

SPA - Die SchallPrognoseApp

Bedienungsanleitung

Lizenzbedingungen

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) stellt die Software SPA unentgeltlich über ihre Homepage www.baua.de zur Verfügung. Die Software darf gewerblich, für Lehrzwecke und für den privaten Gebrauch genutzt werden.

Die Weitergabe von SPA an Dritte ist erlaubt. Eine Veränderung von SPA oder ein Downloadangebot von fremden Servern aus ist nicht gestattet.

Die Software SPA ist nach aktuellem Stand der Wissenschaft und Technik erstellt und mit größter Sorgfalt getestet worden. Trotzdem kann jedoch weder eine Garantie für absolute Fehlerfreiheit noch inhaltliche Richtigkeit gegeben werden. Für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung und die Anwendung von Schutzmaßnahmen gegen Lärm bleibt weiterhin der Arbeitgeber verantwortlich.

Eine Haftung der BAuA oder DataKustik GmbH für technische Fehler, Probleme und inhaltlich fehlerhafte Angaben sowie etwaige Schäden und mittelbare Folgeschäden durch den Gebrauch von SPA ist ausgeschlossen.

Die Software SPA sowie diese Bedienungsanleitung wurden von der DataKustik GmbH im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erstellt.

Erklärung zur Barrierefreiheit

Diese Software ist mit der Barrierefreie-Informationstechnik-Verordnung (BITV 2.0) weitestgehend vereinbar. Die Aufwände für die Entwicklung einer vollständig barrierefreien Software wurden nach Abwägung der geschätzten Kosten im Verhältnis zur Größe der Zielgruppe der Anwendung (potentielle Nutzungshäufigkeit) als unverhältnismäßig bewertet.

Softwareentwicklung:

DataKustik GmbH

Dornierstr. 4

82205 Gilching

Hotline-Anfragen:

E-Mail: spa@baua.bund.de

(Bitte senden Sie die SPA-Projektdatei als Anhang)

Telefon: 0231/9071-2430

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Lizenzbedingungen | 1 |
| Erklärung zur Barrierefreiheit..... | 1 |
| Softwareentwicklung: | 1 |
| Hotline-Anfragen: | 1 |
| Inhaltsverzeichnis | 2 |
| Anwendungsbereich | 3 |
| 1 Begriffsbestimmungen | 4 |
| 1.1 Emissionsgrößen | 4 |
| 1.2 Immissionsgrößen..... | 4 |
| 2 Systemanforderungen und Installation | 5 |
| 2.1 Systemanforderungen..... | 5 |
| 2.2 Installation | 5 |
| 3 Benutzeroberfläche..... | 6 |
| 3.1 Hauptfenster..... | 6 |
| 3.2 3D-Ansicht..... | 10 |
| 3.3 Sprache..... | 10 |
| 4 Modellerstellung..... | 11 |
| 4.1 Raumdaten..... | 11 |
| 4.2 Objekte..... | 12 |
| 4.3 Raumbegrenzungsflächen editieren | 14 |
| 5 Berechnungsverfahren..... | 15 |
| 5.1 Schallausbreitung nach VDI 3760..... | 15 |
| 5.2 Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz..... | 16 |
| 5.3 Konsistenzprüfung | 16 |
| 6 Beispiel | 17 |
| 6.1 Modellerstellung | 17 |
| 6.2 Berechnung durchführen..... | 19 |
| 6.3 Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz..... | 19 |
| 6.4 Raumbegrenzungsflächen editieren | 20 |
| Literaturverzeichnis | 21 |
| Tabellenverzeichnis..... | 21 |
| Abbildungsverzeichnis | 21 |
| Anhang 1 Veranschaulichung der Streukörperdichten 0.02 und 0.05..... | 22 |

Anwendungsbereich

Die SchallPrognoseApp SPA dient zur ersten Abschätzung der zu erwartenden Lärmbelastung in Arbeitsräumen durch Betreiber von lärmrelevanten Arbeitsstätten oder betriebliche Arbeitsschutzakteure. Anwender werden bei der Gefährdungsbeurteilung unterstützt, indem basierend auf den angegebenen Emissionskenngrößen von Maschinen die zu erwartenden Immissionen an ortsfesten Arbeitsplätzen berechnet werden können. Die alleinige Anwendung von SPA kann eine fachkundige Gefährdungsbeurteilung jedoch nicht ersetzen.

Anwender von SPA benötigen keine besonderen Vorkenntnisse bzgl. der Erstellung akustischer Berechnungsmodelle und können alle erforderlichen Daten vor Ort aufnehmen bzw. einer Planung entnehmen. Dies sind im Wesentlichen Daten zu folgenden Aspekten:

- Raumeigenschaften
- Schallemissionen
- Schallimmission

Die Raumeigenschaften werden im Wesentlichen durch die Raumabmessungen sowie die akustischen Parameter der Raumbegrenzungsflächen und Streukörper definiert.

Die Beschreibung der Schallemission bezieht sich auf die Abbildung der Maschinen bzw. anderer lärmrelevanter Schallquellen im Modell. Neben der Position können Schalleistungspegel L_{WA} und Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} angegeben werden.

Die Immission kann nach einer Berechnung anhand des Abwerteten, äquivalenten Dauerschallpegels L_{pAeq} je Immissionsort abgeschätzt werden. Hierbei werden alle im Raum vorhandenen Schallquellen inkl. der Raumerückwirkung (Reflexionen) berücksichtigt. Bei der in SPA definierten Bezugszeit von 8 Stunden sowie den ortsfesten Immissionsorten entspricht dieser dem ortsbezogenen Tages-Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$.

Damit kann festgestellt werden, ob an einem Arbeitsplatz eine Überschreitung von Auslösewerten zu erwarten ist oder wo Lärmbereiche vorliegen. Basierend auf diesen Berechnungen kann die zu erwartende Lärmbelastung abgeschätzt und eine mögliche Gefährdung für Mitarbeiter ermittelt werden.

Weiterhin werden mit SPA die grundlegenden Zusammenhänge der Schallausbreitung in Räumen aufgezeigt, wodurch Anwender die Wirksamkeit von Maßnahmen abschätzen können, z. B.

- Einfluss von Anzahl und Position der Schallquellen
- Einfluss von Schalleistungspegel und Betriebsdauer der Schallquellen
- Wirksamkeit akustischer Maßnahmen, z. B. Einbringen einer Akustikdecke

Eine weitere Zielsetzung von SPA ist die Anwendbarkeit auf einen Großteil von lärmrelevanten Arbeitsstätten unter Beibehaltung der einfachen Bedienung für Nutzer ohne Vorkenntnisse. Daher wurde zugunsten der Bedienungsfreundlichkeit bewusst auf die Möglichkeit zur Modellierung von Sonderfällen verzichtet, wie sie beispielsweise in folgenden Situationen auftreten können:

- Besonders abgeschirmte Bereiche innerhalb des Raums
- Schallquellen mit ausgeprägter Richtwirkung
- nicht quaderförmige Räume

1 Begriffsbestimmungen

Nachfolgend werden die für die Bedienungsanleitung und Verwendung der SchallPrognoseApp SPA relevanten Emissions- und Immissionsgrößen beschrieben (1).

1.1 Emissionsgrößen

Schalleistungspegel L_{WA}

Der A-bewertete Schalleistungspegel L_{WA} beschreibt den von einer Schallquelle insgesamt abgestrahlten Luftschall. Damit ist der Schalleistungspegel unabhängig von den akustischen Eigenschaften der Umgebung (Raumrückwirkung und Fremdgeräusche) und der Entfernung von der Maschine.

Hinweis 1: Der A-bewertete Schalleistungspegel L_{WA} ist die wichtigste Geräuschemissionskenngröße und Eingangsgröße für eine schalltechnische Prognose des Schalldruckpegels am Arbeitsplatz. Die Angabe des Schalleistungspegels L_{WA} ist ab einem Emissions-Schalldruckpegel von $L_{pA} = 80 \text{ dB(A)}$ eine Pflichtangabe des Maschinenherstellers. Er dient dem Vergleich der Schallabstrahlung von gleichartigen Maschinen, beispielsweise bei der Neuanschaffung.

Hinweis 2: Bei Maschinen mit sehr großen Abmessungen können statt des A-bewerteten Schalleistungspegels die A-bewerteten Emissionsschalldruckpegel an bestimmten Stellen im Maschinenumfeld angegeben werden.

Emissions-Schalldruckpegel L_{pA}

Der Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} ist die kennzeichnende Emissionsgröße für einen der Maschine zugeordneten Arbeitsplatz. Der Emissions-Schalldruckpegel ergibt sich allein durch die Geräuschabstrahlung dieser einen Maschine direkt auf den dieser Maschine zugeordneten Arbeitsplatz. Er wird unter den gleichen Betriebs- und Aufstellungsbedingungen wie der Schalleistungspegel L_{WA} ermittelt und erfasst damit nicht andere mögliche Einflussgrößen, wie das Fremdgeräusch benachbarter Maschinen und den Reflexionsschall der Decke und der Wände, d. h. die Raumrückwirkung. Im Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} werden jedoch lokale Effekte der Schallabstrahlung (z. B. durch Richtwirkung oder Abschirmung) für diesen Arbeitsplatz berücksichtigt.

Hinweis 1: Der Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} ist eine Pflichtangabe des Maschinenherstellers nach EG-Maschinenrichtlinie bzw. 9. ProdSV. Er dient dem Vergleich der Schallabstrahlung von gleichartigen Maschinen und insbesondere bei der Neuanschaffung von Maschinen.

Hinweis 2: Der Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} darf als Emissionskenngröße nicht verwechselt werden mit dem Beurteilungspegel aus der Arbeitsstättenverordnung oder dem Tages-Lärmexpositionspegel aus der LärmVibrationsArbSchV, also Pegeln, die die Schallimmission bzw. die Schallexposition beschreiben und damit alle einwirkenden Schallanteile berücksichtigen.

1.2 Immissionsgrößen

A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel L_{pAeq}

Der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel L_{pAeq} ist der zeitlich gemittelte, mit der Frequenzbewertung A aufgenommene bzw. berechnete Schalldruckpegel L_{pA} .

Tages-Lärmexpositionspegel $L_{EX,8h}$

Der Tages-Lärmexpositionspegel ($L_{EX,8h}$) ist ein A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel, der (personenbezogen) für die Dauer eines repräsentativen Arbeitstages ermittelt wird und sich auf eine Achtstundenschicht (Zeitdauer von acht Stunden) bezieht. Er umfasst alle am Arbeitsplatz auftretenden Schallereignisse.

