



5. KMR-Symposium Kampfmittelräumung **Splitterflug nach Munitionsumsetzung**

08. November 2022



Vorstellung





Jahresstatistik NRW 2021



102.503 kg Brutto

38.329 kg NEM

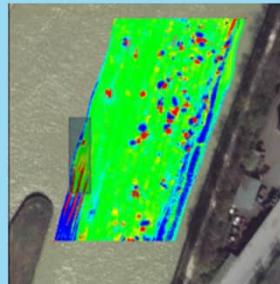
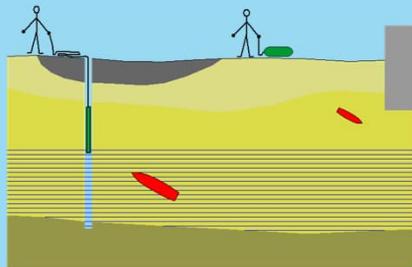
26.044 Kampfmittel

278 Bomben \geq 50 kg





Jahresstatistik NRW 2021



26.053	LBA
1.756	Ortstermine
6.643.097 m ²	Oberflächendetektion
194.948	Bohrlochdetektionen
880	VP's
1.154.384 m ²	Flächenräumung
1.880	Zufallsfunde



Inhalte Vortrag

1. Warum Sicherheitsabstände
2. Welche Sicherheitsabstände heute üblich
3. Kurzvorstellung VC Blastprotect



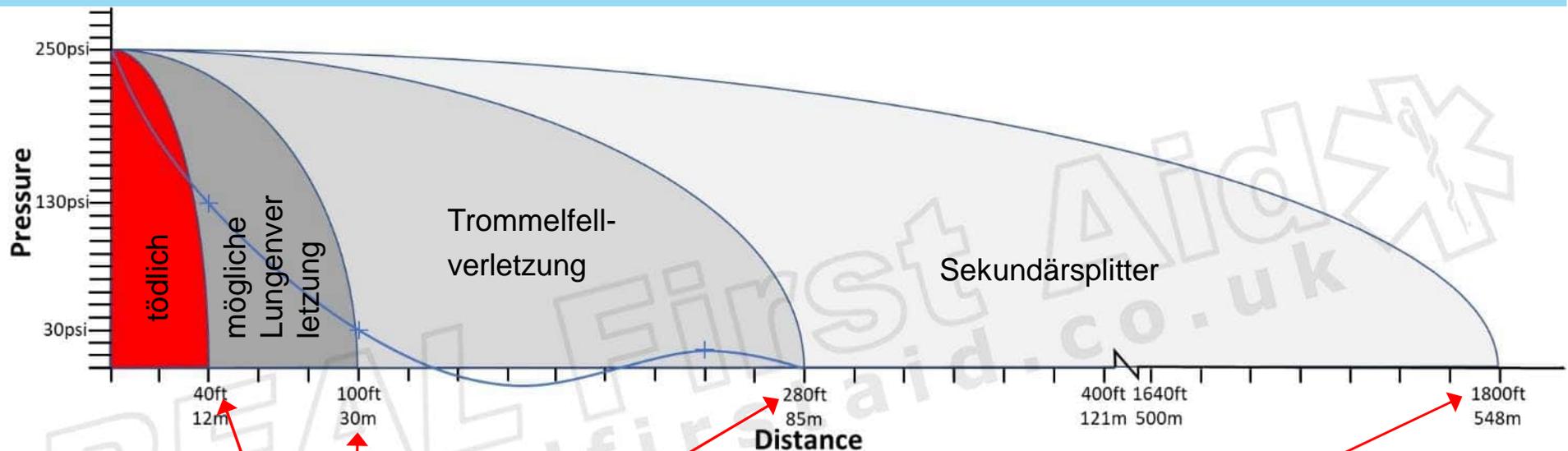
Warum Sicherheitsabstände ?

Gefahr der Umsetzung durch Hitzeeinwirkung

- Umsetzung von Zünder, Übertragungsladung
- Deflagration
- Teildetonation
- Volldetonation



Gefährdung bei Volldetonation 100 kg TNT-Äquivalent

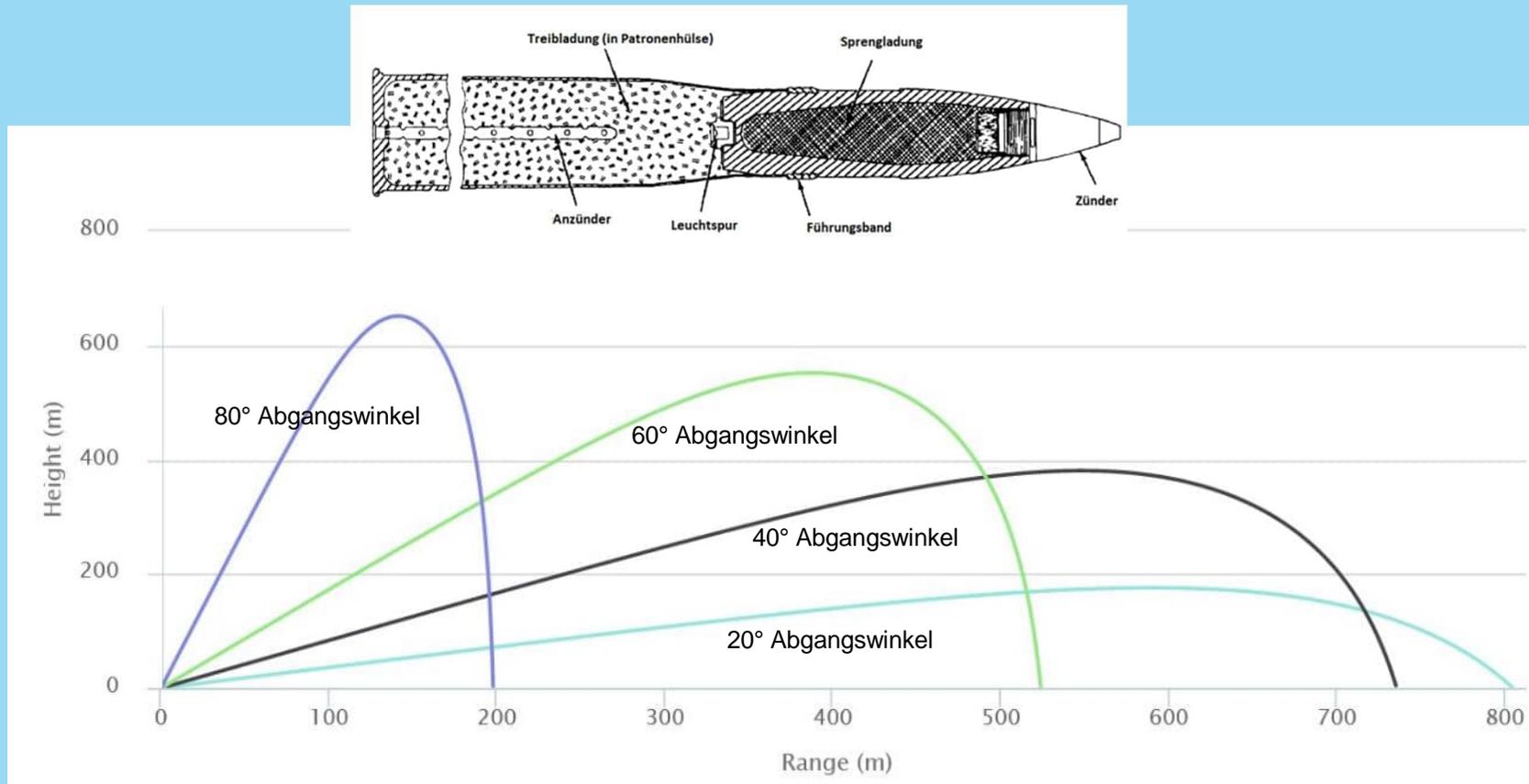


Druckstoß (Luft)

