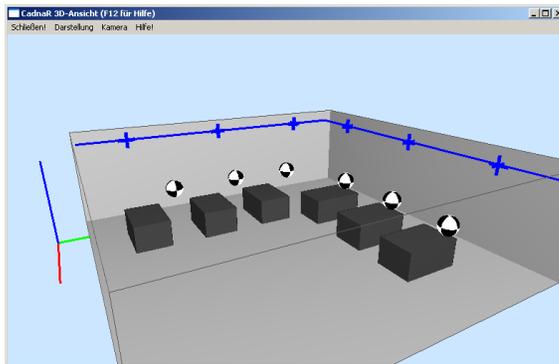
- Wählen Sie die Punktquelle und geben entlang des Linienzugs eine Punktquelle ein.
- Bezeichnen Sie diese mit "Auslass 1" und geben Sie bei aktivierter Option „Spektrum auf LwA normieren“ einen LwA=40 dB(A) ein
- Geben Sie eine Höhe von $z=2.8$ m ein.
- Geben Sie weitere 5 Punktquellen ein; diese erhalten die gleichen Emissions- und Geometriedaten (siehe Abbildung unten).
- Benennen Sie die Punktquellen über die Tabelle **Punktquellen** um: Kontextmenübefehl **Spalte verändern**, Suchen nach: *, Ersetzen durch: Auslass #

Weiterhin werden die Arbeitsplätze an Schreibtischen können als Immissionsorte eingegeben (Höhe 1,5 m), sowie Schreibtische als Hindernisquader (Höhe 0,8 m). Die Datei mit allen Objekten steht zur Verfügung.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 5/Lüftungska-
nal_1.cni



Büroraum mit 6 Arbeitsplätzen, Schalleinwirkung durch einen Lüftungskanal mit 6 Lüftungsauslässen



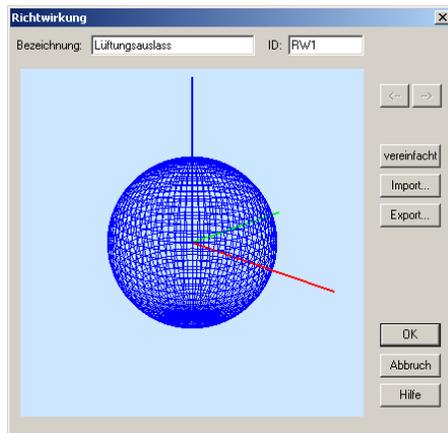
3D-Ansicht

Nachfolgend wird die Richtwirkung der Lüftungsauslasse definiert und zugewiesen.

5.1 Richtwirkung eingeben

Standardmäßig sind keine Richtwirkungen vorhanden. Diese können in der lokalen Bibliothek (Menü **Tabellen|Bibliotheken (lokal)|Richtwirkung**) angelegt oder auch importiert werden.

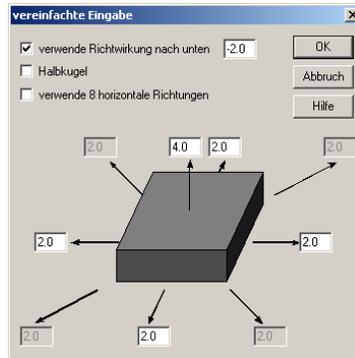
- Öffnen Sie die Tabelle **Richtwirkung** und fügen Sie eine neue Zeile über das Kontextmenü ein (rechte Maustaste).
- Doppelklicken Sie in die neue Zeile, um den Dialog **Richtwirkung** zu öffnen.
- Geben Sie als Bezeichnung "Lüftungsauslass" und als ID "RW1" ein.



- Klicken Sie auf die Schaltfläche "vereinfacht", um die Richtwirkung in vereinfachter Weise zu definieren.
- ☞ Detaillierte Richtwirkungsdaten in 5°-Schritten können importiert und exportiert werden (siehe Kapitel 9.1.7.6, Abschnitt "Richtwirkung (lokal)", im **CadnaR-Handbuch**).
- Aktivieren Sie die Option "verwende Richtwirkung nach unten" und geben Sie folgende Werte für die vereinfachte Richtwirkung ein:
 - nach oben: +4 dB

- zu allen vier Seiten: +2 dB
- nach unten: -2 dB

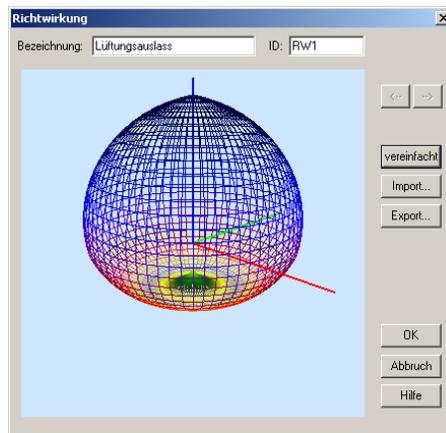
Danach sieht der Dialog wie nachfolgend dargestellt aus.



Vereinfachte Richtwirkung für einen Lüftungsauslass

- Schließen Sie den Dialog **vereinfachte Eingabe** mit OK.

Im Dialog **Richtwirkung** wird die eingegebene Richtwirkung als Richtwirkungsdiagramm über die Raumwinkel Theta und Phi angezeigt.



- Verändern Sie den Betrachtungswinkel mit der Maus. Halten Sie dazu

die linke Maustaste gedrückt und bewegen Sie dabei die Maus.

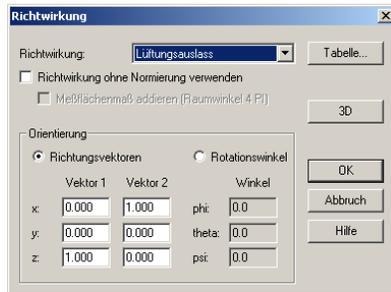
- Schließen Sie den Dialog **Richtwirkung** und die Tabelle **Richtwirkung** mit OK.

Der Datensatz kann jetzt den Punktquellen zugewiesen werden.

5.2 Richtwirkung zuweisen und orientieren

Sind Richtwirkungen in der Tabelle **Richtwirkung** vorhanden, können diese über die Schaltfläche "Richtw." im Dialog **Punktquelle** gewählt werden.

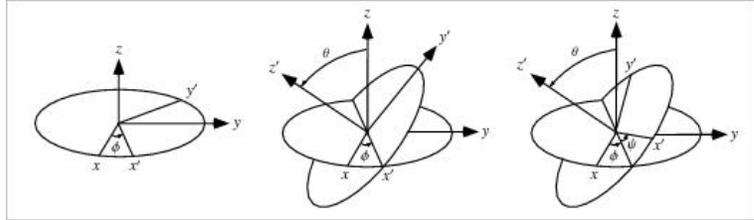
- Wählen Sie im Dialog **Richtwirkung** einer Punktquelle den Eintrag "Lüftungsauslass" aus dem Listenfeld aus.



Die ausgewählte Richtwirkung kann im Raum über zwei Richtungsvektoren oder über die Angabe von drei Winkeln orientiert werden.

Orientierung

- *Richtungsvektoren*: Geben Sie die xyz-Richtungskoordinaten für Vektor 1 (in +z-Richtung) und Vektor 2 (in +x-Richtung) ein, ausgehend vom Ursprung $(x,y,z)=(0,0,0)$ ein. Dabei müssen die beiden Richtungsvektoren 1 und 2 eine Ebene aufspannen (nicht kollinear).
- *Rotationswinkel*: Geben Sie alternativ die Winkel ein, die der Richtungsvektor mit den Koordinatenachsen einschließt:
 - phi ϕ : Drehwinkel des Richtwirkungsvektors 2 (in Abbildung: x') um die +z-Achse (in der xy-Ebene)
 - theta θ : Drehwinkel, den der Richtwirkungsvektor 1 (in Abbildung: z') mit der +z-Achse einschließt
 - psi ψ : Drehwinkel um die positive Achse des Richtwirkungsvektors 1 (in Abbildung: z')

Drehwinkel phi ϕ , theta ϑ und psi ψ

Richtwirkung visuell
orientieren

Neben den vorgenannten Möglichkeiten bietet **CadnaR** die Möglichkeit die Normalenrichtungen des Richtwirkungsvektors visuell zu orientieren.

- Klicken Sie dazu bei ausgewählter Richtwirkung auf die Schaltfläche "3D".

Es wird die Richtwirkung in 3D-Ansicht angezeigt. In der **Richtwirkung 3D-Ansicht** kann mit der Maus um den Mittelpunkt rotiert und gezoomt werden:

- *Rotieren*: linke Maustaste gedrückt halten und Maus nach oben/unten oder links/rechts bewegen
- *Zoomen*: rechte Maustaste gedrückt halten und Maus vor/zurück bewegen

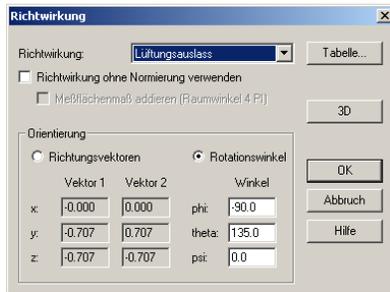
Um die Richtwirkung zu orientieren stehen folgende Optionen unter Zuhilfenahme der Tastatur zur Verfügung:

Tastatur / Maus	Orientierungsänderung der Richtwirkung in ...
SHIFT + linke Maustaste + Mausbewegung links/rechts	phi
SHIFT + linke Maustaste + Mausbewegung auf/ab	theta
SHIFT + rechte Maustaste + Mausbewegung links/rechts	psi

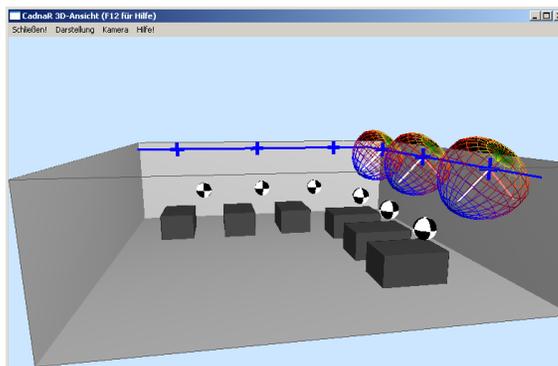
Da die Lüftungsleitung achsenparallel verläuft, kann die Orientierung des Richtwirkungsvektors durch Zahlenwerte angegeben werden. In der xy-Ebene wird eine Abstrahlrichtung senkrecht zum Lüftungskanal angenommen. Daher ist die Richtwirkung um -90° Grad zu drehen, d.h. im Uhrzeigersinn ($\phi=-90^\circ$). Für den Winkel theta werden 45° nach unten angenommen. Daher ist der Winkel mit der +z-Achse $\theta=135^\circ$.

Richtwirkung für Auslässe 1 bis 3

- Geben Sie diese Rotationswinkel für die Auslässe 1 bis 3 ein, die entlang der oberen (nördlichen) Wand des Raumes verlaufen.



- Schließen Sie die Dialoge **Richtwirkung** und **Punktquelle** und öffnen Sie erneut die **3D-Ansicht**.
- Drücken Sie die D-Taste, um zwischen den verschiedenen Darstellungsarten der Richtwirkung umzuschalten.



Lüftungsauslässe 1 bis 3 mit Richtwirkung in Richtung $\phi/\theta=-90^\circ/135^\circ$

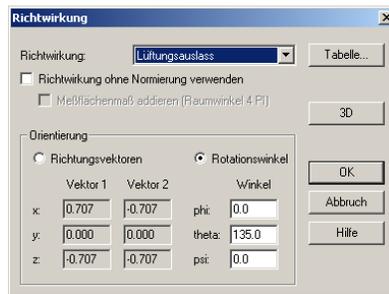
📁 Dateien/Tutorial/
Kap 5/Lüftungskanal_2.cni

Richtwirkung für Auslässe 4 bis 6

Der linke Zweig der Lüftungsleitung verläuft parallel zur y-Achse.

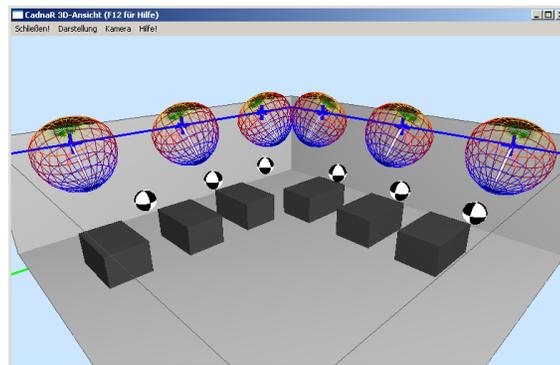
In der xy-Ebene stimmt der projektbezogene Richtwirkungsvektor mit der Normalenrichtung überein ($\phi=0^\circ$). Als Abstrahlrichtung in Theta wird wiederum 45° nach unten angenommen werden ($\theta=135^\circ$).

- Geben Sie diese Rotationswinkel für die Auslässe 4 bis 6 ein, die entlang der linken (westlichen) Wand des Raumes verlaufen.



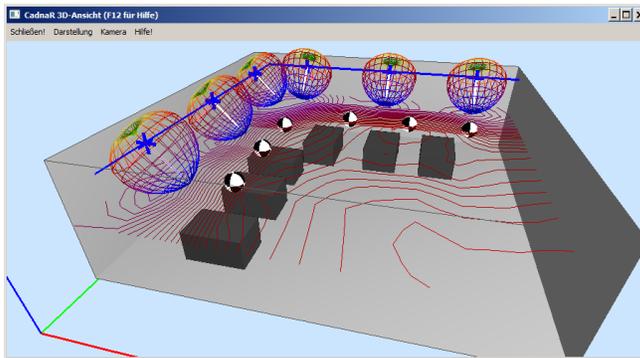
- Schließen Sie den Dialog **Richtwirkung** und den Dialog **Punktquelle**.
- Öffnen Sie jetzt erneut die **3D-Ansicht**.
- Drücken Sie die D-Taste, um zwischen den verschiedenen Darstellungsarten der Richtwirkung umzuschalten.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 5/Lüftungska-
nal_3.cni



Lüftungsauslässe 1 bis 6 mit zugewiesenem Richtwirkungsvektor phi/theta

- Schließen Sie die 3D-Ansicht und öffnen Sie den Dialog **Spezifikation** im Menü **Raster**.
- Setzen Sie die Immissionspunkthöhe auf 1,5 m (gleiche Höhe wie IPs).
- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **BerechnungKonfiguration**).
- Stellen Sie sicher, dass auf der Registerkarte „Berechnung“ das kombinierte Verfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“, mit Spiegelquellen bis zur nullten Ordnung und mit Teilchen bis zur 5-ter Ordnung mit einer Referenz-Teilchenzahl von 100.000 gewählt ist.
- Berechnen Sie jetzt das Raster und öffnen Sie danach erneut die **3D-Ansicht**.



📁 Dateien/Tutorial/
Kap 5/Lüftungskanal_4.cni

Pegelverteilung ausgehend von einer Lüftungsleitung mit 6 Auslässen

- Öffnen Sie die Tabelle **Immissionspunkt**, um die Pegel für alle IPs anzuzeigen.

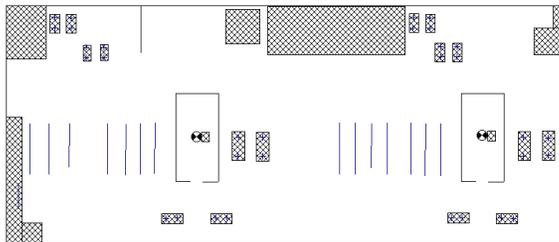
In einem weiteren Schritt könnte nun untersucht werden, welche Auswirkung schallabsorbierende Maßnahmen an den Raumbegrenzungsflächen auf den Arbeitsplatzpegel haben.

Kapitel 6 - Maschinenraum modellieren

In einem Maschinenraum mit Kompressoren sind Schallschutzmaßnahmen so zu dimensionieren, dass an zwei Arbeitsplätzen ein Arbeitsplatzpegel von 80 dB(A) nicht überschritten wird. Die Ausgangskonfiguration enthält schon alle relevanten Schallquellen und Hindernisse wie Maschinensockel, Treppenhautstürme und die Schirmwänden um die beiden zu schützenden Aufenthaltsbereiche. Alle Hindernisse (Hindernisquader und Schirme) weisen einen Schallabsorptionsgrad von 0.1 je Oktave auf. Ansonsten ist die Halle in einem raumakustisch unausgestatteten Zustand.

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 6/Werkhalle.cni



Maschinenraum mit Kompressoren - Ausgangszustand

Die Objekte im Raum (Quellen und Hindernisse) wurden unter Verwendung einer als Scan vorliegenden Bitmap-Datei eingegeben, die auf die Raumgrundfläche beschnitten ist. Diese Bitmap soll zunächst dem Modell unterlegt werden.

- Wählen Sie das Objekt „Bitmap“ aus dem Werkzeugkasten.
- Ziehen Sie eine Fläche innerhalb der Raumgrundfläche auf und klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Rand des Bitmap-Symbols, um den Dialog **Bitmap** zu öffnen.

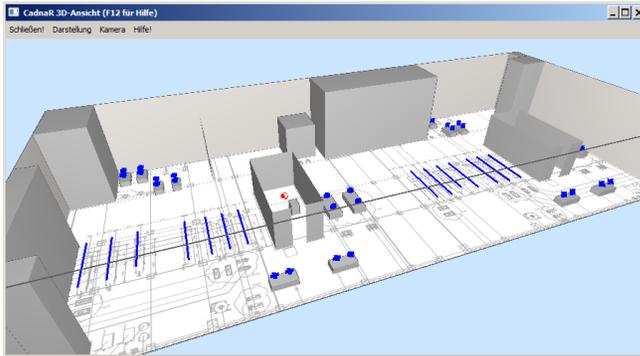
📁 Dateien/Tutorial/
Kap 6/Aufstellungs-
plan.bmp

- Wählen Sie über das Dateiauswahlsymbol  die Bitmap-Datei `Aufstellungsplan.bmp` aus.
- Klicken Sie jetzt auf die Schaltfläche „Raumgrundfläche“, um die Bitmap-Koordinaten an die Raumkoordinaten anzupassen.
- Deaktivieren Sie die Option „Bitmap ist transparent“.



Dialog **Bitmap** mit ausgewählter Datei

- Schließen Sie den Dialog mit OK und öffnen Sie die 3D-Ansicht (STRG+3).
- Drücken Sie die Taste T, um die Bitmap als Bodentextur in der 3D-Ansicht anzuzeigen.



Bitmap als Bodentextur in der 3D-Ansicht

- Schließen Sie die 3D-Ansicht.
- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **Berechnung**|**Konfiguration**).
- Stellen Sie sicher, dass auf der Registerkarte „Berechnung“ das Verfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“, mit Spiegelquellen bis einschließlich der 1sten Ordnung und mit Teilchen bis einschließlich der 5ten Ordnung mit einer Referenz-Teilchenzahl von 100.000 gewählt ist.
- Starten Sie die Punktberechnung durch Klick auf das Symbol  oder Auswahl des Befehls **Immissionspunkte berechnen** aus dem Menü **Berechnung**.
- Öffnen Sie die Tabelle **Immissionspunkt** im Menü **Tabellen**.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 6/Werkhalle_1 -
Schirm 3 m.cni

Immissionspunkt															
Schließen	Sync. Grafik	Kopieren	Drucken...	Schnittart...	Hilfe										
Bezeichnung	M	ID	Koordinaten			A	31	63	Schalldruckpegel Lp (dB)						Richtwert (dBA)
			X (m)	Y (m)	Z (m)				125	250	500	1000	2000	4000	
Arbeitsplatz 1			14.57	8.07	1.50	84.0			78.6	78.4	78.2	78.0	77.8	77.2	0.0
Arbeitsplatz 2			36.45	8.17	1.50	84.2			78.7	78.5	78.4	78.2	78.0	77.4	0.0

Die Pegel betragen an beiden Arbeitsplätzen 84.0 bzw. 84.2 dB(A). Als erste Maßnahme wird eine lokale Absorption über den abgeschirmten Bereichen oberhalb der Arbeitsplätze untersucht.

- Wählen Sie den Befehl **Bitmap** im Menü **Eigenschaften**.
- Deaktivieren Sie die Option „Bitmap darstellen“.
- Schließen Sie den Dialog **Bitmap**.

Daraufhin wird die hinterlegte Bitmap nicht mehr dargestellt, ist aber immer noch vorhanden.

6.1 Absorbierende Deckenbereiche eingeben

Die Deckenbereiche oberhalb der beiden abgeschirmten Bereiche sollen schallabsorbierend verkleidet werden. Dabei soll der absorbierende Deckenbereich nach allen Seiten um einen Meter über die Schirmabmessungen in der xy-Ebene hinausragen, um auch Reflexionen von leicht außerhalb des eigentlichen Deckenbereichs zu erfassen.

- Öffnen Sie den Dialog **Raumdaten** und klicken Sie auf die Schaltfläche "Teilflächen".
- Fügen Sie unterhalb der Zeile "Decke" zwei neue Zeile für die beiden neuen absorbierenden Deckenbereiche ein.

Ort	Bezeichnung	Fläche (m²)	Absorptionsgrad																			
			25	31	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	200
Wand 1		258.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.0
Wand 2		108.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.0
Wand 3		258.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.0
Wand 4		108.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.0
Decke		774.00							0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.0
Decke		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
Boden									0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.0
Streuk.									0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.0

- Doppelklicken Sie in die erste neue Zeile und geben Sie im Dialog **Teilfläche** die nachfolgenden Geometriedaten und Bezeichnung ein.

Teilfläche

Ort: Decke Bezeichnung: abs Teildecke 1

Totalbelegung

Fläche (m²): 45.24

Koordinaten: X (m) Y (m)

Ecke 1:	12.00	5.60
Ecke 2:	17.20	14.30

geschlossen

offen

Luftabstand (mm): 500

Elemente pro m²: 1.00

Absorptionsspektrum

25	31	40
50	63	80
100	0.04	0.15
125	0.15	0.18
160	0.28	0.32
200	0.32	0.36
250	0.53	0.65
315	0.65	0.61
400	0.67	0.71
500	0.71	0.71
630	0.71	0.68
800	0.71	0.68
1000	0.68	0.73
1250	0.73	0.75
1600	0.78	
2000	0.78	
2500		
3150		
4000		
5000		
6300		
8000		
10000		

nur Oktaven

Hersteller: Rockf Produktbezeichnung: Industrie-Baffel "natur" (1200x450x50/RA800)

OK Abbruch

--> <--

Hilfe

- Wählen Sie aus der Datenbank das Produkt "Rockfon Industrie-Baffel "natur" (1200x450x50/RA800)" über das Dateiauswahlsymbol aus.
- Wählen Sie die Option „offen“ und geben Sie einen Luftabstand von 500 mm ein.
- Doppelklicken Sie in die zweite neue Zeile und geben Sie im Dialog **Teilfläche** die nachfolgenden Geometriedaten und Bezeichnung ein.

Teilfläche

Ort: Decke Bezeichnung: abs Teildecke 2

Totalbelegung

Fläche (m²): 45.24

Koordinaten: X (m) Y (m)

Ecke 1:	33.90	5.60
Ecke 2:	39.10	14.30

geschlossen

offen

Luftabstand (mm): 500

Elemente pro m²: 1.00

Absorptionsspektrum

25	31	40
50	63	80
100	0.04	0.15
125	0.15	0.18
160	0.28	0.32
200	0.32	0.36
250	0.53	0.65
315	0.65	0.61
400	0.67	0.71
500	0.71	0.71
630	0.71	0.68
800	0.71	0.68
1000	0.68	0.73
1250	0.73	0.75
1600	0.78	
2000	0.78	
2500		
3150		
4000		
5000		
6300		
8000		
10000		

nur Oktaven

Hersteller: Rockf Produktbezeichnung: Industrie-Baffel "natur" (1200x450x50/RA800)

OK Abbruch

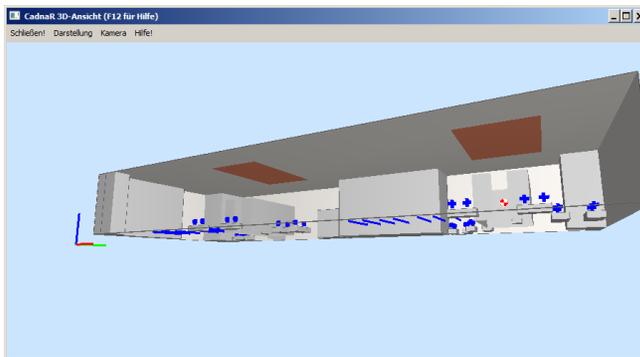
--> <--

Hilfe

- Wählen Sie aus der Datenbank erneut das Produkt "Rockfon Industrie-Baffel "natur" (1200x450x50/RA800)" aus.