Ortsbezogener Lärmexpositionspegel

Der ortsbezogene Lärmexpositionspegel beschreibt die Lärmeinwirkung auf einen Ort (Arbeitsplatz). Falls hier kein Beschäftigter anwesend ist, wird der Lärmexpositionspegel so ermittelt, als wenn sich dort ein Beschäftigter aufhalten würde. Der ortsbezogene Lärmexpositionspegel wird als Tages-Lärmexpositionspegel (bezogen auf 8 Stunden) ermittelt.

Lärmbereiche

Lärmbereiche sind Arbeitsbereiche, in denen der ortsbezogene Lärmexpositionspegel oder der Spitzenschalldruckpegel einen der oberen Auslösewerte für Lärm ($L_{EX,8h}$, $L_{pC,peak}$) überschreitet.

2 Systemanforderungen und Installation

2.1 Systemanforderungen

Nachfolgend sind die Mindest-Systemanforderungen zum Betrieb von SPA aufgeführt. Die Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die nachstehenden Hinweise.

Mindestanforderungen

- Mehrkern-Prozessor von Intel (Core i Serie der 2. Generation, „Sandy Bridge“ Architektur) oder AMD (A Serie der 2. Generation, „Piledriver“ Architektur) [1]
- 4 GB RAM [2]
- 50 MB freier Festplattenspeicherplatz für die Programminstallation
- 1 GB freier Festplattenspeicherplatz für Projektdaten [3]
- OpenGL 3.3 Grafikkarte mit mindestens 1 GB echtem Grafikspeicher [4]
- Betriebssystem Microsoft Windows 10 (Version 1909 oder neuer) [5][6]

Hinweise

1. Es wird vorausgesetzt, dass der Prozessor über mindestens 2 Kerne verfügt und die Befehlssatzerweiterungen SSE4.2 und AVX unterstützt.
2. Die Menge des benötigten Arbeitsspeichers hängt von der Größe des zu bearbeitenden Projekts ab.
3. Die Menge des benötigten Festplattenspeicherplatzes hängt von der Anzahl und Größe der Projekte ab.
4. Für die Nutzung der Hardware-beschleunigten 3D-Ansicht wird eine Grafikkarte mit OpenGL 3.3 Unterstützung sowie aktuellem Grafikkarten-Treiber vorausgesetzt. Die Menge des benötigten Grafikspeichers hängt von der Größe des Projekts sowie von der verwendeten Bildschirmauflösung ab. Bei der Verwendung von Chipsatzgrafikkarten bzw. Grafikkarten ohne dediziertem Grafikspeicher („shared memory“) kann es zu Darstellungsfehlern kommen.
5. Es wird vorausgesetzt, dass das jeweilige Betriebssystem auf dem aktuellen Stand gehalten wird. Dies beinhaltet die Installation des neuesten verfügbaren Updates oder Service Packs sowie aller per Windows-Update zur Verfügung gestellten und von Microsoft als „wichtig“ eingestuft Updates.
6. SPA verwendet als Laufzeitumgebung das Microsoft .NET Framework in der Version 4.7.2, welches unter Windows 10 standardmäßig installiert sein sollte. Fehlt die passende Version, werden Sie beim Programmstart darauf hingewiesen. In diesem Fall müssen Sie die passende Version zuerst herunterladen und installieren. Sämtliche Versionen von .NET können auf der offiziellen Microsoft Webseite unter <https://dotnet.microsoft.com/download/dotnet-framework> heruntergeladen werden. Zur Installation werden Administrator-Rechte benötigt.

2.2 Installation

SPA installieren

Gehen Sie zur Installation der SchallPrognoseApp SPA wie folgt vor:

- Starten Sie Ihren PC mit einem Microsoft Windows Betriebssystem.
- Melden Sie sich als Administrator an. Starten Sie dazu ggf. das Betriebssystem neu.
- Beenden Sie vor der Programminstallation alle geöffneten Programme (z. B. Virens Scanner).
- Starten Sie die Installation mit Doppelklick auf die Datei setup.exe starten.

Nach Abschluss der Installation befindet sich die SPA-Programmverknüpfung im Windows-Startmenü unter Programme\BAuA\SchallPrognoseApp.

Programm-Updates

Wenn Sie ein Programm-Update erhalten, können Sie das vorhandene Programm überschreiben. Alternativ kann die neue Version in einem anderen Ordner installiert werden, um beide Programmversionen auf dem Rechner zu behalten. Die Programm-Updates sind Vollprogramme und benötigen nicht die vorhergehende Version.

Starten von SPA

Zum Starten von SPA klicken Sie auf die Programm-Verknüpfung im Startmenü oder auf Ihrem Desktop.

Konfigurations-Datei

In einer Konfigurations-Datei werden Benutzereinstellungen und sonstige Parameter gespeichert und beim Programmstart geladen. Ändern Sie, zum Beispiel, die Position und Größe des SPA-Hauptfensters und schließen Sie danach das Programm. Diese Einstellungen werden beim nächsten Start wieder geladen.

Die Konfigurations-Datei von SPA wird jedes Mal beim Schließen des Programms im Verzeichnis APPDATA gespeichert. Dieses Verzeichnis ist in der Regel über folgenden Link abrufbar:

C:\Benutzer\Benutzername\AppData\Local\BAuA\SPA

Das Dateiformat der Konfigurationsdatei in SPA kann mit einem gewöhnlichen Texteditor (z. B. Windows Text Editor oder Notepad++) gelesen / geschrieben werden.

3 Benutzeroberfläche

3.1 Hauptfenster

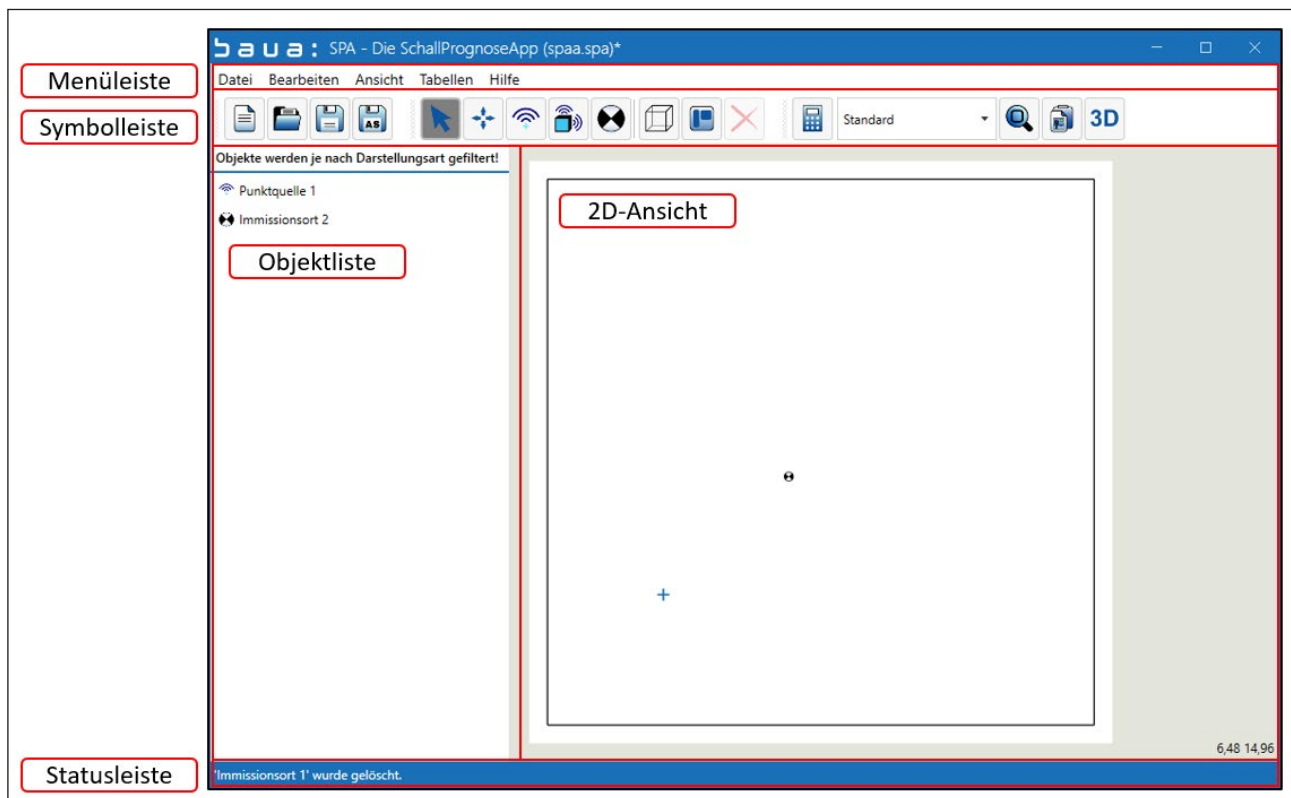


Abb. 1 2D-Hauptfenster

Das SPA-Hauptfenster ist in folgende Bereiche gegliedert:

- Menüleiste: siehe Kapitel 3.1.1
- Symbolleiste: siehe Kapitel 3.1.2
- 2D-Ansicht des Modells: Dient zur Ansicht und grafischen Eingabe von Schallquellen und Immissionsorten. Das Modell kann zusätzlich in 3D angezeigt werden, siehe Kapitel 3.1.3.
- Objektliste: listet alle Objekte (Quellen, Immissionsorte) inkl. deren Parameter auf. Die Darstellung ist abhängig vom Ansichtsmodus (siehe Kapitel 3.1.3)
- Statusleiste: zeigt Statusmeldungen an, z. B. nach dem Öffnen oder Speichern des Projekts.

