

Simulation and Visualization of Indoor-Acoustics for Robot Control

Peter Dannenmann

FB Intelligente Visualisierung und Simulation (IVS),

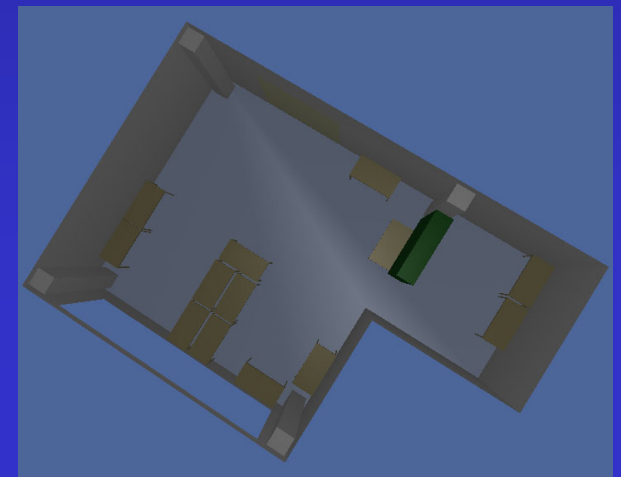
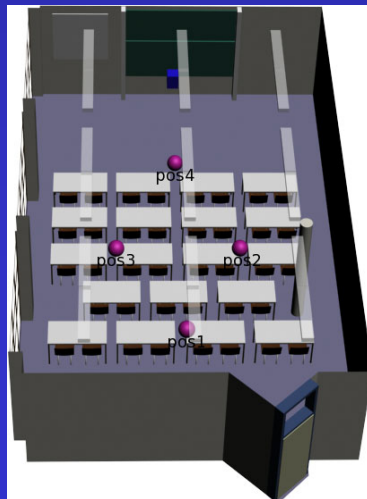
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)

Norbert Schmitz, Jens Wettach, AG Robotersysteme

Eduard Deines, Martin Hering-Bertram, AG Computergraphik

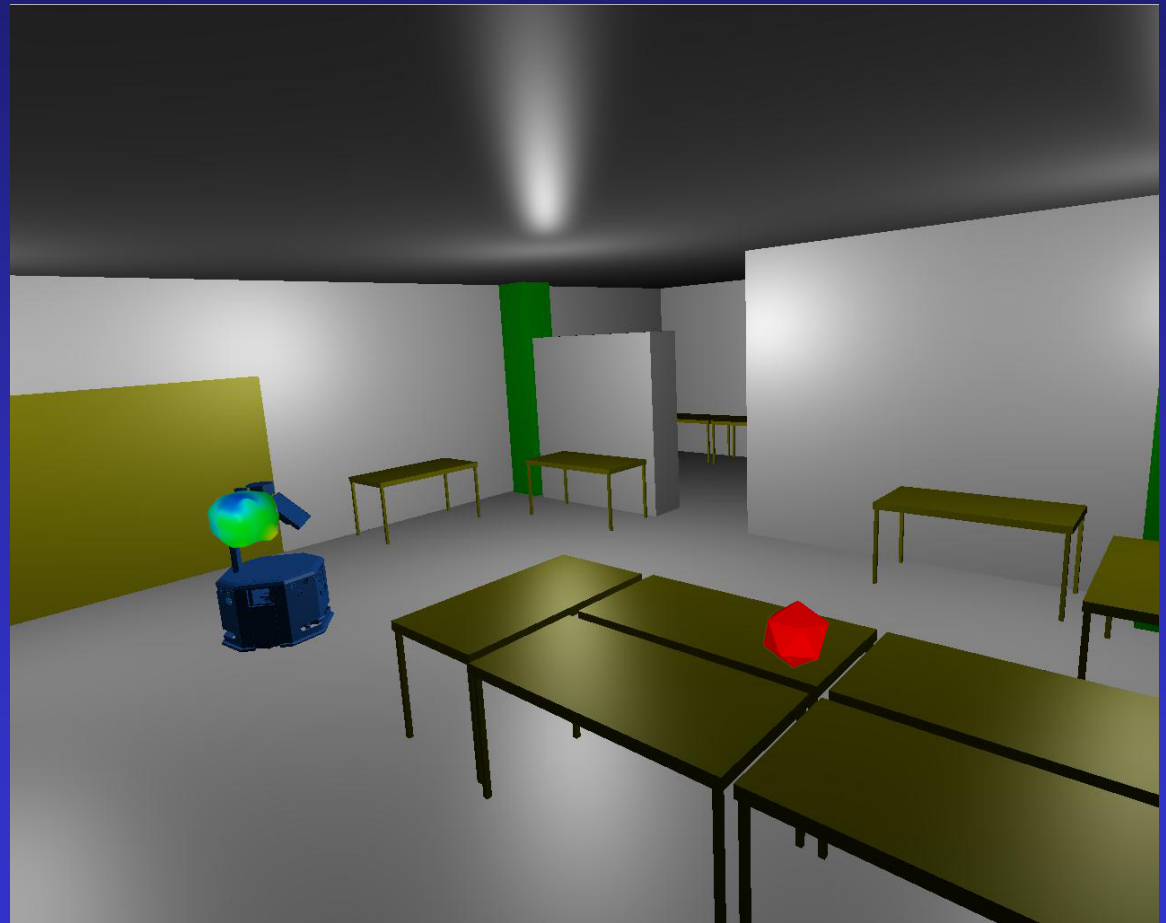
Int. Graduiertenkolleg „Visualisierung großer und unstrukturierter Datenmengen“

FB Informatik, TU Kaiserslautern



Projektziele

- Ein autonomer mobiler Roboter soll auf Geräusche angemessen reagieren können
- Steuerungsalgorithmen sollen durch Simulation getestet werden



Wissenschaftliche Ziele

- Referenz-Modelle für eine Reihe von Geräuschquellen und Szenen
- Physikalische Modelle der Sensorik
- Ontologie für Büro-Umgebungen und –Geräusche, Verknüpfung mit Modellen
- robotergestützte automatische Umweltbeschreibung unter Verwendung der Modelle
- Klassifikation aufgenommener Geräusche
- Vorberechnung erwarteter Geräusche an anderer Position