- Wählen Sie die Option „offen“ und Sie wieder einen Luftabstand von 500 mm ein.
- Schließen Sie den Dialog, die Tabelle **Teilflächenliste** und den Dialog **Raumdaten**.
- Öffnen Sie die 3D-Ansicht, um die Lage der beiden neuen absorbierenden Deckenbereiche zu überprüfen.

Durch Verändern des Betrachtungswinkels werden die beiden Deckenbereiche sichtbar.



- Schließen Sie die 3D-Ansicht.
- Aktivieren Sie im Dialog beider Immissionspunkte die Option „Generiere Strahlen (als Hilfspolygone)“.
- Starten Sie danach die Berechnung durch Klick auf das Symbol .
- Öffnen Sie nach Abschluss der Berechnung erneut die Tabelle **Immissionspunkt**.

Immissionspunkt														
Schließen Sync. Grafik Kopieren Drucken... Schrittat... Hilfe														
Bezeichnung	M. ID	Koordinaten			Schalldruckpegel Lp (dB)							Richtwert (dBA)		
		X (m)	Y (m)	Z (m)	A	31	63	125	250	500	1000		2000	4000
Arbeitsplatz 1		14.57	8.07	1.50	62.9			78.4	77.8	77.2	76.9	76.6	75.9	80.0
Arbeitsplatz 2		36.45	8.17	1.50	62.8			78.6	78.0	77.2	76.8	76.6	75.9	80.0

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 6/Werkhalle_2 -
Schirm 3 m - 2 teilabs
Teildecken.cni

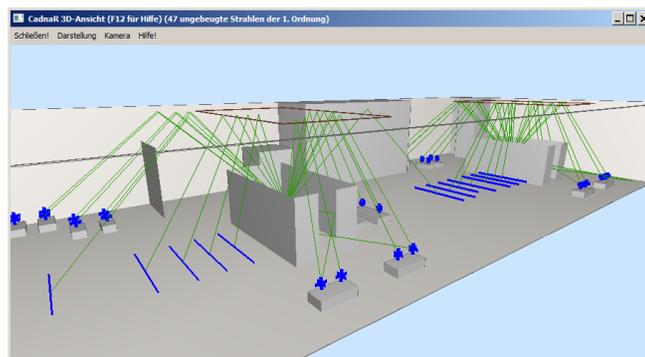
Die Pegel an den beiden Arbeitsplätzen wurden um 1.1 und 1.3 dB abgesenkt (siehe Tabelle am Ende des Kapitels 6.1). Die Maßnahme ist nicht sonderlich wirksam, da die niedrige Schirmhöhe weiterhin den Zutritt von an der Decke hart reflektierten Strahlen gestattet. Dies kann in der 3D-Ansicht mit Strahldarstellung verdeutlicht werden.

Öffnen Sie die 3D-Ansicht und schalten Sie durch drücken der S-Taste die Strahldarstellung ein.

Zunächst werden alle Strahlen - gebeugte und ungebeugte - bis zur eingestellten Reflexionsordnung angezeigt.

- Drücken Sie die O-Taste, um alle Strahlen 0-ter Ordnung anzuzeigen (ungebeugte und gebeugte).
- Drücken Sie erneut die O-Taste, um nur die Strahlen 1.Ordnung anzuzeigen.
- Drücken Sie jetzt die P-Taste, um zwischen allen Strahlen 1.Ordnung, nur den ungebeugten und nur den gebeugten Strahlen durchzuschalten.
- Schalten Sie auf die ungebeugten Strahlen.

Wie zu erkennen ist, fallen einige Strahlen 1.Ordnung nicht auf den schallabsorbierenden Deckenbereich und treffen damit ungehindert auf die Arbeitsplätze.



Ungebeugte Strahlen 1.Ordnung

6.2 Schirmhöhe vergrößern

Da diese hart reflektierten Strahlen leicht oberhalb der Schirmkanten verlaufen, soll zunächst die Schirmhöhe von 3 auf 4 m erhöht werden.

- Schließen Sie die 3D-Ansicht und öffnen Sie die Tabelle **Schirm** (Menü **Tabellen**).
- Klicken Sie mit der rechten Maustaste in die erste Zeile mit der Bezeichnung "AP 1" und in die Spalte z(P2) und wählen Sie den Kontextmenübefehl **Spalte verändern**.
- Nehmen Sie dort die Einstellungen und Eingaben wie nachfolgend abgebildet vor.



- Starten Sie erneut die Immissionspunktberechnung.

Die Pegel haben sich auch nach der Erhöhung der Schirmwände nicht ausreichend vermindert. Ursache hierfür sind die zahlreichen Reflexionen der zweiten und höherer Ordnungen, die an den nicht absorbierend ausgeführten Deckenbereichen hart reflektiert werden.

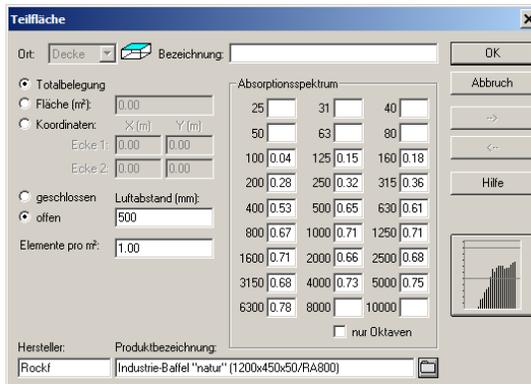
📁 Dateien/Beispiele/
Kap 6/Werkhalle_3 -
Schirm 4 m - 2 teilabs
Teildecken.cni

Immissionspunkt																
Schließen Sync. Grafik Kopieren Drucken... Schrittlat... Hilfe																
Bezeichnung	M	ID	Koordinaten				Schalldruckpegel Lp (dB)							Richtwert (dBA)		
			X (m)	Y (m)	Z (m)	A	31	63	125	250	500	1000	2000		4000	8000
Arbeitsplatz 1			14.57	8.07	1.50	81.5			77.4	76.8	75.9	75.4	75.2	74.5		80.0
Arbeitsplatz 2			36.45	8.17	1.50	81.5			77.7	77.0	76.0	75.4	75.2	74.5		80.0

6.3 Gesamte Decke absorbierend

Daher soll jetzt die gesamte Decke gleichartig wie dies bisherigen Teildecken absorbierend ausgerüstet werden. Zunächst werden die Teildecken 1 und 2 gelöscht.

- Öffnen Sie den Dialog **Raumdaten** und klicken Sie auf die Schaltfläche "Teilflächen".
- Löschen Sie die zwei neuen Zeilen "abs Teildecke 1" und "abs Teildecke 2" (entweder über das Kontextmenü oder über die ENTF-Taste).
- Doppelklicken Sie in die Zeile "Decke" und wählen Sie aus der Datenbank das Produkt "Rockfon Industrie-Baffel "natur" (1200x450x50/RA800)" über das Dateiauswahlsymbol aus.
- Stellen Sie sicher, dass die Option "Totalbelegung" gewählt ist und geben Sie einen Luftabstand von 500 mm ein.



Decke mit schallabsorbierender Totalbelegung

- Schließen Sie den Dialog, die Tabelle **Teilflächenliste** und den Dialog **Raumdaten**.
- Starten Sie erneut die Immissionspunktberechnung.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 6/Werkhalle_4 -
Schirm 4 m - abs
Decke.cni

- Öffnen Sie nach Abschluss der Berechnung die Tabelle **Immissionspunkt**.

Immissionspunkt															
Schließen Sync. Grafik Kopieren Drucken... Schrittat... Hilfe															
Bezeichnung	M. ID	Koordinaten				Schalldruckpegel Lp (dB)								Richtwert (dB(A))	
		X (m)	Y (m)	Z (m)	A	31	63	125	250	500	1000	2000	4000		8000
Arbeitsplatz 1		14.57	8.07	1.50	79.3				77.2	76.0	74.1	73.0	72.9	72.0	80.0
Arbeitsplatz 2		36.45	8.17	1.50	79.6				77.6	76.3	74.4	73.4	73.3	72.4	80.0

Die Pegel haben sich durch diese Maßnahme auf 79,3 bzw. 79,6 dB(A) deutlich vermindert. Der Grenzwert von 80 dB(A) ist mit dieser Maßnahme an beiden Arbeitsplätzen eingehalten.

Tabelle

Tabelle mit den Ergebnisse für die untersuchten Varianten:

Variante	Beschreibung	Pegel am Arbeitsplatz 1 dB(A)	Pegel am Arbeitsplatz 2 dB(A)
1 (Ausgangssituation)	Schirmhöhe 3 m ($\alpha_s = 0.1$)	84.0	84.1
2	wie vor, mit zwei schallabsorbierenden Teildecken	82.9	82.8
3	Schirmhöhe 4 m ($\alpha_s = 0.1$), mit zwei schallabsorbierenden Teildecken	81.5	81.5
4 (Endzustand)	Schirmhöhe 4 m ($\alpha_s = 0.1$), gesamte Decke schallabsorbierend	79.3	79.6

Kapitel 7 - Büroraum modellieren

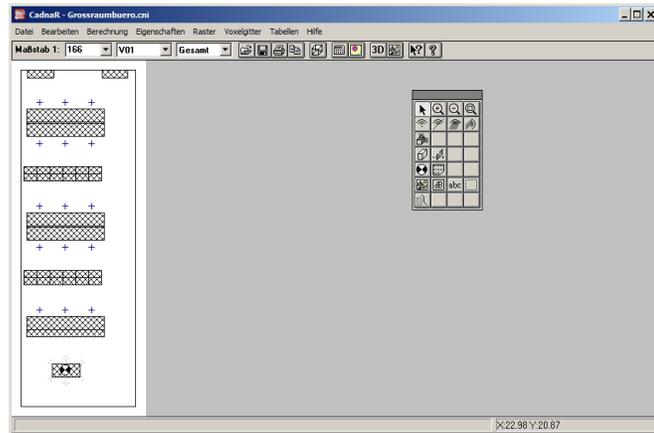
In diesem Beispiel wird ein Büroraum modelliert, der mit Schränken und Schreibtischen als reflektierende Hindernisse ausgestattet ist. Die Schallquellen bestehen aus 15 sprechenden Personen, die durch Sprechen einen Schallleistungspegel von je $L_{wA}=60$ dB(A) erzeugen. Die Möbel werden durch Hindernisquader modelliert, für die folgende absorbierenden und transmittierenden Eigenschaften angenommen werden:

Parameter	Frequenz (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Schallabsorptionsgrad (-)	0.05	0.15	0.48	0.96	0.77	0.68
Schalldämm-Maß (dB)	20	23	28	23	23	26

Ziel ist, die schallabsorbierenden Maßnahmen an den Raumbegrenzungsflächen so zu gestalten, dass an einem Referenzpunkt am Besprechungstisch ein Pegel von $L_{pA}=42$ dB(A) eingehalten wird, wenn alle 15 Arbeitsplätze "in Betrieb" sind. Dabei sollen die Emission von den am Besprechungstisch sitzenden Personen nicht einbezogen werden.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 7/Bueroraum.cni

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei.

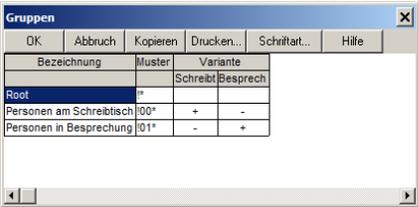


- Öffnen Sie Tabelle **Punktquelle**, um die Schalleistungsangaben zu überprüfen.

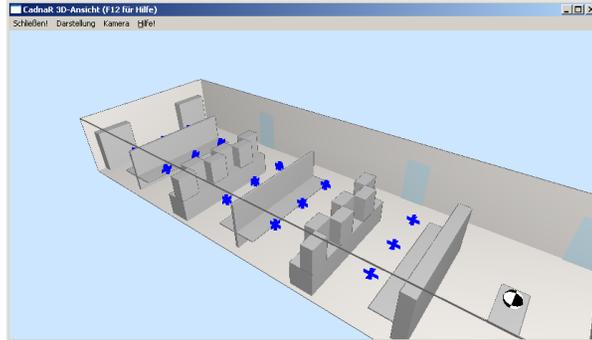
Die Quellenhöhe ist auf 1,2 m über Boden festgelegt (sitzende Personen). Die Punktquellen, die die Personen am Besprechungstisch darstellen, sind deaktiviert.

Zusätzlich sind in der Datei zwei Varianten vorhanden, die auf Gruppen basieren, die mit Hilfe des ObjectTree erzeugt wurden. Die beiden Varianten unterscheiden die Personen, die an Schreibtischen arbeiten (Variante: „Schreibt“) von denjenigen, die an einer Besprechung teilnehmen Variante: „Besprech“). Die Gruppen wurden über den Befehl **ObjectTree|Defini-**

tion angelegt (Menü **Tabellen**) und anschließend über die Tabelle **Gruppe** mit den beiden Varianten verknüpft:

	<p>Dialog ObjectTree mit den beiden Gruppen „Personen am Schreibtisch“ und „Personen in Besprechung“</p>																		
 <table border="1" data-bbox="205 619 476 705"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Bezeichnung</th> <th rowspan="2">Muster</th> <th colspan="2">Variante</th> </tr> <tr> <th>Schreibt</th> <th>Besprech</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Root</td> <td>*</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Personen am Schreibtisch</td> <td> 00*</td> <td>+</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Personen in Besprechung</td> <td> 01*</td> <td>-</td> <td>+</td> </tr> </tbody> </table>	Bezeichnung	Muster	Variante		Schreibt	Besprech	Root	*			Personen am Schreibtisch	00*	+	-	Personen in Besprechung	01*	-	+	<p>Tabelle Gruppe mit den Aktivierungszuständen der Objekte beider Gruppen in der jeweiligen Variante (+ aktiviert, - deaktiviert)</p>
Bezeichnung			Muster	Variante															
	Schreibt	Besprech																	
Root	*																		
Personen am Schreibtisch	00*	+	-																
Personen in Besprechung	01*	-	+																

- Schalten Sie zwischen beiden Varianten über das Listenfeld auf der Symbolleiste um.
- Wählen Sie jetzt die Variante „Schreibt“ aus, um die Punktquellen zu aktivieren, die Personen an Schreibtischen repräsentieren.
- Öffnen Sie den Dialog **3D-Ansicht**.



Der Immissionspunkt liegt bei der Koordinate (x,y,z)=(2,7; 2,2; 1,2) m.

- Öffnen Sie über den Dialog **Raumdaten** die Tabelle **Teilflächen**.

Wie zu erkennen, wurden zusätzliche 3 Glastüren in Wand 2 eingebaut. Die akustischen Daten basieren auf Oktavwerten (Option "nur Oktaven" aktiviert).

Teilflächenliste		OK	Abbruch	Kopieren	Drucken...	Schrittart...	Hilfe	Absorptionsgrad															
Ort	Bezeichnung	Fläche (m²)	25	31	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2	
Wand 1		19.71								0.06			0.07								0.08		C
Wand 2		57.34								0.06			0.07								0.08		C
Wand 2	Ganz-Glastür 1	2.00								0.25			0.15			0.10					0.05		C
Wand 2	Ganz-Glastür 2	2.00								0.25			0.15			0.10					0.05		C
Wand 2	Ganz-Glastür 3	2.00								0.25			0.15			0.10					0.05		C
Wand 3		19.71								0.06			0.07			0.07					0.08		C
Wand 4		57.34								0.06			0.07			0.07					0.08		C
Decke		144.16								0.06			0.07			0.07					0.08		C
Boden		144.16								0.06			0.07			0.07					0.08		C
Streuk.										0.06			0.07			0.07					0.08		C

- Schließen Sie die Tabelle **Teilflächen** und den Dialog **Raumdaten**.

Im nächsten Schritt werden die Spektren des Schallabsorptionsgrads und des Schalldämm-Maßes in die Bibliothek eingegeben und den Hindernisquadranten zugewiesen.

- ☞ Die Absorption von Hindernissen wird sowohl beim Spiegelquellen-Verfahren, als auch im Teilchenmodell berücksichtigt. Hingegen wird die Schalldämmung von Hindernissen nur im Teilchenmodell (bzw. als dessen Energieanteil am Gesamtergebnis beim kombinierten Verfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“) berücksichtigt.
- Öffnen Sie die lokale Bibliothek **Absorptionen** im Menü **Tabellen**.
- Klicken Sie mit der rechten Maustaste in die Tabelle und wählen Sie den Befehl **Einfügen nachher** aus.
- Doppelklicken Sie in die neue Zeile und geben Sie nachfolgende Daten ein.

31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
		0.05	0.15	0.48	0.96	0.77	0.68	

- Öffnen Sie die lokale Bibliothek **Schalldämmungen** im Menü **Tabellen**.
- Fügen Sie eine neue Zeile ein und geben Sie nachfolgende Daten ein.

31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
		20	23	28	23	23	26	

Im nächsten Schritt werden beide Spektren zugewiesen.

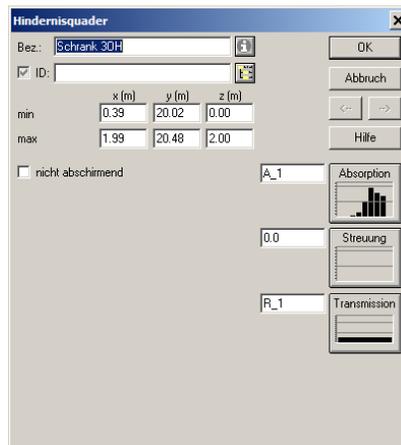
- Klicken Sie mit der rechten Maustaste in die weiße Fläche auf dem Bildschirm und wählen Sie aus dem Kontextmenü den Befehl **Objekte verändern**.
- Wählen Sie die Aktion „Attribut verändern“ und die Objektart „Hindernisquader“ aus.
- Klicken Sie auf OK.
- Wählen Sie im Dialog **Attribut verändern** das Attribut ALFAL aus dem Listenfeld aus und geben Sie unter „String-Ersetzung/Ersetzen durch“ ein: A_1



- Klicken Sie OK und bestätigen Sie die Änderung mit „Alle“.
- Öffnen Sie zur Kontrolle die Tabelle **Hindernisquader** (über das Menü **Tabellen|Hindernisse**).
- Doppelklicken in die erste Zeile, um den Objektdialog zu öffnen. Im Dialog wird die Referenz auf das Absorptionsspektrum A_1 und der spektrale Verlauf auf dem Button dargestellt.
- Gehen Sie analog vor, um den Hindernisquadern das Schalldämpfungsspektrum zuzuweisen.
- Wählen Sie den Befehl **Objekte verändern** aus dem Kontextmenü des Hauptfensters aus.
- Ändern Sie dieses Mal über den Dialog **Attribut verändern** das Attribut TRANSL aus dem Listenfeld aus und geben Sie unter „String-Ersetzung/Ersetzen durch“ ein: R_1



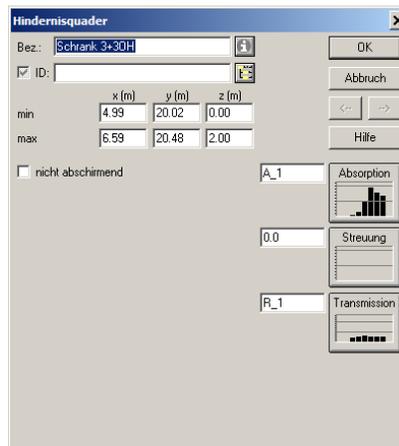
- Klicken Sie OK und bestätigen Sie die Änderung mit „Alle“.
- Öffnen Sie erneut zur Kontrolle die Tabelle **Hindernisquader**.
- Doppelklicken in die erste Zeile, um den Objektdialog zu öffnen.
- Jetzt wird zusätzlich die Referenz auf das Dämmungsspektrum R_1 und der Mittelwert des Transmissionsgrades auf dem Button angezeigt.



Hindernisquader mit zugewiesenem Absorptionsgradspektrum und Mittelwert des Schalldämmmaß-Spektrums

Das frequenzabhängige Schalldämm-Maß (bzw. der Transmissionsgrad) wird in der Ausgangskonfiguration über alle Oktaven gemittelt und als Mittelwert in der Berechnung verwendet. Daher wird nur ein Balken auf der Schaltfläche „Transmission“ dargestellt. Um den Schalldämm-Maß spektral in Berechnung nach dem Teilchenmodell einzubeziehen, ist die Konfiguration zu ändern.

- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **Berechnung**|**Konfiguration**).
- Stellen Sie zunächst sicher, dass auf der Registerkarte „Berechnung“ das Verfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“, mit Spiegelquellen bis einschließlich der nullten Ordnung und mit Teilchen bis einschließlich der 5sten Ordnung mit einer Referenz-Teilchenzahl von 100.000 gewählt ist.
- Wählen Sie die Registerkarte „Teilchenmodell“ und aktivieren Sie die Option „Teilchen je Oktave erzeugen“.
- Öffnen Sie jetzt den Objektdialog eines Hindernisquaders.



Hindernisquader mit zugewiesenen Absorptionsgrad- und Schalldämmmaß-Spektrum

- Starten Sie die Berechnung am Immissionspunkt durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste oder Auswahl des Befehls **Immissionspunkte berechnen** aus dem Menü **Berechnung**.
- Überprüfen Sie den Pegel am Immissionsort.

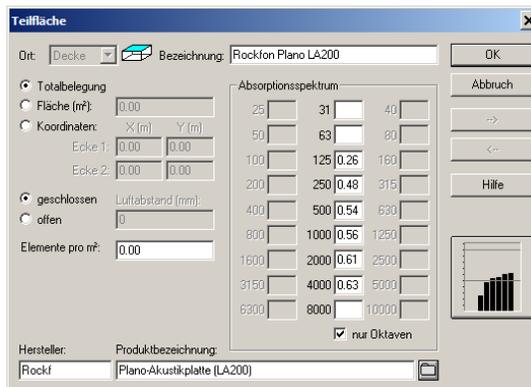
📁 Dateien/Tutorial/
Kap 7/Bueroraum_1.cni

Der Pegel ist mit $L_{pA} = 47.3 \text{ dB(A)}$ zu hoch.

7.1 Schallabsorbierende Decke installieren

Zunächst soll geprüft werden, ob der Zielwert mit einer schallabsorbierenden Decke einzuhalten ist.

- Öffnen Sie die Teilflächenliste über den Dialog **Raumdaten** und doppelklicken Sie in die Tabellenzeile "Decke".
- Wählen Sie für die Decke das Produkt "Rockfon Plano-Akustikplatte (LA200)" mit der Option "Totalbelegung" aus.
- Geben Sie als Bezeichnung "Rockfon Plano LA200" ein und aktivieren Sie die Option "nur Oktaven".



Die abgehängte Decke weist ein Luftabstand von 200 mm von der Massivdecken-Oberfläche auf. Dadurch reduziert sich die effektive Deckenhöhe um den gleichen Betrag, da die Höhe bis zur Unterkante einer Deckenkonstruktion zählt.

- Korrigieren Sie die Raumhöhe auf 2,6 m.
- Schließen Sie den Dialog **Raumdaten** mit OK und starten Sie erneut die Einzelpunktberechnung.

 Dateien/Tutorial/
Kap 7/Bueroraum_2.cni

Der Immissionspegel am Referenzpunkt ist mit $L_{pA} = 44.1$ dB(A) deutlich niedriger, aber im Hinblick auf das Kriterium zu hoch.

7.2 Flurseitige Wand verkleiden

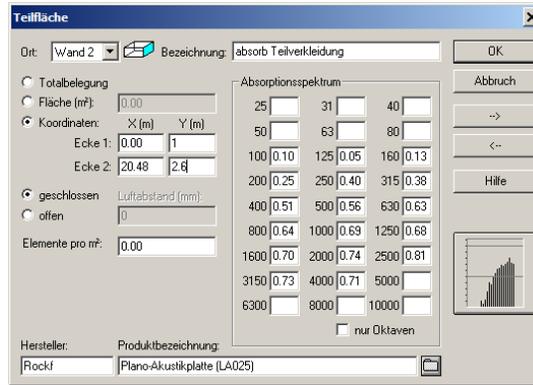
Als weitere Maßnahme soll die flurseitige Wand - diejenige mit den Zugangstüren - auf der oberen Hälfte schallabsorbierend verkleidet werden.

- Öffnen Sie erneut die Tabelle **Teilflächen** über den Dialog **Raumdaten**.
- Fügen Sie über das Kontextmenü der Tabelle eine neue Zeile unter der Zeile "Wand 2" ein.

