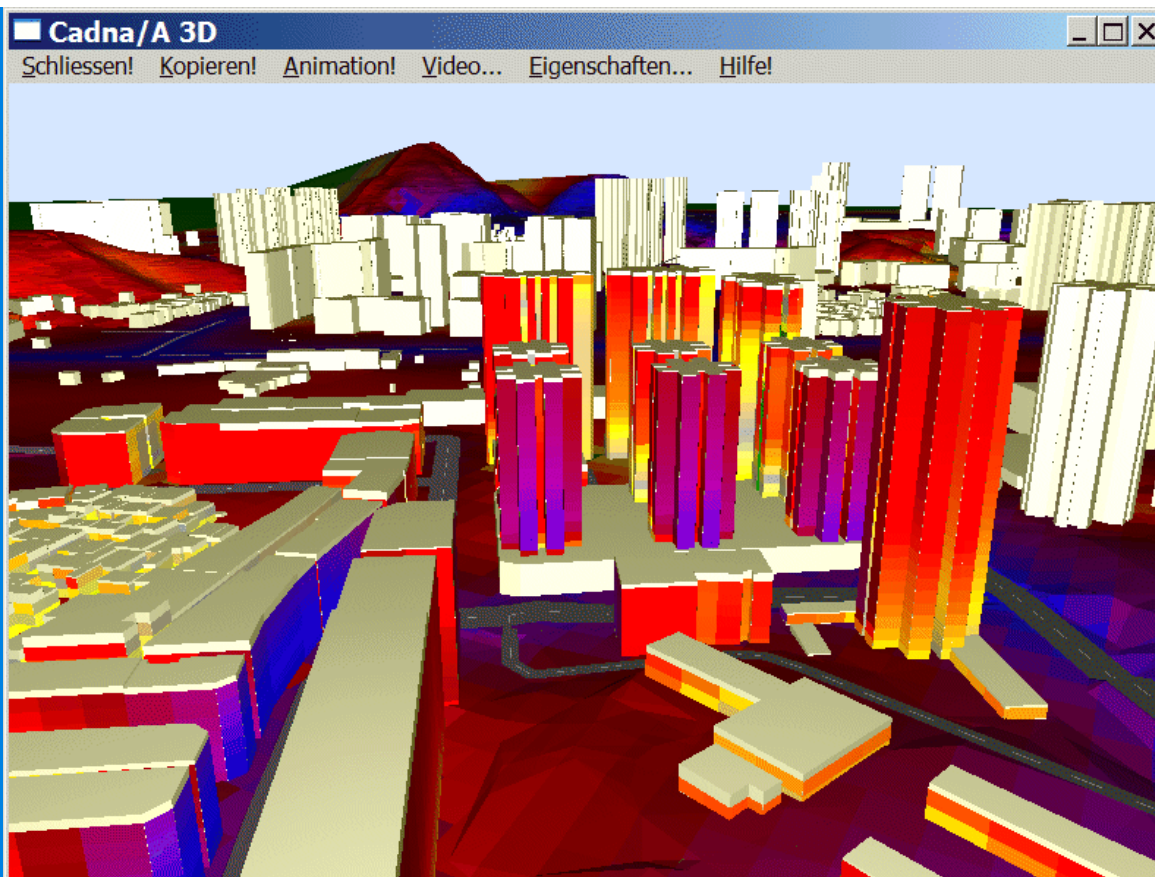


bauphysik*apéro*

SCHALL- UND LÄRMSCHUTZ



Matthias Brechbühl
Dr.sc.techn., dipl. Ing. ETH/SIA

Norsonic Brechbühl AG
3415 Rüegsauschachen

Inhalt

- **Lärmschutzverordnung und Belastungsgrenzwerte**
- **Rechenmodelle**
- **Die wichtigsten Schritte einer Lärmberechnung**
 - Gelände modellieren, Häuser und Hindernisse modellieren
 - Geländemodell
 - Quellendefinition
- **Berechnungen**
- **Ergebnisdarstellung, Auralisation**
- **Weitere Funktionen**
- **Modellgenauigkeit**
- **Trends**

Lärmschutzverordnung (LSV) von 1986 – (Revision 1. Januar 2016)

Art. 1 Zweck und Geltungsbereich

¹ Diese Verordnung soll vor schädlichem und lästigem Lärm schützen.

² Sie regelt:

- a. die Begrenzung von Aussenlärmemissionen, die beim Betrieb neuer und bestehender Anlagen nach Artikel 7 des Gesetzes erzeugt werden;
- b. die Ausscheidung und Erschliessung von Bauzonen in lärmbelasteten Gebieten;
- c. die Erteilung von Baubewilligungen für Gebäude, die lärmempfindliche Räume enthalten und in lärmbelasteten Gebieten liegen;
- d. den Schallschutz gegen Aussen- und Innenlärm an neuen Gebäuden mit lärmempfindlichen Räumen;
- e. den Schallschutz gegen Aussenlärm an bestehenden Gebäuden mit lärmempfindlichen Räumen;
- f. die Ermittlung von Aussenlärmimmissionen und ihre Beurteilung anhand von Belastungsgrenzwerten.

Lärmschutzverordnung (LSV) von 1986 – (Revision 1. Januar 2016)

Diese definiert u.a.:

- **Empfindlichkeitszonen ES I-IV**
- **Belastungsgrenzwerte für**
 - Strassenverkehrslärm
 - Eisenbahnlärm
 - Industrie- und Gewerbelärm
 - Fluglärm
 - Schiesslärm

Lärmschutzverordnung (LSV) von 1986 – (Revision 1. Januar 2016)

Beispiel Strassenlärm:

2 Belastungsgrenzwerte

Empfindlichkeitsstufe (Art. 43)	Planungswert		Immissions- grenzwert		Alarmwert	
	Lr in dB(A)		Lr in dB(A)		Lr in dB(A)	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
I	50	40	55	45	65	60
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

Aus der Lärmschutzverordnung:

Anhang 2⁵⁵
(Art. 38 Abs. 3)

Anforderungen an Berechnungsverfahren und Messgeräte

1 Berechnungsverfahren

¹ Die Verfahren zur Berechnung der Lärmimmissionen müssen berücksichtigen:

- a. die Emissionen der Lärmquellen der Anlage;
- b. die Abstände des Immissionsorts von den Lärmquellen der Anlage oder von den Flugwegen (Abstands- und Luftdämpfung);
- c. die Auswirkungen des Bodens auf die Schallausbreitung (Bodeneffekte);
- d. die Auswirkungen von Bauten und natürlichen Hindernissen auf die Schallausbreitung (Hindernisdämpfung und Reflexionen).

² Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) empfiehlt den Vollzugsbehörden entsprechend dem Stand der Technik geeignete Berechnungsverfahren.

Empfehlung für den Vollzug:



4 > Wegleitung und technische Regelungen

4.1 Berechnungsmodelle

Gemäss Ziffer 1 Absatz 2 des Anhangs 2 LSV empfiehlt das BAFU den Vollzugsbehörden entsprechend dem Stand des Wissens geeignete Berechnungsverfahren.