3.1.1 Menüleiste

Die Menüleiste von SPA ist in folgende Einträge/Untermenüs gegliedert:

- **Datei**
 - Neu: Erstellt eine neue SPA Projektdatei.
 - Öffnen: Öffnet ein existierendes Projekt.
 - Speichern: Speichert das aktuell geöffnete Projekt.
 - Speichern unter: Speichert das aktuelle Projekt unter einem neuen Namen.
 - Zuletzt verwendete Dateien: Zeigt eine Liste der zuletzt verwendeten Dateien. Beim ersten Start von SPA wird diese Liste mit einer Beispieldatei initialisiert, welche das resultierende Modell aus Kapitel 6 zeigt.
 - Beenden: Schließt die SchallPrognoseApp SPA.
- **Bearbeiten**
 - Umbenennen: Kann verwendet werden, um einfach (ohne Öffnen des Editierdialogs) den Namen eines Objekts zu ändern
 - Löschen: Löscht das aktuell ausgewählte Objekt (nach Sicherheitsabfrage)
 - Rückgängig & Wiederherstellen
 - Immissionsort Raster erstellen & löschen: Erstellt ein Raster aus Immissionsorten in gleichem Abstand bzw. löscht dieses (sofern vorhanden), siehe Kapitel 6.2
- **Ansicht**
 - Darstellung: Auswahl der verschiedenen Ansichtsmodi Standard / Quellen / Ergebnisse, siehe Kapitel 3.1.3
 - Ansicht in Zwischenablage kopieren: Erstellt einen Screenshot der aktuellen 2D-Anzeige (Raumfläche + grauer Hintergrund). Der Screenshot kann anschließend z. B. mit STRG+V in eine Microsoft Word-Datei eingefügt werden.
- **Tabellen**
 - Raumbegrenzungsflächen editieren: siehe Kapitel 6.4
 - Objekttabellen: siehe Kapitel 3.1.4
- **Hilfe**
 - Hilfe: Öffnet dieses Dokument
 - Kontakt: Senden einer Anfrage für Fragen zur SchallPrognoseApp SPA
 - Über die BAuA: Öffnet die Startseite der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin www.baua.de
 - Über SPA: Öffnet einen Dialog mit Informationen zur aktuell verwendeten Version von SPA inklusive der zugehörigen Versionsnummer

Sofern Tastaturbefehle verfügbar sind, werden diese direkt in SPA neben dem jeweiligen Menüeintrag angezeigt.

3.1.2 Symbolleiste

Tab. 1 Symbolleiste

| Symbol | Beschreibung | Tastaturbefehl |
|---|--|------------------------------------|
|  | Erstellt ein neues Projekt | STRG + N |
|  | Öffnet ein existierendes Projekt | STRG + O |
|  | Speichert das aktuelle Projekt ab | STRG + S |
|  | Speichert das aktuelle Projekt unter einem neuen Namen ab | STRG + Umsch + S |
|  | Aktiviert den Editiermodus zum Auswählen und Verschieben von Objekten. Ein Doppelklick auf ein Objekt öffnet den Objektdialog. | STRG + E |
|  | Ermöglicht das Bewegen des aktuellen Ausschnitts in der 2D-Ansicht. | mittlere Maustaste gedrückt halten |
|  | Erstellt eine neue Punktquelle durch Klicken in der 2D-Ansicht | P |
|  | Erstellt eine neue Maschinenquelle durch Klicken oder Ziehen in der 2D-Ansicht | Q |
|  | Erstellt einen neuen Immissionsort durch Klicken in der 2D-Ansicht | I |
|  | Ermöglicht das Editieren der Raumdaten, siehe Kapitel 3.3 | R |
|  | Ermöglicht das Editieren der Raumbegrenzungsflächen sowie das Anlegen von Teilflächen mit lokal abweichender Absorption. | E |
|  | Löscht das aktuell ausgewählte Objekt (nach Sicherheitsabfrage) | Entf |
|  | Startet die Berechnung | STRG + R |
|  | Auswahl der verschiedenen Ansichtsmodi Standard/Quellen/Ergebnisse, siehe auch Kapitel 3.1.3 | STRG + 1/2/3 |
|  | Ganzen Raum darstellen | / |
|  | Aktuelle 2D-Ansicht in Zwischenablage kopieren | STRG + C |
| 3D | Öffnet die 3D-Ansicht | ALT + 3 |

3.1.3 Ansichtsmodi

Es stehen die 3 Ansichtsmodi Standard, Quellen und Ergebnisse zur Verfügung, welche über folgende Möglichkeiten ausgewählt werden können:

- Auswahl im Menüeintrag Ansicht | Darstellung
- Auswahl über das Drop-Down-Menü in der Symbolleiste (siehe Kapitel 3.1.2)
- Mittels Tastaturbefehle STRG + 1/2/3, wobei gilt: 1=Standard, 2=Quellen, 3=Ergebnisse

Tab. 2 Objektdarstellung für die Modi Standard, Quellen und Ergebnisse

| M. | Punktquelle | Maschinenquelle | Immissionsort | Beschreibung |
|------------|-------------|-----------------|---------------|--|
| Standard | | | | Objektliste zeigt alle Objekte 2D-Ansicht zeigt alle Objekte (ohne Hervorhebung/Einfärbung) |
| Quellen | | | | Objektliste zeigt nur Quellen inkl. Emissionspegel 2D-Ansicht hebt Quellen hervor + Be- schriftung mit Emissionspegel Immissionsorte grau dargestellt |
| Ergebnisse | | | | Objektliste zeigt nur Immissionsorte inkl. Immissionspegel Immissionsorte in 2D hervor- gehoben + Beschriftung + Farbe: < 80 dB(A): grün ≥ 80 dB(A) und < 85 dB(A): gelb ≥ 85 dB(A): rot Quellen grau dargestellt |

3.1.4 Objekttabellen

Für jede über die 2D-Ansicht eingebare Objektart (Punktquelle, Maschinenquelle, Immissionsort) sowie die über den Teilflächen-Editor eingebaren Raumbegrenzungsflächen steht eine Objekttable zur Verfügung. Die Objekttabellen dienen einerseits der strukturierten Darstellung, andererseits dem effizienten Editieren von Objekten. Hierbei ist zu beachten, dass ausschließlich weiß hinterlegte Zellen editiert werden können (grau hinterlegte Felder können nicht editiert werden und dienen ausschließlich der Anzeige):

| Name | X [m] | Y [m] | Z [m] | Länge [m] | Breite [m] | Höhe [m] | Betriebsdauer [%] | LwA [dB] | LpA [dB] |
|-------------------|-------|-------|-------|-----------|------------|----------|-------------------|----------|----------|
| Maschinenquelle 1 | 4 | 3 | 2 | 5 | 3 | 4 | 100,0 | 85,0 | |
| Maschinenquelle 2 | 15 | 9 | 1,5 | 5 | 5 | 3 | 100,0 | 88,0 | 75,0 |
| Maschinenquelle 3 | 15 | 3 | 1,5 | 5 | 5 | 3 | 100,0 | 85,0 | 70,0 |
| Maschinenquelle 4 | 15 | 15 | 1,5 | 5 | 5 | 3 | 100,0 | 90,0 | 85,0 |

Abb. 2 Objekttable Maschinenquellen (Spalte Z nicht editierbar)

Folgende Funktionen stehen je Objekttable zur Verfügung:

- Sortieren der Objekttable mit Klick auf den Spaltenkopf (z. B. auf „Name“). Die Sortierichtung wird anschließend mit einem Pfeil angezeigt, siehe Abbildung 2.
- Selektieren einer oder mehrerer Zellen (Multi-Select mit gedrückter STRG-Taste) und
 - Kopieren mit STRG + C. Die so in der Zwischenablage gespeicherten Daten können anschließend z. B. in Microsoft Excel eingefügt werden.
 - Umbenennen von Objektamen mit F2. Hierbei kann der Platzhalter # bzw. ## verwendet werden, um eine fortlaufende Nummerierung beginnend mit 1 zu erstellen (Beispiel: „Immissionsort ##“)
 - Editieren von numerischen Eingaben: Mithilfe des Multi-Selects können mit gedrückter STRG-Taste alle zu ändernden Objekte selektiert und z. B. die Schalleistung gleichzeitig geändert werden. Hierzu kann nach erfolgter Selektion einfach der Wert eingegeben und mit Enter bestätigt werden.

3.2 3D-Ansicht

Die 3D-Darstellung kann über die Schaltfläche **3D** in der Symbolleiste geöffnet werden und dient zur dreidimensionalen Darstellung des Berechnungsmodells. Nachfolgendes Beispiel vermittelt einen Eindruck über die dargestellten Objekte:

- Punktquellen werden als blaue Kreuze (ohne weißen Quader),
- Maschinenquellen als blaue Kreuze (mit weißem Quader),
- Immissionsorte als schwarz-weiße Kugeln und
- Lokale Absorptionsflächen als Rechtecke dargestellt, wobei die Linie je nach zugewiesener Absorptionseigenschaft eingefärbt wird (hier: Absorber = braun).