Ort	Bezeichnung	Fläche (m²)	Absorptionsgrad															
			25	31	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	
Wand 1		18.30											0.06			0.07		0.07
Wand 2													0.06			0.07		0.07
Wand 2	Ganz-Glast												0.25			0.15		0.10
Wand 2	Ganz-Glast												0.25			0.15		0.10
Wand 2	Ganz-Glast												0.25			0.15		0.10
Wand 3													0.06			0.07		0.07
Wand 4													0.06			0.07		0.07
Decke	Rockfon Plano LA200	144.18											0.26			0.48		0.54
Boden		144.18											0.06			0.07		0.07
Streuk.													0.06			0.07		0.07

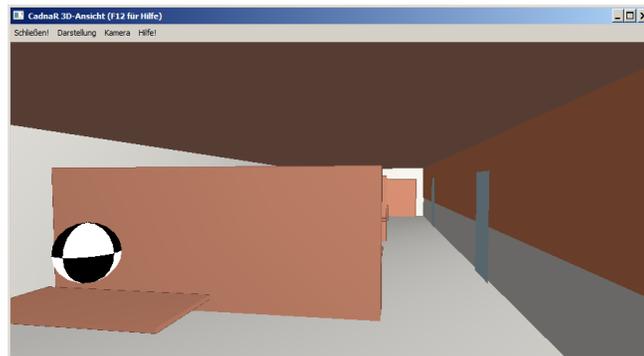
Wenn die neue Teilfläche auf Wand 2 an der 2.Position steht, wird die ursprüngliche Brutto-Fläche der Grundwand in der Berechnung automatisch vermindert. Gleiches gilt für die drei Türen, die hinter der neuen Teilfläche stehen. Diese mindern die Nettofläche sowohl der Grundwand, als auch der an 2.Position eingegebenen Fläche.

- Doppelklicken Sie in neue Tabellenzeile.
- Wählen Sie als Produkt "Rockfon Plano (LA025)" aus.
- Wählen Sie die Option "Koordinaten" und geben Sie als lokale Eckkoordinaten die Punkte $(x_1, y_1)=(0, 1)$ und $(x_2, y_2)=(20.48, 2.6)$ ein.



Somit wird die gleiche Absorptionsplatte wie an der Decke verwendet, in diesem Fall nur ohne Wandabstand.

- Überprüfen Sie die korrekte Eingabe der Geometrie über den Dialog **3D-Ansicht**.



- Schließen Sie die 3D-Ansicht und starten Sie anschließend die Einzel-punkt-berechnung.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 7/Bueroraum_3.cni

Der Immissionspegel am Referenzpunkt ist mit $L_{pA} = 42.8 \text{ dB(A)}$ noch etwas höher als das Kriterium. Daher soll die der Flurwand gegenüber liegende Längswand auch gleichartig schallabsorbierend verkleidet werden.

7.3 Längswand verkleiden

- Gehen Sie analog vor, um unterhalb der Zeile „Wand 4“ eine weitere Teilfläche einzufügen.
- Wählen Sie wieder als Produkt "Rockfon Plano (LA025)" aus.
- Geben Sie als lokale Eckkoordinaten wieder die Punkte $(x_1, y_1)=(0, 1)$ und $(x_2, y_2)=(20.48, 2.6)$ ein.

Danach sieht die Tabelle **Teilflächenliste** wie nachfolgend abgebildet aus:

Teilflächenliste																				
Ort	Bezeichnung	Fläche (m²)	Absorptionsgrad																	
			25	31	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250
Wand 1		18.30								0.06			0.07		0.07					0.08
Wand 2		53.25								0.06			0.07		0.07					0.08
Wand 2	absorb Teilverkleidung	32.77							0.10	0.05	0.13	0.25	0.40	0.38	0.51	0.56	0.63	0.64	0.69	0.68
Wand 2	Ganz-Glastür 1	2.00								0.25			0.15		0.10					0.05
Wand 2	Ganz-Glastür 2	2.00								0.25			0.15		0.10					0.05
Wand 2	Ganz-Glastür 3	2.00								0.25			0.15		0.10					0.05
Wand 3		18.30								0.06			0.07		0.07					0.08
Wand 4		53.25								0.06			0.07		0.07					0.08
Wand 4	absorb Teilverkleidung	32.77							0.10	0.05	0.13	0.25	0.40	0.38	0.51	0.56	0.63	0.64	0.69	0.68
Decke	Rockfon Plano LA200	144.18							0.20	0.31	0.32	0.40	0.54	0.54	0.52	0.57	0.52	0.54	0.53	0.60
Boden		144.18								0.06			0.07		0.07					0.08
Streuk.										0.06			0.07		0.07					0.08

Nach erneuter Einzelpunktberechnung beträgt der Immissionspegel am Referenzpunkt jetzt $L_{pA} = 41.9 \text{ dB(A)}$ und erfüllt das Kriterium. Der Immissionspunkt wird folglich in Schwarz dargestellt.

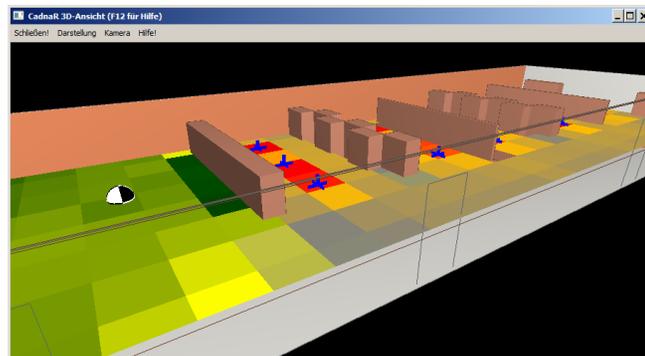
- Berechnen Sie abschließend die Pegelverteilung auf dem Raster in einer Höhe von 1,2 m über dem Boden.
- Öffnen Sie den Dialog **Raster|Spezifikation** und ändern die Höhe auf 1,2 m.



📁 Dateien/Tutorial/
Kap 7/Bueroraum_4.cni

- Schließen Sie den Dialog und starten Sie die Rasterberechnung (Menü **Raster**).

Nach Abschluss der Berechnung wird das Raster angezeigt. Öffnen Sie die 3D-Ansicht und schalten Sie mit der Taste R die verschiedenen Raster-Anzeigeoptionen durch.



Büroraum: Pegelraster in 1,2 m Höhe über Boden

7.4 Teilchen-Ping-Pong anzeigen

Unter „Teilchen-Ping-Pong“ wird die 3D-Visualisierung des zeitlichen Verlaufs der Teilchen-Ausbreitung im Zusammenhang mit Berechnungen nach dem Teilchenmodell bezeichnet. Das Teilchen-Ping-Pong ist eine Anzeigeoption innerhalb des Dialogs **3D-Ansicht** (Menü **Eigenschaften**).

Aus Gründen der zur Verfügung stehenden PC-Hardware ist es i.d.R. sinnvoll, nicht alle berechneten Teilchen, sondern nur eine maximale Anzahl Teilchen anzuzeigen. Die eingegebene maximale Teilchenzahl gilt global für alle Quellen bzw. Teilquellen. Die dazu erforderliche Einstellungen werden im Dialog **Teilchen-Visualisierung** im Menü **Eigenschaften** vorgenommen. Standardmäßig ist diese Option ist deaktiviert.

☞ Die zeitliche Historie der Teilchen-Ausbreitung wird nicht innerhalb der **CadnaR**-Datei gespeichert, sondern kann nur unmittelbar nach einer Berechnung angezeigt werden.

Gehen Sie zur Anzeige des Teilchen-Ping-Pong wie folgt vor:

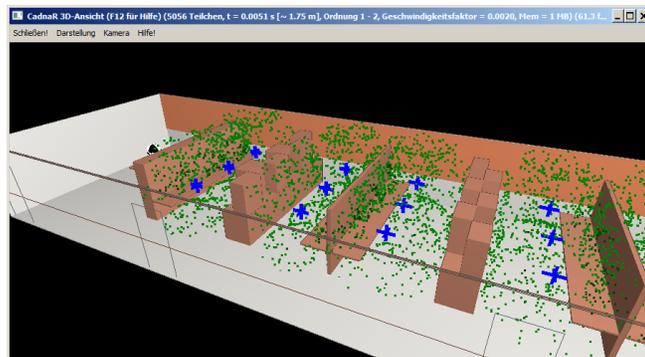
📁 Dateien/Tutorial/
Kap 7/Bueroraum_4.cni

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei.
- Öffnen Sie den Dialog **Teilchen-Visualisierung** im Menü **Eigenschaften** und schalten Sie die Option „Teilchen-Visualisierung aktivieren“ unter Beibehaltung der standardmäßig vorgegebenen Werte ein.
- Starten Sie die Berechnung neu durch Klick das Symbol  auf der Symbolleiste oder Auswahl des Befehls **Immissionspunkte berechnen** aus dem Menü **Berechnung**.
- Öffnen Sie den Dialog **3D-Ansicht** im Menü **Eigenschaften**.
- Drücken Sie die Taste R solange, bis das Raster nicht mehr angezeigt wird.
- Drücken Sie jetzt die Taste C, um das Teilchen-Ping-Pong zu starten.

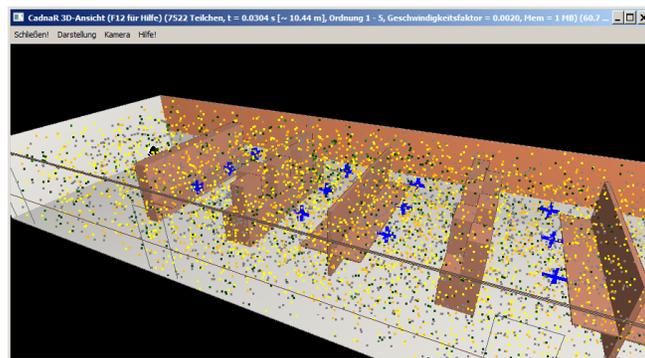
Verwenden Sie auch die Taste C, um das Teilchen-Ping-Pong auf den Anfang zurückzusetzen und neu zu starten.

Während das Teilchen-Ping-Pong angezeigt wird, kann die Teilchengröße durch Drücken der Minus-Taste (-) verkleinert oder durch Drücken der Plus-Taste (+) vergrößert werden.

Die Geschwindigkeit der Teilchen wird mit der Taste E vergrößert und mit der Tastenkombination Shift+E verkleinert. Mit der Leertaste kann die Anzeige angehalten und wieder fortgesetzt werden. Der Geschwindigkeitsfaktor wird dabei auf Null zurückgesetzt. Danach muss dieser zunächst mit Taste E wieder schrittweise erhöht werden, um eine Anzeige zu erhalten.



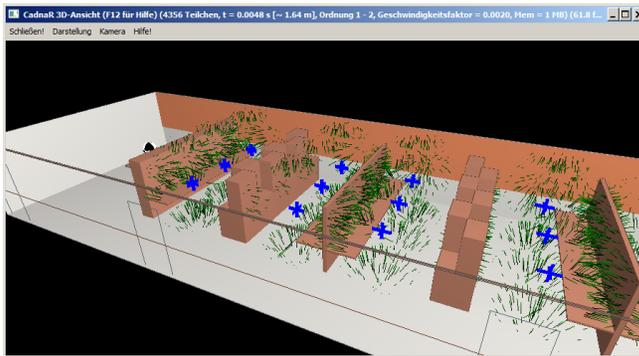
Partikelverteilung beim Teilchen-Ping-Pong nach 0.0051 s
(entsprechend einer Länge des Schallausbreitungswegs von ca. 1.75 m)



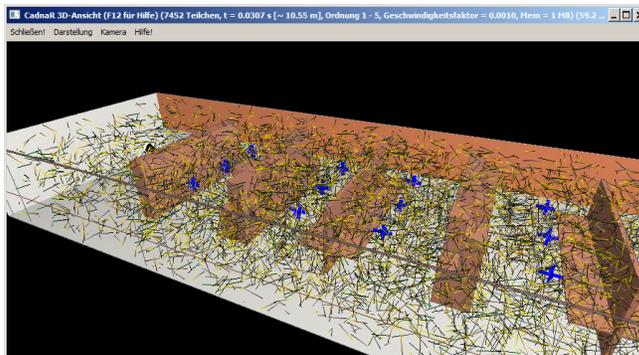
Partikelverteilung beim Teilchen-Ping-Pong nach 0.0304 s
(entsprechend einer Länge des Schallausbreitungswegs von ca. 10.44 m)

- Schalten Sie jetzt aus dem Menü **Darstellung** im Dialog **3D-Ansicht** die Option „Teilchenspuren anzeigen“ ein.
- Drücken Sie die Taste C, um das Teilchen-Ping-Pong erneut zu starten.

In diesem Fall wird zusätzlich die Teilchenspur angezeigt, die einen Rückschluss auf die Flugrichtung des Teilchens gestattet.



Teilchenspuren beim Teilchen-Ping-Pong nach 0.0048 s
(entsprechend einer Länge des Schallausbreitungswegs von ca. 1.64 m)



Teilchenspuren beim Teilchen-Ping-Pong nach 0.0307 s
(entsprechend einer Länge des Schallausbreitungswegs von ca. 10.55 m)

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 7/teilchen.avi
📁 Dateien/Tutorial/
Kap 7/spuren.avi

Die beiden nebenstehenden Videodateien (*.avi) zeigen das Teilchen-Ping-Pong für den Büroraum mit beiden Darstellungsoptionen.

Aus der Titelzeile des Dialogs können die folgenden Daten entnommen werden:

- xxx Teilchen: Anzahl der aktuell angezeigten Teilchen.
Die Anzahl der angezeigten Teilchen nimmt mit der Zeit infolge Reflexion anfänglich zu und durch Absorption mit fortschreitender Zeit wieder ab.
- $t = x.xxxx$ s [$\sim x.xx$ m]: Zeitpunkt (in s) und zurückgelegter Schallweg (in m)
- Ordnung: Nach Start des Teilchen-Ping-Pong wird hier der Bereich der aktuell angezeigten Ordnungen angezeigt.
- Geschwindigkeitsfaktor: Dieser Faktor legt die angezeigte Geschwindigkeit der Teilchen im Verhältnis zur Schallgeschwindigkeit fest.

Bei einem Geschwindigkeitsfaktor von 1 entspricht die angezeigte Teilchengeschwindigkeit der Schallgeschwindigkeit. Bei einem Geschwindigkeitsfaktor von z.B. 0.001 beträgt die Geschwindigkeit der Teilchenanzeige somit $0.001 \cdot 340 \text{ m/s} = 0.34 \text{ m/s}$.

- Mem (MB): erforderlicher Speicherbedarf in MegaByte
- fps: Anzahl frames per second

Kapitel 8 - Deckensegel eingeben

In Büroräumen werden häufig sogenannte „Deckensegel“ eingesetzt, um die Nachhallzeit zu regulieren und die Sprachverständlichkeit zu verbessern. Deckensegel stellen primär horizontal liegende Schirmflächen dar, die beliebig im Raum orientiert und in z-Richtung gekrümmt sein können.

Mit den in **CadnaR** vorhandenen Objekten „Höhenpunkt“, „Höhenlinie“ und „PolyMesh“ können sowohl ebene, als auch gekrümmte Deckensegel eingegeben und so in die Modellierung einbezogen werden.

Zudem sind mit den genannten Objekten - neben rechteckigen Räumen - auch andere Raumformen modellierbar, deren Raumdecke keine ebene Fläche darstellt (z.B. Kirchen).

In diesem Kapitel wird die Modellierung von abschirmenden bzw. absorbierenden Objekten oder Raumbegrenzungsflächen unter Verwendung der genannten Objekte behandelt.

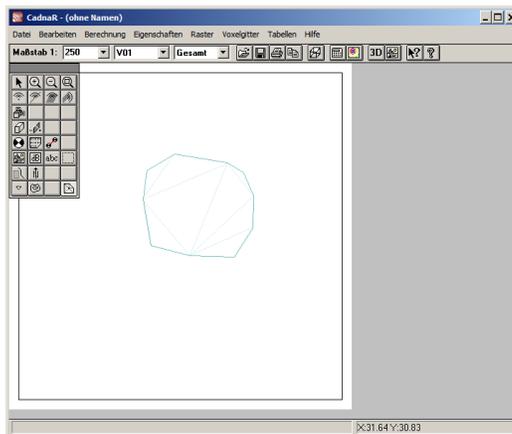
Bei der Berechnung unter Anwendung der genannten Objekte ist zu beachten, dass diese nur eine Wirkung in Verbindung mit dem Teilchenmodell in **CadnaR** haben.

8.1 Ebene Deckensegel

Um ein ebenes Deckensegel einzugeben, gehen Sie wie folgt vor:

- Stellen Sie zunächst sicher, dass das Teilchenmodell in der Konfiguration gewählt ist.
- Wählen Sie das Objekt „PolyMesh“ aus dem Werkzeugkasten aus.
- Geben Sie ein Polygon aus mehreren Stützstellen nach den üblichen Regeln für geschlossene Polygone ein.
- Bei Klicken der rechten Maustaste wird das Polygon - wie üblich - geschlossen.

Nach Eingabe des Polygons führt **CadnaR** eine Triangulation zwischen dessen Stützstellen durch. Die triangulierten Linien zwischen den eingegebenen Stützstellen werden mit der für „Triangulation“ im Dialog **Darstellung** (Menü **Eigenschaften**) eingestellten Linienart und -farbe angezeigt.

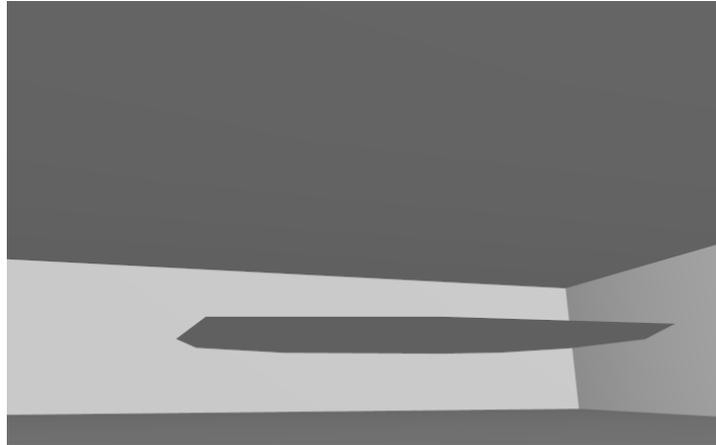


- Wählen Sie den Editiermodus und Doppelklicken Sie auf den Rand des PolyMesh.
- Klicken Sie die Schaltfläche „Geometrie“ und geben Sie für den Anfangspunkt eine Höhe von 2 Metern ein.

- Klicken Sie auf den 3D-Button auf der Symbolleiste oder drücken Sie die Tastenkombination CTRL/STRG+3.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 8/PolyMesh_1.cni

In der 3D-Ansicht ist das eingegebene PolyMesh als ebene Abschirmfläche dargestellt.



- Gehen Sie analog vor um weitere PolyMeshes einzugeben.

Das Objekt „PolyMesh“ stellt im Ausgangszustand nur eine abschirmende Fläche dar. Zusätzlich kann die Fläche absorbierend, streuend und transmittierend sein. Geben Sie dazu entsprechende Werte ein oder wählen Sie ein Spektrum aus den Bibliotheken.

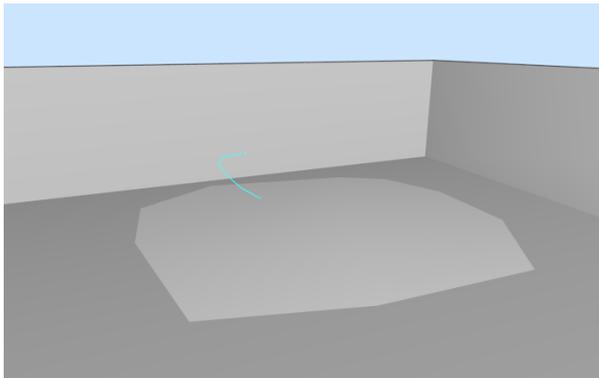
8.2 Gekrümmte Deckensegel

Um gekrümmte Deckensegel einzugeben, werden folgende **CadnaR**-Objekte verwendet:

- PolyMesh: bildet die Umrandung
- Höhenpunkte und Höhenlinien: bilden Punkte innerhalb der umrandet Fläche ab.

Um ein gekrümmtes Deckensegel einzugeben, gehen Sie wie folgt vor:

- Stellen Sie zunächst sicher, dass das Teilchenmodell in der Konfiguration gewählt ist.
- Wählen Sie das Objekt „PolyMesh“ aus dem Werkzeugkasten aus und geben Sie ein Polygon mit einer Höhe ein (Details siehe voriges Kapitel).
- Wählen Sie das Objekt „Höhenlinie“ aus dem Werkzeugkasten aus und geben Sie einen Polygonzug innerhalb der Fläche des PolyMesh ein. *Höhenlinie eingeben*
- Weisen Sie der Höhenlinie eine Höhe von 3.5 m zu.
- Klicken Sie auf den 3D-Button auf der Symbolleiste oder drücken Sie die Tastenkombination CTRL/STRG+3.



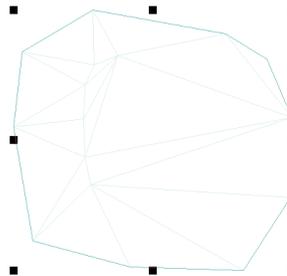
Aus der 3D-Ansicht ist zu erkennen, dass die Höhenlinie alleine keine Wirkung auf die Geometrie des PolyMesh ausübt und somit akustisch unwirksam ist.

- Schließen Sie die 3D-Ansicht.
- Wählen Sie aus dem Kontextmenü des PolyMesh den Befehl **PolyMesh gruppieren** aus.



📁 Dateien/Tutorial/
Kap 8/PolyMesh_2.cni

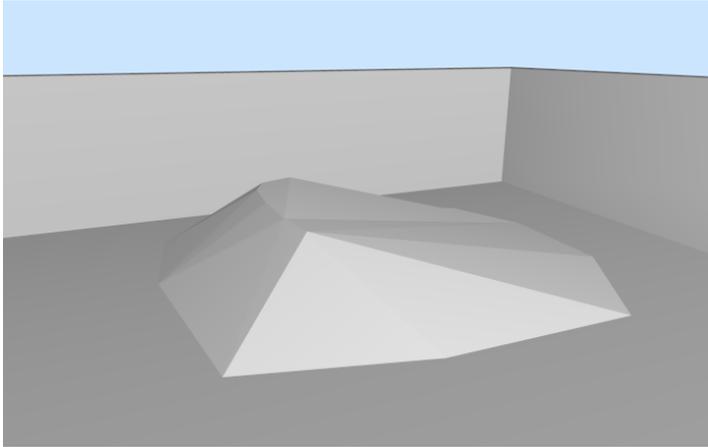
In diesem Moment wird die Triangulation erneut ausgeführt, diesmal unter Berücksichtigung der Höhenangaben der Höhenlinie.



- Öffnen Sie erneut die 3D-Ansicht.

Die Polygon-Stützstellen der Höhenlinie und des PolyMesh bilden jetzt eine gemeinsame Abschirmfläche.

- ☞ Der Befehl **PolyMesh gruppieren** wirkt nur auf Höhenpunkte und Höhenlinien, die sich vollständig innerhalb des PolyMesh befinden.

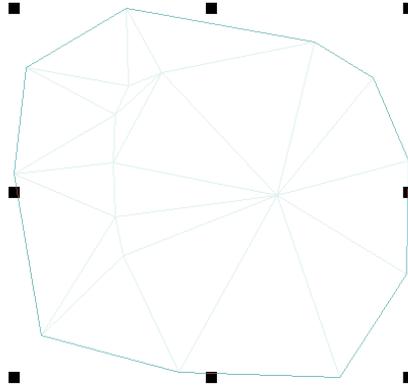


- Wählen Sie das Objekt „Höhenpunkt“ aus dem Werkzeugkasten aus und geben Sie einen Höhenpunkt - in diesem Beispiel - im rechten Teil der Fläche des PolyMesh ein.
- Weisen Sie dem Höhenpunkt eine Höhe von 5 m zu.
- Wählen Sie - unter der Voraussetzung, dass ausgehend von vorigen Beispiel fortgesetzt wird - aus dem Kontextmenü des PolyMesh den Befehl **PolyMesh entgruppieren** aus.
- Wählen Sie jetzt aus dem Kontextmenü des PolyMesh erneut den Befehl **PolyMesh gruppieren** aus.