Berechnungsmethoden

Die heute verwendeten Berechnungsverfahren basieren auf dem Stand der Erkenntnis der 80er Jahre. Das meistangewendete ist das Modell StL-86+.

StL-86+

Die neueste Entwicklung bezüglich Strassenlärmmodell ist SonRoad mit dem Emissionsansatz EMPA 97. Seine Erprobung in der Praxis steht noch aus.

SonRoad,
EMPA 97

Das in BUS 15 beschriebene Modell (SSLM) ist veraltet und darf nicht mehr eingesetzt werden (Hinweis: das im BUS 15 beschriebene Verkehrsmodell behält seine Gültigkeit und kann weiter eingesetzt werden).

BUS 15

Das BAFU empfiehlt - vorbehaltlich der Implementation von SonRoad - für die Berechnung des Strassenverkehrslärm:

Empfehlungen

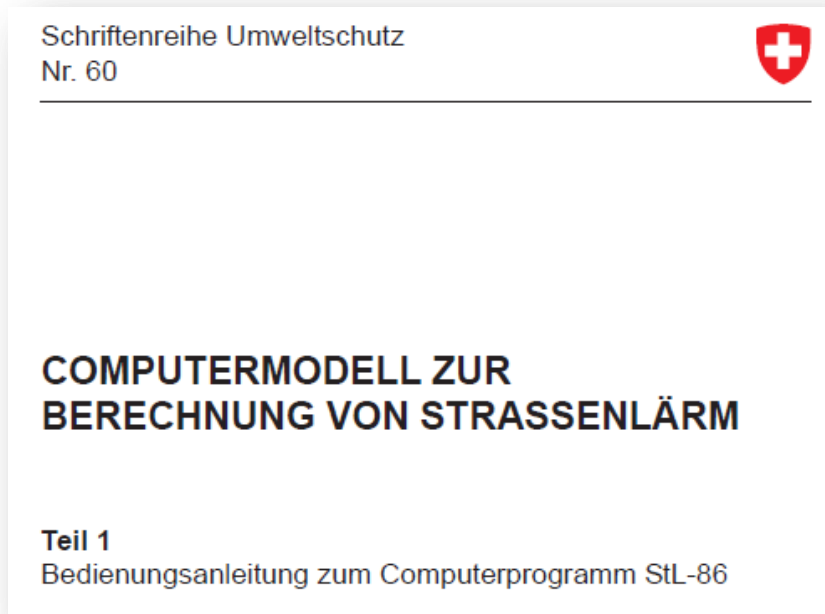
- > im Allgemeinen das Berechnungsmodell StL86+ anzuwenden und
- > in begründeten Fällen SonRoad; speziell für Lärmsituationen, die ausschliesslich oder wesentlich besser durch SonRoad modelliert werden.

Mit dieser Strategie soll die Erprobung von SonRoad in der Praxis möglich werden.

Generell müssen Lärmberechnungen nachvollziehbar und transparent dokumentiert sein. Die für die Emissions- und Ausbreitungsberechnung relevanten Parameter müssen ausgewiesen und begründet werden.

Nachvollziehbarkeit

Primär verwendete Modelle:



- Semibel für Eisenbahnlärm
- ISO9613 für Industrie und Gewerbelärm

Algorithmen/Modelle

- **Alle Modelle arbeiten mit Schallstrahlen, Punkt-Punkt Berechnung**
- **A-Pegel, teilweise spektral**
- **Einfache Formeln – Punkt-Punkt Berechnung**

Immissionswert $L_r = L_{re} - VA - DL - DB + \text{Zuschläge}$

- Emmissionswert L_{re} (Quellenformel für jede Lärmart)
- Abstandsverlust VA
- Luftdämpfung DL
- Bodendämpfung DB
- Zuschläge je nach Lärmart (Reflexionen, Kreuzung, Ampel, Betriebszeit, Ton- und Impulshaltigkeit)

Die wichtigsten Schritte einer Lärmberechnung

Grundlagen sammeln

- Situationsbeschreibung (Pläne, Geländemodell, Zonenpläne)
- Quellen quantifizieren (Geometrie, Schalleistung, Abstrahlung, Spektren, Betriebszeiten)
- Geeignete Rechenvorschrift auswählen (STL86 oder SonRoad, SEMIBEL, ISO9613...)

Die wichtigsten Schritte einer Lärmberechnung

Rechenmodell erstellen

- Gelände modellieren (DGM)
- Häuser und Hindernisse setzen
- Quellen setzen und mit Schallleistung (Spektren) sowie Betriebszeiten versehen
- Zonen definieren, Empfangspunkte definieren

Rechnen und Beurteilen

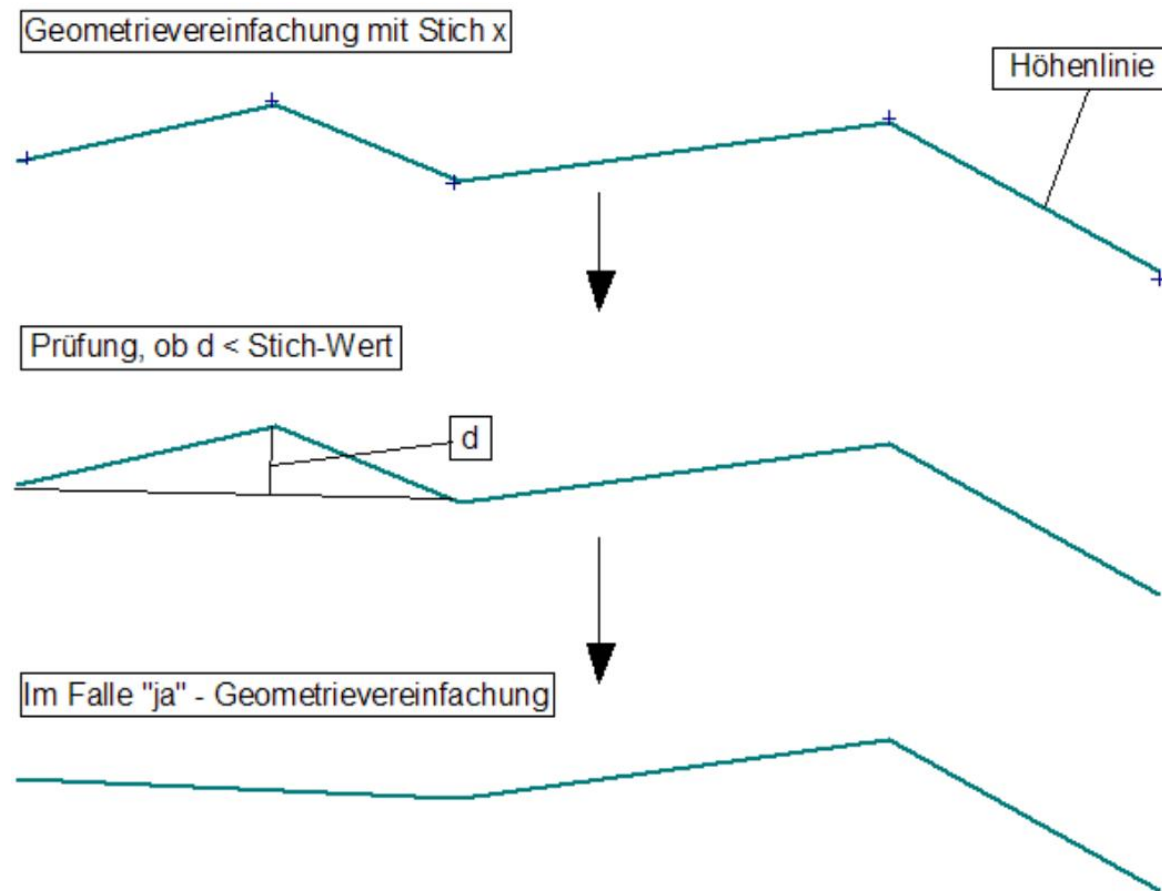
Gelände modellieren (DGM), Häuser und Hindernisse modellieren