Wissenschaftliche Ziele (cont'd)

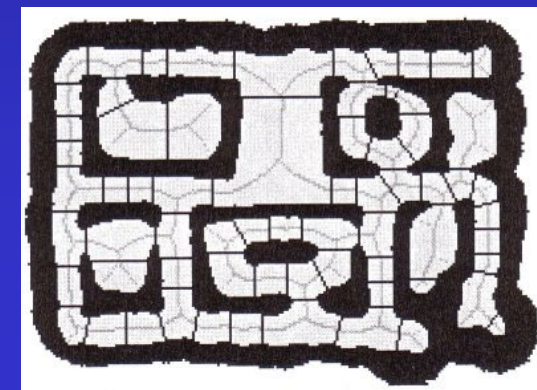
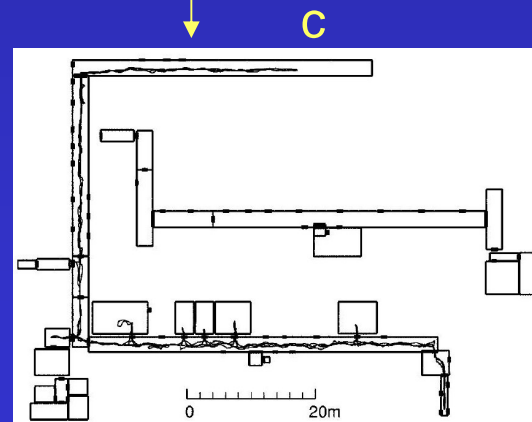
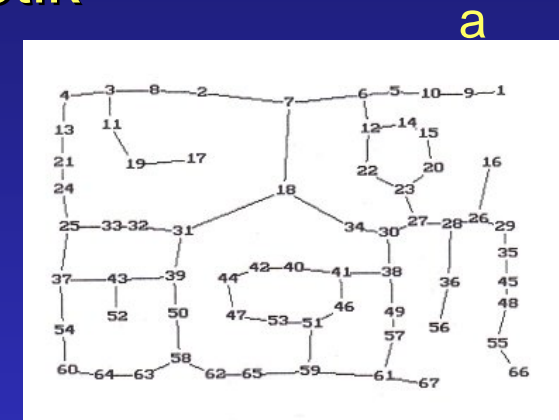
- Integration von Akustik- und Sensorik-Modellen
- Evaluierung und Verfeinerung der Steuerungsalgorithmen autonomer mobiler Roboter in der Simulations-Umgebung

Herausforderungen

- Behandlung eines großen akustischen Frequenzumfangs (20 Hz – 20 kHz)
- Modellierung verrauschter Signale / verrauschter Umgebungen
- Modellierung einer Ontologie für Geräusche / Klassifikation der Geräuschquellen
- Beugungseffekte
- nichtlineare Modelle der Sensorik

Stand der Forschung

- Umgebungs-Modellierung in der Robotik
 - Topologische Karte
 - Grid Maps
 - Geometrische Karten



a+b: aus S. Thrun, W. Burgard, D. Fox. A probabilistic approach to concurrent mapping and localization for mobile robots. In Machine Learning, p.29-53, 1998

c: aus P. Jensfeldt. Approaches to mobile robot localization in indoor environments. Dissertation, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, 2001

Stand der Forschung

- Akustik-Modellierung
 - Spiegelquellenmethode
 - Akustisches Raytracing
 - FEM (Wellengleichung auf Volumengitter) für tiefe Frequenzen (berücksichtigt Beugung)

Roboter-Plattform

- Robotersystem MARVIN –
Mobile Autonomous
Robot for
Indoor Navigation

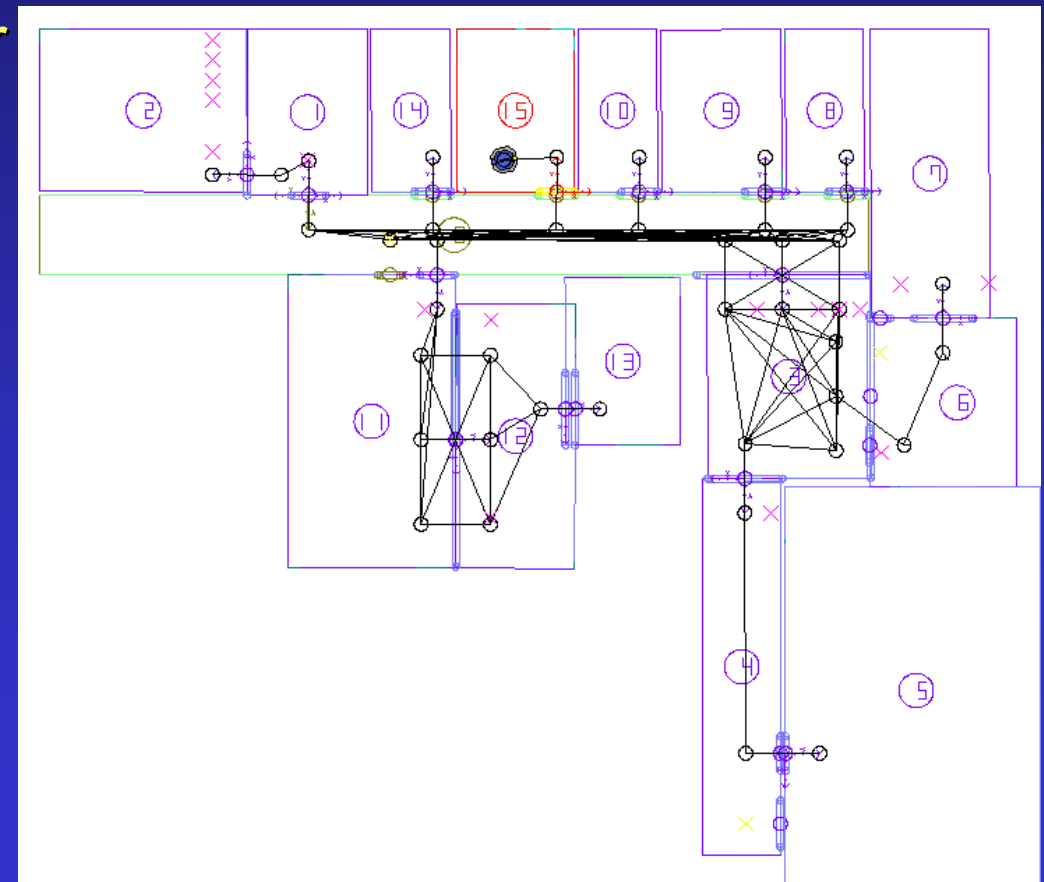


Zielsetzung:

- Umweltexploration
- Basisroboter für unterschiedliche
Serviceroboteranwendungen

Navigation

- System zur automatischen Erstellung einer topologischen und geometrischen Karte einer Büroumgebung



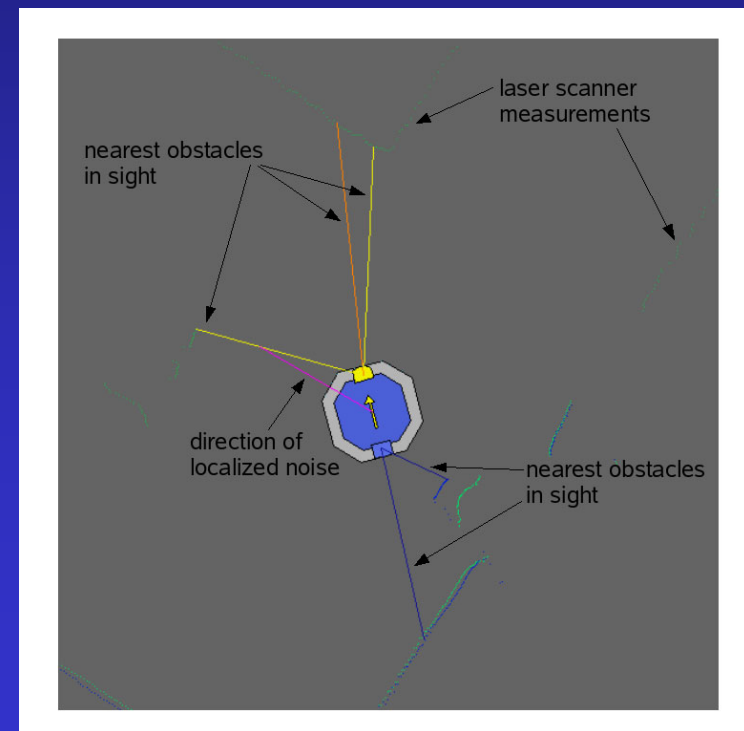
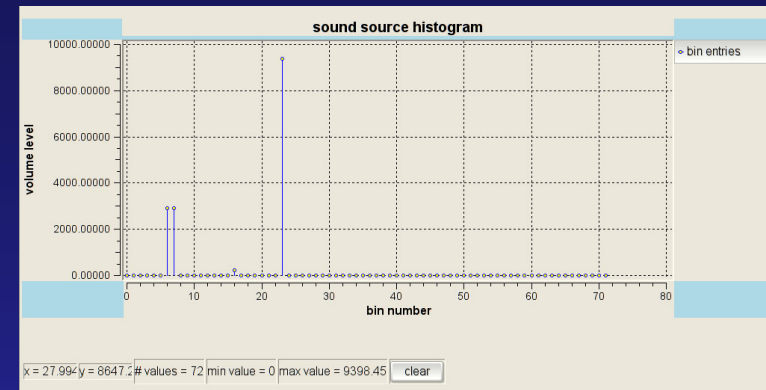
Objekterkennung

- Erkennung dynamischer Objekte in der Umgebung eines Roboters



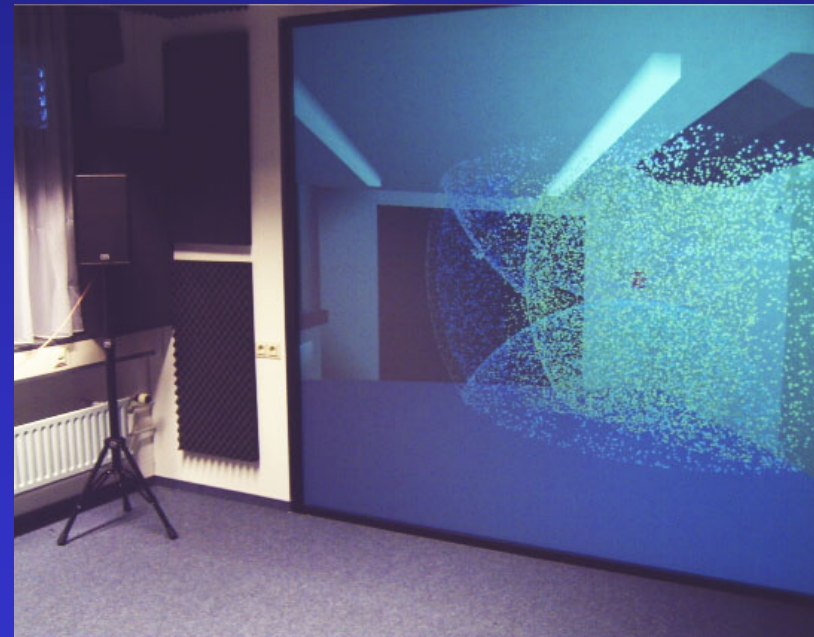
Geräuschquellen

- Lokalisierung von Geräuschquellen mittels Stereomikrofon



Acoustic Powerwall

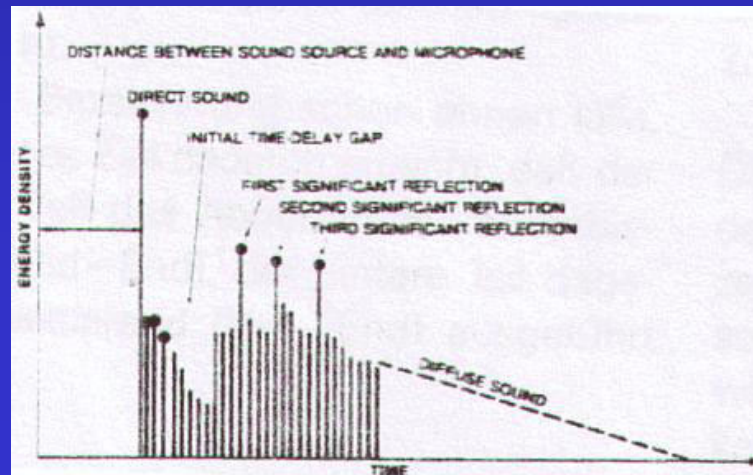
- Aufbau eines audio-visuellen VR-Darstellungssystems
- Modellierung eines Hörsaals



– Powerwall mit 5.1 Audio-System, Absorbern, etc.