Splitterflug

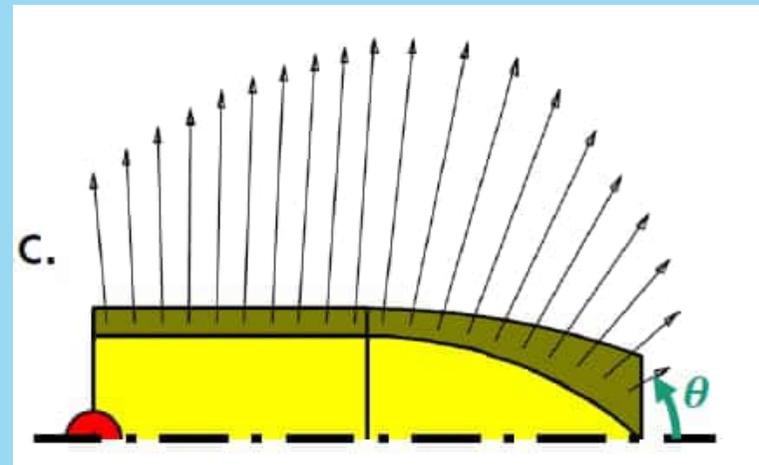


Splitterflugweiten 90 mm Sprenggranate US (Shell, HE, M71)





Splittermatrix GP 500 AN 64



Problem:

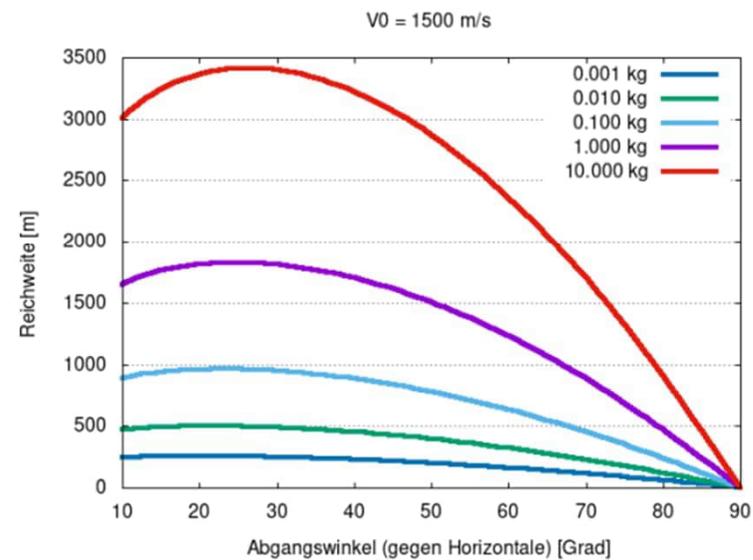
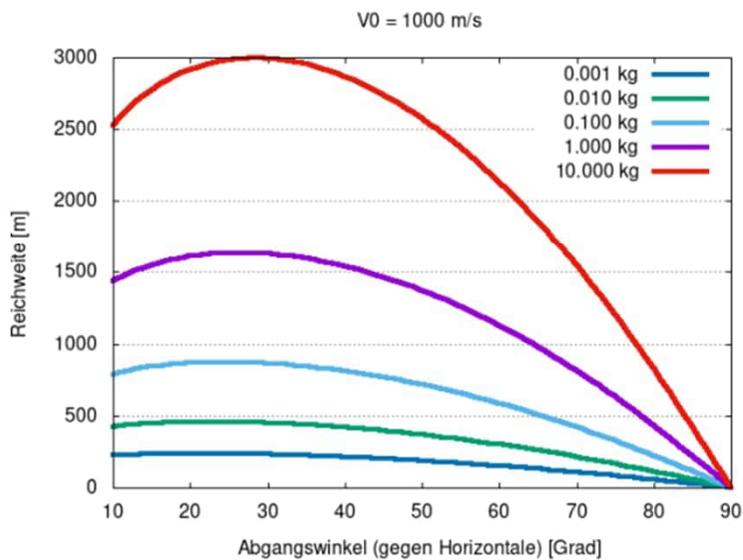
Berechnung der Splittermatrix, aber tatsächlicher Abgang (Winkel, Masse) unbestimmt



Betrachtung Bombensplitter

Reichweiten

für Massen 1 g bis 10 kg in Abhängigkeit des Abgangswinkels für verschiedene Abgangsgeschwindigkeiten





Vorhandene Vorschriften

- **DGUV 113-016 „Sprengen“:** **1.000 m**
- **BGR 114 „Zerlegerichtlinie“** **min. 1.000 m**
- **KatS-DV 250 „Sprengen“** **1.000 m**
- **PDV 403 „Sprengen“** **1.000 m**

bei „Stahlsprengung“
d.h. Splitterbildung ist möglich



Vorhandene Vorschriften

- **Feuerwehrdienstvorschrift FwDV 500**
 - **Maßnahmegruppe 1: „Explosive Stoffe und Gegenstände mit Explosivstoff“**
Unterklassen 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6
 - **Gefahrenbereich: 500 m**
Zutritt nur für Einsatzkräfte,
 - Im Brandfall Räumung aller Unbeteiligten aus dem Gefahrenbereich
 - Aus der Deckung heraus arbeiten (z.B. Wasserwerfer).
 - Möglichst wenig Personal in dem Gefahrenbereich einsetzen
 - **Absperrbereich 1000 m**
Zutritt nur für die erforderlichen Einsatz- und Unterstützungskräfte



Vorhandene Vorschriften

- **HDv 183/100 VS – nFD**
„Gefahrenbereiche bei der Vernichtung von Munition durch Sprengen an der Erdoberfläche“

– bis 75 mm	500 m
– bis 110 mm	750 m
– bis 160 mm	1.000 m
– über 160 mm	1.250 m



Vorhandene Vorschriften

- **International Mine Action Standards Technical Note 10.20 / 01**
“Estimation of Explosion Danger Areas”

- **Danger areas (public access)**

$$R = 634 \times (AUW)^{1/6}$$

R = Abstand in Metern
AUW = Bruttomasse Kampfmittel

- **Danger areas (controlled access)**

$$R = 444 \times (AUW)^{1/6}$$

Controlled access = public have NO access to area; only staff of the demining organisation are operating then area



Vorhandene Vorschriften

- **Field Manual 3-21.8.**

“The Infantry Rifle Platoon and Squad” 28 March 2007

Mindestsicherheitsabstand (MSD)

- Einsatz unter Trainingsbedingungen (Friedenszeit)
- Beim MSD wird die Gefährdung des Personals durch den Einschlagsort der betreffenden Munition als vernachlässigbar angesehen.

Risikoabschätzungsabstand (RED)

- Einsatz unter Kampfbedingungen
- Der RED wird als erwarteter „Prozentsatz der Kampfunfähigkeit“ (PI) für ungeschütztes Personal ausgedrückt
 - 0,1 PI: einer von tausend Soldaten ist außer Gefecht
 - 10 PI: 1 von 10 Soldaten (10 %) ist kampfunfähig



Risikoabschätzung bei der Festlegung Gefahrenbereiche

Weapon system	MSD (training)	RED (combat) ⁶	
		.1 PI	10 PI
60 mm Mortar	250 m	175 m	65 m
81 mm Mortar	350 m	230 m	80 m
120 mm Mortar	600 m	400 m	100 m
105 mm Artillery	550 m	275 m	90 m
155 mm Artillery	725 m	450 m	125 m
155 mm Artillery DPICM ⁷	725 m	475 m	200 m

Quelle: Field Manual 3-21.8. "The Infantry Rifle Platoon and Squad" 28 March 2007

Munition type	RED 0.1 (m)	RED 10 (m)
1 Medium calibre (81 mm / 82 mm) mortar projectile ⁸⁰	175 m	80 m
2 Tank gun (120 mm) projectile ⁸¹	250 m ⁸²	90 m ⁸³
3 120 mm mortar projectile ⁸⁴	400 m	100 m
4 Artillery gun (152 mm / 155 mm) projectile ⁸⁵	450 m	125 m
5 122 mm artillery rocket ⁸⁶	500 m ⁸⁷	150 m ⁸⁸
6 500 lb. class aircraft bomb ⁸⁹	425 m	250 m

Quelle: Explosive weapon effects – final report, GICHD, Geneva, February 2017



Folgerungen für Waldbrände (Sicherheitsabstände) für kampfmittelbelastete Flächen

