

# Urban Simulation auf Basis von 3D- Stadtmodellen am Beispiel von Druckwellenausbreitungen

Stefan Trometer  
TU München

Arne Schilling  
virtualcitySYSTEMS GmbH

2. Konferenz Digitale Städte  
ANSYS Conference & 31th CADFEM Users' Meeting 2013  
June 19-21, 2013 – Rosengarten Mannheim



# Forschungsprojekt DETORBA

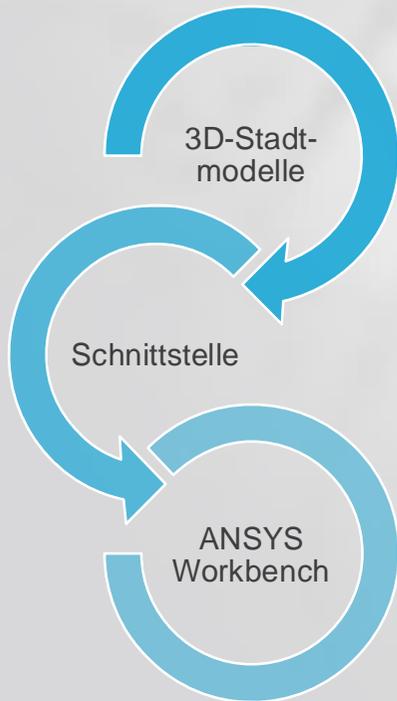


Stefan Trometer, Arne Schilling  
Urban Simulation auf Basis von 3D-Stadtmodellen am Beispiel von Druckwellenausbreitungen

2



# DETORBA



## DETORBA

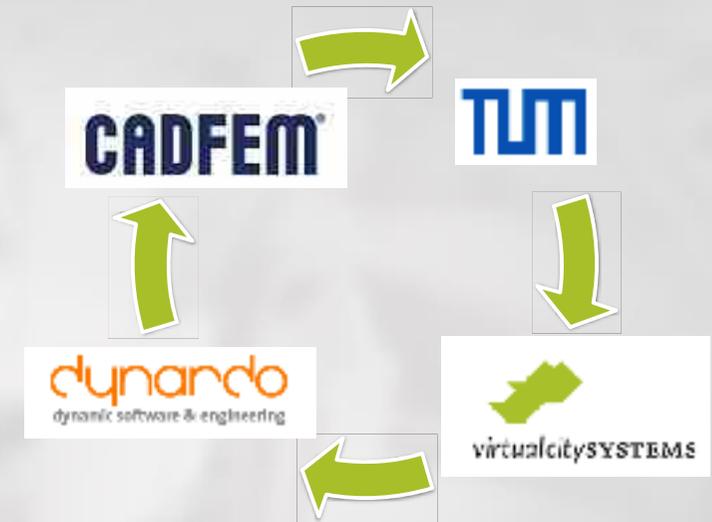
Verfahren zur Analyse von Detonationseinwirkungen in urbanen Gebieten

## Förderung

- BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung
- Forschung für die zivile Sicherheit
- Projektlaufzeit 2013 bis 2015
- Koordination: Anja Sethi-Rinkes von CADFEM

## Arbeitsbereiche

- Schnelle Risikobeurteilung direkt im Stadtmodell
- Definition einer Schnittstelle zwischen Stadtmodell und mechanischem Modell  
→ **Basis für weitere Anwendungen!**
- Detaillierte Abbildung und Untersuchung von Detonationen in der ANSYS-Workbench-Umgebung



## Projektpartner

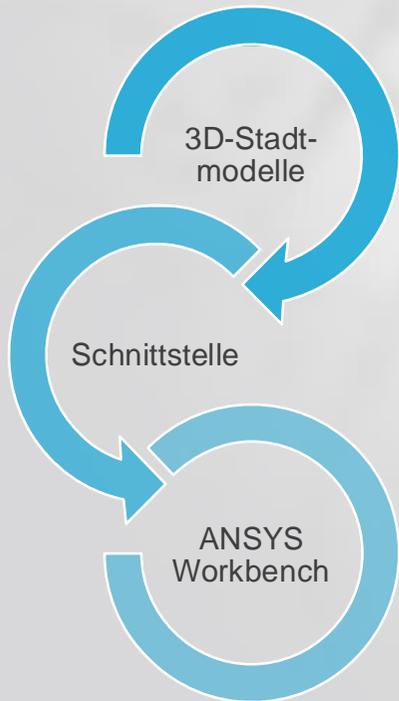


- [www.cadfem.de](http://www.cadfem.de)
- [www.virtualcitysystems.de](http://www.virtualcitysystems.de)
- [www.dynardo.de](http://www.dynardo.de)
- [www.metallbau.bv.tum.de](http://www.metallbau.bv.tum.de)

Stefan Trometer, Arne Schilling  
Urban Simulation auf Basis von 3D-Stadtmodellen am Beispiel von Druckwellenausbreitungen



# DETORBA



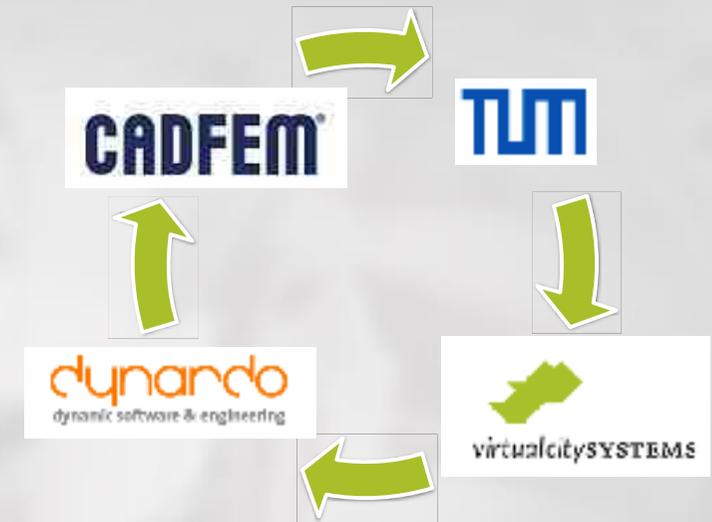
## Ziele

- Neue Dimension in der realitätsnahen Analyse der Auswirkungen von Detonationen durch hochauflösende Stadtmodelle
- Verlässliche Ergebnisse dank der Anwendung modernster Methoden, wie des Robust Design Optimization
- Entwicklung von professionellen Dienstleistungen im Bereich des zivilen Explosionsschutzes - realitätsnah, verlässlich, schnell

