

## Grosssprengversuch "SHIELD" – Numerische Simulation der Druckwelle

L. Brenner, Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, Labor Spiez, Spiez, CH

### Abstract

Im August 2019 fand im schwedischen Älvdalen der Grosssprengversuch SHIELD (Super Heavy Improvised Explosive Loading Demonstration) statt. Neben der Schweiz waren Schweden, Norwegen, Deutschland und die USA mit zahlreichen Experimenten involviert. Im Versuch wurde ein mit 37.6 Tonnen ANFO-Sprengstoff beladener Lastwagen zur Detonation gebracht. Ein derartiger Grossversuch mit einer Fahrzeugbombe ist in Europa bisher einmalig. Für die beteiligten Partnerorganisationen bot SHIELD die Gelegenheit, Fragestellungen des baulichen Schutzes realitätsnah zu untersuchen.

Die Beteiligung der Schweiz an SHIELD wurde initiiert und koordiniert von der Studiengruppe Schutz Infrastruktur Militär (SG SIM), dem Kompetenzzentrum Schutz gegen Waffenwirkung von armasuisse Immobilien. Im Rahmen des Projekts des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz (BABS) zu Belastungsversuchen mit Stahlbetonstrukturen unterstützte das Labor Spiez das Testcenter von armasuisse W+T und die EMPA Dübendorf im Bereich Messtechnik. Die Gruppe Kollektivschutz erarbeitete die Grundlagen hinsichtlich der erwarteten Luftstossbelastungen und führte umfangreiche CFD-Simulationen der Luftstossausbreitung durch. Die Präsentation behandelt die numerischen Pre- und Post-Analysen des Sprengversuches.

Um den Erfolg des BABS Projekts sicherzustellen war es massgeblich die passenden Bemessungen der Träger zu ermitteln. Dies stand in direktem Zusammenhang mit der Druckwirkung, wobei letztere möglichst akkurat an und in den Testwannen berechnet werden musste. In einem Vorprojekt wurden diese Belastungen mittels Grundlagenliteratur sowie vereinfachten Simulationstools abgeschätzt, wobei sich dies als unzureichend herausstellte. Der SHIELD-Test liess sich insbesondere in Bezug auf die Lage und Geometrie der Ladung sowie die Ausbreitung und Reflexion des Luftstosses mit den gängigen idealisierten Grundlagen nur sehr grob beschreiben. Daher wurden mittels numerischer Strömungssimulationen diverse Einflüsse auf die Druckwellenausbreitung in Pre-Analysen untersucht. Dies beinhaltete unter anderem den Einfluss der Ladungsgeometrie, der HESCO-Bastion Wand sowie der Vergleich unterschiedlicher Sprengstoffe. Die Simulationen zeigten, dass vor allem die Ladungsgeometrie die Luftstossausbreitung und -belastung massgeblich beeinflusst. Der Einfluss der HESCO-Bastion Wand konnte vernachlässigt werden, da der Druck-Zeit-Verlauf an der ersten Wanne, abgesehen von einer leichten Druckerhöhung bei rund 33 ms, identisch wie jener der Simulation ohne Wand ausfiel. Weiter zeigten die CFD-Simulationen der Wannen ohne Abdichtung, dass dies zu Spitzenüberdrücken von mehr als 3 bar und Multireflexionsphänomenen mit kurzzeitigen Druckschwankungen innerhalb der Wannen führen kann. Auf Basis dieser Grundlagen wurden die 5 cm breiten Fugen an den Versuchsobjekten abgedichtet um einerseits zu vermeiden, dass sich das Verhalten der Träger durch den entstehenden Gegendruck nicht verfälschte und andererseits die Messtechnik entsprechend geschützt wurde.