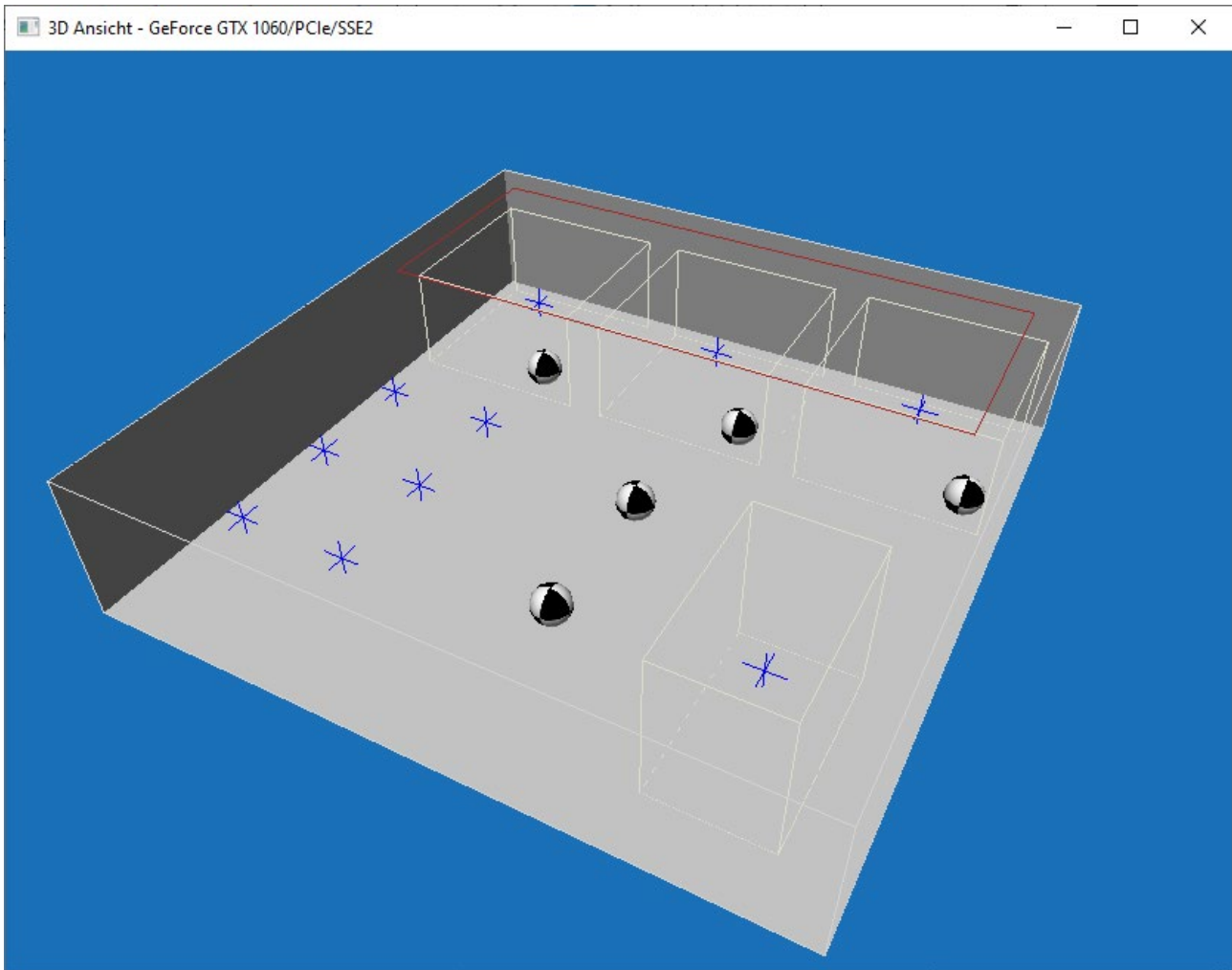


Abb. 3 Beispiel für eine 3D-Darstellung

Die 3D-Darstellung kann mittels STRG + C in die Zwischenablage kopiert werden.

Hinweis: Falls beim Start der 3D-Ansicht ein (OpenGL-)Fehler angezeigt wird, empfehlen wir, zunächst den Treiber der Grafikkarte zu aktualisieren. Prüfen Sie hierzu auch die Systemanforderungen in Kapitel 1.2.


3.3 Sprache

Die Software sowie die Dokumentation sind ausschließlich in deutscher Sprache verfügbar.

4 Modellerstellung

4.1 Raumdaten

Abb. 4 Dialog Raum editieren

Eingabedaten des Raums können mit Klick auf das Symbol  in der Symbolleiste definiert werden. Dies betrifft insbesondere:

- **Raumabmessungen** als Länge, Breite und Höhe (Volumen und gesamte Oberfläche werden aus den Raumabmessungen berechnet)
- **Streukörperdichte q** , welche in der Berechnung verwendet wird, um Reflexionen an Einrichtungen zu berücksichtigen. Hierbei kann zwischen wenigen und vielen Einbauten gewählt werden. Beispiele für eine Einstufung werden im Anhang dargestellt.

Tab. 3 Streukörperdichte

| lfd. Nr. | Auswahl | q |
|----------|------------------|------|
| 1 *) | Wenige Einbauten | 0.02 |
| 2 | Viele Einbauten | 0.05 |

- Der Streukörper Absorptionsgrad beschreibt den mittleren Absorptionsgrad der Einbauten. Im Regelfall sind die Einbauten in Arbeitsräumen wenig absorbierend - entsprechend sind auch die zur Auswahl stehenden Streukörperabsorptionsspektren für Metall und Holz eher schallhart:




Tab. 4 Frequenzabhängige Absorptionsgrade für Streukörper

| lfd. Nr. | Auswahl | Frequenz [Hz] | | | | | |
|----------|-------------------------|---------------|------|------|------|------|------|
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| 1 *) | Metall (Maschine) | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.06 |
| 2 | Holz (andere Einbauten) | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.12 |

Hinweis: Nr. 1 und 2 der Tabelle 4 beziehen sich auf Tabelle 5 der VDI 3760, lfd. Nr. 4 und 5.

4.2 Objekte

Für die Modellerstellung in SPA stehen folgende Objekttypen zur Verfügung, welche mit Klick auf das jeweilige Symbol in der Symbolleiste ausgewählt und anschließend zur 2D-Ansicht hinzugefügt werden können:

- Punktquelle 
- Maschinenquelle 
- Immissionsort 

Die Objekte werden in der 2D- und 3D-Darstellung angezeigt (siehe Kapitel 3.1/3.2) und zusätzlich in Objekt-tabellen gelistet (siehe Kapitel 3.1.4). In den nachstehenden Unterkapiteln werden die Verwendung sowie die verfügbaren Eingabeparameter erläutert.

4.2.1 Punktquelle

Die Punktquelle beschreibt eine punktförmig abstrahlende Schallquelle, welche in SPA z. B. zur Modellierung der Emission eines Personen-Arbeitsplatzes oder auch einer Maschine verwendet werden kann.



Abb. 5 Dialog Punktquelle

Es stehen folgende Eingabeparameter zur Verfügung:

- Name: Beschreibung des Objekts, welche z. B. in der Objektliste verwendet wird.
- Position xyz [m]: Position des Punkt-Objekts
- L_{WA} [dB]: A-bewerteter Schalleistungspegel der Quelle in Dezibel. Für die Berechnung wird stets ein rosa Rauschen verwendet. Tabelle 5 zeigt beispielhaft das verwendete Spektrum für eine Eingabe von $L_{WA} = 102.0$ dB(A):

Tab. 5 Rosa Rauschen für eine Eingabe $L_{WA} = 102$ dB

| | Frequenz [Hz] | | | | | | Summe |
|--|---------------|------|------|------|------|------|-------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | |
| L_{WA} [dB], Oktaven A-bewertet, A-Summenpegel | 79.6 | 87.1 | 92.5 | 95.7 | 96.9 | 96.7 | 102.0 |

- Betriebsdauer [h|m|%]: Betriebsdauer der Quelle in Stunden, Minuten oder als prozentualer Anteil eines 8-stündigen Bezugszeitraums. Hierbei ist nur eine der drei Eingaben erforderlich (die jeweils anderen zwei Felder werden nach beendeter Eingabe automatisch aktualisiert).
- L_{pA} [dB]: An einem Arbeitsplatz der Maschine (Schallquelle) vorliegende Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} , siehe auch Kapitel 1.1 und 5.2.

4.2.2 Maschinenquelle

Die Maschinenquelle beschreibt - ebenso wie die Punktquelle - eine punktförmig abstrahlende Schallquelle, welche in SPA zur Modellierung einer Maschine verwendet werden kann. Zur Darstellung der Maschinengröße kann vereinfacht die Ausdehnung als Quader angegeben werden, welche dann sowohl in der 2D- als auch in der 3D-Ansicht sichtbar ist.

| | | | |
|-----------------------|-------------------|------|------|
| Name | Maschinenquelle 1 | | |
| Quellposition xyz [m] | 4 | 3 | 2 |
| Ausdehnung LBH [m] | 5 | 3 | 4 |
| LwA [dB] | 100,0 | | |
| Betriebsdauer [h m %] | 8h | 480m | 100% |
| LpA [dB] | | | |

Abb. 6 Dialog Maschinenquelle

Es stehen folgende Eingabeparameter zur Verfügung:

- Name: siehe Punktquelle, Kapitel 4.2.1
- Quellposition xyz [m]: Eingabe der Position der zu modellierenden Maschine (xy-Mittelpunkt). Die z-Höhe wird automatisch aus der halben Höhe der Ausdehnung bestimmt.
- Ausdehnung LBH [m]: Eingabe der Ausdehnung der Maschinenquelle als Länge / Breite / Höhe in Metern, wobei die in der Berechnung berücksichtigte Punktquelle in der Mitte des Quaders positioniert wird.
- Weitere Eingaben: siehe Punktquelle, Kapitel 4.2.1

Hinweis: Die Berechnung einer Maschinenquelle ist analog zur Berechnung einer Punktquelle. Insbesondere werden keine Effekte wie z. B. Abschirmung oder Reflexion durch die Maschine selbst berücksichtigt.

4.2.3 Immissionsort


| | | | |
|------------------|--------------------|----|-----|
| Name | Immissionsort 1 | | |
| Position xyz [m] | 10 | 10 | 1,5 |
| LpAeq [dB] | 76,0 | | |
| Arbeitsplatz | ✗ nicht zugewiesen | | |

Abb. 7 Dialog Immissionsort

Es stehen folgende Eingabeparameter zur Verfügung:

- Name und Position: siehe Punktquelle, Kapitel 4.2.1
- L_{pAeq} [dB]: Äquivalenter Dauerschallpegel L_{pAeq} nach einer Berechnung
- Arbeitsplatz: Auswahl einer Punkt-/Maschinenquelle zur Definition des Emissions-Schalldruckpegels am Arbeitsplatz L_{pA} . Die Verbindung zwischen Quelle und Immissionsort wird in der 2D-Ansicht als Strichpunktlinie dargestellt, siehe Beispiel, Kapitel 6.2.

4.3 Raumbegrenzungsflächen editieren

Die Oberflächenbeschaffenheit der Raumbegrenzungsflächen (z. B. absorbierend / reflektierend) wird in der Berechnung berücksichtigt und kann über einen Klick auf  in der Symbolleiste editiert werden. Hierzu öffnet sich der in Abbildung 8 dargestellte Dialog.