## Anwendungsgebiete

- Terroristische Bedrohungslagen
- Fliegerbombenfunde aus dem 2. Weltkrieg
- Planung kritischer Infrastrukturen und exponierter Gebäude (z.B. Botschaften)
- Vorbereitung von Staatsbesuchen und Großereignissen
- Aufbereitung für Entscheidungsträger

Interesse am Projekt? →Arbeitskreis



## Projektpartner



- [www.cadfem.de](http://www.cadfem.de)
- [www.virtualcitysystems.de](http://www.virtualcitysystems.de)
- [www.dynardo.de](http://www.dynardo.de)
- [www.metallbau.bv.tum.de](http://www.metallbau.bv.tum.de)

Stefan Trometer, Arne Schilling  
Urban Simulation auf Basis von 3D-Stadtmodellen am Beispiel von Druckwellenausbreitungen



# Vereinfachte Risikobewertung

# 3D Stadtmodell

Flächendeckendes CityGML Modell Stadt Frankfurt

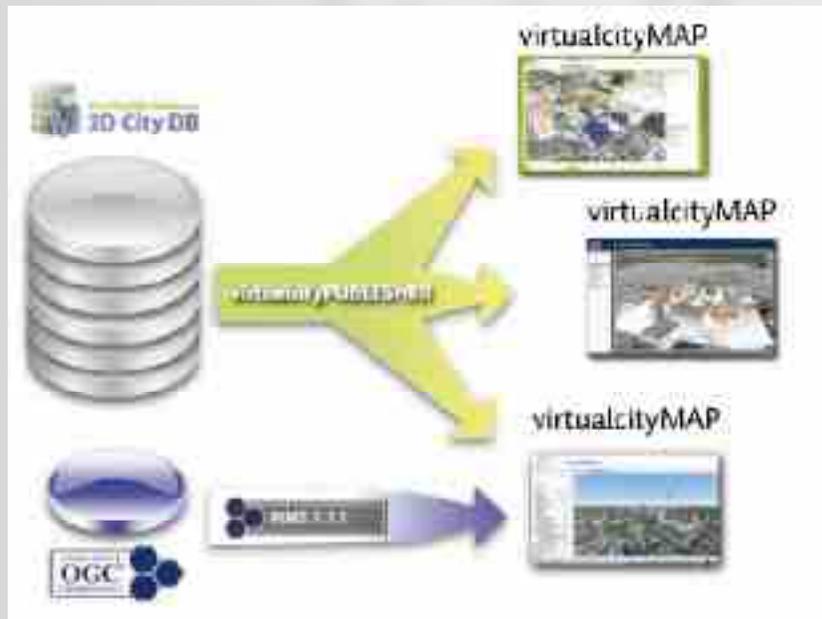
ca. 200.000 Gebäude  
in LOD1 und LOD2

Erstellt mit BuildingReconstruction Software (BREC)



Finite Elemente Netz

# Architektur



Java  
script  
API

Steuerung der Ebenen  
Zugriff auf Objektattribute  
Styling/Hervorhebung von Objekten  
Hinzufügen eigener Objekte  
Messen  
Freitextsuche in Datenbank

Kunden- oder  
Projektspezifische Lösungen

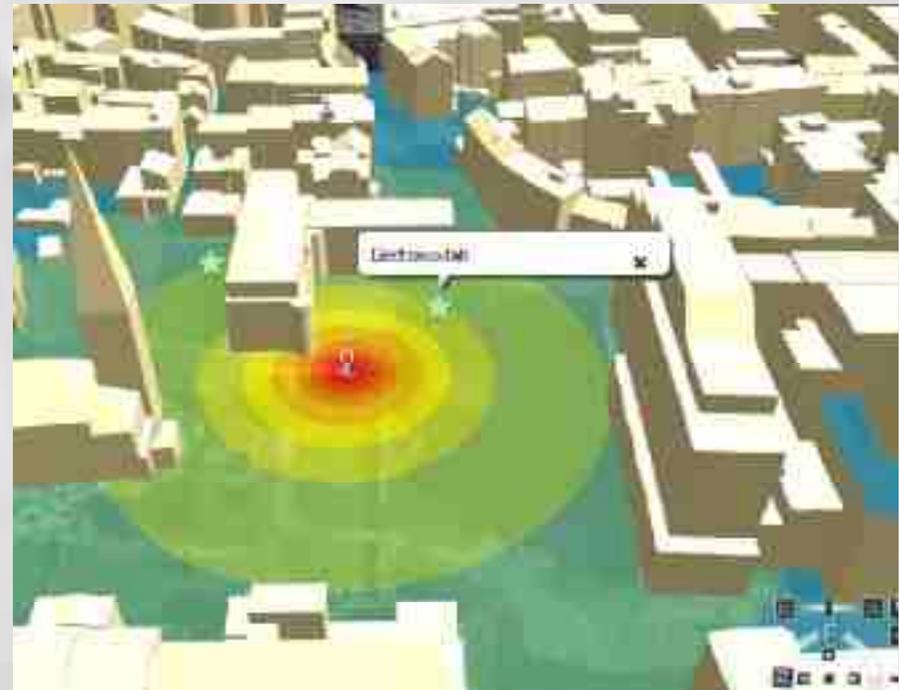


DETORBA Online Portal

# Vereinfachte Risikobewertung

Vereinfachte aber sehr schnelle  
Risikobewertung im urbanen Umfeld

Ohne eigentliche physikalische Simulation  
durchzuführen



Abschätzung der Druckverhältnisse am Detonationsort

# Risikobewertung

Onlinesystem als Hilfe für  
Entscheidungsträger und Einsatzkräfte im  
Falle eines Bombenfundes

Welche Einwirkungen auf Gebäude und  
Infrastruktur sind zu erwarten?