Schallsimulation

- Phonon Tracing
 - Raumimpulsantwort
 - Ausgehend von einem unendlich kurzen Einheits-Impuls (Dirac-Signal) der Schallquelle wird für einen gegebenen Ort in einem Raum berechnet:
 - Empfangener Impuls in Abhängigkeit von Zeit und Raumwinkel $p(t, \theta, \phi)$



Quelle: Glenn Ballou: "Handbook for Sound Engineers", Howard W. Sams & Co.

Schallsimulation

- Phonon Tracing: Berechnung der Raumimpulsantwort
 - Erstellung einer „Phonon Map“
 - Aussenden von Phononen an der Schallquelle (gleichverteilt über den Raum)
 - Speichern der „Aufreffpunkte“ an Oberflächen der Szene
 - Absorption von Schallenergie gemäß Oberflächeneigenschaften
 - Bei ausreichender Restenergie: Erneutes Aussenden von Phononen von Auftreffpunkten gemäß „akustischer BRDF“

Schallsimulation

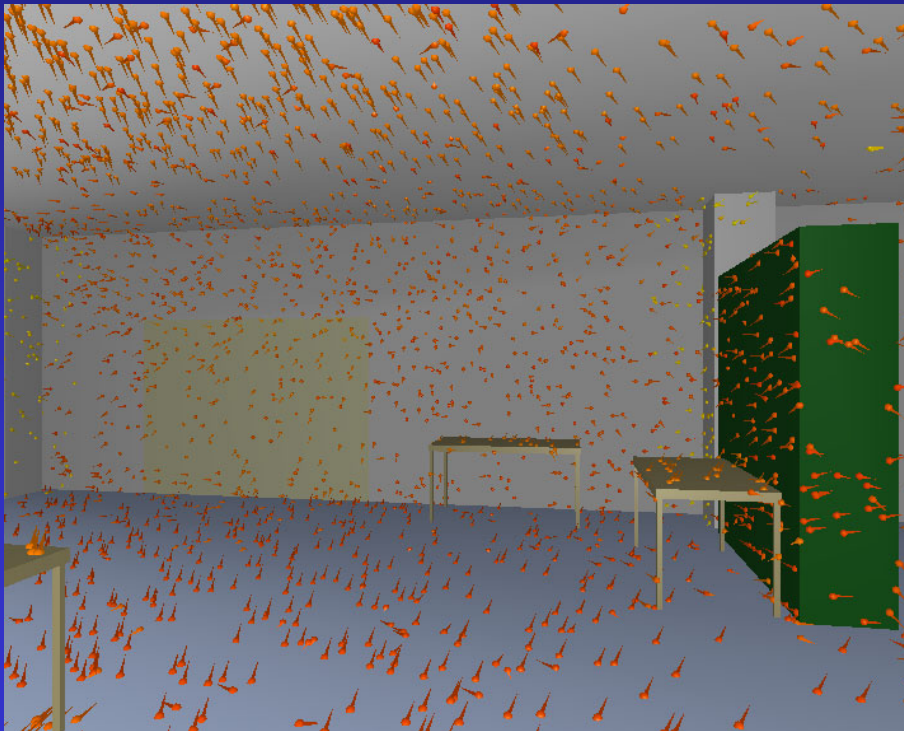
- Phonon Tracing
 - Auswertung der Phonon Map
 - Einmaliges Aussenden von Phononen an den aufgezeichneten Stellen gemäß der „akustischen BRDF“
 - Berechnung des geringsten Abstands d des Wegs des Phonons zur Hörer-Position
 - Beitrag zur empfangenen Schallenergie
$$E_{\text{Phonon}} * e^{-\lambda d}$$
 - Speicherung des Beitrags in Abhängigkeit von Zeit und Raumwinkel
 - Codierung der so erhaltenen Raumimpulsantwort mittels Wavelets

Schallsimulation

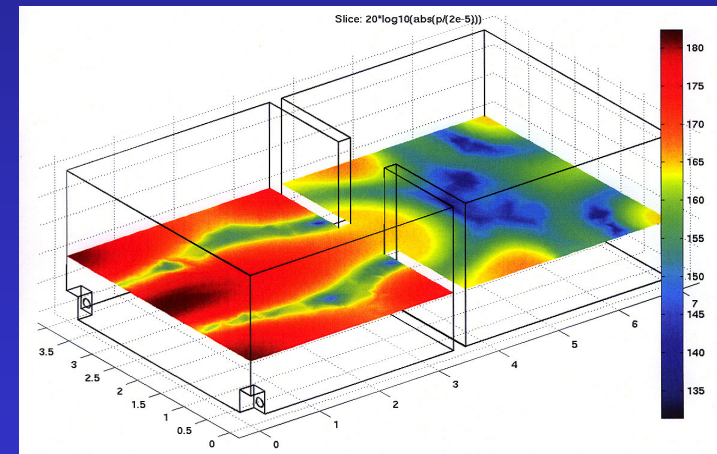
- Phonon Tracing
 - Erzeugung des empfangenen Schallsignals an der Hörer-Position
 - Berechnung der Raumimpulsantwort für verschiedene Frequenzbereiche
 - Faltung eines echolosen Geräusches mit der Raumimpulsantwort für die einzelnen Frequenzbereiche
 - Komposition der Teilsignale der einzelnen Frequenzbereiche