Das Studium der Rohmessdaten nach der Sprengung zeigte, dass die mittels numerischer Strömungssimulationen durchgeführten Vorhersagen von guter Qualität war. Aufgrund der nun bekannten effektiven Ladungsparametern sowie die Aufzeichnung der Druckwellenausbreitung mittels den verteilten Druckmesssonden, war es möglich weiterführende Post-Analysen zu machen und die Annahmen bzw. Resultate in den Pre-Analysen im Detail auszuwerten sowie zu validieren. Es wurden zusätzliche numerische Strömungssimulationen mit unterschiedlicher Berechnungsgitterauflösung, eines vereinfachten

sowie detaillierten Sprengsatzmodelles und eines vormodellierten Kraters durchgeföhrt. Der Vergleich mit US-Messdaten zeigte, dass die relative Abweichung der Simulation bei den meisten Druckmesssonden im Bereich von 10 – 20 % liegt. Die grössten Unterschiede ergaben sich vor allem bei der Ankunftszeit einzelner reflektierten Druckwellen sowie im Nahfeldbereich der Sprengung. Zusätzlich zum Vergleich der Druck-Zeit-Verläufe und den typischen Kenngrössen Spitzenüberdruck und Impuls, zeigen die CFD-Simulationen auch qualitativ eine adäquate Übereinstimmung mit Kameraaufnahmen der Sprengung (siehe Abbildung).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Prognose und Messungen eine gute Übereinstimmung aufweisen und die umfangreichen Betrachtungen im Vorfeld des Tests massgeblich zum Projekterfolg beitrugen.