Wie groß ist das Verletzungsrisiko?

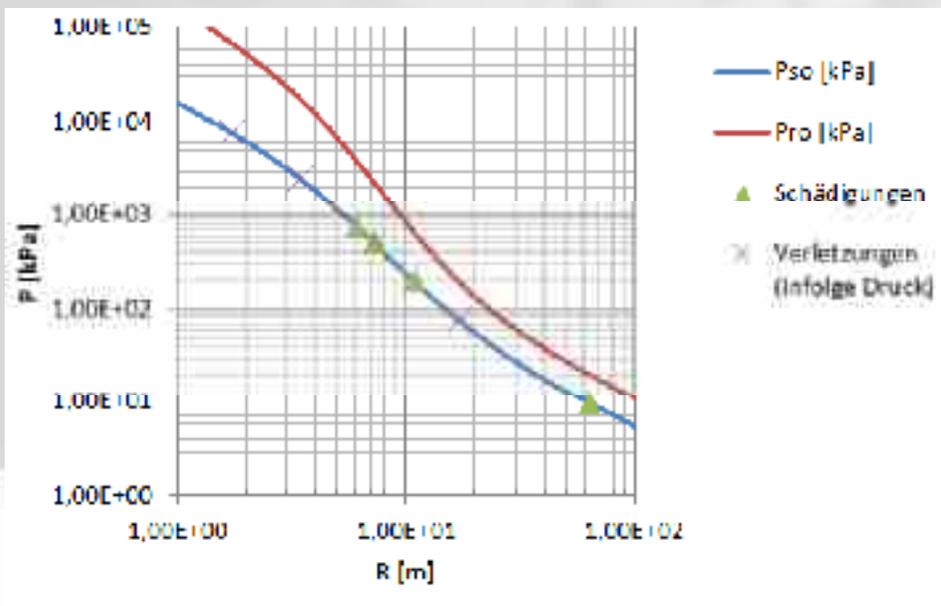
Welche Einrichtungen sind betroffen?



Abschätzung der Druckverhältnisse am Detonationsort

# Vereinfachte Risikobewertung

Riskioanalyse basiert auf experimentell ermittelten Referenzwerten und auf Erfahrungswerten



Schädigungen	Kriterium [kPa]	Bezug	krit. Abstand [m]
Fensterbruch	2,50	p,so	178,31
Fassadenschäden	10,00	p,so	63,76
Wandschäden	200,00	p,so	10,89
Gebäudeschäden	500,00	p,so	7,40
Gebäudezerstörung	750,00	p,so	6,11
Kraterbildung	20000,00	p,so	0,83

Verletzungen (infolge Druck)	Kriterium [kPa]	Bezug	krit. Abstand [m]
Haltverlust	75,00	p,so	17,63
Drommelfellriss	500,00	p,so	7,40
Lungenschäden	2500,00	p,so	3,42
tödliche Verletzungen	7500,00	p,so	1,74

Quelle: Kinney Graham 1985

# Vereinfachte Risikobewertung

Hilfe für Entscheidungsträger und Einsatzkräfte im Falle eines Bombenfundes

Welche Einwirkungen auf Gebäude und Infrastruktur sind zu erwarten?

Wie groß ist das Verletzungsrisiko?

Welche Einrichtungen sind betroffen?



Evakuierungsgebiet bei Bombenfund in München 2012



# DETORBA



Themen | Navigation | Suche | Zerklebe Info | ...

### Eingabeparameter für Explosionschätzung

Zeige auf der Karte nur das, was in der Karte ist, um den Bestimmungsort zu bestimmen

Detonationsstärke:  kg TNT

### Darstellung

Zonierung:

Legende

- Zonen
- Sukzessen

### Betroffene Einrichtungen

Zone	Name	Detail
No data to display		



# DETORBA



Übersicht | Messungen | Suchen | Geländehöhe | ...

**Ergebnisparameter für Festabschätzung:**  
Bitte auf dem Screenrand über die Karte klicken, um den Detonationsort zu bestimmen.  
Detonationsstärke:  kg TNT