Schallsimulation

- Phonon Tracing (Partikelmodell)
- Tieftonsimulation



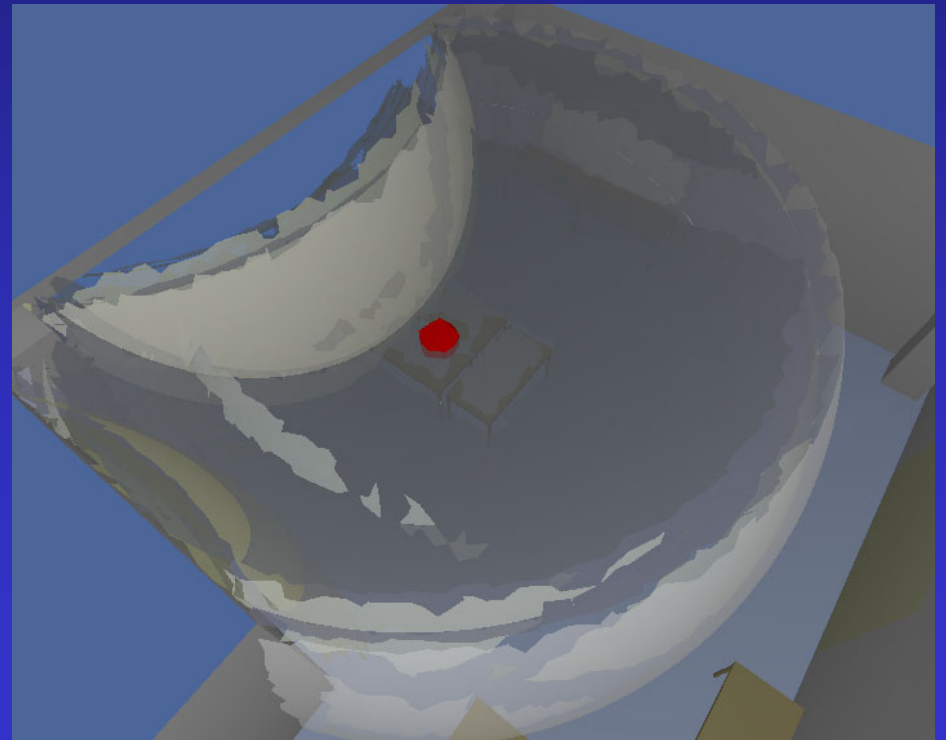
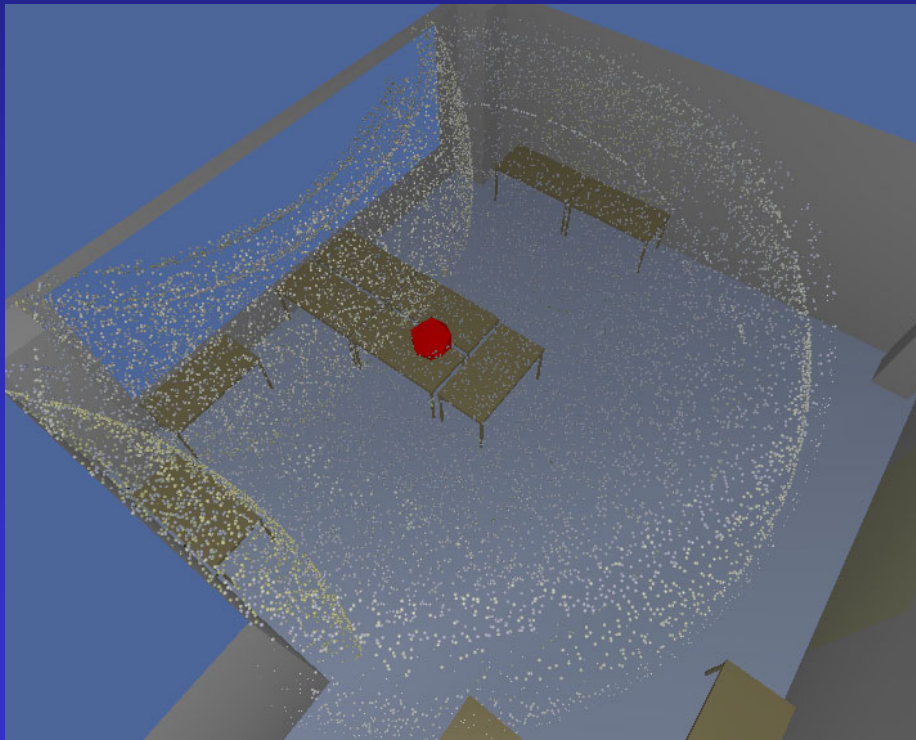
reflektierte Phononen