- 1. Anwendung Sprengvorschriften (1.000 m Sicherheitsbereich) ist grundsätzlich richtig**
- 2. Anwendung FwD 500 ist grundsätzlich richtig**
 - **Absperrbereich 1.000 m - Ortschaften evakuieren**
 - **Gefahrenbereich 500 m – nur Einsatzkräfte (mit hohem Risiko)**



Folgerungen für Waldbrände (Sicherheitsabstände) für kampfmittelbelastete Flächen

- 3. Reduzierung von Absperrbereich und Konkretisierung von Gefahrenbereich nur möglich bei genauer Kenntnis der konkret zu erwartenden Kampfmittel**
- 4. Fachberater vom Kampfmittelbeseitigungsdienst erforderlich**
 - **Kenntnis der zu erwartenden Kampfmittel**



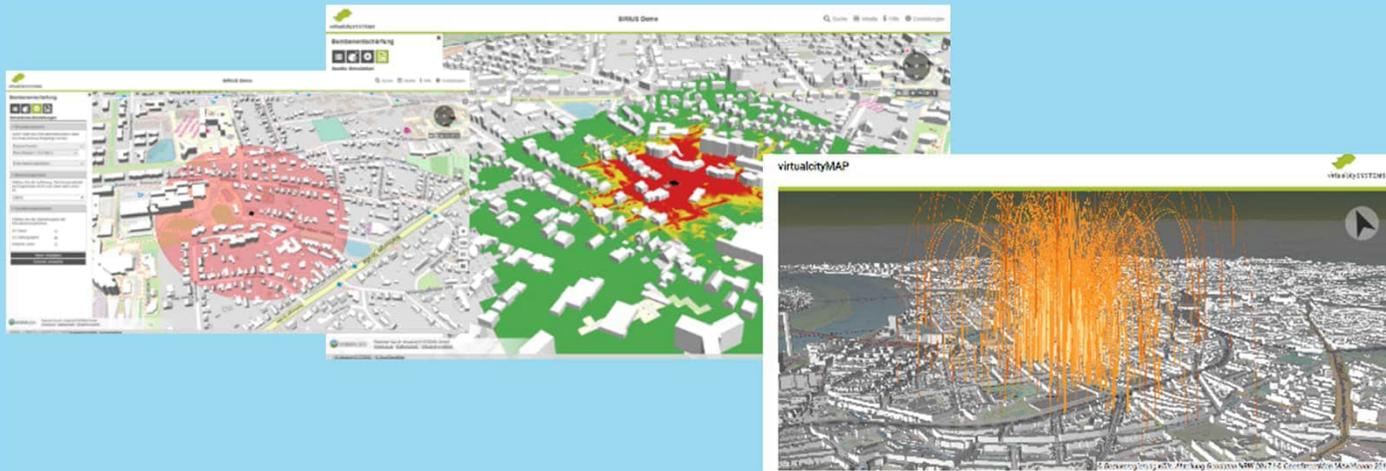
Anforderungen für eine moderne Herangehensweise

Wie geht's besser?



Wo wollten wir hin?

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines physikalisch basierten Modells und der benötigten Berechnungsmethoden zur fundortspezifischen Ermittlung von Gefährdungsbereichen durch Druck und Splitterflug beim Entschärfen oder Sprengen von Kampfmitteln im urbanen Raum.



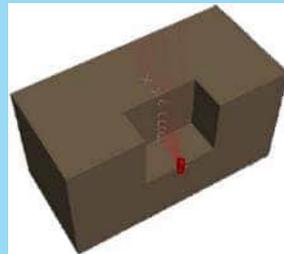


Berücksichtigung von Szenariodaten 3D - Stadtmodell





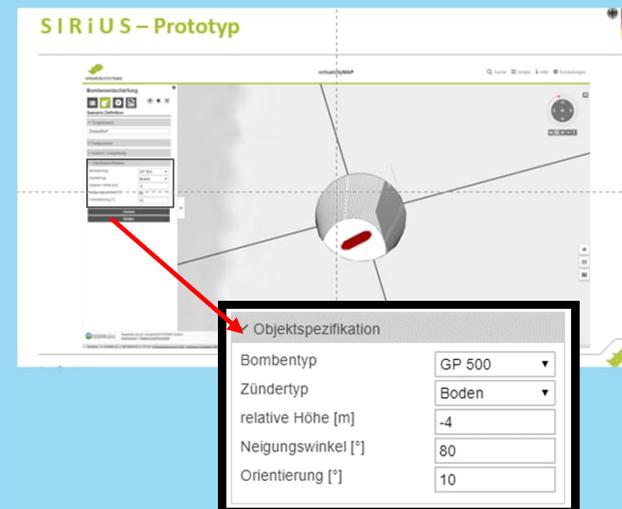
Berücksichtigung von Szenariodaten Modellierung der Bergungsschächte



Spundwandkasten
5m x 5m x 4m



Brunnenring
2,5m Durchmesser x 4m

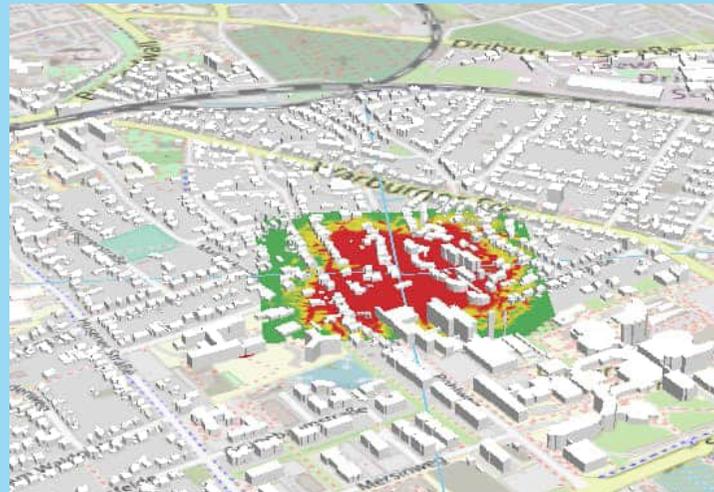




Modellierung und Berechnungsverfahren

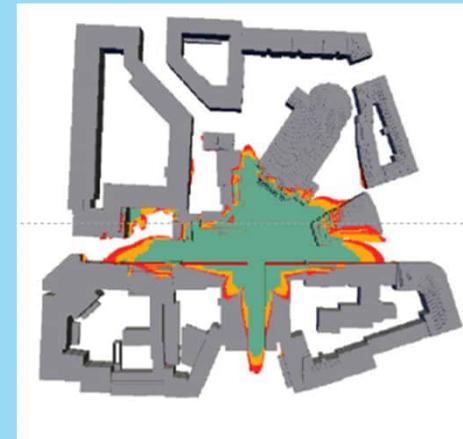
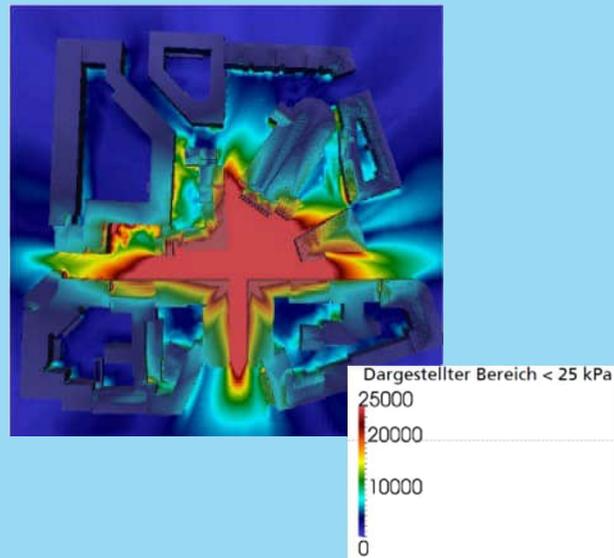
Ziel: Berechnungsverfahren für die Gefährdungen durch

1. Druckwelle
2. Splitterflug





Druckamplitude Simulation mit Stadtmodell



Trommelfellverletzung (17 kPa)



