

# Raum- und umweltakustische Simulationen in Aussenräumen von Wohnbauten

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi

# Inhalt

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Einleitung
- Beispiel 1: Empa Projekt AbsFass
- Beispiel 2: Empa Projekt OSCAR
- (Unsicherheit / Validierungen)
- Auralisation von Durchfahrten im Projekt OSCAR
- Ausblick: Berechnungen auf wellentheoretischer Grundlage

- **Einleitung**
- Beispiel 1: Empa Projekt AbsFass
- Beispiel 2: Empa Projekt OSCAR
- (Unsicherheit / Validierungen)
- Auralisation von Durchfahrten im Projekt OSCAR
- Ausblick: Berechnungen auf wellentheoretischer Grundlage

# Einleitung

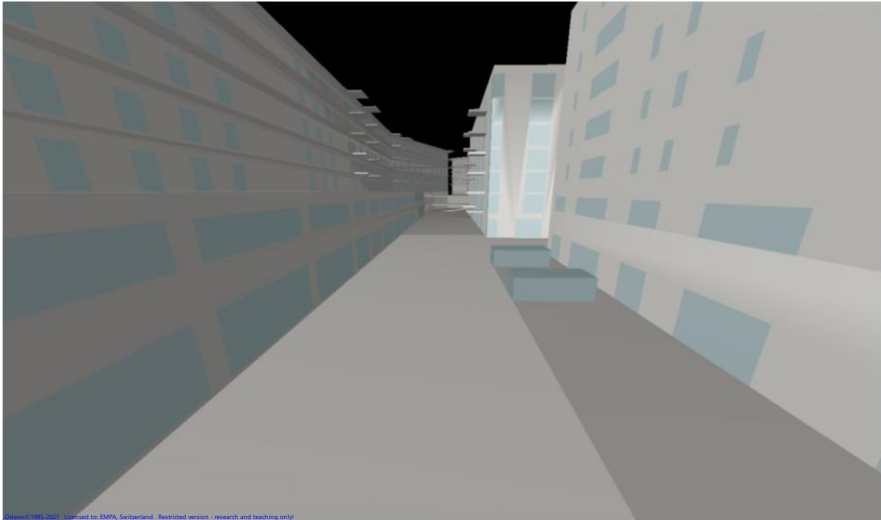
Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Simulationen
  - in Innenhöfen und Überbauungen mit Wohnungen,
  - für stationäre und bewegte Schallquellen,
  - akustische Wirkung von Fassaden (reflektierend, absorbierend, streuend),
  - akustische Wirkung von Gebäudestellungen.
- Akustische Aufenthaltsqualität
- Lästigkeit von Lärm
- Keine Standardberechnungen (z.B. *Leq*)
- Forschung
  - Vergleich virtueller Umgebungen in Hörversuchen
  - Korrelation mit bekannten raumakustischen Parametern
- Beratung durch Ingenieurbüros
  - Bei neuen Überbauungen / Innenhöfen
- Heute: Knappe Darstellung von Ergebnissen
- Frühlingstagung SGA-SSA, Cercle Bruit, Empa 18. April 2024
- → Fokus auf Ergebnissen

# Herausforderungen 1/2

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- «Raum» mit – oft einseitig – vollständig absorbierenden Flächen: 



# Herausforderungen 2/2

- Fokus auf raumakustische Parameter wie  $T$ ,  $EDT$ ,  $G$ , ...
- Beugungseffekte können sehr wichtig sein, aber
  - Physikalische Massstabsmodelle sehr aufwändig
  - Wellentheoretisch basierte Simulation? (siehe später)
  - Messungen in realer Umgebung – ok, aber sie muss gebaut sein ...
- Normale Lärmprognose-Software nicht ausreichend
- Raumakustik-Simulation **basierend auf geometrischer Akustik**, hier mit ODEON ([odeon.dk](http://odeon.dk))
- Wünschenswert: Simulation von bewegten Quellen

# Inhalt

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Einleitung
- **Beispiel 1: Empa Projekt AbsFass**
- Beispiel 2: Empa Projekt OSCAR
- (Unsicherheit / Validierungen)
- Auralisation von Durchfahrten im Projekt OSCAR
- Ausblick: Berechnungen auf wellentheoretischer Grundlage

- *Fragestellung:*  
Gute akustische Aufenthaltsqualität in Innenhöfen:  
Notwendiger Flächenanteil mit Absorption auf
  - Fassaden,
  - Balkonuntersichten und
  - Böden?
- *Aufgabe Simulation:*
  - Simulation einer Anzahl von Innenhöfen mit Variation von reflektierend und absorbierenden Flächen.
- *Finanzierung:*
  - Cercle Bruit, Empa
- Im Rahmen einer Bachelorarbeit an der Jade Hochschule Oldenburg (D)

# Simulationen

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

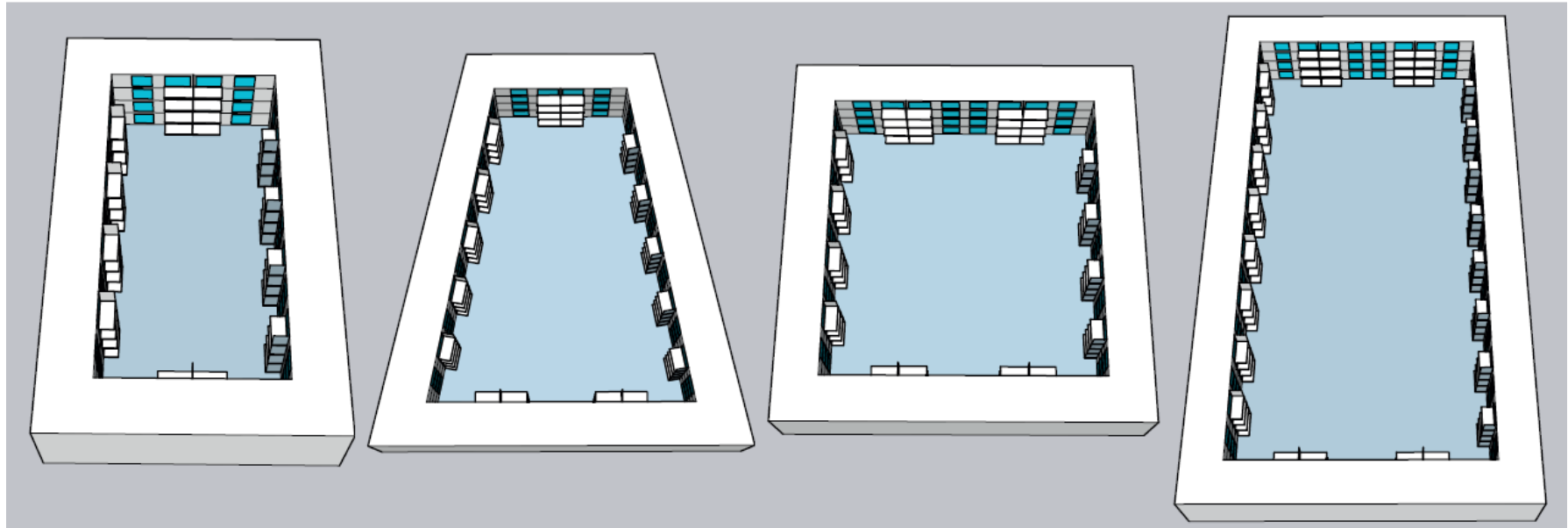
- Raumakustische Simulationen mit ODEON Version 16.11
  - 8 generische Innenhöfe
  - 2 reale Innenhöfe
- Simulationen nach Matrixmethode (Probst)

# Untersuchte Innenhöfe

## Generisch: 4 und 7 Stockwerke

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

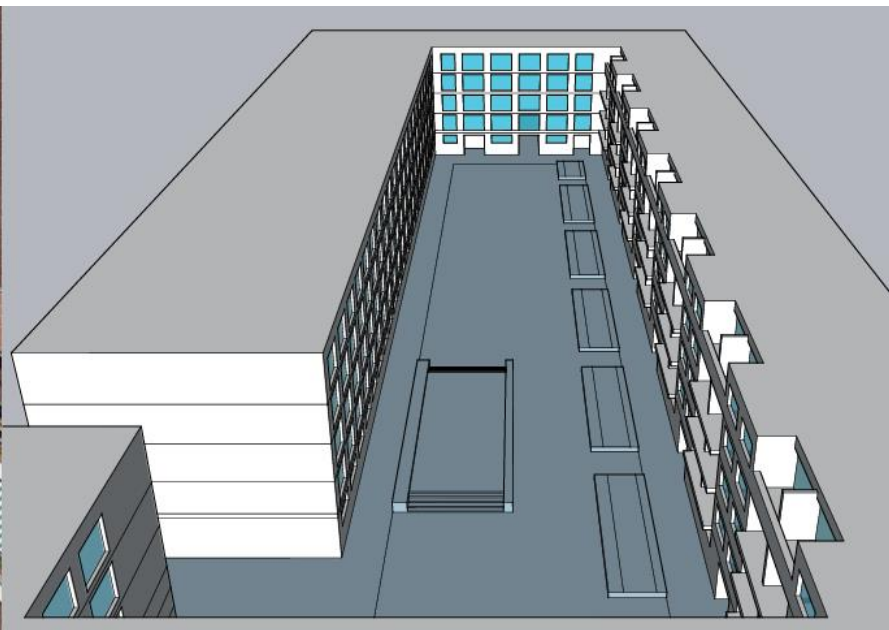
Darstellung für 4 Stockwerke:



# Untersuchte Innenhöfe

## Realer Bau #1

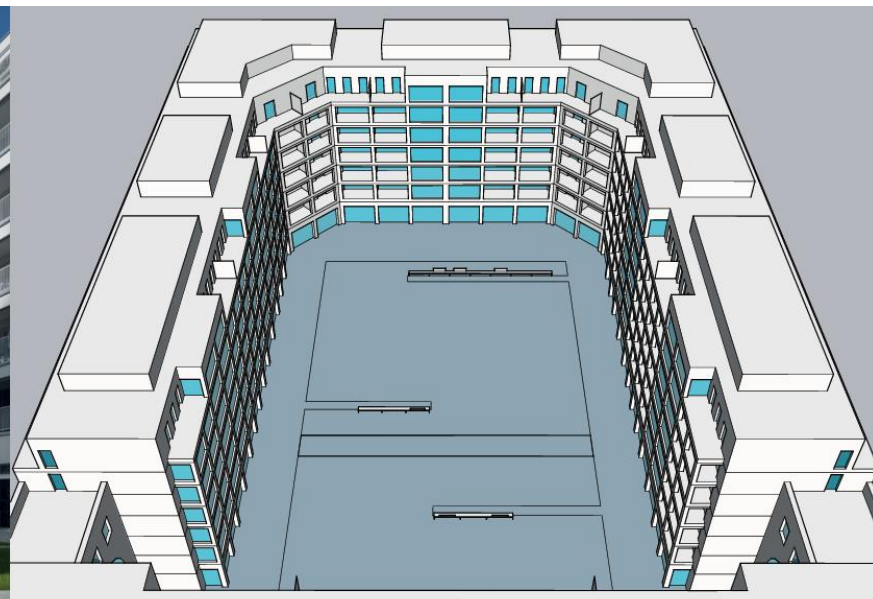
Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



# Untersuchte Innenhöfe

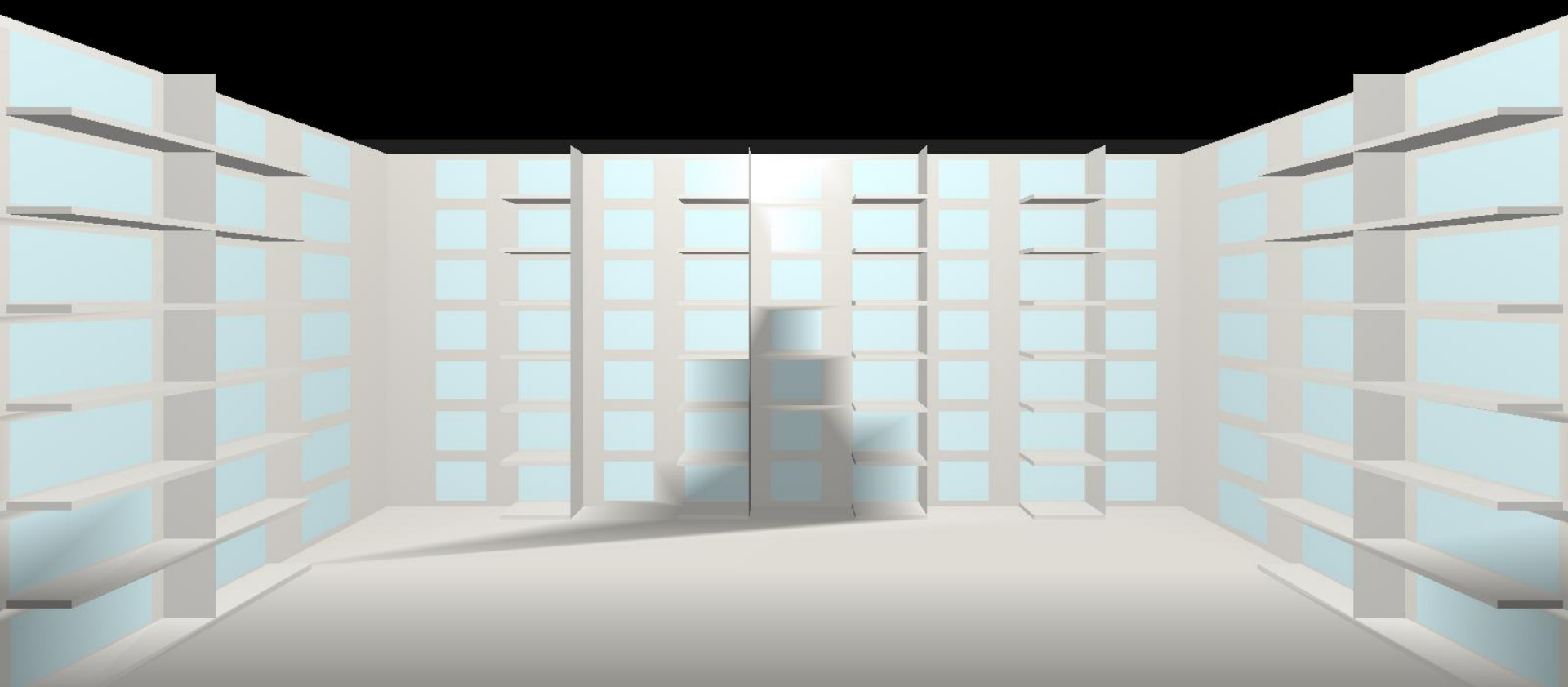
## Realer Bau #2

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



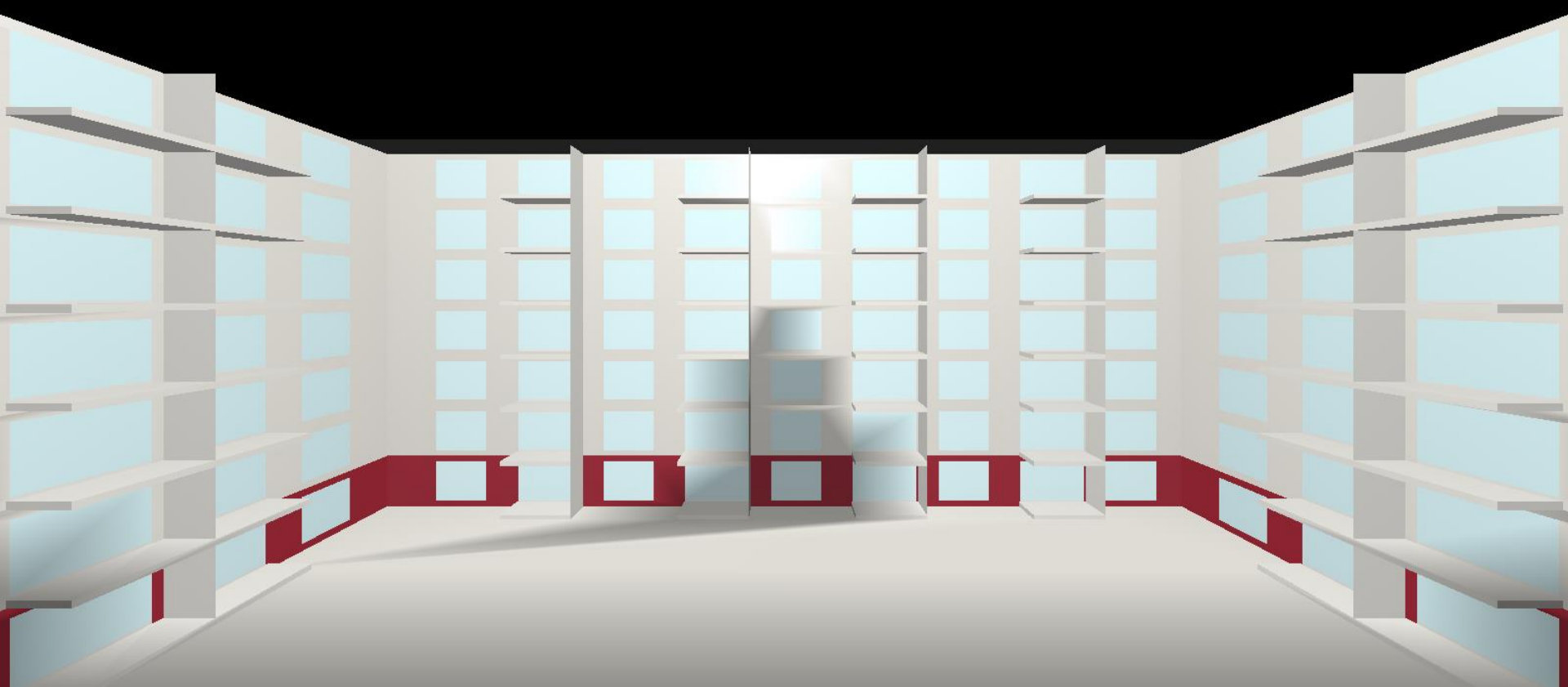
# Beispiel: Alles reflektierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