Höhenpunkt eingeben

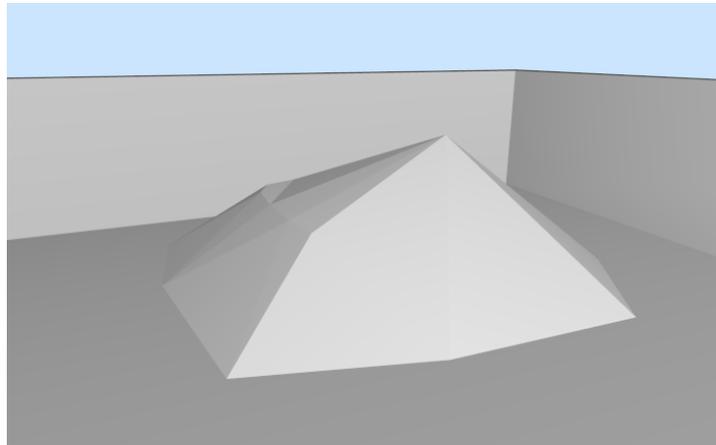
Wie aus der 2D-Darstellung erkennbar ist, wurde die Triangulation erneut ausgeführt, diesmal unter Berücksichtigung der Höhenlinie und des Höhenpunktes.

- Klicken Sie auf den 3D-Button auf der Symbolleiste oder drücken Sie die Tastenkombination CTRL/STRG+3.



📁 Dateien/Tutorial/
Kap 8/PolyMesh_3.cni

Jetzt bilden die Polygon-Stützstellen der Höhenlinie, des Höhenpunktes und des PolyMesh eine gemeinsame Abschirmfläche.



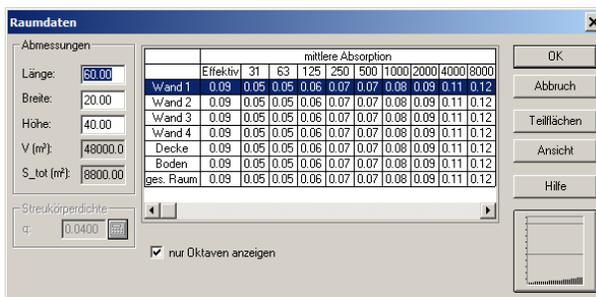
8.3 Beliebige Raumdeckengeometrien

Die **CadnaR**-Objekte Höhenpunkte, Höhenlinien und PolyMesh können auch verwendet werden, um beliebige Deckenstrukturen innerhalb eines Raumes zu erzeugen. Die prinzipielle Vorgehensweise wird hier am Beispiel einer Kirche erläutert, ohne dass jeder Einzelschritt beschrieben wird.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 8/Kirche_1.cni

Ausgangspunkt bildet das äußere, den ganzen Raum (einschließlich der Kirchturmspitze) umfassende Raum-Polygon. Dies wird über den Dialog **Raumdaten** mit $L/B/H = (60/20/40)$ m eingegeben.

Äußere Raumabmessungen



Anschließend wird das raumbegrenzende PolyMesh mit folgenden Koordinatenpunkten eingegeben:

Eingabe des PolyMesh

x (m)	y (m)	z (m)
35.00	5.00	10.00
35.00	0.00	10.00
45.00	0.00	10.00
45.00	5.00	10.00
60.00	5.00	10.00
60.00	15.00	10.00
45.00	15.00	10.00
45.00	20.00	10.00
35.00	20.00	10.00
35.00	15.00	10.00
0.00	15.00	10.00
0.00	5.00	10.00

Diese Punkte stellen des kreuzartige Grundrisspolygon mit Haupt- und Seitenschiffen dar, dessen Höhe auf 10 m liegt.

Firste des Hauptschiffs eingeben

Anschließend werden zwei Höhenlinien für die beiden Firste im Hauptschiff und im Chor mit folgenden Koordinaten eingegeben:

- Hauptschiff:

x (m)	y (m)	z (m)
0.00	10.00	20.00
35.00	10.00	20.00

- Chor:

x (m)	y (m)	z (m)
45.00	10.00	20.00
60.00	10.00	20.00

Firste der Querschiffe eingeben

Anschließend werden die zwei Firste in den Querschiffen eingegeben:

- nördliches Querschiff:

x (m)	y (m)	z (m)
40.00	15.00	20.00
40.00	20.00	20.00

- südliches Querschiff:

x (m)	y (m)	z (m)
40.00	5.00	20.00
40.00	0.00	20.00

Eingabe der Turmspitze

Die Eingabe der Turmspitze erfolgt mit Hilfe eines Höhenpunktes. Dieser wird in der Mitte der Vierung platziert und erhält eine Höhe von 40 m.

The screenshot shows a dialog box titled "Höhenpunkt" with the following fields and values:

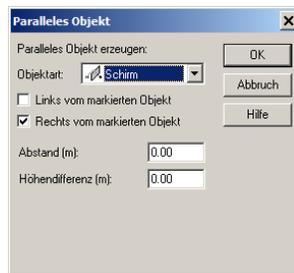
- Bez.: [empty]
- ID: [empty]
- X (m): 40.00
- Y (m): 10.00
- Z (m): 40.00

Buttons: OK, Abbruch, Hilfe.

Im nächsten Schritt werden die vertikalen Seitenwände des gesamten Kirchenraums als paralleles Objekt längs des PolyMesh erzeugt.

*Seitenwände als parallele
Objekte erzeugen*

Dazu wird er Befehl **Paralleles Objekt** aus dem Kontextmenü des PolyMesh ausgewählt. Die Zielobjektart ist das Objekt „Schirm“. Dies wird rechts vom markierten Objekt erzeugt mit einem Abstand von 0 m (d.h. ob „links“ oder „rechts“ spielt in diesem Fall keine Rolle) und mit einer Höhendifferenz von 0 m. Damit erhalten die neu erzeugten Schirme dieselbe Höhe wie das PolyMesh (= 10 m).



Die Schirme, die die Kopfseiten des Hauptschiff bzw. des Chors und die äußeren Abschlüsse der Seitenschiffe bilden, sind doppelt vorhanden, da der äußeren Raumkubus schon reflektierend wirkt. Daher werden diese vier Schirme gelöscht.

*Doppelte Schirmfläche
löschen*

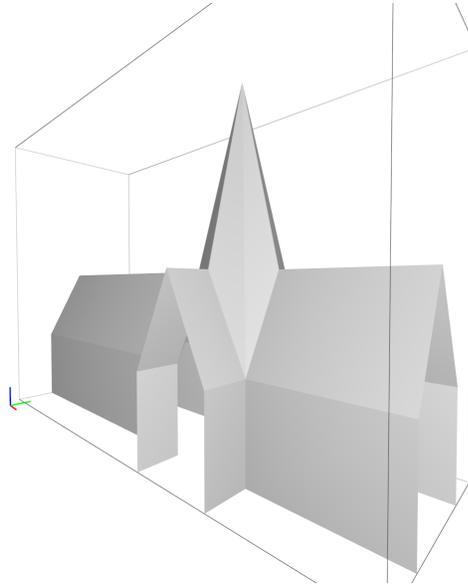
Abschließend wird das PolyMesh mit den Höhenlinien und dem Höhenpunkt gruppiert (Kontextmenübefehl **PolyMesh gruppieren**).

PolyMesh gruppieren

3D-Ansicht anzeigen

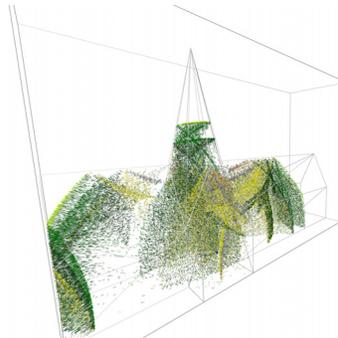
Bei Drahtgitter-Darstellung des Raumes (siehe Menü **Darstellung** im Fenster **CadnaR 3D-Ansicht**) werden die Objekte schattiert und der Raum als Drahtgitter dargestellt:

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 8/Kirche_2.cni



Punktequelle eingeben

Nach Eingabe einer Punktquelle mit Emission kann die Ausbreitung der Teilchen mittels Teilchen-Pingpong angezeigt werden (siehe Menü **Darstellung** im Fenster **CadnaR 3D-Ansicht**):



Kapitel 9 - Gütemaße an Immissionspunkten berechnen

CadnaR ermöglicht die Berechnung raumakustischer Gütemaße auf Basis des Echogramms und der Abklingkurven für Immissionspunkte und im Raster. In diesem Beispiel werden folgende raumakustischen Gütemaße an Immissionspunkten berechnet:

- T30 (Nachhallzeit bei 30 dB Abfall, in s)
- T20 (Nachhallzeit bei 20 dB Abfall, in s)
- T10 (Nachhallzeit bei 10 dB Abfall, in s)
- EDT (Anfangsnachhallzeit/Early Decay Time, in s)
- STI_male (Speech Transmission Index für männliche Sprecher)
- STI_female (Speech Transmission Index für weibliche Sprecher)

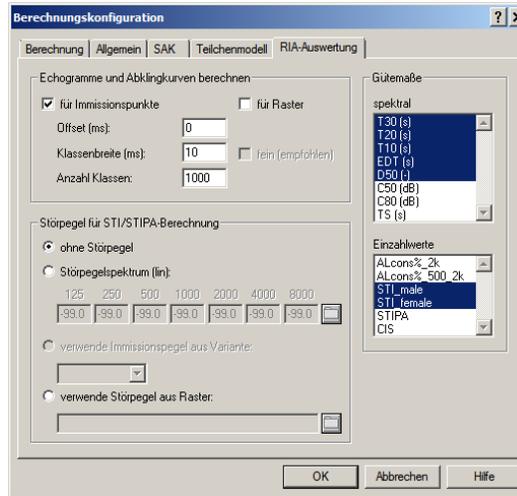
9.1 Gütemaße auswählen

Gehen Sie dazu wie folgt vor:

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei.
- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **BerechnungKonfiguration**).
- Stellen Sie sicher, dass auf der Registerkarte „Berechnung“ das Verfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“, mit Spiegelquellen bis einschließlich der nullten Ordnung und mit Teilchen bis einschließlich der 50sten Ordnung mit einer Referenz-Teilchenzahl von 1.000.000 gewählt ist.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 9/RIA_IP_1.cni

- ☞ Die Einstellung der 50sten Ordnung und einer Referenz-Teilchenzahl von 1.000.000 beim Teilchenmodell ist erforderlich, um einen stetigen Verlauf der Abklingkurve und einen realitätsnahen Ergebnispegel sicherzustellen.
- Wählen Sie die Registerkarte „RIA-Auswertung“ (RIA=Raumimpulsantwort) und aktivieren Sie die Option „Echogramme und Abklingkurven berechnen ... für Immissionspunkte“.
- Behalten Sie die voreingestellten Werte für Offset, Klassenbreite und Anzahl Klassen bei.
- ☞ Die voreingestellten Werte entsprechen einer Standardlänge des Zeitfensters von 2 Sekunden (200*10 ms).
- Wählen Sie bei gedrückt gehaltener STRG/CTRL-Taste die Gütemaße T30, T20, T10, EDT und STI_male, STI_female aus den jeweiligen Listenfeldern aus.

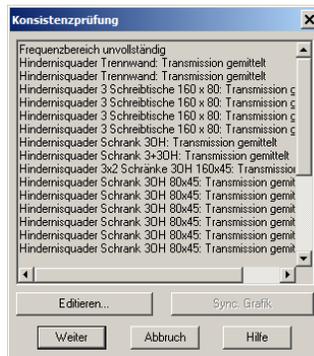


Registerkarte „RIA-Auswertung“ mit Einstellungen zur Auswertung raumakustischer Gütemaße an Immissionspunkten

9.2 Frequenzbereich anpassen

- Starten Sie die Berechnung an den Immissionspunkten durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste.

Daraufhin zeigt **CadnaR** eine aus der internen Konsistenzprüfung resultierende Meldung an, die sich auf den unvollständigen Frequenzbereich und den gemittelten Transmissionsgrad der Hindernisse bezieht:



Eine Änderung der Obergrenze des Frequenzbereichs ist erforderlich, da die Berechnung des STI die 8000 Hz-Oktave einschließt.

Frequenzbereich anpassen

- Öffnen Sie im Menü **BerechnungKonfiguration** die Registerkarte „Allgemein“.
- Ändern Sie die Obergrenze des auszuwertenden Frequenzbereichs auf 8000 Hz.



Da die Emission der Punktquelle durch Eingabe des LWA festgelegt wurde, wird diese Summen-Schallleistung nun auf 7 Oktaven verteilt.

Teilchen je Oktave erzeugen

Die weiteren Meldungen beziehen sich auf die - bei der momentan eingestellten Konfiguration - gemittelten Transmissionsgrade der Hindernisquader. Gegenwärtig ist die Option „Teilchen je Oktave erzeugen“ auf der Registerkarte „Teilchenmodell“ deaktiviert. In diesem Fall werden die werden die frequenzabhängigen Transmissionsgrade gemittelt und als Mittelwert in der Berechnung verwendet.

- Öffnen Sie im Menü **Berechnung|Konfiguration** die Registerkarte „Teilchenmodell“.
- Aktivieren Sie nun die Option „Teilchen je Oktave erzeugen“ und schließen Sie den Dialog.
- Starten Sie erneut die Berechnung an den Immissionspunkten.

☞ Zur Berechnung ist außerdem erforderlich, dass die Absorptions- und Transmissionsgrade der Hindernisse (hier: Hindernisquader) und die Absorptionsgrade der Raumbegrenzungsflächen bis einschließlich der 8000 Hz-Oktave vorliegen. Dies ist in der verwendeten Beispieldatei schon der Fall.

9.3 Abklingkurven anzeigen

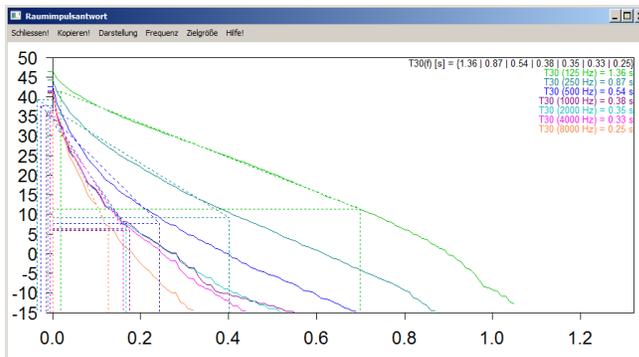
Nach Abschluss der Berechnung können die Echogramme/Abklingkurven über den Dialog des jeweiligen Immissionspunkts angezeigt werden.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 9/RIA_IP_2.cni

☝ Beachten Sie, das die berechneten Echogramme/Abklingkurven nur nach einer Berechnung angezeigt werden kann und aus Gründen des Speicherplatzbedarfs z.Z. nicht in der **CadnaR**-Datei gespeichert wird. Daher gehen mit Speichern/Schließen einer **CadnaR**-Datei ggf. berechnete Verläufe verloren.

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei.
- Starten Sie die Berechnung an Immissionspunkten.
- Öffnen Sie den Dialog eines Immissionspunktes und klicken Sie auf die Schaltfläche „RIA-Auswertung“.

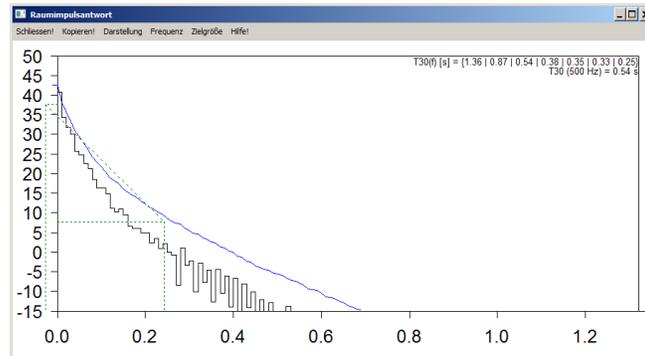
Das Diagramm zeigt in der Standardeinstellung die Verläufe für die erste gewählte spektrale Zielgröße für alle Oktaven innerhalb des gewählten Frequenzbereichs an.



Nachhallzeit-Verläufe für T30 für die Oktaven von 125 bis 8000 Hz
 für Immissionspunkt IP 1

- Wählen Sie aus dem Menü **Frequenz** die Oktave 500 Hz aus.

Daraufhin wird der Verlauf des Echogramm und die Abklingkurve für die 500 Hz-Oktave angezeigt. Die für eine einzelne Oktave zusätzlich angezeigten Klassen ergeben sich aus den Eingaben auf der Registerkarte „RIA-Auswertung“ (im Menü **Konfiguration**).



Nachhallzeit-Verläufe für T30 für Oktave 500 Hz (mit Klassen)

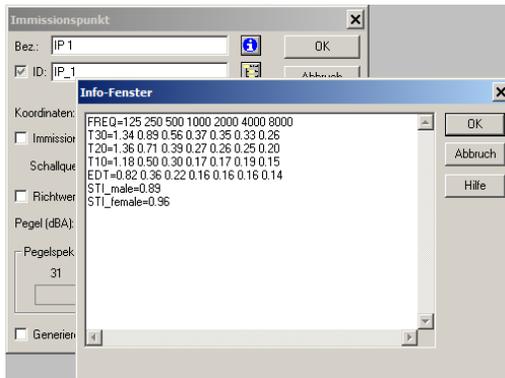
- Schalten Sie über das Menü **Zielgröße** zwischen den verschiedenen Zielgrößen hin und her.
- Probieren Sie die weiteren Optionen im Menü **Darstellung** aus.
- Kopieren Sie über den Menüpunkt **Kopieren!** das Diagramm einschließlich der Textanzeigen in die Zwischenablage, um dieses in eine andere Windows-Anwendung einzufügen.
- Schließen Sie das Diagramm über den Menüpunkt **Schließen!**

9.4 Immissionspunkte etikettieren

In diesem Kapitel werden die raumakustischen Gütemaße in Etiketten seitlich der Immissionspunkte angezeigt.

- Öffnen Sie den Dialog eines Immissionspunktes.
- Anhand des blau eingefärbten Symbols können Sie erkennen, dass im **Info-Fenster** Text vorhanden ist.
- Öffnen Sie das **Info-Fenster** durch Klick auf das farbige Symbol.

Die entsprechend der eingestellten Konfiguration berechneten raumakustischen Gütemaße werden als Textvariablen (d.h. mit Gleichheitszeichen) angezeigt.



Dialog **Info-Fenster** von IP 1:
raumakustischen Gütemaße als Textvariablen

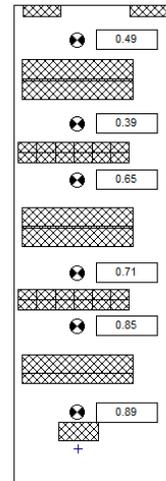
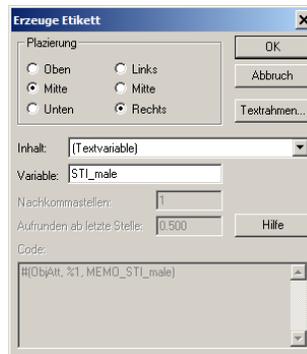
- Wählen Sie das Objekt „Textrahmen“ aus dem Werkzeugkasten und ziehen Sie ein Textfeld auf.
- Geben Sie über die Schaltfläche „Schriftart“ des Textfeldes eine Textgröße von 9 Punkt vor und schließen Sie die Dialoge mit OK.

Diese Einstellungen werden dann für alle weiteren, automatisch erzeugten Textrahmen übernommen.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 8/RIA_IP_2b.cni

Zur Anzeige des STI_male in einem Etikett gehen Sie wie folgt vor:

- Klicken Sie mit der rechten Maustaste in den weißen Bereich des **CadnaR**-Hauptfensters.
- Wählen Sie aus dem Kontextmenü den Befehl **Objekte verändern**, dann die Aktion „Erzeuge Etikett“ für alle Immissionspunkte aus.
- Geben Sie nach Auswahl von „(Textvariable)“ die Variablenbezeichnung „STI_male“ ein.



Wert der Textvariable „STI_male“ in einem Etikett anzeigen

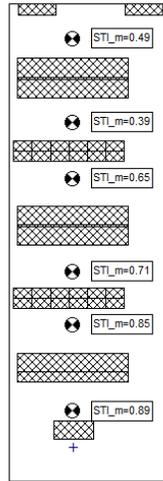
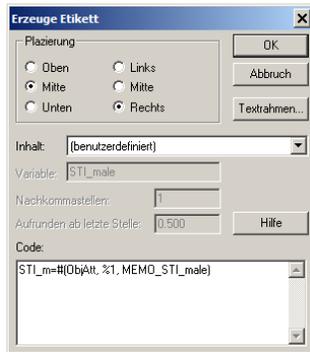
Um zusätzlich den Text „STI_m=“ vor dem Zahlenwert anzuzeigen, gehen Sie wie folgt vor:

- Löschen Sie ggf. die vorher erzeugten Etiketten (mit Aktion „Löschen“ im Dialog **Objekte verändern**).
- Wählen Sie danach wieder die Aktion „Erzeuge Etikett“ im Dialog **Objekte verändern** für alle Immissionspunkte.

- Wählen Sie aus dem Listenfeld „Inhalt“ die Option „(Textvariable)“, die Variable „STI_male“ wurde beibehalten.
- Wählen Sie jetzt aus dem Listenfeld „Inhalt“ die Option „(benutzerdefiniert)“ aus und ergänzen Sie den Text im Feld „Code“ um $STI_m=$.

Damit sieht der Dialog wie folgt aus:

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 8/RIA_IP_2c.cni

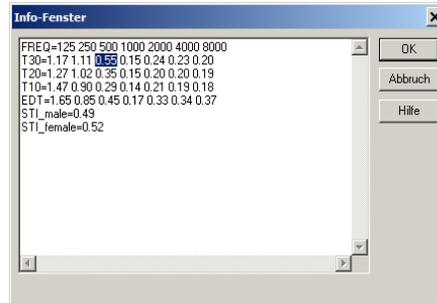


Text und Wert der Textvariable „STI_male“ in Etikett anzeigen

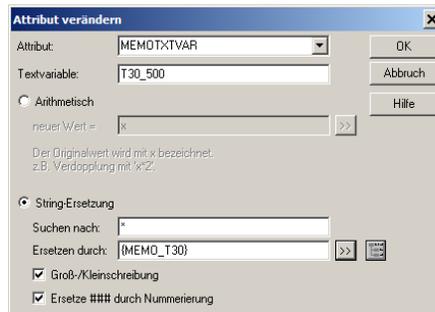
Die Textvariablen T30, T20, T10 und EDT stellen die spektralen Gütemaße in Oktavbandbreite dar. Alle Spektralwerte in jeweils einem einzigen Etikett anzuzeigen, ist sicher nicht zweckmäßig. Besser wäre es, zum Beispiel, nur den Oktavwert bei 500 Hz in einem Etikett anzuzeigen.

Die Vorgehensweise, um dies zu erreichen, wird nachfolgend anhand der Nachhallzeit T30 erläutert. Dazu wird aus einer Kopie der spektralen Textvariablen T30 zunächst eine neue Textvariable, die anschließend auf den Wert für die 500 Hz-Oktave beschränkt wird. Diese kann anschließend in einem Etikett angezeigt werden.

Aus dem Info-Fenster eines Immissionspunktes ist ersichtlich, dass der dritte Zahlenwert zur 500 Hz-Oktave gehört. Die vorangestellte Textvariable `FREQ` bezeichnet - abhängig vom bei der Berechnung eingestellten Frequenzbereich - die Oktavband-Mittenfrequenzen.



- Klicken Sie mit der rechten Maustaste wieder in den weißen Bereich des **CadnaR**-Hauptfensters.
- Wählen Sie aus dem Kontextmenü den Befehl **Objekte verändern**, Aktion „Attribut verändern“, für alle Immissionspunkte aus.
- Kopieren Sie den Wert der Textvariablen `STI_male` in die neue Textvariable `T30_500` mit nachfolgend dargestellten Einstellungen.



Die Zeichenkette der Textvariablen `T30` wird vollständig in die neue Variable `T30_500` kopiert. Diese muss im nächsten Schritt abgeschnitten werden.