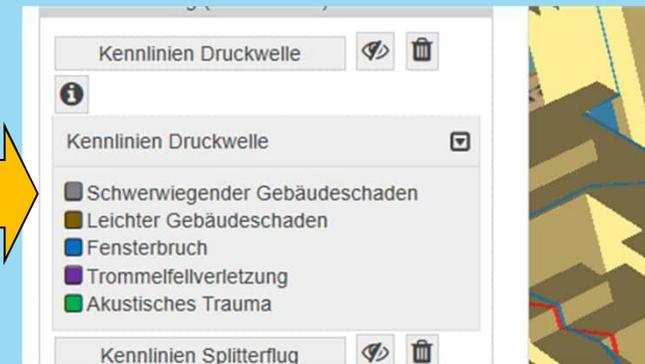
Gefährdungsbeurteilung Druckwelle

Druckwelle

- Spezialisiertes CFD-Tool APOLLO Blastsimulator (Fraunhofer EMI)
- Mehrstufige Berechnung: globale Adaption von Rechengebiet & Auflösung → Parallelisierung
- Aufzeichnung von Kennwerten der Druckwelle an allen Oberflächen:
 1. Spitzenüberdruck (Druckamplitude)
 2. Überdruckimpuls (Druckimpuls)



Schadensart	Druckspitze
Glasbruch	0,01 bar
Leichte Gebäudeschäden	0,03 bar
Schwere Gebäudeschäden	0,1 bar
Trommelfellriss	0,17 bar
Letalität	3 bar

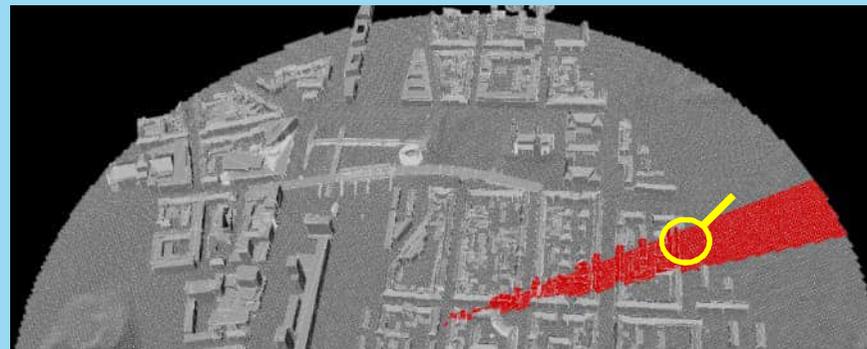




Splitterballistik

Splittersimulation mit Stadtmodell

- Berechnung einer Splitterflugbahn durch numerische Lösung der Bewegungsgleichungen (Masse, Abgangsgeschwindigkeit, -winkel)
- Überprüfung von Verschneidungen einer Splitterflugbahn mit digitalen 3-D Stadtmodellen (Gebäude, Terrain)
- Berücksichtigung des Bergungsschachts



KMR-Symposium Mannheim, 08.11.2022



Gefährdungsbeurteilung Splitter

Splitterflug

- Splittermatrix (spezifisch für Bombentyp): Anzahl Fragmente in Intervallen von Masse und Abgangswinkel, Geschwindigkeit in Intervallen des Abgangswinkels
- Trajektorienberechnung auf Basis der Bewegungsgleichungen ,Abgangsgeschwindigkeit & -winkel, ballistischer Koeffizient (Masse, Form, Widerstand), Wind, Auftrieb
- Flächendichten von Trefferzahl, Masse, Impuls, Energie auf Oberflächen



■ **Kriterium für Hautpenetration**

- Originalmodell von Sperrazza und Kokinakis (1968)
$$v = 22 \frac{m}{s} + 1250 \frac{m}{s} \frac{A/m^2}{m/kg}$$
- Abgeleitetes Modell von Sellier und Kneubuehl (1992)
$$\frac{E_{kin}}{A} = \frac{0,5 m v^2}{A} = 100000 \frac{J}{m^2}$$

■ **NATO-Kriterium für letale Verletzungen**, siehe z. B. AASTP-1 und AASTP-4
$$E_{kin} = 0,5 m v^2 = 79 J$$



Kennlinien Splitterflug

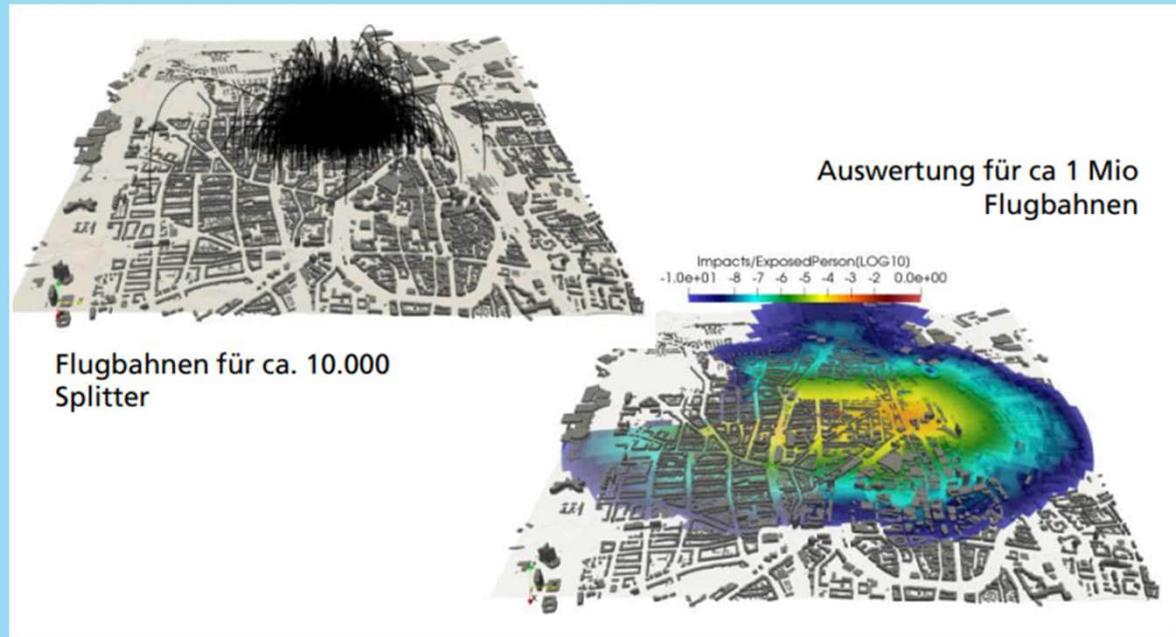
Kennlinien Splitterflug

- Wahrscheinlichkeit 1:10
- Wahrscheinlichkeit 1:100
- Wahrscheinlichkeit 1:1.000
- Wahrscheinlichkeit 1:10.000
- Wahrscheinlichkeit 1:100.000
- Wahrscheinlichkeit 1:1.000.000
- Wahrscheinlichkeit 1:10.000.000
- Wahrscheinlichkeit 1:100.000.000

> Simulationsergebnisse (ID: a7ea10d)



Splitterballistik Berechnung Flugbahnen





Programm VC Blastprotect NRW

virtual city systems Fraunhofer EMI

VC Blastprotect NRW

Suche Inhalte Hilfe Einstellungen Abmelden

Themen & Inhalte

Grundkarten

- DTK10
- DTK25
- WMTS NRW DOP20
- Openstreetmap Ebene

3D-Daten

- DGM
- Gebäude LoD2

Simulations

- Herne VP 2141 Orientierung West
- Herne VP 2141 Orientierung Nord
- Krefeld VP 345
- Euskirchen VP 102
- INT
- Köln_VP_2080
- Köln_VP_2079 Copy
- PDF erzeugen
- Link erzeugen
- Alle Einstellungen zurücksetzen

Realisiert durch virtualcitySYSTEMS GmbH
Impressum | Datenschutzhinweise



Definition des Szenarios

The screenshot displays the VCM Simulations software interface. On the left, a configuration panel is highlighted with a red border. The main area shows a 3D city model with a blue cube representing a blast scenario. The interface includes a search bar, navigation controls, and a status bar at the bottom.