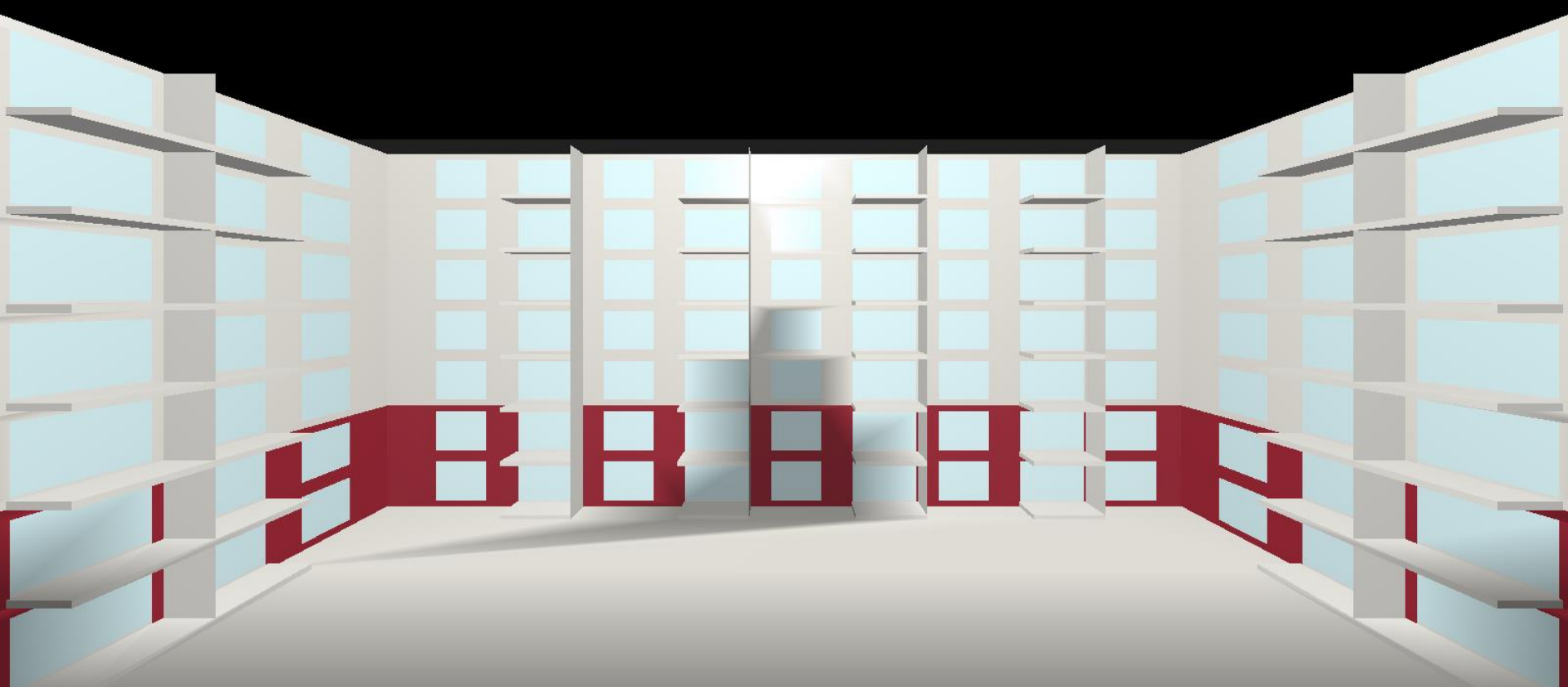
# Beispiel: EG absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



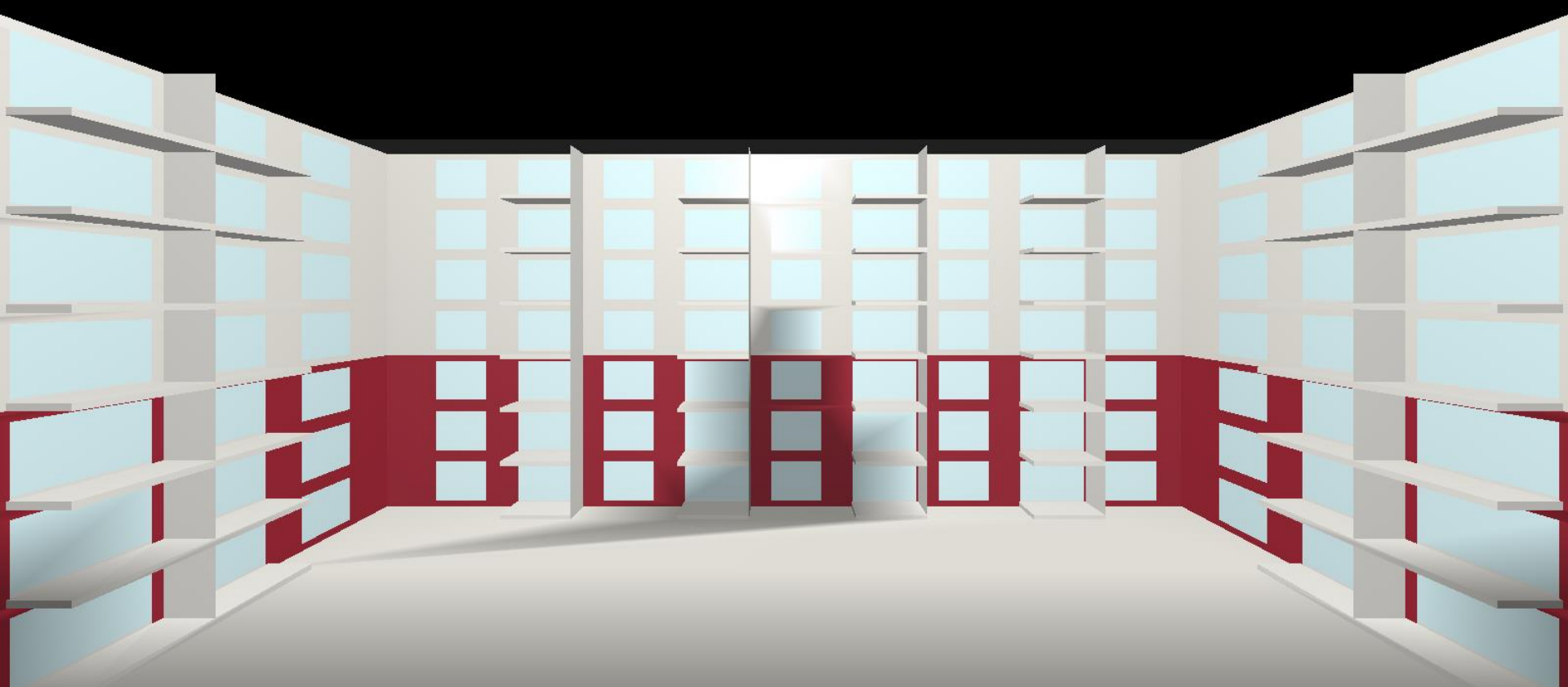
# Beispiel: + 1. Stock absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



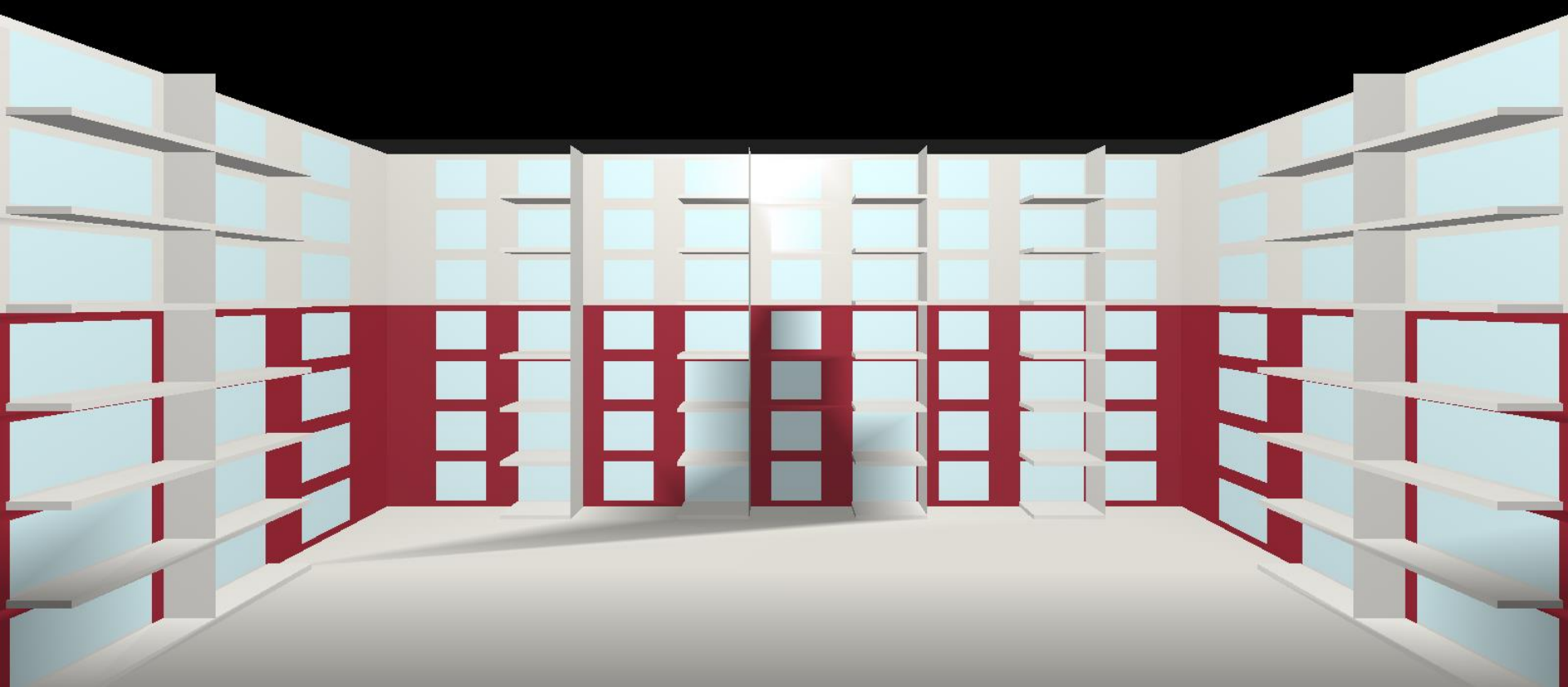
# Beispiel: + 2. Stock absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



# Beispiel: + 3. Stock absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



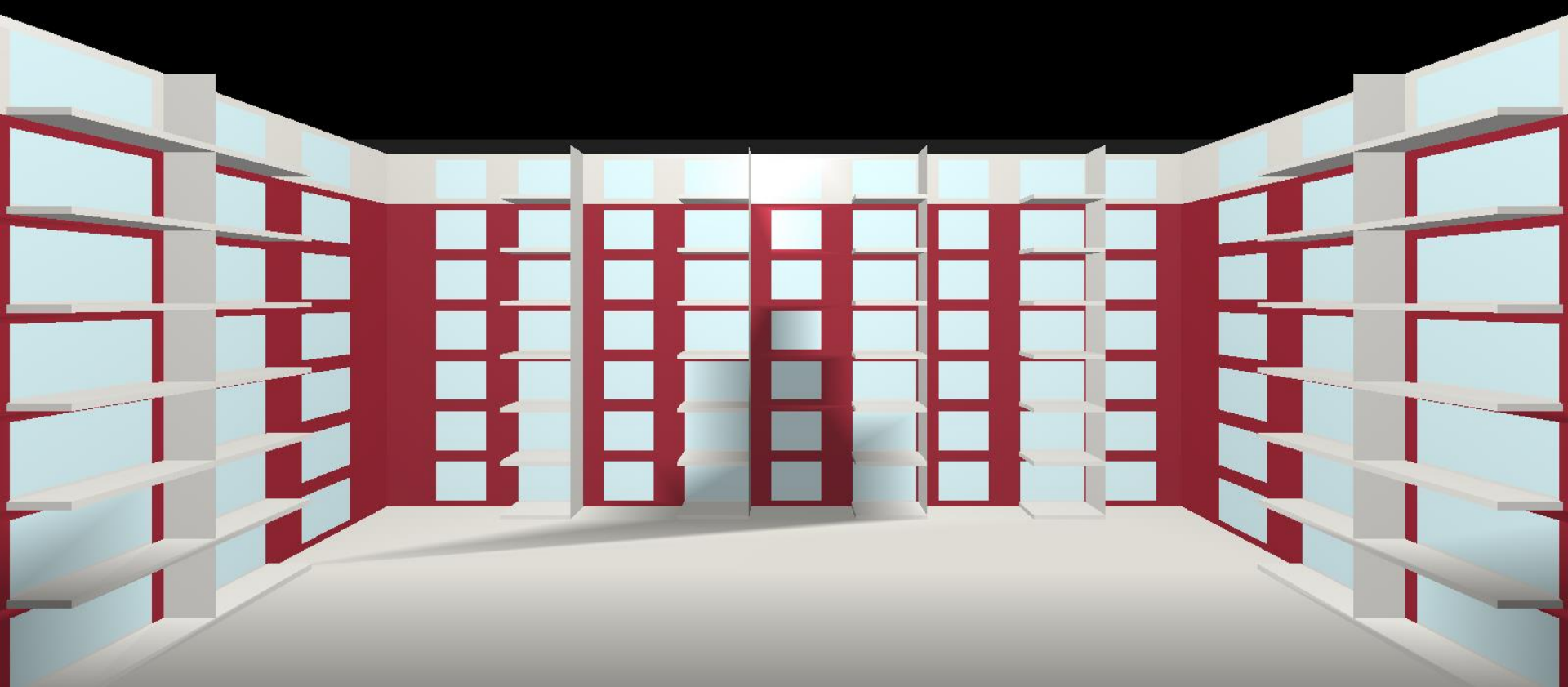
# Beispiel: + 4. Stock absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



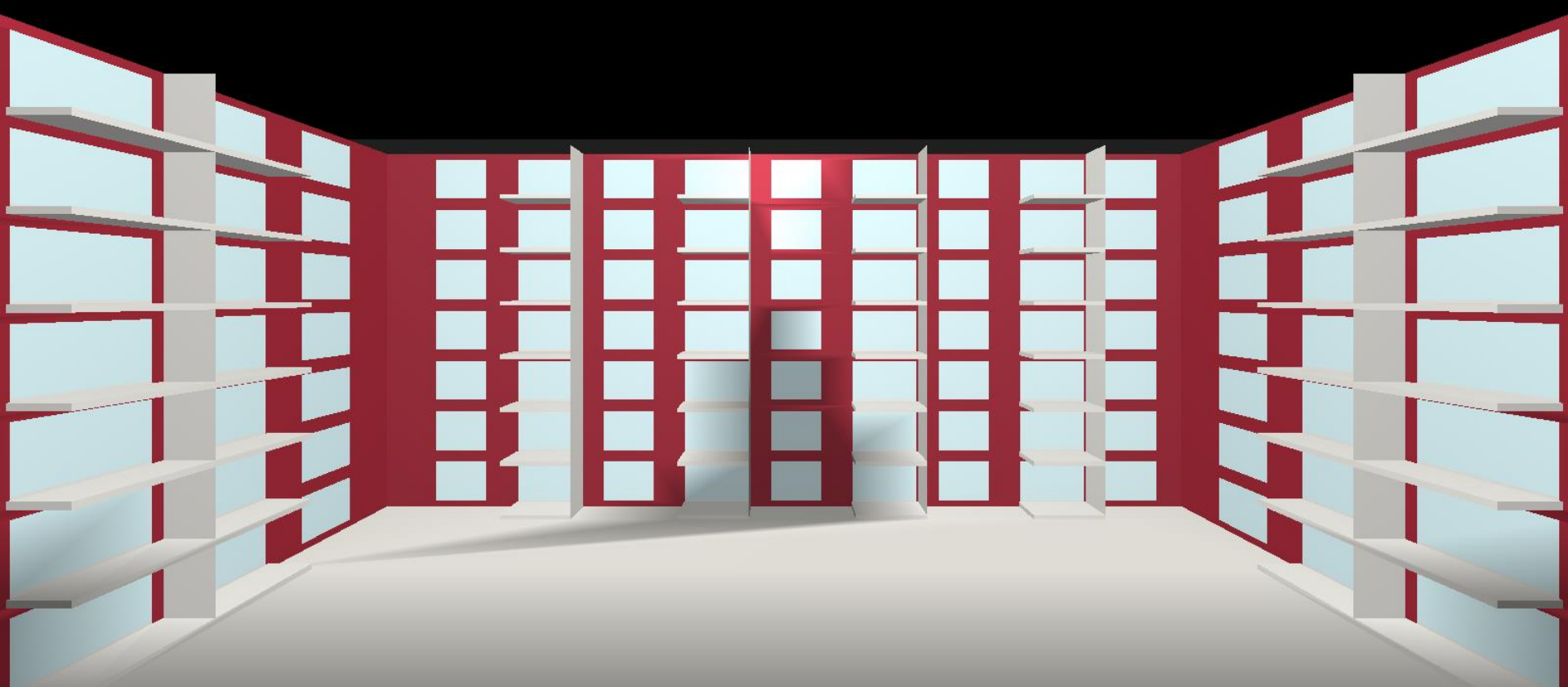
# Beispiel: + 5. Stock absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