- Wählen Sie aus dem Kontextmenü des Hauptfensters erneut den Befehl **Objekte verändern**, Aktion „Attribut verändern“, für alle Immissionspunkte aus.
- Wählen Sie unter „Attribut“ MEMOTXTVAR aus und geben Sie als neue Variablenbezeichnung T30_500 (für T30 bei 500 Hz) ein.
- Geben Sie im Bereich „String-Ersetzung“ Folgendes ein:

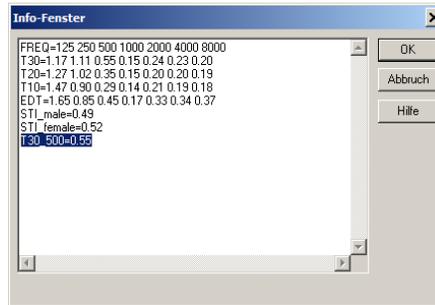
unter „Suchen nach“: ?????????(????)*
unter „Ersetzen durch“: \2

Zur Erläuterung: Da im Feld „Suchen nach“ nicht nach Leerzeichen gesucht werden kann, werden die Anzahl Stellen bis zur ersten Ziffer des beizubehaltenden Wertes (die Null in 0.55) durch Fragezeichen repräsentiert. Danach folgen vier Fragezeichen für den beizubehaltenden Wert (einschl. des Dezimalpunkts). Der Stern * am Ende der Zeichenkette im Feld „Suchen nach“ bezeichnet den Rest des Strings. Im Feld „Ersetzen durch“ bezeichnet \2 die gefundene Zeichenfolge innerhalb der runden Klammern, mithin die Nachhallzeit T30 bei 500 Hz.



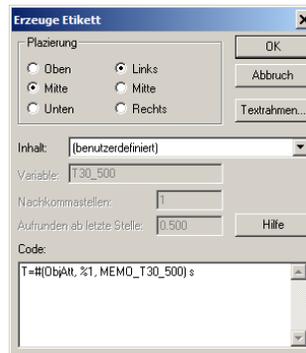
- Bestätigen Sie die Eingaben mit OK und „Alle“.

Im Info-Fenster der Immissionspunkte wurde jeweils die neue Textvariable T30_500 angelegt:



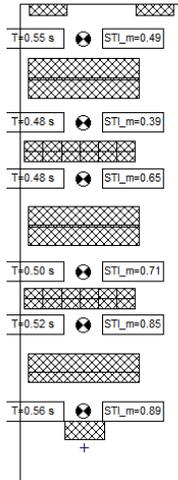
- Erzeugen Sie jetzt noch Etiketten auf der linken Seite der Immissionspunkte, um die Nachhallzeit T30 bei 500 Hz anzuzeigen.
- Editieren Sie dabei den Text im Feld „Code“ entsprechend:

$T=\#(\text{ObjAtt}, \%1, \text{MEMO_T30_500}) \text{ s}$



Das Ergebnis zeigt T30 bei 500 Hz und STI_{male} als Etiketten an den Immissionspunkten.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 8/RIA_IP_2c.cni



Kapitel 10 - Immissionspunktketten berechnen

Das Objekt „Immissionspunktkette“ ermöglicht die Berechnung folgender Größen nach den Vorgaben der Norm DIN EN ISO 3382-3:2012 bzw. der VDI-Richtlinie 2569:

- A-bewerteter Pegel und/oder
- Sprachübertragungsindex (Speech Transmission Index, STI) ausgehend von einer zugewiesenen Punktschallquelle.

Aus dem Pegelverlauf bzw. dem Verlauf des Sprachübertragungsindex über dem Abstand von der Quelle werden folgende Gütemaße abgeleitet:

- $L_{p,A,S,4\text{ m}}$: A-bewerteter Schalldruckpegel $L_{p,A,S}$ in einem Abstand von 4.0 m von der Schallquelle,
- $D_{2,S}$: räumliche Abklingrate in dB des A-bewerteten Schalldruckpegels $L_{p,A,S}$ je Abstandsverdopplung,
- r_D : Abstand (m) vom Sprecher, bei dem der Sprachübertragungsindex STI unter 0.50 absinkt (Ablenkungsabstand),
- r_P : Abstand (m) vom Sprecher, bei dem der Sprachübertragungsindex STI unter 0.20 absinkt (Vertraulichkeitsabstand).

In diesem Kapitel wird die Handhabung des Objekts und der entsprechenden Berechnungen erläutert.

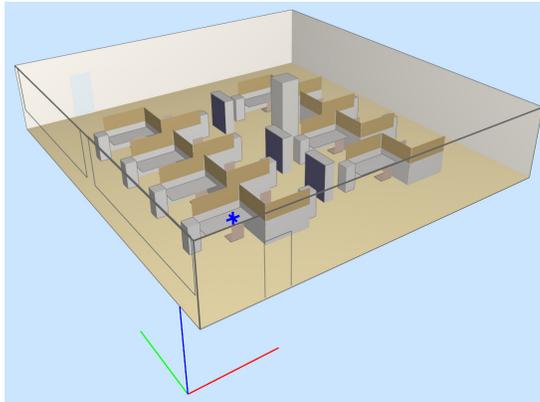
10.1 Berechnungskonfiguration einstellen

Gehen Sie wie folgt vor:

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 10/Bürraum 1.cni

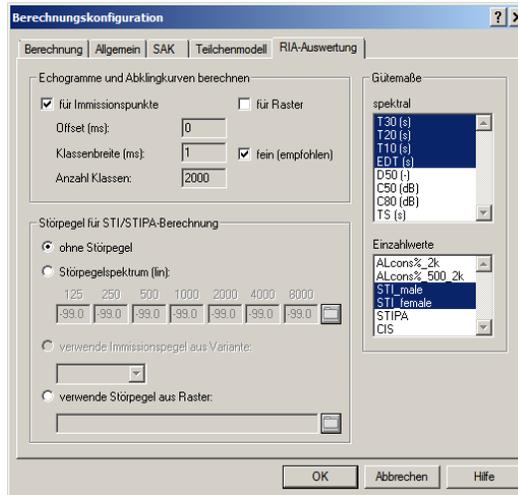
Die Datei zeigt das Modell eines Büroraums mit Einrichtungsgegenständen wie Schreibtischen, Stühlen, Schränken und schallabsorbierenden Stellwänden sowie einer Punktquelle.



Modell eines Büroraums mit Einrichtungsgegenständen

- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **BerechnungKonfiguration**).
- Wählen Sie auf der Registerkarte „Berechnung“ das Verfahren „Teilchen“ aus.
- Wählen Sie die Option „maximale Laufzeit“ und geben Sie 2000 ms = 2 s und eine Referenz-Teilchenzahl von 100.000 ein.
- Stellen Sie sicher, dass auf der Registerkarte „Allgemein“ ein Frequenzbereich von 125 bis 8000 Hz eingestellt ist.
- Wählen Sie die Registerkarte „RIA-Auswertung“ und aktivieren Sie die Option „Echogramme und Abklingkurven berechnen ... für Immissionspunkte“.

- Behalten Sie die voreingestellten Werte für Offset, Klassenbreite und Anzahl Klassen bei (insbes. „Klassenbreite: fein“, 1 ms).
- Wählen Sie bei gedrückt gehaltener STRG/CTRL-Taste die Gütemaße T30, T20, T10, EDT und STI_male, STI_female aus den jeweiligen Listenfeldern aus.



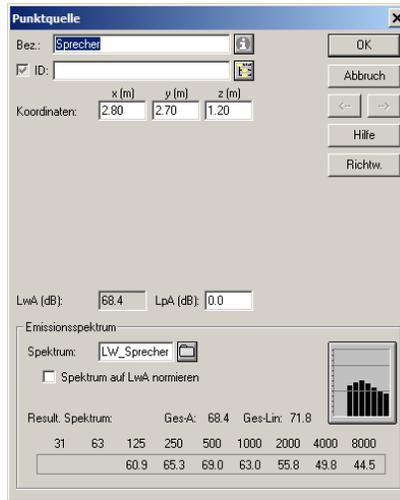
Registerkarte „RIA-Auswertung“ mit Einstellungen zur Berechnung raumakustischer Gütemaße an Immissionspunktketten

- Schließen Sie den Dialog mit OK.

10.2 Immissionspunktkette eingeben

In der Datei ist schon eine Punktquelle an einem Arbeitsplatz links unten vorhanden.

- Klicken Sie doppelt auf die Punktquelle, um deren Dialog anzuzeigen.



Punktquelle mit simuliertem Sprecher

Es wurde schon das Schalleistungspegel-Spektrum eines Sprechers eingegeben und zugewiesen (siehe DIN EN ISO 3382-3:2012, Tabelle 1).

- Klicken Sie auf das Dateiauswahlsymbol  am Ende der Zeile „Spektrum“, um das Bibliotheksobjekt anzuzeigen.
- Schließen die Tabelle und den Quelldialog mit OK.
- Wählen Sie das Objekt „Immissionspunktkette“ aus dem Werkzeugkasten aus (Symbol: ).

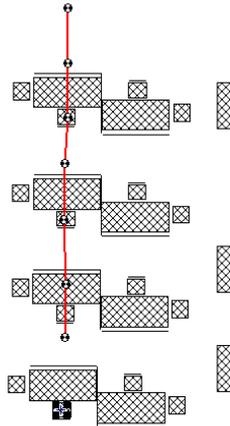
Im nächsten Schritt wird eine Immissionspunkt-kette mit der Maus eingegeben.

Beachten Sie dabei die Vorgaben aus DIN EN ISO 3382-3:2012 zur Auswertung von Immissionspunkt-ketten:

- Quell- und Immissionspunkt-höhe: beide auf 1.2 m Höhe.
- Es sollen nur die Punkte der Immissionspunkt-kette im Abstandsbe-reich 2 m bis 16 m zur Auswertung verwendet werden.
- Die Anzahl der Punkte (Messpositionen) in diesem Abstandsbereich 6 bis 10 betragen, mindestens jedoch 4.

Gehen Sie wie folgt vor:

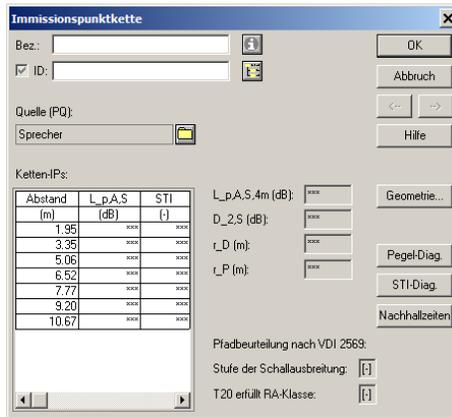
- Geben Sie die Stützstellen der Immissionspunkt-kette, ausgehend von einem Punkt oberhalb der Punkt-Quelle in senkrechter Richtung zum oberen Bildschirmrand ein.
- Klicken Sie dabei an jeder gewünschten Stützstelle die linke Maus-taste.
- Beenden Sie die Eingabe durch Klick auf die rechte Maustaste.



Nach Eingabe der Immissionspunkt-kette

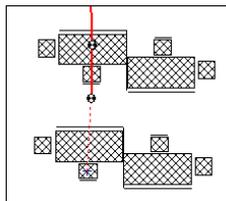
- Doppelklicken Sie auf den Linienzug der Immissionspunktkette, um den Dialog zu öffnen.
- Klicken Sie auf das Dateiauswahlsymbol  unter der Zeile „Quelle (PQ)“ und wählen Sie die Punktquelle mit der Bezeichnung „Sprecher“ mit OK aus.

Danach sieht der Dialog wie folgt aus:



Dialog **Immissionspunktkette** mit ausgewählter Punktquelle

Nach Schließen des Dialogs mit OK wird zwischen der in Bezug genommenen Punktquelle und dem ersten Punkt der Immissionspunktkette eine gestrichelte rote Linie gezeichnet, um die Beziehung Quelle-Immissionspunktkette auch in der Grafik sichtbar zu machen.



Gestrichelte Verbindungslinie Quelle - IP-Kette

*Immissionspunkte
hinzufügen/löschen*

Auch nach Eingabe einer Immissionspunkt-kette können der Kette noch Immissionspunkte hinzugefügt oder auch gelöscht werden. Die Vorgehensweise stimmt mit den Methoden zum grafischen Editieren von Linien-objekten überein (siehe Kapitel 4.2 im **CadnaR**-Handbuch).

- Wählen Sie dazu zuerst die Immissionspunkt-kette mit einem Maus-klick aus.
- Drücken Sie die STRG-Taste und klicken Sie mit der Maus an eine Stelle im Verlauf der Kette, um dort einen weiteren Immissionspunkt hinzuzufügen.
- Drücken Sie die STRG- und die SHIFT-Taste, und klicken Sie mit der Maus auf einen Immissionspunkt der Kette, um diesen zu löschen.

Geometrie editieren

Falls die Geometrie der Immissionspunkt-kette exakt parallel zu der x- oder y-Koordinatenachse ausgehend von der Quellkoordinate verlaufen soll, gehen Sie wie folgt vor (z.B. parallel zur y-Achse):

- Öffnen Sie den Dialog der in der IP-Kette in Bezug genommenen Punktquelle.
- Kopieren Sie den Wert der x-Koordinate in die Zwischenablage.
- Öffnen Sie den Dialog **Immissionspunkt-kette** und klicken Sie auf die Schaltfläche „Geometrie“.
- Klicken Sie im Dialog **Polygon: Geometrie** mit der rechten Maustaste in die Spalte „x“.
- Wählen Sie den Befehl **Spalte verändern** und fügen Sie im Feld „Arithmetisch, neuer Wert“ den neuen Wert aus der Zwischenlage ein.
- Schließen Sie alle Dialoge mit OK, um die Operation anzuwenden.

10.3 Immissionspunktkette berechnen

In diesem Schritt werden der A-bewertete Schallpegel und der Sprachübertragungsindex STI an allen Immissionspunkten der Immissionspunktkette berechnet.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 10/Büroraum 2.cni

Beachten Sie hierbei, dass zwingend der Befehl **Immissionspunktketten berechnen** im Menü **Berechnung** zu verwenden ist, um die Berechnung in Übereinstimmung der Norm DIN EN ISO 3382-3:2012 zu starten. Nur in diesem Fall werden der A-bewertete Pegel und der STI für jede Kette getrennt und bei alleiniger Emission der in Bezug genommenen Punktquelle berechnet. Alle anderen Quellen haben keine Auswirkung auf das Berechnungsergebnis der jeweiligen Immissionspunktkette.

Vorbemerkung

☞ Bei Immissionspunktketten wird, im Gegensatz zu einzelnen Immissionspunkten, keine spektrale Berechnung ausgeführt.

Gehen Sie wie folgt vor:

Berechnung starten

- Wählen Sie den Befehl **Immissionspunktketten berechnen** im Menü **Berechnung** aus.
- Öffnen Sie nach Abschluss der Berechnung den Dialog **Immissionspunktkette**.

Immissionspunktkette

Bez.:

ID:

Quelle (FQ):
 Sprecher

Ketten+Ps:

Abstand (m)	L _{pA,S} (dB)	STI (-)
1.95	55.6	0.65
3.35	56.1	0.72
5.06	54.5	0.65
6.52	53.5	0.63
7.77	53.5	0.61
9.20	52.1	0.53
10.67	52.8	0.57

L_{pA,S,4m} (dB): Geometrie...

D_{2,S} (dB):

r_D (m): Pegel-Diag.

r_P (m): STI-Diag.

Nachhallzeiten

Pfadbeurteilung nach VDI 2569:
 Stufe der Schallausbreitung:

T20 erfüllt RA-Klasse:

Im Dialog werden die Werte der schon eingangs des Kapitels erwähnten Gütemaße angezeigt.

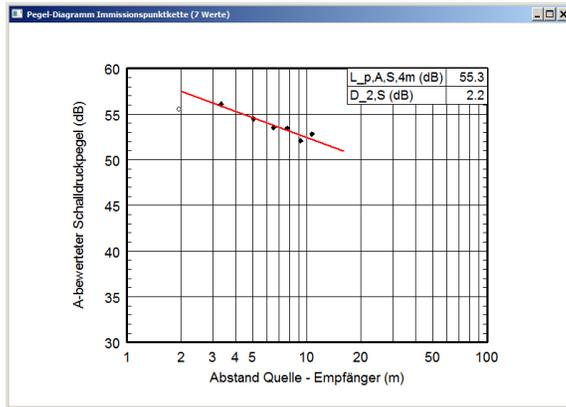
Folgende Tabelle enthält

- die informativen Zielwerten für Großraumbüros nach DIN EN ISO 3382-3:2012, Anhang A, und
- die Anforderungen für Mehrpersonenbüros nach VDI-Richtlinie 2569 (Entwurf 2015).

Gütemaß	Zielwerte für Großraumbüros nach DIN EN ISO 3382-3:2012, Anhang A	Anforderungen für Mehrpersonenbüros nach VDI 2569 (Entwurf 2015), Stufe der Schallausbreitung 1-3
$L_{p,A,S,4\text{ m}}$ (dBA)	≤ 48 dB(A)	1: ≤ 47 dB(A) 2: ≤ 49 dB(A) 3: ≤ 51 dB(A)
$D_{2,S}$ (dB)	≥ 7 dB	1: ≥ 8 dB 2: ≥ 6 dB 3: ≥ 4 dB
r_D (m)	≤ 5 m	-
r_P (m)	-	-

Im momentanen Ausstattungszustand wird keine der o.g. Anforderungen eingehalten. Eine Pfadbeurteilung nach VDI 2569 ist nicht möglich.

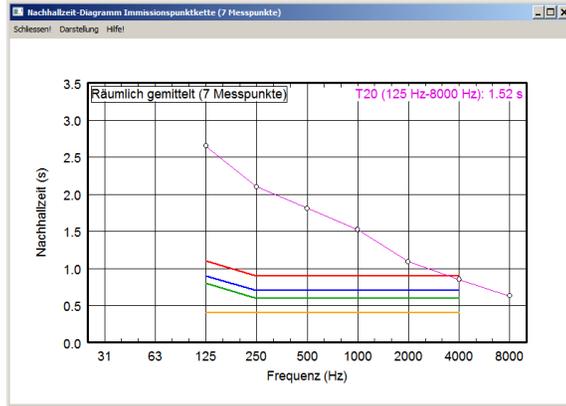
- Klicken Sie auf die Schaltfläche „Pegel-Diagr.“, um den Pegelverlauf über dem Abstand von der Quelle anzuzeigen.



Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass der erste Punkt der IP-Kette mit schwarzem Rand, aber weiß ausgefüllt, dargestellt wird. Der Pegel an diesem Punkt wird, weil näher als 2 m von der Quelle entfernt, nicht zur Ermittlung der Regressionsgeraden (und damit zur Auswertung von $L_{p,A,S,4m}$ und $D_{2,S}$) herangezogen.

Zusätzlich bestehen in VDI 2569 noch Anforderungen an die Nachhallzeit. Diese können im Diagramm „Nachhallzeiten“ angezeigt werden.

- Klicken Sie auf die Schaltfläche „Nachhallzeiten“.
- Wählen Sie aus dem Menü **Darstellung**|**Nachhallzeit**|**Anforderungen nach VDI 2569** die Anforderungen für Mehrpersonenbüros aus.



Wie zu erkennen ist, werden auch die Anforderungen für die Nachhallzeit T20 nicht eingehalten. Es sind somit zusätzliche raumakustische Maßnahmen erforderlich.

Legende zum Diagramm:

Linienfarbe	Anforderungen nach VDI 2569 für ...	
	Einzelbüros	Mehrpersonenbüros
	T _{max} für Klasse C	
	T _{max} für Klasse B	
	T _{max} für Klasse A	
	(keine Anforderung)	T _{min}

10.4 Schallabsorbierende Decke installieren

Zunächst soll geprüft werden, ob die Anforderungen für Mehrpersonenbüros nach VDI 2569 mit einer schallabsorbierenden Decke einzuhalten sind.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 10/Bürraum 3.cni

- Öffnen Sie die Teilflächenliste über den Dialog **Raumdaten** und doppelklicken Sie in die Tabellenzeile "Decke".
- Wählen Sie für die Decke das Produkt "Rockfon Plano-Akustikplatte (LA200)" mit der Option "Totalbelegung" aus.
- Geben Sie als Bezeichnung "RF Plano (LA 200)" ein und aktivieren Sie die Option "nur Oktaven".
- Kopieren Sie den Wert des Schallabsorptionsgrades bei 4000 Hz und fügen Sie diesen Wert ebenfalls in die 8000 Hz Oktave ein.

👉 Diese Ergänzung ist erforderlich, damit der Sprachübertragungsindex STI auch bei 8 kHz berechnet werden kann.

The screenshot shows the 'Teilfläche' dialog box with the following details:

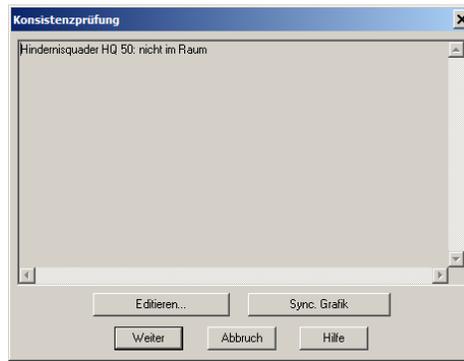
- Ort:** Decke
- Bezeichnung:** RF Plano (LA 200)
- Totalbelegung:** Selected
- Absorptionspektrum:**

25	31	40	
50	63	80	
100	125	0.26	160
200	250	0.48	315
400	500	0.54	630
800	1000	0.56	1250
1600	2000	0.61	2500
3150	4000	0.63	6000
6300	8000	0.63	10000
- nur Oktaven:** Checked
- Hersteller:** Rockf
- Produktbezeichnung:** Plano-Akustikplatte (LA200)

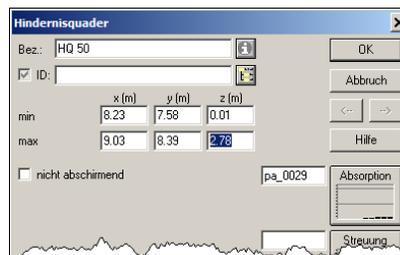
Die abgehängte Decke weist ein Luftabstand von 200 mm von der Massivdecken-Oberfläche auf. Dadurch reduziert sich die effektive Deckenhöhe um den gleichen Betrag, da die Höhe bis zur Unterkante einer Deckenkonstruktion zählt.

- Korrigieren Sie die Raumhöhe auf 2,79 m.
- Schließen Sie den Dialog **Raumdaten** mit OK und starten Sie die Berechnung über den Befehl **Immissionspunktketten berechnen** im Menü **Berechnung**.

Es wird der Dialog **Konsistenzprüfung** angezeigt, der die Meldung enthält, dass der Hindernisquader HQ 50 sich „nicht im Raum“ befindet.



- Klicken Sie auf die Schaltfläche „Editieren“, um den Objektdialog des Hindernisquaders anzuzeigen.
- Ändern Sie die maximale Höhe der Deckenstütze auf 2.78 m ab und schließen Sie den Dialog.



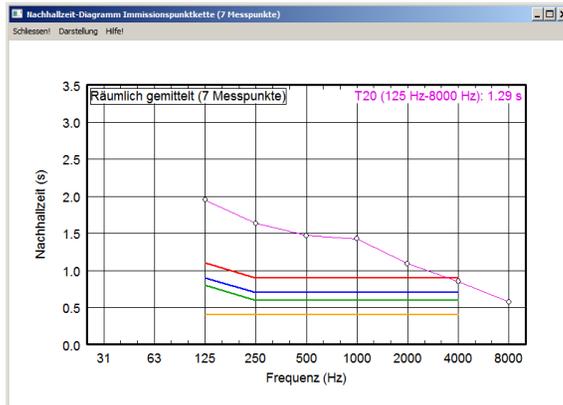
Abgeänderte Höhe des Hindernisquaders

- Schließen Sie den Dialog **Konsistenzprüfung** mit Klick auf „Abbruch“.
- Wählen Sie erneut den Befehl **Immissionspunktketten berechnen** im Menü **Berechnung** aus.

Die Ergebnisse haben sich verbessert, erreichen aber nicht die Anforderungen nach VDI 2569 (Entwurf 2015):

Gütemaß	Anforderungen für Mehrpersonenbüros nach VDI 2569 (Entwurf 2015), Stufe der Schallausbreitung 1-3	ohne schallabsorb. Decke	mit schallabsorb. Decke
$L_{p,A,S,4\text{ m}}$ (dBA)	1: ≤ 47 dB(A) 2: ≤ 49 dB(A) 3: ≤ 51 dB(A)	55.3	51.1
$D_{2,S}$ (dB)	1: ≥ 8 dB 2: ≥ 6 dB 3: ≥ 4 dB	2.2	3.9

Ebenso wird keine Raumakustik-Klasse der Nachhallzeit T20 eingehalten:



10.5 Schallabsorbierende Decke abändern

Um die Nachhallzeiten bei tiefen und mittleren Frequenzen abzusenken, soll die Abhängenhöhe der schallabsorbierenden Decke von 200 auf 300 mm geändert werden.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 10/Büroraum 4.cni

- Öffnen Sie erneut die Teilflächenliste über den Dialog **Raumdaten** und doppelklicken Sie in die Tabellenzeile "Decke".
- Wählen Sie für die Decke das Produkt "Rockfon Plano-Akustikplatte (LA300)" mit der Option "Totalbelegung" aus.
- Geben Sie als Bezeichnung "RF Plano (LA 300)" ein und aktivieren Sie die Option "nur Oktaven".
- Kopieren Sie den Wert des Schallabsorptionsgrades bei 4000 Hz und fügen Sie diesen Wert ebenfalls in die 8000 Hz Oktave ein.