FEM-basierter Druck

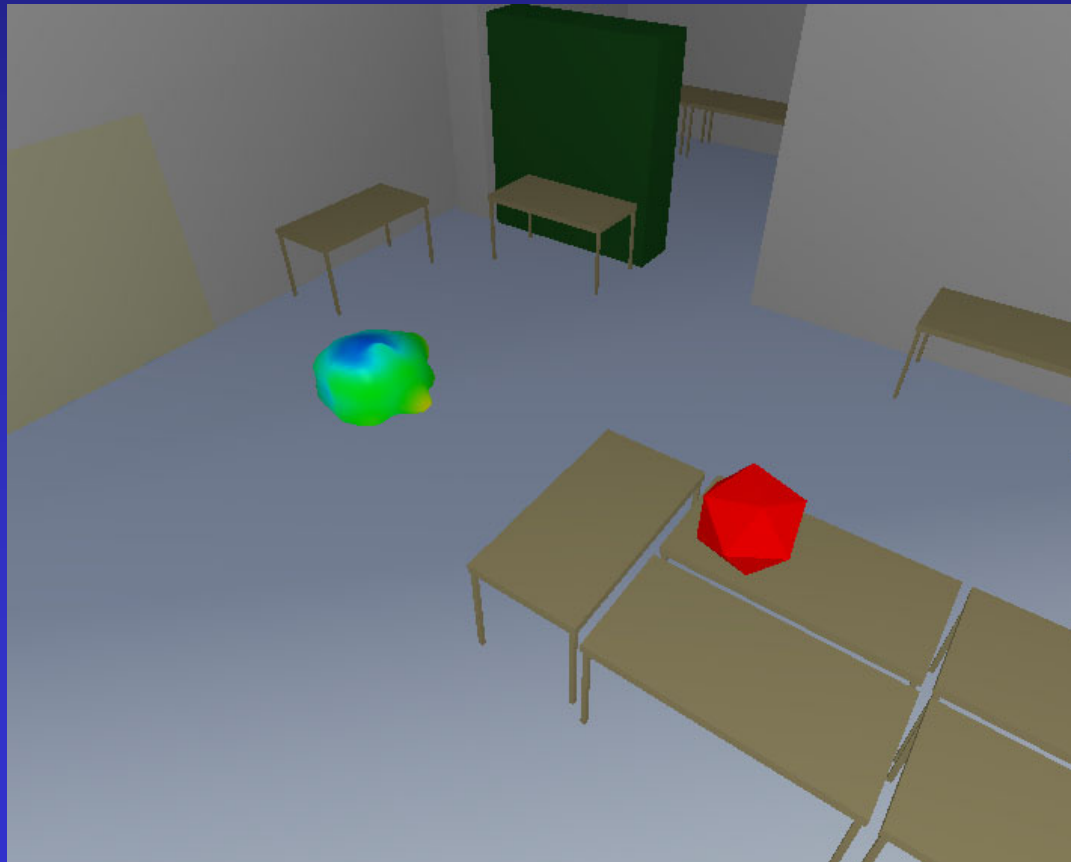
Schallsimulation

- Darstellung von Wellenfronten und Reflexionen in einem Raum



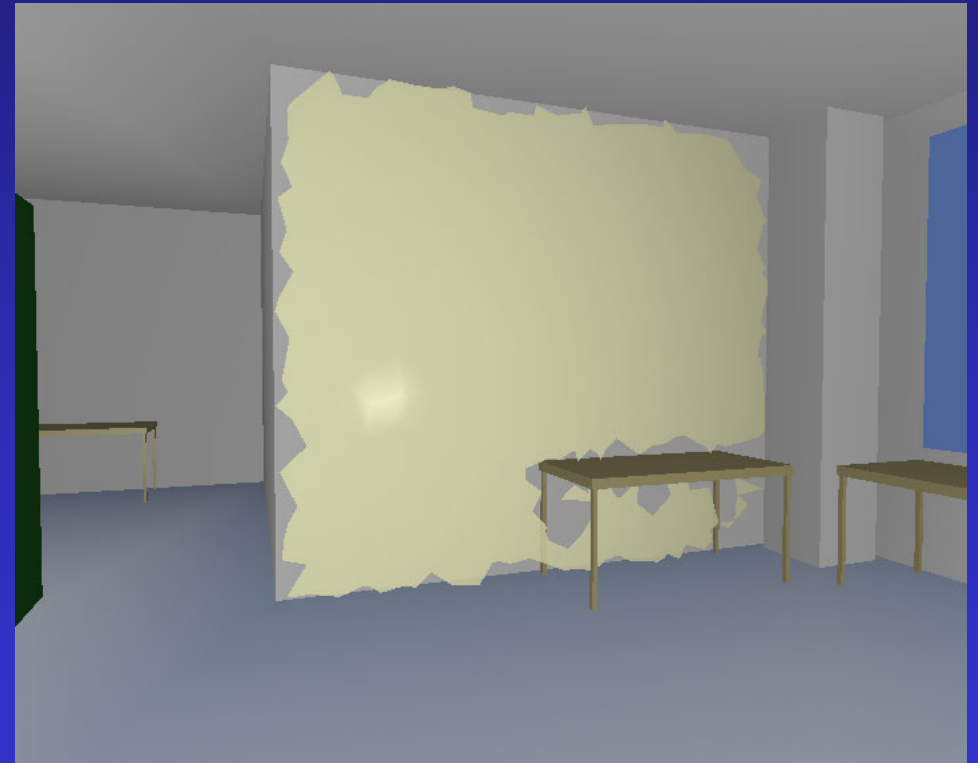
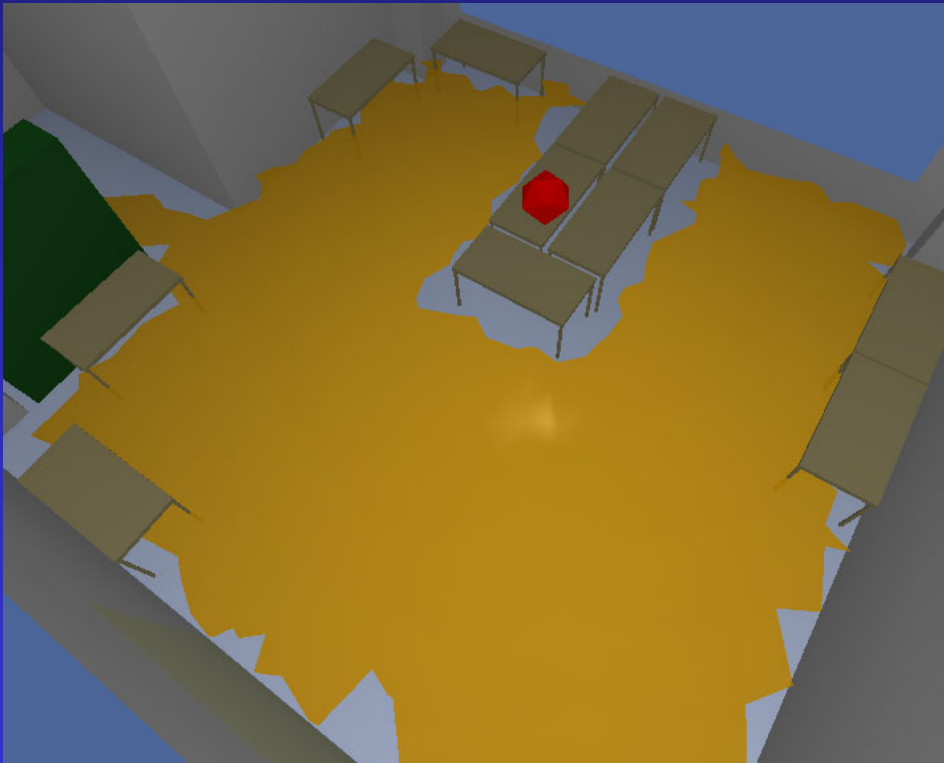
Schallsimulation