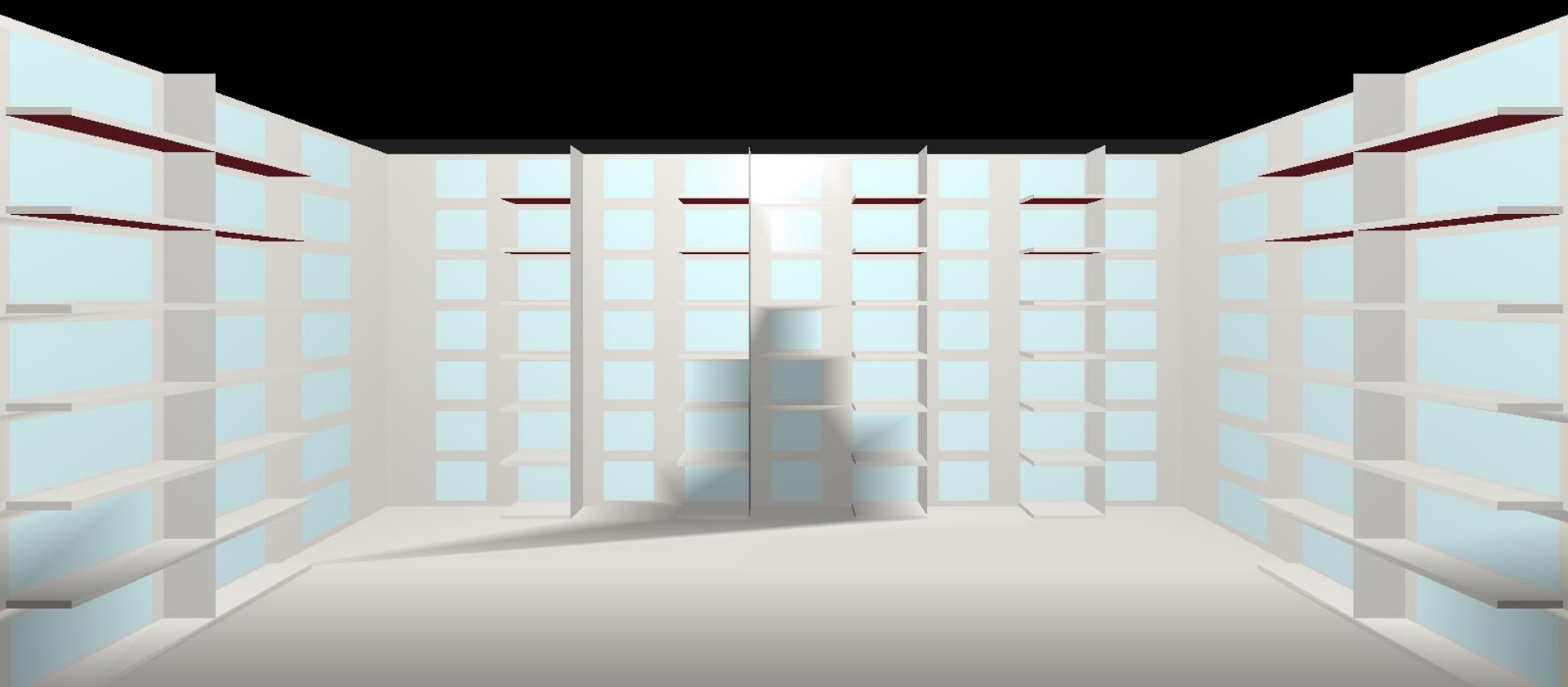
# Beispiel: + 6. Stock absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



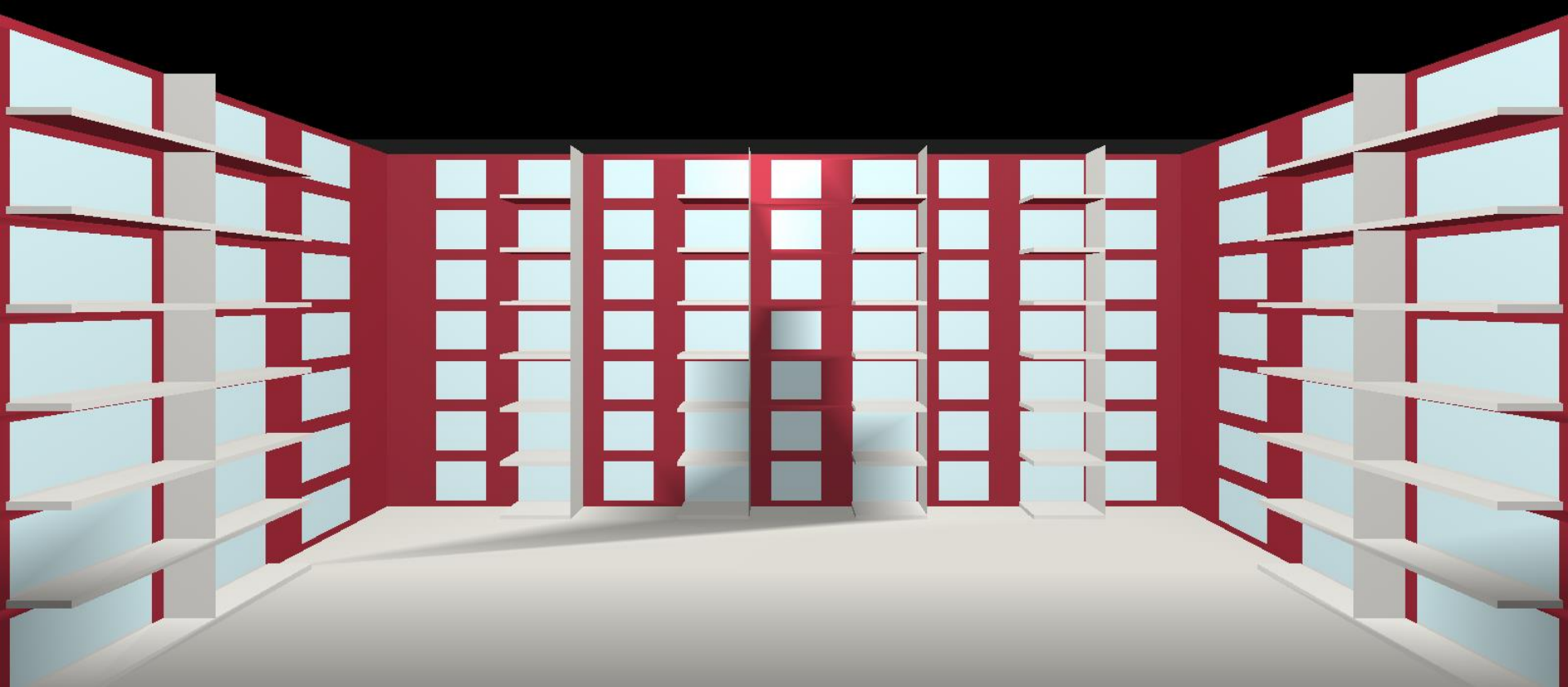
# Beispiel: Nur Balkonuntersichten absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



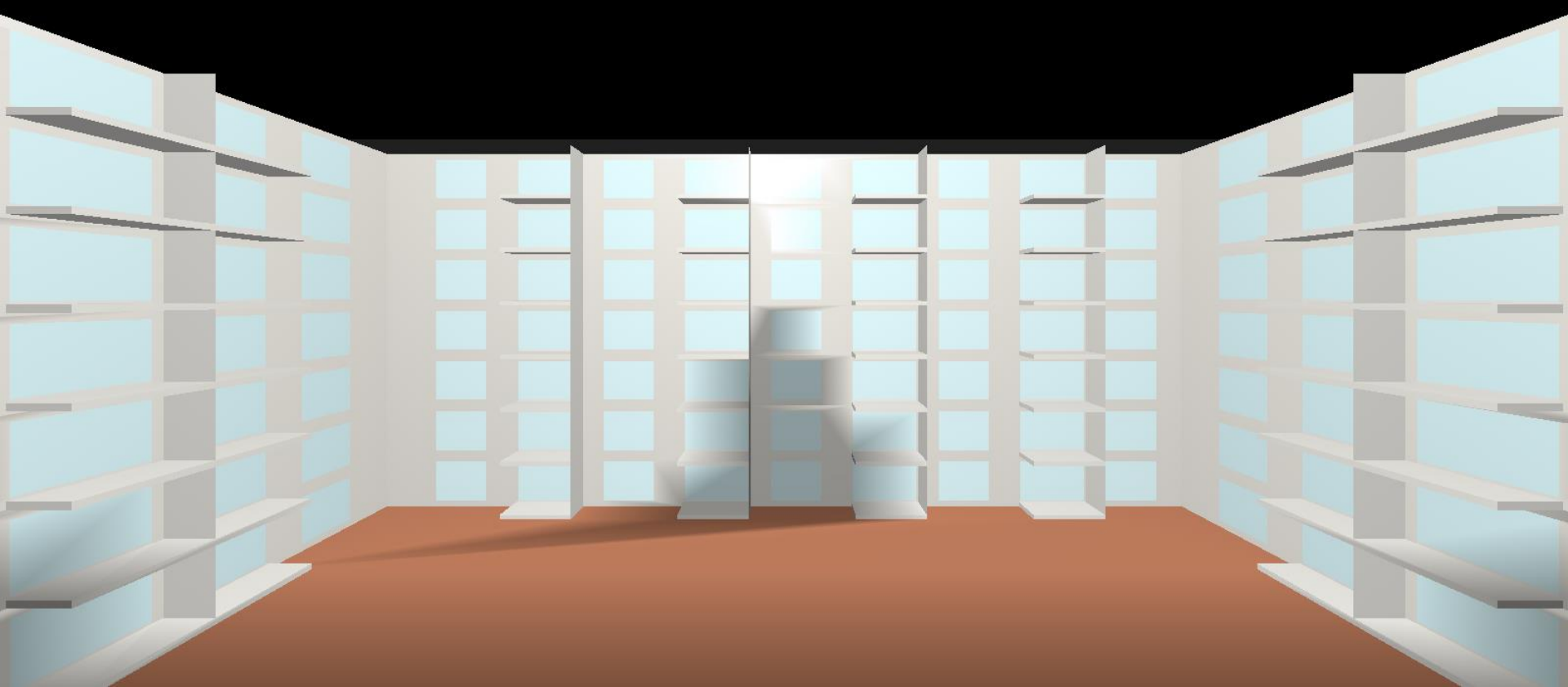
# Beispiel: Fassaden + Balkonuntersichten absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



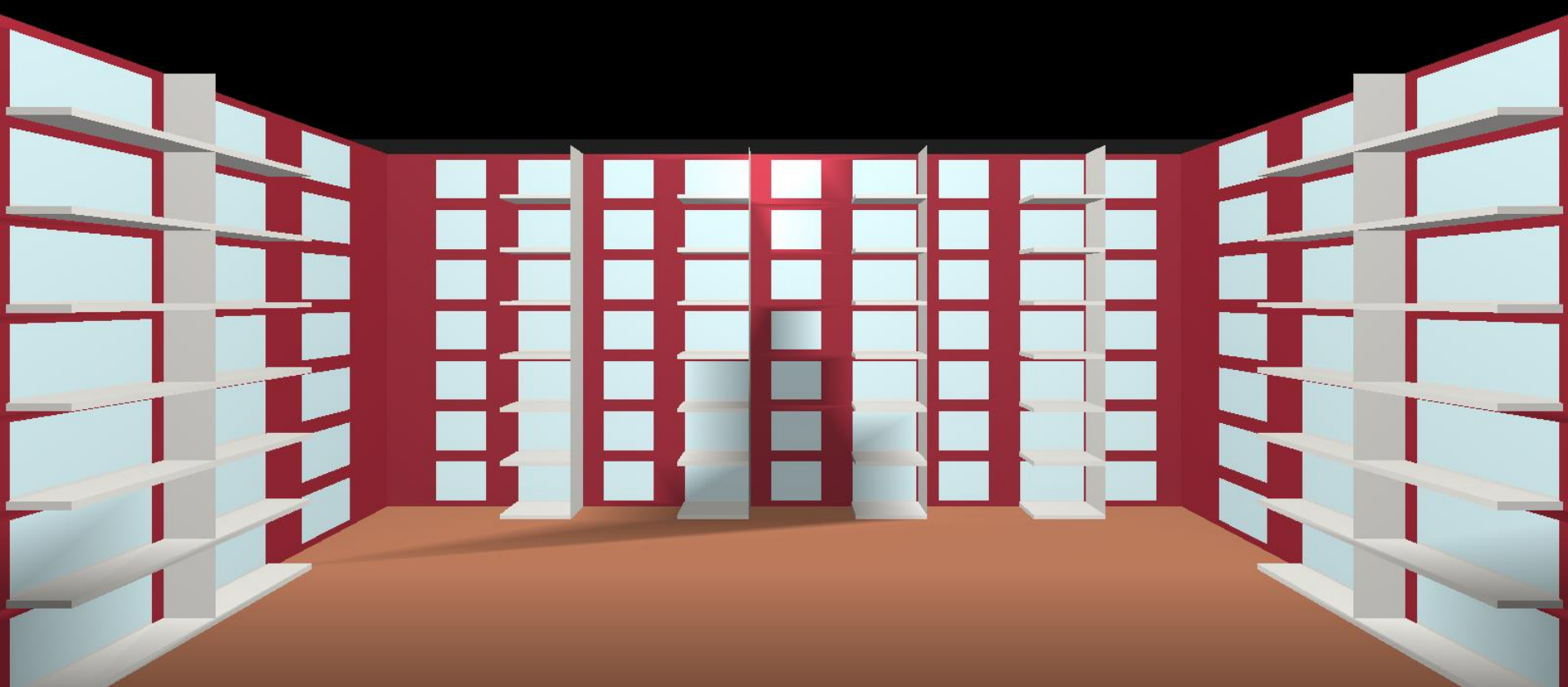
# Beispiel: Nur Boden absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



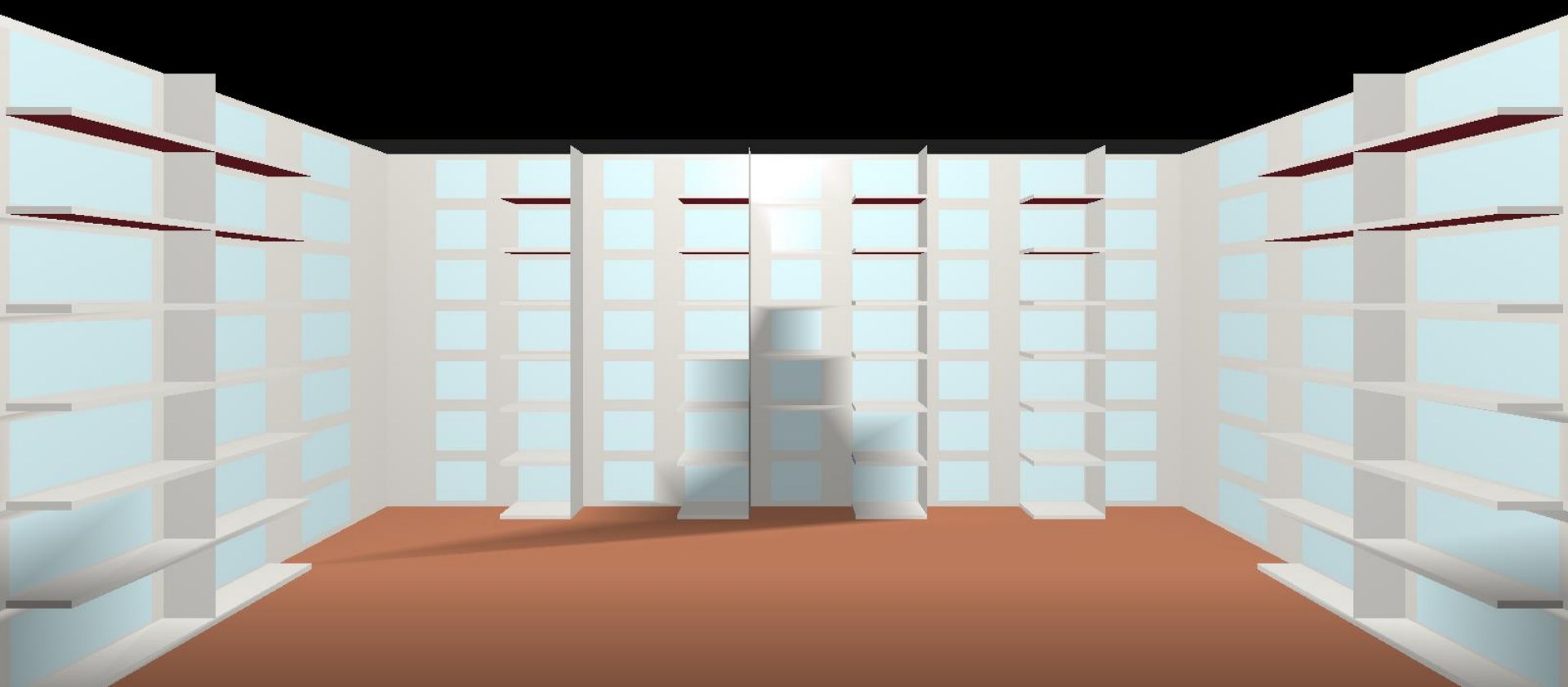
# Beispiel: Fassaden und Boden absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