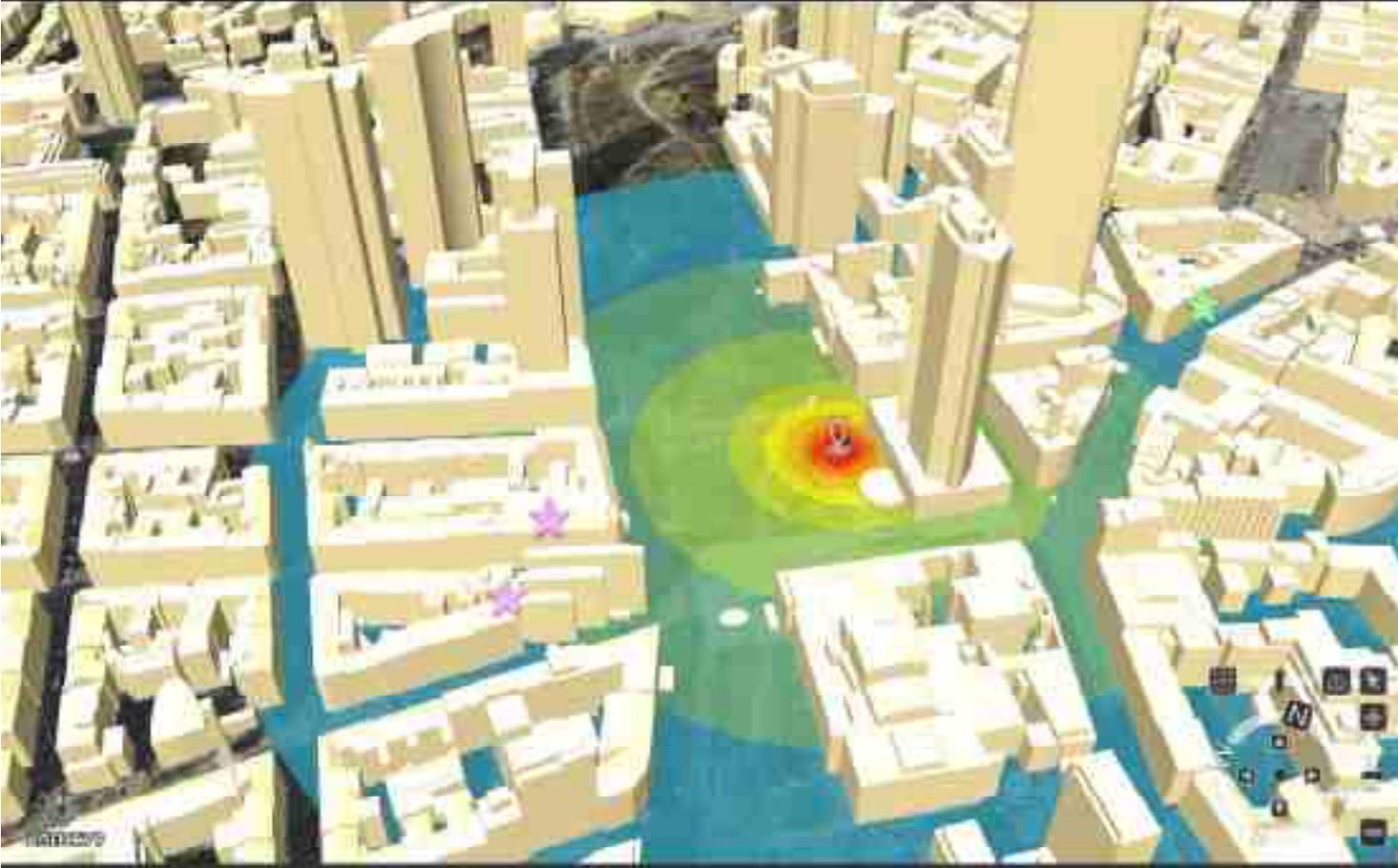
**Darstellung:**  
Zuweisung:   
Legende:

**Betroffene Einrichtungen:**

Zone	Name	Info
No data to display		



# DETORBA



**Eingabeparameter für Erdstöße**  
Bitte auf das Icon auf der Karte klicken, um den Detonationstyp zu bestimmen

Detonationsstärke:  kg TNT

**Darstellung**

Zonierung:  Legende

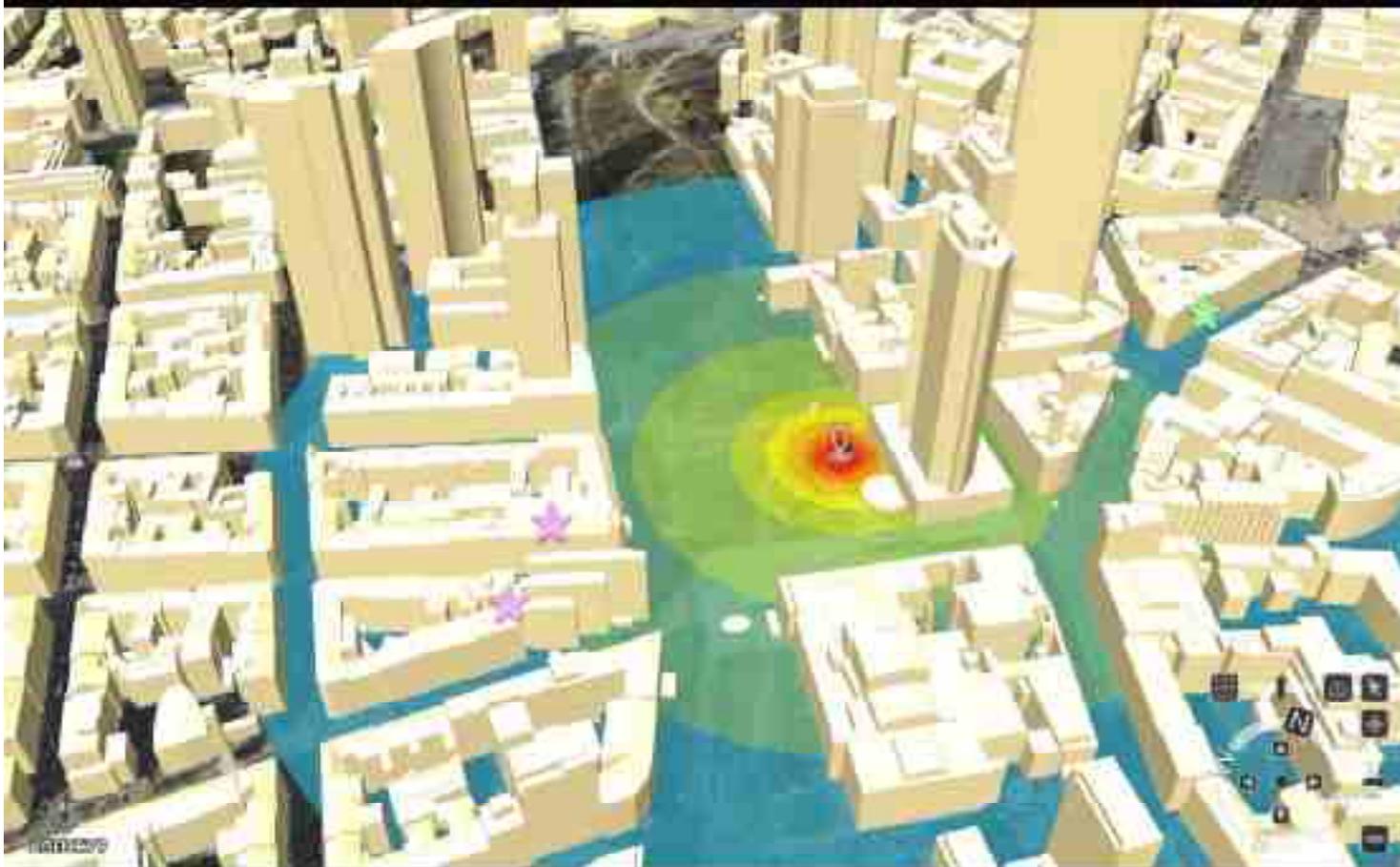
- Zonen
- Sektoren

**Betroffene Einrichtungen**

Zone	Name	Wert
2	Commerzbank	158
1	Deutsche Bank	191
1	Elise	200



# DETORBA



**Eingabeparameter für Explosionschätzung**

Bitte auf das Icon auf dem Land dann in die Karte klicken, um den Detonationsort zu bestimmen

Detonationsstärke:  kg TNT

**Darstellung**

Zonierung:

**Legende**

**Zonen**

- Zone 1: 5-10 kPa
- Zone 2: 10-20 kPa
- Zone 3: 20-50 kPa
- Zone 4: 50-100 kPa
- Zone 5: 100-200 kPa
- Zone 6: 200-500 kPa
- Zone 7: 500-1000 kPa
- Zone 8: 1-3 MPa
- Zone 9: 2-5 MPa
- Zone 10: 5-10 MPa
- Zone 11: 10-20 MPa
- Zone 12: 20-50 MPa
- Zone 13: 50-100 MPa
- Zone 14: 100-200 MPa
- Zone 15: mehr als 200000 MPa

**Betroffene Einrichtungen**

Zone	Name	Wahl
2	Commerzbank	158
1	Deutscher	101



# DETORBA



Themen | Navigation | Suche | Zentrale Info | ...

### Eingabeparameter für Explosionschätzung

Bitte auf das Icon vor dem Feld in die Karte klicken, um den Detonationort zu bestimmen

Detonationsstärke:  kg TNT

### Darstellung

Zonierung:

Beschäftigungen:

#### Legende

- Zone 1: Fensterbruch
- Zone 2: Fassadenrisse
- Zone 3: Wandschäden
- Zone 4: Deckenrisse
- Zone 5: Gebäuderuine
- Zone 6: Kraterbildung

Sektoren:

### Betroffene Einrichtungen

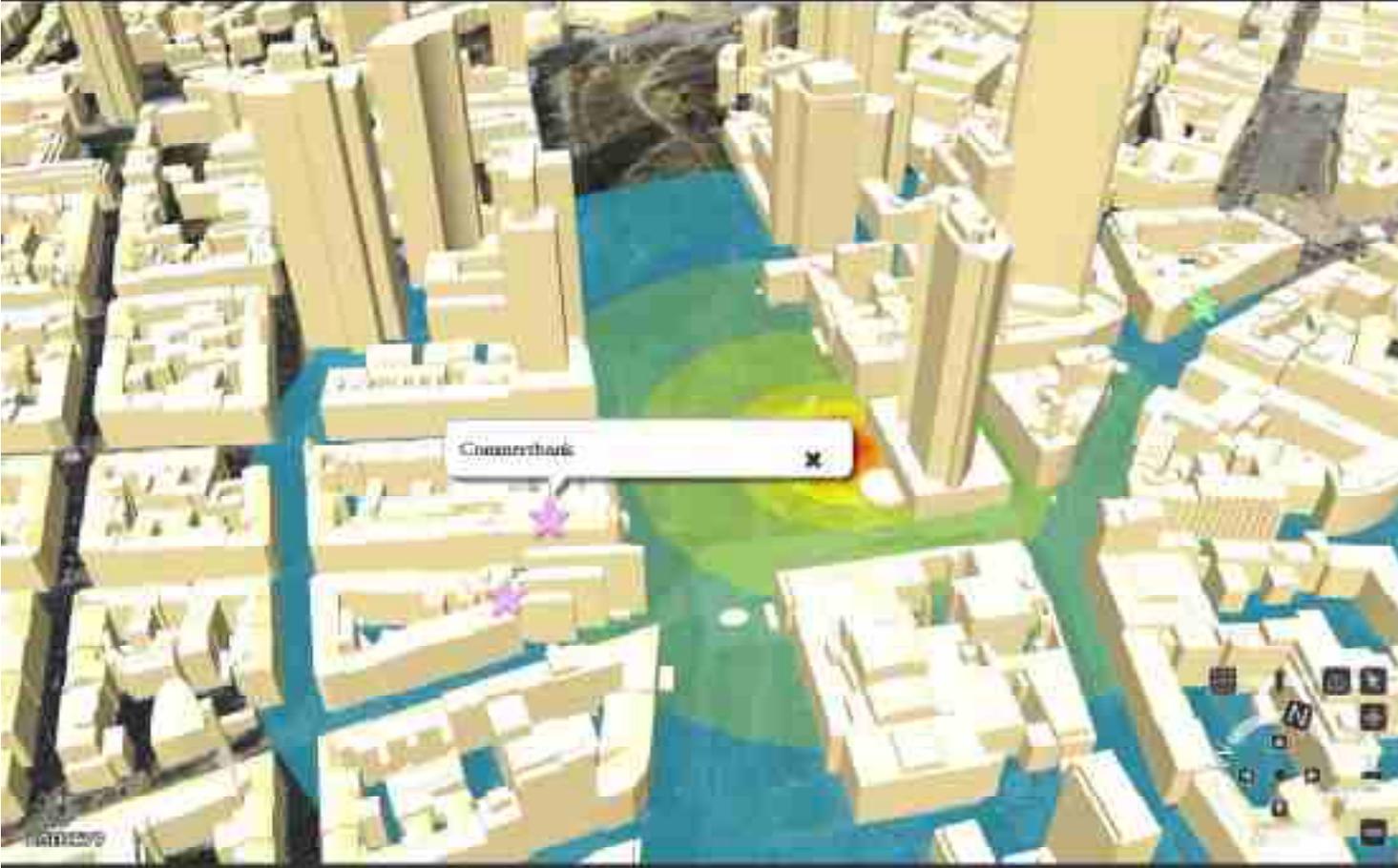
Zone	Name	Wert
1	Commerzbank	15%
1	Danz Bank	10%
1	Ebäude	260