- **Handeingabe**
- **Arbeiten auf Bitmaps: Pläne, Fotos, Google Earth...**
- **Elektronische Daten: GIS, DXF, ASCII ...**

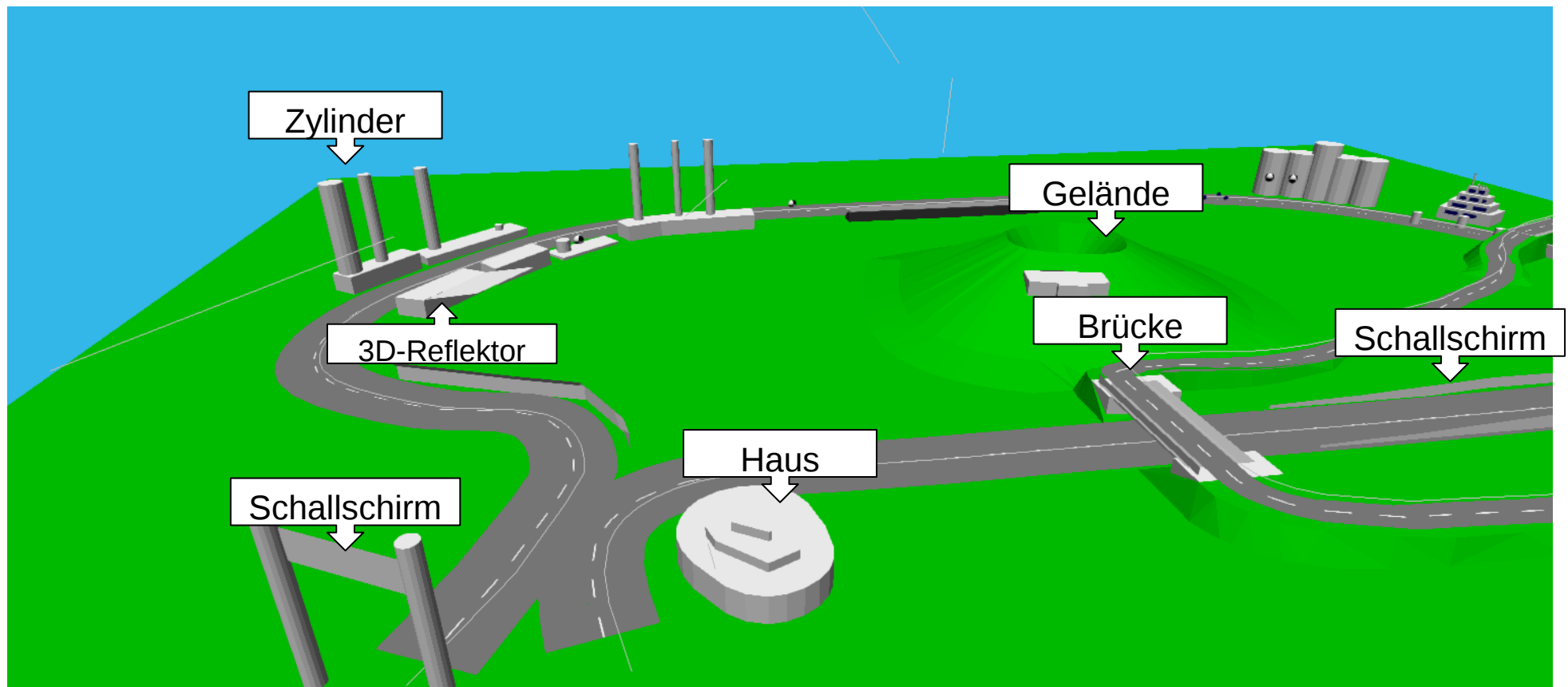
Datenaufbereitung notwendig da:

- Zu differenzierte Modelle
- Zerstückelte Objekte
- Fehlende Objekte/Eigenschaften (Haushöhen, Fassadenabsorption ...)

Vereinfachen der Modelle – reduzieren der Komplexität und Rechenzeit



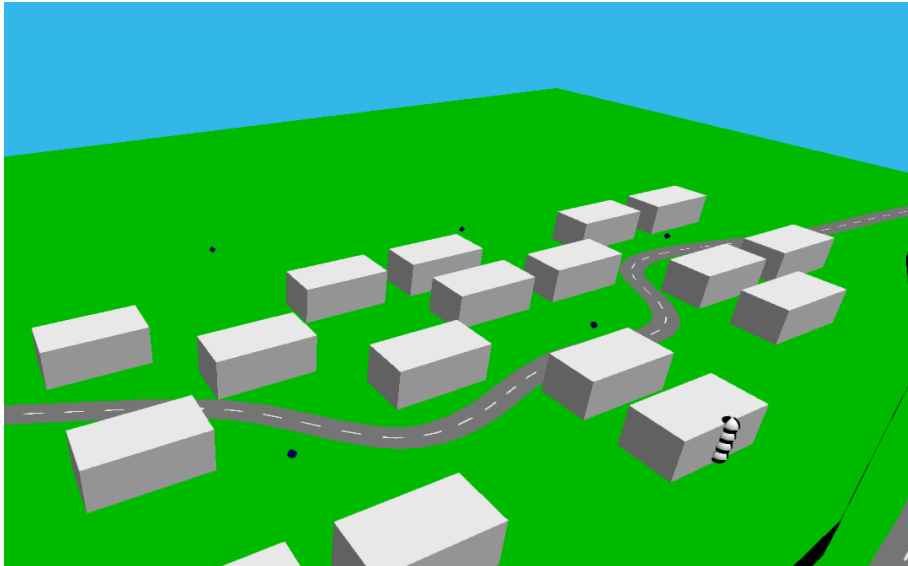
Objekte welche die Schallausbreitung beeinflussen



