

Deponie Bonfol

Analyse von Explosionsszenarien

Gutachterliche Stellungnahme

(04.04.2011)

Auftraggeber: Groupement DIB
c/o Marti Technik AG
Lochackerweg 2
CH-3302 Moosseedorf

Aufsteller: Delta-X GmbH
Schützenstr. 13
70182 Stuttgart



Deponie Bonfol

Analyse von Explosionsszenarien

Gutachterliche Stellungnahme

(04.04.2011)

11-009

Auftraggeber: Groupement DIB
c/o Marti Technik AG
Lochackerweg 2
CH-3302 Moosseedorf

Aufsteller: Delta-X GmbH
Schützenstr. 13
70182 Stuttgart
Rahm - Burmeister


DELTA-X GmbH Ingenieurgesellschaft
Dr.-Ing. A. Burmeister · Prof. Dr.-Ing. E. Ramm

Inhalt

1.	Allgemeines	3
1.1	Berechnungsgrundlagen	4
2.	Konstruktionsbeschreibung	4
3.	Explosionsszenarien, Konzept	5
3.1	Explosion in der Mulde der Übergabestation, definiertes Szenario: 10 kg TNT	7
3.2	Explosion in den Aufnahmebunkern, definiertes Szenario: 1 kg TNT	7
4.	Rechenmodelle, Analysen	8
5.	Berechnungsergebnisse	9
5.1	Abbauhalle	9
5.2	Bunker der Vorbereitungshalle	13
6.	Zusammenfassung	16

Anhänge

A0:	Zeichnungen
A1:	Rechenmodelle für die Explosion im Bunker
A2:	Ergebnisse Explosionsszenarien in der Abbauhalle
A3:	Ergebnisse Explosionsszenarien im Bunker
	Szenario 3.1: Explosion Mitte der Querwand
	Szenario 3.2: Explosion in Bunkermitte
	Szenario 3.3: Explosion unterhalb des Tores in Achse A

Aufgestellt: 
.....
(Dr.-Ing. A. Burmeister)

Stuttgart, den 04.04.2011

1. Allgemeines

Auf der Deponie Bonfol wurde zum Schutz des deponierten Sondermülls eine weitgespannte Halle errichtet, die so genannte Abbauhalle. Sie dient dazu, den deponierten Müll schrittweise abzubauen. Dieser Aushubhalle vorgelagert ist die so genannte Vorbereitungshalle, welche u.a. drei sogenannte Bunker beinhaltet, die durch zu öffnende Tore von der Abbauhalle getrennt sind. Die Trennung zwischen Abbau- und Vorbereitungshalle findet entlang der Achse A statt, an dieser ist auch die Leitwarte untergebracht.

Der Betrieb ist dadurch gekennzeichnet, dass Müll aus der Aushubhalle mittels Hallenkran abgebaut und in im Nahbereich der Achse A aufgestellte Wannen der Größe 5 x 5 m verbracht wird. Von dort wird dieser über Bagger einem Schredder zugeführt, welcher das verarbeitete Material an Loren übergibt. Letztere transportieren den so bearbeiteten Müll zu den einzelnen Bunkern, in welchen eine Weiterverarbeitung stattfindet.

Im Zuge des Abbauvorganges kam es am 07.07.2010 zu einer lokalen Explosion des Deponiegutes im Bereich der Abbauhalle. Die hierbei aufgetretenen Schäden sind im Bericht der Ed. Züblin AG vom 23.07.2010 [2] dokumentiert, wobei festgestellt wurde, dass die Standsicherheit des Stahltragwerks der Abbauhalle nicht beeinträchtigt wurde. Parallel zu dieser Begutachtung wurden Untersuchungen zu Ursache und Charakteristik der Explosion durchgeführt.

Die Aufgabenstellung für die vorliegende gutachterliche Stellungnahme, die im Auftrag des Groupement DIB erstellt wurde, ist die Analyse unterschiedlicher Explosionsszenarien in der Abbauhalle sowie in den Aufnahmebunkern mit Hilfe rechnerischer Analysen nach der Methode der finiten Elemente für vorgegebene TNT-Äquivalente zusammen mit vorgegebenen Randbedingungen. Durchgeführt wurden dynamische Berechnungen im Zeitbereich, um einerseits die aus der Explosion resultierenden reflektierten Spitzendrücke an unterschiedlichen Stellen zu ermitteln. Andererseits wurde, aufbauend auf von der Züblin Zentrale Technik ermittelten Grenztragfähigkeiten [3], eine Bewertung maßgeblicher Bauteile der Tragstruktur für die Explosionsszenarien vorgenommen. Besonders hingewiesen sei darauf, dass die vorgegebenen Explosionsszenarien weder hinsichtlich der angesetzten Sprengstoff-Mengen noch der zutreffenden Beschreibung durch ein TNT-Äquivalent noch hinsichtlich des zeitlichen Ablaufs bewertet wurden. Ferner war es nicht Bestandteil des Auftrages, die Risiken des Auftretens von Explosionen zu bewerten, sondern vielmehr die Analyse der vorstehend definierten Szenarien durchzuführen.

Für die Konstruktion wurde ein intakter Zustand und die Gültigkeit der Grenz-Tragfähigkeiten nach [3] vorausgesetzt. Die Ermittlung der Grenzschnittgrößen nach [3] wurde nicht überprüft. Auswirkungen der Explosionsszenarien auf den Betrieb bzw. auf die Gefährdung von Personen und/oder Tragwerksteilen oder die Umgebung der Deponie wurden in keiner Weise untersucht. Ferner wurden auch die nach einer Explosion zu ergreifenden Maßnahmen auftragsgemäß nicht betrachtet bzw.

vorausgesetzt, dass nach dem Auftreten von Explosionen die Konstruktion sorgfältig geprüft und in ihren Ausgangszustand durch Reparaturarbeiten zurückversetzt wird.

Die in diesem Gutachten vorgestellten Analysen von Explosionsszenarien berücksichtigen ausschließlich die beschriebenen Explosions-Ereignisse. Auf sämtliche sonstige dynamische und/oder statische Lasten wird nicht eingegangen. Details zu der Ermittlung der Grenzschnittgrößen sind in [3] dargelegt.

1.1 Berechnungsgrundlagen

- [1] Zeichnungen, s. Anhang A0
- [2] Ed. Züblin AG, Eugen Bindek und BFE AG, Walter Binder: Bericht über den Zustand der Konstruktion der Aushubhalle nach der Explosion vom 07.07.2010
- [3] Züblin Zentrale Technik: Ermittlung der Bauteil-Grenztragfähigkeiten bezüglich des Lastfalls Explosion, 23.03.2011

2. Konstruktionsbeschreibung

Das Tragwerk der Aushubhalle wird durch bogenförmige Stahl-Fachwerkträger gebildet, welche auf Stahlbeton-Wandkonstruktionen auflagen. Diese Bogenträger mit unten liegendem Zugband haben gemäß [2] eine Spannweite von ca. 150 m. Die Breite der Halle beträgt ca. 122.5 m. Der Abstand der Bögen beträgt 11.5 m, der Stich der Bögen ca. 35 m. Die Dachebene wird durch auf den Zugbändern



Bild 1: Deponie Bonfol, Übersicht

verlegten Pfetten mit Abständen von ca. 7 m gebildet, welche mittels Verbänden zu einer steifen Scheibe ausgebildet wurden.

Die Fassaden auf den Stirnseiten werden als leichte Konstruktionen ausgebildet.

Bei den Vorbereitungshallen handelt es sich um Stahlbeton-Konstruktionen, welche an die Achse A anschließen und mit einer leichten Eindeckung als Dachtragwerk versehen sind.

Sowohl im Bereich der Aushubhalle als auch im Bereich der Vorbereitungshalle sind RWAs vorgesehen, welche einen Ansprechdruck von 1.0 kN/m² aufweisen. Diese Vorgabe wird nicht überprüft, sondern als gültig vorausgesetzt.

Die Bogenträger lagern auf der Wand in Achse A auf, welche auch die Leitwarte beinhaltet. Weitere Details dieser Konstruktion können den im Anhang A0 beigefügten Zeichnungen entnommen werden.

3. Explosionsszenarien, Konzept

Die aus einer Explosion resultierende Druckwelle hängt in Bezug auf den zu erwartenden zeitlichen Verlauf und bezüglich des reflektierten Spitzendrucks von der Sprengstoffart und -menge sowie dem Abstand der Explosion zu der zu untersuchenden Stelle ab. Allerdings sind diese Zusammenhänge stark nichtlinear, so dass einfache Extrapolationen nicht möglich sind. Hinzu kommt das nichtlineare Verhalten der Tragstruktur, insbesondere im Grenzzustand der Tragfähigkeit, welche ebenfalls nur über entsprechende nichtlineare Betrachtungen erfasst werden kann. Dem Grunde nach nehmen auch die Besonderheiten des explodierenden Stoffes Einfluss auf die Entwicklung des Druck-Zeit-Verlaufes und die Druck-Amplitude.

Zu betrachten waren zwei mögliche Szenarien für die Explosion von TNT-Ladungen:

- Explosion in der Mulde der Übergabestation der Abbauhalle
- Explosion im Aufnahmebunker

Es wurde auf deren Auswirkungen auf die Tragstruktur und die Schaltwarte eingegangen. Zur Bewertung der Konstruktion wurden die sich aus den Explosionsereignissen errechneten Schnittgrößen den Grenzschnittgrößen der einzelnen Bauteile gegenüber gestellt. Diese Grenztragfähigkeiten wurden konservativ auf Querschnittsebene ermittelt. [3]

Darüber hinausgehende verfeinerte Analysen unter Berücksichtigung von partiell zerstörtem Beton und/oder Tragwerksteilen sind theoretisch möglich, waren im Zuge der durchzuführenden Analysen allerdings nicht vorgesehen. Anzumerken ist, dass, sofern die sich nach einer konservativen



Betrachtung ergebenden Tragfähigkeiten im Grenzzustand die möglichen Szenarien deutlich abdecken, auf verfeinerte Untersuchungen verzichtet werden kann.

Verwendet wurden detaillierte finite Element-Rechenmodelle zusammen mit nichtlinearen Analysen im Zeitbereich, welche den zeitlichen Ablauf der Ausbreitung und des Auftreffens der Druckwelle auf die Konstruktion darstellen.

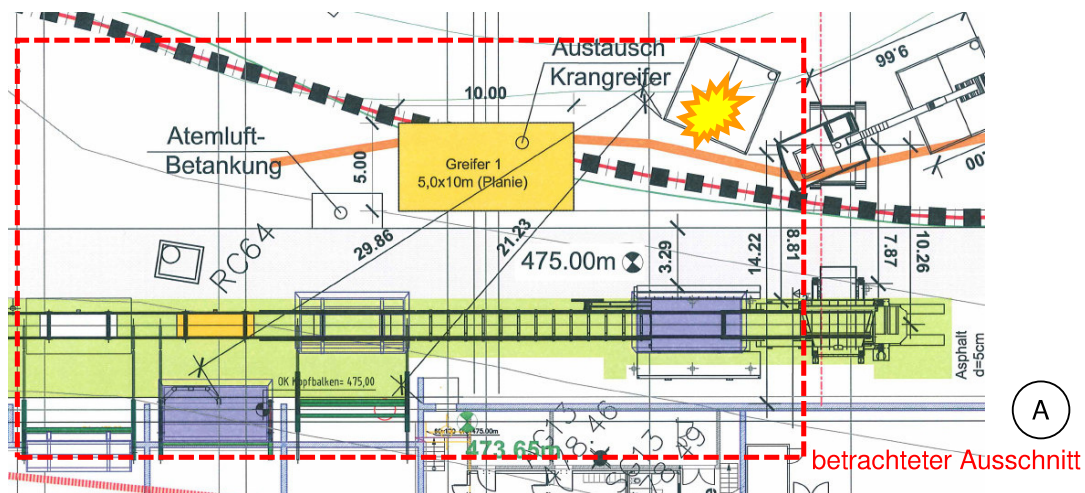
Berücksichtigt wurden Grenzfallbetrachtungen für die Abbauhalle u.a. unter Berücksichtigung des Ansprechdrucks der RWAs. Weiterhin beinhalten die Analysen die Schaltwarte und die Aufnahmebunker mit den für das Strukturverhalten maßgebenden Bauteilen. Innerhalb der angesprochenen Grenzfallbetrachtungen wird einerseits von einem nicht ansprechenden Dach und unterschiedlichen Zuständen für die Tore ausgegangen. Andererseits wird der Grenzfall eines bereits bei 1 kPa ansprechenden Daches untersucht. Dieses Vorgehen bietet den Vorteil, die Struktur in ihrer Reaktion auf derartige Ereignisse erfassen zu können. Es liefert auch den Vorteil, nachkritische Grenzzustände und Sensitivitäten in der Strukturantwort in Bezug auf die betrachteten Explosionsszenarien aufzuzeigen.

3.1 Explosion in der Mulde der Übergabestation, definiertes Szenario: 10 kg TNT

Gemäß dem im Abschnitt 3 definierten konzeptionellen Vorgehen wurden die dynamischen Analysen für 10 kg TNT in der Mulde der Übergabestation durchgeführt. Der Abstand des Explosionsortes von der Achse A beträgt 15.2 m. Der Boden der Mulde wird als 1.20 m unter OK Umgebungsniveau angenommen. Die Ladung wird als Halbkugelladung auf dem Boden der Mulde berücksichtigt. Einen Überblick gibt Bild 2.

Analysiert wurden die Auswirkungen auf die Tragstruktur und die tragenden Bauteile der Schaltwarte (Decke über EG, Wände) für die nachstehend im Detail beschriebenen Grenzfälle.

Ausgewertet wurden die zeitabhängigen Beanspruchungen der erwähnten Bauteile. Letztere wurden zur Bewertung der Ertragbarkeit dieser Drücke den Grenztragfähigkeiten der entsprechenden Bauteile gegenüber gestellt.



Abstand zur Wand (Achse A): 15,20m
 Tiefe der Mulde: 1,20m
 Ladungsgröße: 10kg TNT
 (high explosive burn)



Ladung als Halbkugel
 (Durchmesser = 288mm)

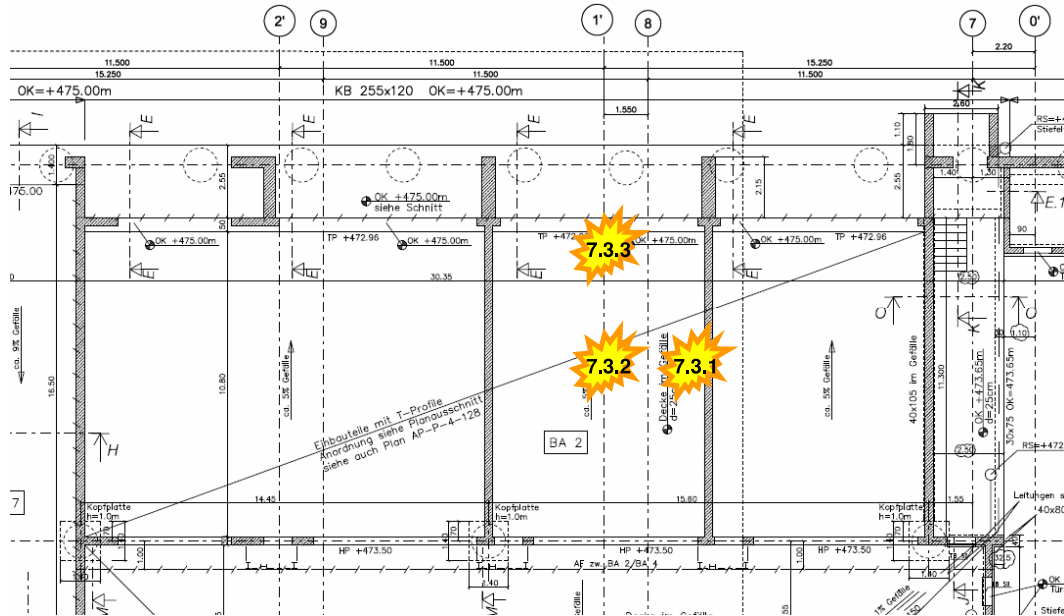
Bild 2: Explosionsszenario in der Abbauhalle, Übersicht

3.2 Explosion in den Aufnahmebunkern, definiertes Szenario: 1 kg TNT

Gemäß dem im Abschnitt 3 definierten konzeptionellen Vorgehen wurde die dynamische Analyse für 1 kg TNT in den Aufnahmebunkern durchgeführt. Betrachtet wurden die Auswirkungen auf die Tragstruktur und die tragenden Bauteile der Schaltwarte (Decke über EG, Wände). Auf Grund unterschiedlicher Orte, an denen die Explosion stattfinden kann, waren drei Berechnungen mit

unterschiedlichen Explosionsstellen durchzuführen (Bild 3). Aspekte von Kontaktdetonationen wurden nicht betrachtet.

Ausgewertet wurden die zeitabhängigen Beanspruchungen der erwähnten Bauteile. Letztere wurden zur Bewertung der Ertragbarkeit dieser Drücke den Grenztragfähigkeiten der entsprechenden Bauteile gegenüber gestellt.



Ladungsgröße: 1kg TNT (high explosive burn)



Ladung als Halbkugel
 (Durchmesser = 134mm)

Bild 3: Explosionsszenarien am Boden des Bunkers, schematische Übersicht

4. Rechenmodelle, Analysen

Die zur Gegenüberstellung mit den Grenzschnittgrößen notwendigen zeitabhängigen Schnittgrößen der maßgebenden Bauteile wurden mit Hilfe eines zweistufigen Vorgehens ermittelt. In einem ersten Schritt wurde auf der Grundlage eines finiten Element-Rechenmodelles die Druckausbreitung in Folge der Explosion mit den im Abschnitt 3 definierten TNT-Mengen mit Hilfe des expliziten Codes LS-DYNA ermittelt. Im Anschluss daran wurden die zeitabhängigen Druckverläufe auf ein Strukturmodell übertragen, mit welchem die zeitabhängigen Schnittgrößen errechnet wurden.

Das Rechenmodell für die Druckausbreitung in der Abbauhalle ist in Anhang A1 dargestellt.

Die Berechnungen für die Explosion in der Abbauhalle wurden für folgende konservativen Annahmen bzw. Varianten durchgeführt:

- Halbkugelladung auf dem Wannensboden, 10 kg TNT
- | Variante | 7.1 zu | 7.1 auf | 7.1 offen |
|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Ansprechdruck Tore zu Bunkern | ∞ (starr) | Null (NRB) | ∞ (starr) |
| Ansprechdruck Dachfläche | ∞ (starr) | ∞ (starr) | 1kPa |
| Ansprechdruck RWA | 1KPa | 1kPa | 1kPa |

Das Rechenmodell für die Explosion im Bunker findet sich im Anhang A1.

Die Berechnung für die Explosion in den Bunkern wurde unter folgenden Annahmen durchgeführt:

- Halbkugelladung auf dem Bunkerboden, 1kg TNT
- Geschlossenes Tor zur Halle ohne Ansprechdruck
- Offenes äußeres Tor, ohne Versperrung durch z.B. Bagger
- Grenzfallbetrachtungen für geschlossenes Dach unter Berücksichtigung des Ansprechdrucks für die RWAs bzw. als zweiten Grenzfall die Untersuchung für eine Dachfläche mit einem Ansprechdruck von 1 kPa.

5. Berechnungsergebnisse

Parallel zu diesem Bericht wurde eine Präsentation der Ergebnisse erstellt, welche auch Filme (*.avi) enthält, die die zeitliche Entwicklung der Druckausbreitung für die unterschiedlichen Szenarien darstellen. Durchgängig werden in der Präsentation wie auch in diesem Bericht die Dimensionen N, mm, s verwendet.

5.1 Abbauhalle

Die Ergebnisse der Abbauhalle sind im Detail in Anhang A2 dokumentiert. Im Einzelnen sind die Druck-Zeit-Verläufe für unterschiedliche Positionen dargestellt. Ferner sind für ausgewählte maßgebende Stellen die Schnittgrößen-Zeitverläufe für die Grenzfallbetrachtung geschlossenes Dach und geschlossene Tore zu den Bunkern (Grenzfallbetrachtung "7.1 zu") wiedergegeben. Unter diesen

Annahmen ergibt sich im oberen Bereich der Wand in Achse A der maximal reflektierte Spitzendruck von ca. 150 kN/m² (kPa).

Zusammen mit der dynamischen Antwort der Wand, die für den näherungsweise berücksichtigten Zustand II (gerissener Beton) berechnet wurde, ergeben sich Schnittgrößen, welche auf der Grundlage der von der Züblin Zentrale Technik ermittelten Grenzschnittgrößen bewertet wurden. Es zeigt sich, dass am oberen Wandende, im Bereich des maximalen reflektierten Druckes örtlich begrenzt Überschreitungen der Grenztragfähigkeit auftreten. Dies ergibt sich auf einer Länge von wenigen Metern. Die Bereiche, in welchen die Überschreitungen der Grenzschnittgrößen auftreten, sind nachfolgend in Bild 4 dargestellt. Betroffen sind die Feldmitte, sowie die Ränder und die Stützung durch die äußere dreieckförmige Wandscheibe.

Wie in Abschnitt 4 festgestellt, wurden für die Explosionsszenarien in der Abbauhalle sowohl die Situation mit geschlossenen Toren (ohne Ansprechdruck) zu den Bunkern (Variante "7.1zu") als auch die Situation mit offenen Toren zu den Bunkern (Grenzfallbetrachtung: Variante "7.1auf") untersucht. Aus den im Anhang A2 beigefügten Druck-Zeit-Verläufen kann abgelesen werden, dass dadurch partiell günstigere Beanspruchungen entstehen. Dies gilt im Wesentlichen nicht für die Wand in Achse A, direkt gegenüber dem Explosionsort. Dort ergeben sich in guter Näherung gleichartige Beanspruchungen unabhängig von der Behandlung der Tore zu den Bunkern. Ursächlich hierfür ist das Auftreffen der Druckwelle auf die geschlossene Wand, bevor die Druckwelle die Tore zu den Bunkern erreicht bzw. bevor Druck-Reduktionen in Folge der Nachgiebigkeit der Tore spürbar werden.

Aus der ergänzend betrachteten Situation mit einem Dach, welches einen Ansprechdruck von 1 kPa aufweist (Szenario "7.1offen" bei geschlossenen Toren zu den Bunkern) ergeben sich deutlich günstigere Drücke auf die Wand in Achse A. Maximalwerte der reflektierten Spitzendrücke bleiben im Wesentlichen unter 20 kN/m². Weiter bedeutet dieses für die Wand in Achse A, dass, wie in Bild 5 dargestellt, nun praktisch keine Überschreitungen der Grenzschnittgrößen mehr auftreten. Im Wesentlichen kann ein ähnliches Ergebnis auch für geringfügig höhere Ansprechdrücke des Daches im Bereich der Abbauhalle erwartet werden.

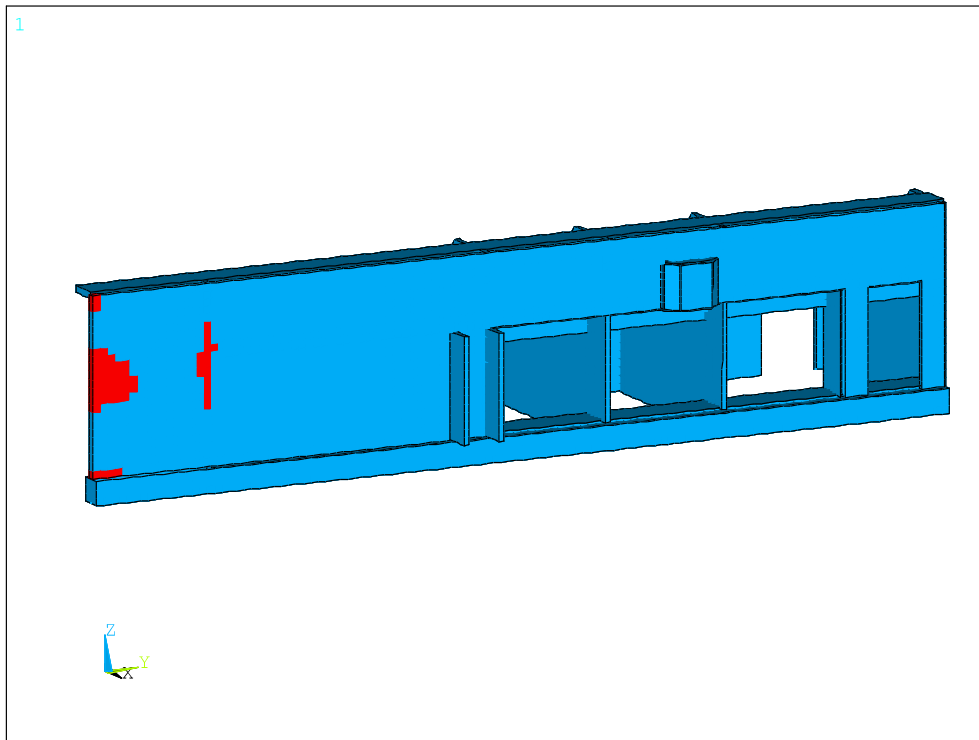


Bild 4a: Überschreitung der Grenzmomente aus Szenario "7.1 zu"

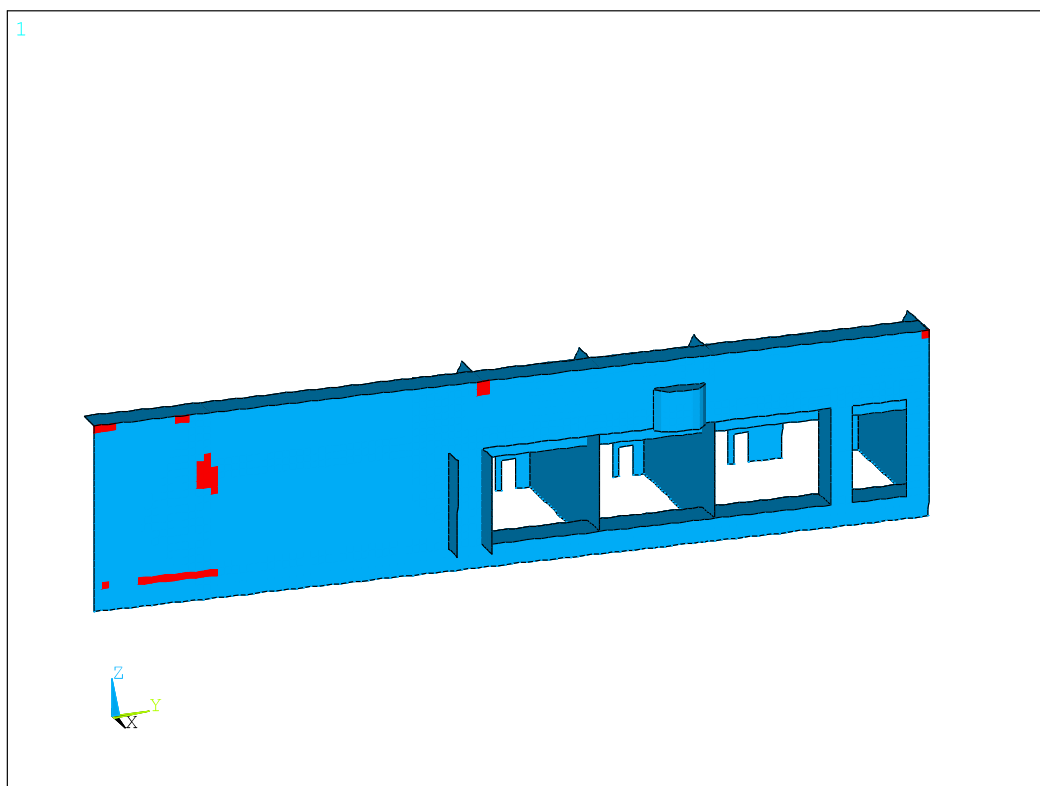


Bild 4b: Überschreitung der Grenzquerkräfte aus Szenario "7.1 zu"

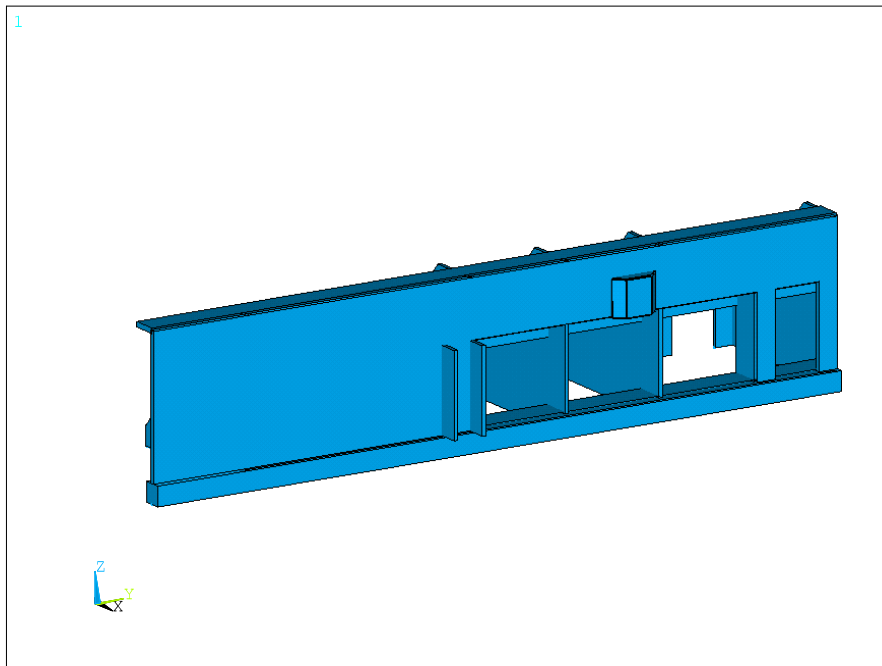


Bild 5a: Überschreitung der Grenzmomente aus Szenario "7.1 offen"

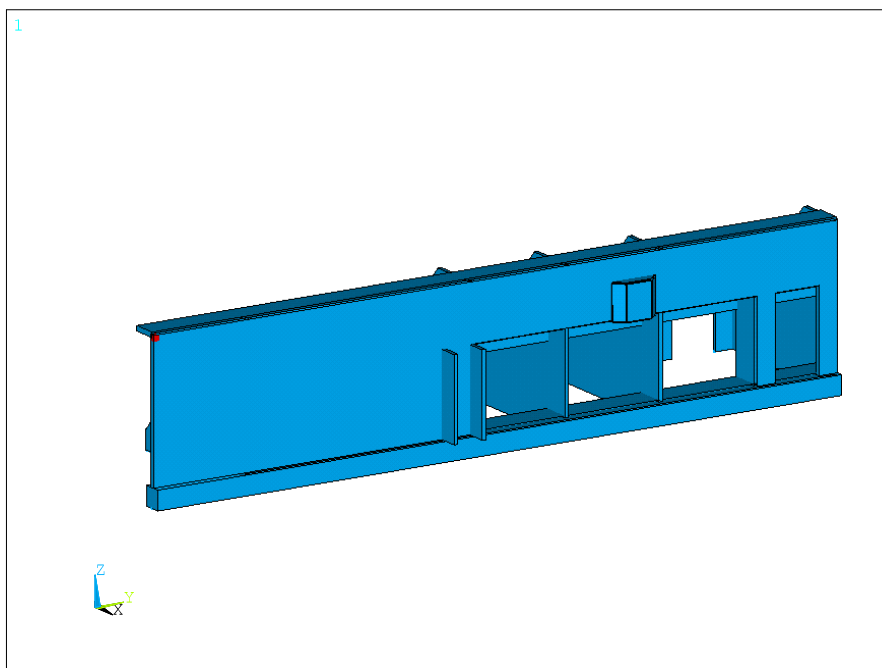


Bild 5 b: Überschreitung der Grenzquerkräfte aus Szenario "7.1 offen"

5.2 Bunker der Vorbereitungshalle

Die Ergebnisse zu den Explosionsszenarien in den Bunkern finden sich im Detail im Anhang A3.