VCM Simulations

Demo Düsseldorf

Beschreibung

Gruppe

Szene

Fundposition

Referenzsystem:

ETRS89 / UTM Zone 32N

345518 024.5678120 041.37.6

Fundort / Umgebung

Versteckte Gebäude 1

Gezeichnete Objekte 0

Fundsituation

Fundortauswahl: Ring

Position X: 345518,024

Position Y: 5678120,041

Tiefe [m]: 1,5

Radius [m]: 1,5

Objektspezifikation

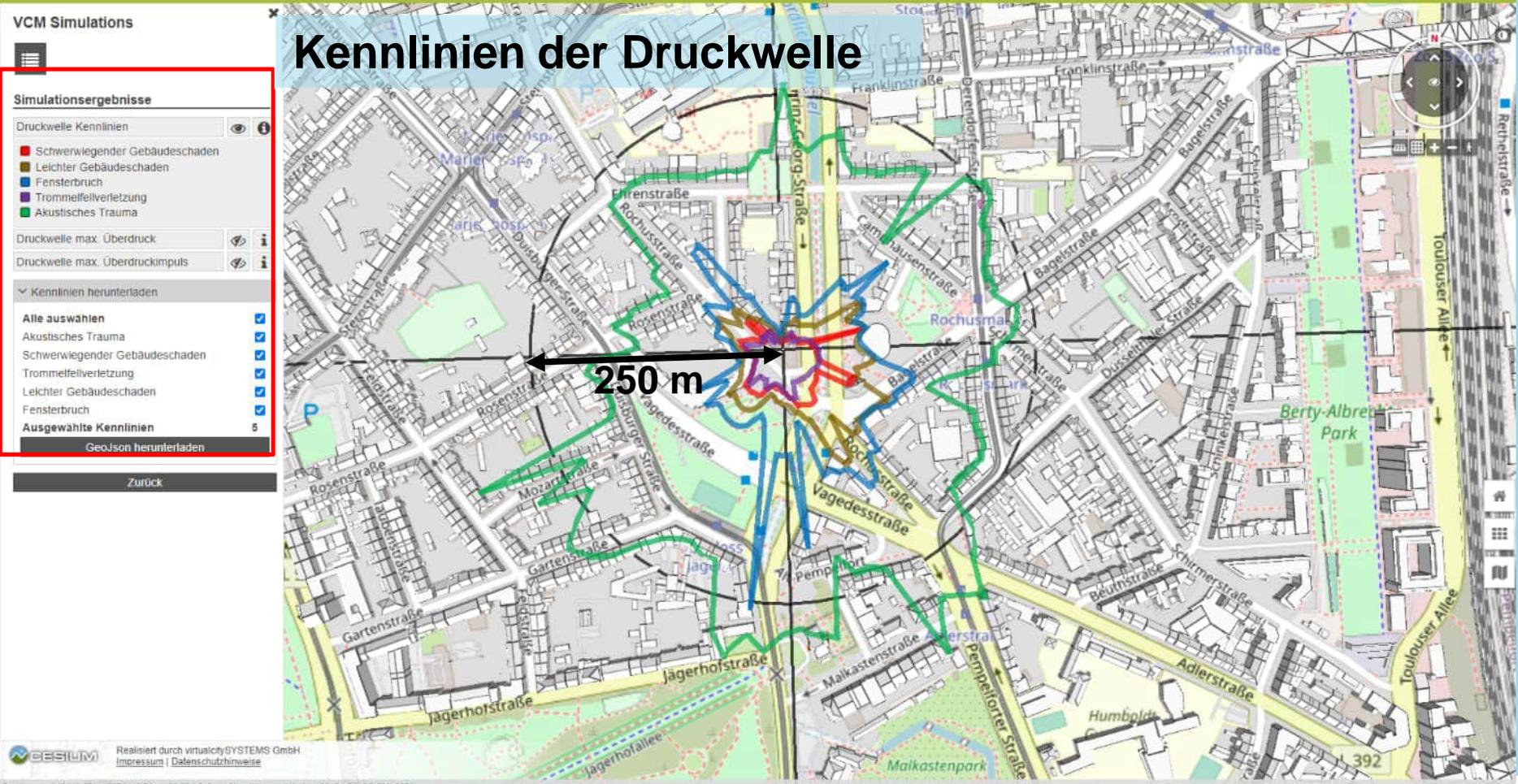
Bombentyp: GP-500

Zündertyp: Kopf

Neigungswinkel [°]: 90

Orientierung [°]: 320

Position: - x: 345524.87, y: 5678102.63, z: 37.65 | © OpenStreetMap contributors 2018





zusätzliche Visualisierung Druckergebnisse

VCM Simulations

Simulationsergebnisse

Druckwelle Kennlinien

- Schwerwiegender Gebäudeschaden
- Leichter Gebäudeschaden
- Fensterbruch
- Trommelfellverletzung
- Akustisches Trauma

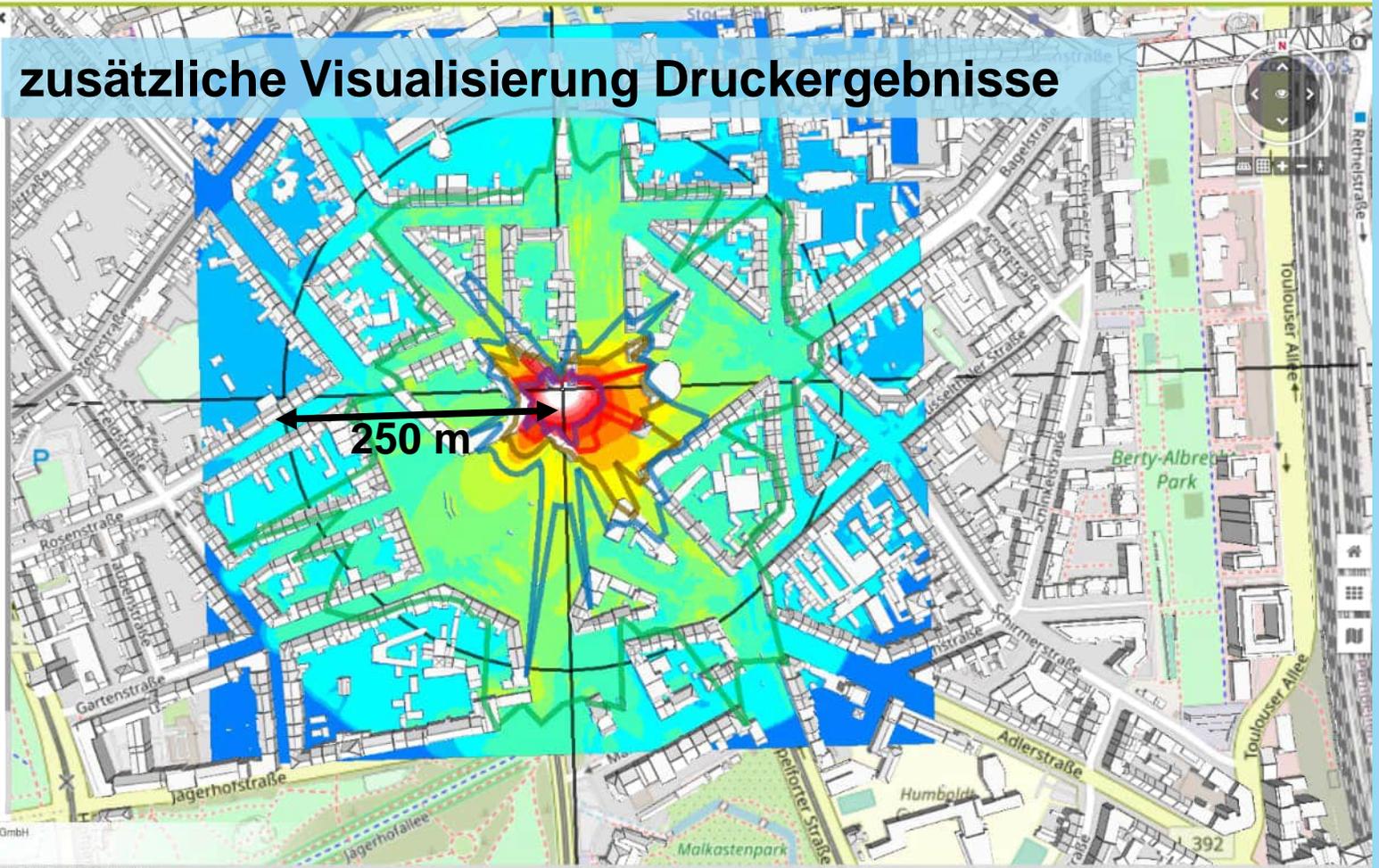
Druckwelle max. Überdruck

- < -7.909 kPa
- < -5.363 kPa
- < -3.545 kPa
- < -2.246 kPa
- < -1.319 kPa
- < -0.656 kPa
- < -0.183 kPa
- < 0.183 kPa
- < 0.656 kPa
- < 1.319 kPa
- < 2.246 kPa
- < 3.545 kPa
- < 5.363 kPa
- < 7.909 kPa
- < 11.472 kPa
- < 16.461 kPa
- < 23.446 kPa
- < 33.225 kPa
- < 46.915 kPa
- < 66.081 kPa
- < 92.913 kPa
- > 92.913 kPa