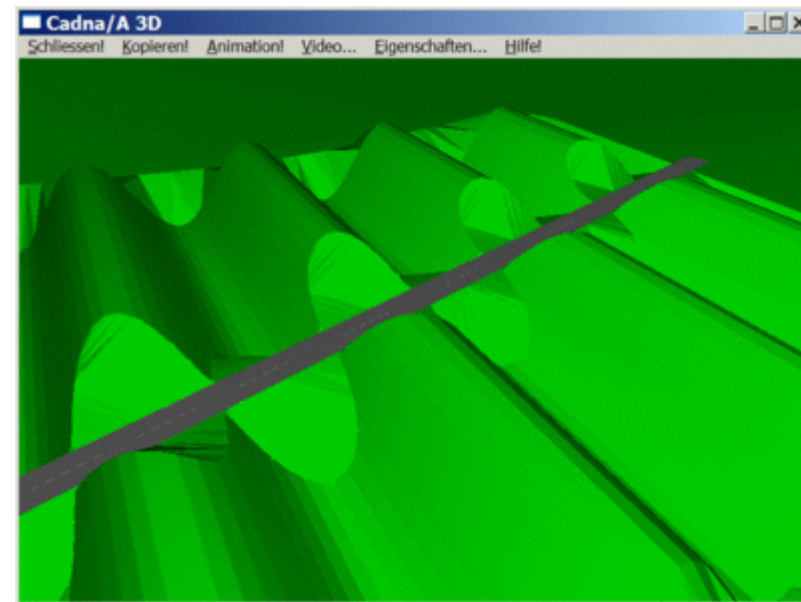
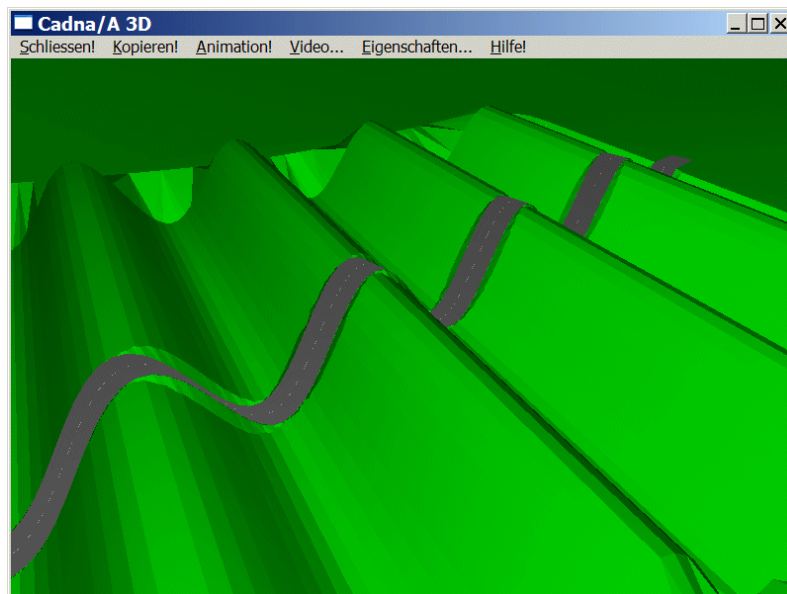
Gebäude

Häuser werden in der Regel als Quader modelliert.

Dächer und Texturen sind jedoch möglich.



Objekte und Geländemodell aneinander anpassen



Quellendefinition

Strasse (abhängig von Rechenvorschrift):

Straße (STL 86)

Bez.: Thunstrasse

ID: ID5

Regelqu./Abstand (m): 0.0

Emission:

☐ Zählraten, DTV: 10000

☒ Genaue Zählraten:

stündliche Verkehrsstärke N:

D: 580.00 E: 0.00 N: 90.00

Lkw-Anteil eta (%):

D: 10.0 E: 0.0 N: 5.0

☐ Lr,e dB(A)

D: 79.9 E: 0.0 N: 70.0

Modellkorrektur MK (dB):

D: 0.0 E: 0.0 N: 0.0

Tag Abend Nacht

Höchstgeschw. (km/h):

Pkw: 60

Straßenoberfläche:

☒ Dstro dB(A): 1.5

☐ 1. Nicht geriff. Gußasphalt

Steigung: Eingabe (%) 0.0

Mehrfachreflexionszuschlag:

☒ Drefl dB(A): 0.0

☐ Mittlere Höhe (m): 0.0

Abstand (m): 0.0

reflektierend

☐ Korrektur K1 = 0

OK Abbruch Geometrie... Hilfe

Punktquelle (Industrie, kleine Quellen oder grosser Abstand)

Punktquelle

Bez.: Spinnmaschine

ID:

Typ: Spektrum

Frequenz (Hz): 500

Einwirkzeit (min):

Tag: 360

Ruhezeit: 0.00

Nacht: 0.00

K0 ohne Boden: 0.0

Result. LwA: Tag 91.4 Abend 91.4 Nacht 91.4

Korrektur: 0.0 0.0 0.0

LwA: L26

Dämmung:

Dämpfung:

normiert A: 0.0

Fläche (m²): 0.00

OK

Abbruch

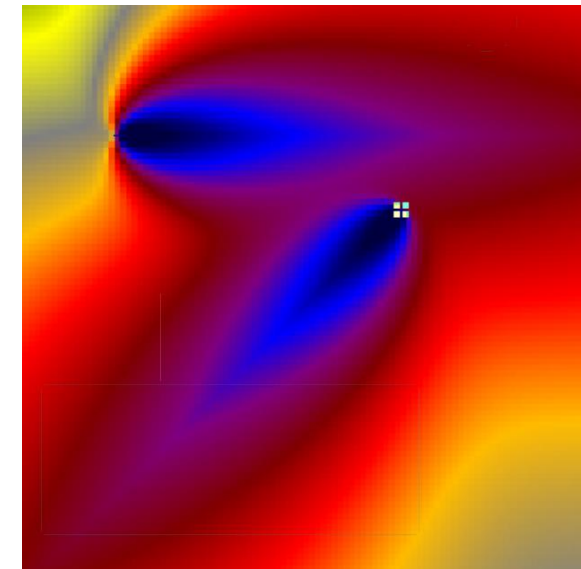
<-- -->

Geometrie...

Richtwirk...

Hilfe

A



Linienquelle (Lastwagenzufahrt, Kühlerzeile,...)