Im Einzelnen sind die Druck-Zeit-Verläufe für unterschiedliche Positionen dargestellt. Unter den beschriebenen Annahmen ergibt sich für den Grenzfall eines **Daches ohne Ansprechdruck** und ein als ausreichend belastbar angenommenes Tor zur Abbauhalle für letzteres ein maximaler reflektierter Spitzendruck von ca. 50 kN/m² in Folge der Explosion in Bunkermitte. Auf die senkrecht zur Achse A stehende Seitenwand 1 des Bunkers ergibt sich ein maximaler reflektierter Spitzendruck von ca. 48 kN/m² ebenfalls in Folge des Explosionsszenarios in Bunkermitte. Ähnlich hohe Spitzendrücke ergeben sich an dieser Stelle auch aus dem Szenario "Explosion an der Achse A (7.3.3)" mit ca. 33 kN/m². Auf die gegenüber liegende "Seitenwand 2" ergibt sich ein maximaler reflektierter Spitzendruck aus der Explosion an der "Seitenwand 1" von ca. 84 kN/m². Unterschiede zwischen den Seitenwänden resultieren lediglich aus den betrachteten Explosionsorten im Bunker. Tatsächlich verhalten sich die Seitenwände, sofern sämtliche realen Explosionsorte (incl. derjenigen an Seitenwand 2) betrachtet werden, prinzipiell gleichartig.

Auf die Rückwand oberhalb des äußeren Tores entstehen maximale reflektierte Spitzendrücke von über 200 kN/m² in Folge der Explosion in Bunkermitte. Die maximalen reflektierten Spitzendrücke auf die Leitwarte resultieren aus der Explosion in Bunkermitte und erreichen Werte von ca. 104 kN/m².

Zur Ermittlung der dynamischen Antworten der Wände wurde näherungsweise wiederum der Elastizitätsmodul auf 1/3 des Wertes aus Zustand I verwendet, um den gerissenen Zustand II des Betons zu berücksichtigen. Wie aus dem Bild 6 (s. auch Anhang A3) abzulesen ist, treten in den Bunkerwänden sowohl Überschreitungen der Grenzbiegemomente als auch der Grenzquerkräfte auf. In der Rückwand kommt es zu großflächigen Überschreitungen, wobei zu erwähnen ist, dass diese Rückwand näherungsweise dem Typ drei gemäß [3] zugeordnet wurde. In den restlichen Wänden handelt es sich um kleinflächigere Bereiche, in denen diese Überschreitungen auftreten.

Bezüglich der Leitwarte ist festzuhalten, dass es lediglich in einem sehr kleinen Bereich zu Überschreitungen der Grenzmomente nach [3] kommt. Die Ausdehnung der Bereiche mit Überschreitungen der Grenzschnittgrößen kann aus den maßstäblichen Isometrien der entsprechenden Darstellungen abgelesen werden.

Für das Explosionsszenario im Bunker für den Grenzzustand "**Dach mit Ansprechdruck 1 kPa**" ergeben sich analog zu den Untersuchungen für die Explosion in der Abbauhalle deutlich günstigere Verhältnisse. Aus der stellvertretend für die anderen Szenarien durchgeführten Analyse gemäß Szenario ("7.3.2 Bunkermitte") resultieren nun maximale reflektierte Spitzendrücke von ca. 34 kN/m² auf die Seitenwände bzw. die Rückwand. Die Beanspruchungen für die Leitwarte liegen nun im Bereich von 70 kN/m². Diese Reduktion in den maximal reflektierten Spitzendrücken führt dazu, dass nunmehr in äußerst lokal begrenzten Bereichen Überschreitungen der Grenzschnittgrößen stattfinden, woraus geschlossen werden kann, dass für dieses Szenario keine Probleme für die Standsicherheit des Tragwerks resultieren.

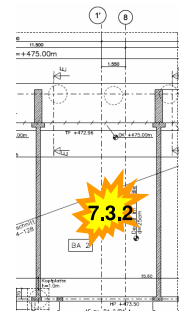
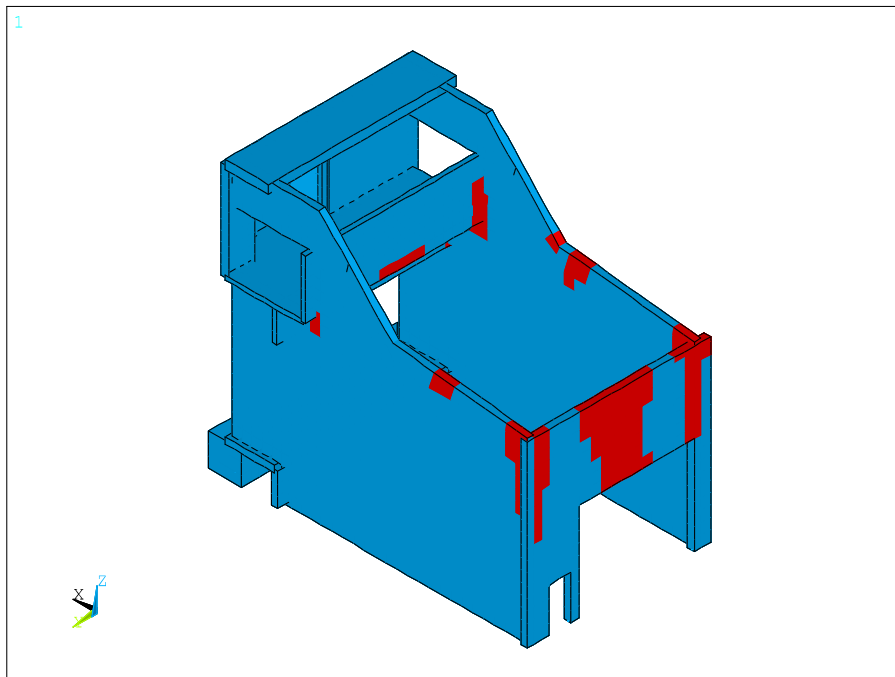


Bild 6a: Überschreitung der Grenzmomente, Explosion 7.3.2 im Bunker, Dach geschlossen

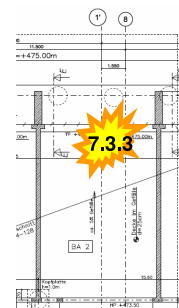
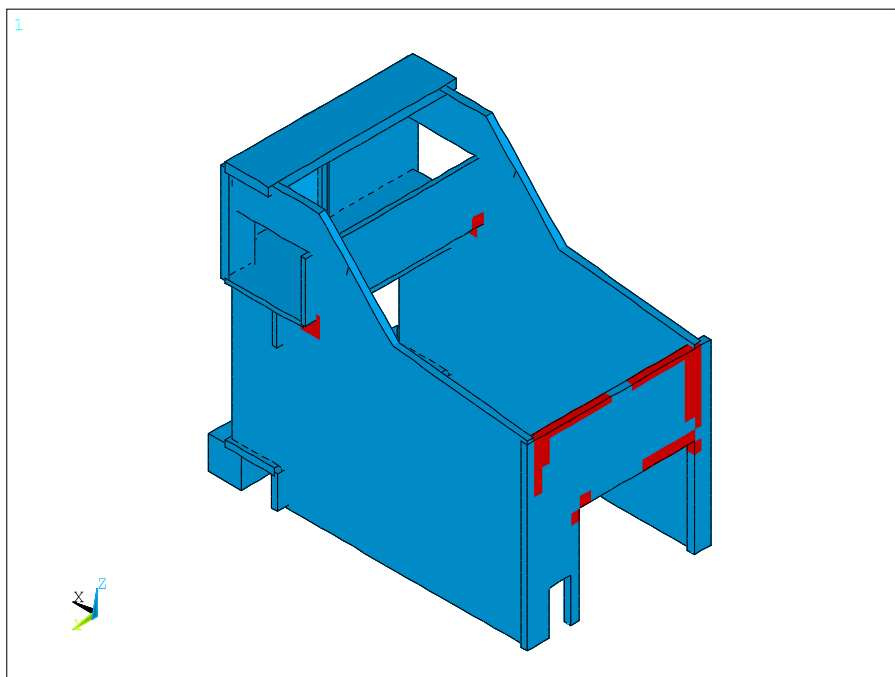


Bild 6b: Überschreitung der Grenzquerkräfte, Explosion 7.3.3 im Bunker, Dach geschlossen

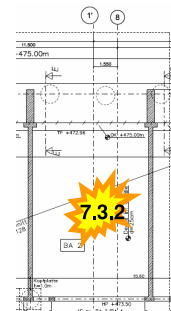
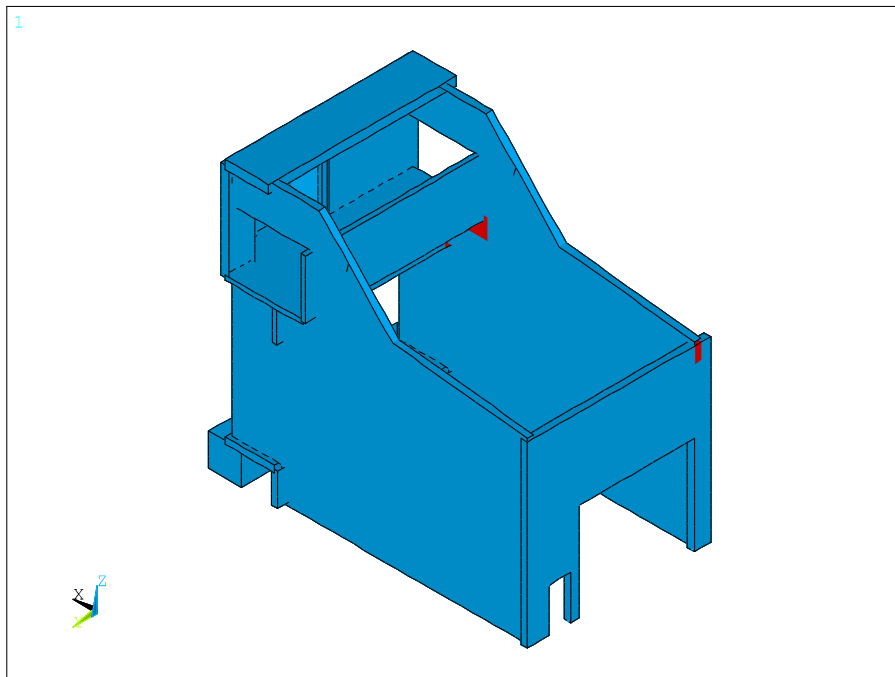


Bild 7a: Überschreitung der Grenzmomente, Explosion 7.3.2 Bunker, Dach offen

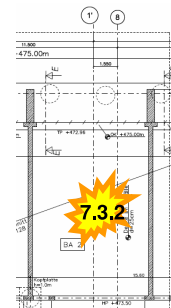
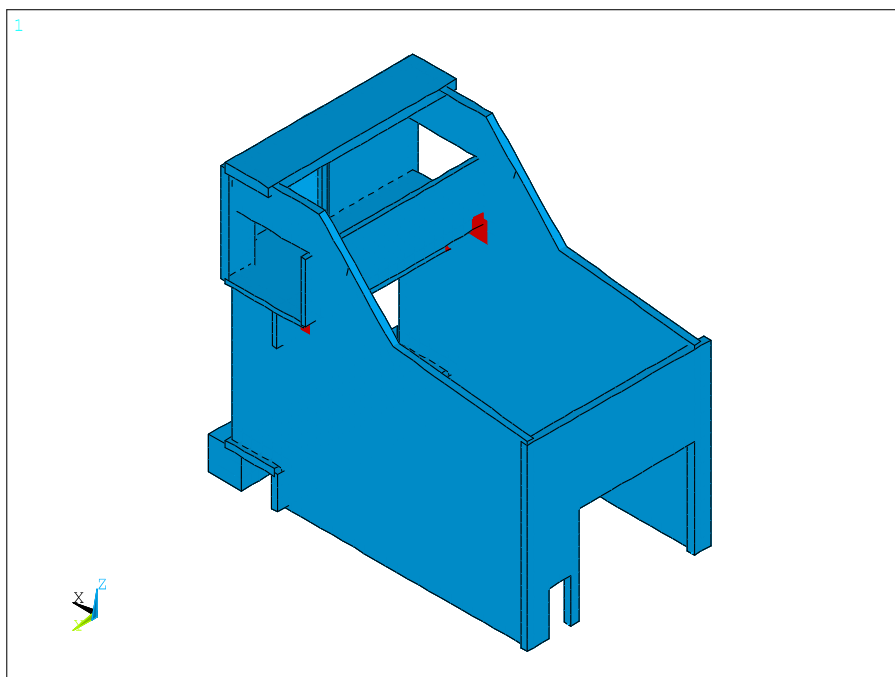


Bild 7b: Überschreitung der Grenzquerkräfte, Explosion 7.3.2 Bunker, Dach offen

6. Zusammenfassung

Gegenstand des vorliegenden Gutachtens sind rechnerische Analysen zu Drücken, die aus unterschiedlichen Explosionsszenarien auf den maßgebenden Stahlbeton-Strukturen in Achse A bzw. in den Bunkerwänden entstehen. Betrachtet wurden unterschiedliche Szenarien in Bezug auf offene und geschlossene Tore bzw. Dächer und Explosionsorte.

Im Ergebnis zeigt sich, dass für die betrachteten Explosionen von 10 kg TNT in der Wanne der Abbauhalle örtlich begrenzte Überschreitungen der von der Züblin Zentrale Technik ermittelten Grenzschnittgrößen auftreten, solange das Dach als geschlossen und nicht ansprechend angenommen wird. Diese konservative Annahme war notwendig, um im Ergebnis die flächige Ausdehnung von Bereichen mit überschrittenen Grenzschnittgrößen zu ermitteln. Sobald von einem Ansprechen des Daches ausgegangen werden kann - untersucht wurde ein Ansprechdruck von 1 kPa - ergeben sich deutlich reduzierte Drücke auf die Wand in Achse A. Bereiche mit überschrittenen Grenzschnittgrößen treten dann praktisch nicht mehr auf.

Ein vergleichbares Ergebnis ergibt sich in Bezug auf die Stahlbeton-Wände der Bunker für die berechneten Explosionen von 1 kg TNT an den untersuchten Explosionsorten innerhalb des Bunkers. Auch hier werden die zugehörigen Grenzschnittgrößen örtlich und kurzzeitig überschritten, so lange das Dach als nicht ansprechend vorausgesetzt wird. Es zeigt sich auch hier, dass ein ansprechendes Dach die Bereiche mit überschrittenen Grenzschnittgrößen deutlich reduziert, wenngleich – bedingt durch die Geometrie der Bunker - die Reduktion der Spitzendrücke weniger hoch ausfällt als bei der Abbauhalle und sich insgesamt ein als unkritisch in Bezug auf Strukturversagen zu bewertender Zustand ergibt.

Die Grenzschnittgrößen für die Stahlbetonkonstruktion der Leitwarte werden in den betrachteten Szenarien ebenfalls nicht überschritten, sofern für das Bunkerdach ein Ansprechdruck in der untersuchten Größenordnung vorausgesetzt werden kann.

Die die Wand in Achse A aussteifenden Lisenen wurden in [3] als unkritisch beurteilt und vor diesem Hintergrund nicht weiter betrachtet.

Insgesamt ist von einer Zerstörung der jeweiligen Dächer sowohl der Abbauhalle als auch der Bunker in Folge der beschriebenen Explosionsereignisse auszugehen. Zudem ist mit lokalen Zerstörungen im Bereich der TNT-Ladung und deren unmittelbarem Umfeld zu rechnen. Für die restlichen Strukturteile ergibt sich zumindest eine Reparaturbedürftigkeit nach derartigen Ereignissen.

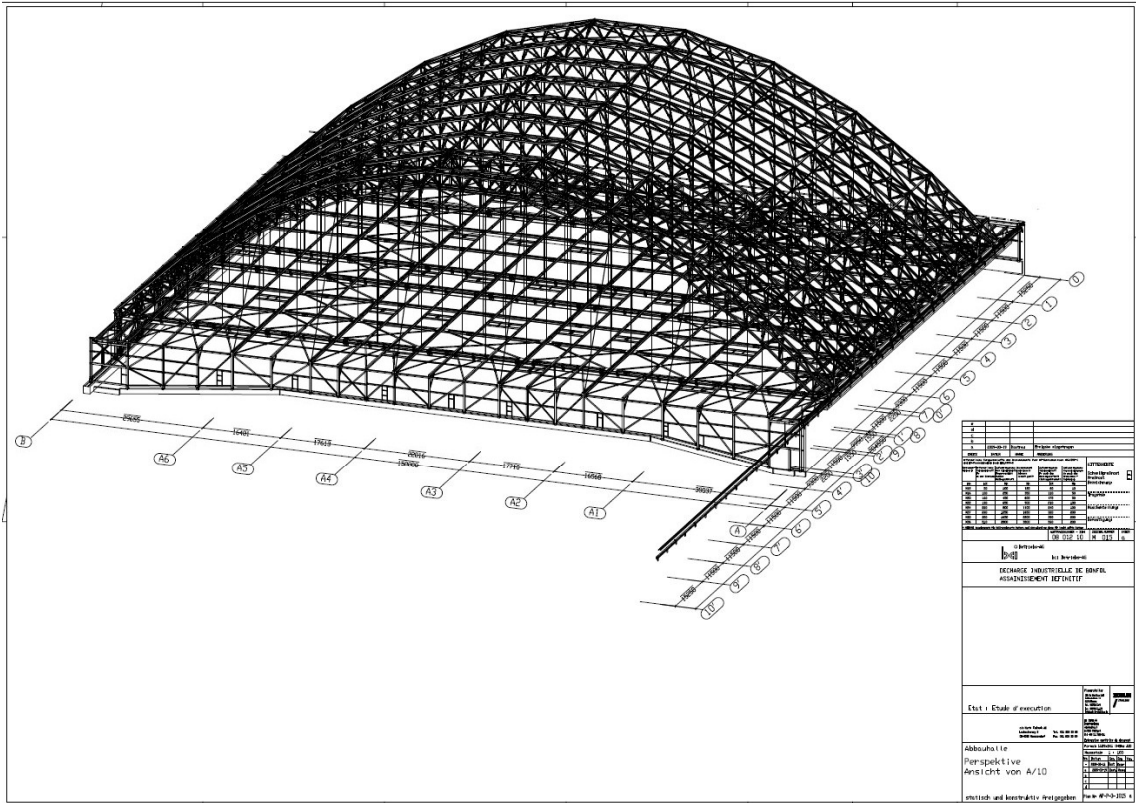


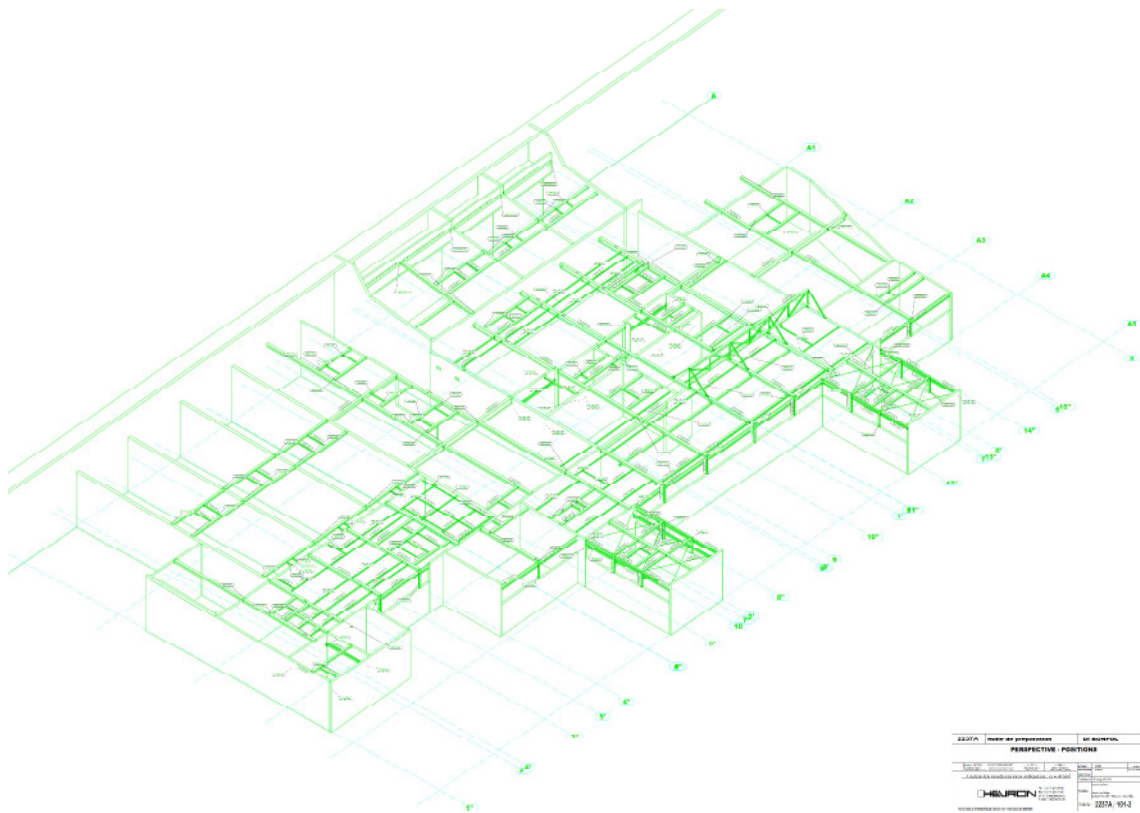
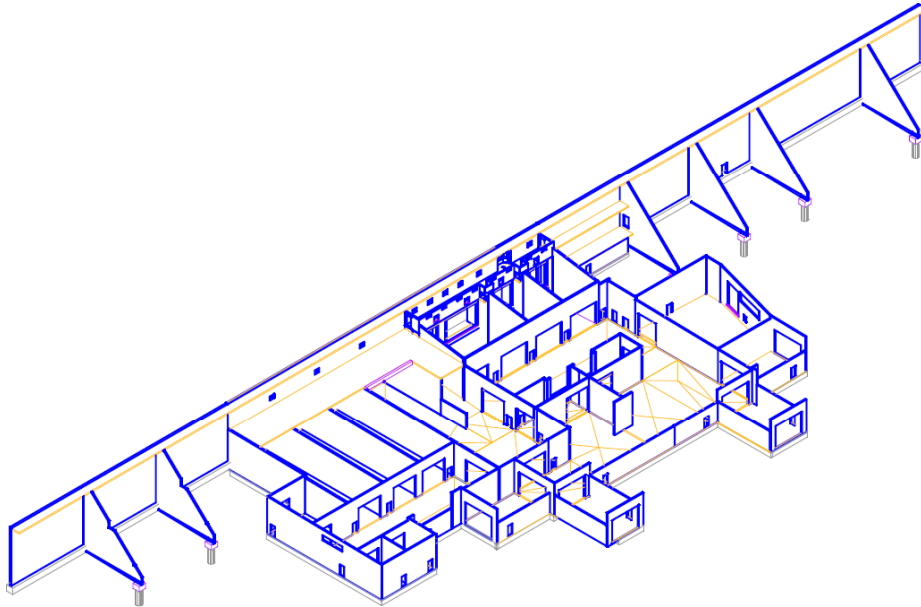
DELTA-X GmbH Ingenieurgesellschaft
Dr.-Ing. A. Burmeister Prof. Dr.-Ing. E. Ramm
Schützenstraße 13 – 70182 Stuttgart
Tel.: 0711/228 33 30 – Fax: 0711/228 33 59

A0_1
Deponie Bonfol
Analyse von Explosionsszenarien
Gutachterliche Stellungnahme

Anhang A0

Zeichnungen

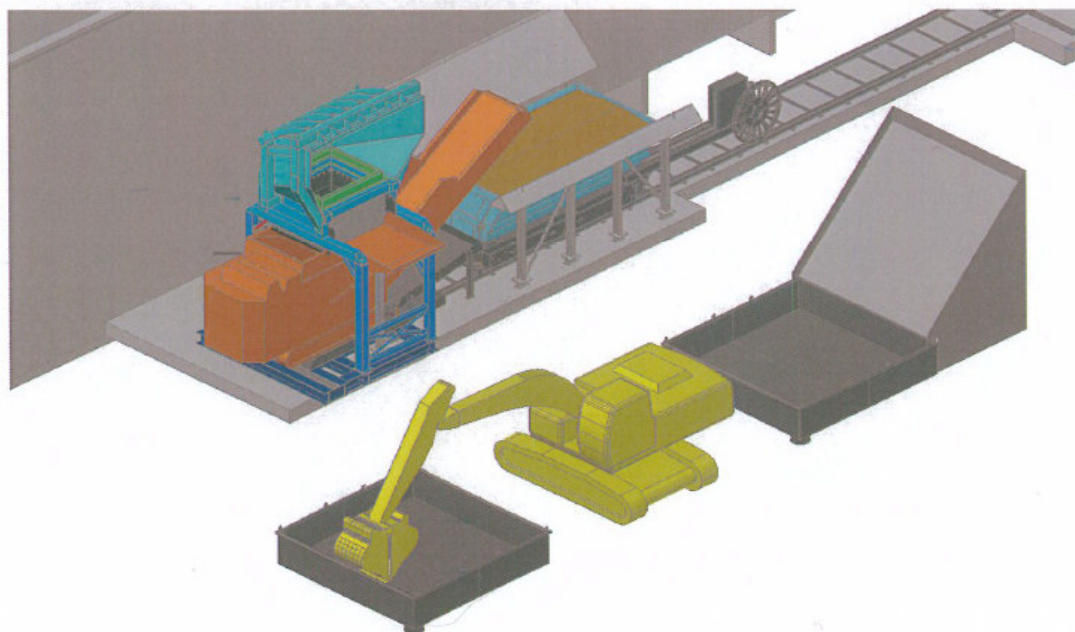
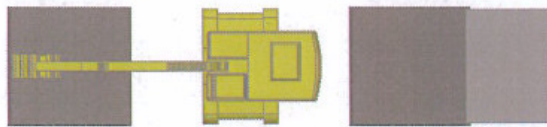
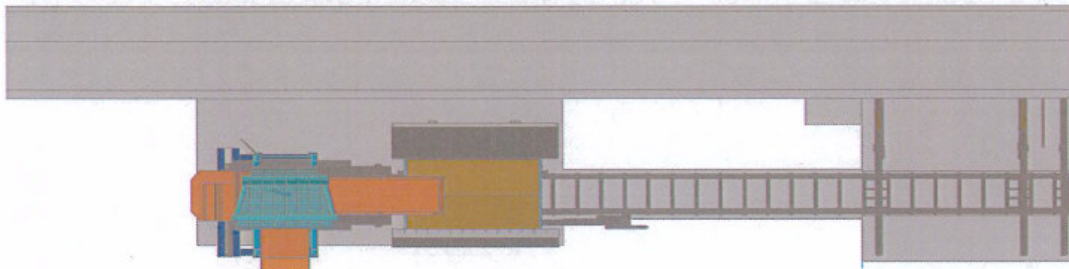
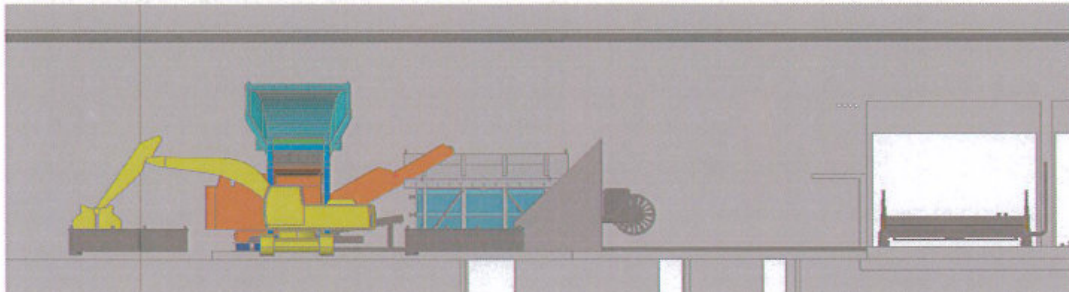


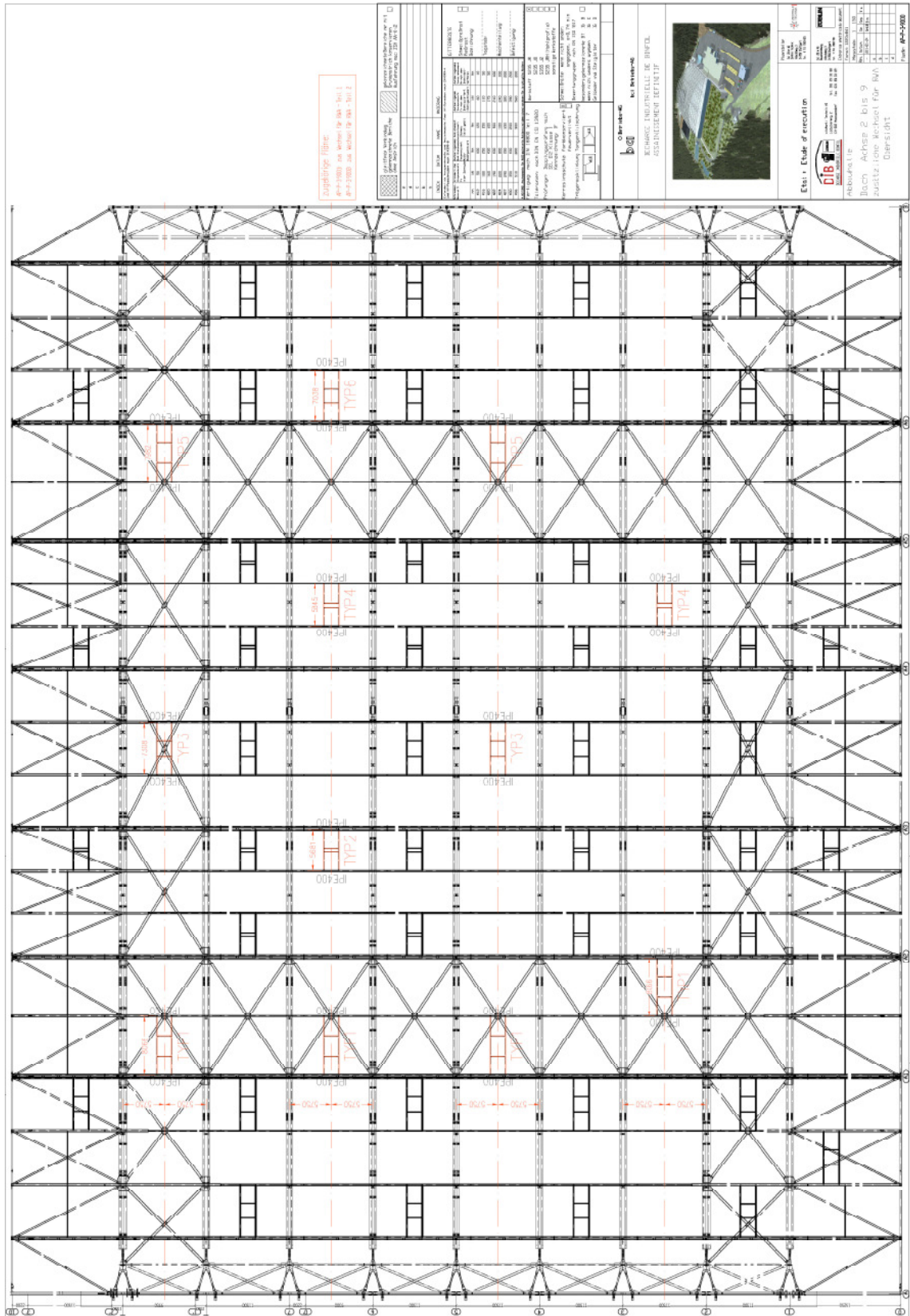


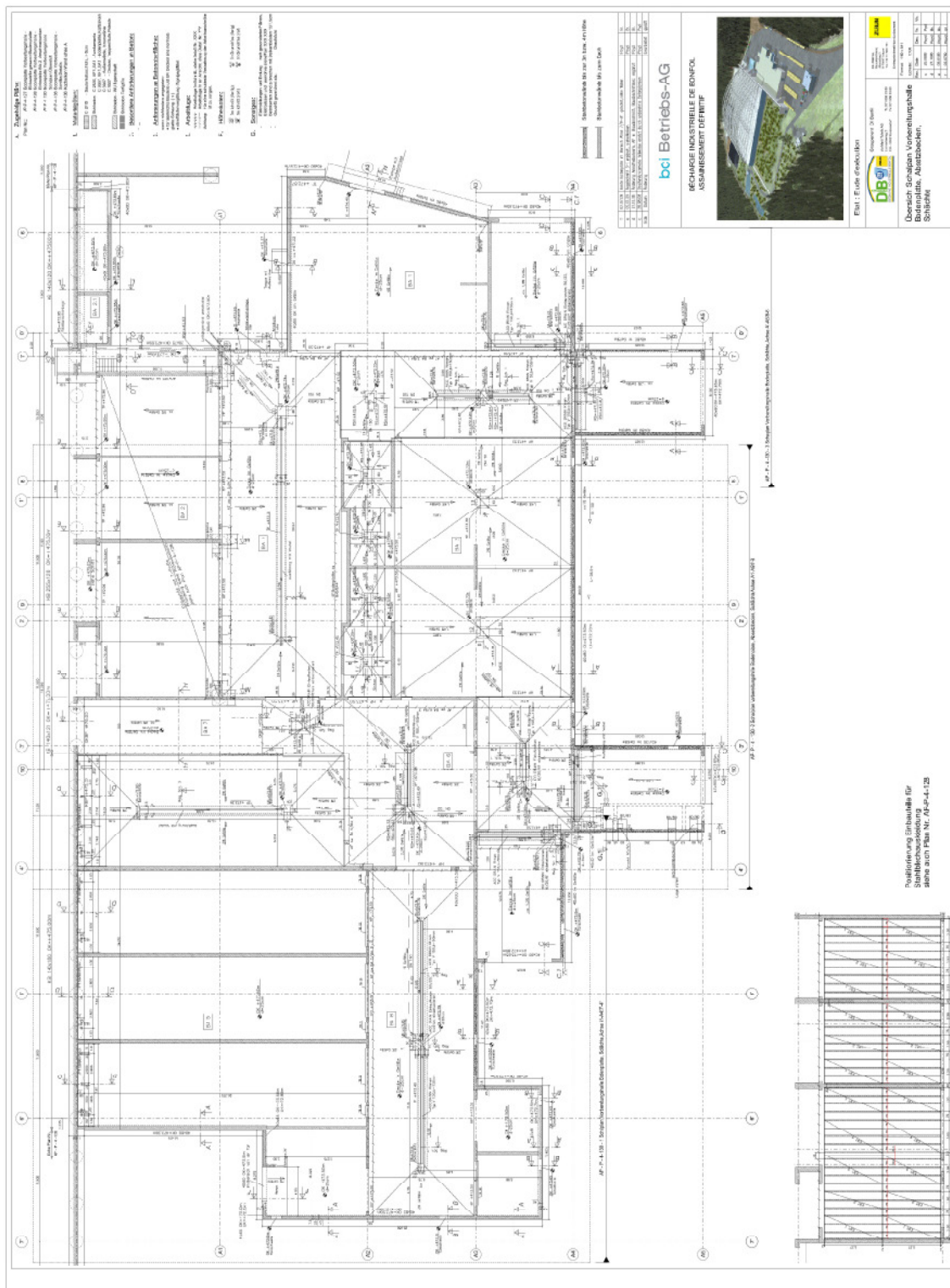
Décharge Industrielle de Bonfol
Explosionsableitungstrichter