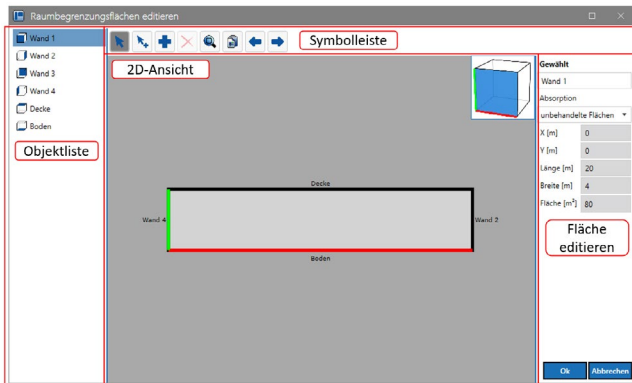











Abb. 8 Dialog Raumbegrenzungsflächen editieren

Der Dialog zum Editieren der Raumbegrenzungsflächen ist in folgende Bereiche gegliedert:

- Symbolleiste: enthält Funktionen zum Editieren/Navigieren:

Tab. 6 Symbolleiste im Dialog Raumbegrenzungsflächen editieren

| Symbol | Beschreibung | Tastaturbefehl |
|---|--|----------------|
|  | Editiermodus zum Auswählen und Verschieben von (lokalen) Raumbegrenzungsflächen. | STRG + E |
|  | Neue Teilfläche durch Ziehen mit der Maus einfügen | STRG + D |
|  | Neue Teilfläche in Standardgröße einfügen | STRG + N |
|  | Löschen der ausgewählten Teilfläche | Entf. |
|  | Ansicht zentrieren | / |
|  | Ansicht in Zwischenablage kopieren | / |
|  | Zur vorherigen Raumbegrenzungsfläche wechseln | / |
|  | Zur nächsten Raumbegrenzungsfläche wechseln | / |

- Objektliste: zeigt standardmäßig die sechs Raumbegrenzungsflächen (Decke, Boden, 4 Wände) sowie ggf. zusätzlich eingefügte Teilflächen. Nach Klick auf eine der Flächen können die Eigenschaften editiert werden, siehe nachstehenden Punkt „Fläche editieren“.
- 2D-Ansicht: Die 2D-Darstellung zeigt die in der Objektliste ausgewählte Raumbegrenzungsfläche sowie ggf. zusätzlich eingefügte Teilflächen. Das Schaubild oben rechts verdeutlicht hierbei die Orientierung der dargestellten Fläche, wobei die Ansicht von Decke und Boden analog zur 2D-Ansicht sind (vgl. Koordinatenursprung).
- Durch Auswählen von  in der Symbolleiste kann in der 2D-Ansicht eine Teilfläche zur Raumbegrenzungsfläche hinzugefügt werden, welche anschließend in der Objektliste aufgeführt wird. Die erstellten Teilflächen werden zudem in der 3D-Ansicht farblich dargestellt, siehe auch Abbildung 3.
- + CFläche editieren: In diesem Bereich kann der Name, die Absorptionseigenschaft und für den Fall lokaler Teilflächen auch die Position geändert werden. Bzgl. der Absorptionseigenschaften stehen folgende Auswahlmöglichkeiten mit den zugehörigen Spektren zur Verfügung:

Tab. 7 Absorptionsgrade für Raumbegrenzungsflächen / Teilflächen

| lfd. Nr. | Auswahl | Frequenz [Hz] | | | | | |
|----------|----------------------------|---------------|------|------|------|------|------|
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| 1 | Glattputz | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.06 |
| 2 | Unbehandelte Flächen | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.10 |
| 3 | Holzwohle-Leichtbauplatten | 0.08 | 0.17 | 0.70 | 0.71 | 0.64 | 0.64 |
| 4 | Absorber | 0.30 | 0.55 | 0.69 | 0.83 | 0.87 | 0.88 |
| 5 | Akustikputz | 0.10 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 0.80 | 0.80 |

5 Berechnungsverfahren

5.1 Schallausbreitung nach VDI 3760

Das in SPA implementierte Berechnungsverfahren folgt dem Spiegelquellenverfahren nach VDI 3760 (2), Anhang A, jedoch mit folgenden Änderungen / Erweiterungen:

- Für das Abbruchkriterium wird ein Wert von 0,05 dB (statt 0,5 dB) verwendet.
- Das Modell wurde erweitert um die Eingabe lokaler Absorptionsflächen.

Abbruchkriterium:

Da die Rechenzeiten unter der Annahme des Quadertraumes und ohne innenliegende Reflexionsflächen/Hindernisobjekte mit heutigen Rechnern weniger ins Gewicht fallen, wird ein Abbruchkriterium von 0,05 dB (statt wie in der VDI 3760 angegeben 0,5 dB) verwendet. Zudem wird sichergestellt, dass pro Immissionsort in allen Frequenzbändern bis zur selben Reflexionsordnung gerechnet wird. Das Abbruchkriterium definiert also die maximale Spiegelquellenordnung für das „ungünstigste Band“, welche dann für alle Frequenzbänder angewendet wird.

Beispiel: Falls zur Einhaltung des Abbruchkriteriums von 0,05 dB für das 125 Hz-Band bis zur 4. und für das 4000 Hz-Band bis zur 10. Spiegelquellenordnung zu rechnen wäre, wird für beide Bänder bis zur 10. Ordnung gerechnet.

Dies hat zur Konsequenz, dass die mit SPA berechneten Immissionspegel leicht von den Angaben des Berechnungsbeispiels aus Anhang B der VDI 3760 abweichen.

Einbeziehung von Teilflächen abweichender Absorption

Durch die Definition von Teilflächen abweichender Absorption geht die Berechnung der SchallPrognoseApp SPA über das in der VDI 3760 beschriebene Berechnungsverfahren hinaus. In Anlehnung an (3) wird die Behandlung der Teilflächen bei der Berechnung nachfolgend skizziert:

Vorab: Die Bezeichnung „Direktschall“ ist in der VDI 3760 etwas unglücklich gewählt, da man unter Direktschall typischerweise nur den unreflektierten Schall versteht, in der VDI kann aber der Direktschall auch von einer Spiegelquelle stammen, kann also durchaus reflektiert sein (A.12). Konsequenter wäre also eine Unterscheidung von Nicht-Streuschall (=„Direktschall“) und Streuschall.

Implementiert ist aktuell folgende Behandlung der Teilflächen:

- Der Nicht-Streuschall (=„Direktschall“) wird unter Berücksichtigung der lokalen Absorption am Reflexionspunkt berechnet. Halbseitige Akustikdecken oder lokale Wandabsorptionen wirken sich hier also direkt aus: Bei einer Reflexion an einer Teilfläche wird deren Absorptionsgrad verwendet.
- Die Berechnung des Streuschalls erfolgt stets unter Verwendung von über die jeweilige Raumbegrenzungsfläche gemittelten Absorptionen. Die Teilflächen wirken sich also indirekt aus, in dem sie die gemittelte Absorption beeinflussen, der genaue Reflexionspunkt auf der jeweiligen Teilfläche ist jedoch nicht relevant.

5.2 Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz

Der Emissions-Schalldruckpegel L_{pA} ist eine Pflichtangabe des Maschinenherstellers nach EG-Maschinenrichtlinie bzw. 9. ProdSV. In SPA kann er - zusätzlich zum Schallleistungspegel L_{WA} - angegeben werden. Es ist der Pegel an einem zugeordneten Arbeitsplatz, der sich theoretisch bei Betrieb der Maschine im Freien auf reflektierendem Boden ergeben würde. Bei der Bestimmung des Emissions-Schalldruckpegels (z. B. durch eine Messung) werden lokale Effekte der Schallabstrahlung berücksichtigt, wie sie z. B. in folgenden Situationen vorkommen können:

- Lokale Abschirmung für einen Arbeitsplatz
- Einfluss der Richtwirkung auf den Immissionspegel am Arbeitsplatz
- Ausgedehnte Schallquellen

Obwohl der Emissions-Schalldruckpegel an einem Arbeitsplatz / Immissionsort bestimmt wird, ist er eine Emissionsgröße der Maschine in Bezug auf einen bestimmten (ortsfesten) Arbeitsplatz. Je stärker die Schallabstrahlung einer Maschine durch o.g. Faktoren von einer ungerichteten Ausbreitung abweicht, desto relevanter wird die Angabe des L_{pA} (für diesen Arbeitsplatz). Der L_{pA} hat keinen Einfluss auf Immissionsorte, die nicht als Arbeitsplatz der Maschine zugeordnet sind.

Wird in SPA der Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz angegeben, wird dieser für den Direktschallanteil inklusive Bodenreflexion verwendet und um die Raumerückwirkung sowie den Beitrag weiterer im Raum sich befindender Quellen korrigiert. SPA berücksichtigt den Emissions-Schalldruckpegel nach folgendem Ablauf:

1. Zuordnung eines Immissionsorts an einem Maschinen-Arbeitsplatz zu „seiner“ Maschine. In SPA erfolgt die Auswahl im Dialog des Immissionsorts durch Auswahl einer Punkt- oder Maschinenquelle.
2. Angabe des L_{WA} und L_{pA} im Dialog der Punkt- oder Maschinenquelle
3. Simulationsberechnung dieses auf Freifeld bezogenen Arbeitsplatzpegels mit dem Maschinenmodell und dessen $L_{WA} \rightarrow L_{pA,sim}$
4. Simulationsberechnung des Gesamtpegels für alle Immissionsorte mit allen Maschinen und deren L_{WA} mit allen Raumeinflüssen $\rightarrow L_{AP,sim}$
5. Ermittlung des Beurteilungspegels LAP für jeden Maschinen-Arbeitsplatz mit der Gleichung

$$L_{AP} = 10 * \log(10^{0.1 * L_{AP,sim}} - 10^{0.1 * L_{pA,sim}} + 10^{0.1 * L_{pA}})$$

Mit dieser Vorgehensweise wird der angegebene Emissionsschalldruckpegel am Arbeitsplatz L_{pA} , welcher z. B. lokale Effekte der Schallabstrahlung wie Richtwirkung und Abschirmung enthält, um die Raumerückwirkung sowie den Beitrag weiterer im Raum beinhalten Quellen korrigiert.

Hinweis: Die Berücksichtigung des Emissions-Schalldruckpegels L_{pA} erfolgt ausschließlich für der Maschine zugeordnete Arbeitsplätze bzw. Immissionsorte. Befinden sich Immissionsorte in direkter Nähe, jedoch ohne Zuweisung als Arbeitsplatz der Maschine, kann es zu Pegelunterschieden kommen, da für diese Immissionsorte keine Korrektur (wie oben beschrieben) erfolgt.