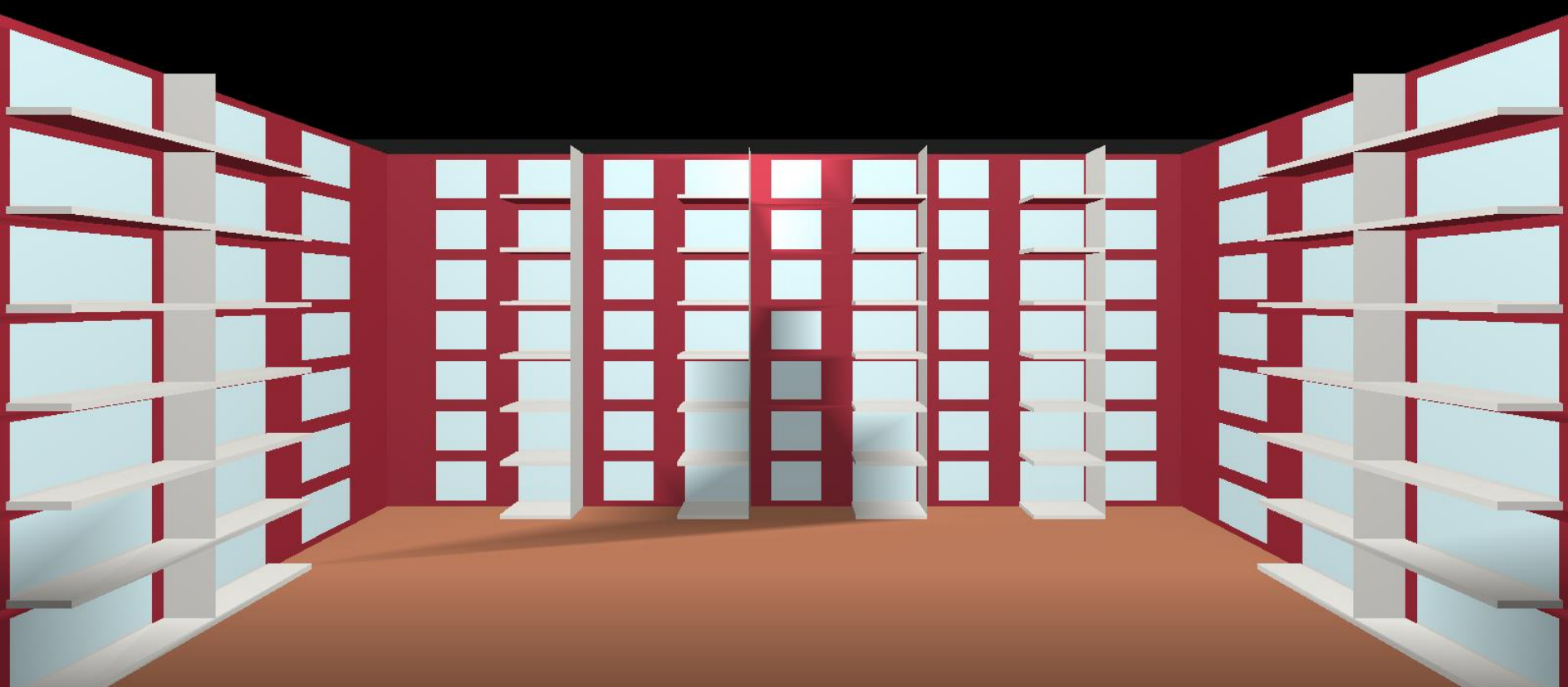
# Beispiel: Boden und Balkonuntersichten absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



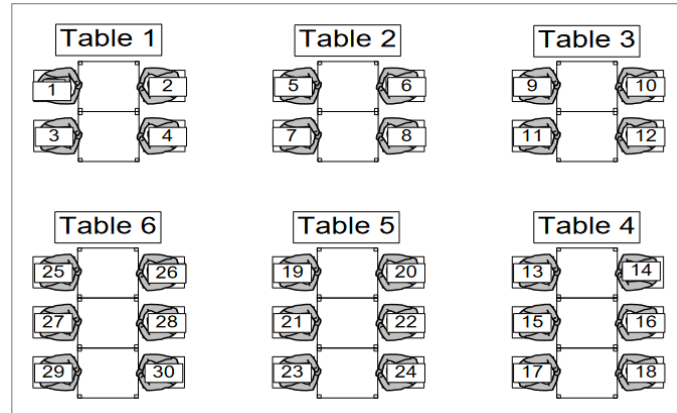
# Beispiel: Fassaden, Boden und Balkonuntersichten absorbierend

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



# Matrix Methode

- STI-Matrix: Wolfgang Probst\*



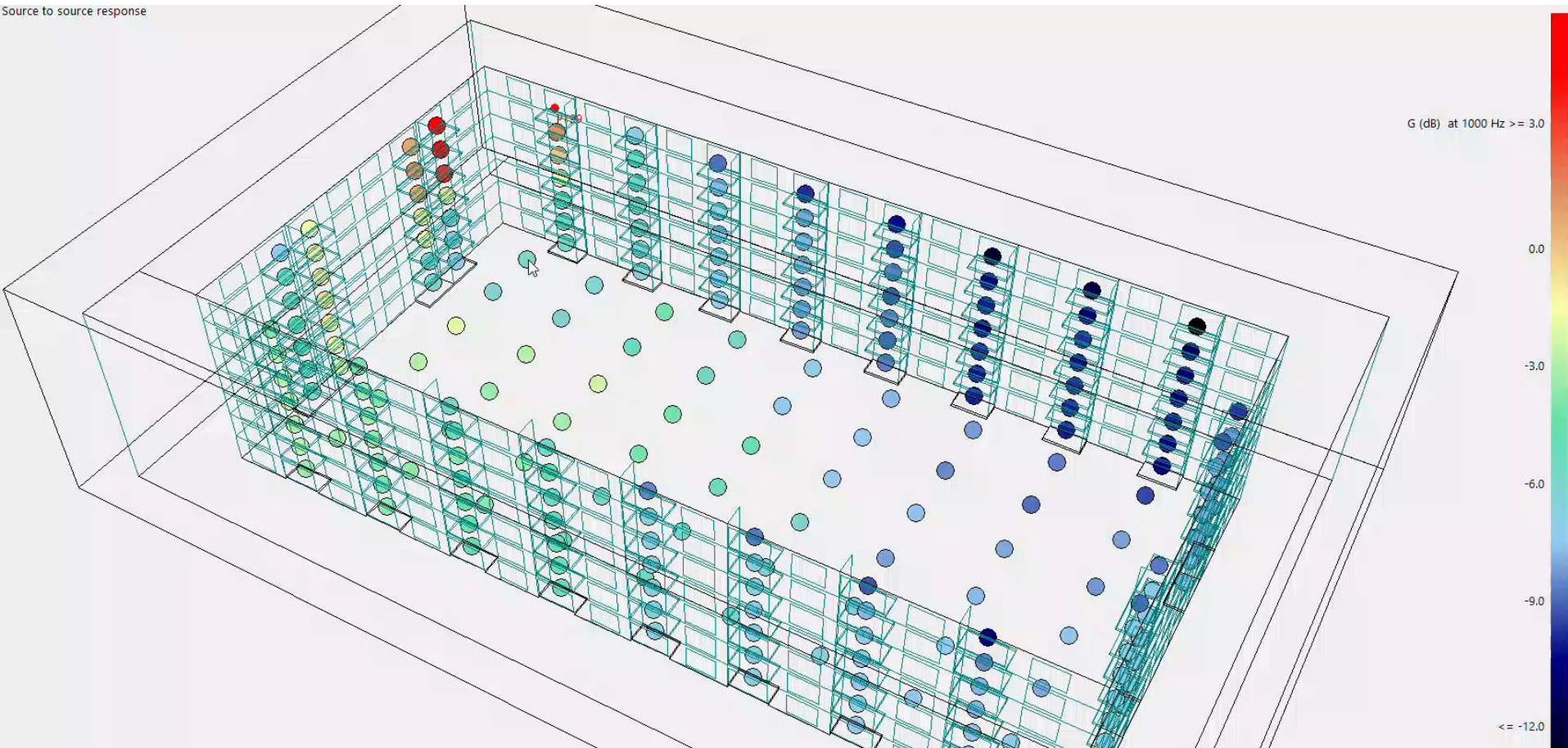
- Warum für Innenhöfe?
  - Potenzielle Quellen sind überall
  - Potenzielle Empfänger sind überall
- Für diese Studie sehr viele Übertragungstrecken berechnet und ausgewertet
- Für die Praxis?

\*Wolfgang Probst, Michael Böhm, Die STI-Matrix ein Verfahren zur Bewertung und Beurteilung von Restaurants Bueros und anderen Aufenthaltsräumen, Lärmbekämpfung Nr. 2/2018

# Matrix Methode

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

Source to source response



# Explosion der Berechnungszeit ...?

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Sensitivitätsanalyse zur notwendigen Anzahl Schallstrahlen
- Kriterium:
  - Gerade wahrnehmbare Änderung (just noticeable difference): JND
  - Anzahl Schallstrahlen so lange erhöht, bis Veränderung des Resultats bei
    - nur noch 5% der Übertragungstrecken für  $EDT$
    - und 15% der Übertragungstrecken für  $T_{20}$
  - über JND
- Berechnungszeiten pro Situation von bis zu 24 h resultierten ...

# Die wichtigsten Ergebnisse für die untersuchten Innenhöfe

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

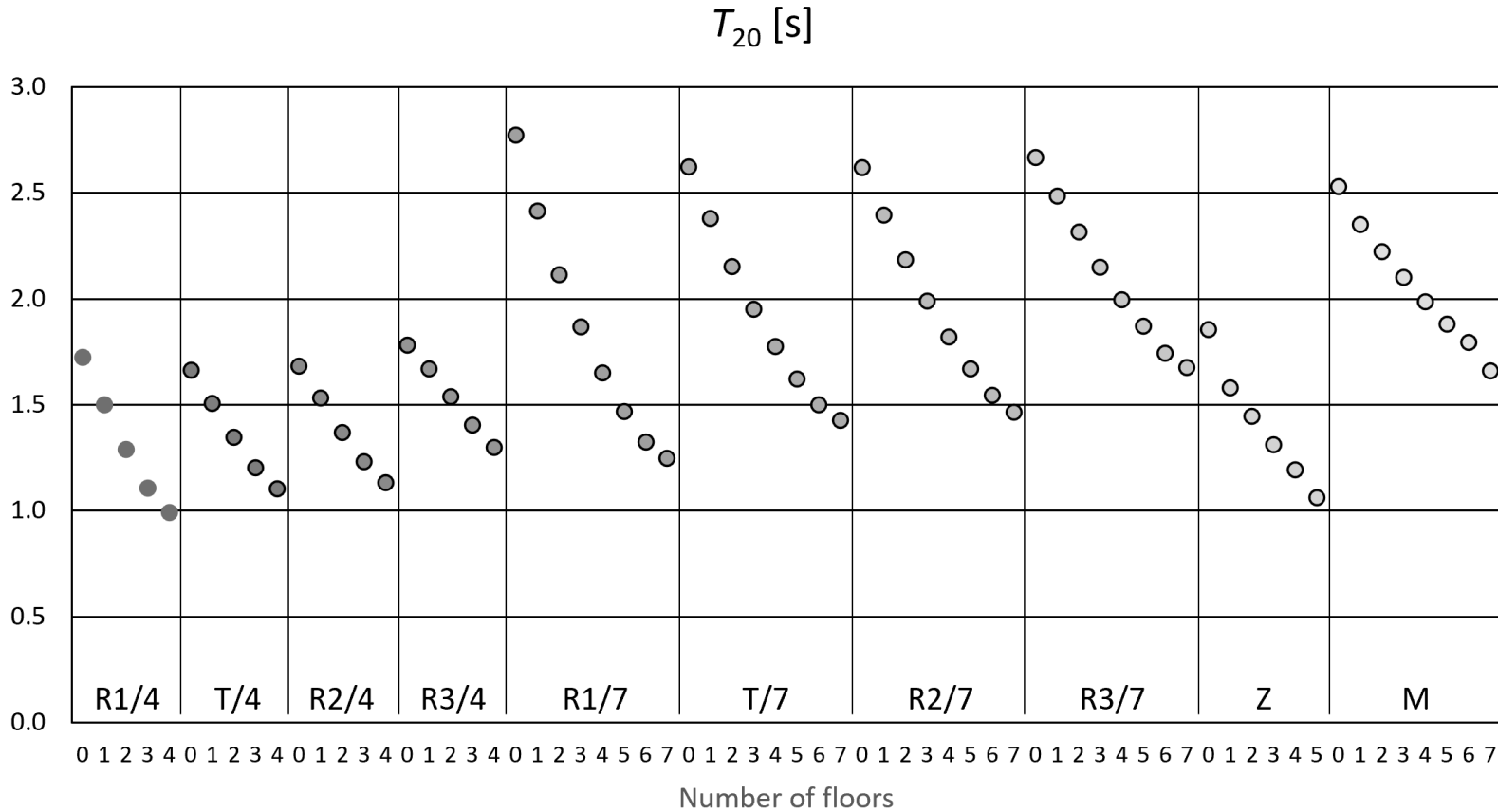
- Frühere Studien: Schallabsorbierende Fassaden wirkungsvoll zur Erhöhung der Aufenthaltsqualität.
- **Teilweise schallabsorbierende Fassaden bringen deutlich weniger gute Ergebnisse als vollflächig absorbierende.**
- Innenhofböden oder Balkonuntersichten *alleine*, als auch *Kombination*: keine wesentliche Verbesserung bezüglich Nachhall, aber ev. Ehostörungen

## Für die Praxis

- Absorption der ganzen Fassaden empfehlenswert
- Im *Einzelfall* abklären:
  - Gefahr von Echos/Flatterechos?
  - Absorbierender Boden oder absorbierende Balkonuntersichten?