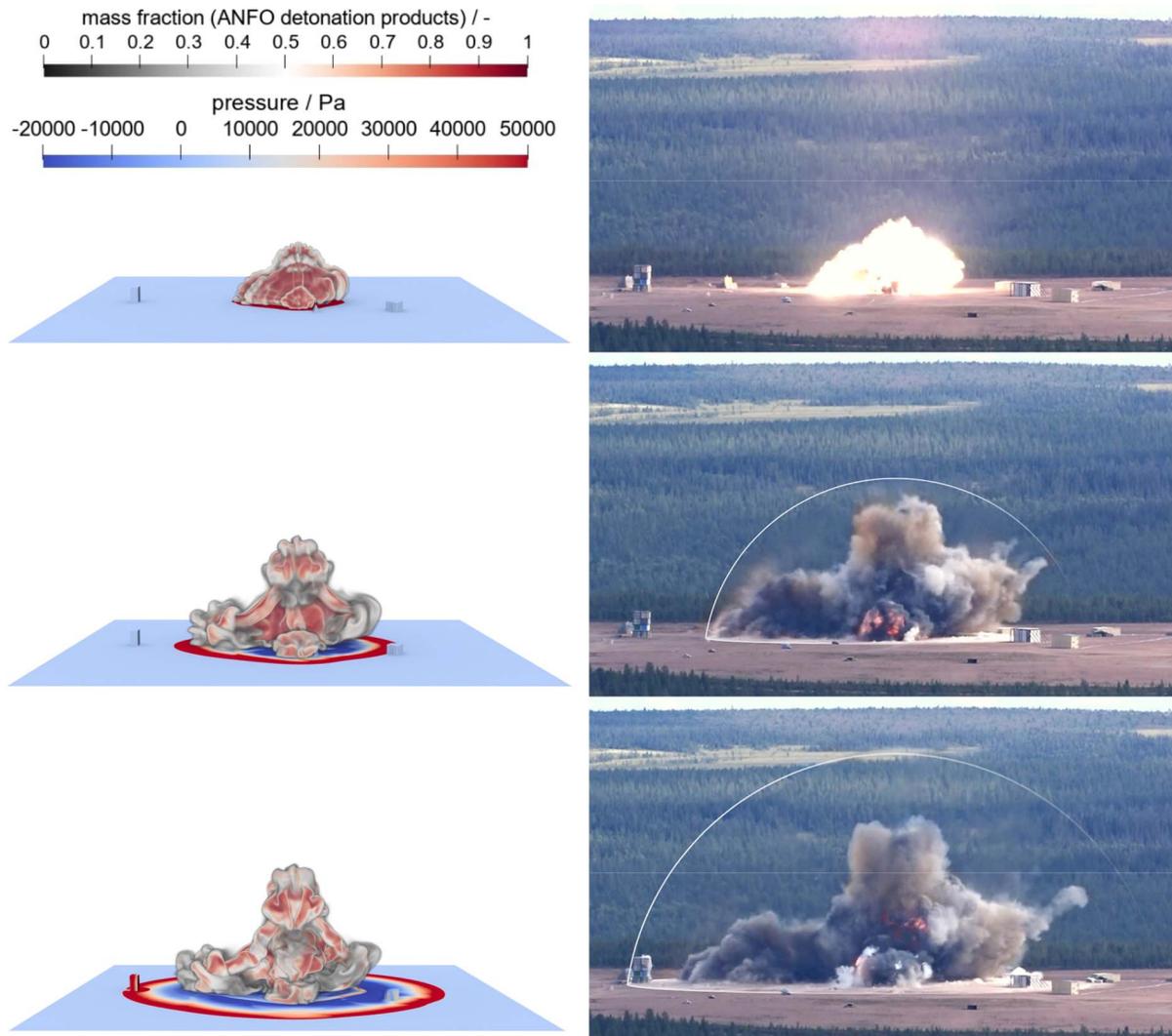


Bild 1: Qualitativer Vergleich der Simulationsergebnisse (links) mit der Highspeed-Kamera-Aufnahme der Sprengung (rechts). Die Abbildungen zeigen den Zeitpunkt kurz nach sowie 100 und 200 ms nach der Detonation. In den Simulationsergebnissen ist die Wolke der Detonationsprodukte (Massenanteil) sowie die Druckverteilung am Boden dargestellt.

# Grosssprengversuch SHIELD

## numerische Simulation der Druckwelle

09.06.2023

Lorenz Brenner  
lorenz.brenner@babs.admin.ch



## Präsentationsinhalt

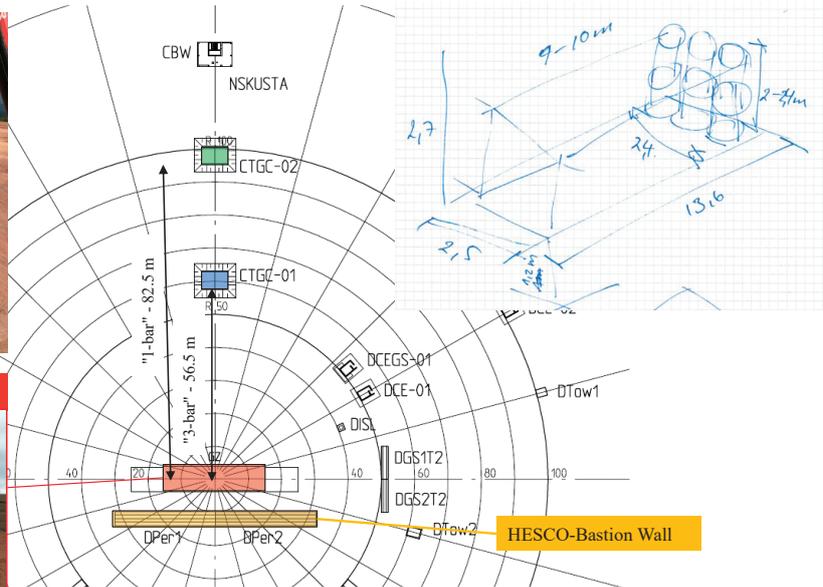
- Testlayout und Teststruktur des SHIELD Versuches
- Pre-Analyse der Druckwelle mittels CFD-Simulationen
- Post-Analyse der CFD-Simulationen und Vergleich mit US-Freifeldmessdaten
- Zusammenfassung