Die abgehängte Decke weist jetzt ein Luftabstand von 300 mm von der Massivdecken-Oberfläche auf. Dadurch verbleibt eine effektive Raumhöhe von 2,69 m.

- Korrigieren Sie die Raumhöhe auf 2,69 m.
- Öffnen Sie die Tabelle **Hindernisquader** im Menü **Tabellen|Hindernisse**.
- Scrollen Sie zum unteren Ende der Tabelle und Doppelklicken Sie in die Zeile mit der Bezeichnung „HQ 50“.
- Ändern Sie im Objektdialog die maximale Höhe der Deckenstütze auf 2.68 m ab und schließen Sie den Dialog.
- Wählen Sie den Befehl **Immissionspunktketten berechnen** im Menü **Berechnung** aus.

Die Ergebnisse haben sich verbessert, erreichen aber weiterhin nicht die Anforderungen nach VDI 2569 (Entwurf 2015):

Gütemaß	Anforderungen für Mehrpersonenbüros nach VDI 2569 (Entwurf 2015), Stufe der Schallausbreitung 1-3	ohne schallabsorb. Decke	mit schallabsorb. Decke LA 200 mm	mit schallabsorb. Decke LA 300 mm
$L_{p,A,S,4\text{ m}}$ (dBA)	1: ≤ 47 dB(A) 2: ≤ 49 dB(A) 3: ≤ 51 dB(A)	55.3	51.1	51.4
$D_{2,S}$ (dB)	1: ≥ 8 dB 2: ≥ 6 dB 3: ≥ 4 dB	2.2	3.9	4.0

Weiterhin wird keine Raumakustik-Klasse der Nachhallzeit T20 eingehalten (siehe Diagramm „Nachhallzeiten“).

Schlussfolgerung

Spätestens hier ist festzustellen, dass die Anforderungen nach VDI 2569 (Entwurf 2015), sowohl an den A-bewerteter Schalldruckpegel $L_{p,A,S}$ in 4 m Abstand von der Schallquelle, als auch an die räumliche Abklingrate $D_{2,S}$ je Abstandsverdopplung und auch an die Nachhallzeit als sehr streng eingestuft werden müssen. Aus dem aufgezeigten Beispiel ist ersichtlich, dass mit den bisher getroffenen Maßnahmen:

- schallabsorbierende Unterdecke mit Abhängehöhe 300 mm,
- Teppichboden,
- Stellwände zwischen den Arbeitsplätzen, der oberer Teil schallabsorbierend ausgeführt ist, und
- normal verputzten Wänden

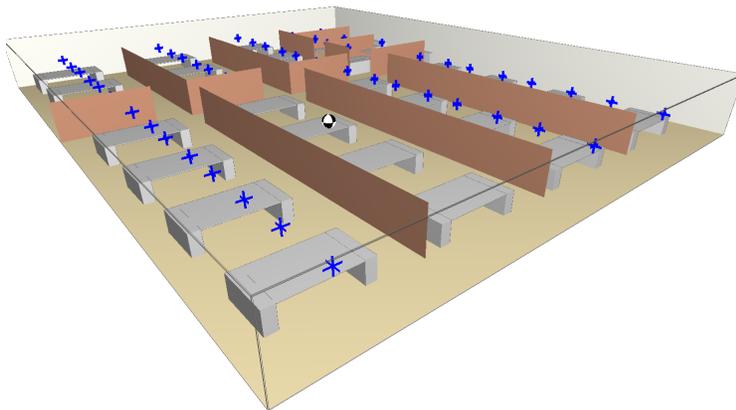
nur das Mindest-Kriterium für $D_{2,S}$ eben eingehalten werden kann. Für die beiden anderen Kriterien ($L_{p,A,S,4\text{ m}}$ und T20) können nicht einmal die Mindest-Anforderung eingehalten werden.

Kapitel 11 - Gütemaße im Raster berechnen

Die raumakustischen Gütemaße können mit **CadnaR** nicht nur an Immissionspunkten (siehe Kapitel 9 - Gütemaße an Immissionspunkten berechnen), sondern auch im Raster berechnet werden. In diesem Beispiel sollen die Nachhallzeit und die Sprachverständlichkeit in einem Großraumbüro beurteilt werden.

- Laden Sie zunächst die nebenstehend bezeichnete Datei.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_1.cni



3D-Ansicht des Großraumbüros

Das modellierte Großraumbüro mit 58 Arbeitsplätzen ist 27 m lang, 21 m breit und 2.45 m hoch und verfügt über eine schallabsorbierende abgehängte Unterdecke und einen Teppichboden als Bodenbelag. Die Wände sind normal verputzt.

Raumbeschreibung

- Öffnen Sie den Dialog **Raum** (Menü **Eigenschaften**), um die Absorptionsdaten der Raumbegrenzungsflächen anzuzeigen.

Als Hindernisse im Raum sind Schreibtische, Sideboards und variable Raumteiler (Höhe 1.6 m) vorhanden. Für die Schreibtische und Sideboards wird ein Absorptionsgrad von Null angenommen, die Raumteiler weisen Absorptions- und Transmissionsgrad-Spektren auf (siehe Tabellen **Hindernisquader** und **Schirm** im Menü **Tabellen|Hindernisse**).

Aufgabenstellung

Es ist zu untersuchen, ob die akustischen Verhältnisse im Raum zur Einhaltung der Empfehlungen für sprachliche Kommunikation in Großraumbüros geeignet sind.

Als Kriterien sollen dienen:

- Nachhallzeit T und Hintergrundgeräuschpegel L_{NA} (Noise, A-bewertet): Es ist zu prüfen, ob folgende Nachhallzeiten ¹⁾ und der Gesamt-Hintergrundgeräuschpegel ²⁾ an einem repräsentativen Immissionspunkt und auf der Gesamtfläche eingehalten wird.

T (s)		L_{NA}
125 Hz	250-4000 Hz	≤ 45 dB(A)
≤ 0.9	≤ 0.7	

- Sprachverständlichkeit: Anhand des Speech Transmission Index (STI_male und STI_female) ist zu prüfen, ob bei einem repräsentativen Hintergrundgeräuschpegel eine sprachliche Kommunikation, ausgehend von zwei Sprechern zu einem repräsentativen Immissionspunkt (Hörer) innerhalb der Arbeitsgruppe möglich ist bzw. wie die vorhandene Sprachverständlichkeit in diesem Bürobereich zu beurteilen ist. Zusätzlich soll die Sprachverständlichkeit ausgehend von diesen bei-

1. Die Anforderungen an die Nachhallzeit entsprechen denen der Klasse B bei Mehrpersonenbüros (Mindestanforderung für Call-Center, Anforderung für Vertrieb, Konstruktion, Verwaltung) nach VDI 2569 (Entwurf 2015).

Nach DIN 18041 (2004-05) ergeben sich bei dem vorhandenen Raumvolumen von etwa $V=1400$ m³ eine Anforderung an die Nachhallzeit von $T \leq 1.2$ s (von 125 bis 8000 Hz).

2. Nach DIN 18041 (2004-05) ist für alle drei Störgeräuscharten (bauseitige Geräusche, Betriebs- und Publikumsgeräusche) jeweils ein Pegel ≤ 40 dB(A) einzuhalten.

Die in VDI 2569 (Entwurf 2015) für Mehrpersonenbüros der Klasse B genannte Anforderung an den Störpegel durch „bauseitige Geräusche“ von $L_{NA,Bau} \leq 40$ dB(A) schließt Betriebs- und Publikumsgeräusche aus dem betrachteten Raum nicht ein.

den Sprechern im Bürobereich außerhalb der Arbeitsgruppe beurteilt werden.

Zur Beurteilung werden der in ISO 3382-3¹⁾ definierte Ablenkungsabstand r_D und der Vertraulichkeitsabstand r_P verwendet.

Der Ablenkungsabstand ist der Abstand vom Sprecher, bei dem gilt: $STI \leq 0.50$. Bei STI-Werten unter 0.50 nimmt die Konzentrationsfähigkeit und die Privatsphäre rasch zu. Dies ist gleichbedeutend mit der Aussage, dass Sprachsignale in diesem Bereich schwach oder schlecht verständlich sind, was für die Arbeitsplätze außerhalb der betrachteten Arbeitsgruppe angestrebt wird.

Der Vertraulichkeitsabstand ist der Abstand vom Sprecher, bei dem gilt: $STI \leq 0.20$. In diesem Bereich ist die Konzentrationsfähigkeit und die Privatsphäre praktisch nicht durch den Sprecher beeinflusst.

1. DIN EN ISO 3382-3, Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 3: Großraumbüros, 2012-05.

11.1 Varianten

Um diese Aufgabenstellung zu bearbeiten, sind in der Datei fünf Varianten angelegt worden, die verschiedene Szenarien mit Quellen oder Quellgruppen abbilden.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_1.cni

- Wählen Sie die einzelnen Varianten der Reihe nach aus.



Varianten-Listenfeld

Eine Bezeichnung der gewählten Variante wird in einem Textrahmen unter Verwendung des Schlüsselworts #(Variante...) angezeigt (siehe Kapitel 9.2.2 im **CadnaR**-Handbuch).

Die Varianten stellen folgende Szenarien dar:

Szenarien

1. Variante „Quelle 1“: Als repräsentativer Immissionsort wurde ein Arbeitsplatz in einer Arbeitsplatzgruppe festgelegt (Arbeitsgruppe rot umrahmt). Spricht eine der beiden Quellen „Quelle 1“ oder „Quelle 2“, so wird davon ausgegangen, dass an alle anderen Arbeitsplätzen innerhalb dieser Arbeitsgruppe nicht gesprochen wird. Die Variante „Quelle 1“ bildet somit die Kommunikationsstrecke zwischen Sprecher „Quelle 1“ und der Person am Immissionsort ab. Als Schallleistungspegel der sprechenden Person wird ein Wert von $LWA = 65 \text{ dB(A)}$ angenommen.
2. Variante „Quelle 2“: In analoger Weise bildet die Variante „Quelle 2“ die Kommunikationsstrecke zwischen Sprecher „Quelle 2“ und der Person am Immissionsort ab. Die sprechende Person „Quelle 2“ ist weiter vom Immissionsort entfernt als „Quelle 1“. Ansonsten gelten die gleichen Vorgaben wie unter 1.

3. Variante „BG Leer“: Die Variante modelliert den Hintergrundgeräuschpegel (Background Noise) der PCs und Drucker bei Leerlaufbetrieb. Die Schalleistungspegel betragen dabei:
 - PC, Leerlauf: LWA = 45 dB(A)
 - Drucker, Leerlauf: LWA = 42 dB(A)
4. Variante „BG Voll“: Die Variante modelliert den Hintergrundgeräuschpegel (Background Noise) der PCs und Drucker bei Volllastbetrieb. Die Schalleistungspegel betragen dabei:
 - PC, Vollbetrieb: LWA = 56 dB(A)
 - Drucker, Vollbetrieb: LWA = 58 dB(A)
5. Variante „BG Personen“: Die Variante modelliert den Hintergrundgeräuschpegel (Background Noise) telefonierender Personen außerhalb der betrachteten Arbeitsgruppe. Als Schalleistungspegel dieser Personen wird jeweils ein LWA = 55 dB(A) angenommen ¹).

In den Varianten „BG Leer“, „BG Voll“ und „BG Personen“ wird angenommen, dass jeweils alle Quellen in Betrieb sind. Diese Varianten bilden somit Grenzzustände ab:

- In der Variante „BG Leer“ laufen alle PCs und Drucker gleichzeitig im Leerlauf. Dieses Szenario stellt den Zustand des niedrigsten Störpegels durch Betriebsgeräusche dar.
- In der Variante „BG Voll“ werden an alle PCs gleichzeitig Eingaben getätigt und alle Drucker drucken gleichzeitig. Dieses Szenario stellt den Zustand des höchsten Störpegels durch Betriebsgeräusche dar.
- Unabhängig von den beiden vorigen Varianten wird durch die Variante „BG Personen“ der Störpegel durch sogenannte „Publikumsgeräusche“ abgebildet. In diesem Fall ist dies der Sprachpegel, der durch Personen außerhalb der betrachteten Arbeitsgruppe erzeugt wird.

Aus den Pegelrastern dieser drei Varianten wird in einem weiteren Schritt ein neues Summenpegelraster gebildet, dass die einzelnen Ausgangsraster in sinnvoller Weise wichtet (siehe unten).

1. Nach DIN EN ISO 3382-3 (2012-05) sollen diese Publikumsgeräusche bei der Beurteilung unberücksichtigt bleiben, werden aber in diesem Beispiel dennoch einbezogen.

Hinter dieser Vorgehensweise steht die Überlegung, dass in Anbetracht der Anzahl der Schallquellen (technische Geräte und Personen) und der damit einhergehenden Komplexität der möglichen Grundgeräusch-/Störpegel-situationen jede selektive Festlegung des Betriebsorts von im Leerlauf oder unter Volllast betriebenen Geräten, und gleichermaßen des Ortes von Sprechern, die zum Störpegel beitragen, beliebig richtig oder auch falsch sein kann.

Vorgehensweise

Daher wird hier ein anderer Weg beschrrieben: Zur Berechnung des endgültigen Störpegelrasters werden die beiden Betriebszustände der technischen Geräte und das Störpegelraster durch sprechende Personen über eine Einwirkzeit-Korrektur verrechnet ¹).

Geht man - zum Beispiel - davon aus, dass der Betriebszustand „Leerlauf“ zu 95% während des Beurteilungszeitraums vorliegt und nur zu 5% der Betriebszustand „Volllast“ ²), so ergibt sich der neue Summen-Störpegel $L_{pA,Stör_1}$ für Betriebsgeräusche zu:

$$L_{pA,Stör_1} = 10 \lg \left(\frac{1}{100} \right) * \left[95 * 10^{L_{pA,Leerlauf}/10} + 5 * 10^{L_{pA,Volllast}/10} \right]$$

Unter der zusätzlichen Annahme, das zu jeder Zeit nur 25% der Personen außerhalb der betrachteten Arbeitsgruppe telefonieren, ergibt sich der Teil-Störpegel $L_{pA,Stör_2}$ für Publikumsgeräusche zu:

$$L_{pA,Stör_2} = L_{pA,Personen} - 6 \text{ dB}$$

-
1. Die Störpegelanteile von technischen Kommunikationssignalen (Telefone, Faxgeräte) oder von Betriebsgeräuschen von raumlufttechnischen Anlagen sowie Geräusche von außen (z.B. Verkehrslärm) werden in diesem Beispiel nicht betrachtet.
 2. Diese Annahme bedeutet, daß an einem Arbeitstag von 8 h=480 min während 24 Minuten alle Drucker drucken und an allen PCs Eingaben getätigt werden, und während des restlichen Arbeitstages Leerlaufbetrieb vorliegt.

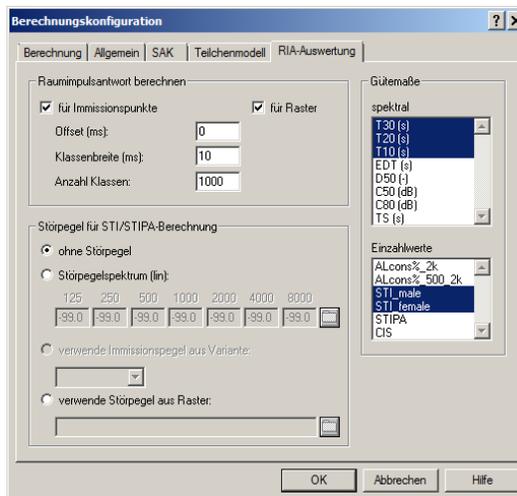
Damit resultiert der Gesamt-Störpegel $L_{pA,Stör}$ zu:

$$L_{pA,Stör} = 10 \lg \sum_{i=1}^2 10^{L_{pA,Stör_i}/10}$$

- ☞ Es wird darauf hingewiesen, dass oben beschriebene Vorgehensweise nur eine Möglichkeit darstellt, wobei auch andere Vorgehensweisen bei der Auswertung und Analyse denkbar sind.

11.2 Konfiguration einstellen

- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **Berechnung**|**Konfiguration**).
- Stellen Sie sicher, dass auf der Registerkarte „Berechnung“ das Verfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“, mit Spiegelquellen bis einschließlich der nullten Ordnung und mit Teilchen bis einschließlich der 50sten Ordnung mit einer Referenz-Teilchenzahl von 100.000 gewählt ist.
- ☞ In praktischen Fällen kann es erforderlich sein, eine höhere maximale Ordnung und/oder eine höhere Referenz-Teilchenzahl vorzugeben. Die hier gewählten Einstellungen stellen einen Kompromiss zwischen der Richtigkeit des Ergebnisses und der Rechenzeit dar.
- Öffnen Sie die Registerkarte „RIA-Auswertung“ und aktivieren Sie die Optionen „Echogramme und Abklingkurven berechnen ... für Immissionspunkte“ und „... für Raster“.
- Wählen Sie aus den Gütemaßen mit Hilfe der STRG-Taste und Ihrer Maus folgende Parameter aus: T30, T20, T10, STI-male, STI_female.



- Behalten Sie die vorgegebenen Werte für Offset, Klassenbreite und Anzahl Klassen bei.
- Schließen Sie den Dialog mit OK und sichern Sie die Datei ggf. unter einem neuen Namen.

11.3 Nachhallzeit berechnen

Zur Berechnung der Nachhallzeit am Immissionspunkt und im Raster werden nur die Varianten herangezogen, in denen nur eine Quelle aktiv ist. Das sind - in diesem Beispiel - die Varianten „Quelle 1“ und „Quelle 2“. Die Ergebnisse beider Varianten sollen miteinander verglichen werden.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 11/STI_2.cni

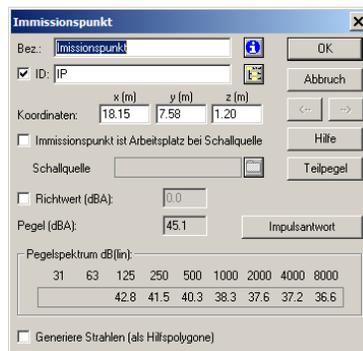
☝ Wären in der Berechnung mehrere Quellen aktiv, so würden diese alle zum Echogramm beitragen und die Gesamtenergie erhöhen. Der Nachhallzeit-Verlauf wäre im Hinblick auf die Definition der Nachhallzeit - Emission ausgehend von einer Einzelquelle - nicht mehr sinnvoll auswertbar, obwohl ein Ergebnis angezeigt würde.

- Laden Sie zunächst die nebenstehend bezeichnete Datei.
- Wählen Sie aus dem Listenfeld auf der Symbolleiste die Variante „Quelle 1“ aus.
- Starten Sie die Berechnung der Variante durch Klick auf das Taschenrechner-Symbol  auf der Symbolleiste.

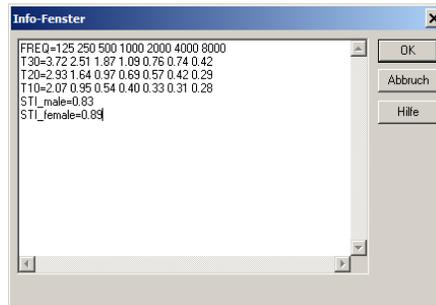
*Berechnung für
 Variante „Quelle 1“*

Nach Abschluss der Berechnung wird ein Immissionspegel mit 45.1 dB(A) im Etikett angezeigt.

- Doppelklicken Sie auf den Rand (!) des Immissionspunktes, um den Dialog **Immissionspunkt** zu öffnen.



- Klicken Sie auf das Symbol , um das Info-Fenster zu öffnen.



Raumakustische Gütemaße am IP in Variante „Quelle 1“

- ☞ Beachten Sie, dass die Ergebnisse des Teilchenmodells durch statistische Einflüsse bei jeder Neuberechnung (abhängig von den Konfigurationseinstellungen) voneinander abweichen können (gilt für den Pegel, die Echogramme/Abklingkurven und die raumakustische Gütemaße). Dies ist kein Fehler, sondern modell-theoretisch bedingt, da die Teilchenaussendung mit zufällig generierten Abstrahlrichtungen erfolgt und daher die Anzahl der durch ein einzelnes Voxel durchtretenden Teilchen statistisch schwankt (siehe auch Kapitel 7.1 im **CadnaR**-Handbuch).

Wie den Zahlenwerten im Info-Fenster zu entnehmen ist, unterscheiden sich die aus den Abklingkurven berechneten Nachhallzeiten T30, T20, und T10 erheblich voneinander. Insbesondere die starken Unterschiede bei tiefen Frequenzen deuten auf einen ungleichmäßigen „durchhängenden“ Pegelabfall hin. Dies entspricht der Erwartung, da sich infolge der Raumgeometrie und der abschirmenden/reflektierenden Objekte kein diffuses Schallfeld ausbilden kann und somit die statistische Nachhalltheorie im vorliegenden Raum nicht gültig ist. Dies soll anhand der graphischen Darstellung der Abklingkurven näher betrachtet werden.

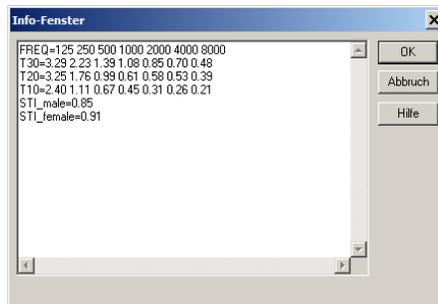
Hingegen sind die Werte für den STI als sehr gut zu bezeichnen. Natürlich ist in diesen Werten noch nicht Wirkung eines Störsignals berücksichtigt.

- Wählen Sie aus dem Listenfeld auf der Symbolleiste die Variante „Quelle 2“ aus.
- Starten Sie erneut die Berechnung dieser Variante durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste.

*Berechnung für
Variante „Quelle 2“*

Nach Abschluss der Berechnung wird ein Immissionspegel mit 44.7 dB(A) im Etikett angezeigt.

- Öffnen Sie auch für diese Variante den Dialog **Info-Fenster**, um die Gütemaße anzuzeigen.



Raumakustische Gütemaße am IP in Variante „Quelle 2“

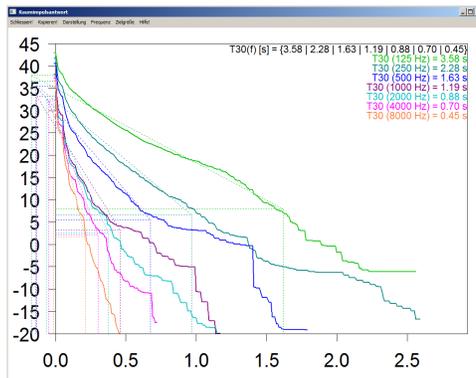
11.4 Echogramme und Abklingkurven anzeigen

Die Echogramme und Abklingkurven werden aus Speicherplatz-Gründen nicht in der **CadnaR**-Datei gespeichert. Diese können immer nur zur Laufzeit und nur für die aktuell gewählte Variante berechnet und angezeigt werden.

- Laden Sie zunächst die nebenstehend bezeichnete Datei, wenn Sie nicht aus dem vorherigen Abschnitt kommend fortfahren.
- Wählen Sie die Variante „Quelle 1“ aus und starten Sie die Berechnung der Variante durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste.
- Klicken Sie im Dialog **Immissionspunkt** auf die Schaltfläche „Impulsantwort“ um den Verlauf der Abklingkurven am Immissionspunkt anzuzeigen.

Dateien/Tutorial/
 Kap 11/STI_2.cni

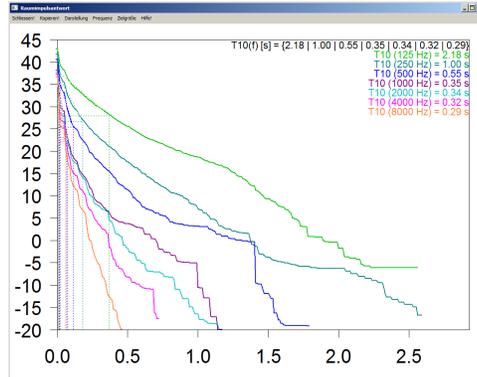
RIA für Variante
 „Quelle 1“



Abklingkurven am Immissionspunkt für Variante „Quelle 1“,
 mit Regressionsgerade zur Auswertung von Nachhallzeit T30

Wie aus dem Vergleich der berechneten Abklingkurven für die Oktaven und den jeweiligen Regressionsgeraden zu sehen ist, geben letztere den Verlauf nur unvollkommen wieder. Die Auswertung der Nachhallzeit T30 aus dem Pegelabfall zwischen -5 und -35 dB ist daher unzuverlässig.