# Beispiel von Ergebnissen (Mittelwerte)

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



# Inhalt

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Einleitung
- Beispiel 1: Empa Projekt AbsFass
- **Beispiel 2: Empa Projekt OSCAr**
- (Unsicherheit / Validierungen)
- Auralisation von Durchfahrten im Projekt OSCAr
- Ausblick: Berechnungen auf wellentheoretischer Grundlage

- *Fragestellung:*  
Einfluss von Fassaden und Stellung von Gebäude auf Belästigung bei Einzeldurchfahren in einem urbanen Wohnquartier?
- *Aufgabe Simulation:*  
Bereitstellen von Stimuli für Hörversuche  
D.h. Auralisation der Durchfahrt eines Autos in einem urbanen Wohnquartier mit Variation von
  - der Fassaden (reflektierend, absorbierend, streuend)
  - Stellung von Gebäuden
- *Finanzierung*
  - BAFU, Empa, unter Mitarbeit Cercle Bruit

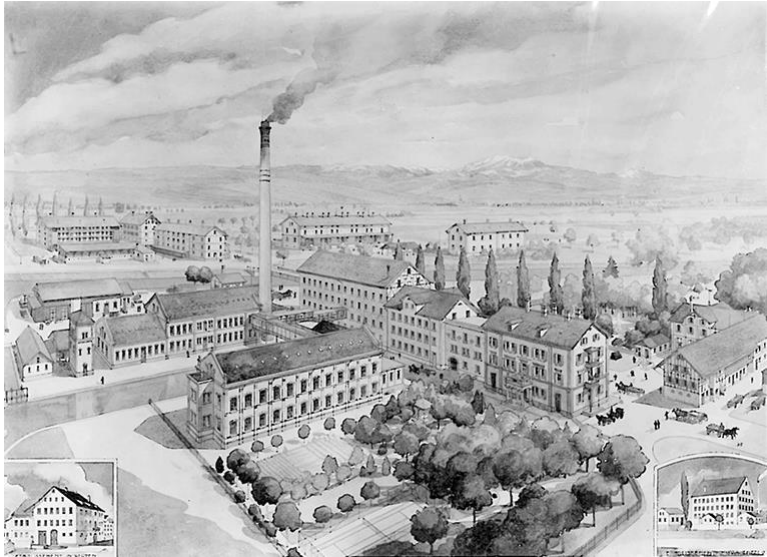
# Simulationen

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Raumakustische Simulation mit ODEON
  - Grosses urbanes Quartier
  - 4 Empfangspunkte
  - 3 Fahrrouten
  - 5 Szenarien
- Auralisation von 46 Durchfahrten
  - 46 Stimuli

# Zwicky-Areal Wallisellen als Vorbild

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



<http://www.zanoni-architekten.ch/>

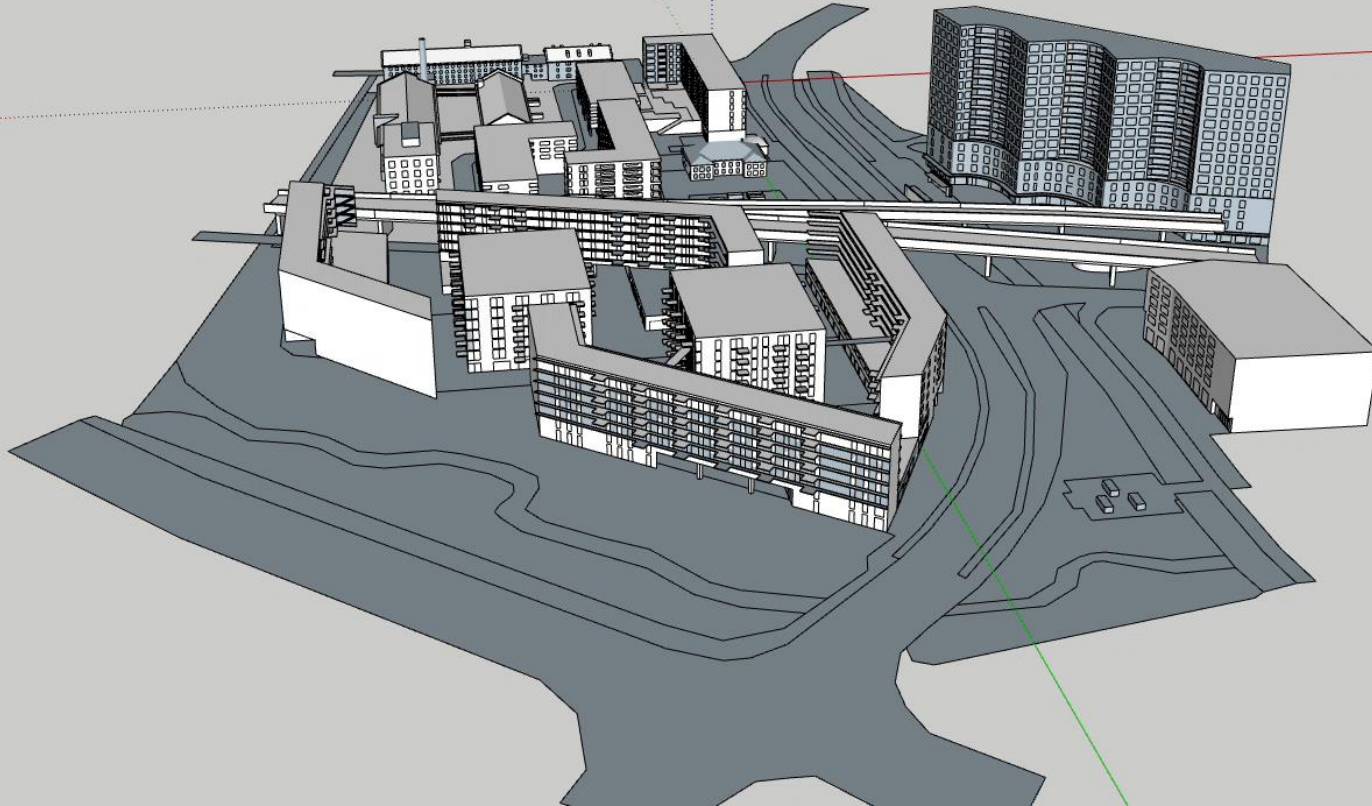


<https://www.immobilienbusiness.ch/>

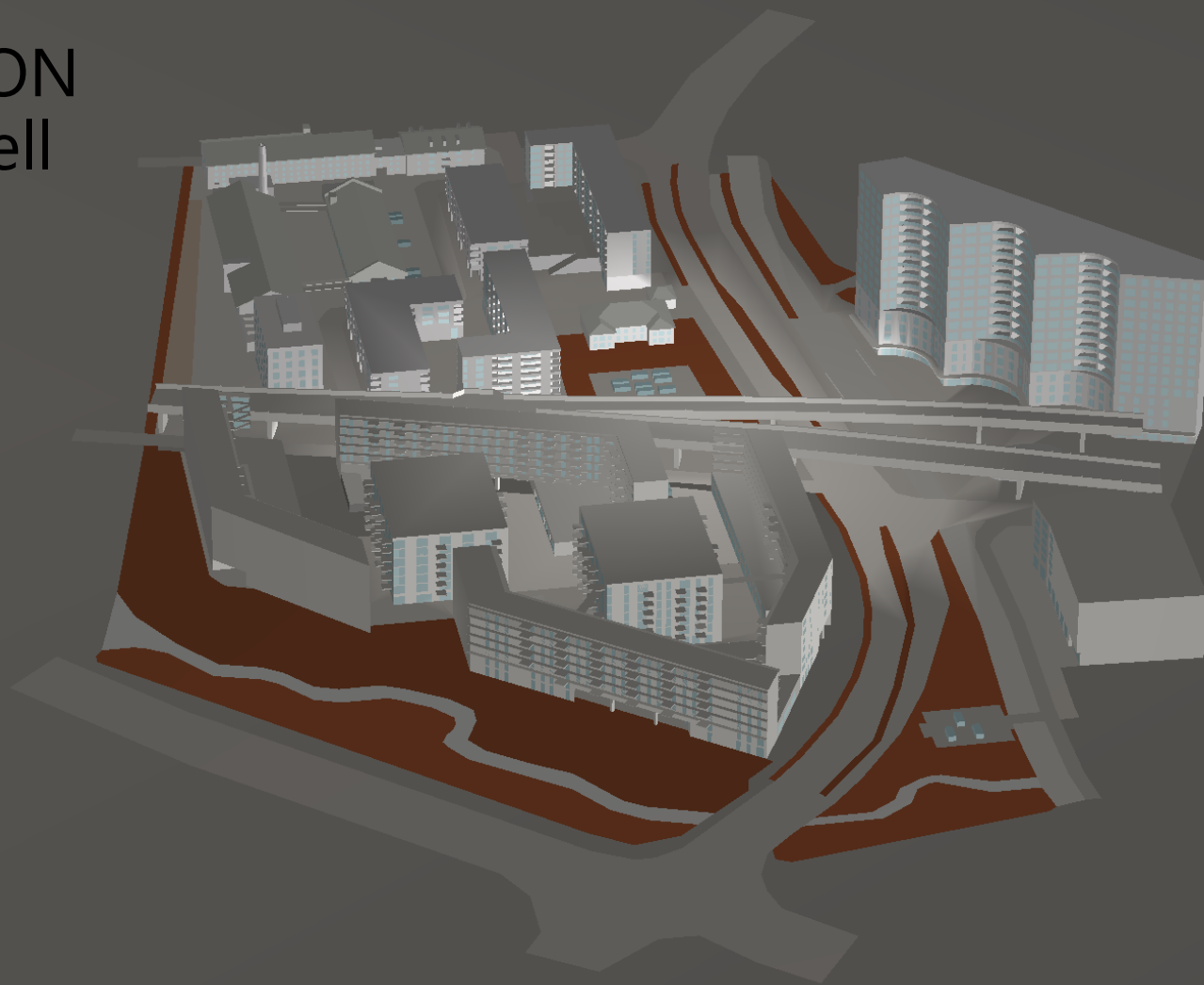


# Sketch-Up Modell

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



# ODEON Modell



Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

# Simulation mit Software ODEON (Version15) 1/2

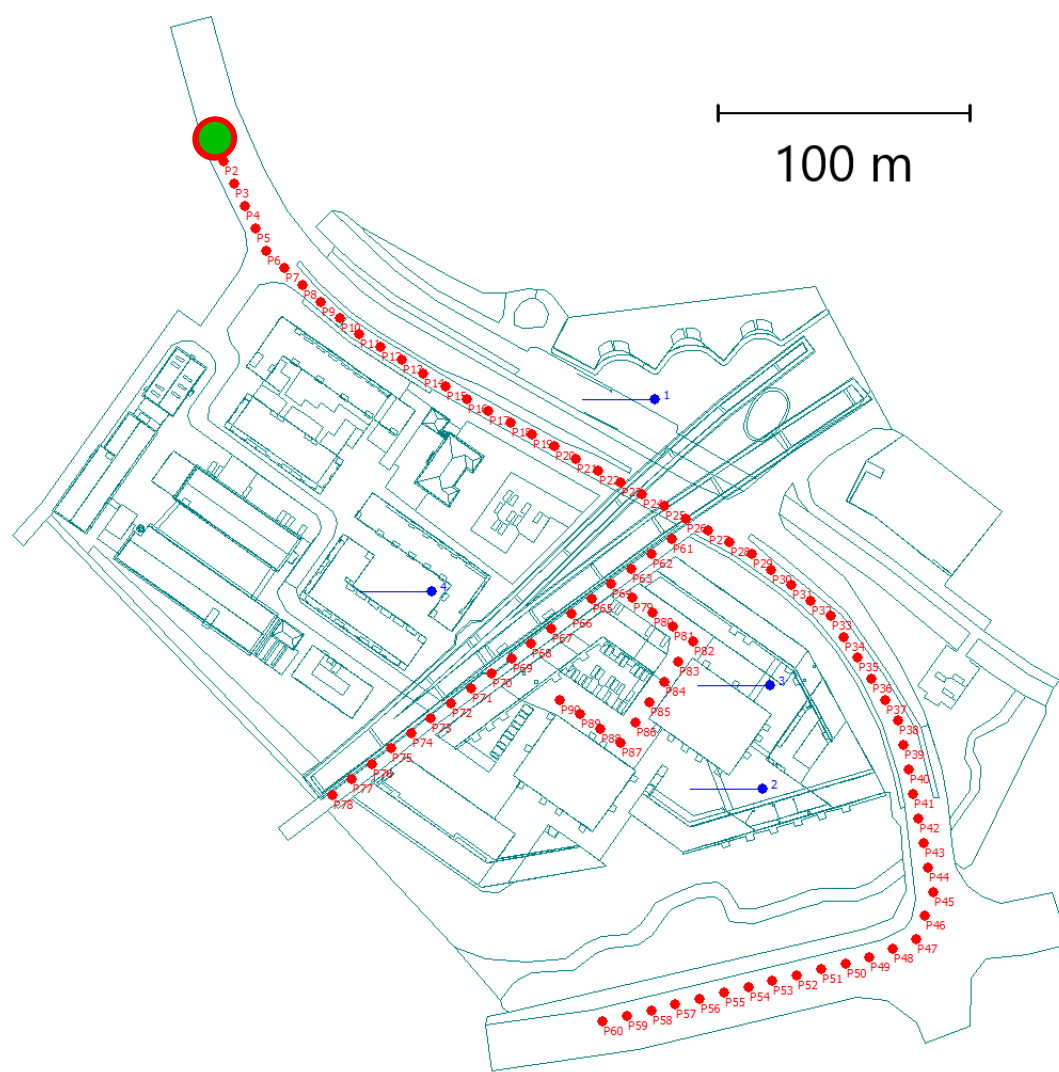
Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Auralisation bewegter Quellen in ODEON nicht möglich → Auralisation mit einem an der Empa entwickelten Tool
- Mit ODEON: Simulation für Punktschallquellen auf Strasse im Abstand von 10 m

aber

- ❖  $h = 0.01$  cm statt 0.00 cm, wegen Probleme bei Simulation mit ODEON
- ❖ Strassen vollständig absorbierend
  - Bodenreflexion unterdrücken, um zeitabhängige Kammfilter- und Flanging-Effekt zu vermeiden  
[Effekte in der Realität sehr schwach, da Fahrzeug-Schallquelle ausgedehnt]

# ODEON Modell der Fahrwege



Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



# Simulation mit Software Odeon (Version15) 2/2

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Berechnung mit reinem Raytracing-Modus
- **Sensitivitätsanalyse** in Bezug auf Schalldruckpegel:
  - 8'000'000 Schallstrahlen notwendig, um stabile Ergebnisse zu erhalten.
- Einpunkt-Mehrkanal-Impulsantwort (2D-Surround-Sound) für jedes Quelle-Empfänger-Paar
- Auralisation → Kurt Heutschi

# Die wichtigsten Ergebnisse

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

Hörversuche ergaben:

- **Absorbierende Fassaden: geringere Belästigung als streuende und reflektierende**
- Stärkste Wirkung an Hörpositionen ohne oder nur mit wenig Direktschall (z.B. in Innenhöfen oder auf den Strassen abgewandten Gebäudeseiten)
- Schallstreuende Fassaden im Vergleich zu reflektierenden etwas weniger lästig
- Leichte Drehung von Gebäuden (Vermeiden von parallelen Wänden): geringere Belästigungen
- Urteile korrelieren mit Schallpegel
- Sorgfältige Planung von Fassaden und Gebäudestellung vorteilhaft

# Inhalt

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Einleitung
- Beispiel 1: Empa Projekt AbsFass
- Beispiel 2: Empa Projekt OSCAR
- **(Unsicherheit / Validierungen)**
- Auralisation von Durchfahrten im Projekt OSCAR
- Ausblick: Berechnungen auf wellentheoretischer Grundlage

- Raumakustische Simulation auf Basis geom. Akustik etabliert
- Möglichkeiten und Grenzen bekannt:
  - Bsp.: Round robin on room acoustical computer simulation\*
- Kleine Validation in Bachelor-Arbeit AbsFass
- Erste Untersuchungen für Aussenraum: Elena Badino et al\*\*
  - Messungen in einem Innenhof + Vergleich mit zwei geometrischen Raumakustik-Simulationsprogrammen: ODEON und Pachyderm.
  - Erste Ergebnisse: Forum Acusticum Torino 2023
- Simulationsverfahren basierend auf Wellentheorie? (siehe später)

\*I. Bork, Report on the 3rd round robin on room acoustical computer simulation–Part II: Calculations, Acta Acust. United Acust. 91 (2005)

I. Bork, Report on the 3rd round robin on room acoustical computer simulation–Part I: Measurements, Acta Acust. United Acust. 91 (2005)

I. Bork, A comparison of room simulation software the 2nd round robin on room acoustical computer simulation, Acta Acust. United Acust. 86 (2000)

M. Vorländer, International Round Robin on room acoustical computer simulations. Proceedings of 15th ICA, Trondheim

\*\*E. Badino, L. Shtrepi, A. Astolfi, V. Serra, An Evaluation of Geometrical Room Acoustics Simulations in Outdoor Settings, 10th Convention of the European Acoustics Association, Forum Acusticum 2023, Torino

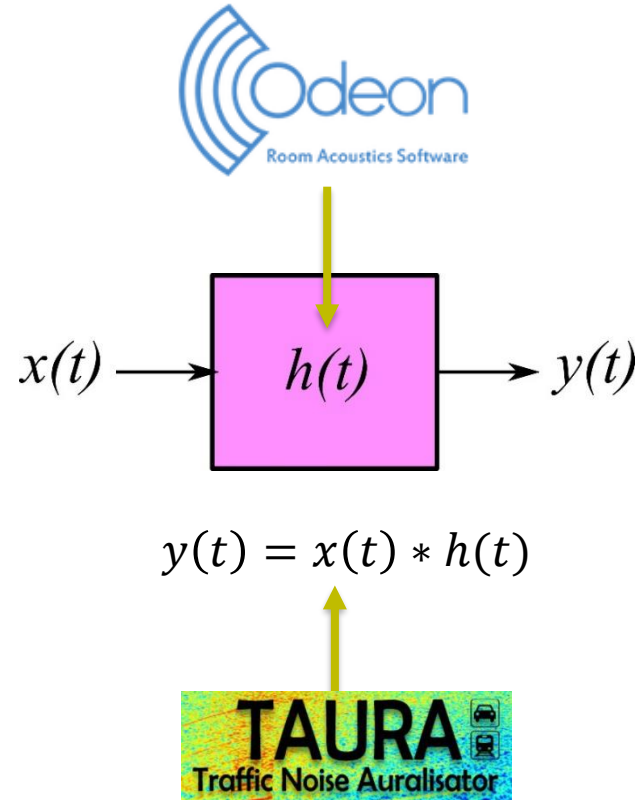
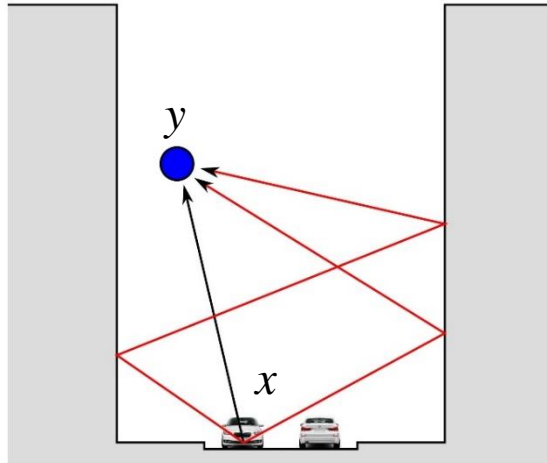
# Inhalt