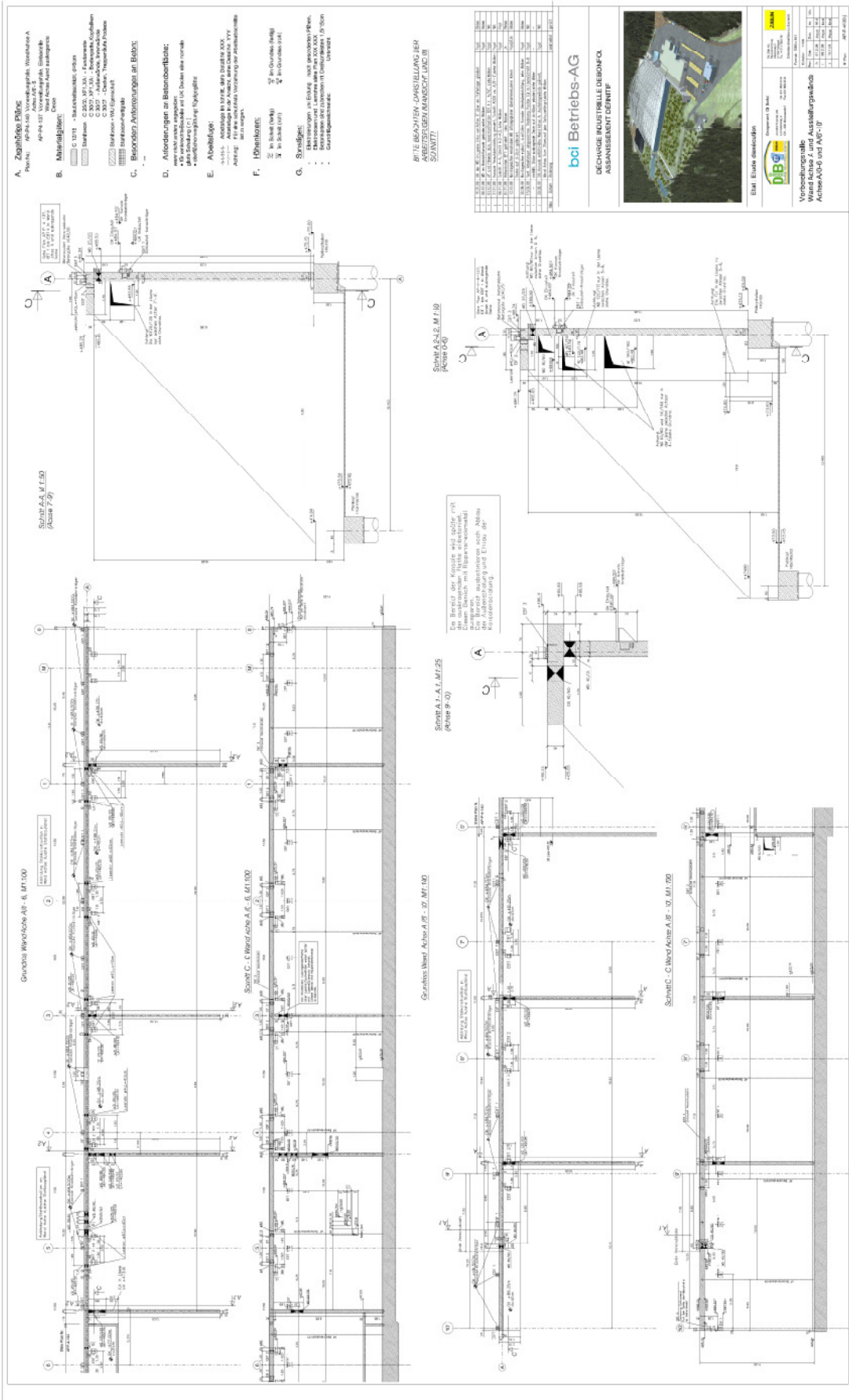


Print Screens 21.01.2011











DELTA-X GmbH Ingenieurgesellschaft
Dr.-Ing. A. Burmeister Prof. Dr.-Ing. E. Ramm
Schützenstraße 13 – 70182 Stuttgart
Tel.: 0711/228 33 30 – Fax: 0711/228 33 59

A1_1
Deponie Bonfol
Analyse von Explosionsszenarien
Gutachterliche Stellungnahme

Anhang A1

Rechenmodelle

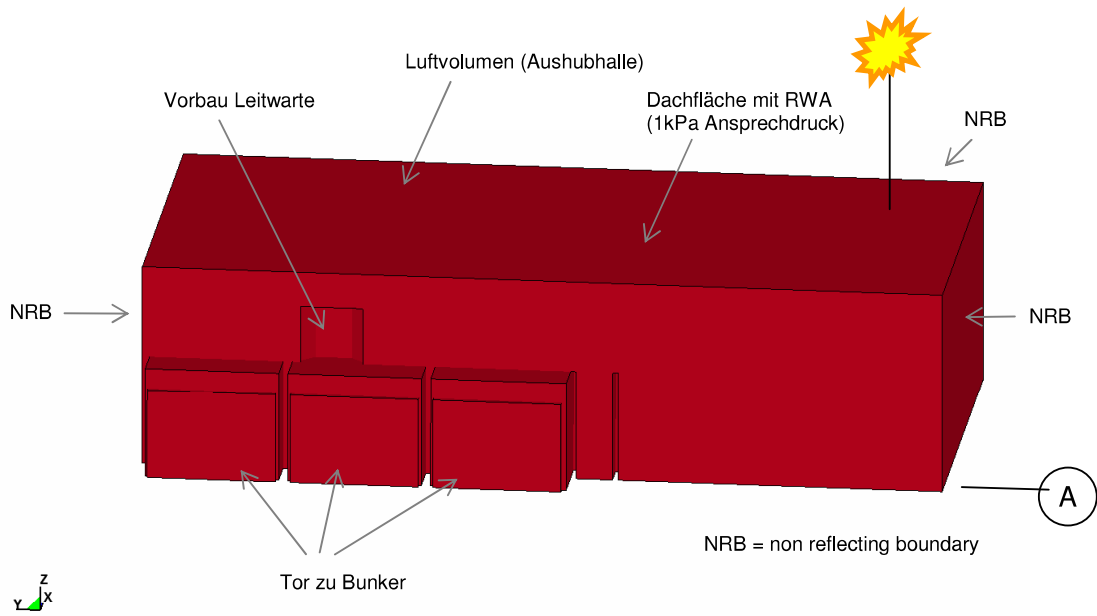


Bild A1-1: Rechenmodell für das Explosionsszenario in der Abbauhalle

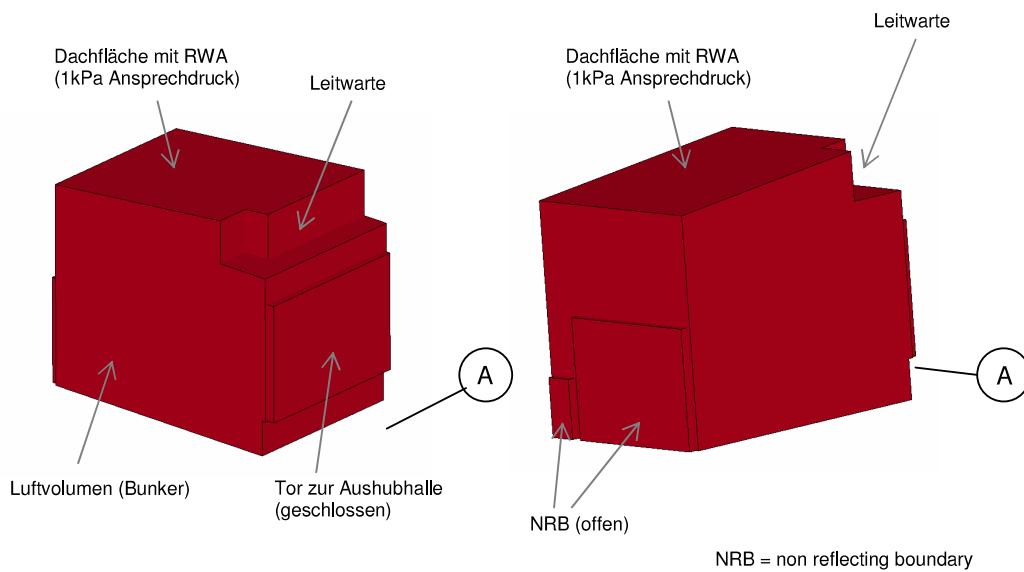
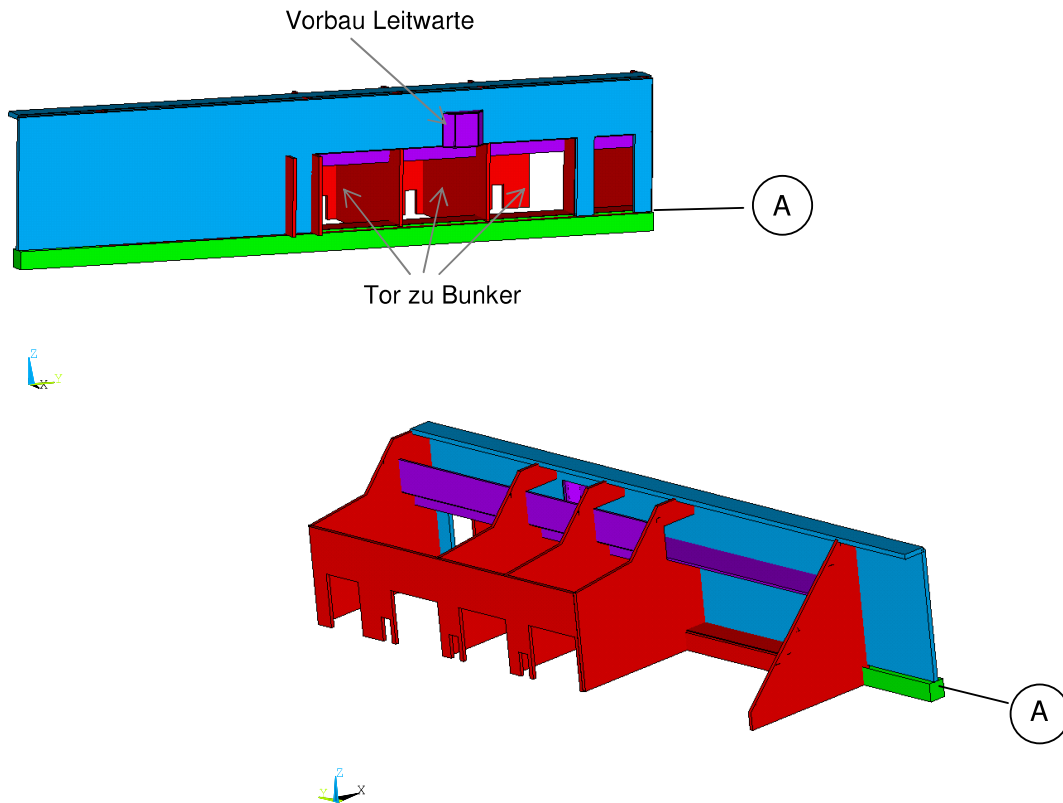


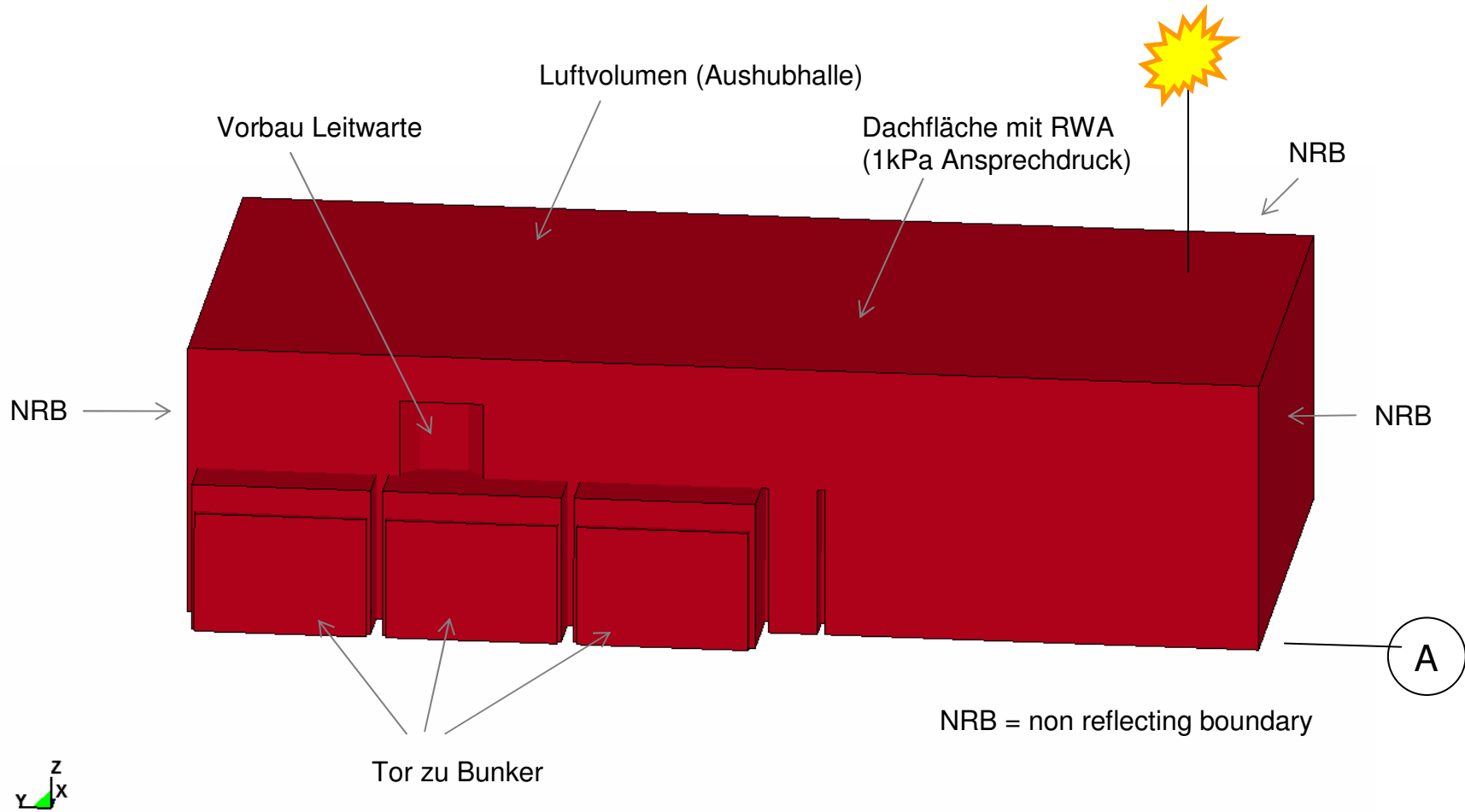
Bild A1-2: Rechenmodell für die Explosionsszenarien im Bunker



- Wandstärken gemäß Schalplan
- dynamische Bettung je Pfahl 8000MN/m
- Dachkonstruktion nicht berücksichtigt
- Stahlbeton im Zustand II: $E=10000\text{MPa}$ (Näherung!)

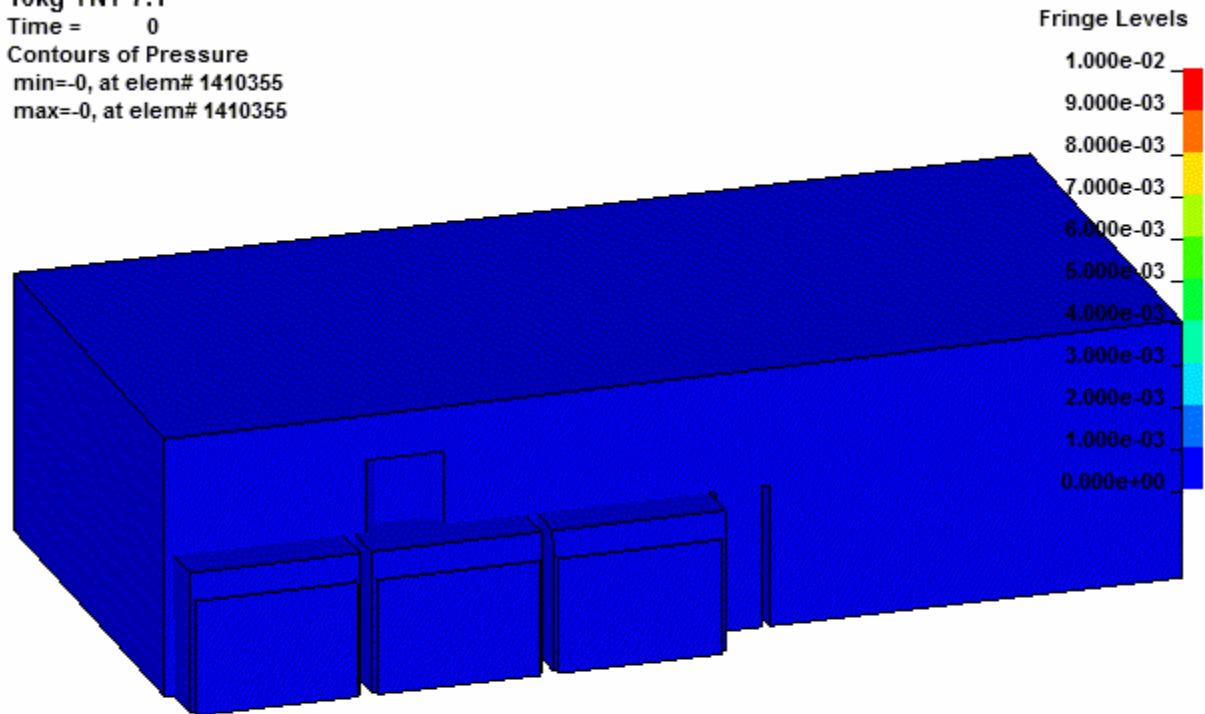
Bild A1-3: Rechenmodell zur Ermittlung der zeitabhängigen Schnittgrößen in den maßgebenden Bauteilen.

**Anhang 2:
Explosionsszenarien
in der Wanne in der
Abbauhalle**



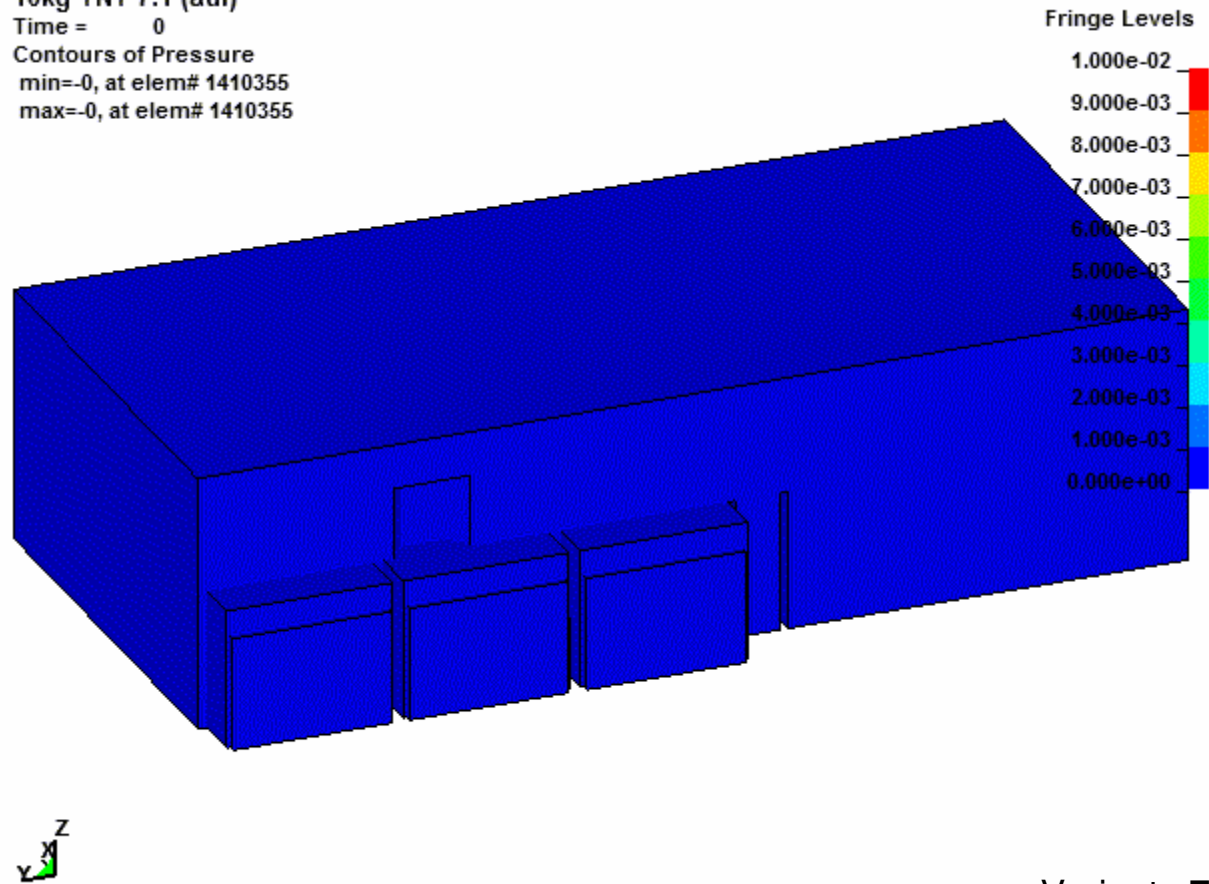
Variante	7.1zu	7.1auf	7.1offen
Ansprechdruck Tore zu Bunkern	∞ (starr)	Null (NRB)	∞ (starr)
Ansprechdruck Dachfläche	∞ (starr)	∞ (starr)	1kPa
Ansprechdruck RWA	1KPa	1kPa	1kPa

10kg TNT 7.1
Time = 0
Contours of Pressure
min=-0, at elem# 1410355
max=-0, at elem# 1410355



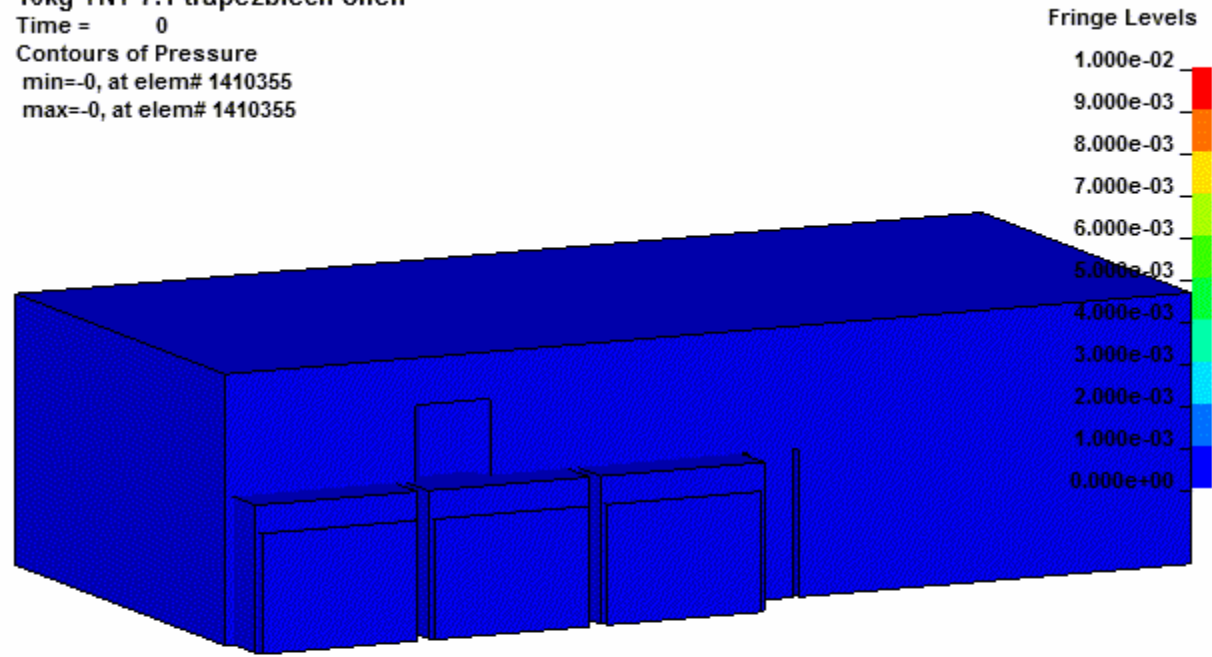
Variante 7.1zu

10kg TNT 7.1 (auf)
Time = 0
Contours of Pressure
min=-0, at elem# 1410355
max=-0, at elem# 1410355

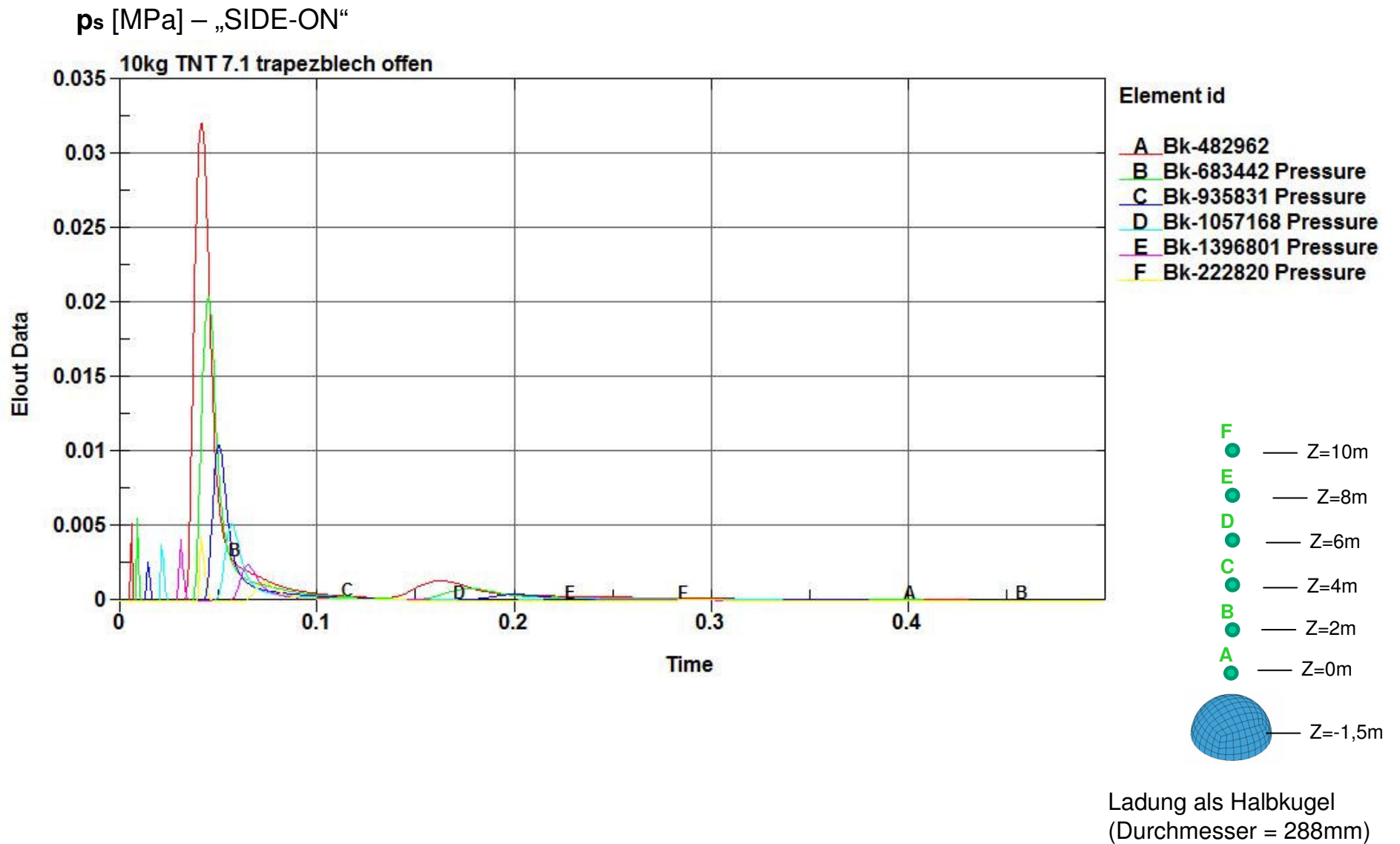


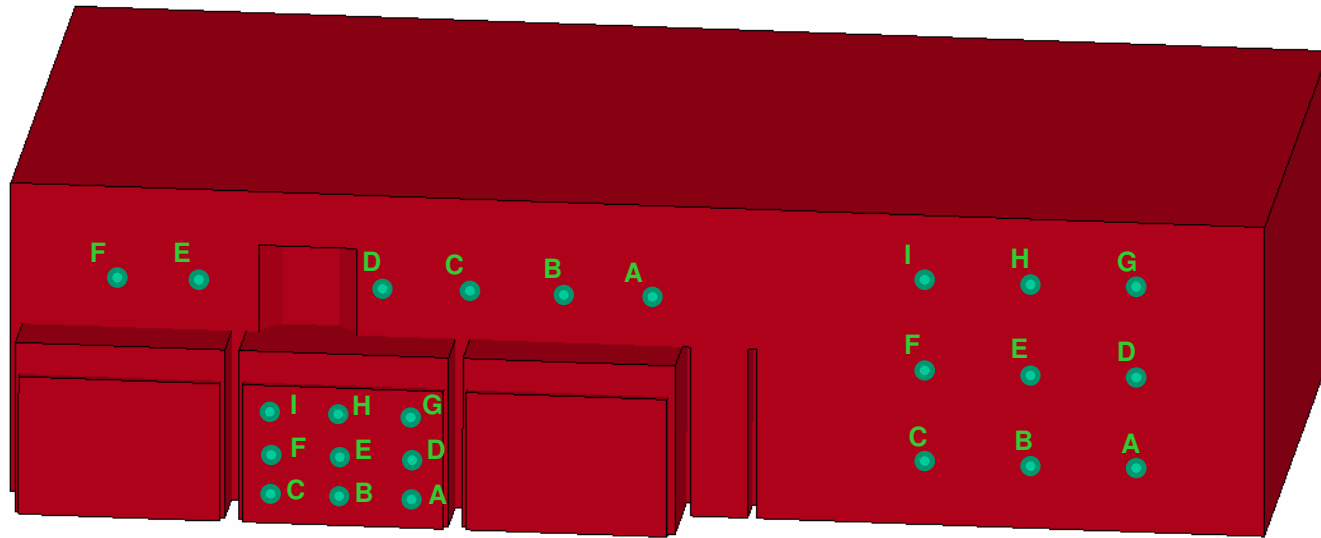
Variante 7.1auf

10kg TNT 7.1 trapezblech offen
Time = 0
Contours of Pressure
min=-0, at elem# 1410355
max=-0, at elem# 1410355