- Darstellung der empfangenen Schallenergie aus verschiedenen Richtungen








Schallsimulation

- Darstellung der Schallenergie auf Flächen im Raum

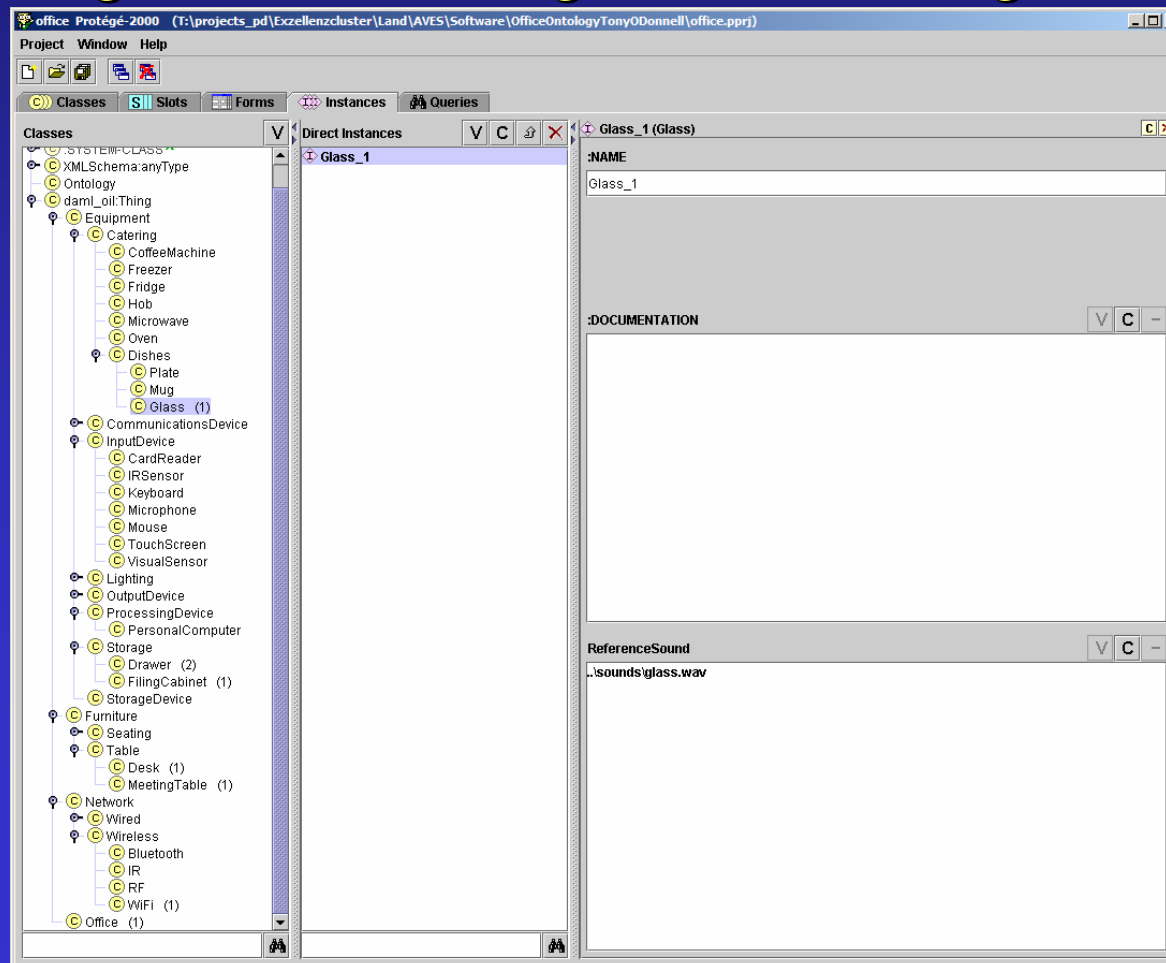


Akustikmodellierung

- Aufnahme von Referenzsignalen
 - Abstellen einer Tasse 
 - Gläser 
 - Holzlineal auf Tisch 
 - Klettverschluss 
 - Reißverschluss 