5.3 Konsistenzprüfung

Vor jeder Berechnung wird das Modell auf Konsistenz überprüft. Für folgende Objektarten/Modellierungssituationen wird bei möglicherweise fehlerhafter Eingabe eine entsprechende Warnmeldung angezeigt:

- **Punkt- oder Maschinenquelle:**
 - Position außerhalb des Raums
 - Ungültige Eingabe der Schallleistung (kein numerischer Wert)
 - Betriebsdauer = 0 h/m/%
- **Immissionsort:**
 - Position außerhalb des Raums
 - Zugewiesener Arbeitsplatz ohne Definition des Emissions-Schalldruckpegels L_{pA} im Objekt der Punkt-/Maschinenquelle
- **Teilflächen abweichender Absorption**
 - Überlappen von Teilflächen unterschiedlicher Absorption
 - Position außerhalb der Raumbegrenzungsfläche

6 Beispiel

Dieses Kapitel beinhaltet ein einfaches Beispiel zur Modellerstellung (Kapitel 6.1), welches anschließend für einzelne Immissionsorte und im Raster berechnet wird (Kapitel 6.2). Für einen einzelnen Arbeitsplatz wird anschließend der sog. „Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz“ definiert (siehe auch Kapitel 6.3). Abschließend erfolgt die Definition einer Deckenkonstruktion mit abweichender Absorptionseigenschaft (Kapitel 6.4).

Abbildung 9 zeigt das in diesem Kapitel beschriebene Beispiel im fertigen Zustand:

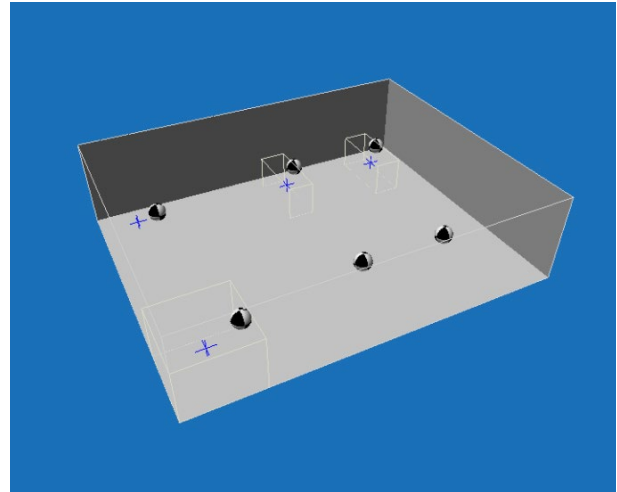
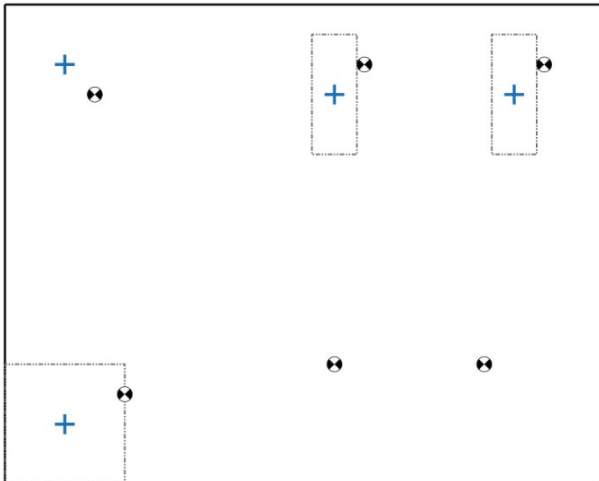


Abb. 9 Ergebnis aus Kapitel 6.1, „Fertigungshalle“


Das in diesem Kapitel erstellte Beispielmmodell (Ergebnis aus Kapitel 6.4) wird bei der Installation mitgeliefert und unter folgendem Link gespeichert:

C:\Programme\BAuA\SchallPrognoseApp

Zusätzlich wird beim ersten Start von SPA die Liste der zuletzt verwendeten Dateien (siehe Kapitel 3.1.1) mit dieser Datei initialisiert. Ein Klick auf den Eintrag öffnet das entsprechende Berechnungsmodell.



Hinweis: Falls auf dem verwendeten PC für das o.g. Verzeichnis nur Lese-, aber keine Schreibrechte vorliegen, kann die Datei geöffnet, aber nicht gespeichert werden. Wenn Sie die Datei ändern und erneut abspeichern möchten, empfehlen wir eine Kopie in einem Verzeichnis mit Lese- und Schreibrechten anzulegen.

6.1 Modellerstellung

1. Nach dem Start von SPA wird ein leerer Raum mit Dimensionen $L \times B \times H = 20 \text{ m} \times 20 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ angezeigt. Klicken Sie in der Symbolleiste auf das Symbol  und ändern Sie die Angaben zu:

| Raum editieren | |
|--|-------------------|
| Name | Fertigungshalle |
| Länge [m] | 20 |
| Breite [m] | 16 |
| Höhe [m] | 5 |
| Volumen [m ³] | 1600 |
| Ges. Oberfläche [m ²] | 520 |
| Streukörperdichte | Wenige Einbauten |
| Streukörper Absorptionsgrad | Metall (Maschine) |
| <input type="button" value="Ok"/> <input type="button" value="Abbrechen"/> | |

Abb. 10 Dialog Raum Editieren, Beispiel Fertigungshalle

- Klicken Sie nun in der Symbolleiste auf das Symbol der Punktquelle  und klicken Sie anschließend in den Raum (beliebige Position). Nachdem die Punktquelle erstellt wurde, wechselt SPA automatisch in den Editiermodus .
- Führen Sie einen Doppelklick auf die Punktquelle aus und ändern Sie die Daten wie folgt:

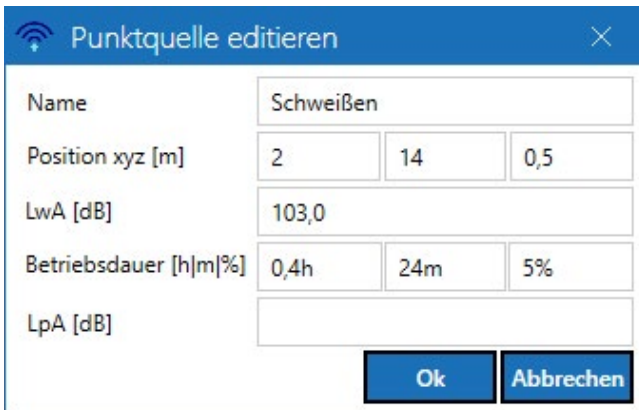




Abb. 11 Dialog Punktquelle, Beispiel Schweißen

- Klicken Sie nun in der Symbolleiste auf das Symbol der Maschinenquelle  und ziehen Sie anschließend im Raum ein Rechteck auf (Drücken und Ziehen der linken Maustaste). Nachdem die Maschinenquelle erstellt wurde, wechselt SPA wieder automatisch in den Editiermodus . Führen Sie einen Doppelklick auf die Maschinenquelle aus und ändern Sie die Daten wie folgt:

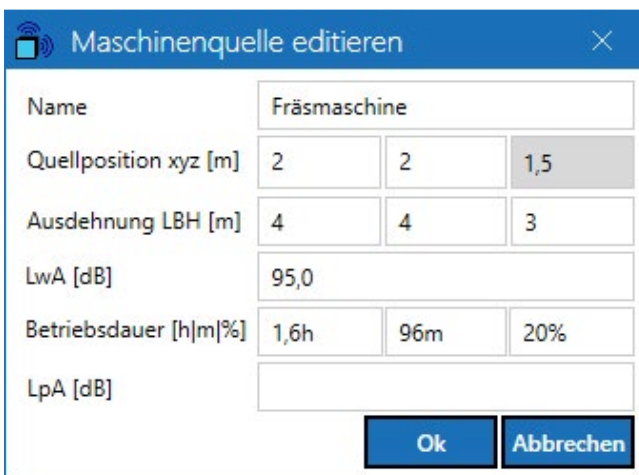


Abb. 12 Dialog Maschinenquelle, Beispiel Fräsmaschine

- Wiederholen Sie Schritt 3 und geben Sie zwei weitere Maschinenquellen ein:

Tab. 8 Maschinenquellen, Beispiel Drehmaschinen

| Name | Quellposition [m] | | Ausdehnung [m] | | | L_{WA} [dB] | Betriebsdauer [%] |
|----------------|-------------------|------|----------------|-----|-----|---------------|-------------------|
| | X | Y | L | B | H | | |
| Fräsmaschine | 2,0 | 2,0 | 4,0 | 4,0 | 3,0 | 95,0 | 20 |
| Drehmaschine 1 | 11,0 | 13,0 | 1,5 | 4,0 | 2,0 | 99,0 | 25 |
| Drehmaschine 2 | 17,0 | 13,0 | 1,5 | 4,0 | 2,0 | 99,0 | 25 |

6. Geben Sie sinngemäß zu Punkt 2 folgende Immissionsorte  ein:

Tab. 9 Immissionsorte, Positionen für Beispiel

| Name | Position [m] | | |
|----------------|--------------|------|-----|
| | X | Y | Z |
| Schweißen | 3,0 | 14,0 | 1,5 |
| Fräsmaschine | 4,0 | 3,0 | 1,5 |
| Drehmaschine 1 | 12,0 | 14,0 | 1,5 |
| Drehmaschine 2 | 18,0 | 14,0 | 1,5 |
| Montage 1 | 12,0 | 4,0 | 1,5 |
| Montage 2 | 16,0 | 4,0 | 1,5 |

7. Speichern Sie das Modell ab.
8. Optional: Testen Sie optional folgende Funktionen, welche bei der Modellerstellung hilfreich sein können:
 - Verschieben von Quellen und Immissionsorte mit der linken Maustaste
 - Rückgängig-Funktion (STRG + Z) bzw. Wiederherstellen-Funktion (STRG + Y)
 - Gleichzeitiges Ändern mehrerer Objekte. Führen Sie hierzu folgende Schritte aus:
 - Öffnen Sie das Menü Tabellen -> Maschinenquellen
 - Selektieren Sie alle 3 Zellen der Spalte „Höhe [m]“
 - Tippen Sie „5“ und bestätigen Sie mit Enter

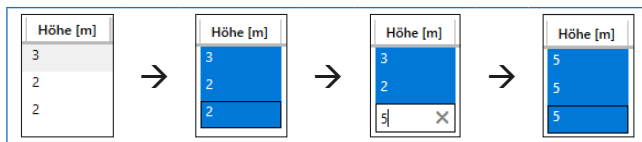



Abb. 13 Gleichzeitiges Ändern mehrerer Objekte über die Objekttafel

6.2 Berechnung durchführen

1. Öffnen Sie das Modell aus Kapitel 6.1, Punkt 7.
2. Mit Klick auf den Taschenrechner  in der Symbolleiste werden alle vorhandenen Immissionsorte berechnet. Die Berechnungsdauer hängt maßgeblich von der Anzahl der Quellen und der Immissionsorte sowie der Absorptionseigenschaften der Raumbegrenzungsflächen ab.
3. Nach durchgeführter Berechnung wechselt SPA automatisch in den Ansichtsmodus „Ergebnisse“, wobei sowohl in der Objektliste als auch in der 2D-Darstellung die Ergebnisse als Einzahlwert angezeigt werden. Zusätzlich werden die Immissionsorte je nach Pegel entsprechend eingefärbt, siehe Kapitel 3.1.3.
4. Wählen Sie nun den Menüeintrag „Bearbeiten → Immissionsort Raster erstellen“. In diesem Fall werden automatisch in einem äquidistanten Raster Immissionsorte erstellt. Klicken Sie erneut auf den Taschenrechner, um das Raster zu berechnen.
5. Die Immissionsorte des Rasters können über den Menüeintrag „Bearbeiten → Immissionsort Raster löschen“ wieder gelöscht werden.