Linienquelle

Bez.: Lastwagenzufahrt

☒ ID:

Typ: Einzelband

Frequenz (Hz): 500

Quelle ist stationär

	Tag	Abend	Nacht
Result. LwA:	103.2	-6.8	-6.8
Result. LwA':	80.0	-30.0	-30.0
Anzahl/h Q:	10.0	0.0	0.0

LwA-PQ: 110

☐ Dämmung:

Dämpfung:

Tag: 0.00

Ruhezeit: 0.00

Nacht: 0.00

K0 ohne Boden: 0.0

Geschw. (km/h): 10.0

☐ normiert A: 0.0

Fläche (m²): 0.00

OK

Abbruch

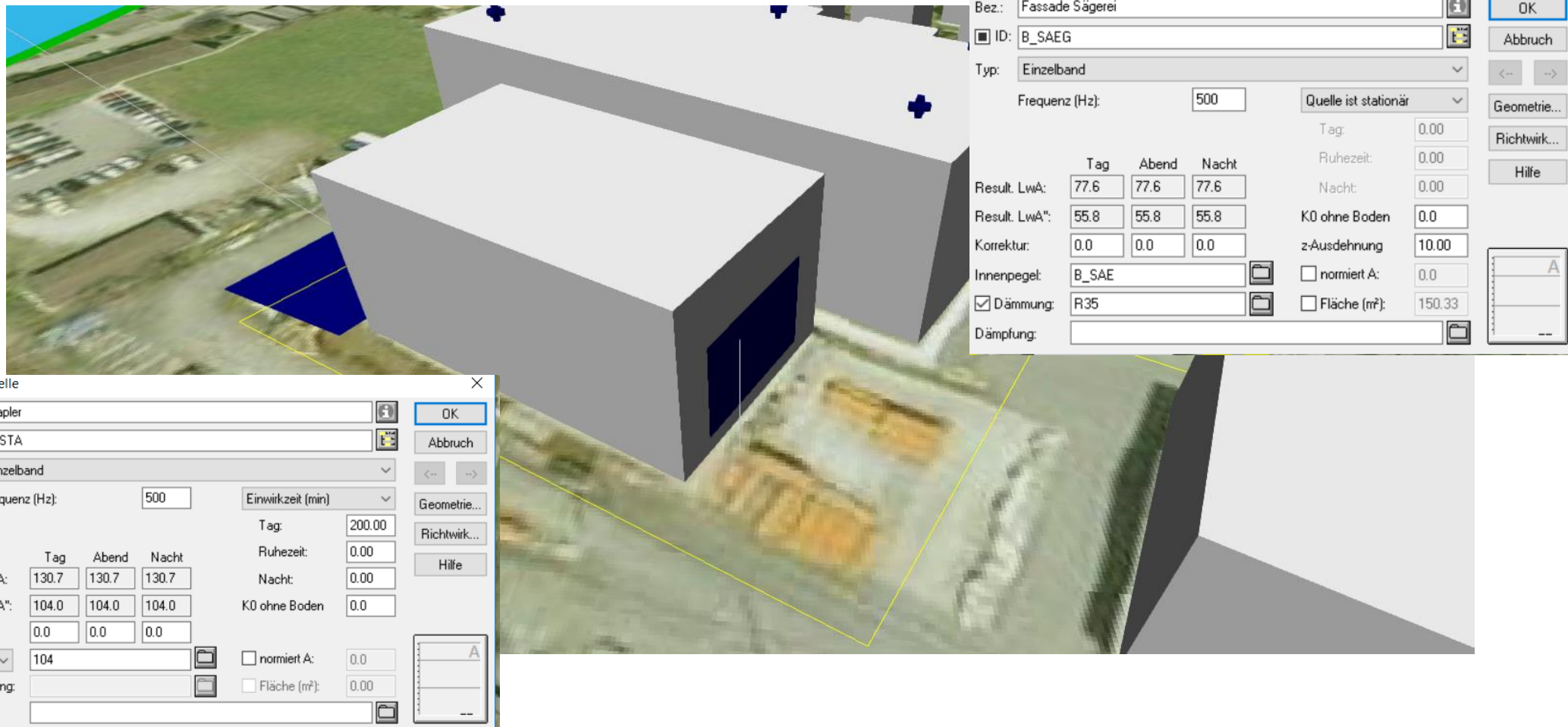
<-- -->

Geometrie...

Richtwirk...

Hilfe

Flächenquelle (Umladeplatz mit Stapler, Fassade, Tor ...)



The image shows a 3D architectural model of a building with a loading area. Two dialog boxes are open, defining surface sources for noise calculation.

vert. Flächenquelle (Fassade Sägerei)

Tag	Abend	Nacht	
Result. LwA:	77.6	77.6	77.6
Result. LwA*:	55.8	55.8	55.8
Korrektur:	0.0	0.0	0.0
Innenpegel:	B_SAE		
☒ Dämmung:	R35		
Dämpfung:			

Quelle ist stationär
 Tag: 0.00
 Ruhezeit: 0.00
 Nacht: 0.00
 K0 ohne Boden: 0.0
 z-Ausdehnung: 10.00
☐ normiert A: 0.0
☐ Fläche (m²): 150.33

Flächenquelle (Stapler)

Tag	Abend	Nacht	
Result. LwA:	130.7	130.7	130.7
Result. LwA*:	104.0	104.0	104.0
Korrektur:	0.0	0.0	0.0
LwA*:	104		
☐ Dämmung:			
Dämpfung:			

Einwirkzeit (min):
 Tag: 200.00
 Ruhezeit: 0.00
 Nacht: 0.00
 K0 ohne Boden: 0.0
☐ normiert A: 0.0
☐ Fläche (m²): 0.00

Weitere Quellen

- **Parkplatz**
- **Ampel**
- **Bahnlinie**
- **Alles lässt sich auf Punktquellen zurückführen (Strahlenmodell!)**

Parkplatz [X]

Bez.: [] [i] [OK]

ID: [] [i] [Abbruch]

Typ: öffentlich (RLS) [v] [<--] [-->]

Berechnung der Emission nach: SN 640578 [v] [Geometrie...]

☐ Emission: L*m,E dB(A)

Tag: 62.3 Nacht: 62.3 Ruhe: -88.0

Lwa (dBA):

Tag: 98.5 Nacht: 98.5 Ruhe: -51.8

☒ Zählraten, Stellplätze: []

Anzahl Stellplätze: 200

Anzahl Stellplätze pro Bezugsgröße f: 1.00

Bewegungen pro Stunde und Stellplatz: []

Tag 2 Nacht 2 Ruhe: 0.000

Zuschlag für Parkplatzart:

☐ Dp 0.0

☒ Berufsverkehr [v]