Druckwelle max. Überdruckimpuls

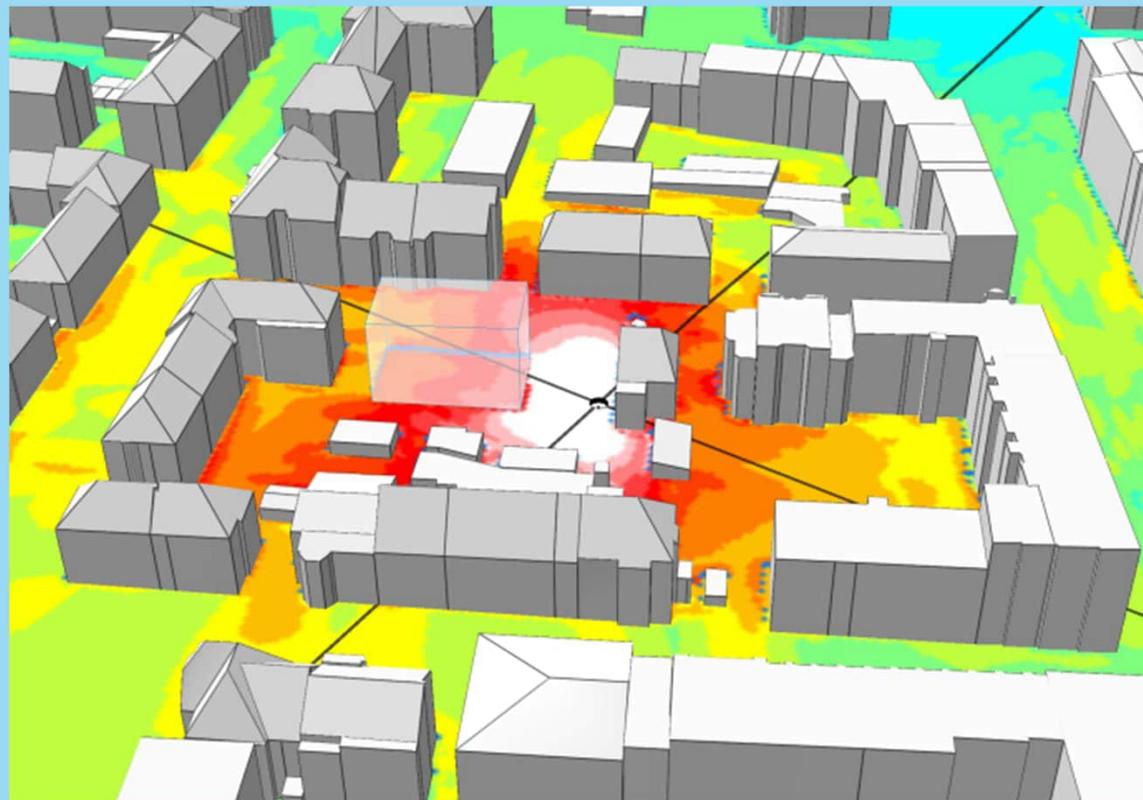
Kennlinien herunterladen

- Alle auswählen
- Akustisches Trauma
- Schwerwiegender Gebäudeschaden
- Trommelfellverletzung





3D Visualisierung max. Überdruck





VCM Simulations

Simulationsergebnisse

Spitterflug Kennlinien

- Wahrscheinlichkeit 1:10
- Wahrscheinlichkeit 1:100
- Wahrscheinlichkeit 1:1.000
- Wahrscheinlichkeit 1:10.000
- Wahrscheinlichkeit 1:100.000
- Wahrscheinlichkeit 1:1.000.000
- Wahrscheinlichkeit 1:10.000.000
- Wahrscheinlichkeit 1:100.000.000

Spitterflug Trajektorien

Kennlinien herunterladen

Alle auswählen

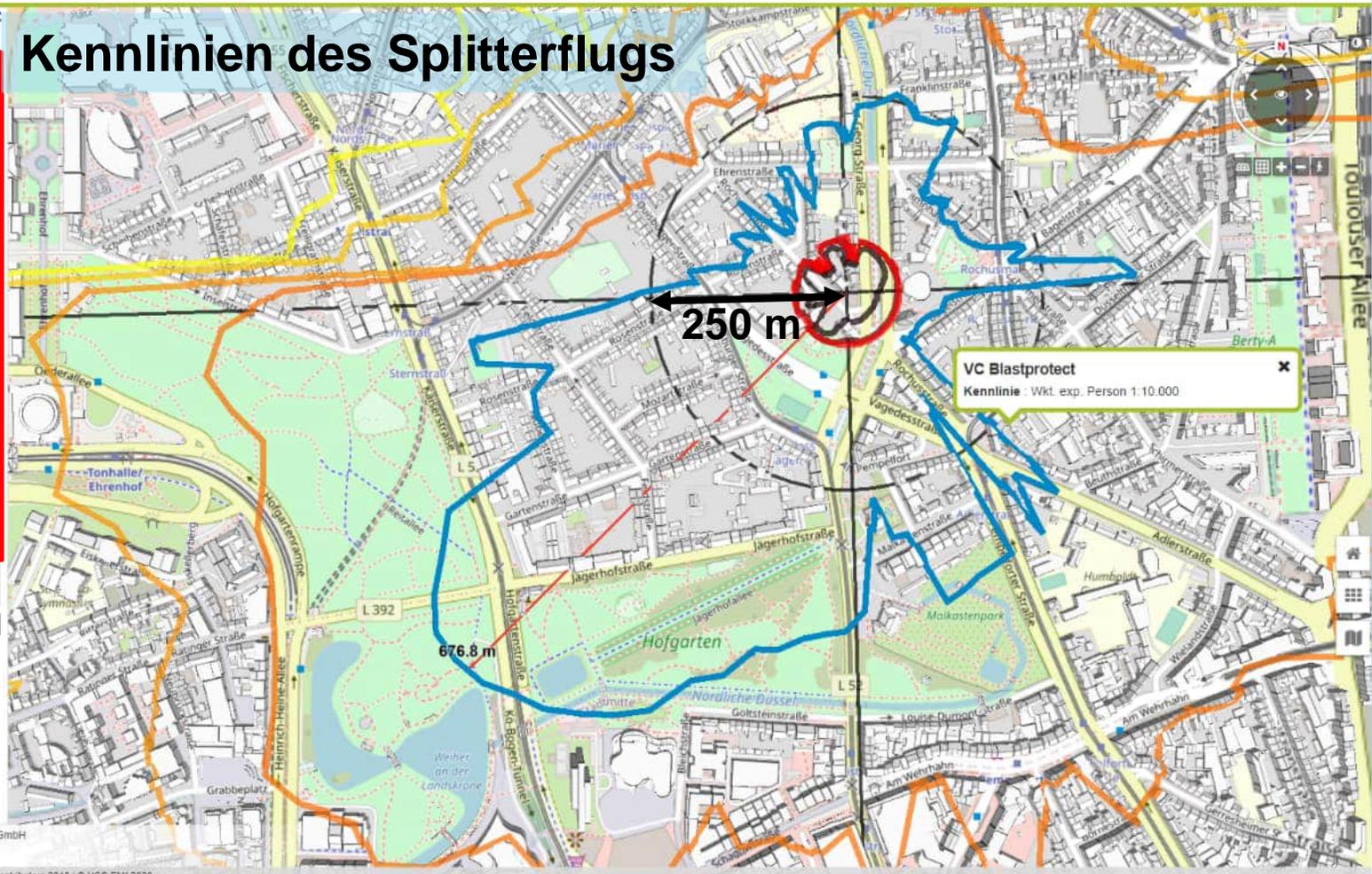
- Wkt. exp. Person 1:10
- Wkt. exp. Person 1:100
- Wkt. exp. Person 1:1.000
- Wkt. exp. Person 1:10.000
- Wkt. exp. Person 1:100.000
- Wkt. exp. Person 1:1.000.000
- Wkt. exp. Person 1:10.000.000
- Wkt. exp. Person 1:100.000.000