# SHIELD Versuch Layout Testfeld



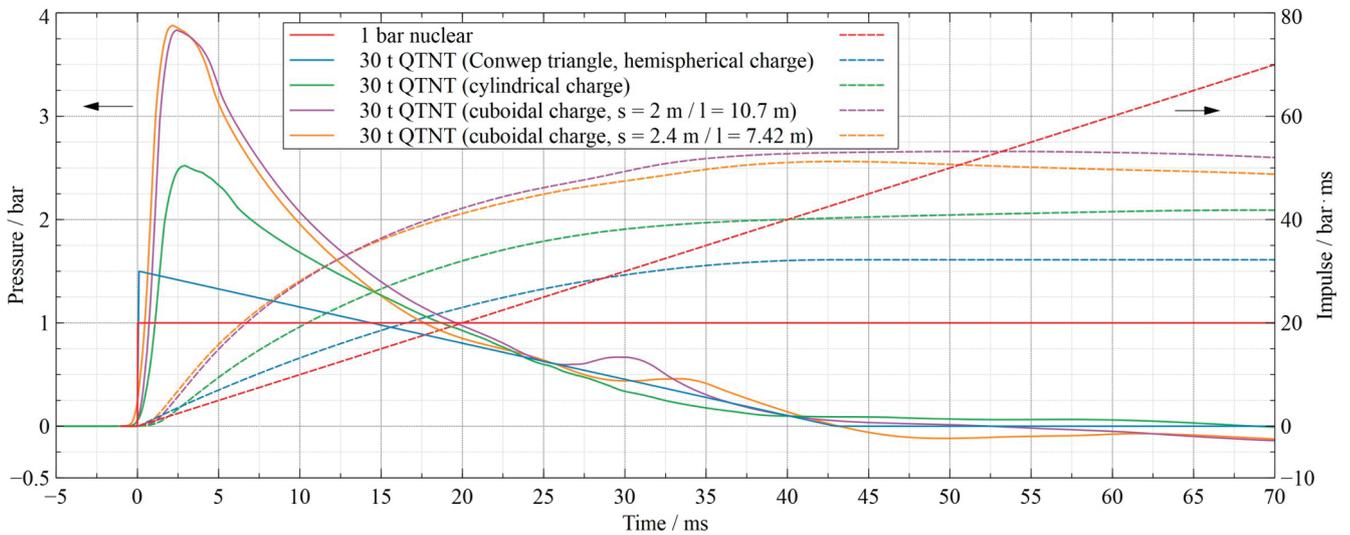
Ladung = 30 t QTNT



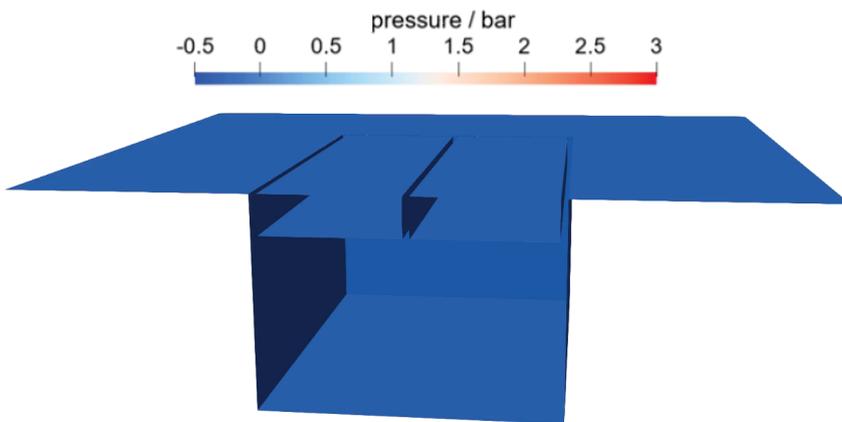
# Pre-Analyse der Druckwelle Fragestellungen

- Charakteristik und Intensität des Luftstosses an den beiden vorgängig festgelegten Standorten der Testwannen mit Testträgern
- Vergleich zur Lastabschätzung aus dem Vorprojekt
- Einfluss der Ladungsgeometrie und Zünderanordnung auf den Luftstoss
- Einfluss der HESCO-Bastion Wand auf den Luftstoss
- Druckverhältnisse in der Testwanne, falls keine Abdichtung vorhanden wäre