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Einleitung
- Beispiel 1: Empa Projekt AbsFass
- Beispiel 2: Empa Projekt OSCAr
- (Unsicherheit / Validierungen)
- **Auralisation von Durchfahrten im Projekt OSCAr**
- Ausblick: Berechnungen auf wellentheoretischer Grundlage

# Auralisierung: Prinzip

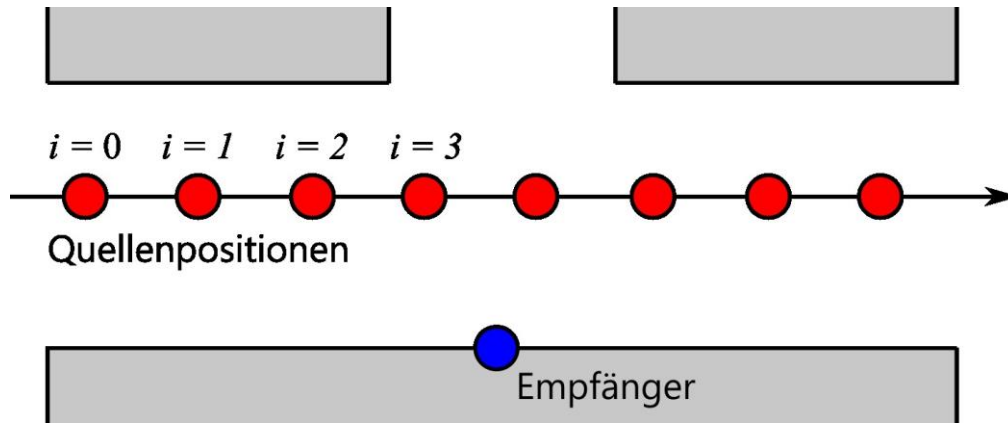
Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



# Auralisierung einer bewegten Quelle: Konzept

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Diskretisierung einer Fahrzeugvorbeifahrt in einzelne Positionen und positionsweise Impulsantwortberechnung

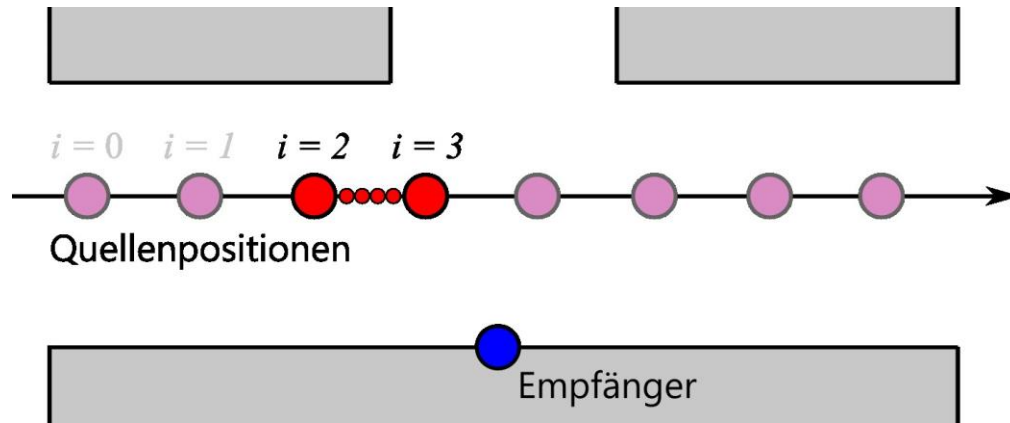


$$h_0(t), h_1(t), \dots, h_{N-1}(t)$$

# Auralisierung einer bewegten Quelle: Konzept

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

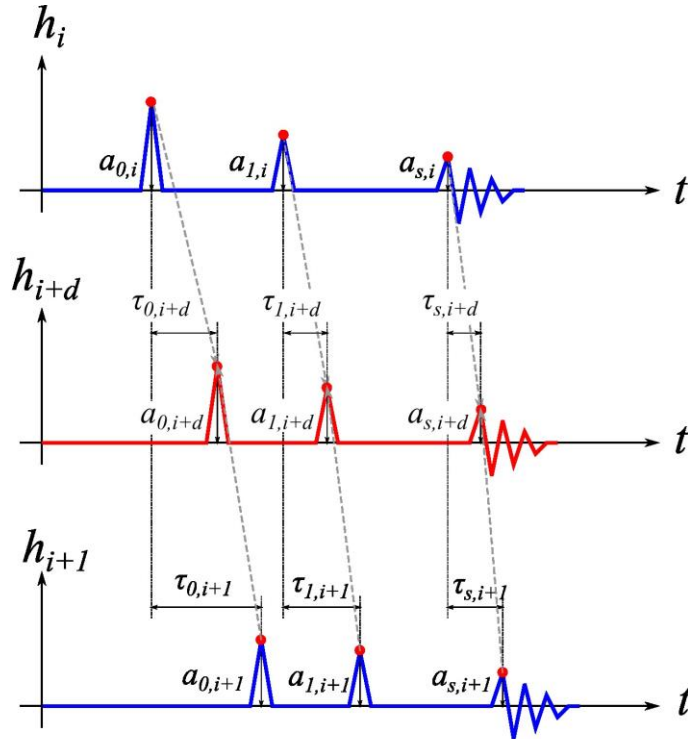
- Aber: Benötigt werden Impulsantworten für beliebige Zwischenpositionen:



Gesucht: Strategie zur  
geometrieblinden  
Interpolation von  
Impulsantworten

# Auralisierung einer bewegten Quelle: Interpolationsaufgabe

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

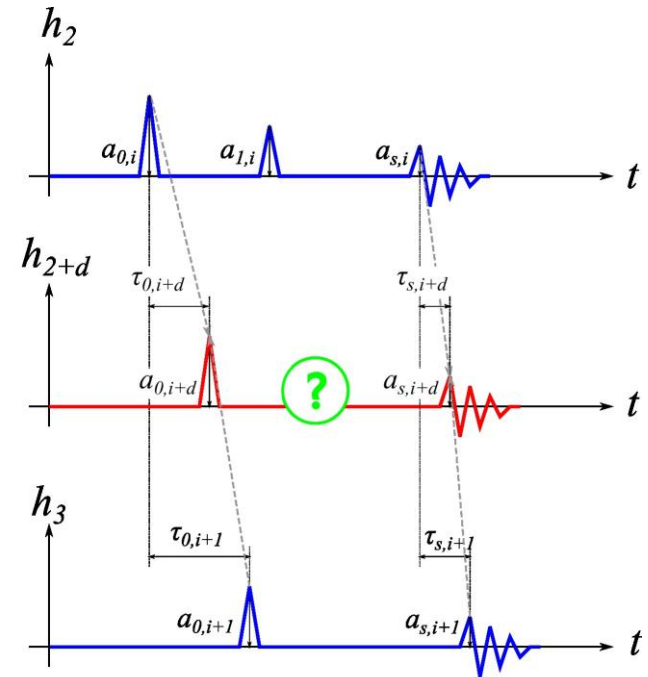
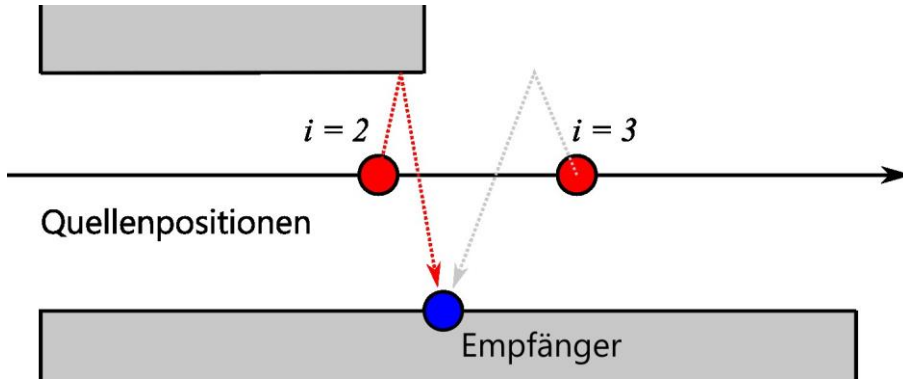


- Aufschlüsselung in einzelne Beiträge
- Interpolation in
  - Zeit
  - Amplitude

# Auralisierung einer bewegten Quelle: Schwierigkeit der Interpolationsaufgabe

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

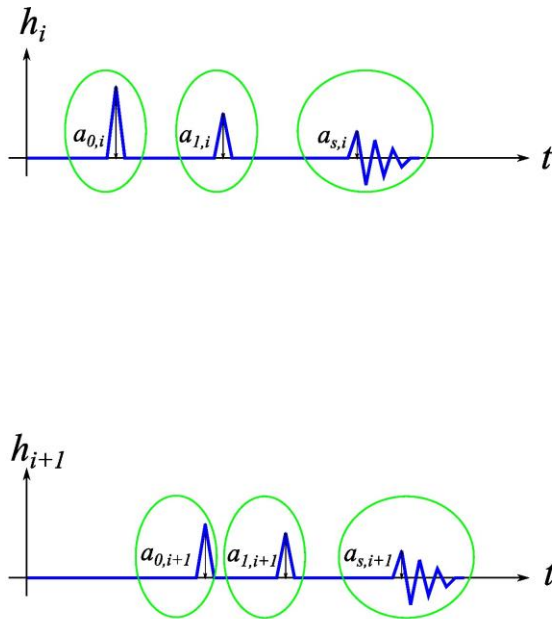
- Zuordnung der einzelnen Beiträge ist nicht immer eindeutig



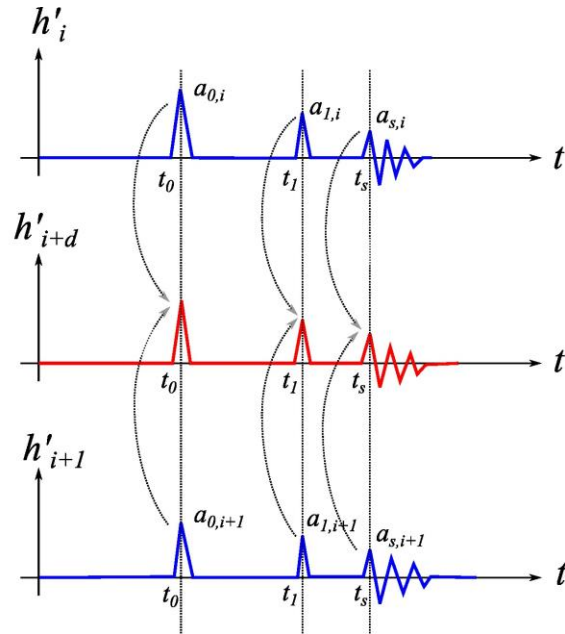
# Auralisierung einer bewegten Quelle: Erster Ansatz: Generische Impulsantworten

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

Original-Impulsantworten



Generische Impulsantworten



Dopplereffekt auf  
Emissionssignal  
anwenden

# Auralisierung einer bewegten Quelle: Zweiter Ansatz: Cross-fading

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

Interpolierte Impulsantwort:  $h_{n+d} = (1 - d) \cdot \tilde{h}_n + d \cdot \tilde{h}_{n+1}$

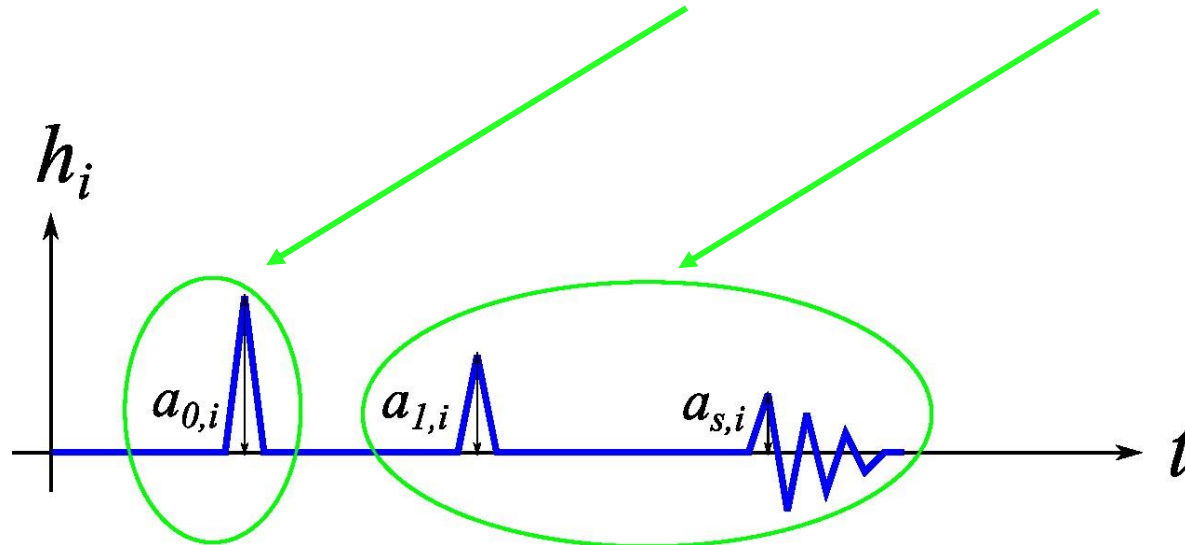
$\tilde{h}_n$  : Schätzung von  $h_{n+d}$  basierend auf  $h_n$

$\tilde{h}_{n+1}$  : Schätzung von  $h_{n+d}$  basierend auf  $h_{n+1}$

# Auralisierung einer bewegten Quelle: Zweiter Ansatz: Cross-fading

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

Separate Behandlung von Direktschall und Reflexionen:



# Auralisierung einer bewegten Quelle: Zweiter Ansatz: Cross-fading

## ■ Direktschall:

- Amplitudenskalierung in  $\tilde{h}_n$  und  $\tilde{h}_{n+1}$  : lineare Interpolation aus Amplituden in  $h_n$  und  $h_{n+1}$
- Zeitversatz in  $\tilde{h}_n$  und  $\tilde{h}_{n+1}$  : Interpolation höherer Ordnung aus Laufzeiten in  $h_{n-1}$ ,  $h_n$ ,  $h_{n+1}$  und  $h_{n+2}$

# Auralisierung einer bewegten Quelle: Zweiter Ansatz: Cross-fading

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

## ■ Reflexionen:

- Amplitudenskalierung in  $\tilde{h}_n$  und  $\tilde{h}_{n+1}$  : lineare Interpolation aus Energien in  $h_n$  und  $h_{n+1}$
- Zeitversatz in  $\tilde{h}_n$  und  $\tilde{h}_{n+1}$  : lineare Interpolation aus Kreuzkorrelation von  $h_n$  und  $h_{n+1}$

# Auralisierung einer bewegten Quelle

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

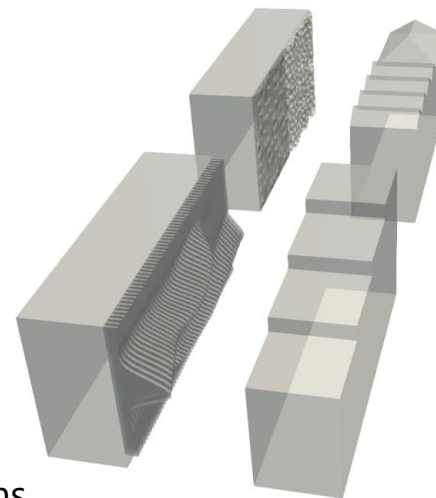
- Fazit:
  - Erzeugung von plausiblen Immissionssignalen (auch mehrkanalig) möglich
  - Robustes Verfahren, meist frei von Artefakten
  - Ideen gesucht für frequenzneutrale Zeitachsenstauchung im Crossfading Ansatz

# Inhalt

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

- Einleitung
- Beispiel 1: Empa Projekt AbsFass
- Beispiel 2: Empa Projekt OSCAR
- (Unsicherheit / Validierungen)
- Auralisation von Durchfahrten im Projekt OSCAR
- **Ausblick: Berechnungen auf wellentheoretischer Grundlage**

- **Auralisierungswerkzeug für Planer und Architekten**
  - Athari, S. (2023). A hybrid acoustics simulation of 3D urban street canyon design scenarios with multiple reflections used for auralising a moving sound source [PhD thesis, ETH Zurich]
- **Beschleunigung durch Einsatz von GPU**
  - Montanaro, H., Knöpfel, J., Heutschi, K., & Pieren, R. (2022). Parallelized FDTD simulations to improve engineering models of urban road traffic noise. In ICA 2022 proceedings.
  - Montanaro, H., Lincke, D., Van Renterghem, T., Heutschi, K., & Pieren, R. (2023). Memory efficient GPU-accelerated 3D FDTD acoustic simulations in turbulent fields. Forum Acusticum 2023.