Details

amenity: school  
name: Ebäude



# DETORBA



Themen | Navigation | Suche | Zentrale Info | ...

### Eingabeparameter für Explosionschätzung

Bitte auf das Icon vor dem Feld in die Karte klicken, um den Detonationsort zu bestimmen

Detonationsstärke:  kg TNT

### Darstellung

Zonierung:

Legende

- Zonen
- Sukzession

### Betroffene Einrichtungen

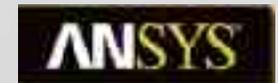
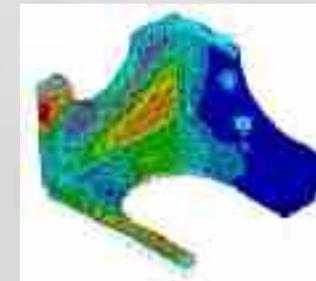
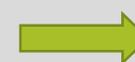
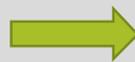
Zone	Name	Instanz
-	Grosserbach	100
Details		
* <b>addr:city:</b> Frankfurt am Main		
<b>addr:country:</b> DE		
<b>addr:housenumber:</b> 2		
<b>addr:postcode:</b> 60329		
<b>addr:street:</b> Galkenrillgasse		
<b>wikipedia:</b> Friede		
+ 4	Danz Bank	101
+ 1	Blouise	200

# Simulation mit GIS Daten

ANSYS Simulationssoftware ist für CAD Modelle ausgelegt  
Lücke zwischen GIS und Simulation  
Konvertierungsprozess notwendig von CityGML nach CAD, woraus sich dann Finite Elemente erzeugen lassen



CityGML Modell in ANSYS Design Modeler



Finite Elemente Netz

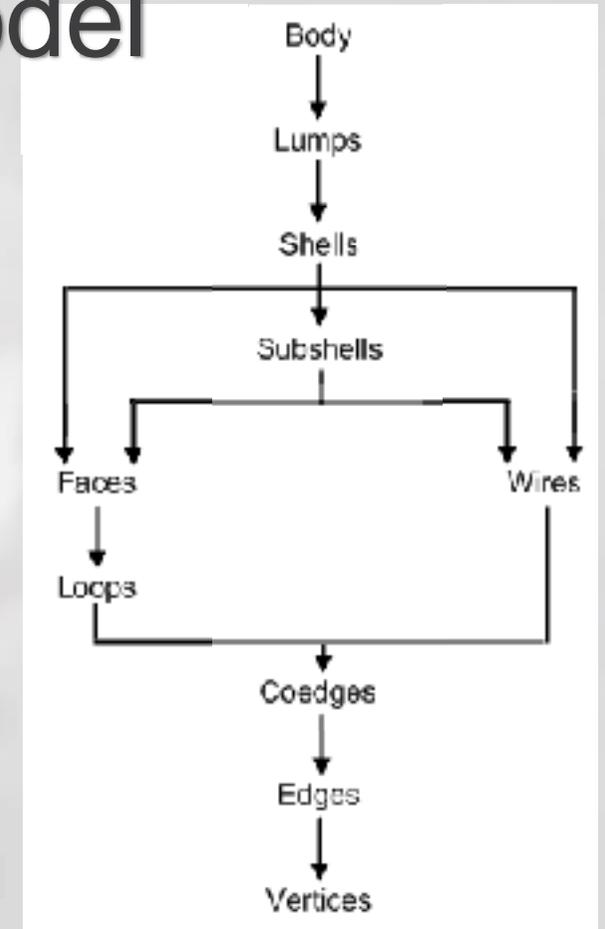
Stefan Trometer, Arne Schilling  
Urban Simulation auf Basis von 3D-Stadtmodellen am Beispiel von Druckwellenausbreitungen

# CityGML vs. CAD Data Model

CityGML	CAD
Geometrical data model	Topological data model
CityObject	Assembly
.. WallSurfaces	.. Bodies
.... MultiSurfaces	.... Shells
..... Polygons	..... Faces
..... Points	..... Edges
	..... Vertices
In LOD2 Material can be attached to e.g. WallSurfaces	Material can be attached to Bodies