## Pre-Analyse der Druckwelle Luftstossdaten an Testwanne 2 (82.5 m von GZ)



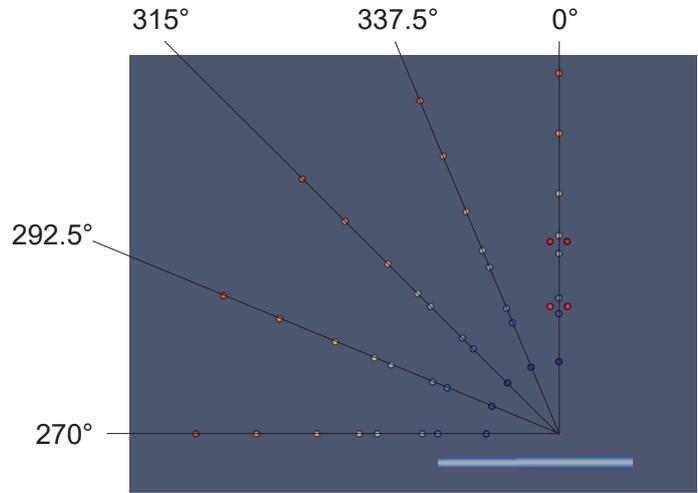
## Pre-Analyse der Druckwelle Druckwirkung in Testwanne 1 (56.5 m von GZ)



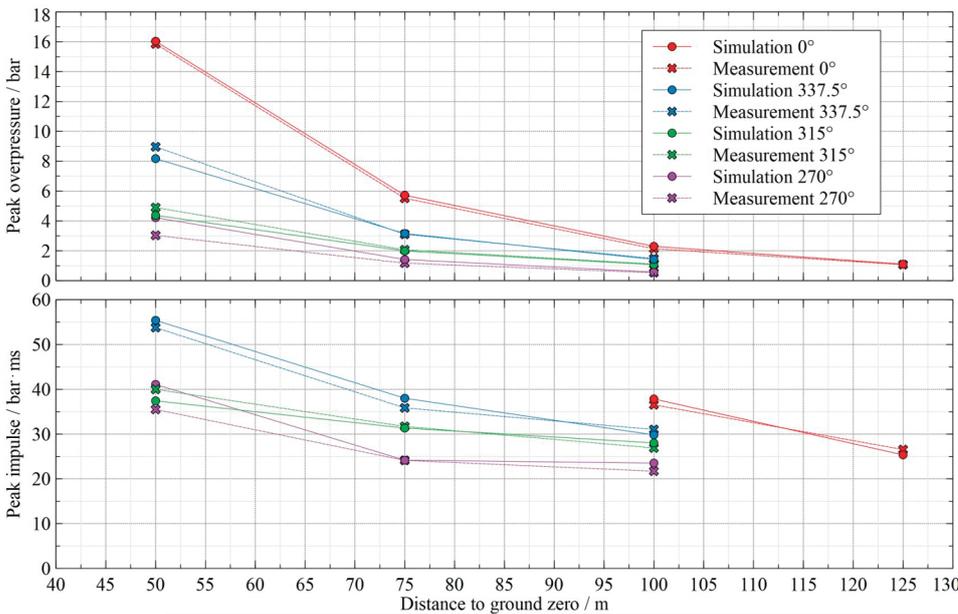
- Spitzenüberdrücke von mehr als 3 bar in der Wanne
  - Multireflexionsphänomene mit kurzzeitigen grossen Druckschwankungen
- Simulationsergebnisse zeigen Notwendigkeit einer Abdichtung



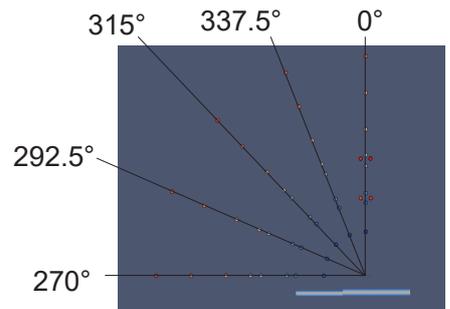
# Post-Analyse der Druckwelle Platzierung Drucksensoren