<https://www.youtube.com/@SahandAthari/videos>

# Publikationen Empa

OSCAR: Empa Bericht 5211.01616: Klangbewusste Gestaltung von Gebäuden: Akustische Gestaltung von Gebäudearchitektur und Aussenraumgestaltung - Schlussbericht 10. August 2021. [Link](#)

AbsFass: Empa Bericht 5214.027540 Akustische Wirkung von schallabsorbierenden Fassaden in Hinterhofsituationen: 16. Juni 2021. [Link](#)

Athari, S. (2023). A hybrid acoustics simulation of 3D urban street canyon design scenarios with multiple reflections used for auralising a moving sound source [Doctoral dissertation, ETH Zurich]. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000607512>

Eggenschwiler, K., Jansohn T., Blau M., Schäffer, B. Effects of sound absorbing facades on the acoustical quality in different simulated inner courtyard situations, submitted Acta Acustica 2023

Eggenschwiler, K., Heutschi, K., Taghipour, A., Pieren, R., Gisladdottir, A., & Schäffer, B. (2022). Urban design of inner courtyards and road traffic noise: influence of façade characteristics and building orientation on perceived noise annoyance. Building and Environment, 224, 109526 (17 pp.). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109526>

Gisladdottir, A., Heutschi, K., Taghipour, A., Pieren, R., & Eggenschwiler, K. (2020). Influence of facade characteristics on perceived annoyance from moving cars in urban living environments. In Proceedings of the FA2020 conference (pp. 77-82). <https://doi.org/10.48465/fa.2020.0079>

Taghipour, A.; Athari, S.; Gisladdottir, A.; Sievers, T.; Eggenschwiler, K. Room acoustical parameters as predictors of acoustic comfort in outdoor spaces of housing complexes. Front. Psychol. 2020, 11, 344 (17 pp.). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00344>

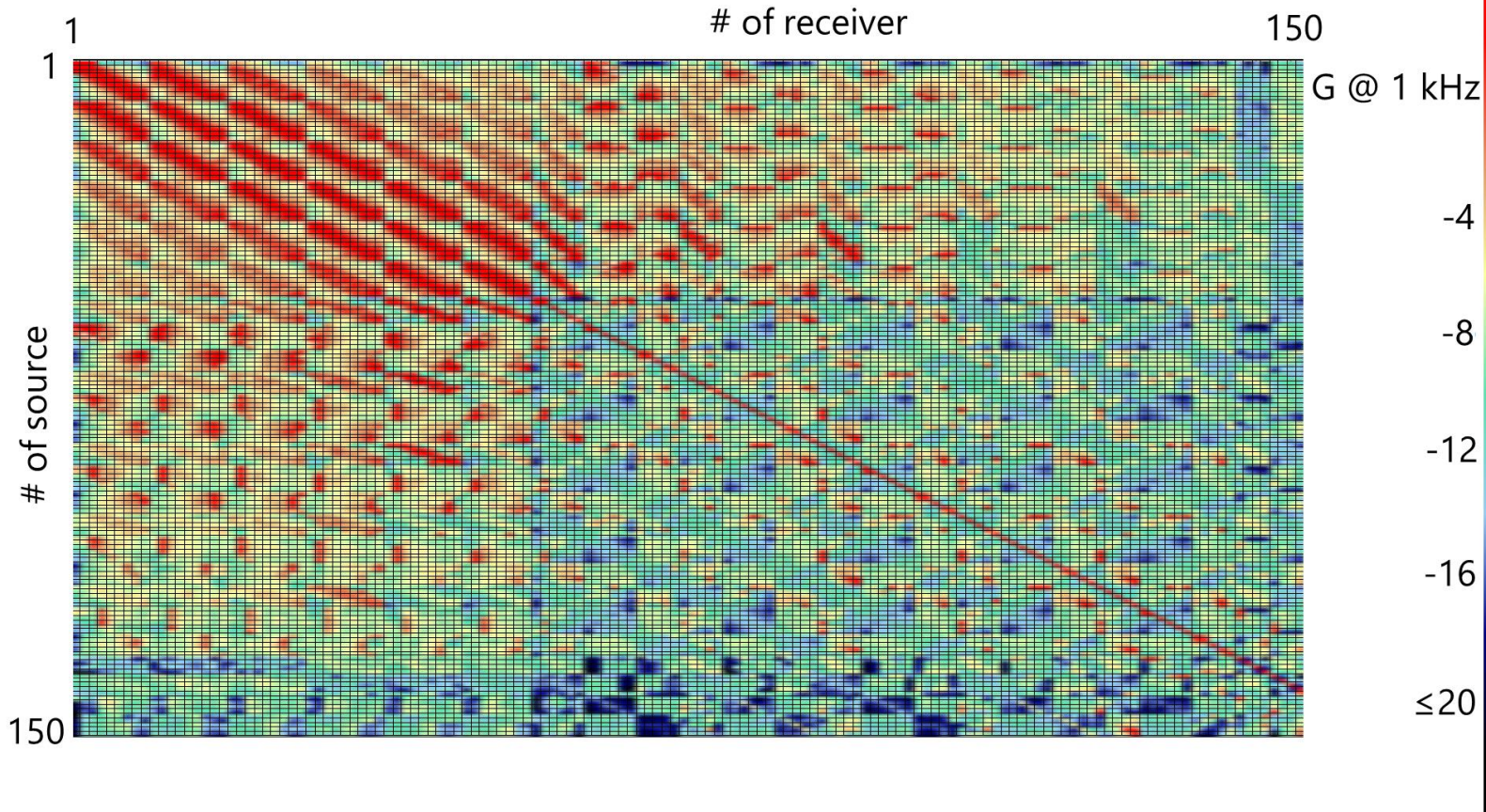
Taghipour, A.; Sievers, T.; Eggenschwiler, K. Acoustic comfort in virtual inner yards with various building facades. Int. J. Environ. Res. Public Health 2019, 16 (2), 249 (20 pp.). <https://doi.org/10.3390/ijerph16020249>

Sievers, T.; Eggenschwiler, K.; Taghipour, A.; Blau, M. Untersuchungen zur raumakustischen Aufenthaltsqualität in Innenhöfen von Wohnbauten. Presented at the DAGA 2018, München, Germany, March 19-22, 2018; DEGA; pp 1038-1041.



# Matrix Methode

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



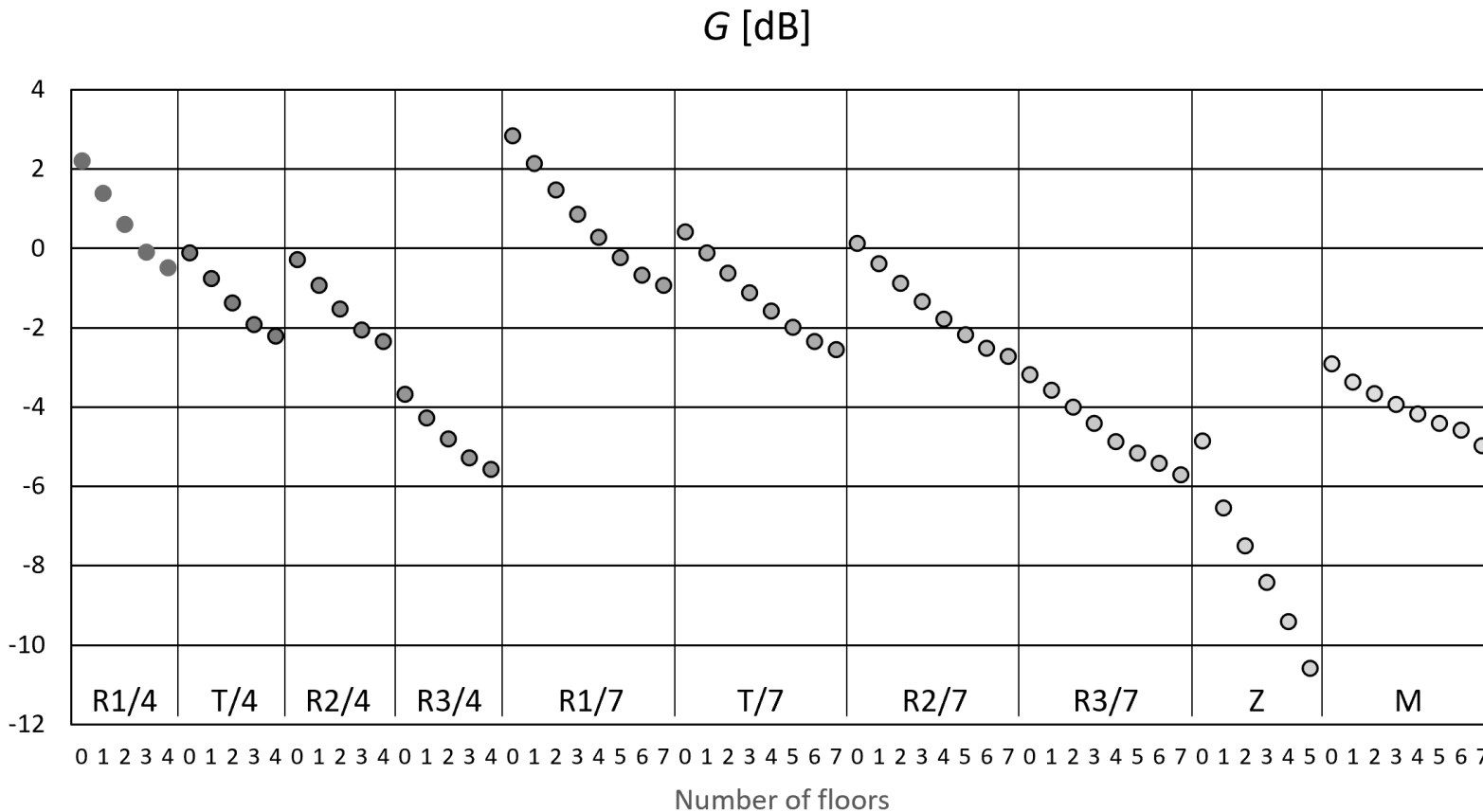
# Matrix Methode

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

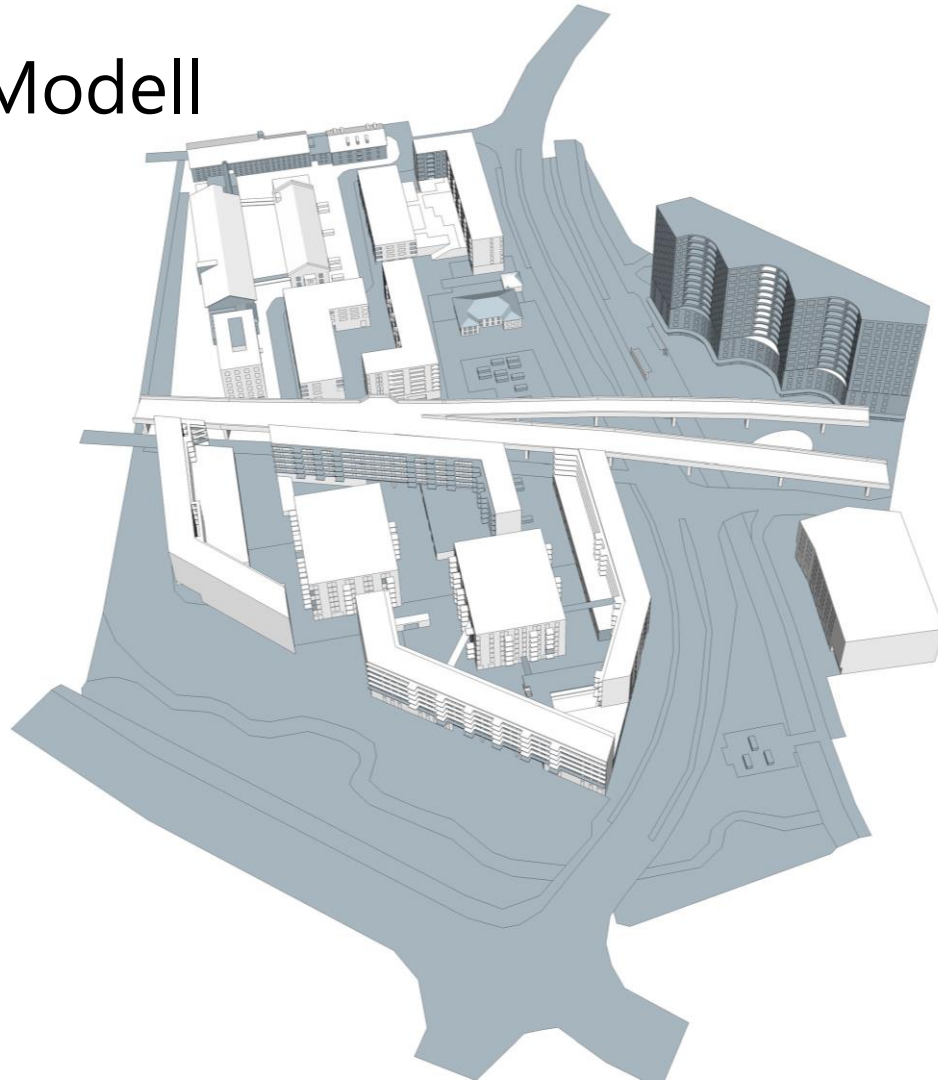
Model	Anzahl Quellen/Empfänger Positionen		Anzahl Übertragungspfade	
	4 Stockwerke	7 Stockwerke	4 Stockwerke	7 Stockwerke
R1	63	99	3'906	9'702
T	90	138	8'010	18'906
R2	94	142	8'742	20'022
R3	150	222	22'350	49'062
Z	140		19'460	
M	152		22'952	