Material

Material

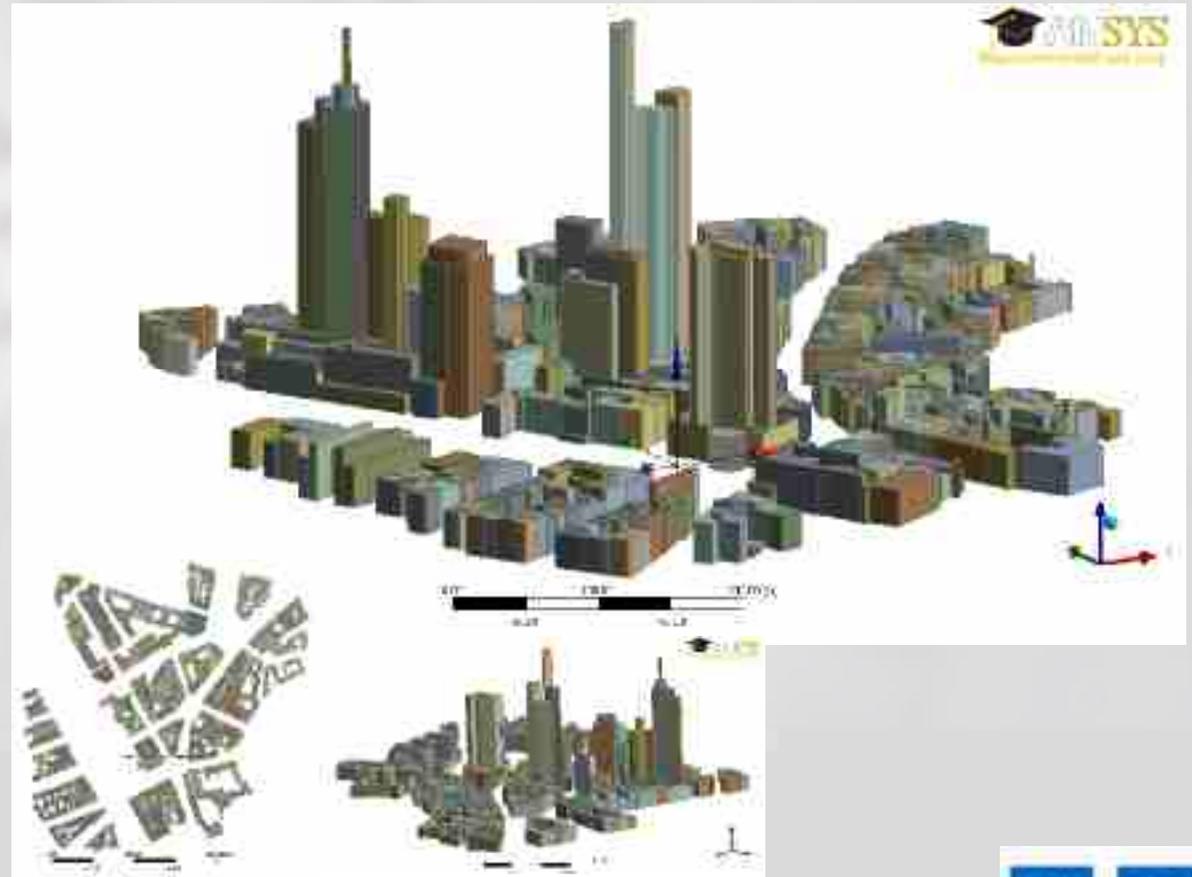


# Schnittstelle zu Detailuntersuchungen Modell Frankfurt

# Mechanisches Modell Frankfurt

## Herausforderungen

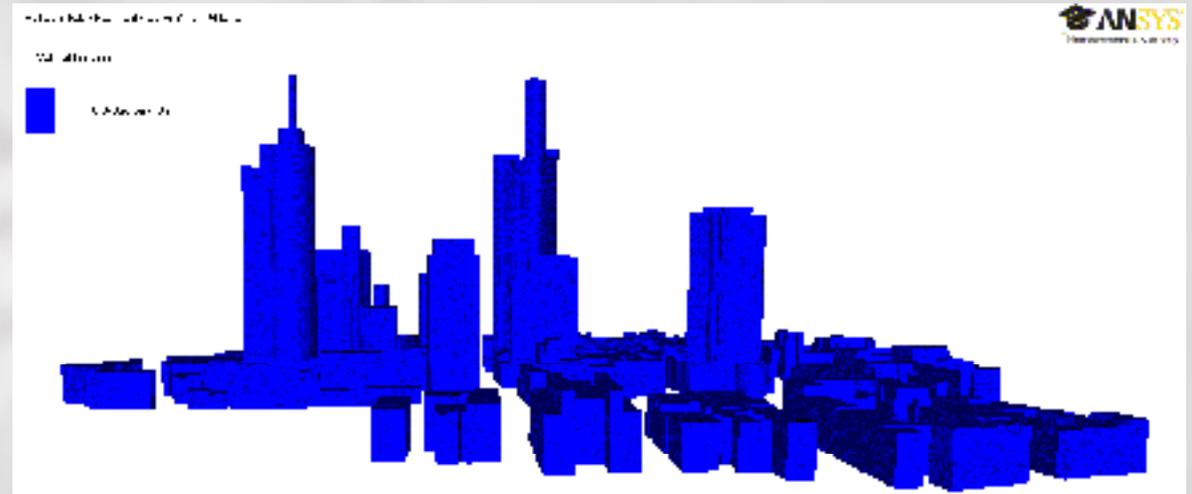
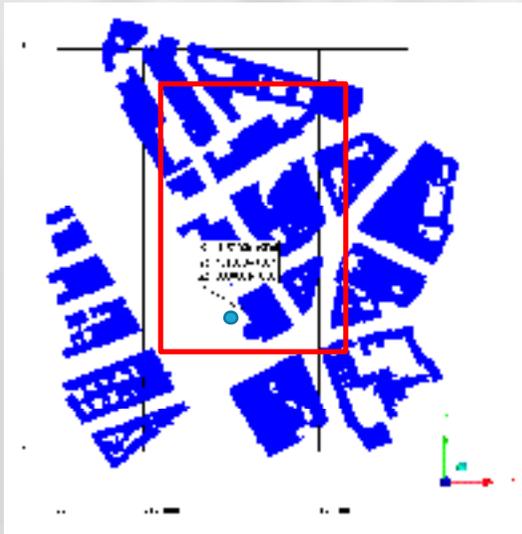
- Automatisierte Überführung der Geometriedaten in geometrische Objekte  
→ hier 1600 Objekte (Geometrieübernahme 30min)
- Große Ausdehnungen →  $>1\text{km}^2$  Grundfläche
- Feine geometrische Details  
→ Kanten und Abstände von wenigen Zentimetern
- „Gutes“ Netz