☐ inkl. Taktmaximalzuschlag

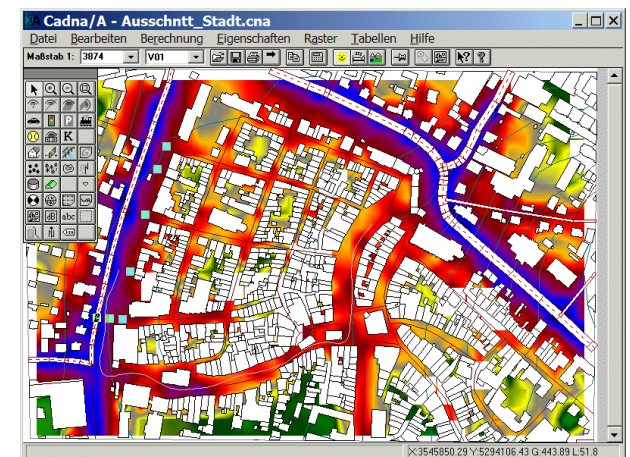
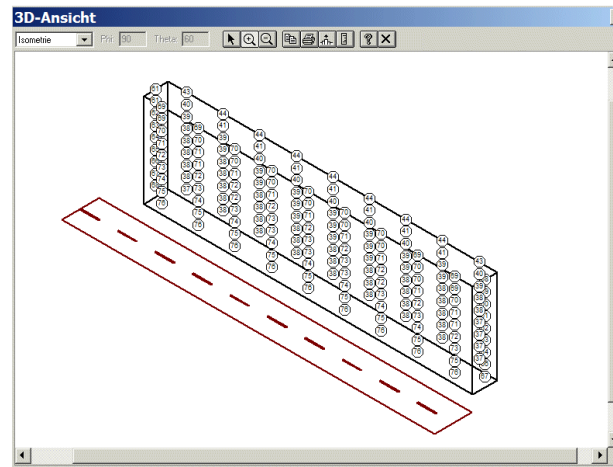
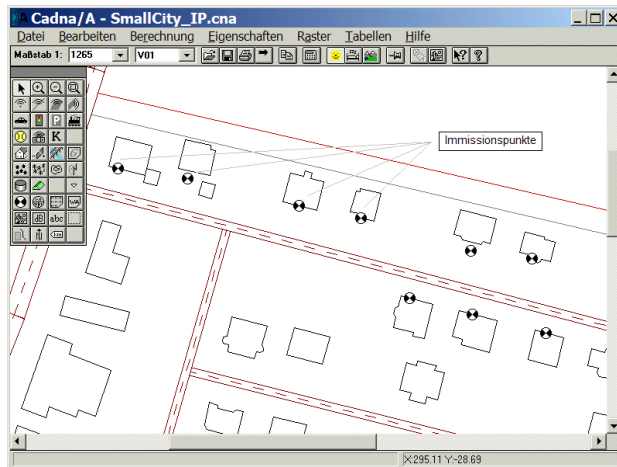
Zuschlag für Fahrbahnoberfläche:

☒ Kstro (dB): 0.0

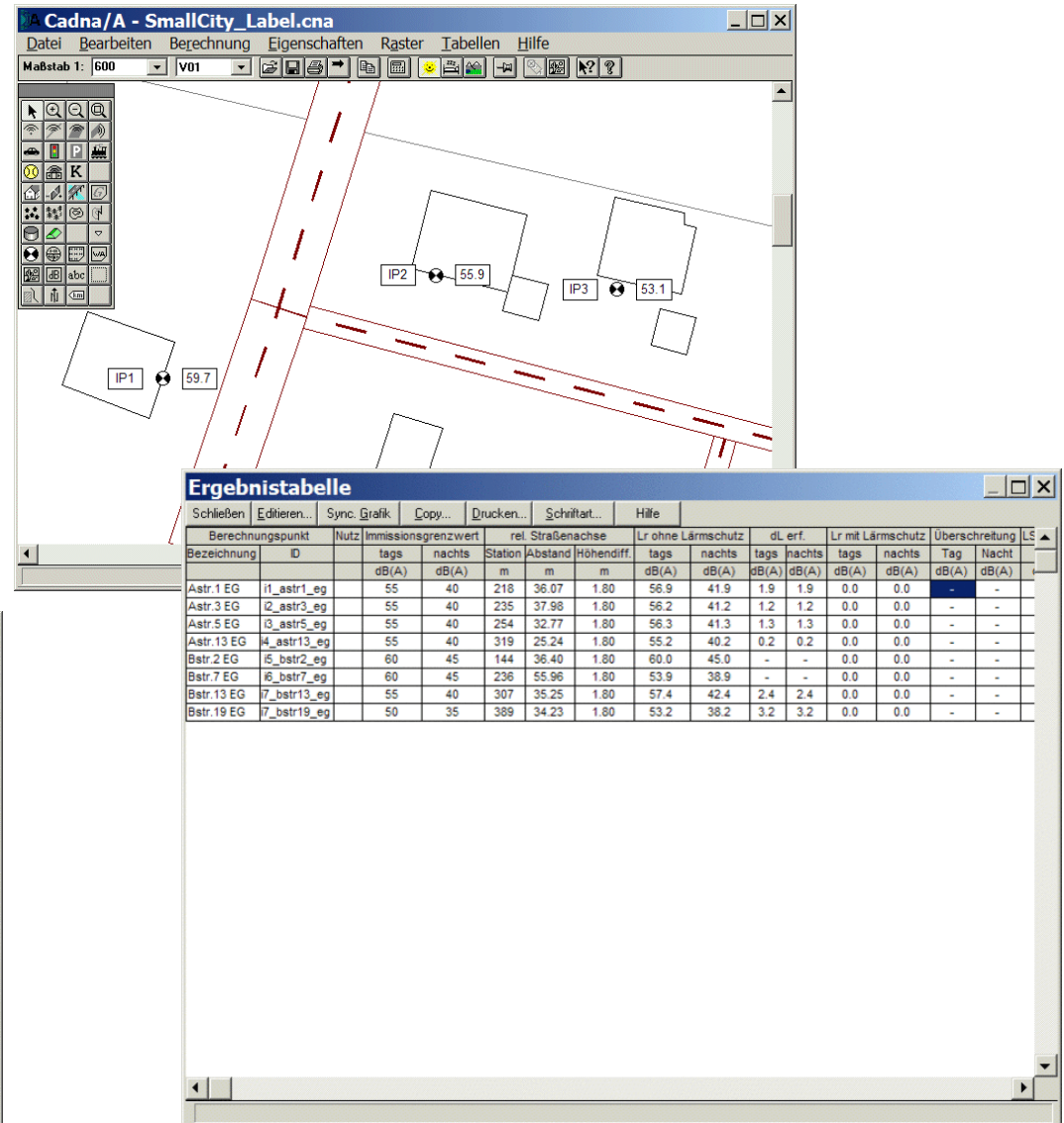
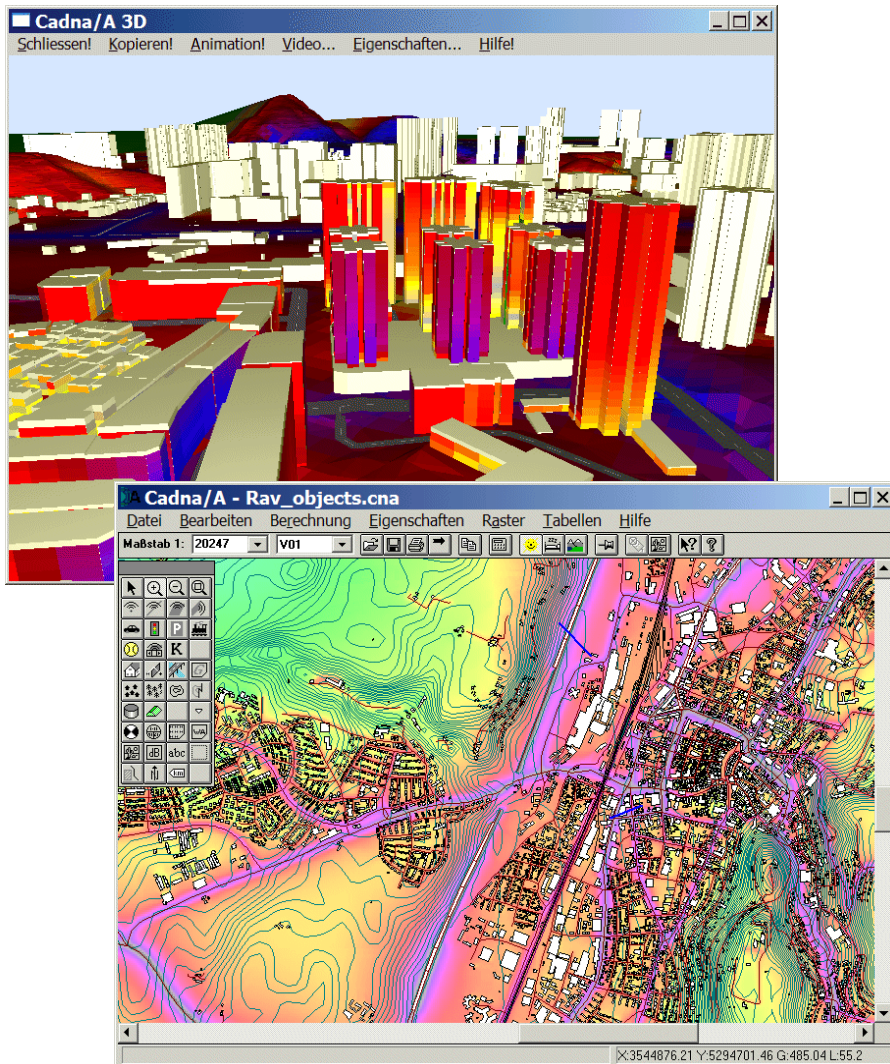
☐ [v]