Ausgewählte Kennlinien

Geojson herunterladen

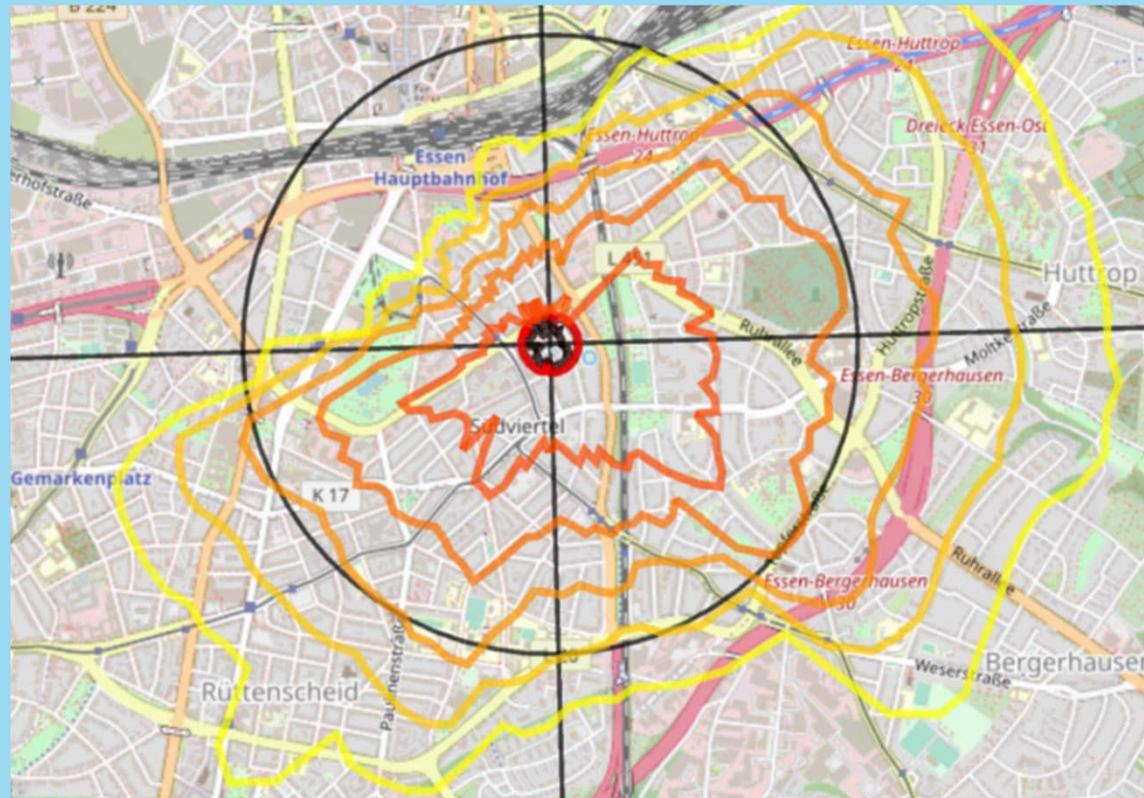
Zurück

Kennlinien des Splitterflugs





weitere Visualisierung Splitterkennlinien





Visualisierung von Splitterflugtrajektorien

Simulationsergebnisse

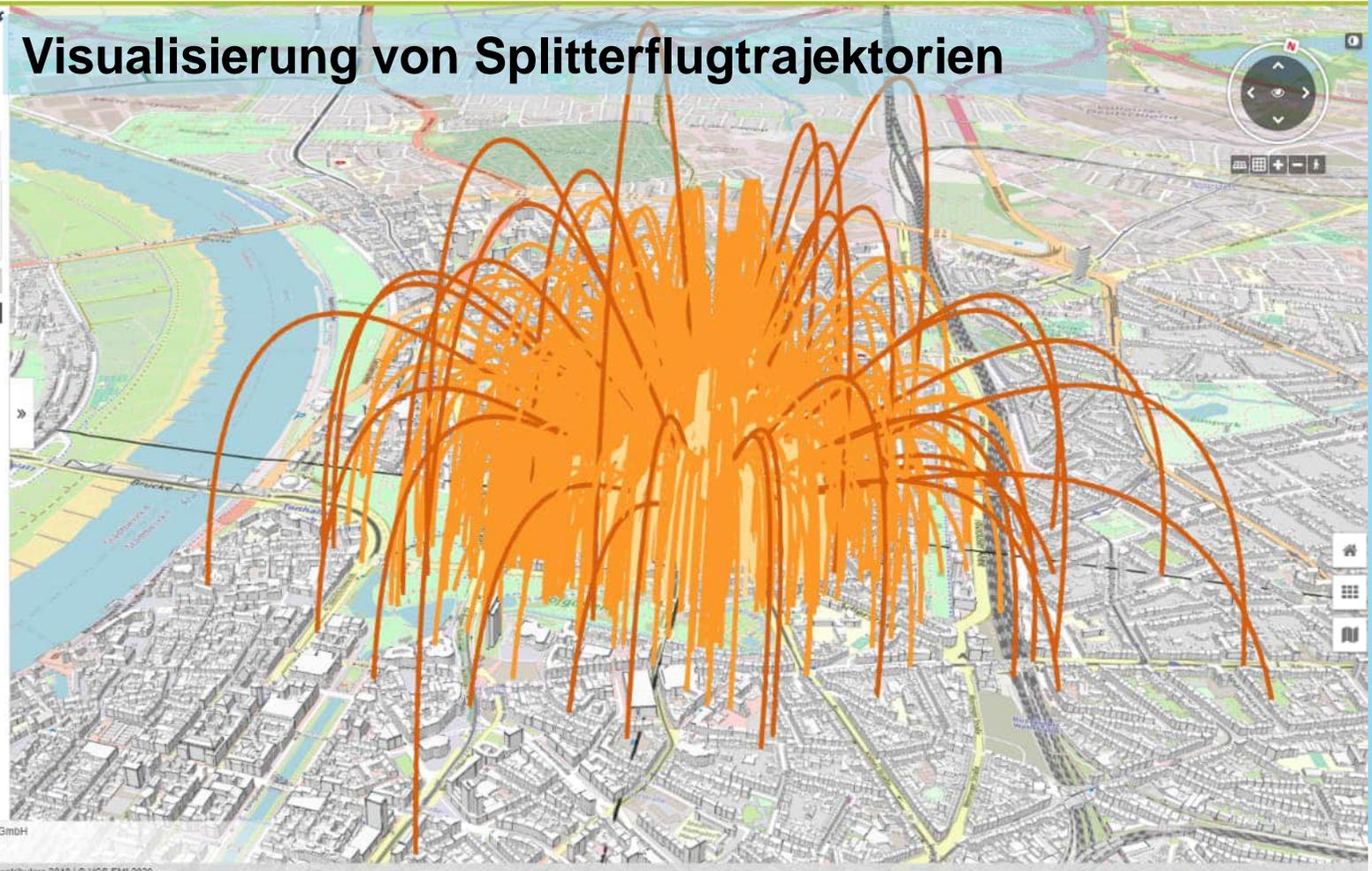
Splitterflug Kennlinien

Splitterflug Trajektorien

- < 0.001 kg
- < 0.01 kg
- < 0.1 kg
- > 0.1 kg

> Kennlinien herunterladen

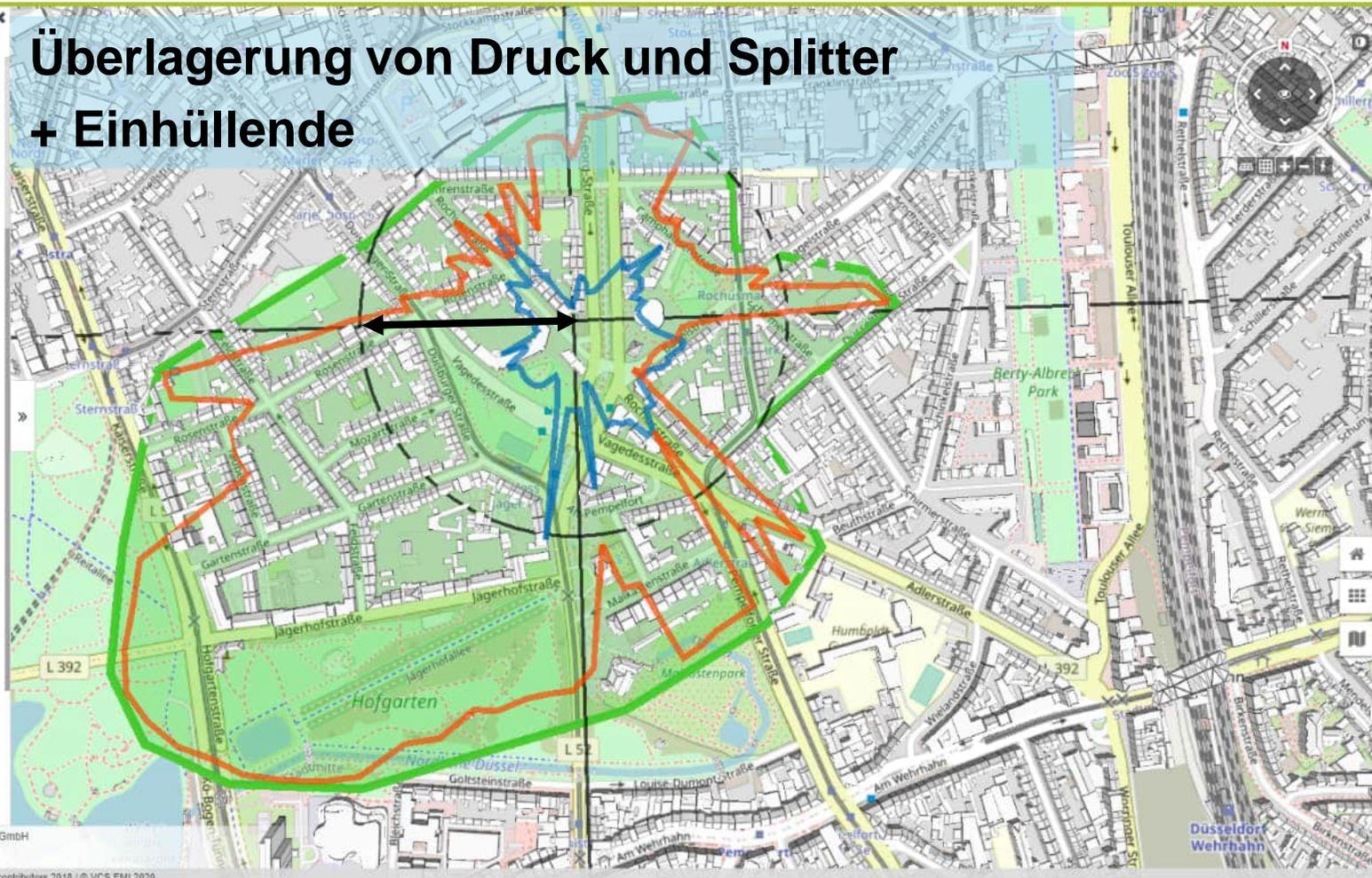
Zurück





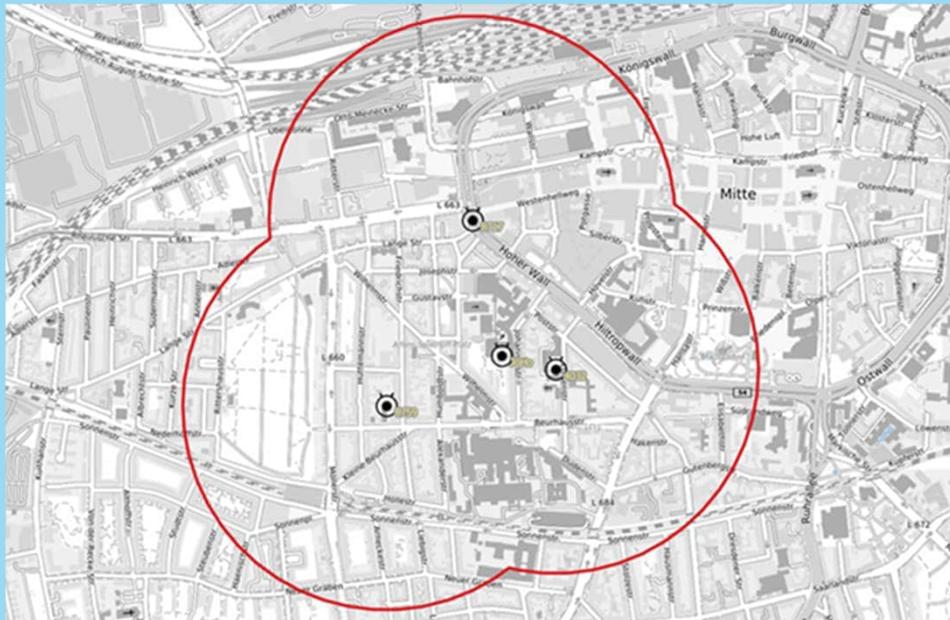
Überlagerung von Druck und Splitter + Einhüllende

- Themen & Inhalte**
- Gebäude LOD2
- Simulations**
- Herne VP 2152
 - Herne VP 2141
 - Herne VP 2141 Orientierung West
 - Herne VP 2141 Orientierung Nord
 - Henry
 - Demo Düsseldorf
 - Splitterflug**