- Wählen Sie aus dem Menü **Zielgröße** die Nachhallzeit T10 aus.



Abklingkurven am Immissionspunkt für Variante „Quelle 1“, mit Regressionsgerade zur Auswertung von Nachhallzeit T10

Wie zu erkennen ist, repräsentiert die Regressionsgeraden aus dem Pegelabfall zwischen -5 und -15 dB wesentlich besser den anfänglichen Verlauf der Abklingkurven. Daher wird in diesem Fall die Nachhallzeit T10 zum Vergleich mit dem Nachhallzeit-Kriterium herangezogen.

Für die Variante „Quelle 1“ ergibt sich die Nachhallzeit T10 am Immissionspunkt zu:

Nachhallzeit T10 (s)						
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
2.18	1.00	0.55	0.35	0.34	0.32	0.29

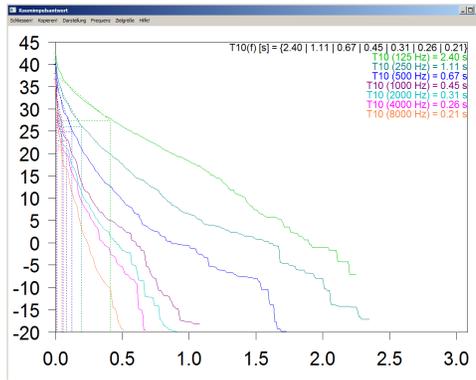
☞ Die Zahlenwerte können aus dem Info-Fenster des Immissionspunktes nach Berechnung der Variante „Quelle 1“ kopiert werden.

Im Hinblick auf die Einhaltung des Kriteriums an die Nachhallzeit (siehe Kapitel 11 - Gütemaße im Raster berechnen, Abschnitt "Aufgabenstellung") wird dieses in den Oktaven 125 und 250 Hz nicht eingehalten (rote Werte).

☞ Beachten Sie die Anmerkung im Kapitel 11.3 hinsichtlich der statistischen Streuung der Ergebnisse des Teilchenmodells.

- Wählen Sie die Variante „Quelle 2“ aus und starten Sie die Berechnung der Variante durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste.
- Klicken Sie im Dialog **Immissionspunkt** auf die Schaltfläche „Impulsantwort“ um den Verlauf der Abklingkurven am Immissionspunkt anzuzeigen.
- Wählen Sie aus dem Menü **Zielgröße** die Nachhallzeit T10 aus.

RLA für Variante „Quelle 2“



Abklingkurven am Immissionspunkt für Variante „Quelle 2“, mit Regressionsgerade zur Auswertung von Nachhallzeit T10

Für die Variante „Quelle 2“ ergibt sich die Nachhallzeit T10 am Immissionspunkt zu:

Nachhallzeit T10 (s)						
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
2.40	1.11	0.67	0.45	0.31	0.26	0.21

Im Hinblick auf die Einhaltung des Kriteriums an die Nachhallzeit (siehe Kapitel 11 - Gütemaße im Raster berechnen, Abschnitt "Aufgabenstellung") wird dieses ebenfalls in den Oktaven 125 und 250 Hz nicht eingehalten (rote Werte).

11.5 Zusätzliche raumakustische Maßnahmen

Es sind zusätzliche raumakustische Maßnahmen zu ergreifen, um die Einhaltung des Nachhallzeit-Kriteriums in den Oktaven 125 und 250 Hz sicherzustellen. Die Maßnahmen erfolgen damit vor der Auswertung der Hintergrund-Geräuschpegels und der Sprachverständlichkeit für die verschiedenen Szenarien.

Als Maßnahmen zur Erhöhung der Schallabsorption bei tiefen und mittleren Frequenzen kommen in Betracht:

1. Austausch der abgehängten Unterdecke gegen eine Konstruktion mit höhere Wirkung in den Oktaven 125 und 250 Hz
2. Verbesserung der Absorption der mobilen Trennwände bei diesen Frequenzen
3. Erhöhung der Abschirmwände von 1.6 auf 1.8 m Höhe
4. absorbierende Verkleidung der umlaufenden Raumwände

Rein energetisch betrachtet, müsste zur Einhaltung des Nachhallzeit-Kriteriums allein in der Oktave 125 Hz die Absorptionsfläche oder der Schallabsorptionsgrad mehr als verdoppelt werden. Allerdings gilt diese Aussage nur in einem vollständig diffusen Schallfeld, was im aktuellen Raum nicht vorliegt. Daher kann eine der o.g. Maßnahme effizienter sein, als man in einem diffusen Schallfeld zunächst erwarten würde.

- Öffnen Sie die nebenstehend bezeichnete Datei.

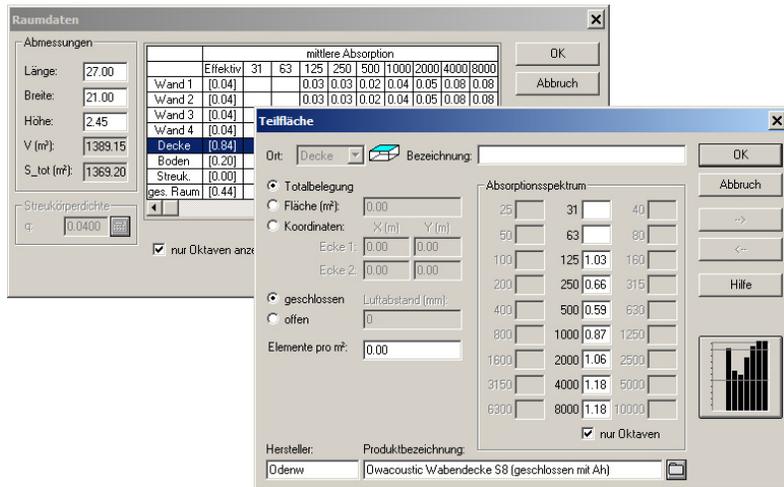
 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_3.cni

In der Datei `STI_3.cni` wurde die ebene Unterdecke durch eine Wabendecke mit absorbierender Hinterlegung ersetzt.

- Öffnen Sie den Dialog **Raumdaten** über Menü **Eigenschaften|Raum** oder klicken Sie auf das Symbol  auf der Symbolleiste.
- Doppelklicken Sie auf die Zeile „Decke“ innerhalb der Tabelle.

Maßnahme 1: Unterdecke austauschen

Aus dem Dialog **Teilfläche** für die Decke ist ersichtlich, dass eine Wabendecke mit absorbierender Hinterlegung ausgewählt ist.



Neue Unterdecken-Konstruktion: Wabendecke mit Abhängehöhe 200 mm
(Absorptionsspektrum um Wert bei 8000 Hz erweitert)

- Wählen Sie erneut die Variante „Quelle 1“ aus und starten Sie die Berechnung der Variante durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste.
- Öffnen Sie das Info-Fenster des Immissionspunkts, um die neue berechnete Nachhallzeit T10 anzuzeigen.

Die Ergebnisse für die Nachhallzeit T10 in Variante „Quelle 1“ betragen mit dieser Maßnahme:

Zustand	Nachhallzeit T10 (s) bei Frequenz f (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
mit ebener Unterdecke	2.18	1.00	0.55	0.35	0.34	0.32	0.29
mit Wabendecke	1.67	0.83	0.52	0.31	0.31	0.29	0.27

Da diese Maßnahme alleine nicht ausreicht, wird eine verbesserte Absorption der mobilen Trennwände geprüft.

- Öffnen Sie die nebenstehend bezeichnete Datei.
- Öffnen Sie die Tabelle **Schirm** über Menü **Tabellen|Hindernisse**.
- Doppelklicken Sie auf die erste Zeile innerhalb der Tabelle, um den Objektdialog anzuzeigen.
- Klicken Sie im Dialog **Schirm** auf die Schaltfläche „Absorption L“ oder „Absorption R“.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 11/STI_4.cni

Daraufhin wird die lokale Bibliotheks-Tabelle **Absorptionen** mit dem erhöhten Absorptionsspektrum ABS_2 angezeigt:

Maßnahme 2: Absorption der Trennwände erhöhen

ID	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Quelle
ABS_1			0.10	0.30	0.50	0.70	0.70	0.70	0.70	estimated
ABS_2			0.30	0.50	0.70	0.90	0.90	0.90	0.90	estimated

Diese erhöhte Absorptionsspektrum wurde in Datei STI_4.cni allen Trennwandflächen zugewiesen.

- Wählen Sie wieder die Variante „Quelle 1“ aus und starten Sie die Berechnung der Variante durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste.
- Öffnen Sie das Info-Fenster des Immissionspunkts, um die neue berechnete Nachhallzeit T10 anzuzeigen.

Die Ergebnisse für die Nachhallzeit T10 in Variante „Quelle 1“ sind aus der letzte Reihe nachstehender Tabelle ersichtlich:

Zustand	Nachhallzeit T10 (s) bei Frequenz f (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
mit ebener Unterdecke	2.18	1.00	0.55	0.35	0.34	0.32	0.29
mit Wabendecke	1.67	0.83	0.52	0.31	0.31	0.29	0.27
erhöhter Absorption der mobilen Trennwände	0.69	0.50	0.40	0.27	0.28	0.25	0.24

Für die Variante „Quelle 2“ resultieren folgende Ergebnisse:

Zustand	Nachhallzeit T10 (s) bei Frequenz f (Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
mit ebener Unterdecke	2.40	1.11	0.67	0.45	0.31	0.26	0.21
mit Wabendecke und erhöhter Absorption der mobilen Trennwände	0.79	0.67	0.53	0.11	0.08	0.07	0.07

Da beide Zusatzmaßnahmen ausreichen, um das Nachhallzeit-Kriterium für alle Oktaven einzuhalten, wird auf die Maßnahmen 3 (Erhöhung der Schirmwände) und 4 (höher absorbierende Raumwände) verzichtet.

11.6 Hintergrundgeräuschpegel

In diesem Schritt wird untersucht, ob die Anforderung an den Hintergrundgeräuschpegel von $LpA \leq 45 \text{ dB(A)}$ mit der letztlich gefundenen raumakustischen Ausstattung eingehalten wird. Der maßgebliche Hintergrundgeräuschpegel, sowohl am Immissionsort, als auch auf dem Raster, wird unter Beachtung des im Kapitel 11.1, Abschnitt "Vorgehensweise", beschriebenen Ansatzes ermittelt. Dazu wird die Rasterarithmetik in **CadnaR** verwendet. Gehen Sie dazu wie folgt vor:

- Öffnen Sie die nebenstehend bezeichnete Datei.
- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **Berechnung|Konfiguration**).
- Geben Sie auf der Registerkarte „Berechnung“ eine Referenz-Teilchenzahl von 10.000 statt 100.000 ein.
- Wählen Sie die Variante „BG Leer“ aus und starten Sie die Rasterberechnung für diese Variante durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste oder durch Auswahl des Befehls **Raster berechnen** im Menü **Raster**.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 11/STI_5.cni

- ☞ Die Berechnung der Varianten „BG Leer“ und „BG Voll“ dauert auf einem PC mit 2.2 GHz Quad-Core-CPU (2011) je etwa 10 Minuten, die von Variante „BG Personen“ etwa 4 Minuten. Alternativ können Sie die Dateien ..._V03 bis ..._V05 (siehe unten) mit den Ergebnistrastern laden.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 11/STI_5_V03.cni

- Sichern Sie das Ergebnistraster über Menü **Raster|Speichern unter** mit dem Dateinamen `Raster_V03.rst`.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 11/STI_5_V04.cni

- Gehen Sie analog für die Varianten „BG Voll“ und „BG Personen“ vor.
- Sichern Sie die Dateien unter den Dateinamen `Raster_V04.rst` und `Raster_V05.rst`.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 11/STI_5_V05.cni

- Öffnen Sie - nachdem alle drei Ergebnistraster gespeichert wurden - den Dialog **Rasterarithmetik** im Menü **Raster**.
- Wählen Sie über die Dateiauswahlsymbole  die drei Ergebnistraster für R1, R2 und R3 aus.



Dialog **Rasterarithmetik** mit geladenen Ausgangsrastern
und dem Formelausdruck für das Ergebnistraster

Entsprechend der im Kapitel 11.1 erläuterten Vorgehensweise berechnet sich das endgültige Störpegelraster aus den Teilrastern R1, R2 und R3 gemäß (unter Verwendung der **CadnaR**-spezifischen Operatoren, siehe Kapitel 9.1.5.7, Abschnitt "Formeln und Operatoren"):

$$10 * \log_{10}(1/100 * (95 * \exp_{10}(r_1/10) + 5 * \exp_{10}(r_2/10) + 25 * \exp_{10}(r_3/10)))$$

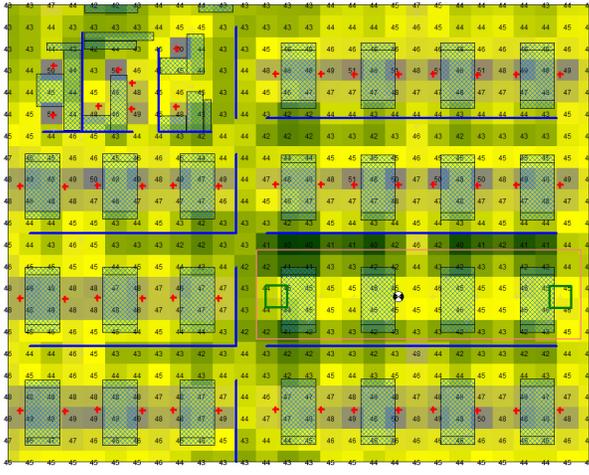
- ☞ Dieser Ausdruck nimmt an, dass bei PCs und Druckern zu 95% Leerlauf -und zu 5% Vollast-Betrieb herrscht, und dass 25% der Personen gleichzeitig sprechen bzw. telefonieren.

 Dateien/Tutorial/
Kap 11/Formel für
Störpegelraster.txt

Zur Vereinfachung der Eingabe enthält die nebenstehende Textdatei den obigen Formelausdruck.

 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_6 - Gesamt-
Störpegelraster.cni

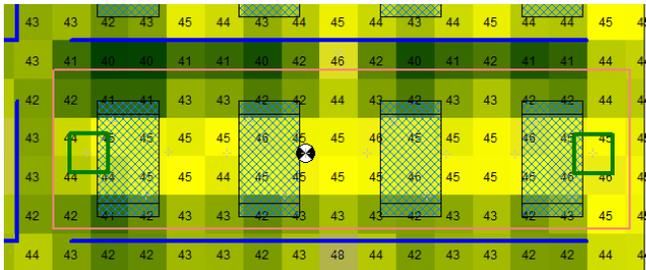
Alternativ können Sie die nebenstehende Datei mit dem resultierenden Störpegelraster laden.



Gesamt-Störpegelraster (mit Pegelwerten an den Rasterpunkten)

- Speichern Sie die Datei mit dem neuen Störpegelraster über Menü **Datei|Speichern unter** und zusätzlich das Raster selbst über Menü **Raster|Speichern unter** (zum Beispiel mit dem Namen Störpegelraster.rst).

Im betrachteten Bürobereich liegt der Pegel zwischen 40 und 46 dB(A). An der Mehrzahl der Arbeitsplätze kann die Anforderung von $L_{NA} \leq 45$ dB(A) gerade eingehalten werden.



Gesamt-Störpegelraster im betrachteten Arbeitsbereich

Andere Betriebszustände berechnen

Neben dem Betriebszustand 95/5/25 (für 95% Leerlauf/5% Volllast/25% Personen telefonierend/sprechend) können auf Basis der Datei **STI_6 - Gesamt-Störpegelraster.cni** auch andere Betriebszustände abgebildet werden. Dazu sind die Faktoren im Formelausdruck (95/5/25) zu ändern. Will man - zum Beispiel - das Störpegelraster für den Betriebszustand **80/20/80** (für 80% Leerlauf/20% Volllast/80% Personen sprechend) berechnen, so lautet der Ausdruck:

$$10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{100} \cdot (80 \cdot \exp_{10}(r_1/10) + 20 \cdot \exp_{10}(r_2/10) + 80 \cdot \exp_{10}(r_3/10)) \right)$$

mit den entsprechenden Eingaben im Dialog **Rasterarithmetik**:



Dialog **Rasterarithmetik** mit neuem Formelausdruck
(Zahlenwert für für 80% Leerlauf invertiert dargestellt)

11.7 Sprachverständlichkeit ohne Störpegel

Zunächst soll die Sprachverständlichkeit ohne Störpegel-Einfluss für die Variante 1 und 2 (Sprecher 1 und 2 sprechen mit Person am Immissionspunkt) untersucht werden. Im nächsten Kapitel wird im Vergleich dazu die Sprachverständlichkeit mit Störpegel-Einfluss auf Basis der erzeugten Störpegelrasters berechnet.

Als Beurteilungsparameter dienen in beiden Fällen die beiden Gütemaße STI_male für männliche Sprecher („Speech Transmission Index for male speaker“) und STI_female für weibliche Sprecher („Speech Transmission Index for female speaker“).

Gehen Sie dazu wie folgt vor:

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei mit dem Pegelraster für Variante 1 („Sprecher 1“ aktiv).
 - Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **Berechnung|Konfiguration**).
 - Stellen Sie sicher, dass auf der Registerkarte „Berechnung“ das Verfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“, mit Spiegelquellen bis einschließlich der nullten Ordnung und mit Teilchen bis einschließlich der 50sten Ordnung mit einer Referenz-Teilchenzahl von 10.000 gewählt ist.
 - Öffnen Sie die Registerkarte „RIA-Auswertung“ und stellen Sie sicher, dass im Dialogbereich „Störpegel für STI/STIPA-Berechnung“ die Option „ohne Störpegel“ gewählt ist.
- ☞ Bei Rasterberechnungen werden immer alle raumakustischen Güteparameter berechnet, unabhängig von der Auswahl auf der Registerkarte „RIA-Auswertung“ getroffenen Auswahl.
- Schließen Sie den Dialog mit OK und sichern Sie die Datei ggf. unter einem neuen Namen.

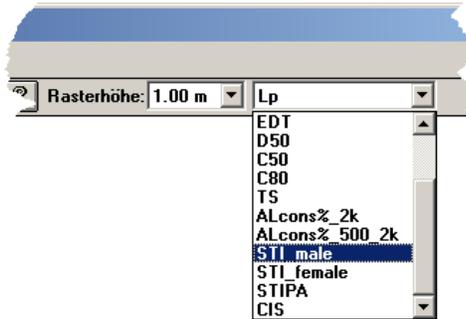
📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_7__V01.cni

Konfiguration überprüfen

Rasterberechnung für
Güteparameter starten

- Wählen Sie den Befehl **Voxelgitter berechnen** aus dem Menü **Voxelgitter**, um die Berechnung der raumakustischen Güteparameter auf dem Raster zu starten.
- ☞ Beim Hybridverfahren „Spiegelquellen --> Teilchen“ ist immer der Befehl **Voxelgitter berechnen** zu verwenden, um die Rasterberechnung für raumakustische Güteparameter zu starten. Ist hingegen das Verfahren „Spiegelquellen“ oder „Teilchen“ gewählt, so werden die raumakustischen Güteparameter im Raster auch bei Auswahl des Befehls **Raster berechnen** im Menü **Raster** berechnet.

Nach Abschluss der Berechnung werden auf der Symbolleiste zusätzlich zwei Listenfelder angezeigt:



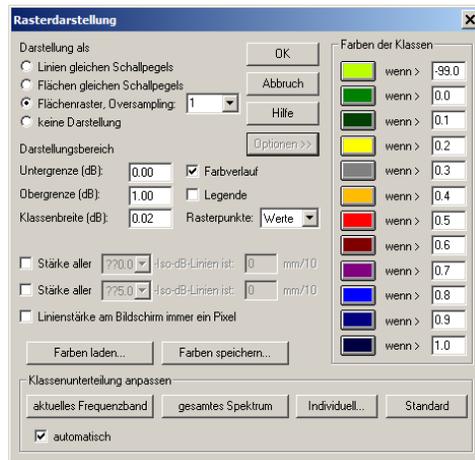
Listenfelder „Rasterhöhe“ und Güteparameter

Das Listenfeld „Rasterhöhe“ steht nur zur Verfügung, wenn der Pegel Lp als Zielgröße im Raster ausgewählt ist. In diesem Fall kann hier die Rasterebene entsprechend der Einstellung im Dialog **Voxelgitter|Spezifikation** gewählt werden (Voxelabstand dz).

Aus dem rechts danebenstehenden Listenfeld kann - außer dem Pegel Lp - der raumakustische Güteparameter ausgewählt werden, solange die aktuelle Datei mit dem Ergebnistraster nicht gespeichert wird.

Wird die Datei gespeichert, so wird - aus Speicherplatzgründen (spektrale Werte für alle Zielgrößen an allen Rasterpunkten) - nur das Raster des aktuell gewählten Güteparameters oder das Pegelraster L_p gespeichert. Die Raster für die restlichen Parameter gehen in diesem Fall verloren.

- Öffnen Sie den Dialog **Rasterdarstellung** im Menü **Raster**.
- Aktivieren Sie die Option „automatisch“ im Dialogbereich „Klassenunterteilung anpassen“ (am unteren Ende des Dialogs).

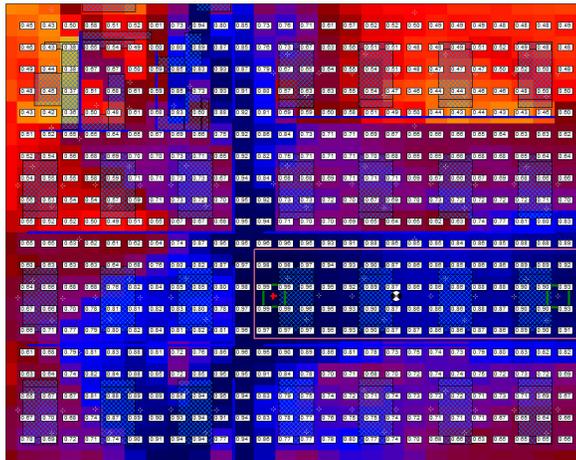


Dialog **Rasterdarstellung** mit aktivierter Option „automatisch“
im Dialogbereich „Klassenunterteilung anpassen“

- Wählen Sie die Zielgröße STI_{female} aus dem Listenfeld, um dieses Ergebnistraster anzuzeigen.
- Wählen Sie danach die Zielgröße STI_{male} aus dem Listenfeld aus.

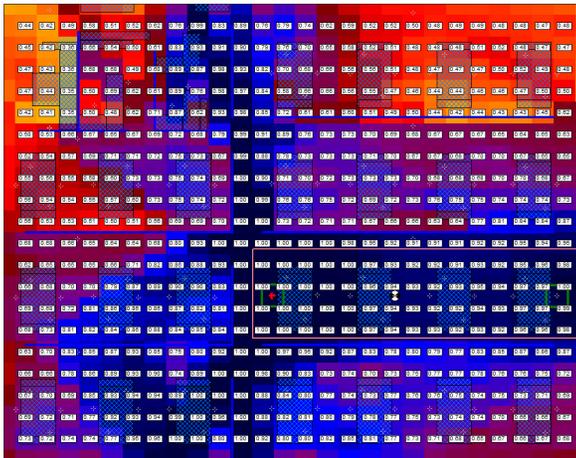
Beide Raster sollten so aussehen, wie in nachfolgenden Abbildungen dargestellt. In den Ergebnisdateien wurden zusätzlich Pegelrahmen an alle Rasterpunkten platziert (über Dialog **Objekte verändern**, Aktion „Duplizieren“, siehe Kapitel 6.2.3), um den STI auf zwei Dezimalen anzuzeigen, da die Werteanzeige über den Dialog **Rasterdarstellung** nur erlaubt, ganzzahlige Werte anzuzeigen.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_7_V01 -
Raster STI_male.cni



Raster für die Zielgröße STI_male

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_7_V01 -
Raster STI_female.cni



Raster für die Zielgröße STI_female

Die Werte für den STI_{male} liegen bei einer sprechenden Person am Ort der „Quelle 1“:

- innerhalb der Arbeitsgruppe zwischen STI_{male} = 0.90 und 1.00,
 - an den Arbeitsplätzen von direkt benachbarten Arbeitsgruppen zwischen STI_{male} = 0.60 und 0.90 (bei Nicht-Betrachtung der Gangbereiche)
 - an den Arbeitsplätzen von weiter entfernten Arbeitsgruppen zwischen STI_{male} = 0.40 und 0.70
-
- Gehen Sie analog vor, um den STI_{male} und den STI_{female} für die Variante 2 („Sprecher 2“ aktiv) zu berechnen.
 - Laden Sie alternativ die beiden nebenstehenden Dateien mit den Ergebnistrastern.