Typische Berechnungen

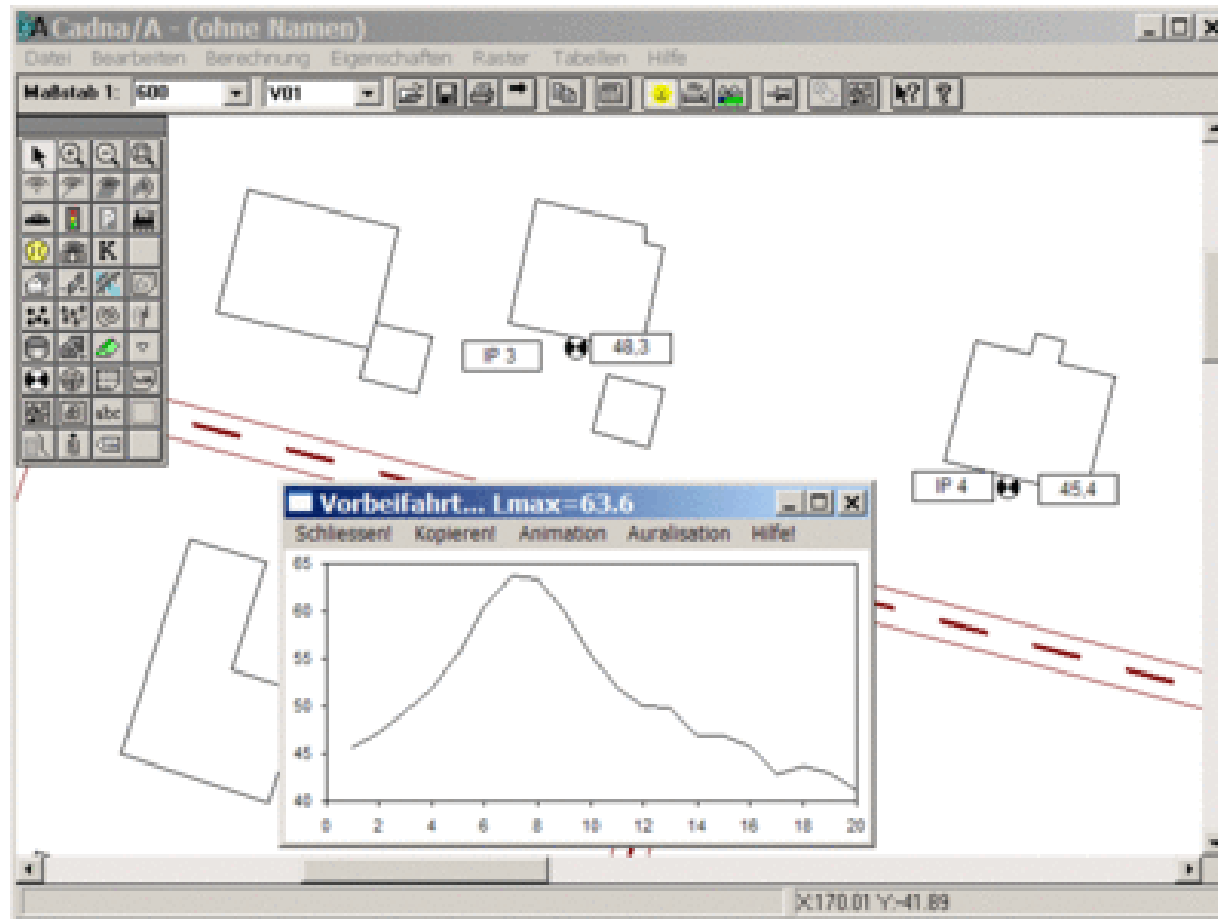
- an vorgegebenen Immissionsorten (mit Zwischenergebnissen für Expertisen) -> **Baugesuche, Studien**
- an Hausfassaden (Fassadenpegel und Hausbeurteilungspegel)
-> **Strassenlärmsanierung**
- an Rasterpunkten (zur Erzeugung von Lärmkarten) -> **Raumplanung**