6.3 Emissions-Schalldruckpegel am Arbeitsplatz

Für eine Definition des Emissions-Schalldruckpegels L_{pA} , siehe Kapitel 1.1. Die Vorgehensweise zur Berücksichtigung dieser Angabe ist in Kapitel 5.2 detailliert erläutert.




Nachfolgend wird beispielhaft die Berücksichtigung anhand des Arbeitsplatzes an der Maschine „Drehmaschine 1“ gezeigt.

1. Öffnen Sie die Maschinenquelle „Drehmaschine 1“ und definieren Sie einen Emissionsschalldruckpegel am Arbeitsplatz von $L_{pA} = 75$ dB.
2. Öffnen Sie den Immissionsort „Drehmaschine 1“ und weisen Sie diesen der Quelle als Arbeitsplatz zu (Auswahlmenü).
3. Zwischen den beiden Drehmaschinen ergibt sich eine Pegeldifferenz von ca. 1 dB, da für die „Drehmaschine 1“ der Direktschall (inkl. Bodenreflexion) direkt aus der Angabe in der Quelle verwendet wird ($L_{pA} = 75$ dB). Für die „Drehmaschine 2“ erfolgt eine Berechnung auf Basis der definierten Schallleistung von 99 dB(A).

6.4 Raumbegrenzungsflächen editieren

SPA ermöglicht eine über die VDI 3760 hinausgehende Berücksichtigung der Raumbegrenzungsflächen, indem sowohl der Absorptionsgrad einer gesamten Fläche (Decke, Boden, Wände) als auch einer einzelnen Teilfläche geändert werden kann.

In nachstehendem Beispiel wird zunächst der gesamten Decke das Absorptionsspektrum „Holzwolle-Leichtbauplatten“ und anschließend einer Teilfläche der Decke das Absorptionsspektrum „Absorber“ zugewiesen:

1. Öffnen Sie den Dialog „Raumbegrenzungsflächen editieren“ mit Klick auf .
2. Selektieren Sie die Fläche „Decke“ in der Auswahl links.
3. Ändern Sie nun im Menü rechts die Absorptionseigenschaft von „unbehandelte Fläche“ auf „Holzwolle-Leichtbauplatten“ und bestätigen Sie den Dialog.
4. Nach einer Neuberechnung  ergibt sich beispielhaft am Immissionsort „Montage 1“ ein Pegelminderung von 84,2 dB(A) auf 80,2 dB(A). Alle Immissionsorte weisen einen Pegel < 85 dB(A) auf (orangene Einfärbung).
5. Im Bereich der Quellen „Drehmaschine 1“ und „Drehmaschine 2“ soll die Decke zusätzlich mit einem Absorber berücksichtigt werden. Öffnen Sie hierzu erneut den Dialog „Raumbegrenzungsflächen editieren“ (alternativ E).
6. Selektieren Sie die Fläche „Decke“ in der Auswahl links.
7. Wählen Sie  in der Symbolleiste und ziehen Sie ein Rechteck im Bereich oben rechts auf. Für die Teilfläche sollen folgende Eigenschaften definiert werden:
 - Position X / Y: 8 / 9 m
 - Größe L x B: 12 x 7 m
 - Absorption: „Absorber“(Abbildung 14 zeigt die Eingabe der Teilfläche)
8. Eine erneute Berechnung zeigt eine weitere Pegelminderung mit zwei Immissionsorten < 80 dB(A) (grüne Einfärbung).

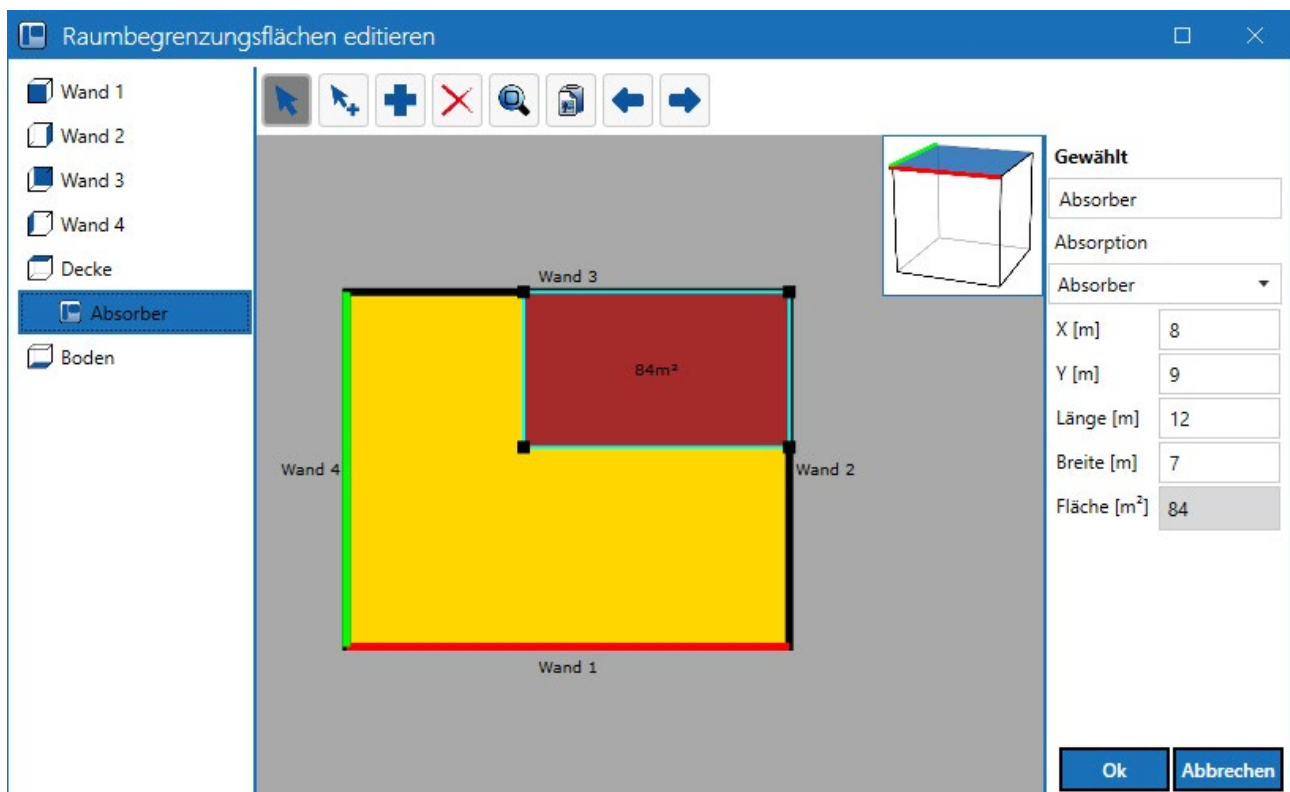


Abb. 14 Dialog Raumbegrenzungsflächen editieren, Beispiel

Literaturverzeichnis

1. **GMBI 2017, S. 592 [Nr. 34/35].** Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung. 08/2017.
2. **VDI - Verein deutscher Ingenieure.** VDI-Richtlinie 3760, Berechnung und Messung der Schallausbreitung in Arbeitsräumen. 1996-02.
3. **Probst, Wolfgang.** Schallausbreitung in Arbeitsräumen III. Dortmund/Berlin : Fb 841 aus der Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 1999.

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabelle 1 | Symbolleiste..... | 8 |
| Tabelle 2 | Objektdarstellung für die Modi Standard, Quellen und Ergebnisse | 9 |
| Tabelle 3 | Streukörperdichte..... | 11 |
| Tabelle 4 | Frequenzabhängige Absorptionsgrade für Streukörper | 11 |
| Tabelle 5 | Rosa Rauschen für eine Eingabe $L_{WA} = 102$ dB..... | 12 |
| Tabelle 6 | Symbolleiste im Dialog Raumbegrenzungsflächen editieren..... | 14 |
| Tabelle 7 | Absorptionsgrade für Raumbegrenzungsflächen / Teilflächen..... | 15 |
| Tabelle 8 | Maschinenquellen, Beispiel Drehmaschinen | 18 |
| Tabelle 9 | Immissionsorte, Positionen für Beispiel | 19 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|--------------|--|----|
| Abbildung 1 | 2D-Hauptfenster..... | 6 |
| Abbildung 2 | Objekttabelle Maschinenquellen (Spalte Z nicht editierbar)..... | 9 |
| Abbildung 3 | Beispiel für eine 3D-Darstellung | 10 |
| Abbildung 4 | Dialog Raum editieren | 11 |
| Abbildung 5 | Dialog Punktquelle | 12 |
| Abbildung 6 | Dialog Maschinenquelle | 13 |
| Abbildung 7 | Dialog Immissionsort..... | 13 |
| Abbildung 8 | Dialog Raumbegrenzungsflächen editieren | 14 |
| Abbildung 9 | Ergebnis aus Kapitel 6.1, „Fertigungshalle“ | 17 |
| Abbildung 10 | Dialog Raum Editieren, Beispiel Fertigungshalle..... | 17 |
| Abbildung 11 | Dialog Punktquelle, Beispiel Schweißen..... | 18 |
| Abbildung 12 | Dialog Maschinenquelle, Beispiel Fräsmaschine..... | 18 |
| Abbildung 13 | Gleichzeitiges Ändern mehrerer Objekte über die Objekttabelle | 19 |
| Abbildung 14 | Dialog Raumbegrenzungsflächen editieren, Beispiel | 20 |
| Abbildung 15 | Beispiel für eine Streukörperdichte $q = 0.02$, Seitenansicht | 22 |
| Abbildung 16 | Beispiel für eine Streukörperdichte $q = 0.02$, Draufsicht..... | 22 |
| Abbildung 17 | Beispiel für eine Streukörperdichte $q = 0.05$, Seitenansicht | 23 |
| Abbildung 18 | Beispiel für eine Streukörperdichte $q = 0.05$, Draufsicht..... | 23 |