Umgebungsmodellierung

- **Ontologie-Modellierung der Büro-Umgebung**

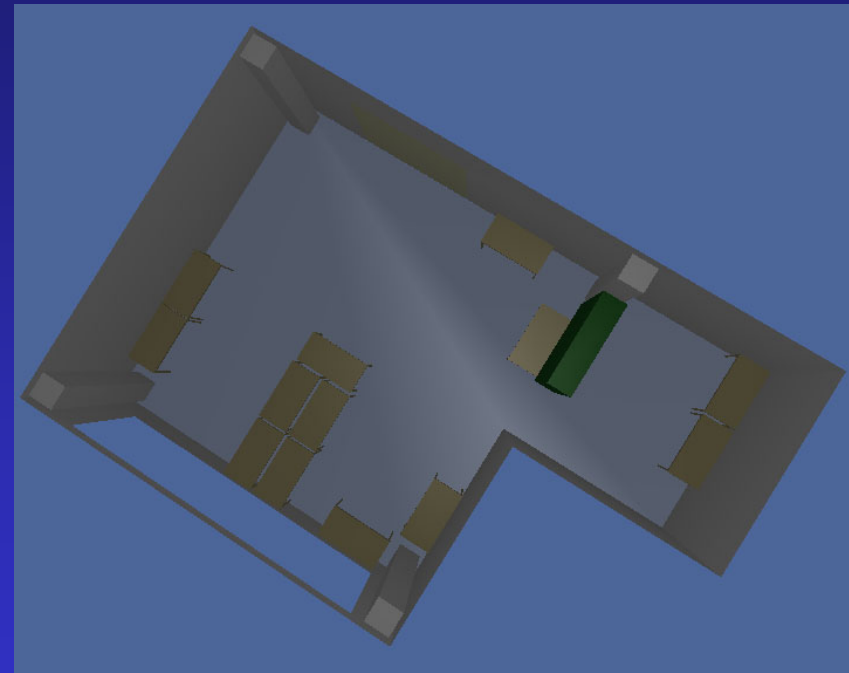
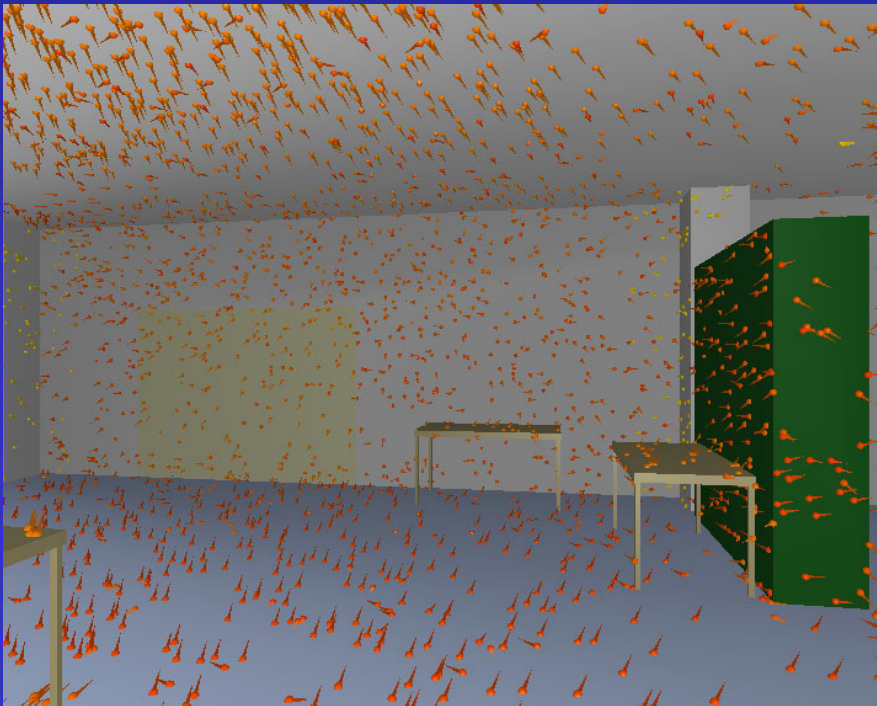


Aktuelle Arbeiten

- Akustik-Simulation mittels Phonon-Mapping und akustischem Ray-Tracing für eine Beispiel Büro-Umgebung
- Bestimmung der Reflexions- und Absorptionskoeffizienten für die Oberflächen im Raum (Wände, Möbel, ...)

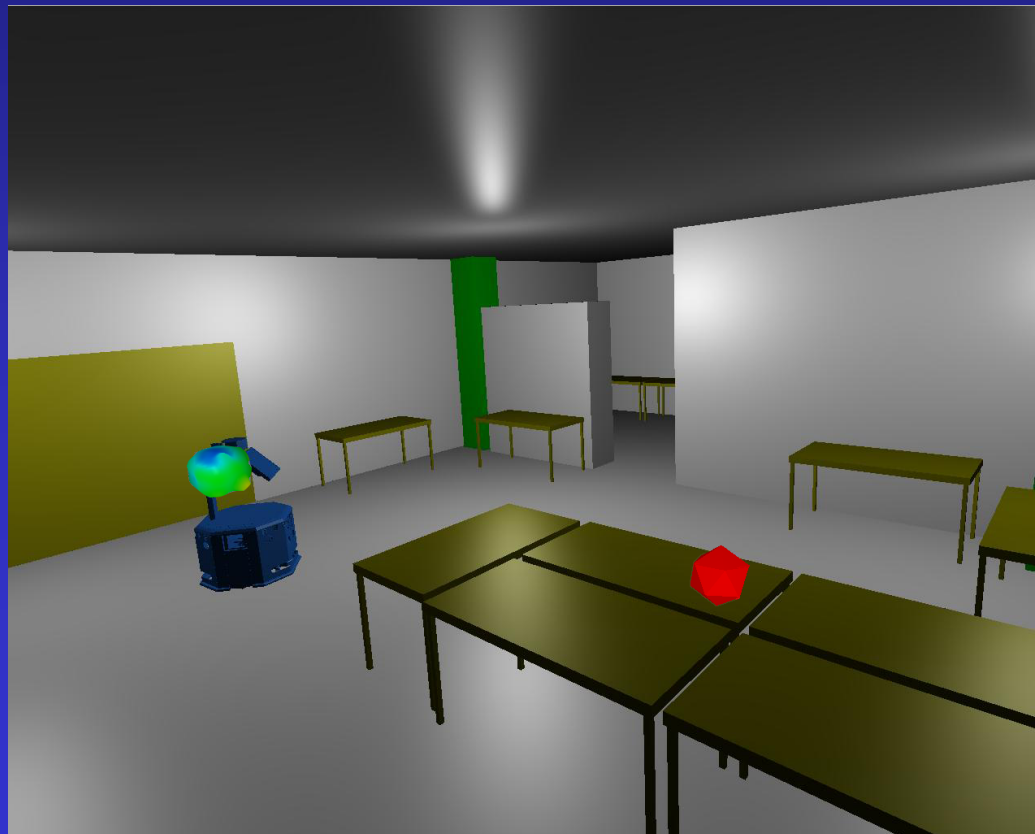
Erste Ergebnisse

- Simulationsergebnisse der Schallausbreitung in dem Referenz-Büroraum



Erste Ergebnisse

- Simulation eines empfangenen Geräuschs an den Positionen der beiden Mikrofone des Roboters



Nächste Schritte

- Auralisierung mit der akustischen Powerwall am DFKI
- Vergleich mit Aufnahmen im Referenz-Bürraum
- Methoden zur effizienten Speicherung der Raumimpulsantwort für eine Menge von Geräuschquellen- und Hörerpositionen
- Schnelle Berechnung von Raumimpulsantworten für beliebige Geräuschquellen- und Hörerpositionen
- Simulation bewegter Geräuschquellen und Hörer

Erweiterte Simulationsaufgaben

- Erstellung eines Simulationsframeworks für virtuelle Kameras and 3D Laserscanner
- Aufbau eines 3D Laserscanners
- Erweiterung der Geräuschlokalisierung auf die gesamte Roboterumgebung (Rundumlokalisierung mit vier Mikrofonen)