 - Splitterflug Kennlinien
 - Kennlinie 4 Splitterflug
 - Wahrscheinlichkeit 1:10.000
 - Splitterflug Trajektorien
 - Druckwelle**
 - Druckwelle Kennlinien
 - Kennlinie 3 Druckwelle
 - Fensterbruch
 - Druckwelle max. Überdruck
 - Druckwelle max. Überdruckimpuls
- PDF erzeugen
Link erzeugen
Alle Einstellungen zurücksetzen

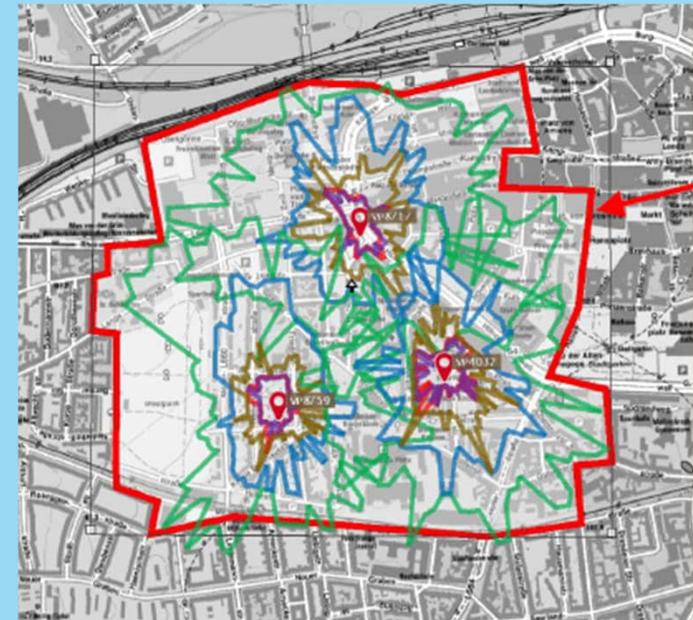
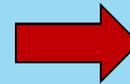




geänderter Evakuierungsbereich



„klassisch“



VC Blastprotect



Fazit

- marktgängiges Produkt
- im urbanen Kontext lokal reduzierte Gefahrenbereiche
- reduzierte Anwendung mit schneller Rechenzeit
- Handhabung und Akzeptanz erst für die Praxis umzusetzen
- Weiterentwicklung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Armin Gebhard
armin.gebhard@im.nrw.de