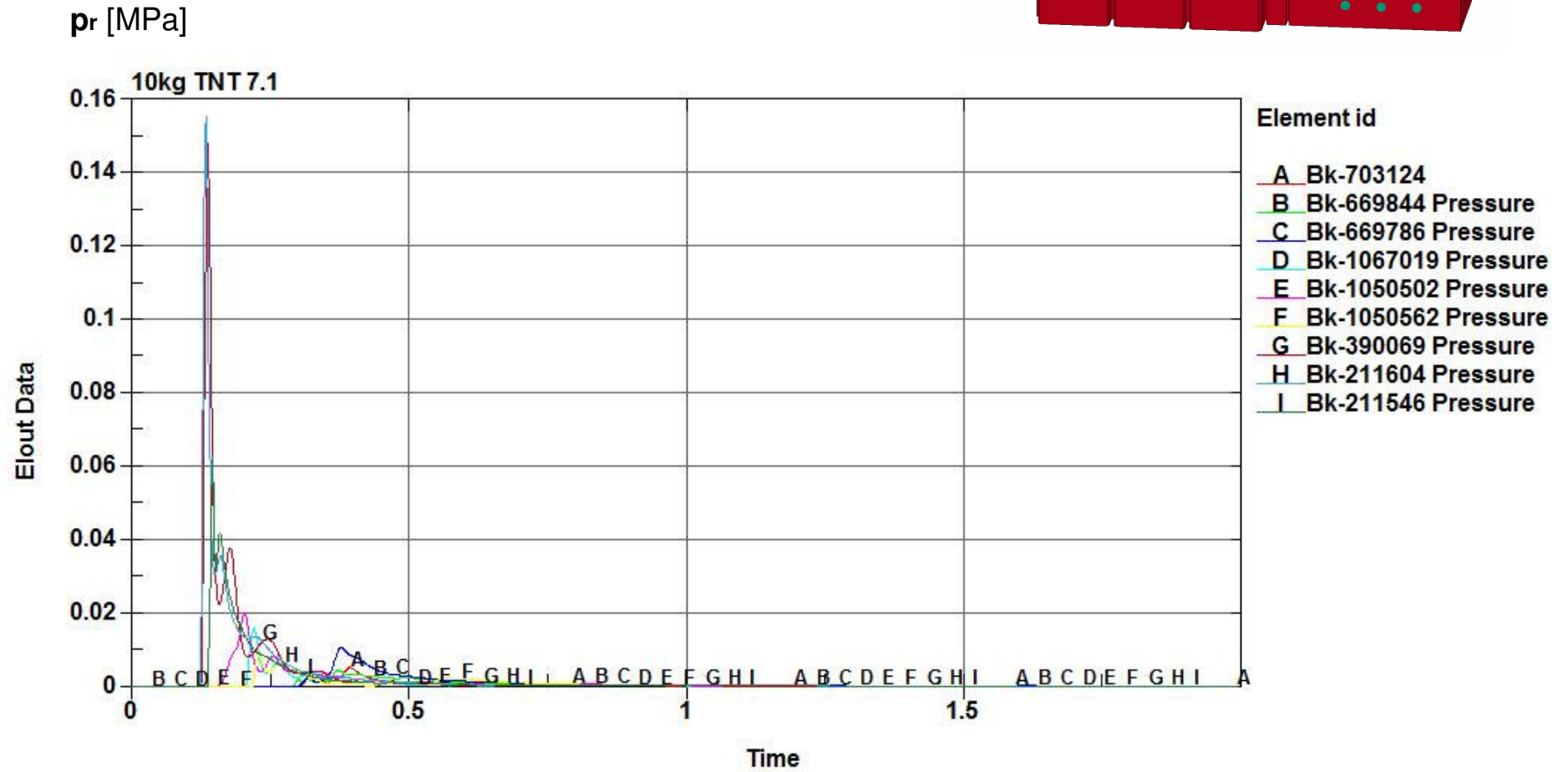


Variante 7.1offen

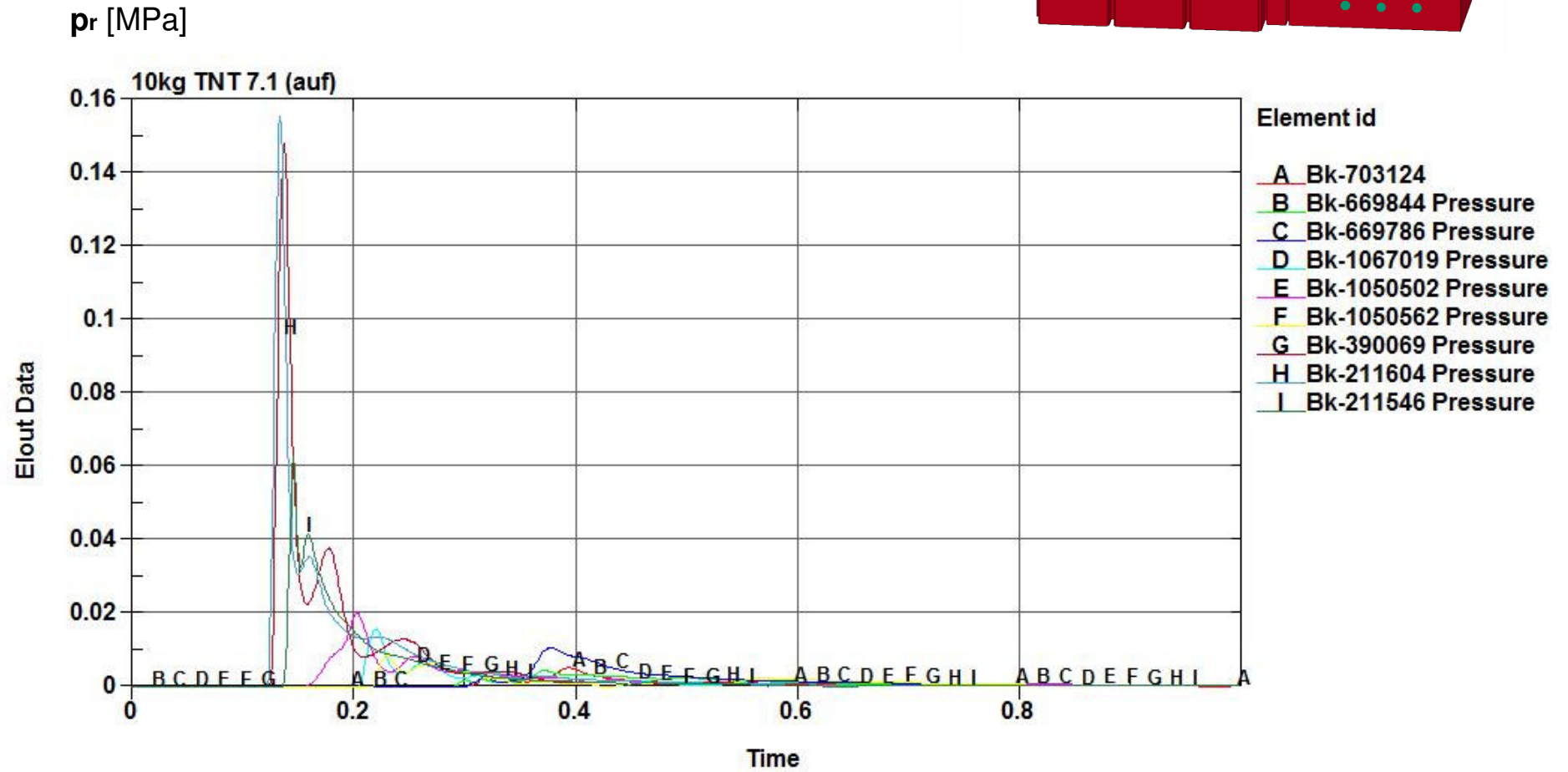




Variante 7.1zu



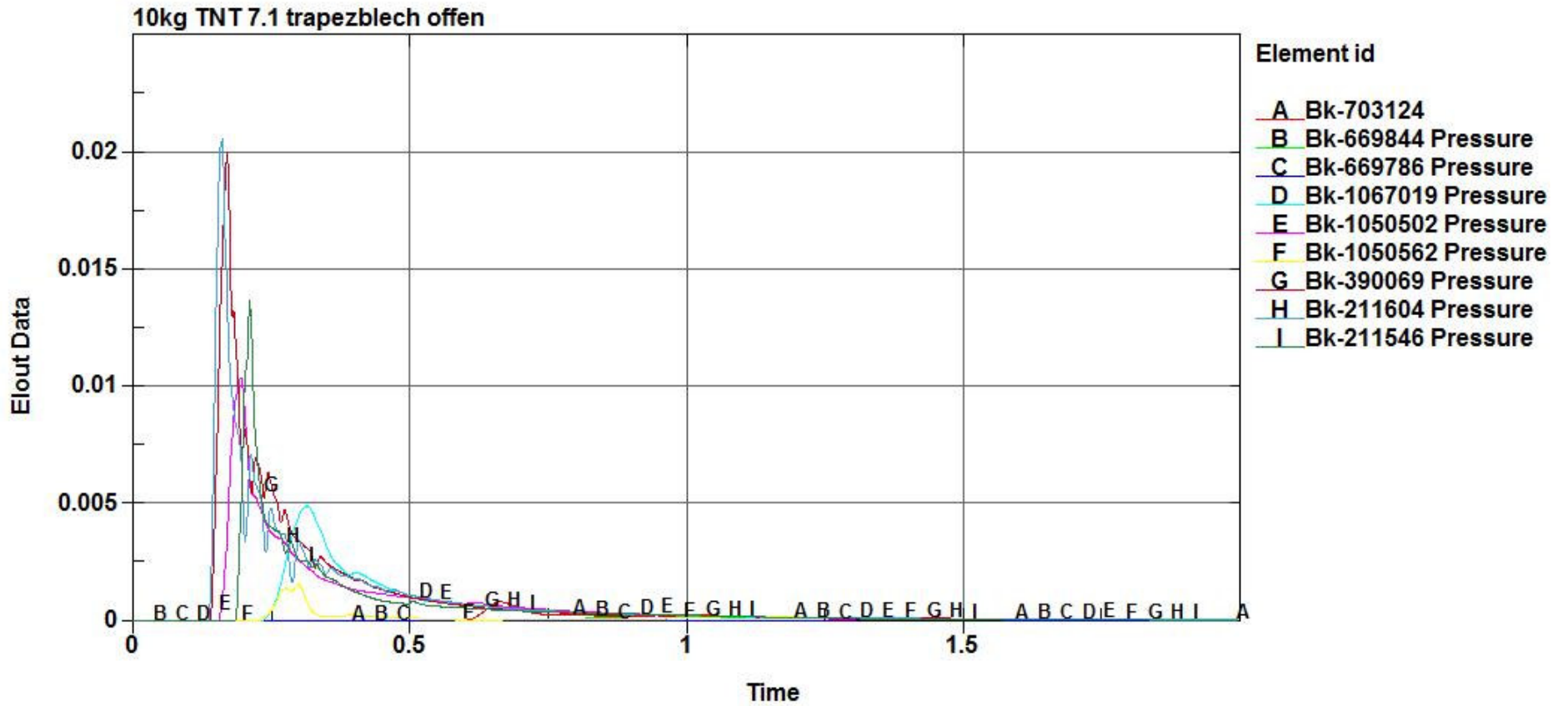
Variante 7.1auf



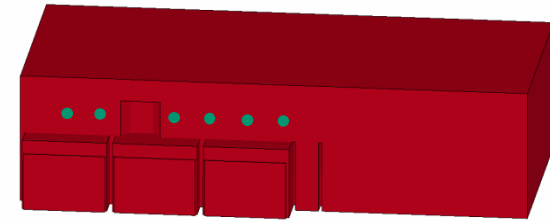
Variante 7.1offen



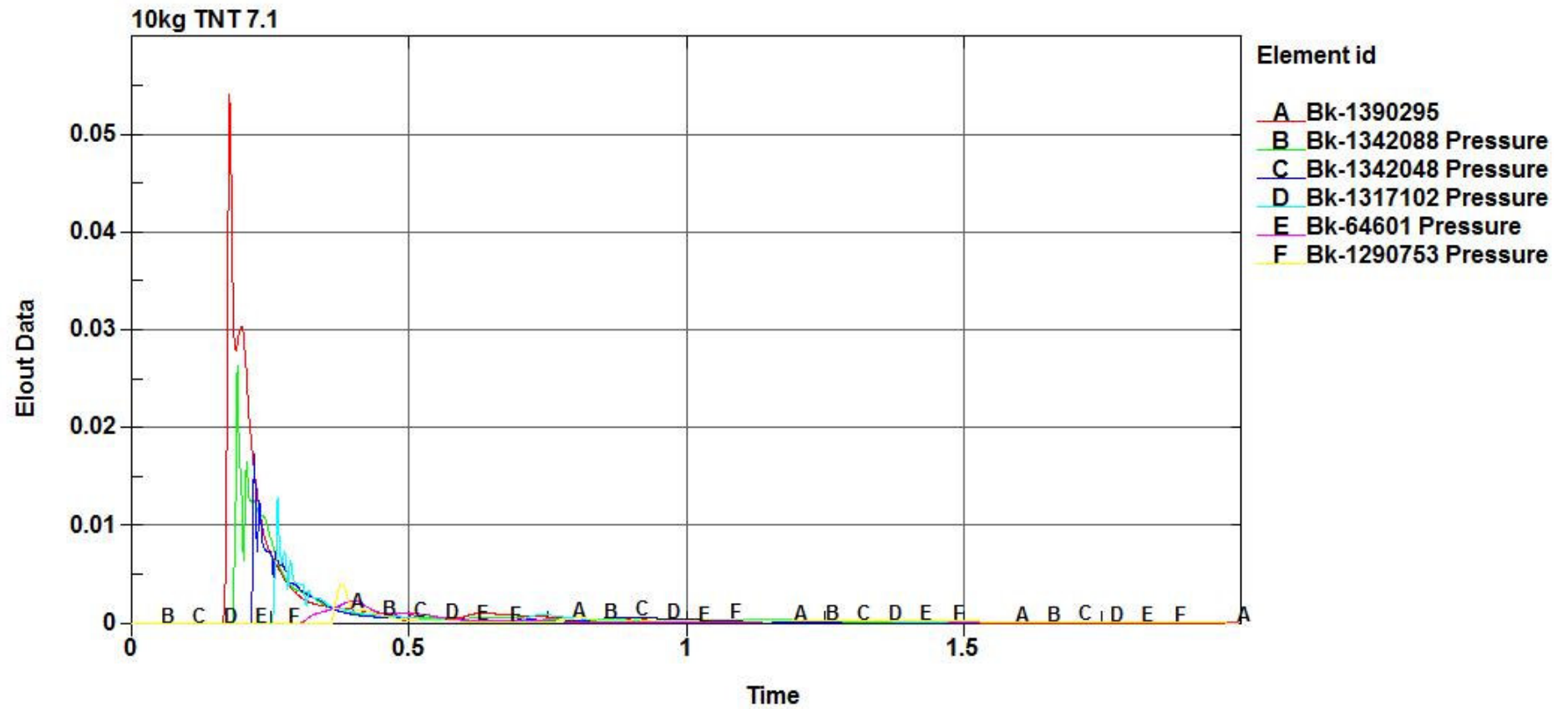
p_r [MPa]



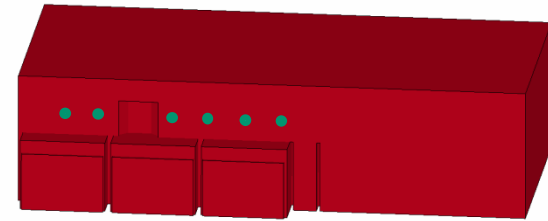
Variante 7.1zu



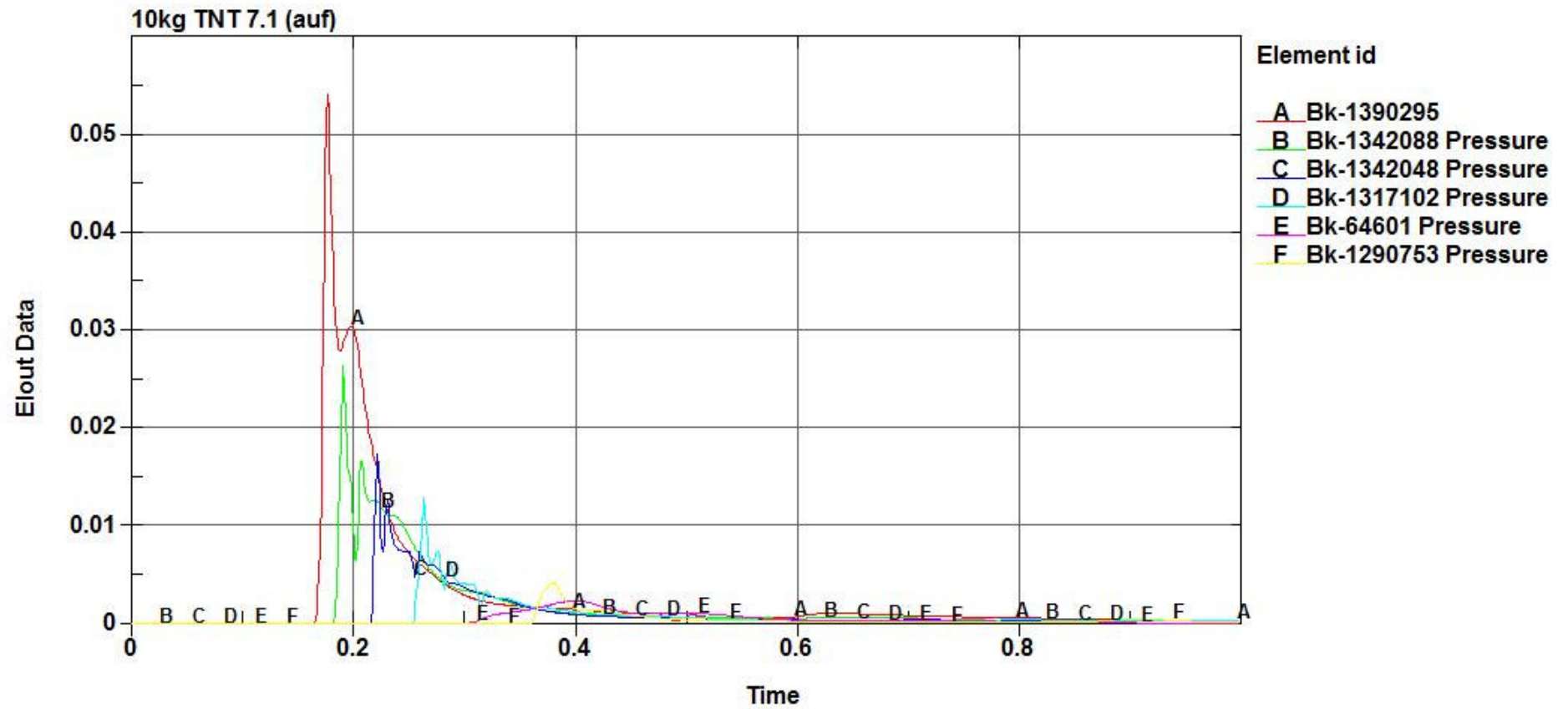
p_r [MPa]



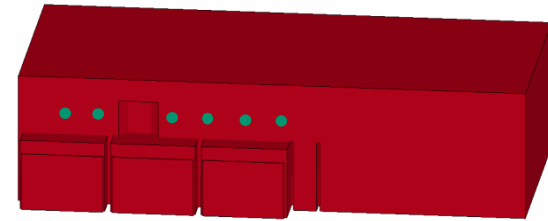
Variante 7.1auf



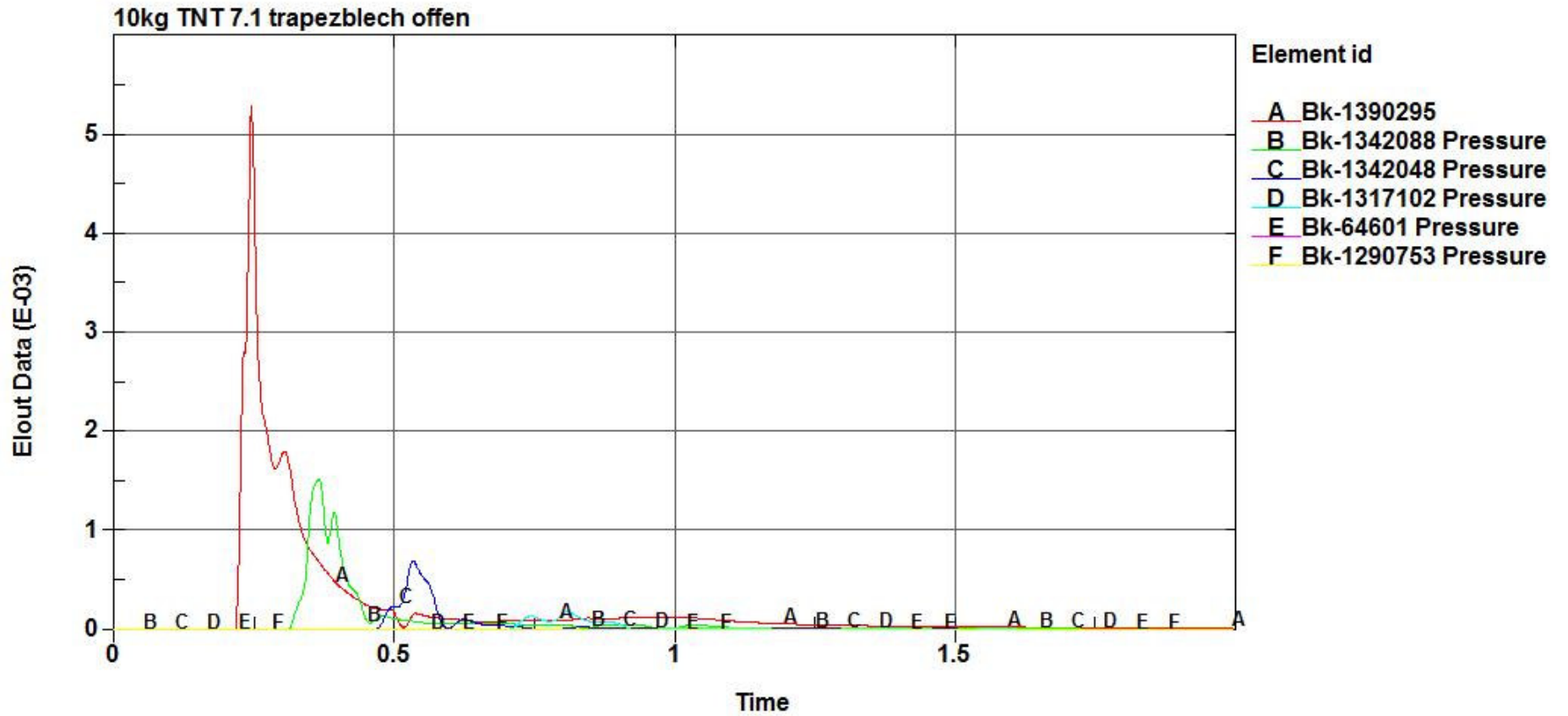
p_r [MPa]



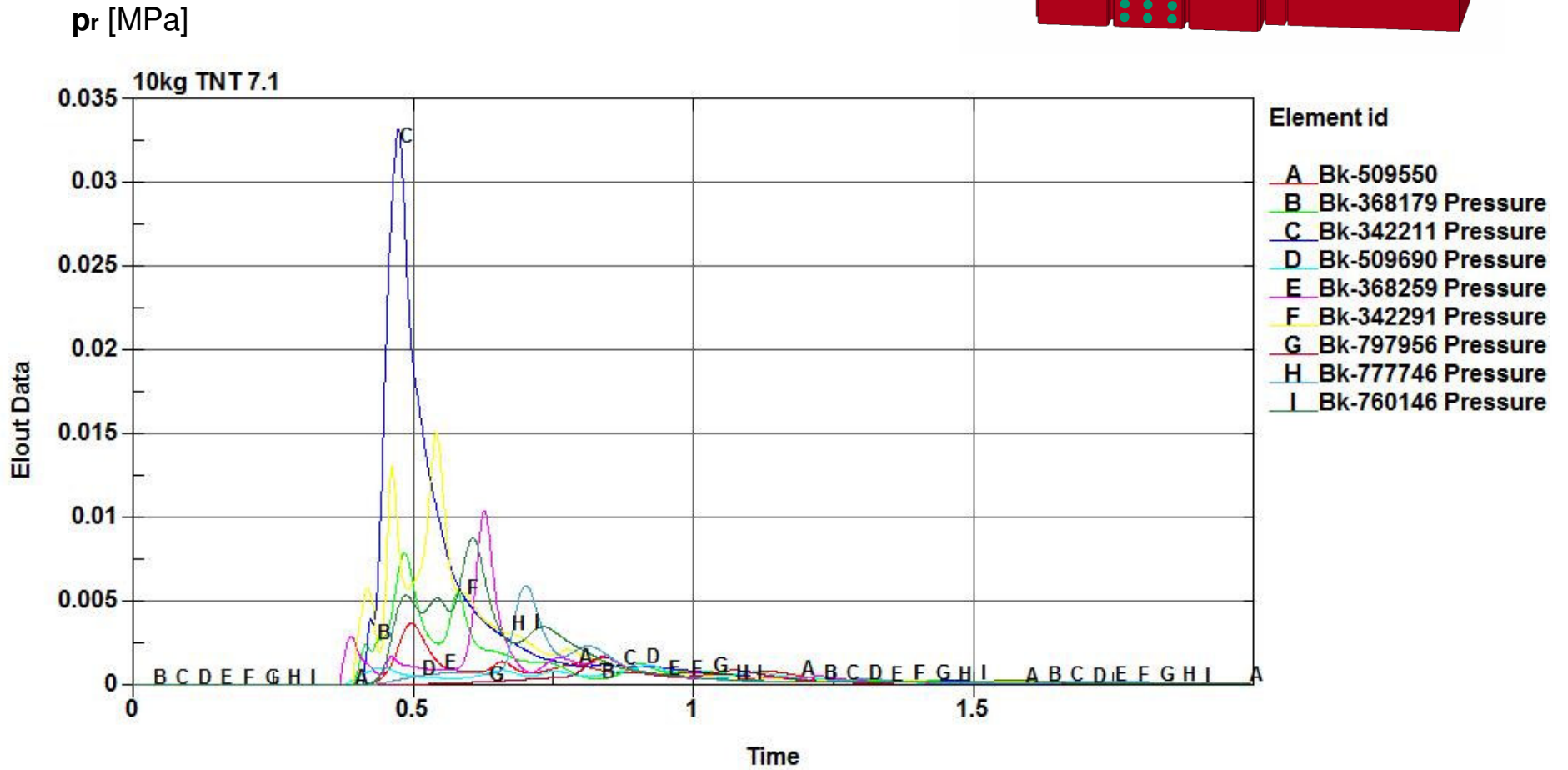
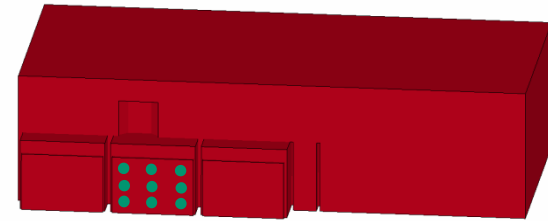
Variante 7.1offen

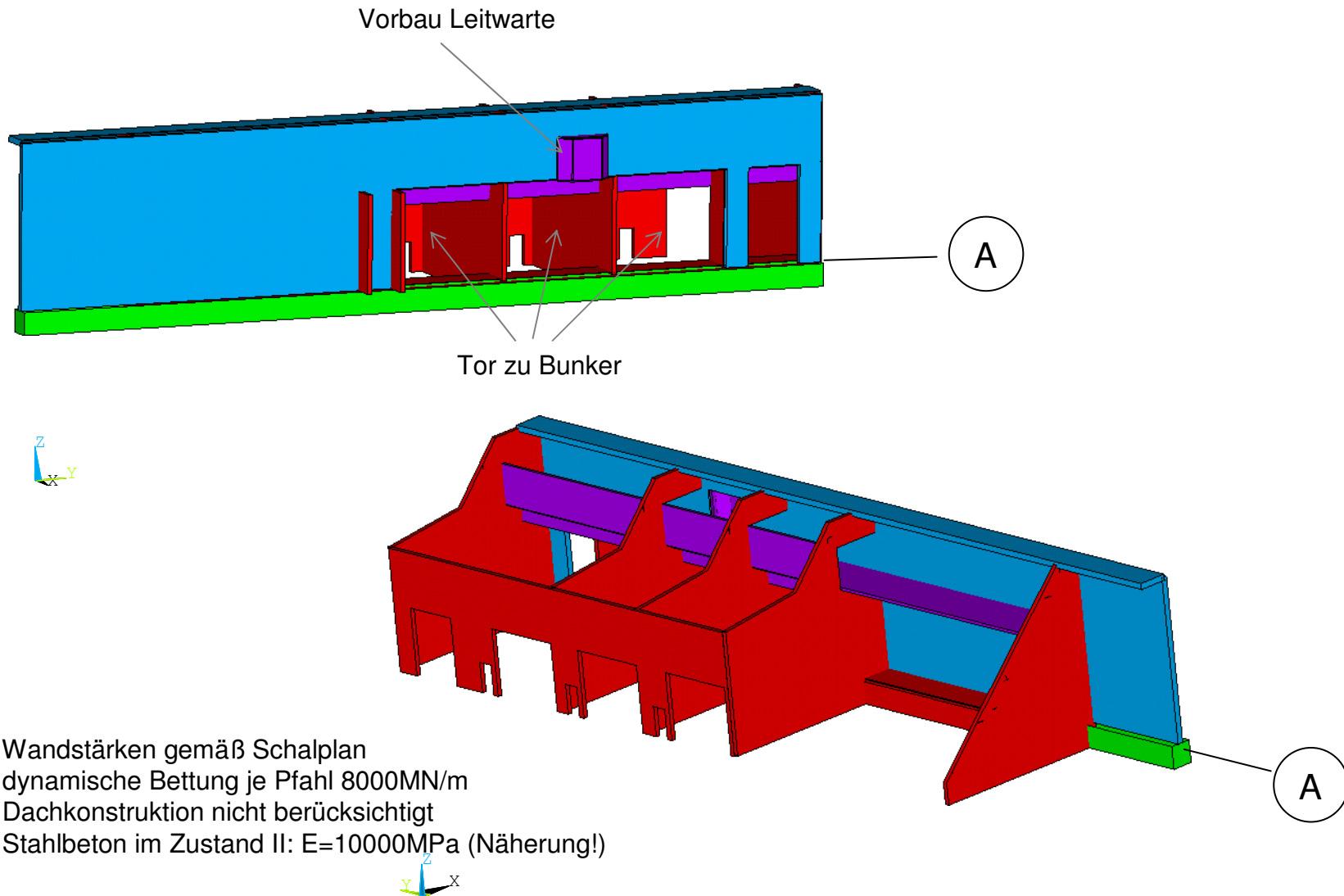


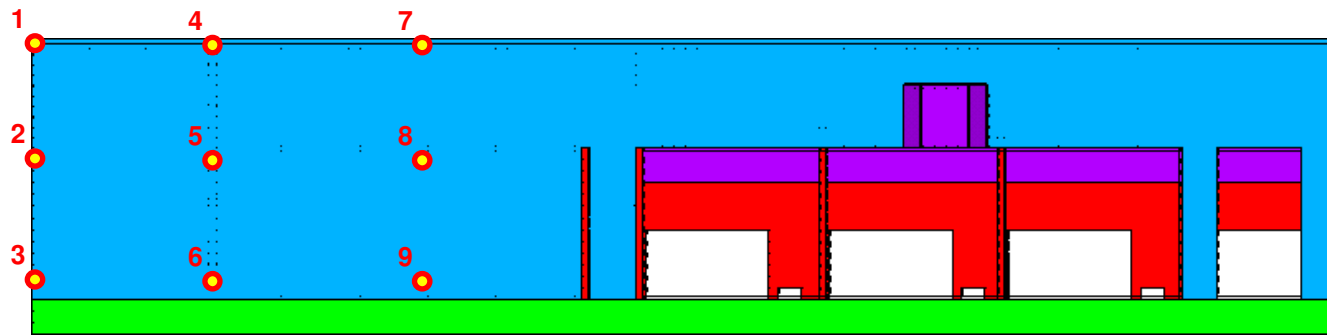
p_r [MPa]