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_7__V02.cni

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_7__V02 -
Raster STI_male.cni

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_7__V02 -
Raster STI_female.cni

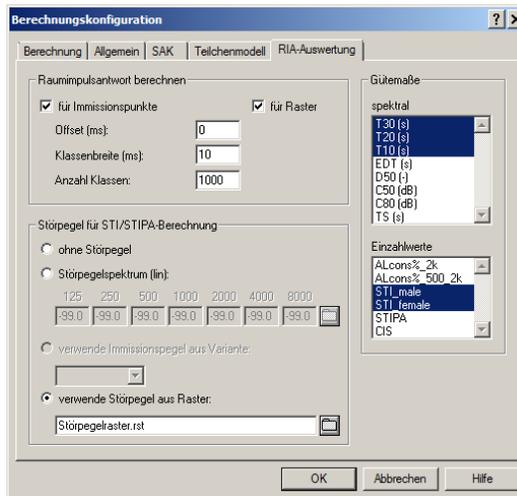
11.8 Sprachverständlichkeit mit Störpegel

In diesem Kapitel wird die Sprachverständlichkeit mit Störpegel-Einfluss für die Varianten „Quelle 1“ und „Quelle 2“ (Nutzpegel-Raster) unter Verwendung des Störpegelrasters aus Kapitel 11.6 berechnet. Als Beurteilungsparameter dienen wieder die beiden Gütemaße STI_male für männliche Sprecher und STI_female für weibliche Sprecher.

- Laden Sie die nebenstehend bezeichnete Datei mit dem Pegelraster für Variante 1 („Sprecher 1“ aktiv).
- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **Berechnung**|**Konfiguration**).
- Öffnen Sie die Registerkarte „RIA-Auswertung“, aktivieren Sie im Dialogbereich „Störpegel für STI/STIPA-Berechnung“ über die Option „verwende Störpegel aus Raster“ und wählen Sie die Datei **Störpegelraster.rst**, die zuvor im Kapitel 11.6 gesicherte Rasterdatei mit dem Gesamtstörpegel.

📁 Dateien/Tutorial/
 Kap 11/STI_8_V01.cni

Konfiguration überprüfen



Störpegelraster für STI/STIPA-Berechnung ausgewählt

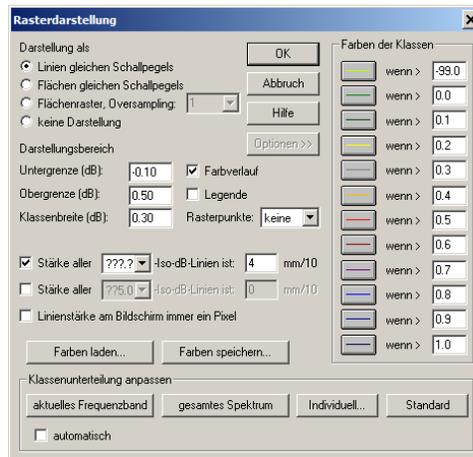
- Schließen Sie den Dialog mit OK.

Rasterberechnung für
Güteparameter starten

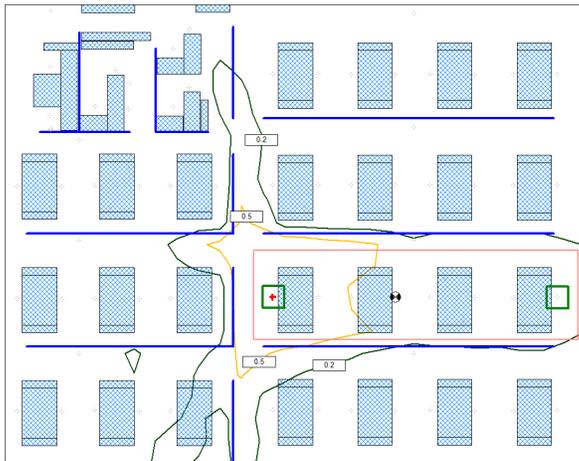
- Wählen Sie den Befehl **Voxelgitter berechnen** aus dem Menü **Voxelgitter**, um die Berechnung der raumakustischen Güteparameter auf dem Raster zu starten.
- Wählen Sie nach Abschluss der Berechnung aus dem Listenfeld auf der Symbolleiste den STI_male und den STI_female aus.

Um die STI-Konturen für 0.2 (Vertraulichkeitsabstand r_p) und 0.5 (Ablenkungsabstand r_D) anzuzeigen, gehen Sie wie folgt vor:

- Öffnen Sie den Dialog **Rasterdarstellung** im Menü **Raster** und nehmen Sie folgende Einstellungen vor bzw. geben Sie folgende Daten ein:
 - Darstellungsart: Linien gleichen Schallpegels
 - Untergrenze: -0.1
 - Obergrenze: 0.5
 - Klassenbreite: 0.3
 - Auswahl „Stärke aller ... dB-Linien“: ????
 - Linienbreite: 4/10 mm
 - Option „automatisch“: deaktivieren

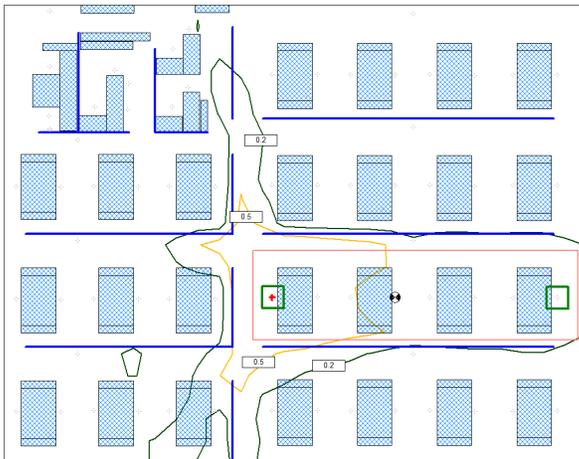


📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_8_V01 -
Konturen STI_male.cni



Variante 1: STI-Konturen 0.2 und 0.5 für die Zielgröße STI_male

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_8_V01 -
Konturen STI_female.cni



Variante 1: STI-Konturen 0.2 und 0.5 für die Zielgröße STI_female

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_8__V02.cni

*Rasterberechnung für
Güteparameter starten*

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_8__V02 -
Konturen STI_male.cni

- Laden Sie anschließend die Datei mit dem Pegelraster für Variante 2 („Sprecher 2“ aktiv).
- Öffnen Sie in der Konfiguration die Registerkarte „RIA-Auswertung“, aktivieren Sie im Dialogbereich „Störpegel für STI/STIPA-Berechnung“ über die Option „verwende Störpegel aus Raster“ und wählen Sie erneut die Datei **Störpegelraster.rst** aus.
- Wählen Sie den Befehl **Voxelgitter berechnen** aus dem Menü **Voxelgitter**, um die Berechnung zu starten.
- Öffnen Sie den Dialog **Rasterdarstellung** und nehmen Sie die Einstellung wie für Variante V01 beschrieben vor.
- Wählen Sie aus dem Listenfeld auf der Symbolleiste den STI_male und den STI_female aus, um jeweils die Konturen STI=0.2 und STI=0.5 anzuzeigen.



Variante 2: STI-Konturen 0.2 und 0.5 für die Zielgröße STI_male

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 11/STI_8_V02 -
Konturen STI_female.cni



Variante 2: STI-Konturen 0.2 und 0.5 für die Zielgröße STI_female

Auf Grundlage der Berechnungen können im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit in den zu untersuchenden Bürobereichen folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Schlussfolgerungen

- Die Sprachverständlichkeit am repräsentativen Immissionsort (Hörer) in Bezug auf die Sprecherpositionen 1 und 2 kann als gerade noch ausreichend bezeichnet werden. Der Immissionspunkt liegt bei beiden Varianten knapp außerhalb der STI-Kontur 0.5 (somit außerhalb des Ablenkungsabstandes).
- Der Bürobereich innerhalb der Arbeitsgruppe liegen im Bereich $0.2 \leq STI < 0.5$. Die jeweiligen Sprecher sind hier schlecht bis schwach verständlich. Alle Arbeitsplätze befinden sich aber noch innerhalb des Vertraulichkeitsabstandes, so dass - bei einem Sprachpegel von 65 dB(A) - von einem geringen Einfluss auf die Konzentrationsfähigkeit ausgegangen werden kann.
- Der nicht zur betrachteten Arbeitsgruppe gehörende Bürobereich liegt fast vollständig außerhalb der STI-Kontur 0.2 und damit außerhalb des Vertraulichkeitsabstandes, so dass hier kein Einfluss auf die Konzentrationsfähigkeit auftritt.

Kapitel 12 - SAK berechnen

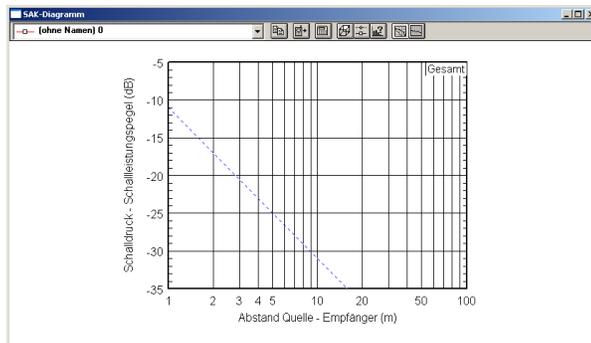
Die Schallausbreitungskurve (SAK) wird in der VDI-Richtlinie 3760 als Kenngröße zur akustischen Beschreibung und Beurteilung von Arbeitsräumen verwendet. Die Schallausbreitungskurve stellt die Pegeldifferenz über dem Abstand zwischen dem örtlichen Schalldruckpegel und dem Schallleistungspegel einer Punktquelle entlang eines diagonalen Pfades im Raum dar. Aus dem Verlauf der Schallausbreitungskurve werden die zur Raumbeurteilung erforderlichen Kenngrößen DLf (Pegelüberhöhung gegenüber der Freifeldausbreitung in dB) und DL2 (Pegelabnahme pro Abstandsverdopplung in dB) für die Frequenzbänder wie auch für den Gesamtpegel eines vorgebbaren Referenzspektrums berechnet.

Nachfolgend wird die Vorgehensweise in **CadnaR** zur Berechnung der Schallausbreitungskurve (SAK) und der Kenngrößen DLf und DL2 erläutert.

- Starten Sie ggf. **CadnaR** durch Klick auf das Programmsymbol auf dem Desktop oder durch Auswahl des Eintrags **DataKustik/CadnaR** im Startmenü.
- Öffnen Sie die Berechnungskonfiguration (Menü **Berechnung|Konfiguration**).
- Stellen Sie sicher, dass auf der Registerkarte „Berechnung“ als Berechnungsverfahren „VDI 3760“ gewählt ist.
- Wählen Sie auf der Registerkarte „SAK“ im Dialogbereich „Bezugsspektrum für Gesamt“ das Spektrum mit der Bezeichnung „VDI 3760 Standard“ aus.

☞ Das hier ausgewählte Bezugsspektrum wird von **CadnaR** bei der Berechnung der Schallausbreitungskurve "Gesamt" aus den Kurven der einzelnen Frequenzbänder zugrundegelegt.

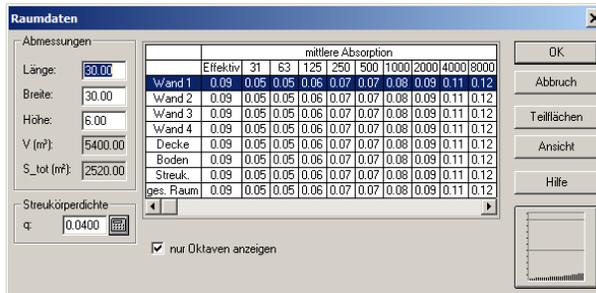
- Behalten Sie alle anderen Einstellungen „Abbruchkriterium SAK“ und „Berechnung der äquivalenten Absorptionsfläche A“ bei.
 - Schließen Sie den Dialog **Berechnungskonfiguration** mit OK.
 - Wählen Sie aus dem Menü **Eigenschaften|Diagramme** den Befehl **Schallausbreitungskurve** aus.
- ☞ Der Befehl steht nur zur Verfügung, wenn eines der beiden Berechnungsverfahren „Diffusfeld (statistisch)“ oder „VDI 3760“ gewählt ist.



Dialog **SAK-Diagramm** (mit Pegelabfall für Punktquelle im Freifeld)

Alle zur Berechnung von Schallausbreitungskurven notwendigen Einstellungen können ausgehend von diesem Dialog vorgenommen werden. In diesem Beispiel werden die Auswirkungen auf die SAK durch Einbau einer schallabsorbierenden Decke untersucht.

- Klicken Sie auf das Symbol  auf der Symbolleiste des Dialogs **SAK-Diagramm**, um die aktuellen Raumdaten anzuzeigen.

Dialog **Raumdaten**: Ausgangszustand

Mit dem Verfahren nach VDI 3760 können nur quaderförmige Räume berechnet werden (hier: $L/B/H=(30*30*6)$ m). Nicht-quaderförmige Räume müssen an die Quaderform angenähert werden (z.B. durch Eingabe einer mittleren Raumhöhe).

Zudem entspricht die Raumhöhe in **CadnaR** dem Abstand vom Boden bis zur Unterkante der Deckenkonstruktion. Bei geschlossenen Deckensystemen ist daher die Raumhöhe (hier: 6 m) um die Abhängehöhe zu reduzieren. Bei offenen Systemen (z.B. bei Baffle-Decken) wird der Luftstand nach Auswahl der Option „offen“ im Dialog **Teillfläche** der Decke angegeben (über Dialog **Raumdaten**).

- Bei offenen Deckensystemen wird ein Teil des über der Decke liegenden Volumens bei der Berechnung der Nachhallzeit berücksichtigt. Ist der Absorptionsgrad klein, so gelangt ein großer Teil der Schallenergie in den Deckenhohlraum und zurück - das obere Volumen ist dazuzurechnen. Ist der Absorptionsgrad groß, so wird das obere Volumen nicht wirksam.

☞ Zudem kann bei einem offenen Deckensystem ein über dem Deckensystem liegender Deckenabsorber berücksichtigt werden. Ist der Absorptionsgrad des Deckensystems klein, so gelangt ein großer Teil der Schallenergie in den Deckenhohlraum und zurück - das obere Volumen und der Deckenabsorber sind dazuzurechnen. Ist der Absorptionsgrad des Deckensystems groß, so wird das obere Volumen wie auch der Deckenabsorber nicht wirksam.

In **CadnaR** ist die Raumhöhe der Abstand Fußboden-Unterkante Deckenkonstruktion. Der Abstand Baffeldecke-Rohdecke wird als "Luftabstand" im Dialog **Teilfläche** angegeben. Er wird bei offenen Deckensystemen berücksichtigt.

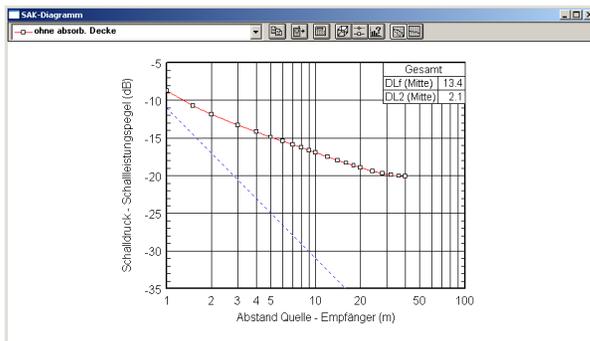
Die Absorption durch Streuung an diffus verteilten Objekten im Raum wird durch den Streukörperquerschnitt näherungsweise berücksichtigt (siehe Kapitel 7.3 im **CadnaR**-Handbuch). Die vorhandene Absorption an alle Raumbegrenzungsflächen spiegelt die Situation in einem akustisch unbehandelten Raum wieder.

- Schließen Sie den Dialog **Raumdaten** mit OK.
 - Klicken Sie auf das Symbol  auf der Symbolleiste, um die Bezeichnung für die Schallausbreitungspfade (bzw. die Nachhallzeiten) anzuzeigen.
 - Geben Sie im Dialog **Schallausbreitungspfade|Nachhallzeiten** die nachfolgend dargestellten Bezeichnungen ein.
- ☞ Es können bis zu 5 Schallausbreitungskurven gleichzeitig im Diagramm dargestellt werden.



- Schließen Sie den Dialog durch Klick auf die Schaltfläche „Schließen“.
- Wählen sie die Kurvenbezeichnung „ohne absorb. Decke“ aus dem Listenfeld aus und starten Sie die Berechnung durch Klick auf das Taschenrechner-Symbol .

Anschließend wird die Schallausbreitungskurve auf Basis der aktuellen Raumdaten berechnet und angezeigt.



Schallausbreitungskurve für den Raum ohne schallabsorbierende Decke

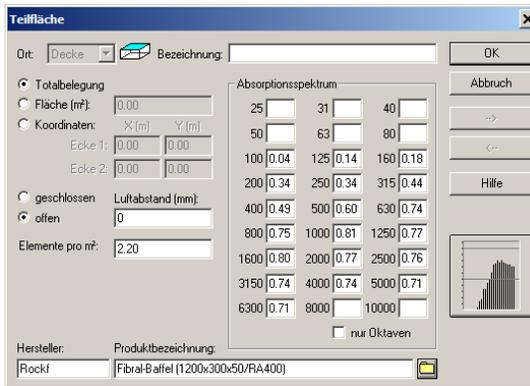
Die Kenngrößen DLf und DL2 werden aus dem Verlauf der aktuell gewählten Schallausbreitungskurve unter Verwendung des eingestellten Referenzspektrums berechnet.

- Öffnen Sie die SAK-Diagrammoptionen durch Klick auf das Symbol  auf der Symbolleiste.

Standardmäßig sind der gesamte Frequenzbereich und die Parameter „DLf (Mitte)“ und „DL2 (Mitte)“ für die Auswertung des mittleren Abstandsereichs ($5 \text{ m} < r \leq 16 \text{ m}$) gewählt.

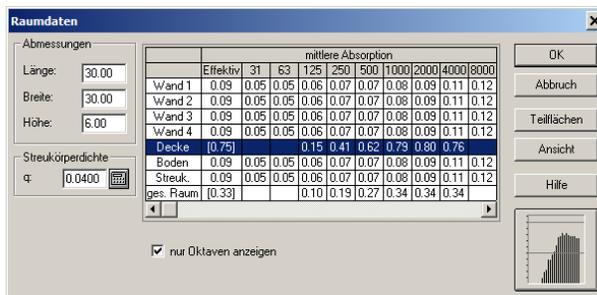
- Schließen Sie den Dialog mit OK.
- Wählen Sie die Kurvenbezeichnung „mit absorb. Decke“ aus dem Listenfeld aus.
- Klicken Sie auf das Symbol  auf der Symbolleiste des Dialogs **SAK-Diagramm**, um den Dialog **Raumdaten** anzuzeigen.
- Doppelklicken Sie in die Tabelle, um die Tabelle **Teilflächenliste** zu öffnen.
- Doppelklicken Sie in die Zeile „Decke“, um den Dialog **Teilfläche** für die Deckenfläche zu öffnen.

- Wählen Sie über das Dateiauswahlsymbol  die Konstruktion „Fibral-Baffel (1200x300x50/RA400)“ von der Fa. Rockfon aus.
- Aktivieren Sie danach im Dialog **Teilfläche** die Option „offen“ und geben Sie einen Luftabstand von 1000 mm ein.



Dialog **Teilfläche**: Baffel-Decke ausgewählt

- Schließen Sie den Dialog **Teilfläche** und die Teilflächenliste mit OK.
- Daraufhin werden die Werte für die mittlere Absorption des gesamten Raumes aktualisiert.
- Ändern Sie jetzt noch die Raumhöhe von 6 auf 5 m, da dies die effektive Raumhöhe bis zur Unterkante der Baffeldecke darstellt.

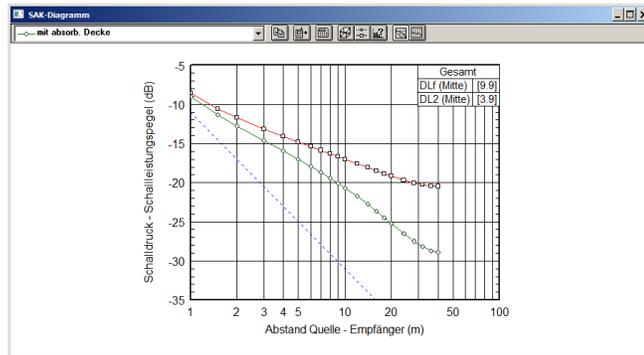


Dialog **Raumdaten**: Raum mit absorbierender Decke

- Schließen Sie den Dialog **Raumdaten** mit OK.
- Starten Sie die Berechnung über das Taschenrechner-Symbol .

📁 Dateien/Tutorial/
Kap 12/SAK.cni

Die neue Schallausbreitungskurve wird auf Basis der aktuellen Raumdaten berechnet und im SAK-Diagramm neben der Kurve des unausgestatteten Raumes angezeigt.



Schallausbreitungskurven für den Raum ohne und mit schallabsorbierender Baffeldecke

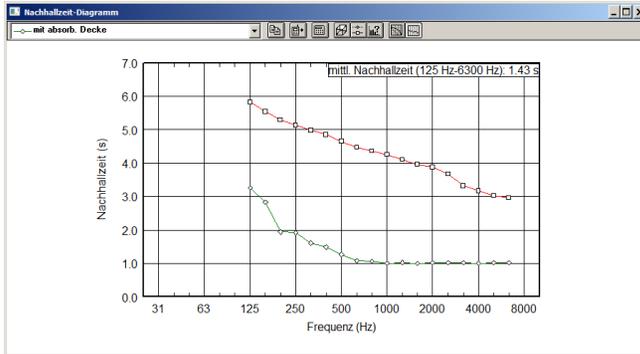
Die Kenngrößen DLf und DL2 der aktuell gewählten Schallausbreitungskurve werden unter Verwendung des eingestellten Referenzspektrums aus dem Verlauf der SAK berechnet.

Nachhallzeitdiagramm darstellen

Zur Anzeige des zugehörigen Nachhallzeitdiagramms gehen Sie wie folgt vor:

- Klicken Sie auf das Symbol  auf der Symbolleiste.
 - Für die aktuell gewählte Nachhallzeit-Kurve wird die mittlere Nachhallzeit in Sekunden angezeigt.
- ☞ Der Mittelungsbereich wird über das Symbol  eingestellt. Standardmäßig ist der Frequenzbereich 100 bis 6300 Hz gewählt.

- Bei der Berechnung der äquivalenten Absorptionsfläche sind die Einstellungen auf der Registerkarte „SAK“ im Dialog **Berechnung|Konfiguration** relevant.



Nachhallzeit-Diagramm für den Raum ohne und mit schallabsorbierender Baffeldecke

Die Schallpegelverteilung im Raum kann für die aktuellen Raumdaten auf Basis der aktuell gewählten Schallausbreitungskurve berechnet werden. Gehen Sie dazu wie folgt vor:

Schallpegelverteilung berechnen

- Klicken Sie auf das Symbol  auf der Symbolleiste.
- Wählen Sie aus dem Listefeld die zu berücksichtigende Schallausbreitungskurve aus.
- Schließen Sie jetzt den Dialog **SAK-Diagramm** durch Klick auf das Schließen-Symbol  des Dialogs.
- Platzieren Sie die Schallquellen im Raum wie erforderlich (siehe ggf. Kapitel 5.2 bis 5.6 im **CadnaR**-Handbuch).

- Da Hindernisse im Rahmen der Berechnung nach VDI 3760 nicht berücksichtigt werden, kann deren Eingabe entfallen.

- Starten Sie die Rasterberechnung (Menü **Raster**) oder über das Symbol



📁 Dateien/Tutorial/
Kap 12/SAK - mit Raster
für SAK mit absorb.
Decke.eni

Kapitel 13 - Statistische Berechnung

Die Schallausbreitungskurve kann alternativ nach der statistischen Theorie (gemäß *Sabine* oder *Eyring*) berechnet werden. Wählen Sie dazu auf der Registerkarte „Berechnung“ im Menü **Berechnung|Konfiguration** als Berechnungsverfahren „Diffusfeld (statistisch)“ aus.

Der weitere Berechnungsgang entspricht dem im Kapitel 12 - SAK berechnen erläuterten Handlungsablauf.