# Beispiel von Ergebnissen (Mittelwerte)

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



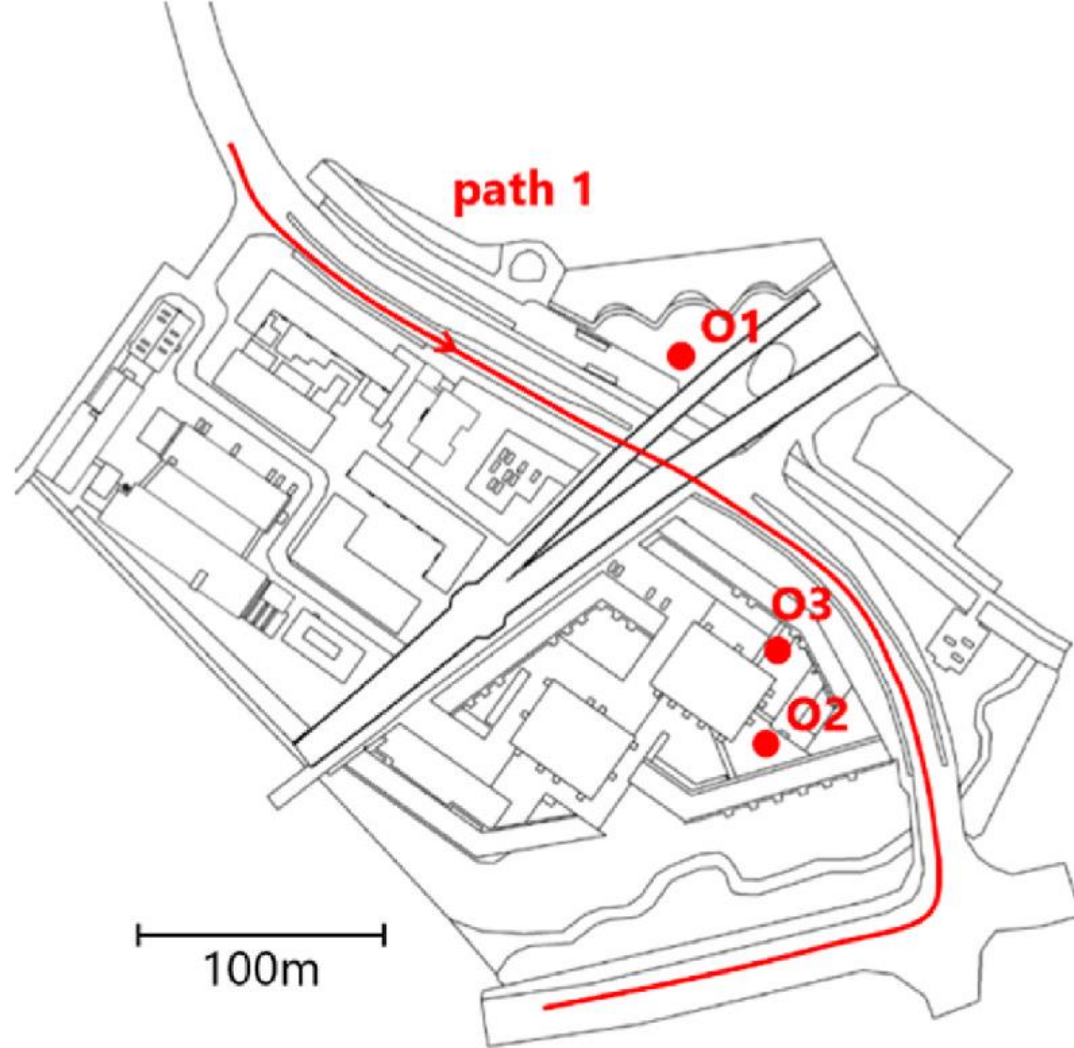
# Sketch-Up Modell



Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

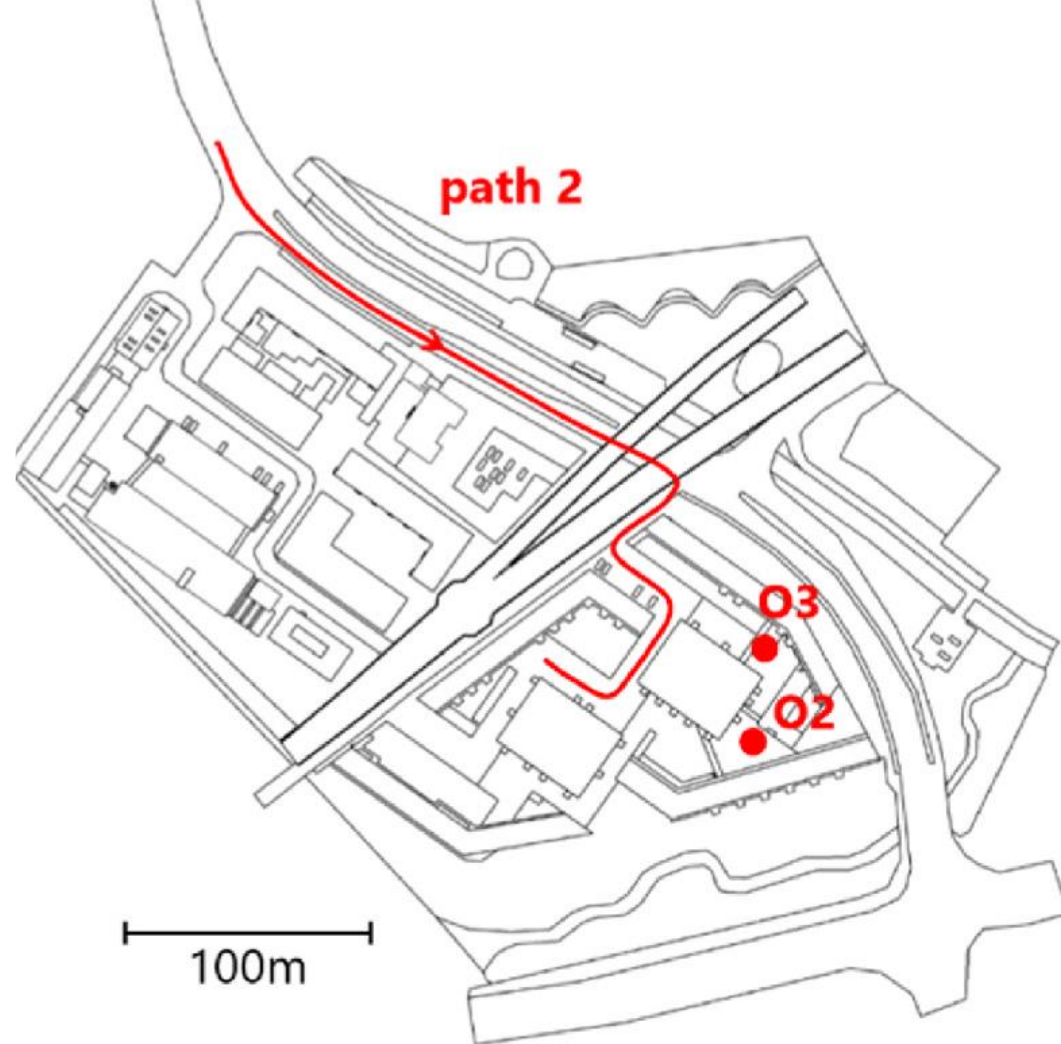
# Szenarios

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



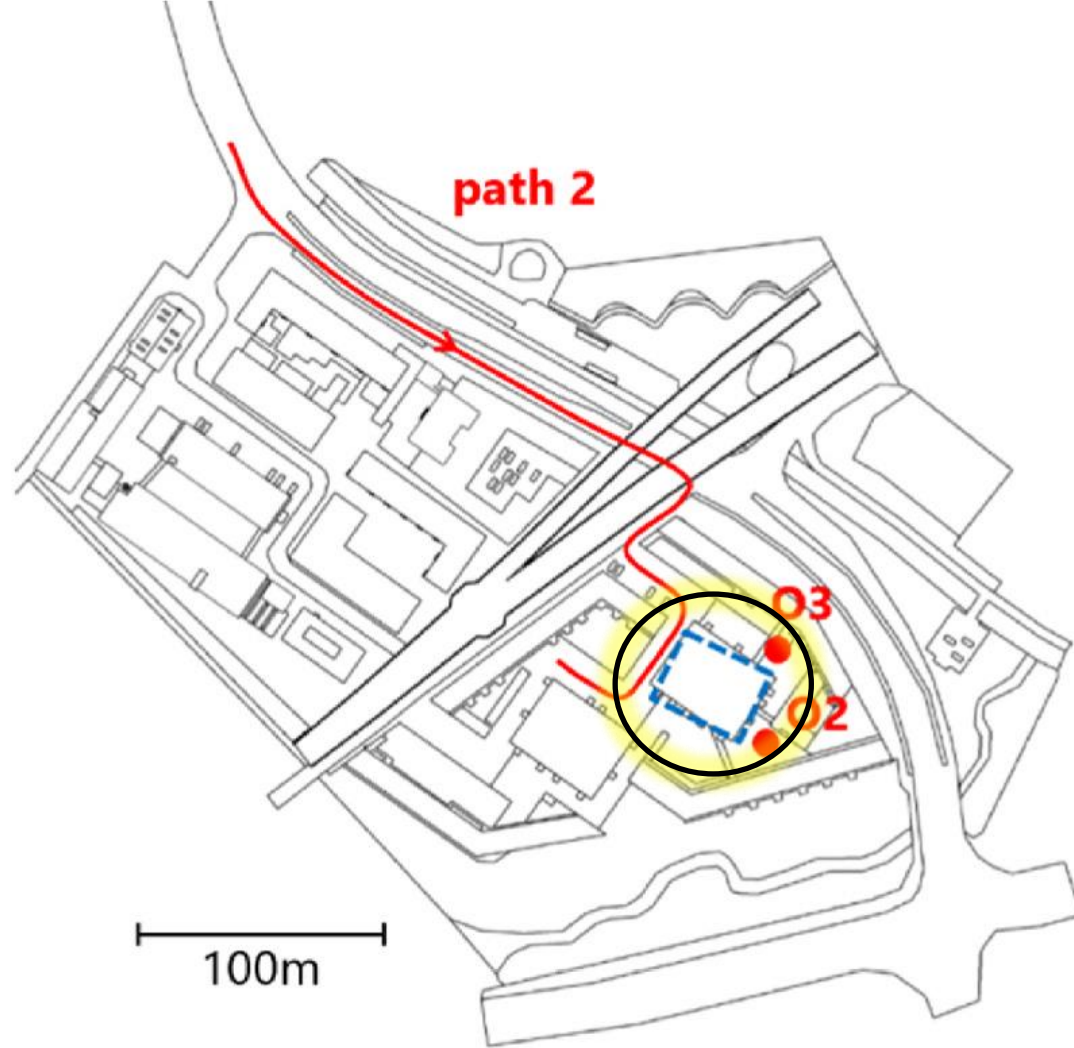
# Szenarios

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



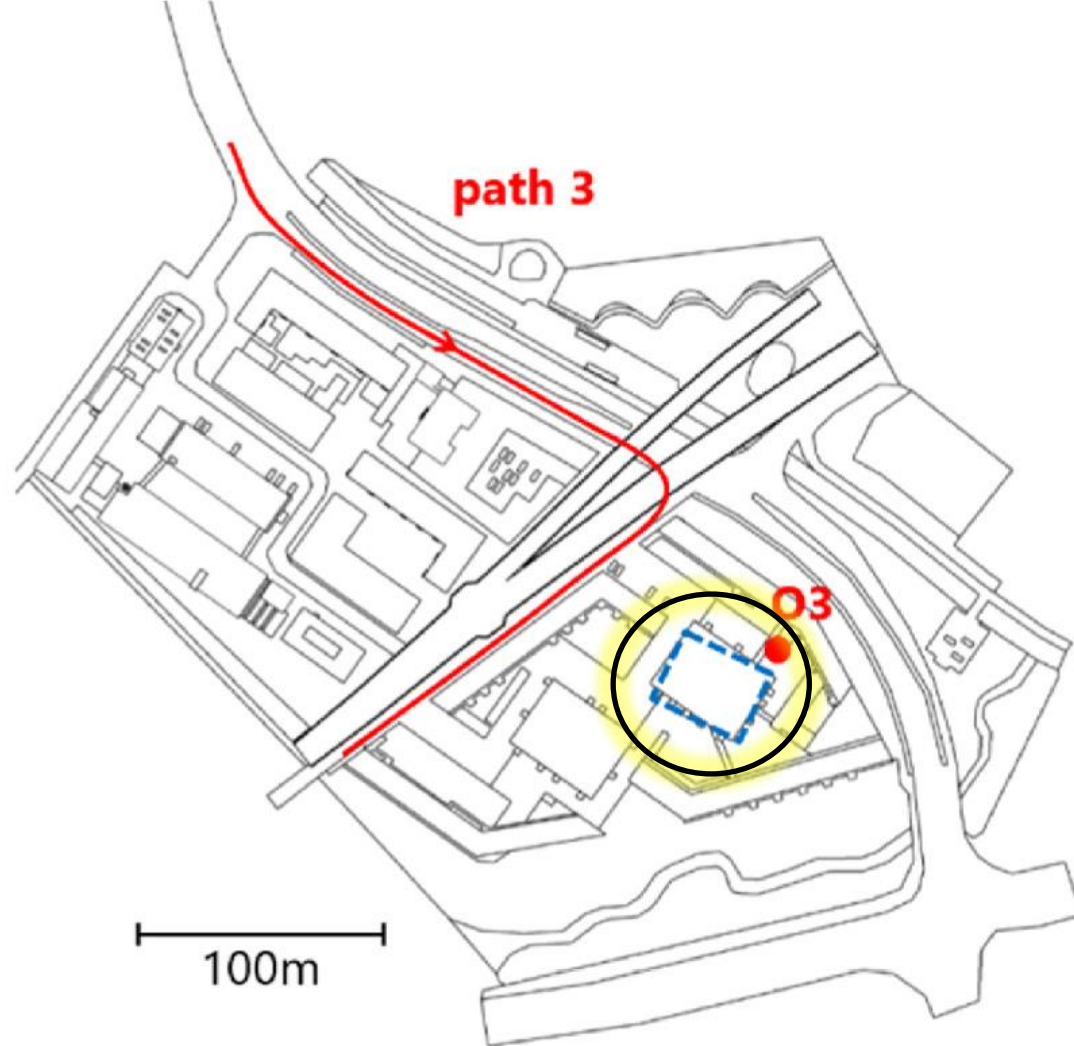
# Szenarios

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023

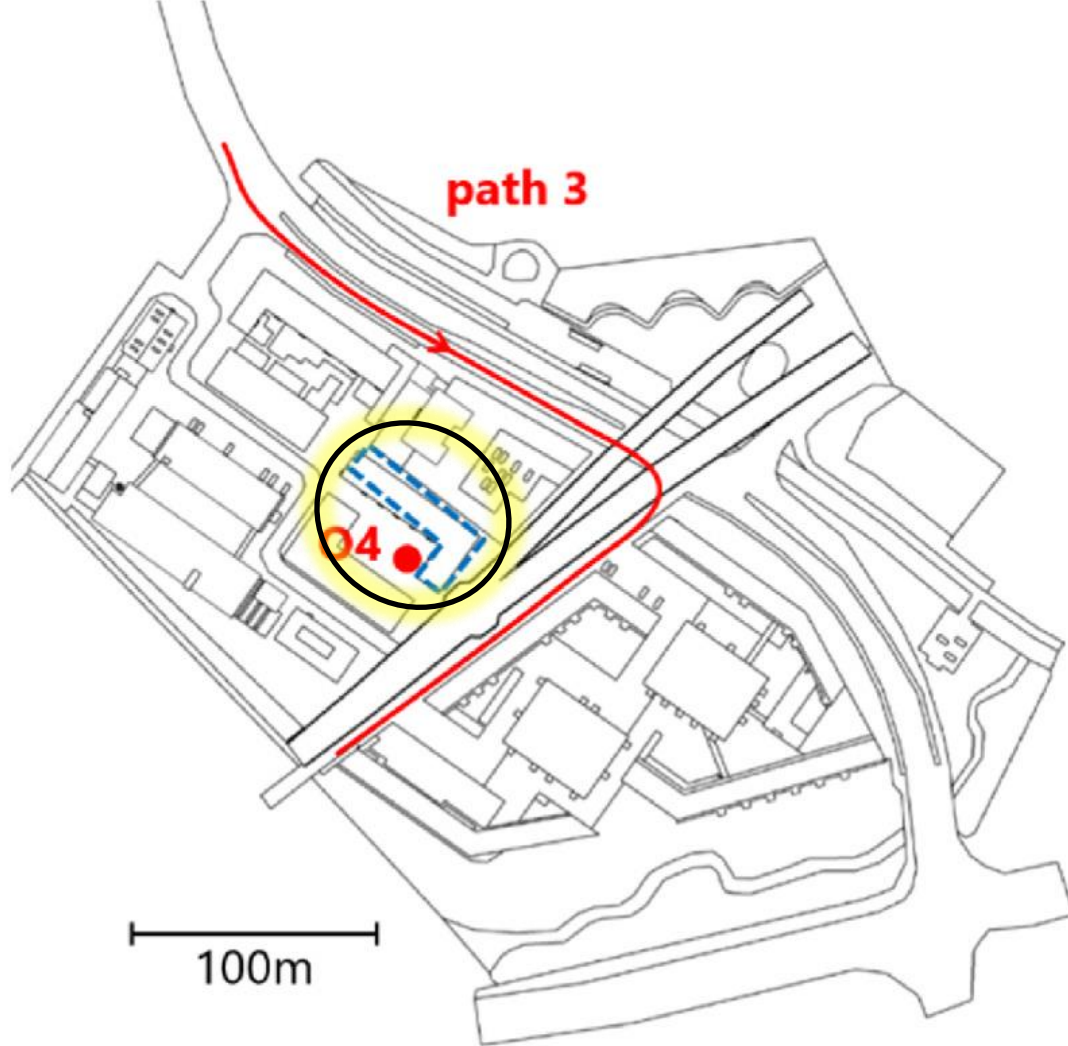


# Szenarios

Kurt Eggenschwiler  
Kurt Heutschi  
SGA-SSA 2023



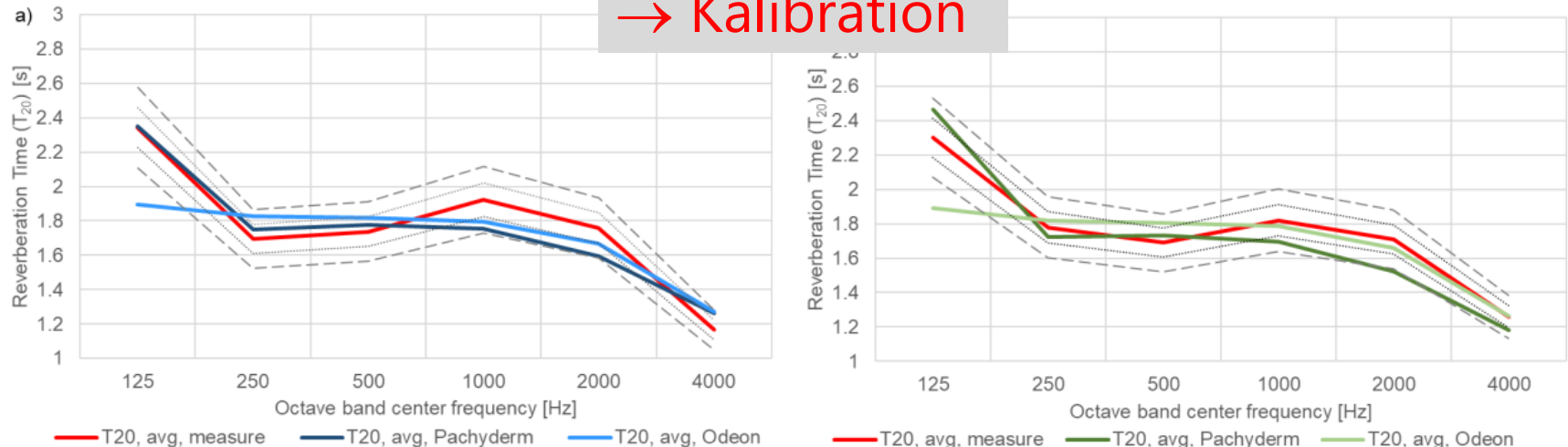
# Szenarios



- Badino et al: An Evaluation of Geometrical Room Acoustics Simulations in Outdoor Settings. Forum Acusticum Torino

$T_{20}$  im Innenhof

$T_{20}$  an Fassaden



**Table 1.** Evaluation of the overall SPL difference found between measurement and simulations

	<i>SPL</i> difference [dB]							MAE façade [dB]	MAE courtyard [dB]
	F1	F2	F3	G1	G5	G8	G9		
Pachyderm	0.1	0.3	0.5	1.6	1.5	1.9	1.8	0.3	1.7
Odeon	0.4	0.6	0.1	1.4	1.3	1.5	1.6	0.4	1.5

MAE = Mean absolut Error

... good agreement ...