Anhang

Anhang 1 Veranschaulichung der Streukörperdichten 0.02 und 0.05

Raumgröße für nachstehend dargestellte Beispielräume: 100 x 50 x 8 m

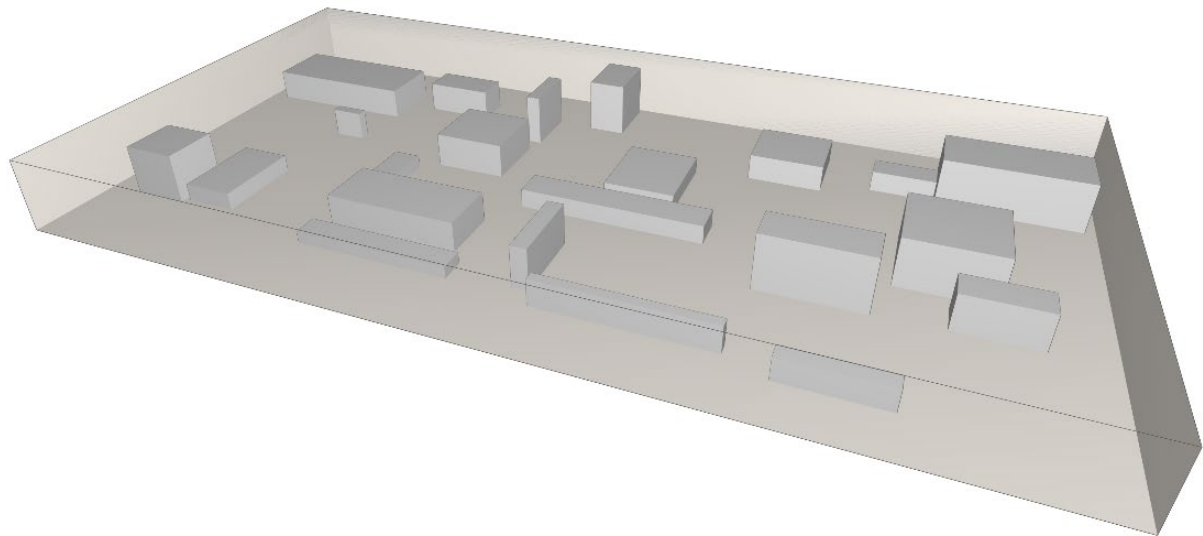


Abb. 15 Beispiel für eine Streukörperdichte $q = 0.02$, Seitenansicht

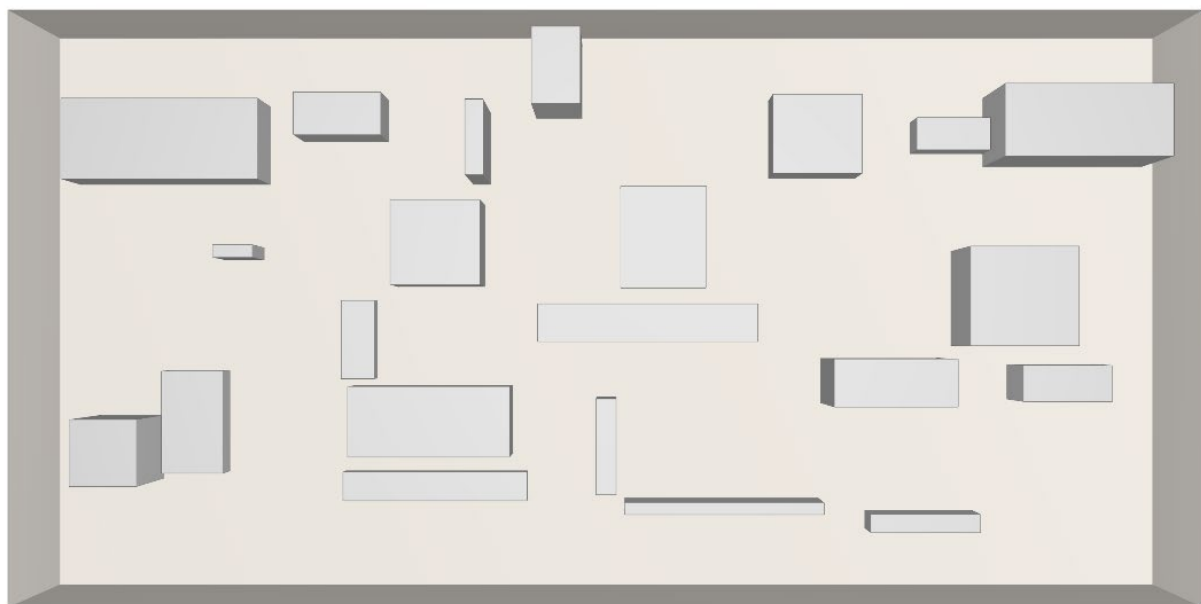


Abb. 16 Beispiel für eine Streukörperdichte $q = 0.02$, Draufsicht

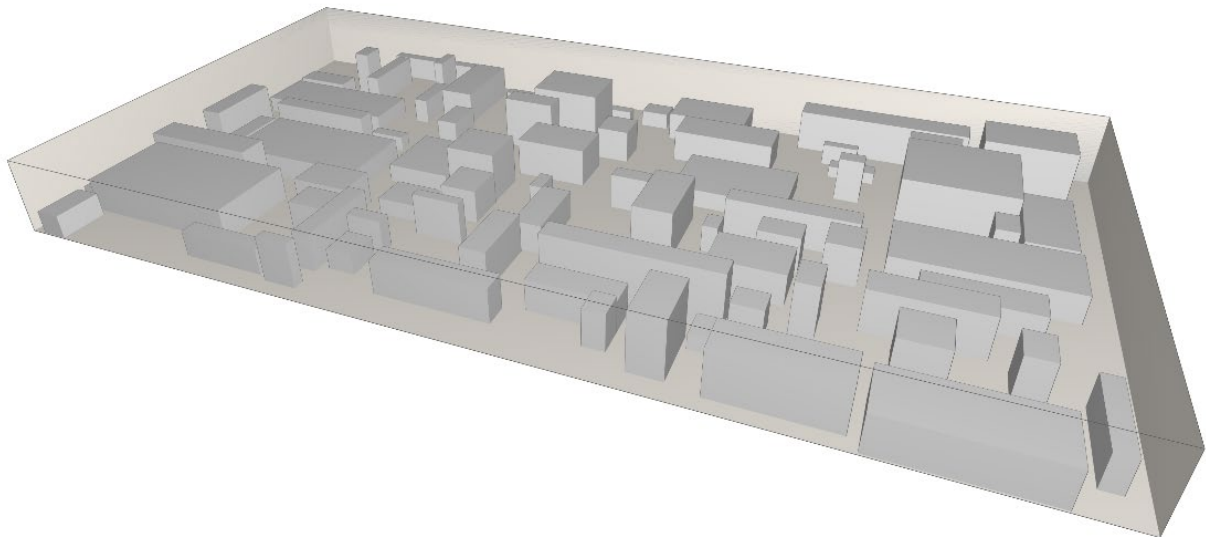


Abb. 17: Beispiel für eine Streukörperdichte $q = 0.05$, Seitenansicht

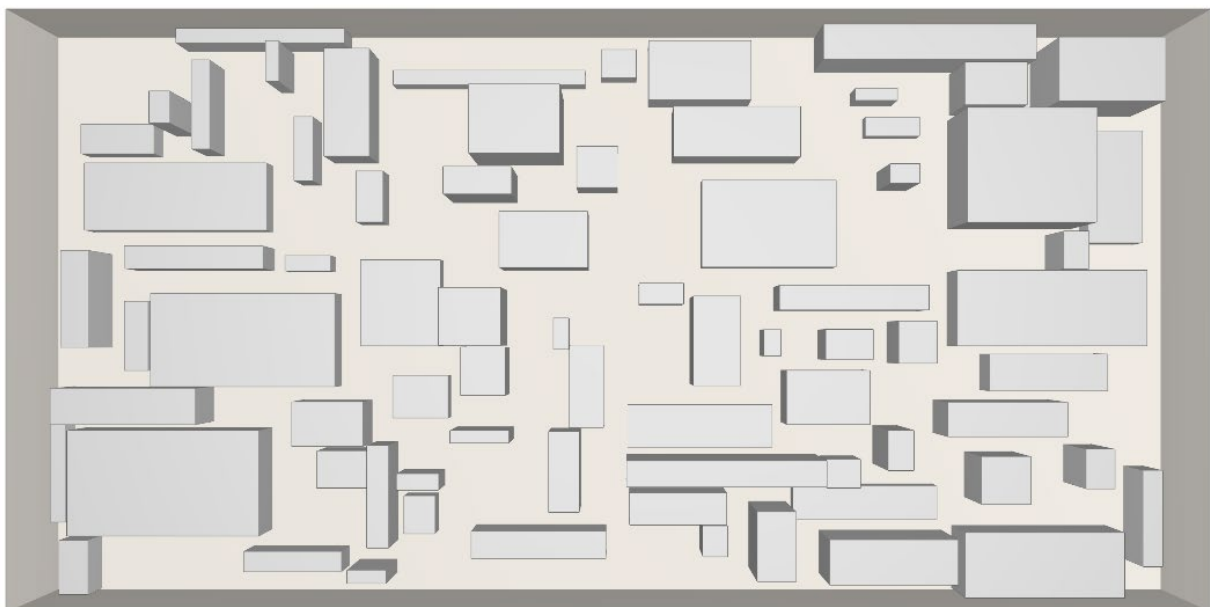


Abb. 18: Beispiel für eine Streukörperdichte $q = 0.05$, Draufsicht

Stand: November 2022