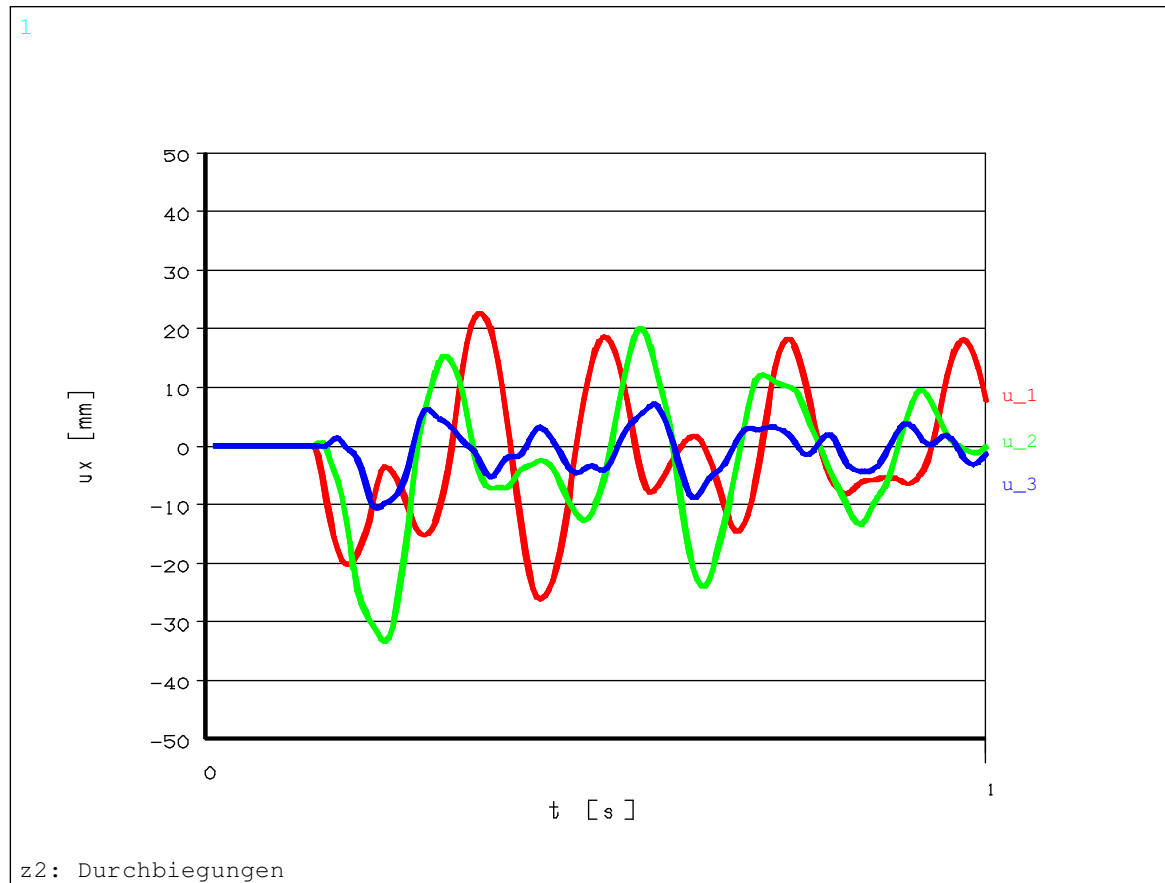
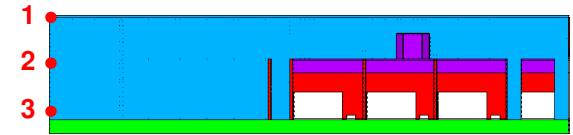


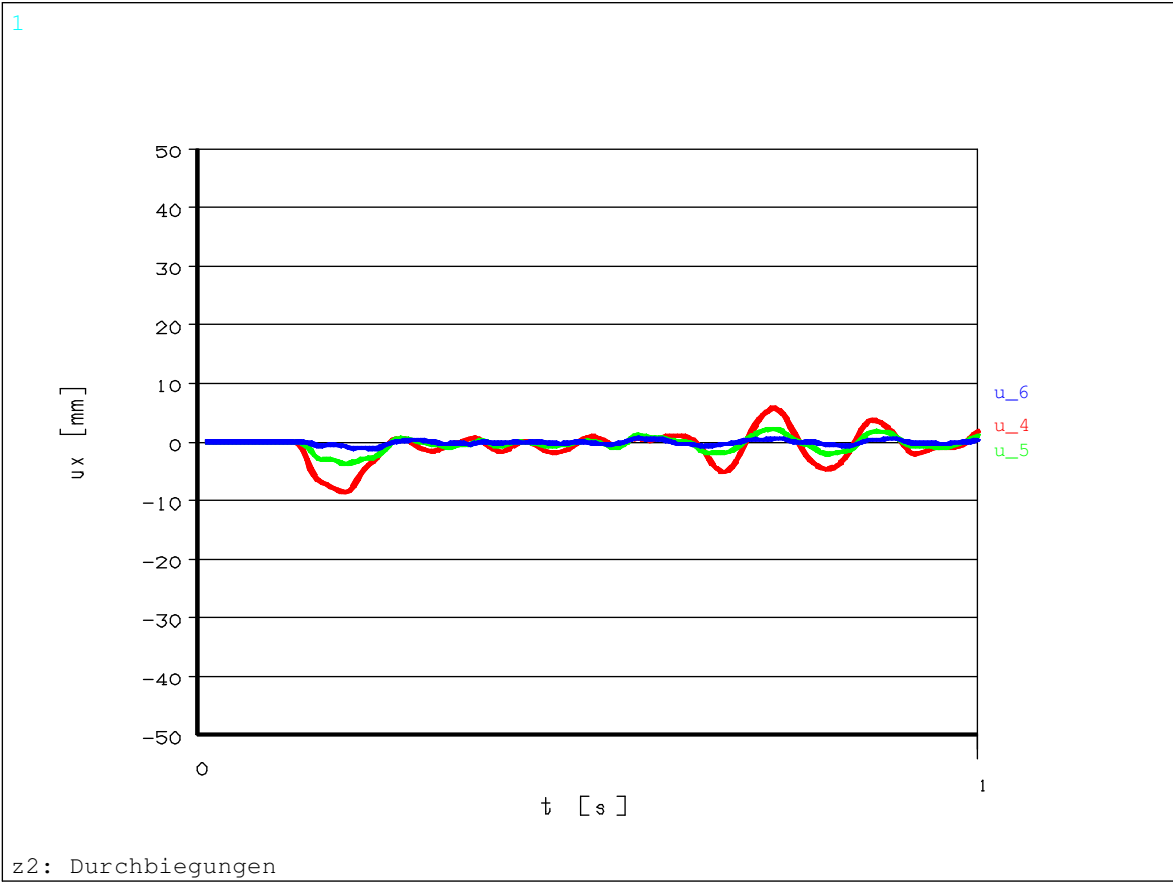
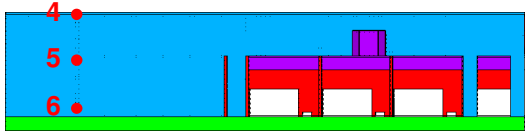
Variante 7.1zu

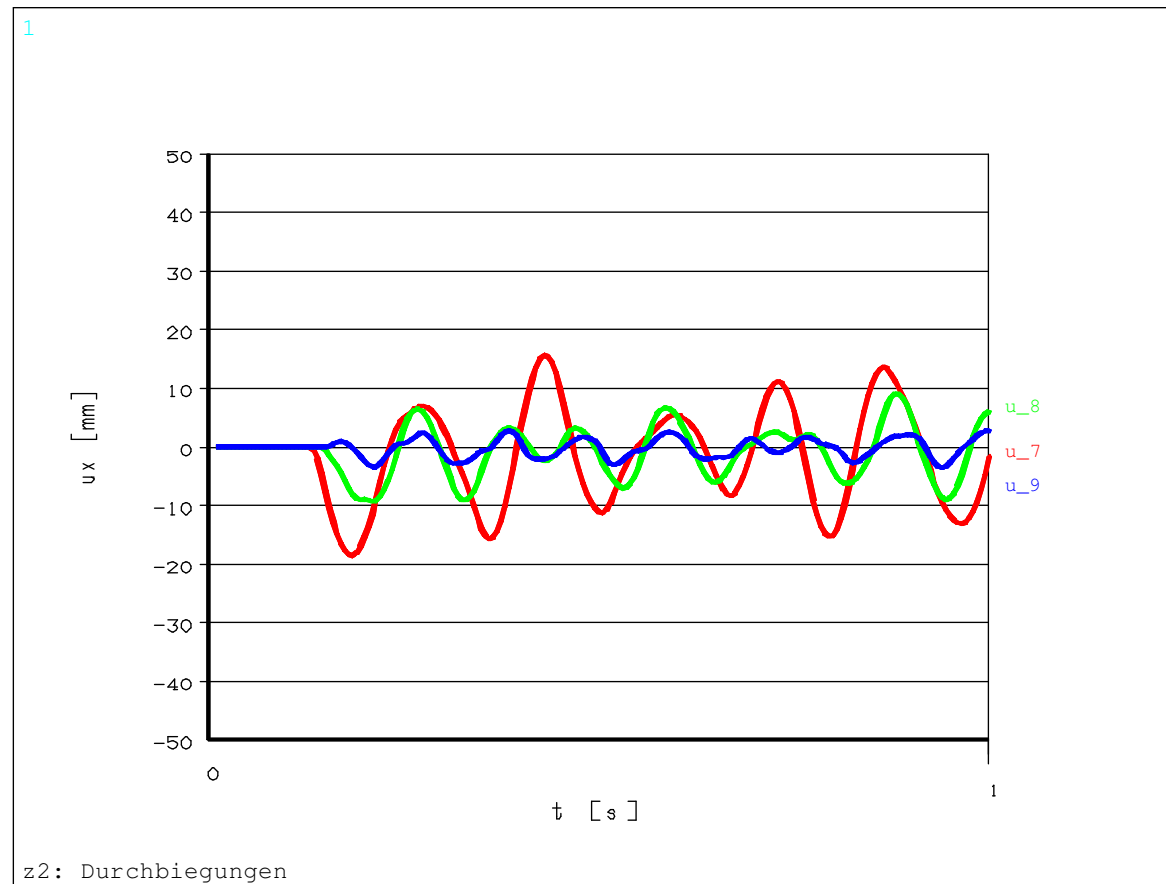
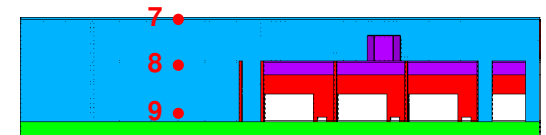


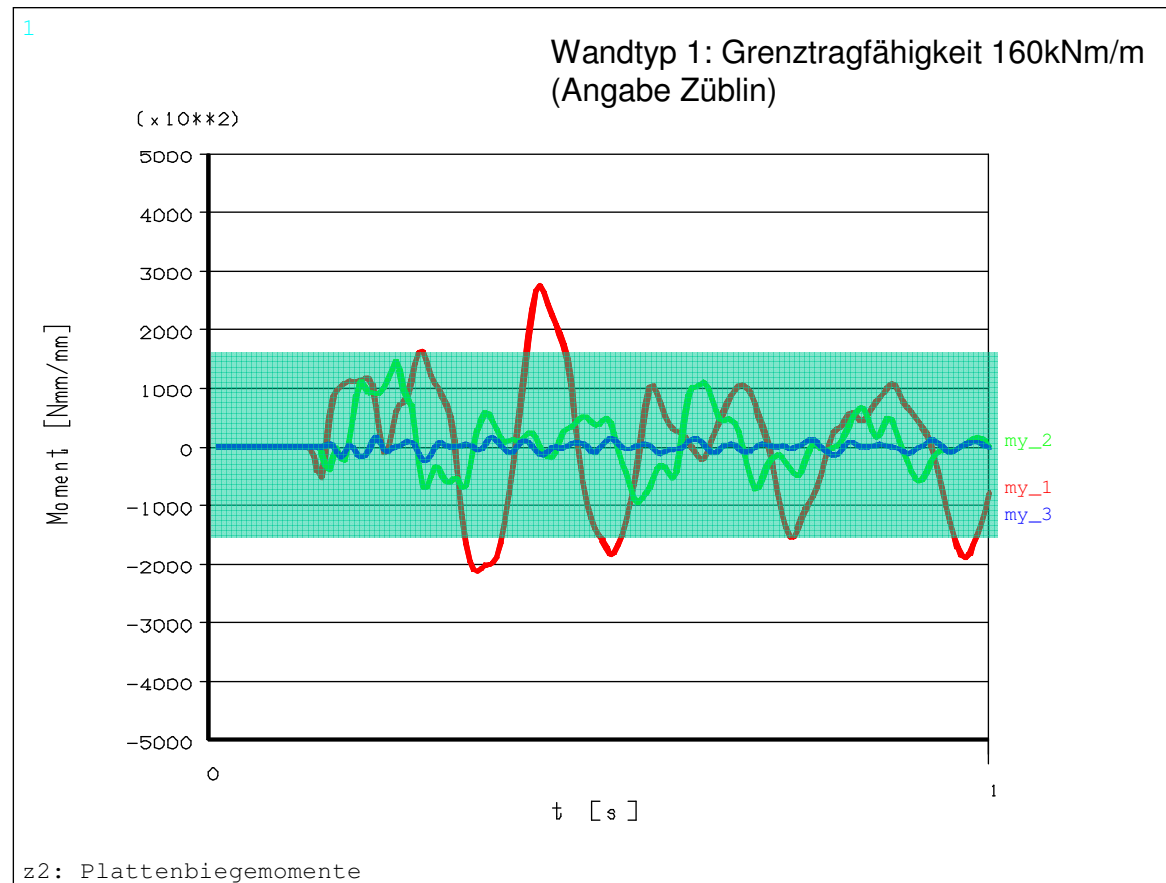
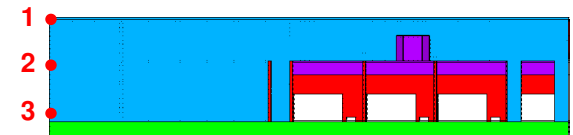


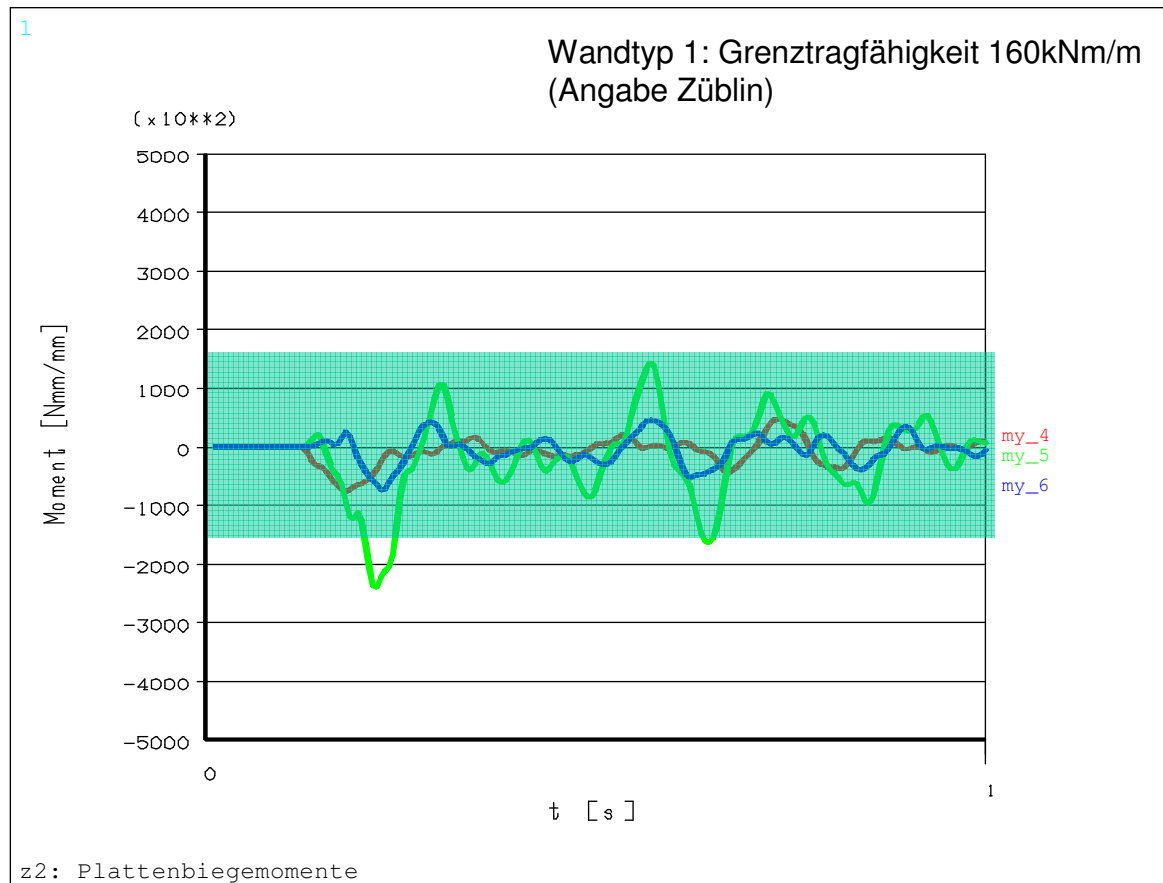
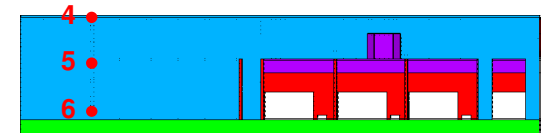


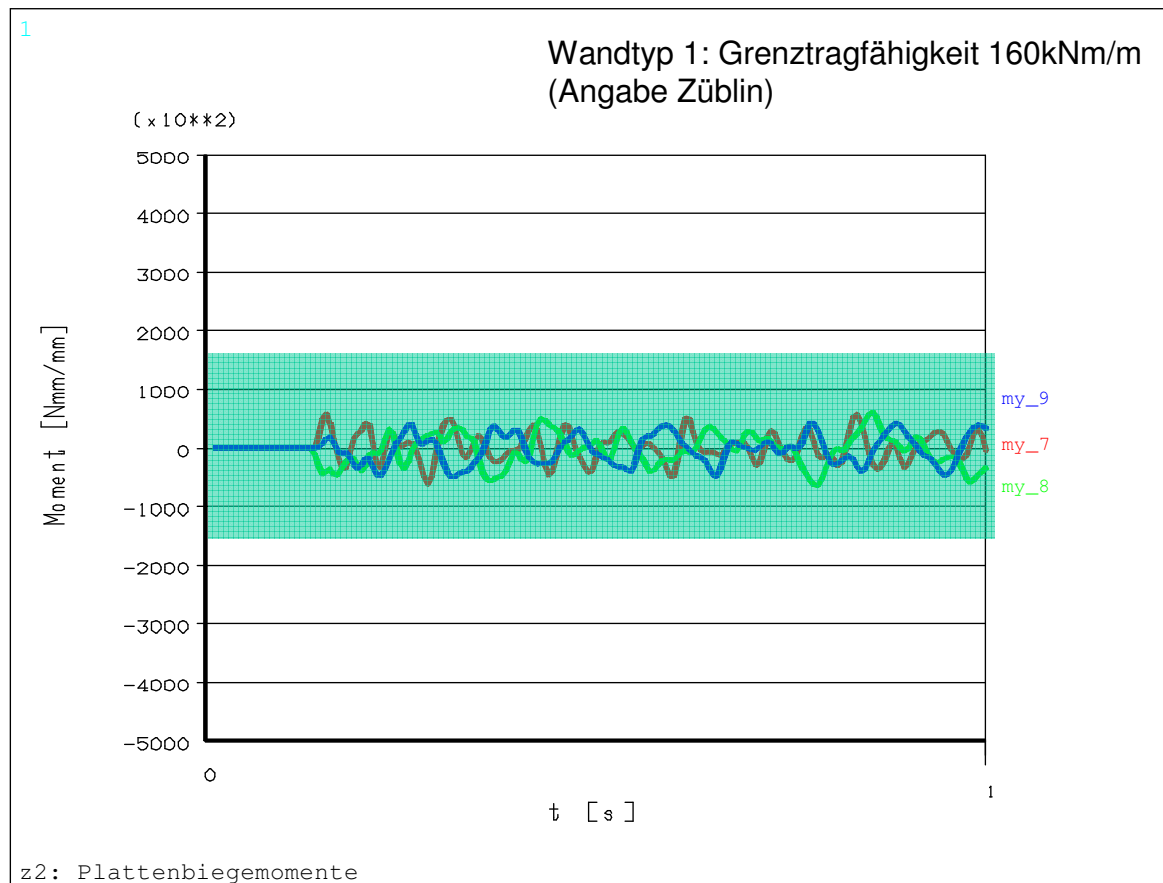
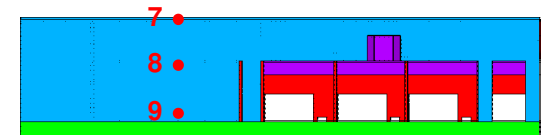


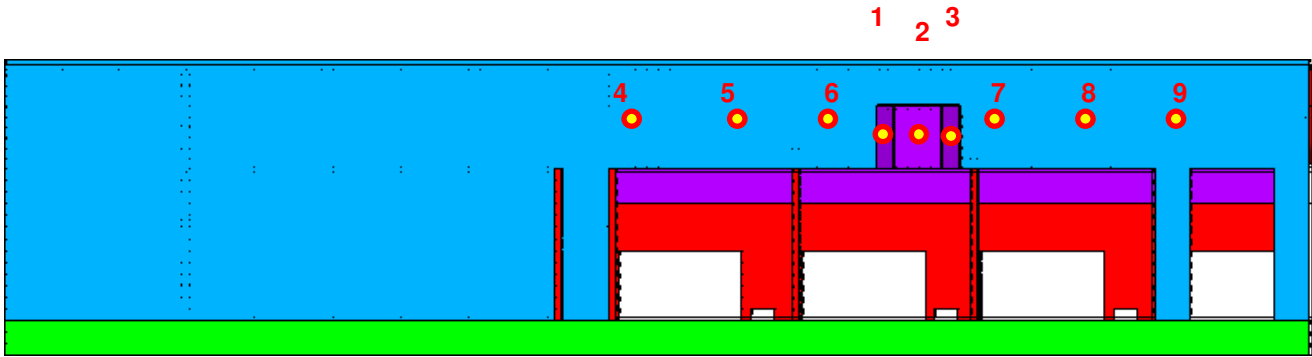


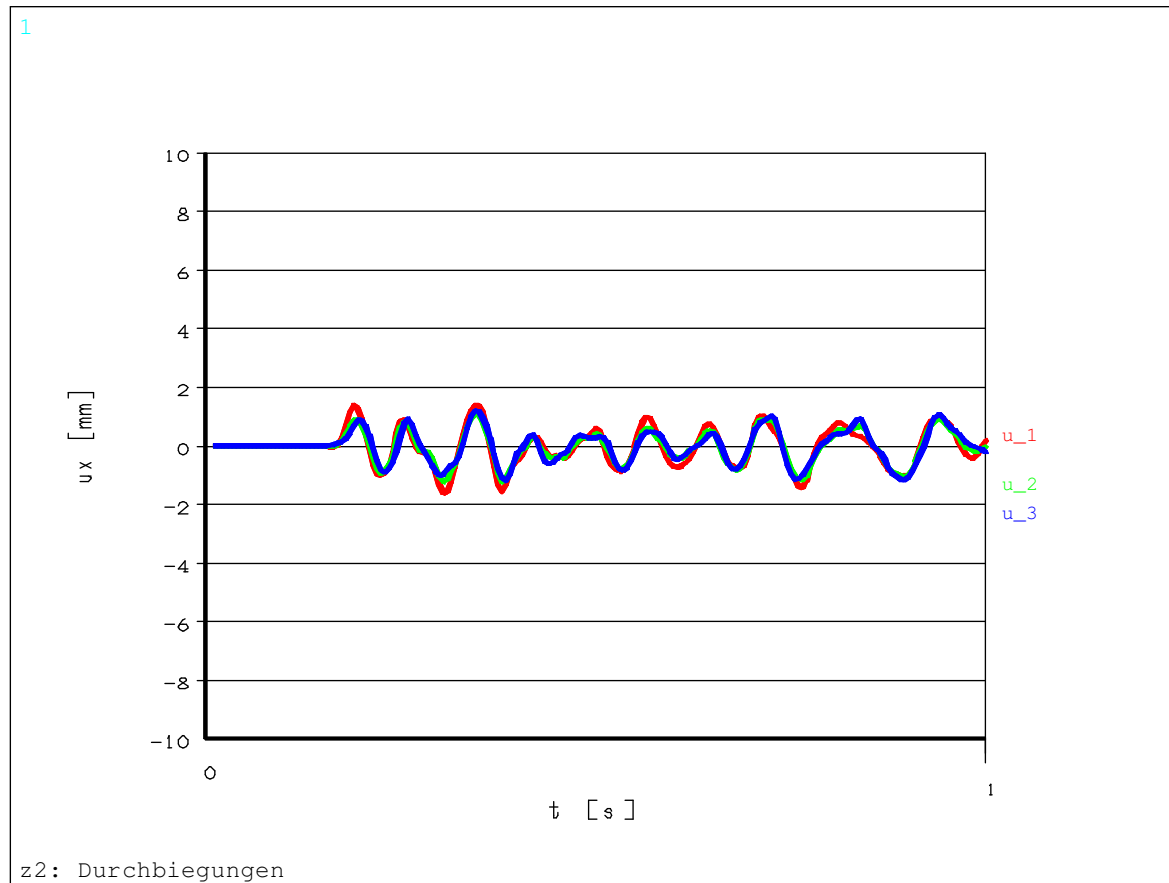
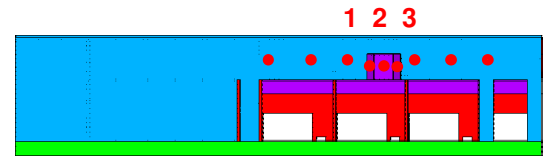


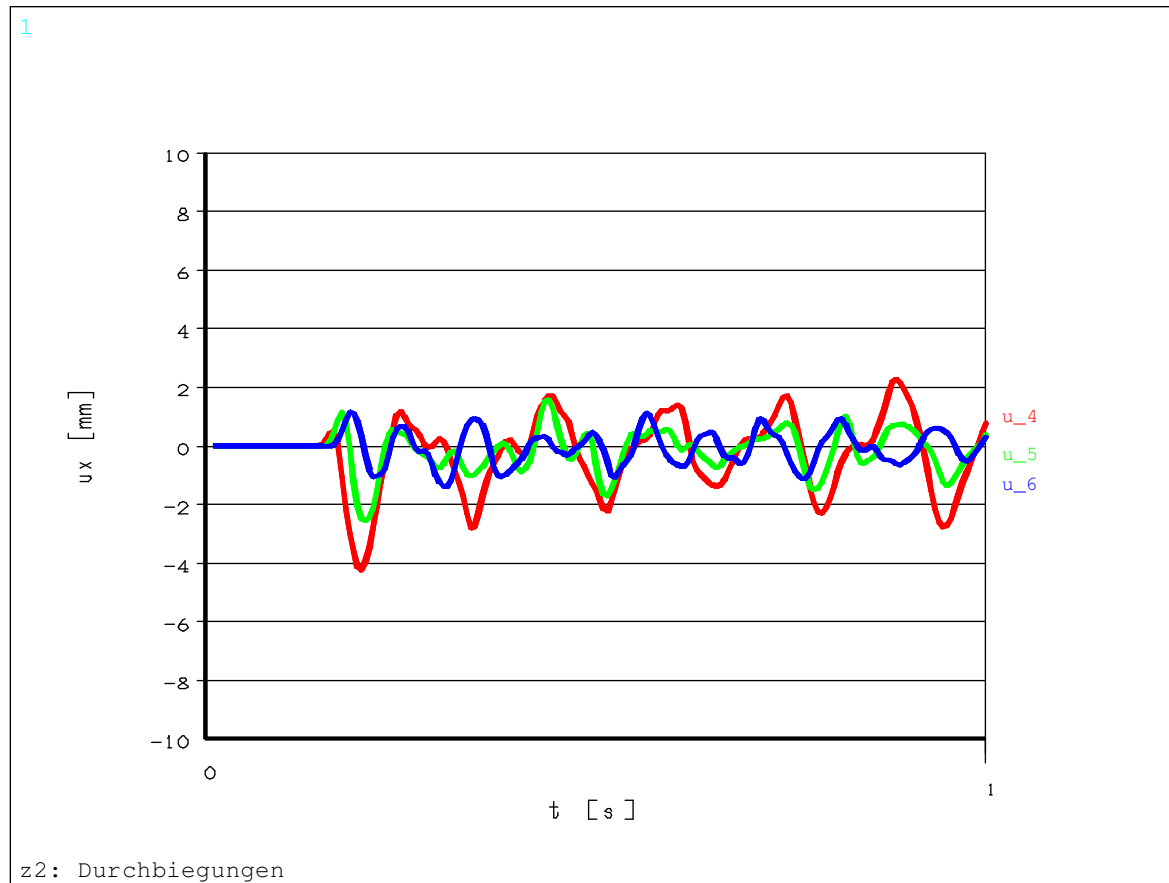
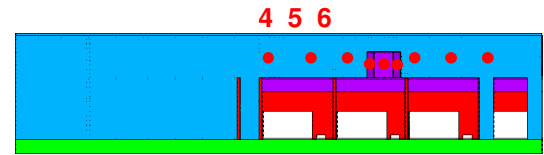




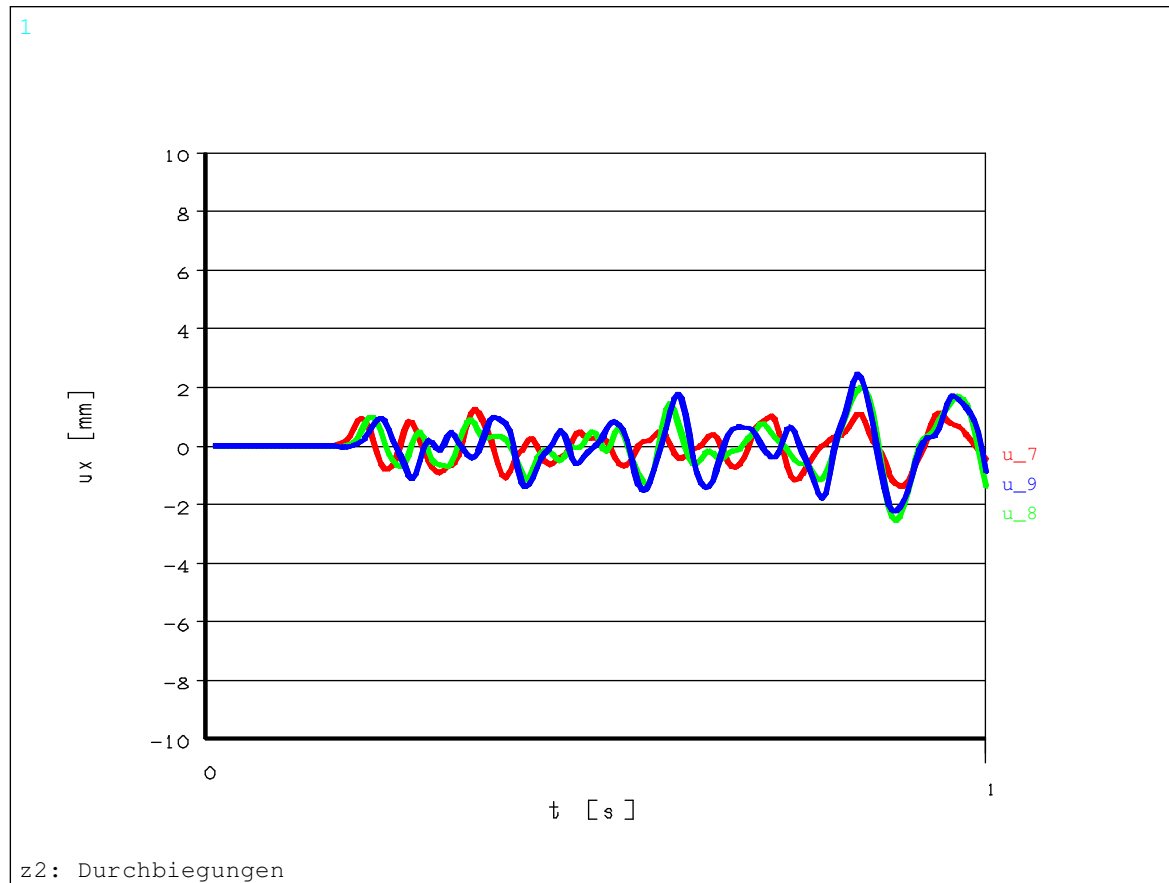
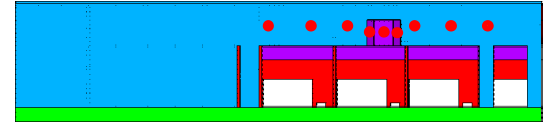