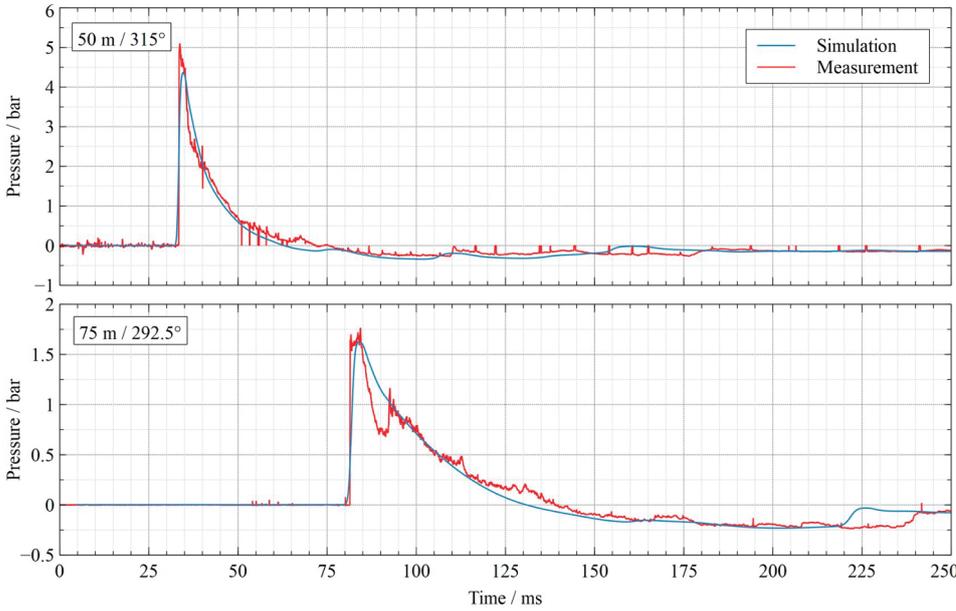
# Post-Analyse der Druckwelle Vergleich Spitzenüberdruck und Impuls



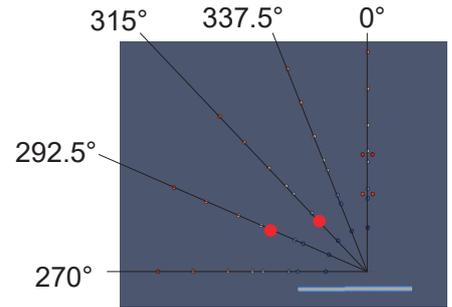
- Grossmehrheitlich Abweichungen < 10 % ab einer Distanz von 75 m zu GZ
- Grössere Abweichungen in Nähe zum Detonationsursprung



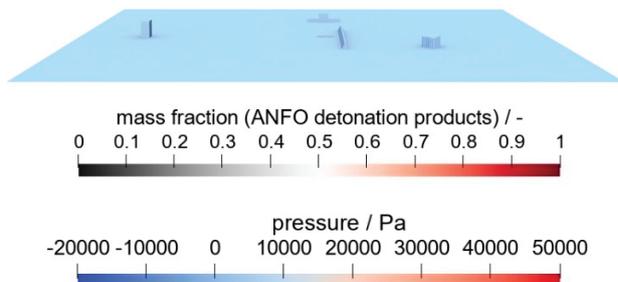
## Post-Analyse der Druckwelle Vergleich Druck-Zeit-Verlauf



- Qualitativ gute Übereinstimmung
- Spitzenüberdruck sowie Ankunftszeiten von Druckwellenreflexionen in der Simulation leicht unterschätzt



## Post-Analyse der Druckwelle Qualitativer Vergleich Simulation ↔ Sprengversuch





## Zusammenfassung

- Fragestellungen hinsichtlich Druckstosswirkung konnten im Vorfeld zum Versuch beantwortet werden
- Einflüsse durch die Ladungsgeometrie sowie Teststrukturen konnten aufgezeigt werden
- Post-CFD-Simulationen bilden in guter Näherung gemessene Druckwellenkenngrossen Spitzenüberdruck sowie Impuls ab
- Simulationssoftware konnte validiert werden



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**