Ergebnisdarstellung



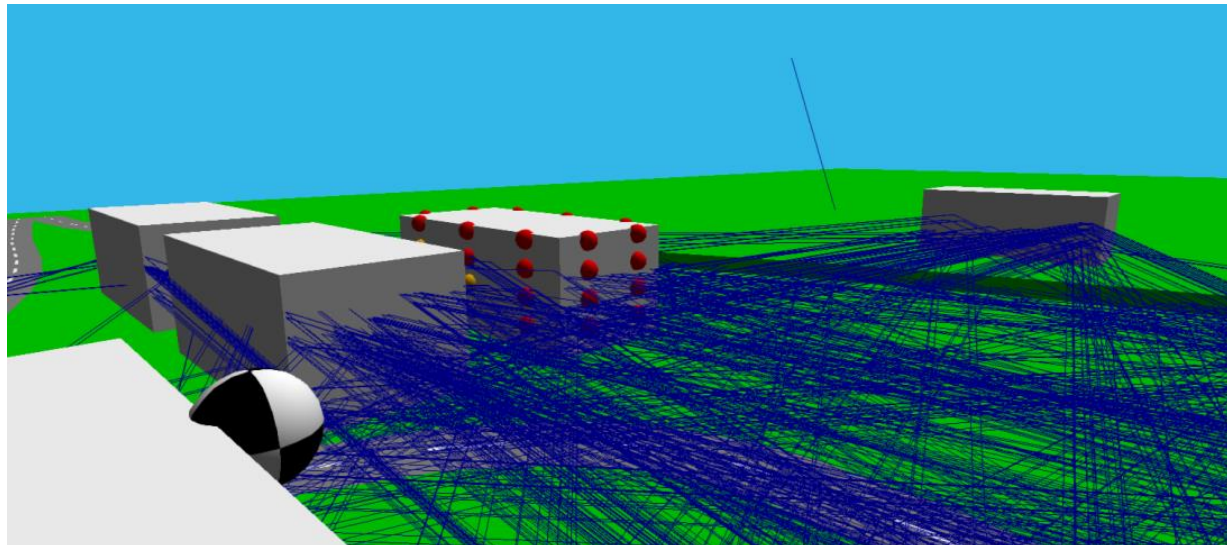
Auralisation



Berechnen und Anhören der Vorbeifahrt eines Fahrzeuges

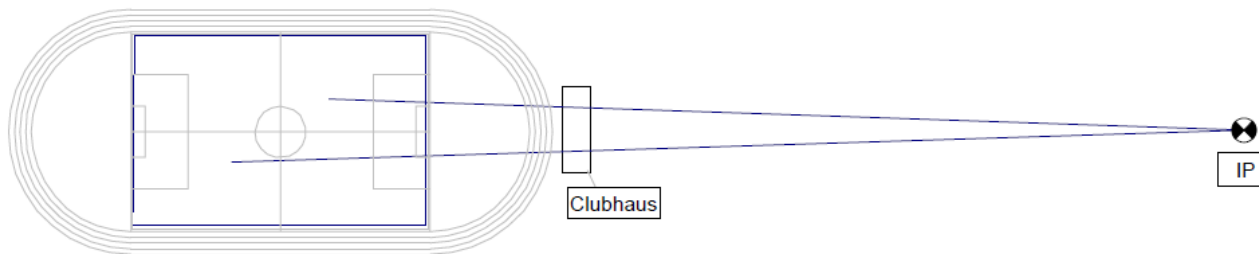
Reflexionen

- **(fast) beliebige Reflexionsordnung möglich - Frage der Rechenzeit**
- **Reflexionsverlust / Absorption definierbar**

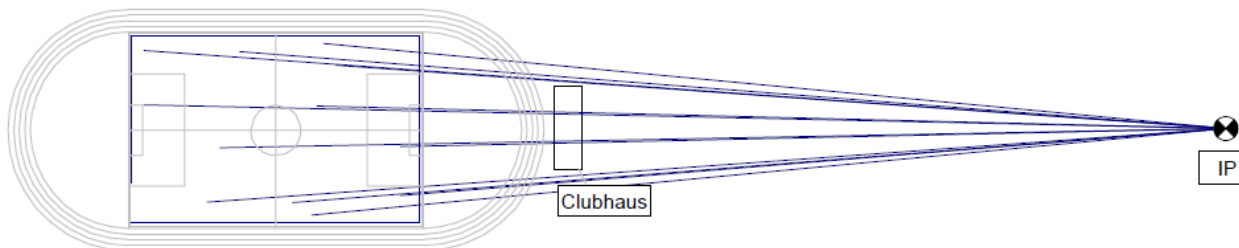


Projektion von Linien-/Flächenquellen

- Verfahren zum Erhöhen der Rechengenauigkeit
- Abschirmende und reflektierende Element und Lücken werden erkannt und berücksichtigt
- Erhöht die Rechenzeit



Ohne Projektion



Mit Projektion

Weitere Funktionen

Rasterarithmetik

**Lärmkarten können in beliebiger Weise miteinander kombiniert werden
– Darstellung der Wirkung von Massnahmen**

Die dynamisch Lärmkarte

**Eine erstellte Lärmkarte wird in beliebigen Zeitabschnitten an
Messwerte angepasst (on-line)**

Optimierung

**Optimierung des flächenbezogenen Schallleistungspegels von
Gewerbeflächen. Automatische Lärmkontingentierung. Optimierung von
Lärmschutzwänden**

Weitere Funktionen

Variantenrechnung

Berechnung und Darstellung verschiedener Projektvarianten

Objekt-San

Berechnen und Darstellen aufsummierter Objekteigenschaften (z.B. wie viele Bewohner sind einem Pegel $> x$ dB ausgesetzt?)

Prognosegenauigkeit

Stark abhängig von der Qualität der Eingangsdaten

- Verkehrszahlen, Verkehrsmix
- Belageigenschaften
- Schallleistung, Spektrum und Richtwirkung der Quellen bei Industrielärm

Stark abhängig vom Abstand zur Quelle

Abhängigkeit von Meteobedingungen

- Windrichtung und –geschwindigkeit
- Temperatur
- Luftfeuchtigkeit

Prognosegenauigkeit

– Falls ISO 9613 konsequent angewendet wird:

Tabelle 5: Geschätzte Genauigkeit für Pegel $L_{AT}(DW)$ von Breitbandquellen, berechnet unter Anwendung von Gleichung (1) bis Gleichung (10)

Höhe, h	Abstand, d^*	
	$0 < d < 100 \text{ m}$	$100 \text{ m} < d < 1000 \text{ m}$
$0 < h < 5 \text{ m}$	$\pm 3 \text{ dB}$	$\pm 3 \text{ dB}$
$5 \text{ m} < h < 30 \text{ m}$	$\pm 1 \text{ dB}$	$\pm 3 \text{ dB}$
* h ist die mittlere Höhe von Quelle und Empfänger. d ist der Abstand zwischen Quelle und Empfänger.		
ANMERKUNG: Diese Schätzungen basieren auf Situationen, wo weder Reflexionen noch Abschirmung auftreten.		

- Bei Strassenlärmrechnungen typisch $\pm 2\text{dB}$

Zu beachten:

- **Vieles ist modellierbar, aber nicht alles macht Sinn**
- **Die Modelle werden Loggias, Balkonen, Blenden usw. nicht gerecht. Dafür ist ISO 12354 besser geeignet.**
- **Die akustisch relevanten Elemente sind oft nicht ein Abbild der 'optischen' Realität**
- **Die akustischen Ausbreitungsvorschriften kennen neue Element meist (noch) nicht (Kreisel, Elektroautos...)**

Ausblick - Trends

- Differenziertere Quellenmodelle (vor allem Strassenlärm)
- Differenzierte Berücksichtigung des Geländes
- Berechnung konsequent spektral, Fresnelzonen für Bodeneffekt
- Erweiterte Resultatdarstellung