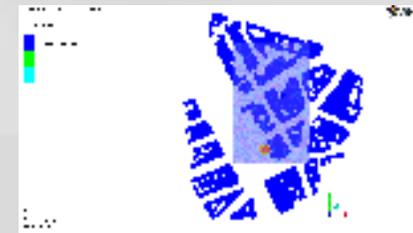
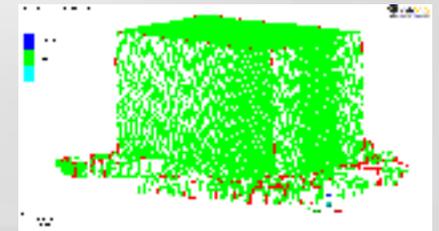
# Mechanisches Modell Frankfurt

## Herausforderungen

- Modellübernahme nach ANSYS Autodyn (40min)
- Modellierung der Detonationsszenarios



- Definition des Detonationspunktes
- Definition des Luftraums
- Definition der Simulationsabfolge  
→ RUN

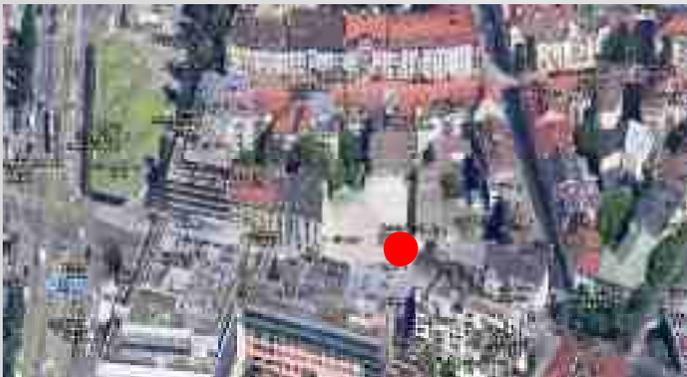


# Detaillierte Risikobewertung Fliegerbombe München

# Modell München Schwabing

## Details

- Fliegerbombensprengung München Schwabing 2012
- Amerikanischer 500lbs Blindgänger (120kg TNT)
- Evakuierung von 2500 Anwohner



Quelle: Google Maps

Landesamt für Vermessung  
und Geoinformation (LVG)  
[www.vermessung.bayern.de](http://www.vermessung.bayern.de)  
(dargestellt in Google Earth)



Quellen:  
Münchner Abendzeitung  
Bildzeitung

  
virtualcitySYSTEMS

Stefan Trometer, Arne Schilling  
Urban Simulation auf Basis von 3D-Stadtmodellen am Beispiel von Druckwellenausbreitungen

24



# Modell München Schwabing



Quelle: Bildzeitung



Quelle:  
Münchner Abendzeitung

## Schäden

- „In der näheren Umgebung sind fast alle Scheiben kaputt gegangen“ (Diethard Posorski, Sprengkommando München)
- Fassadenschäden und Brände (Stroh)

- Stark vereinfachte Abbildung des Detonationsszenarios
- Intensität auf reales Schadensmaß kalibriert
- 50 kg TNT (hemisph. Detonation)
- Reduktion der Intensität um 60%



Geometriemodell ANSYS



Simulationmodell Autodyn mit  
Detonationspunkt und Luftraum



Parallel Processing

# Modell München Schwabing

## Simulation

- Simulation der Druckwellenausbreitung im Luftraum
- Mit komplexen Reflexionsphänomenen
- Modellgröße 250x150x100m
- Simulationsdauer 250ms
- Rechendauer 3 Std (4 Kerne)

## Darstellung

- $P_{max} = 10 \text{ kPa}$   
→ Fassadenschäden (rot)
- $P_{min} = 2.5 \text{ kPa}$   
→ Scheibenbruch (blau)

Übersichtliche Schädigungsindikatoren		
Schädigungen	Kriterium [kPa]	krit. Abstand [m]
Fensterbruch	$3,50E+00$	$1,02E+00$
Fassadenschäden	$1,00E+01$	$3,00E+01$
Wanderschäden	$2,00E+02$	$8,00E+02$
Schadensschäden	$5,00E+02$	$5,00E+02$

Übersichtliche Verletzungsindikatoren		
Verletzungen (infolge Druck)	Kriterium [kPa]	krit. Abstand [m]
Bluterguss	$1,00E+01$	$1,00E+01$
Brustverletzungen	$5,00E+02$	$5,00E+02$
Lungenverletzungen	$2,00E+03$	$2,00E+03$
Multiple Verletzungen	$7,50E+03$	$1,30E+03$

Quelle: Kinney Graham 1985



# Modell München Schwabing

## Simulation

- Simulation der Druckwellenausbreitung im Luftraum
- Mit komplexen Reflexionsphänomenen
- Modellgröße 250x150x100m
- Simulationsdauer 250ms
- Rechendauer 3 Std (4 Kerne)

## Darstellung

- $P_{max} = 200 \text{ kPa}$   
→ Wandschäden (rot)
- $P_{min} = 2.5 \text{ kPa}$   
→ Scheibenbruch (blau)

Übersichtliche Schädigungsindikatoren		
Schädigungen	Kriterium [kPa]	krit. Abstand [m]
Fensterbruch	3,50E+00	1,02E+00
Fassadenschäden	1,00E+01	3,00E+01
Wandschäden	2,00E+02	8,50E+02
Schadensschäden	5,00E+02	5,88E+00

Übersichtliche Verletzungsindikatoren		
Verletzungen (infolge Druck)	Kriterium [kPa]	krit. Abstand [m]
Bluterguss	1,00E+01	1,90E+01
Brustverletzungen	5,00E+02	5,88E+00
Lungenverletzungen	2,50E+03	3,72E+00
Multiple Verletzungen	7,50E+03	1,38E+00

Quelle: Kinney Graham 1985



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Interesse am Projekt DETORBA?



→Arbeitskreis

Melden Sie sich einfach!  
Wir freuen uns.