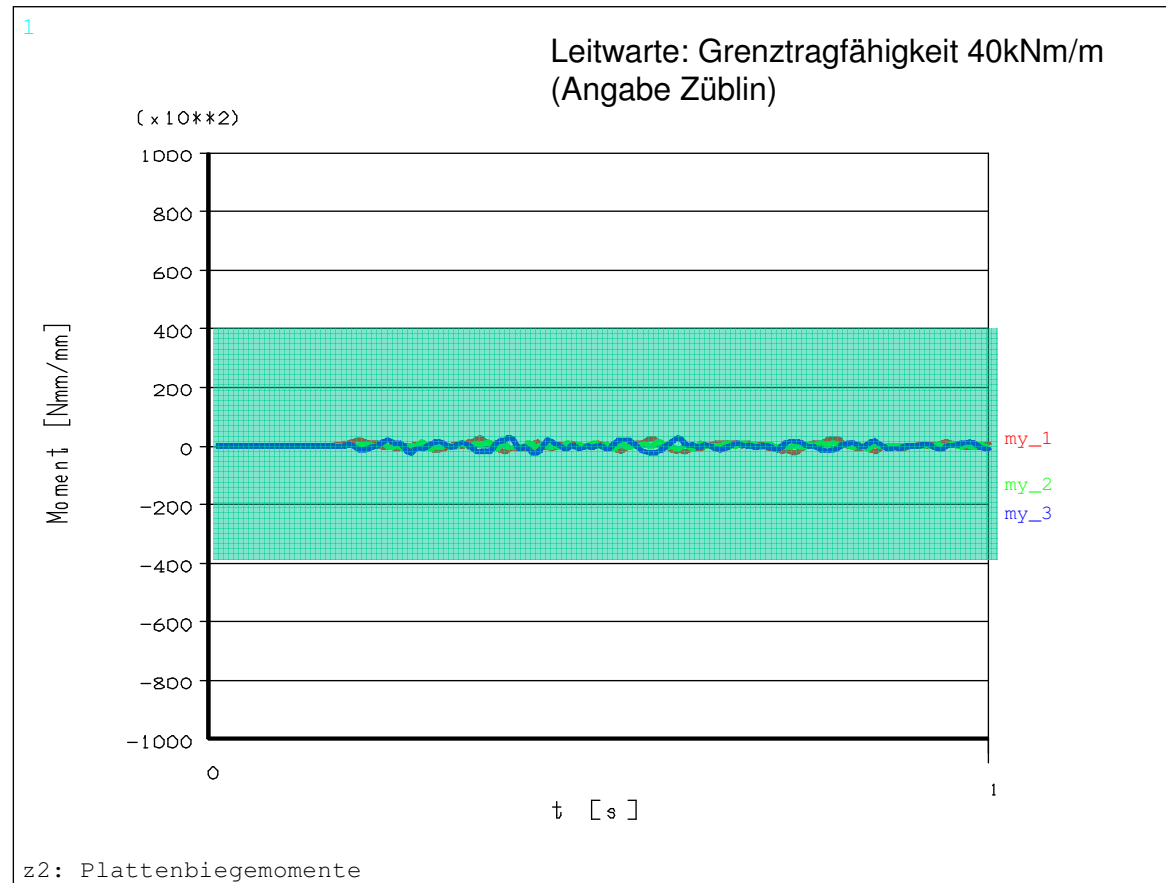
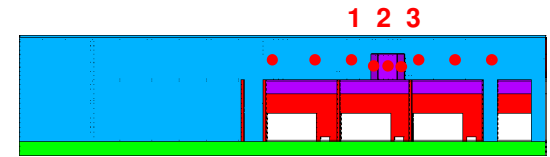


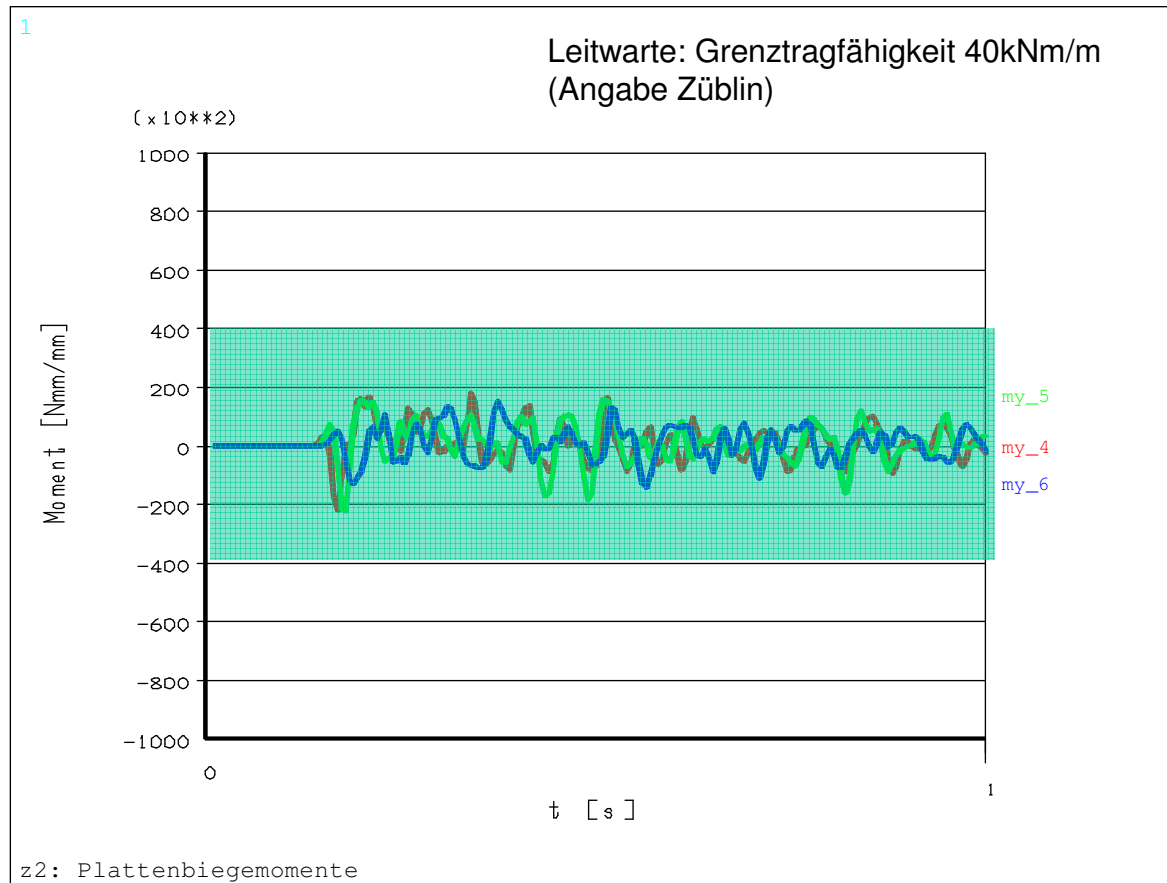
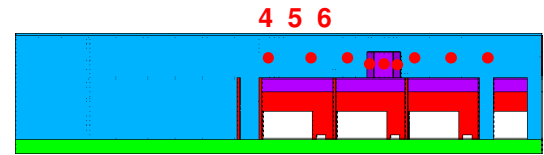


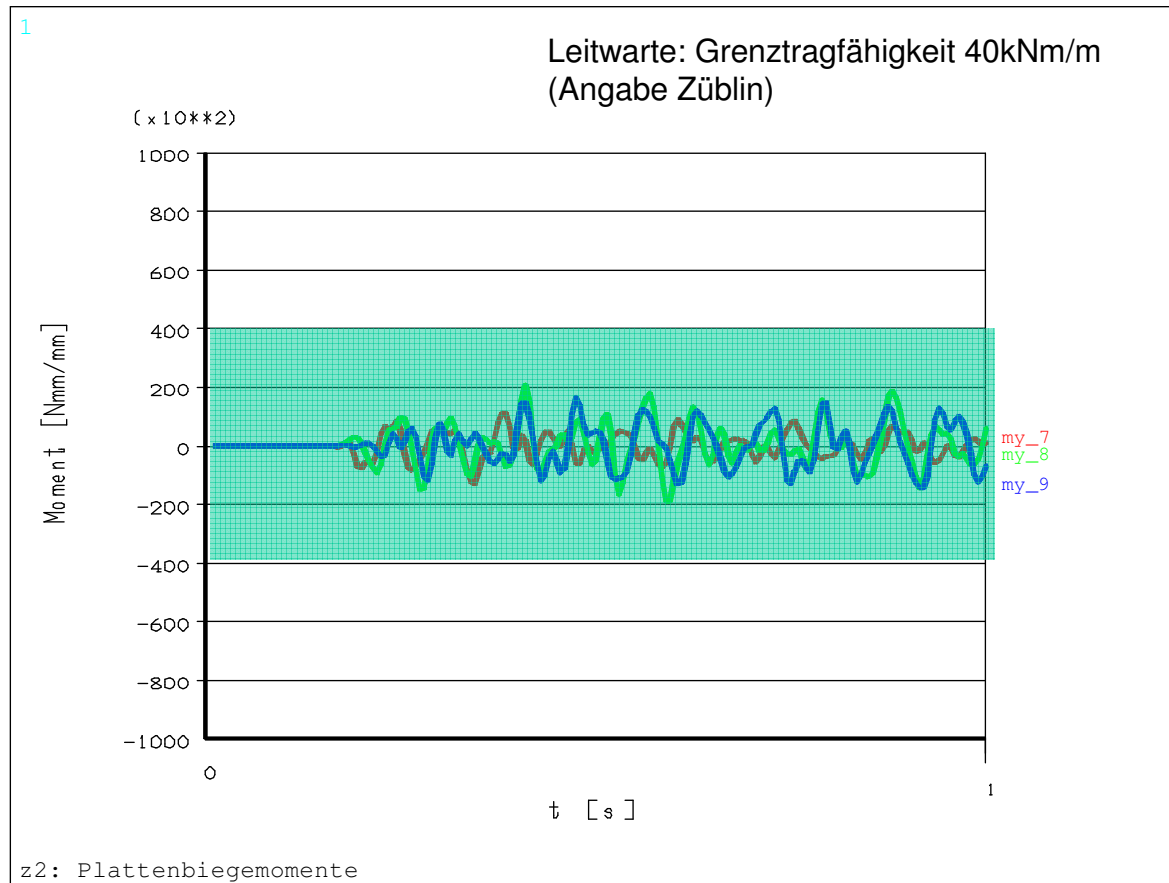
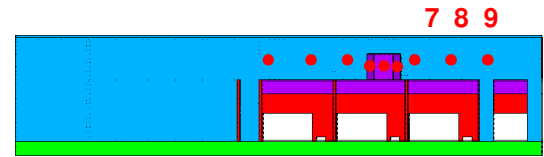


7 8 9

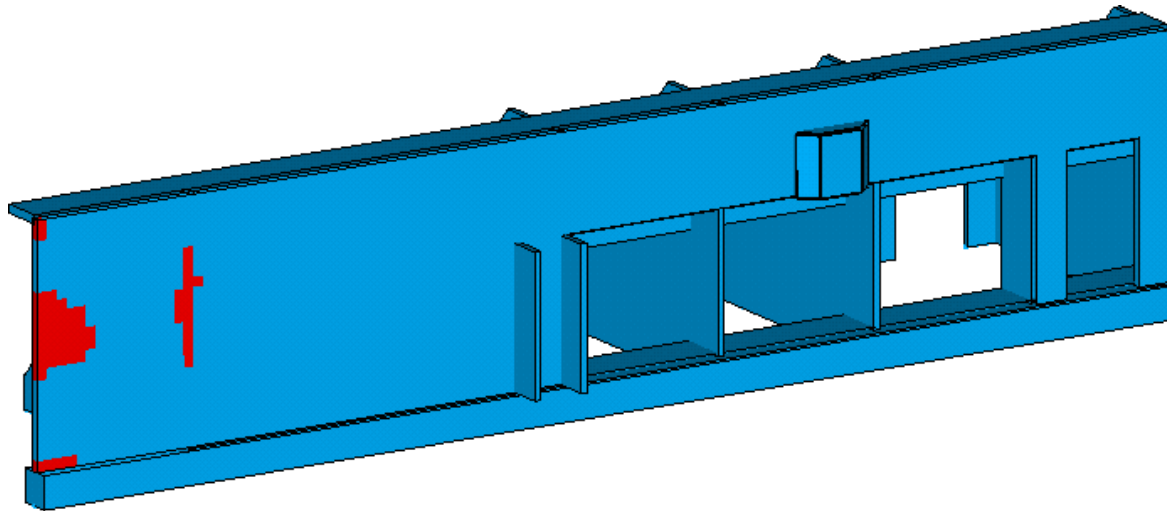








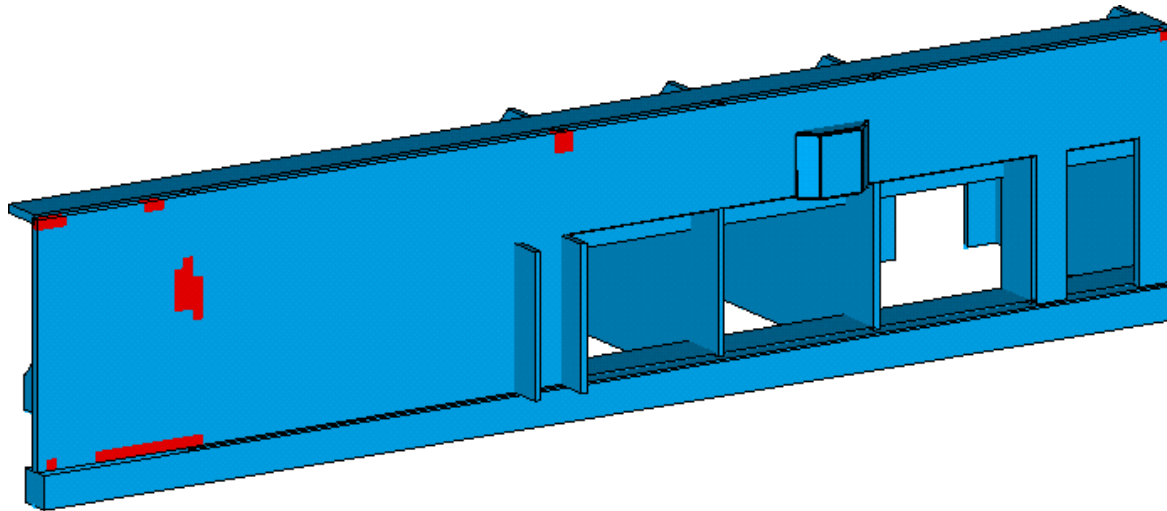
1



Überschreitung der
Grenzmomente

Variante **7.1zu**
= Variante **7.1auf**

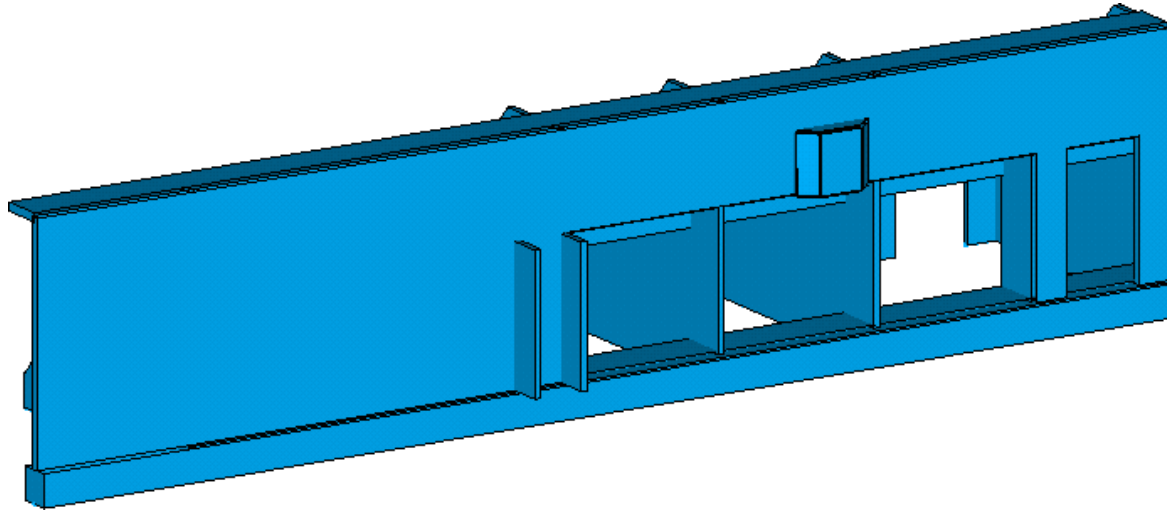
1



Überschreitung der
Grenzquerkräfte

Variante **7.1zu**
= Variante **7.1auf**

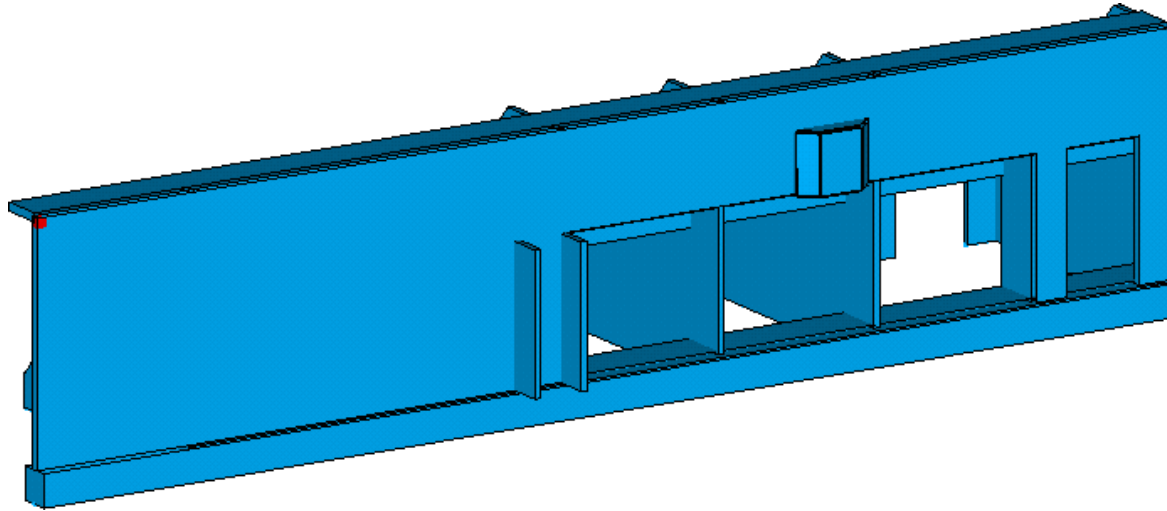
1



Überschreitung der
Grenzmomente

Variante **7.1offen**

1

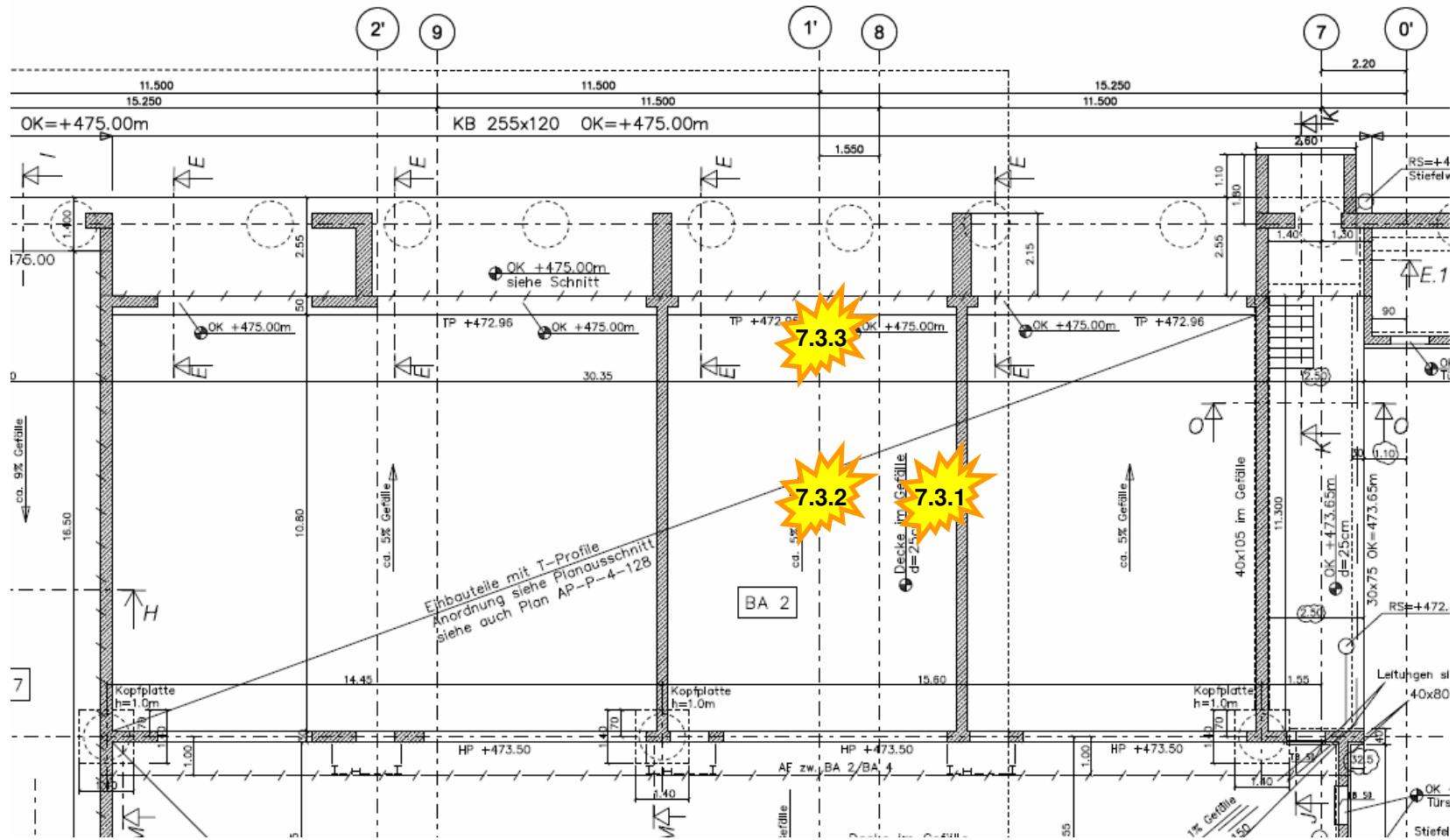


Überschreitung der
Grenzquerkräfte

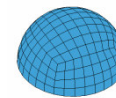
Variante **7.1offen**

Anhang A3: Explosionsszenarien in den Bunkern

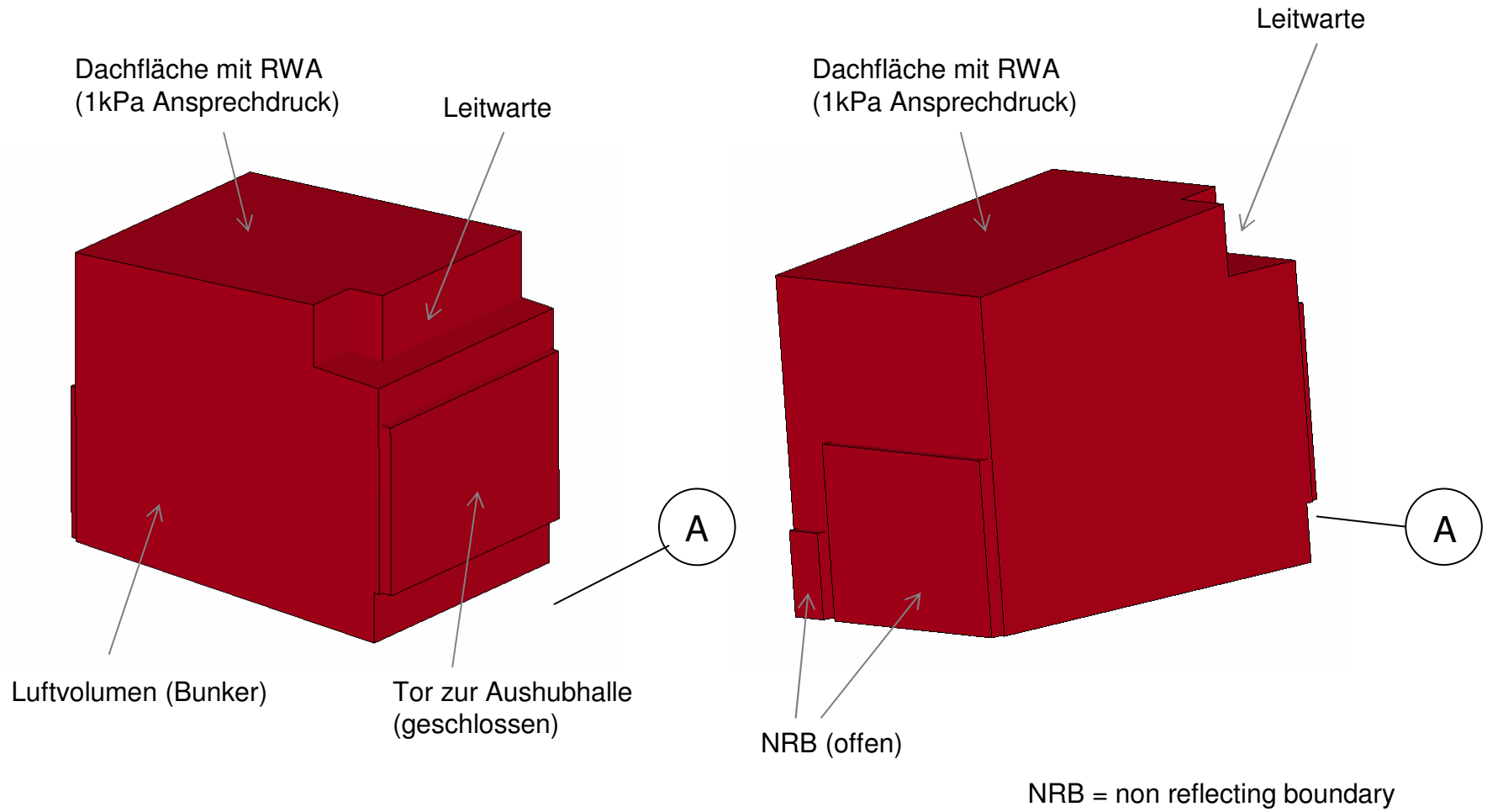
**Grenzfallbetrachtung:
Dachfläche geschlossen
(konservative Annahme)**



Ladungsgröße: 1kg TNT
(high explosive burn)

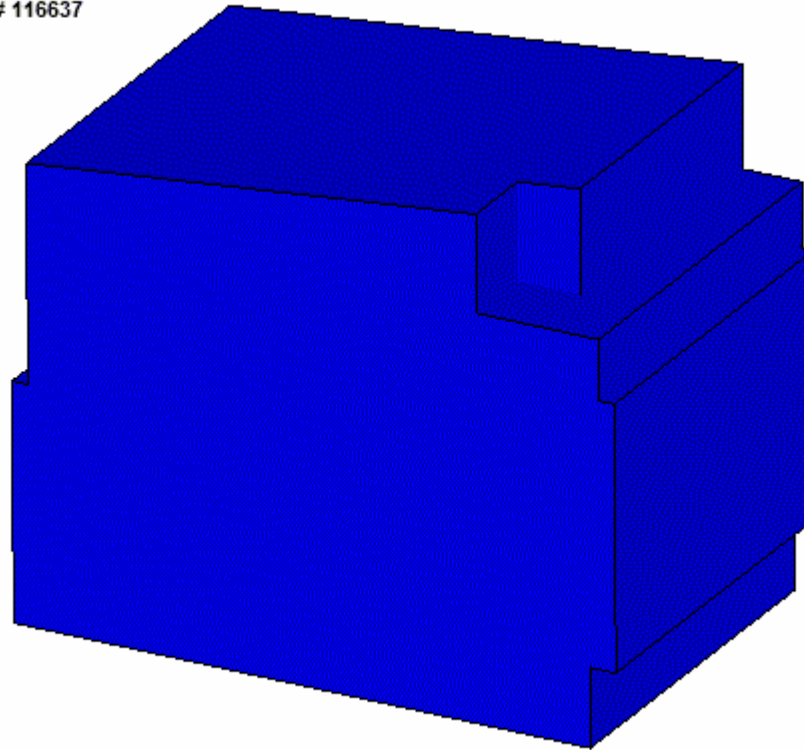
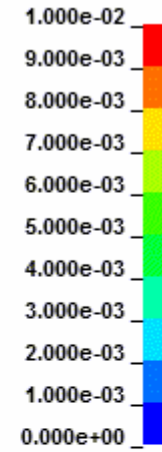


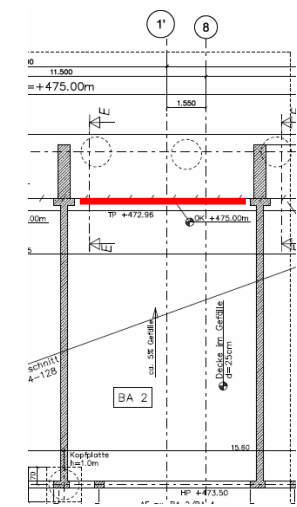
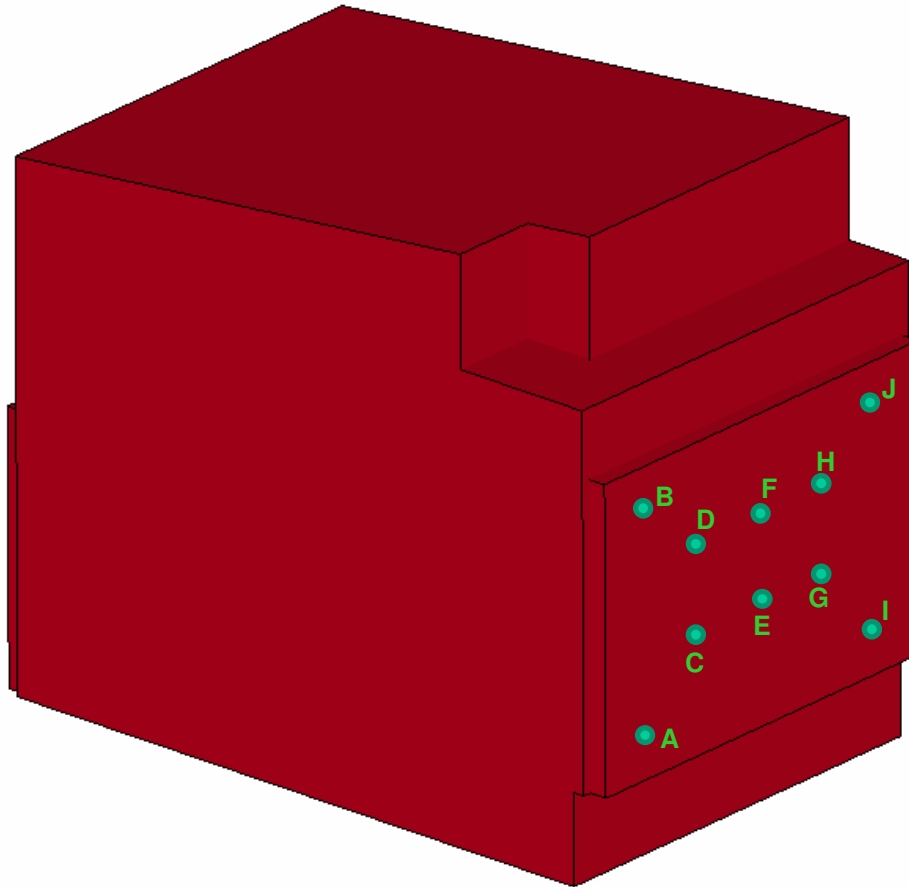
Ladung als Halbkugel
(Durchmesser = 134mm)



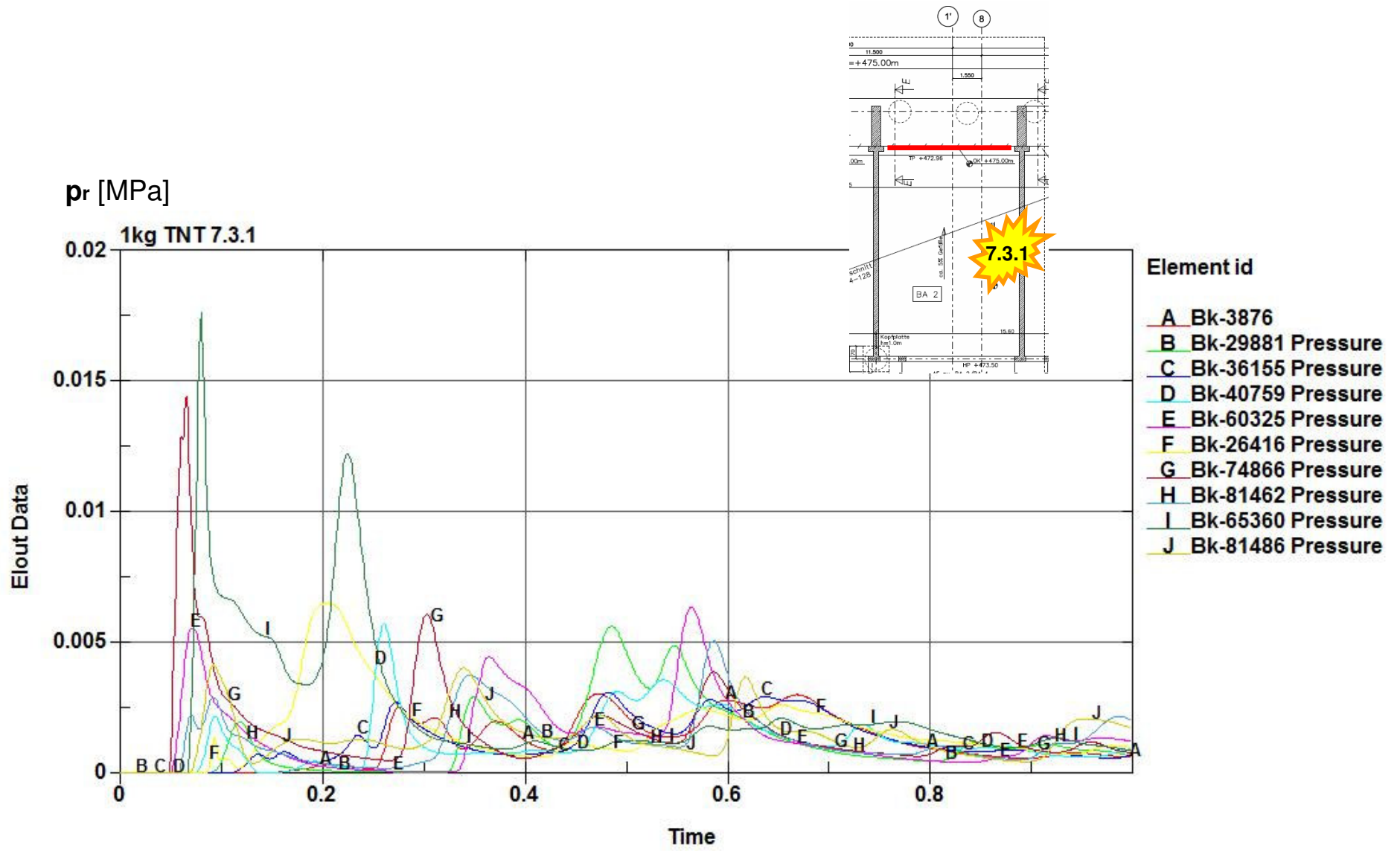
1kg TNT 7.3.2
Time = 0
Contours of Pressure
min=-0, at elem# 116637
max=-0, at elem# 116637

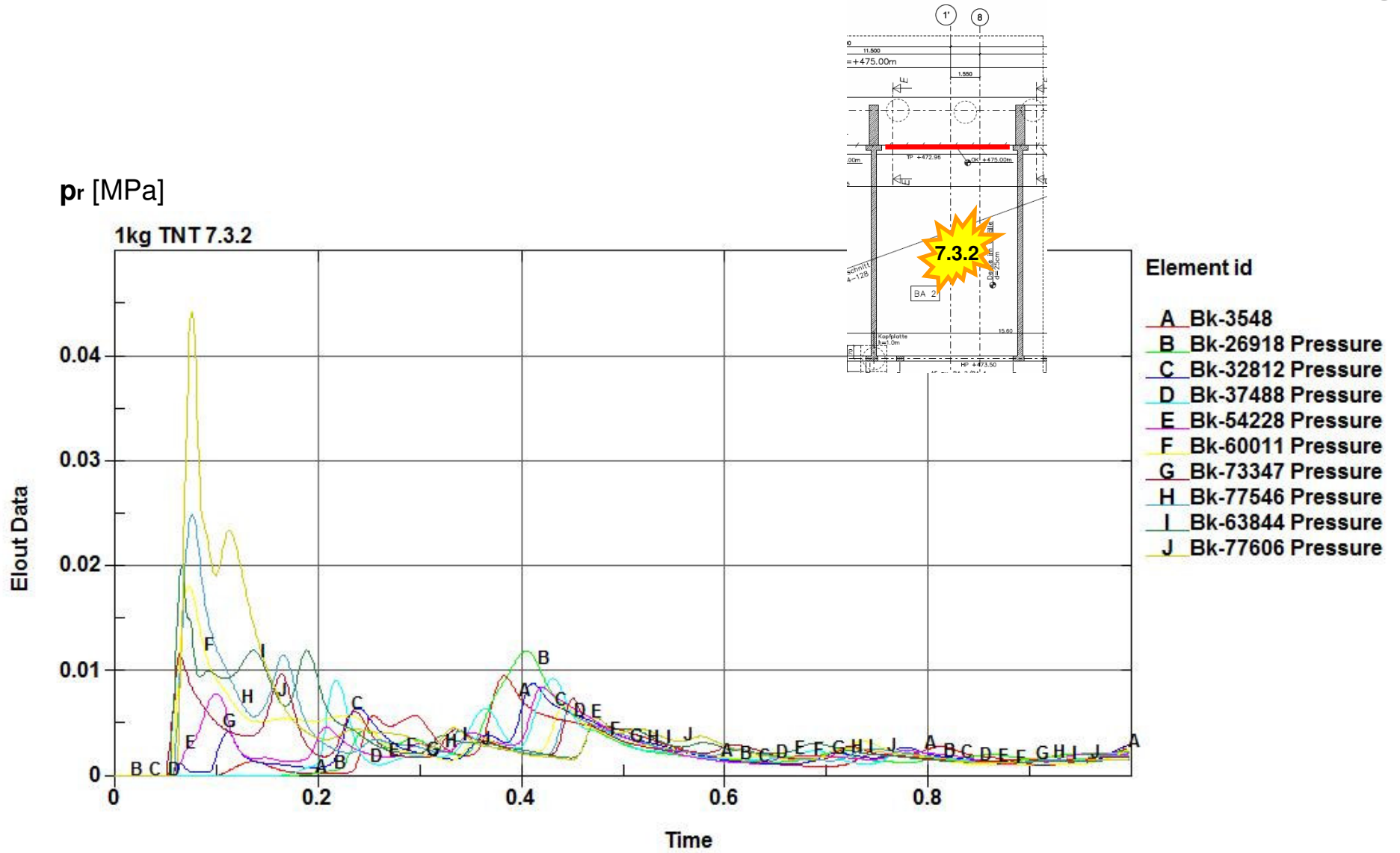
Fringe Levels

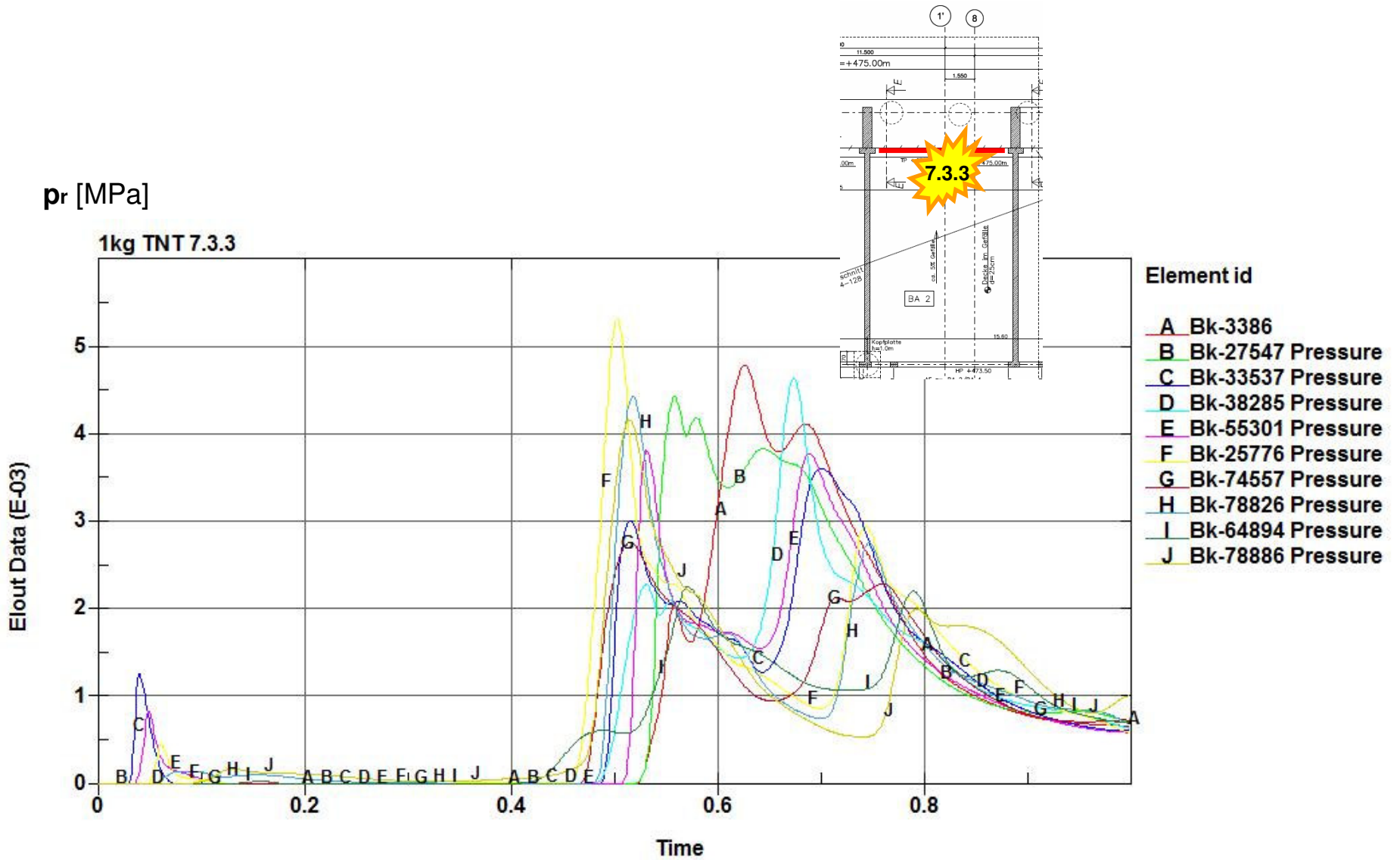


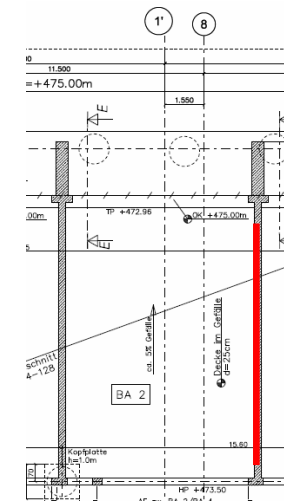
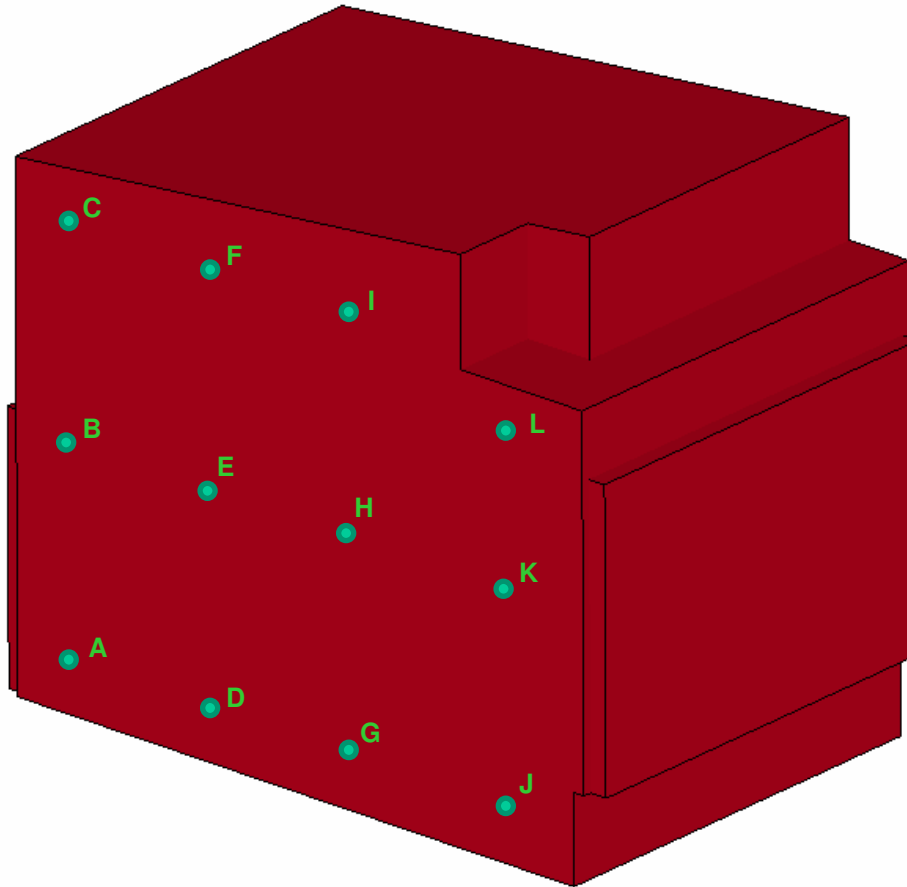


Druck auf geschlossenes Tor

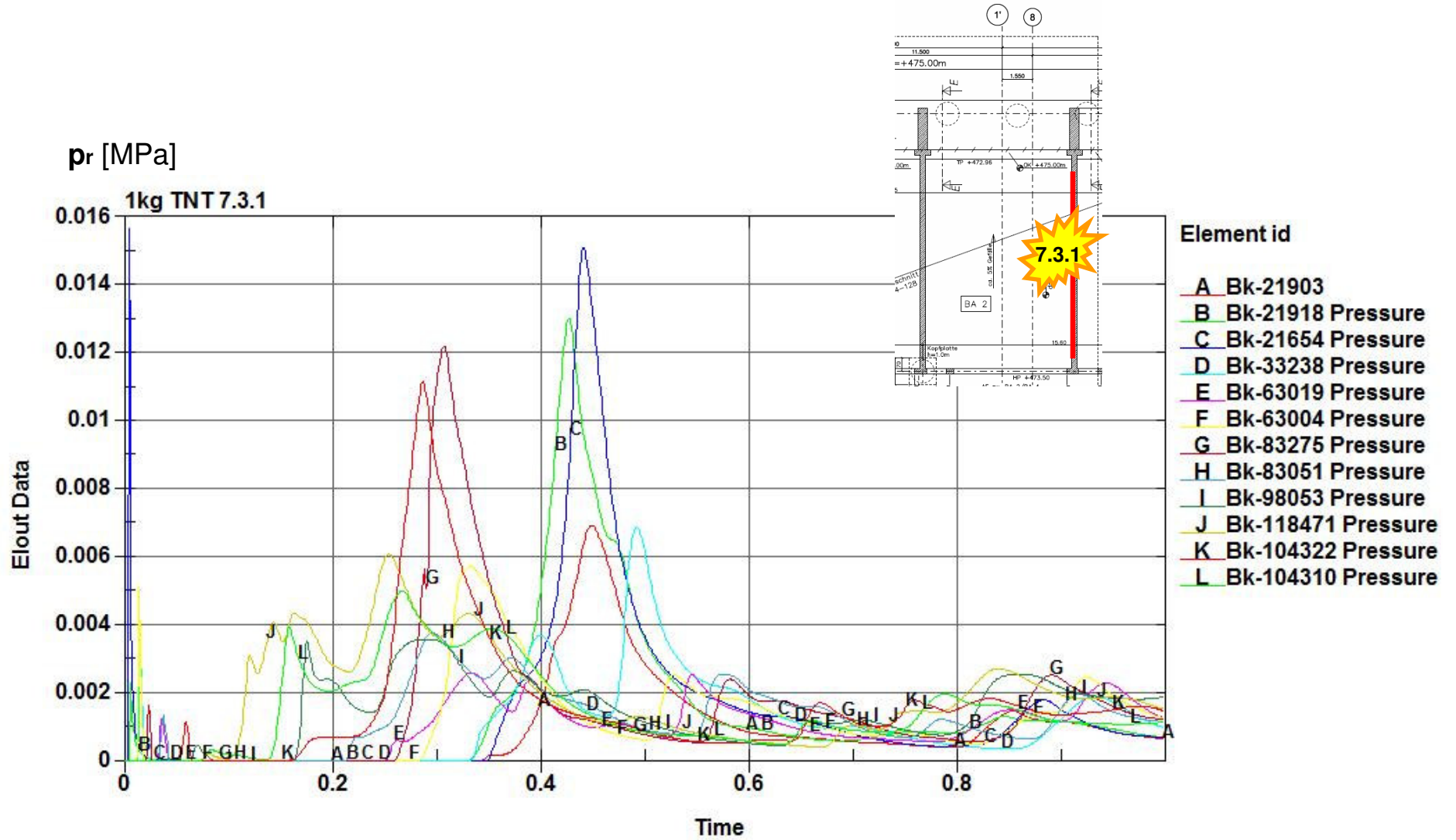


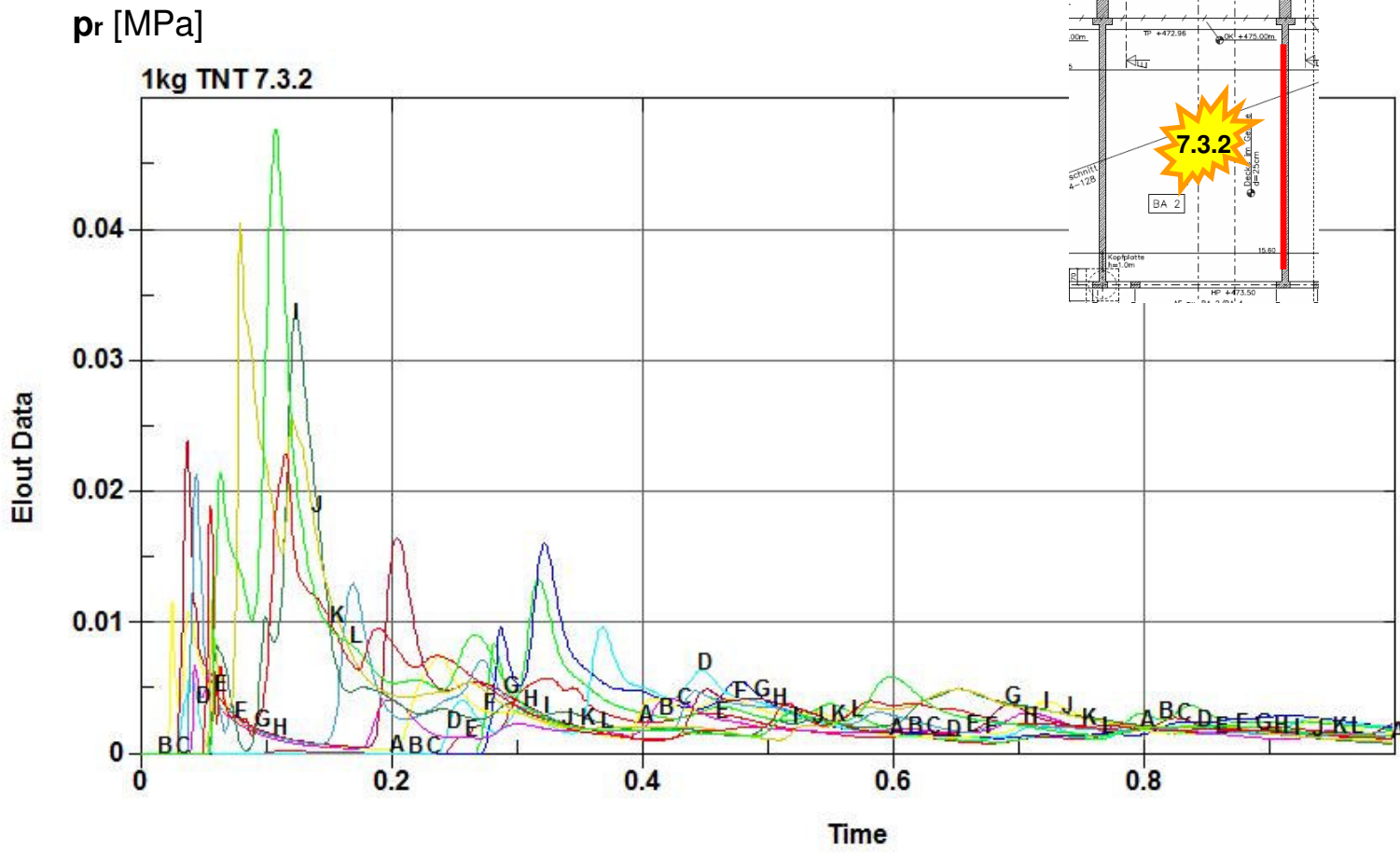
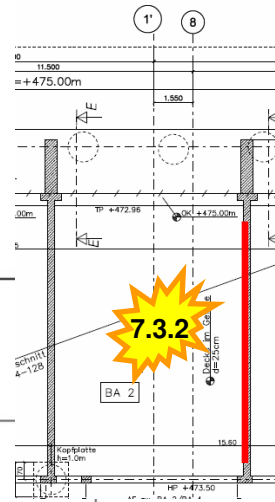






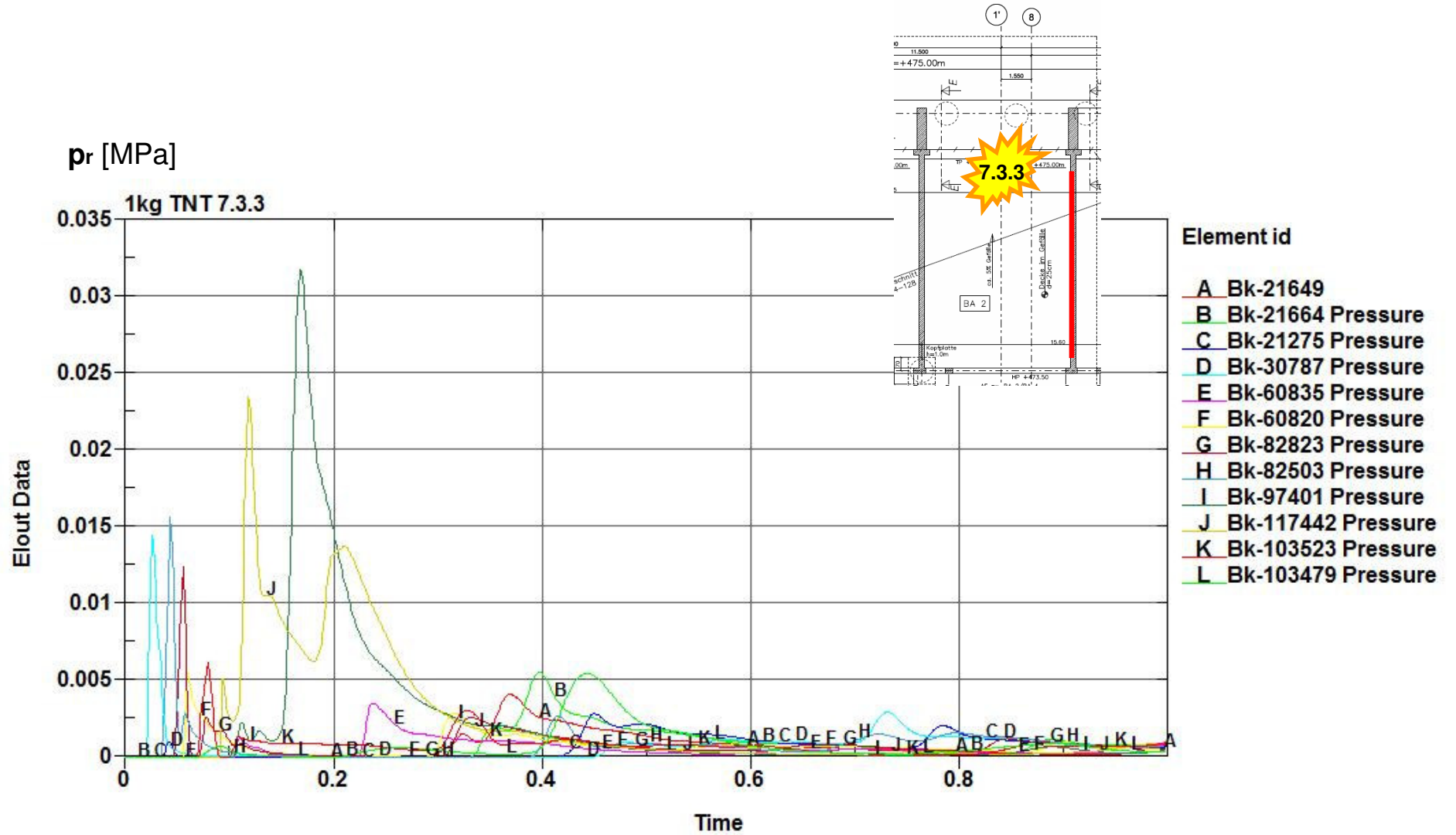
Druck auf Seitenwand 1

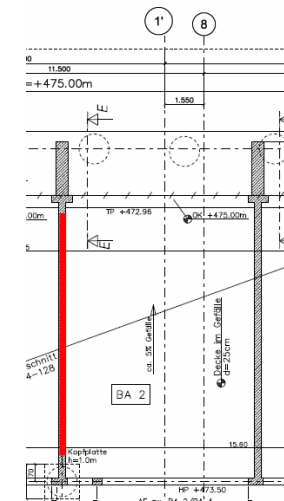
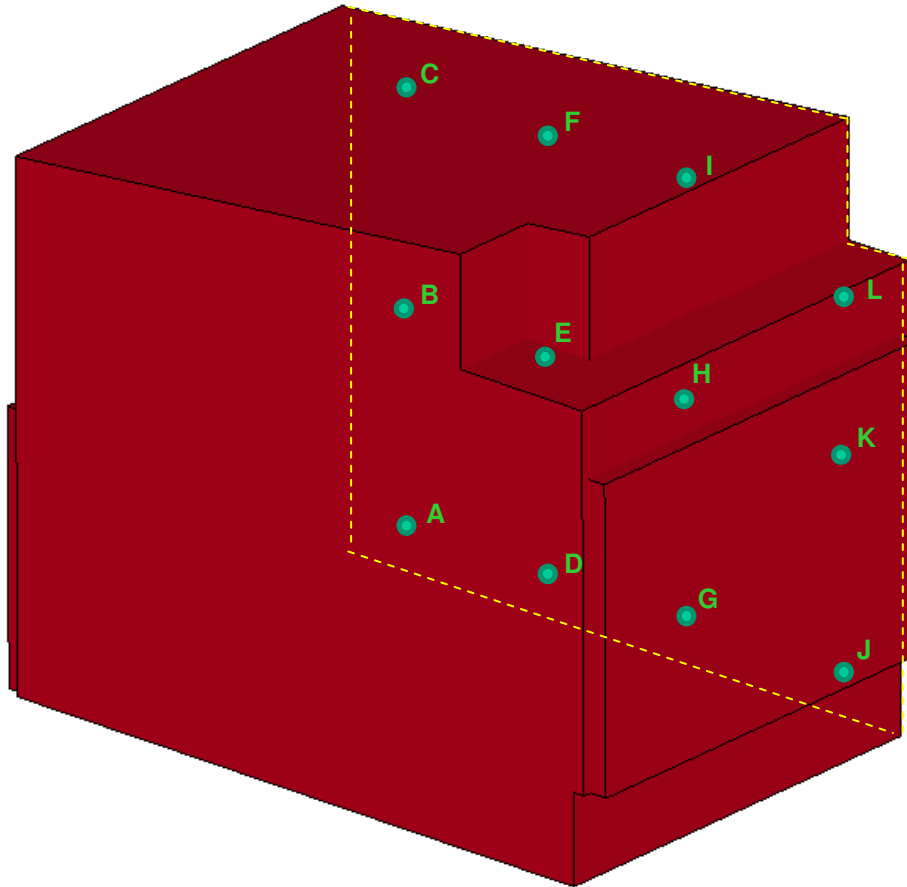




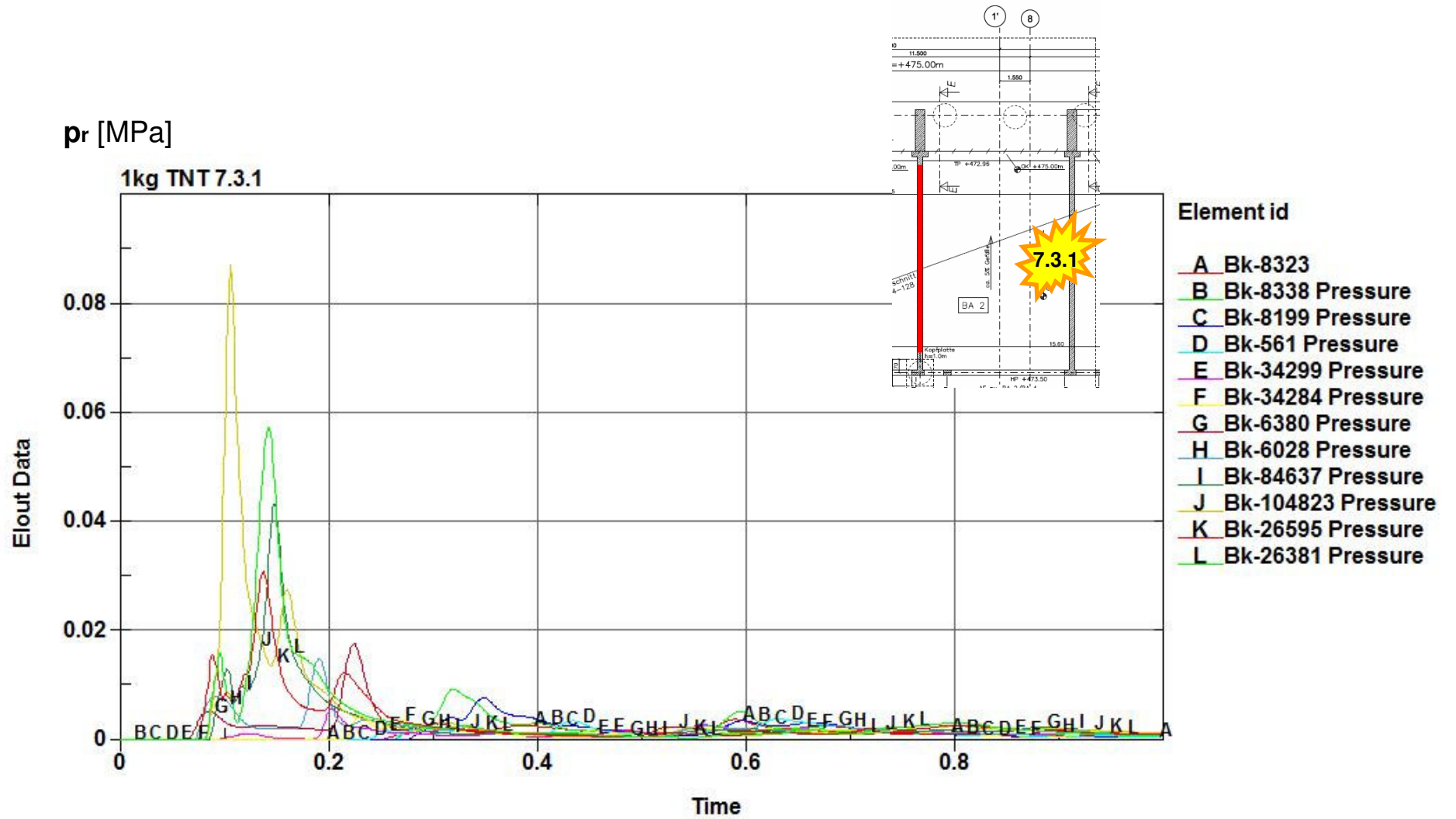
- Element id**
- A Bk-21283
 - B Bk-21298 Pressure
 - C Bk-20909 Pressure
 - D Bk-30098 Pressure
 - E Bk-59666 Pressure
 - F Bk-59651 Pressure
 - G Bk-81463 Pressure
 - H Bk-81143 Pressure
 - I Bk-95801 Pressure
 - J Bk-115842 Pressure
 - K Bk-101923 Pressure
 - L Bk-101879 Pressure

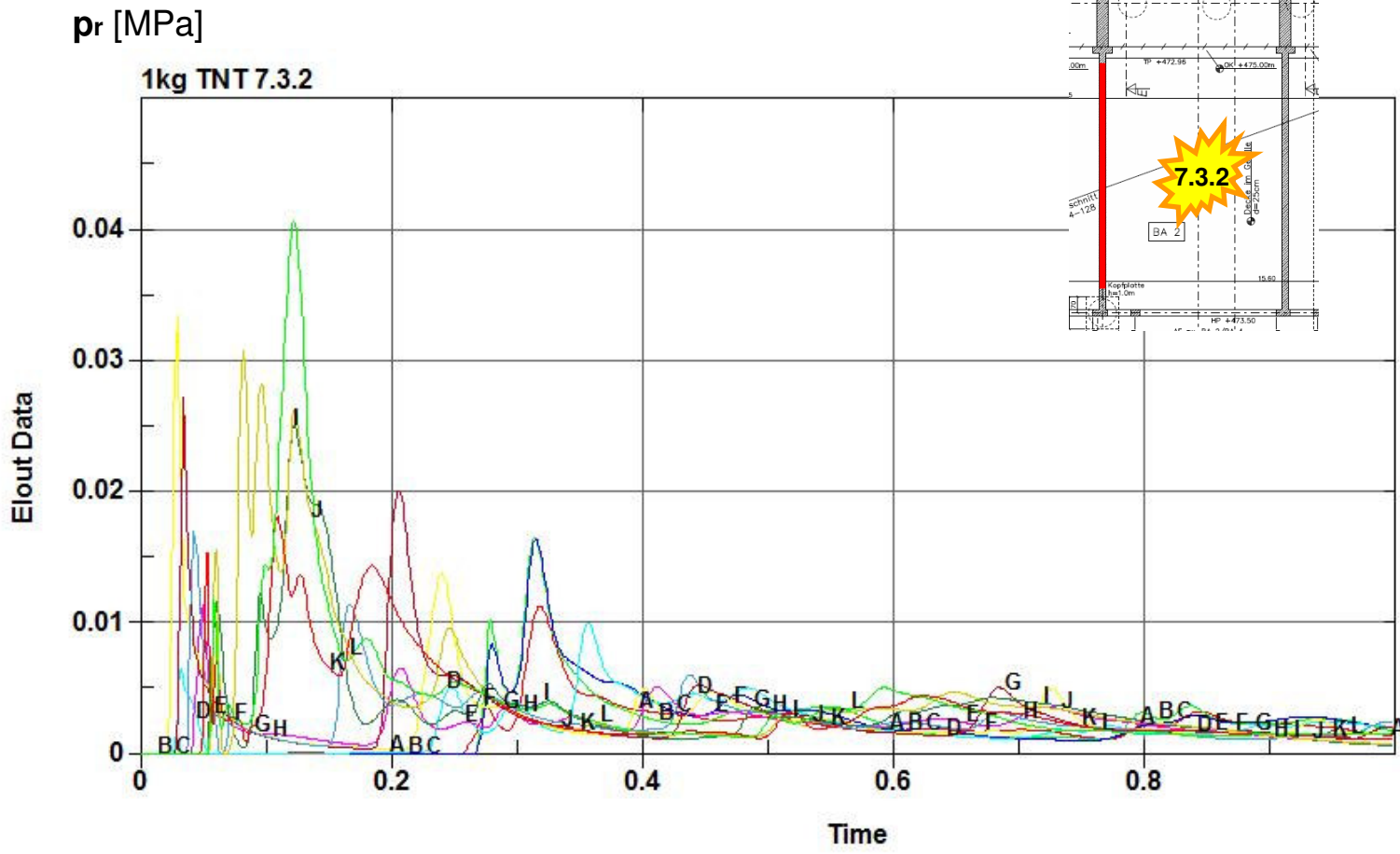
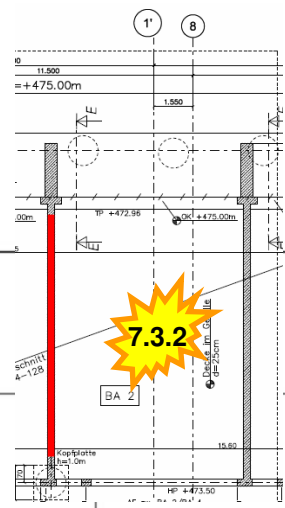






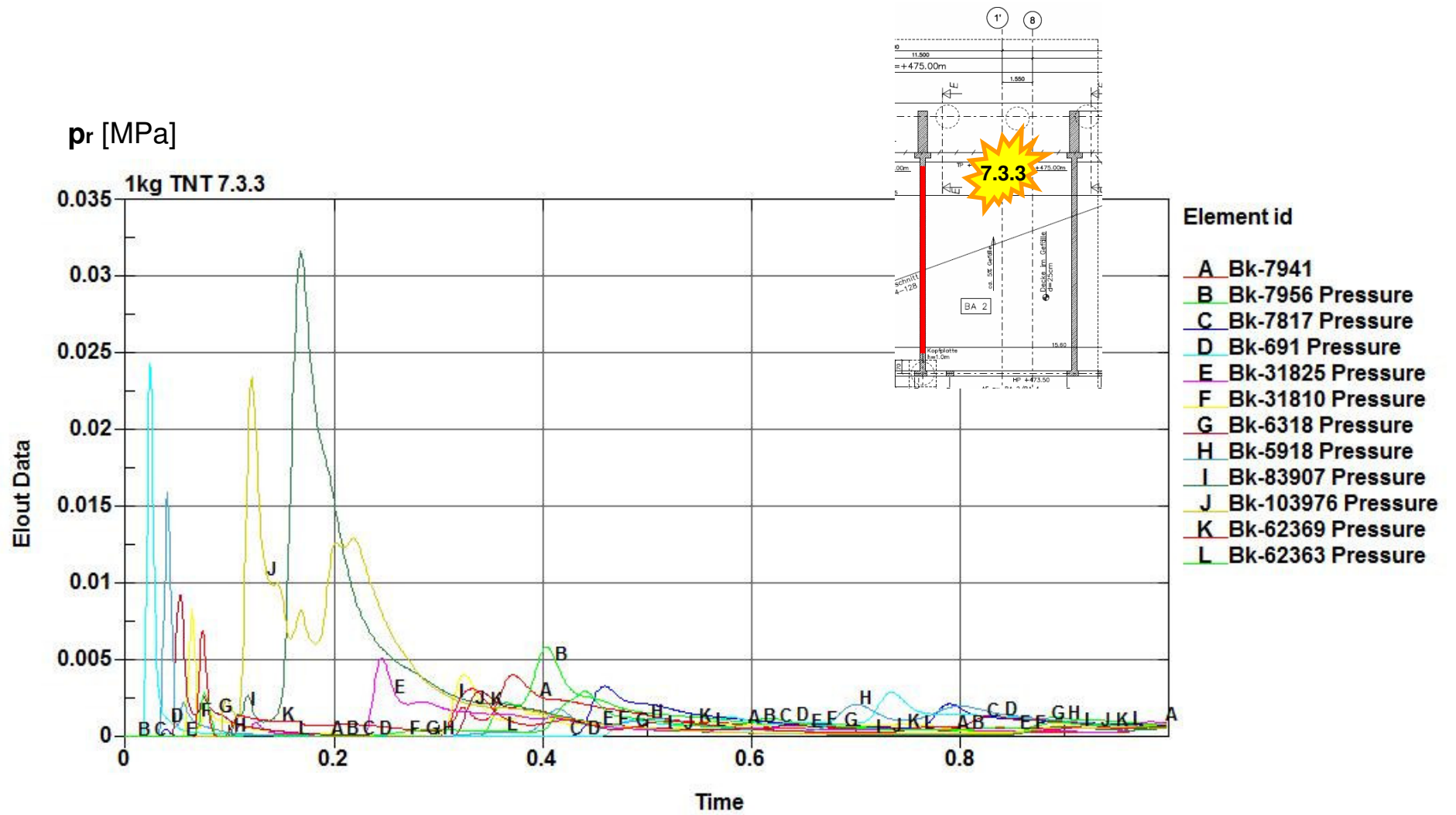
Druck auf Seitenwand 2

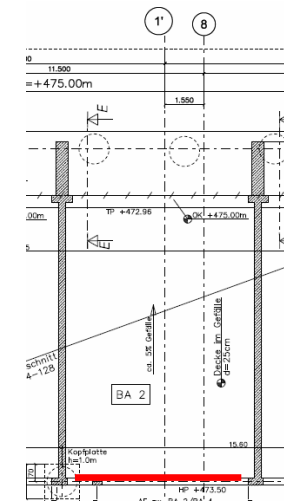
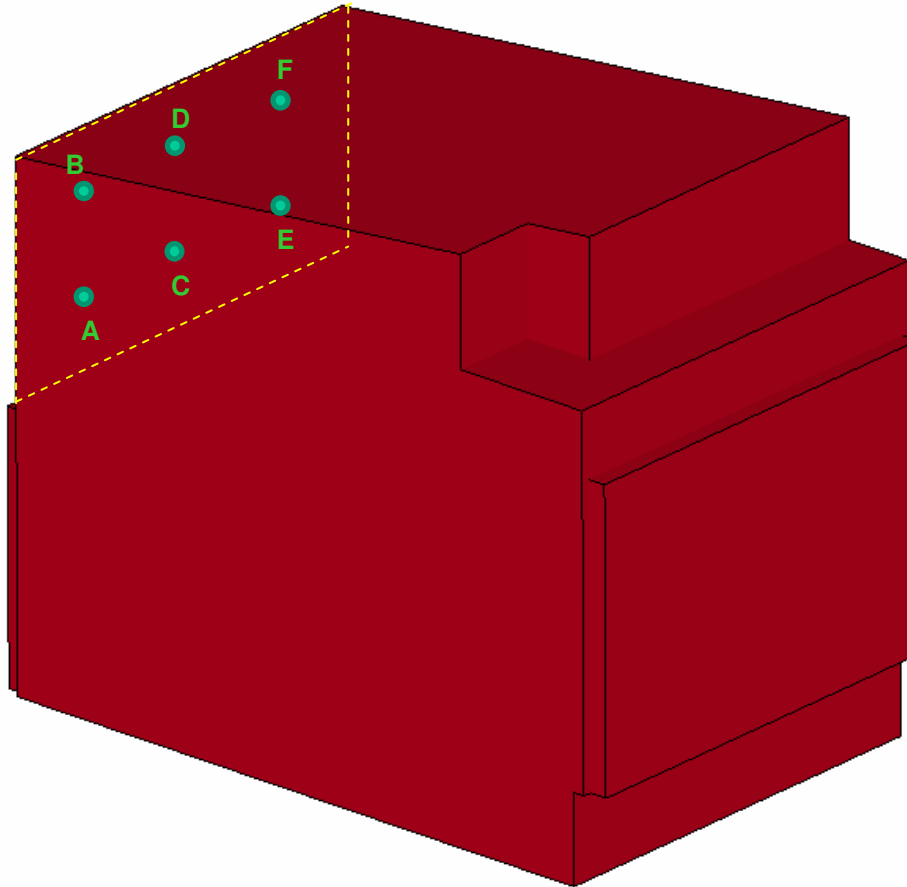




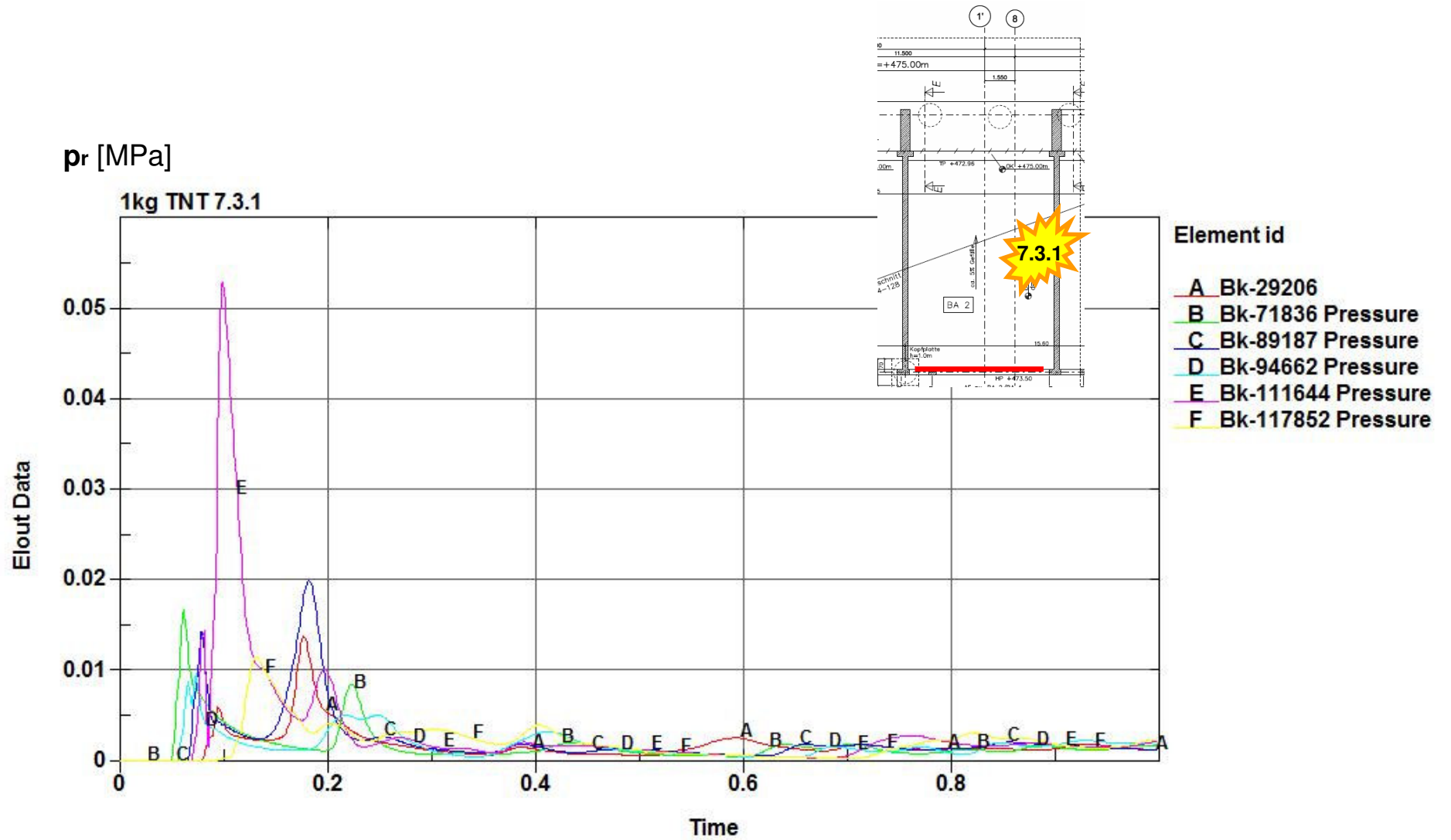
- Element id**
- A Bk-7809
 - B Bk-7824 Pressure
 - C Bk-7685 Pressure
 - D Bk-541 Pressure
 - E Bk-31076 Pressure
 - F Bk-31061 Pressure
 - G Bk-5992 Pressure
 - H Bk-5760 Pressure
 - I Bk-82541 Pressure
 - J Bk-102376 Pressure
 - K Bk-61259 Pressure
 - L Bk-60173 Pressure

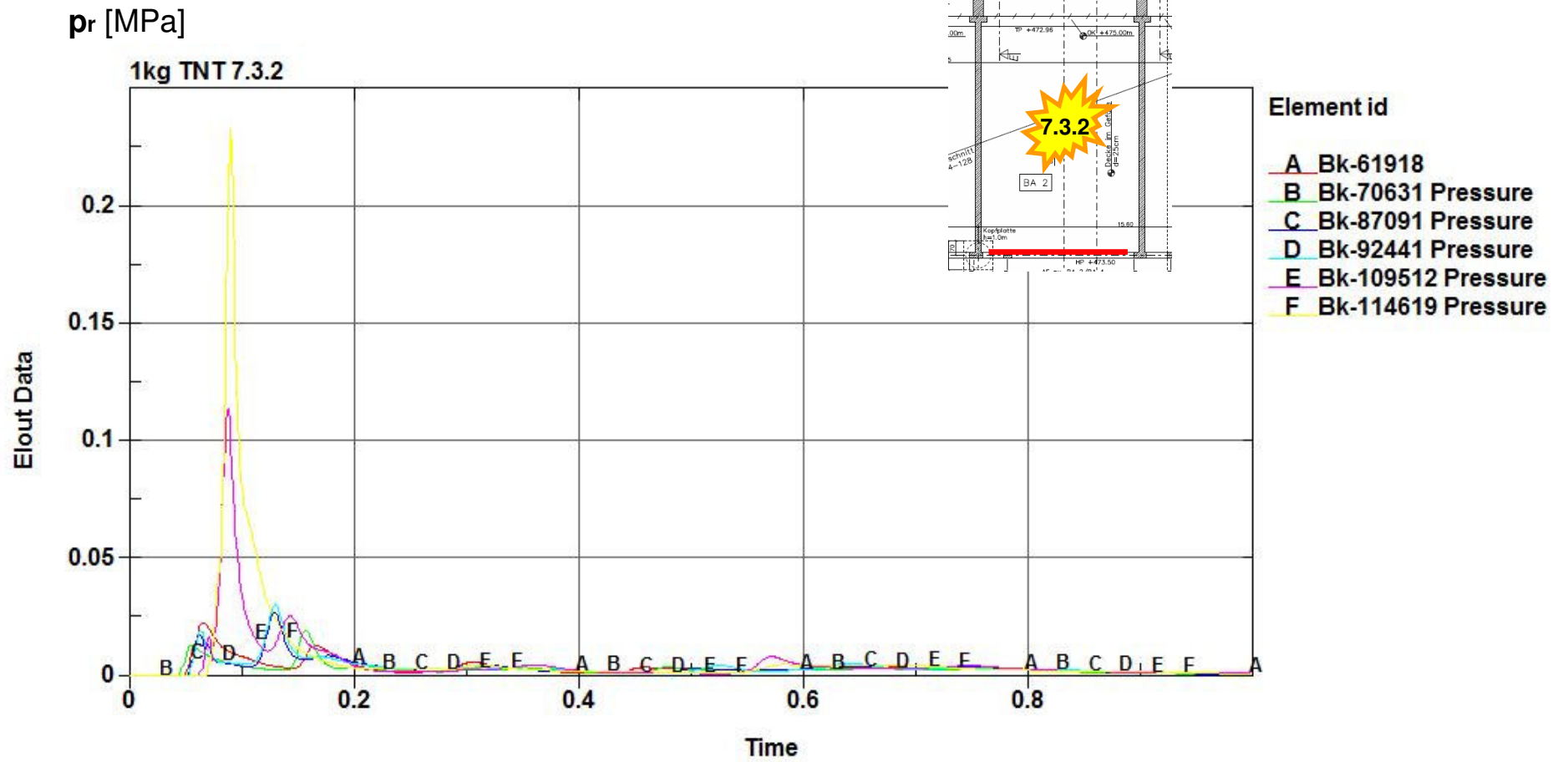


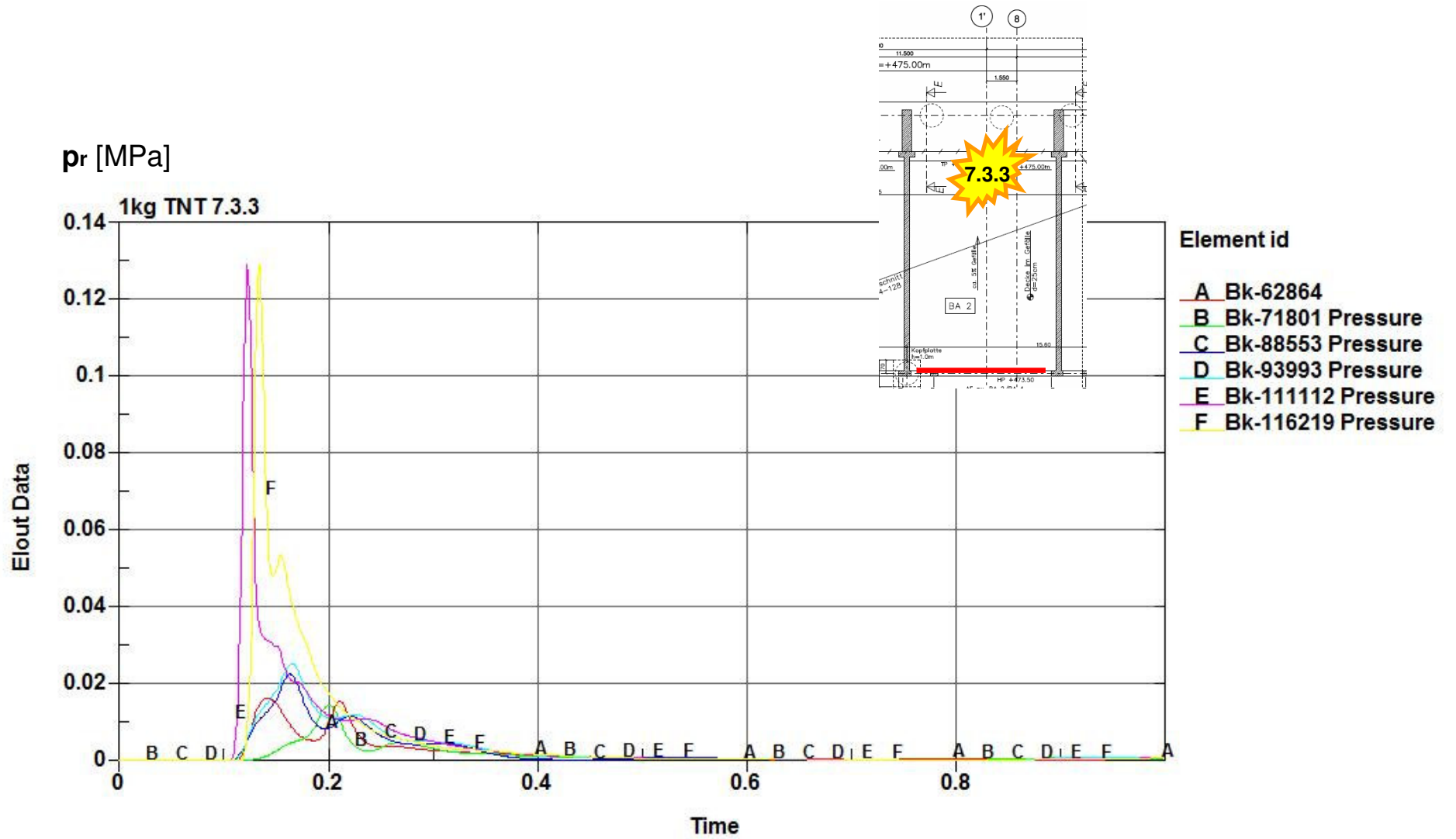


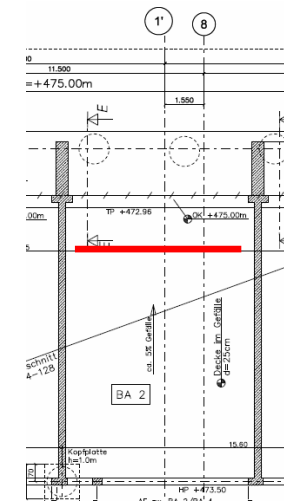
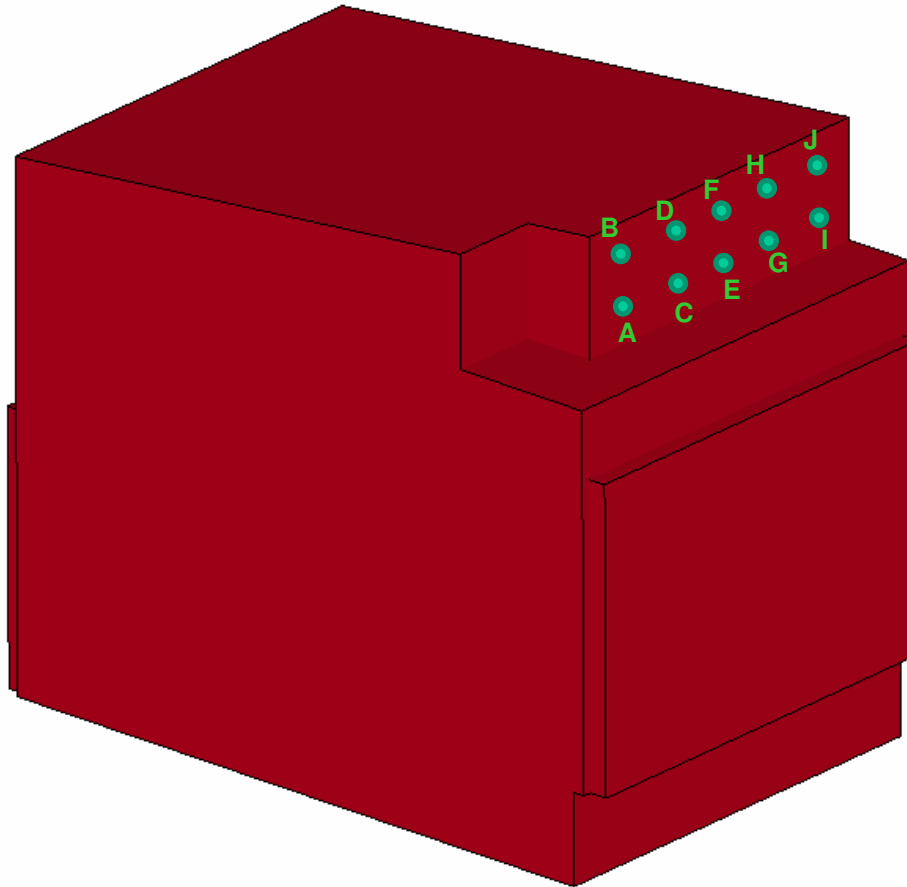


Druck auf Rückwand
(oberhalb offenes Tor)

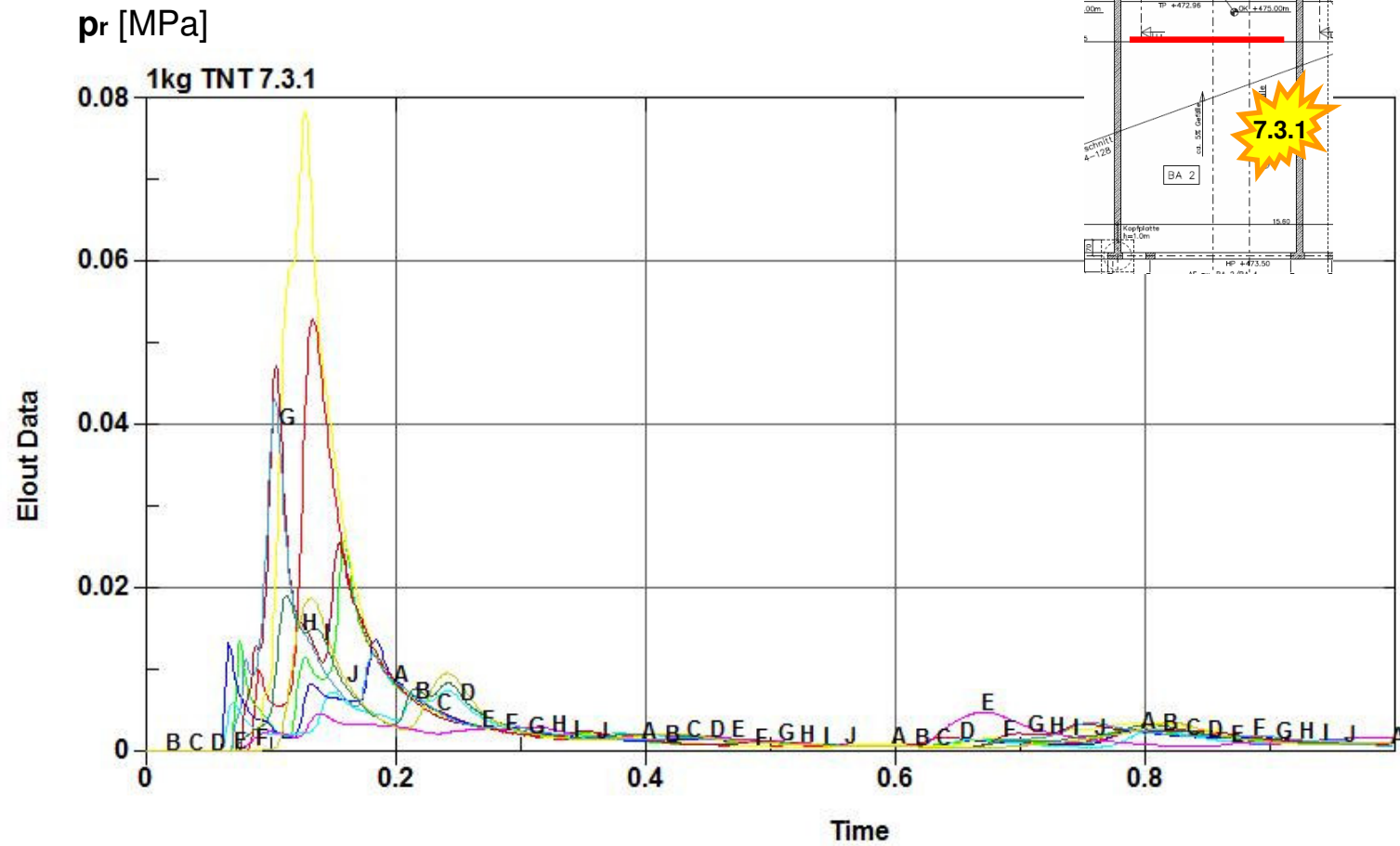
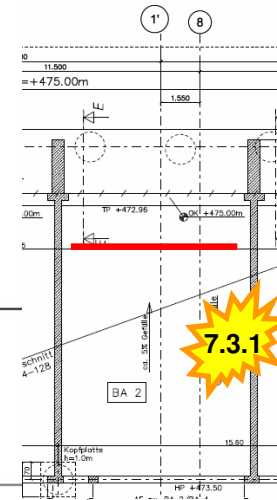






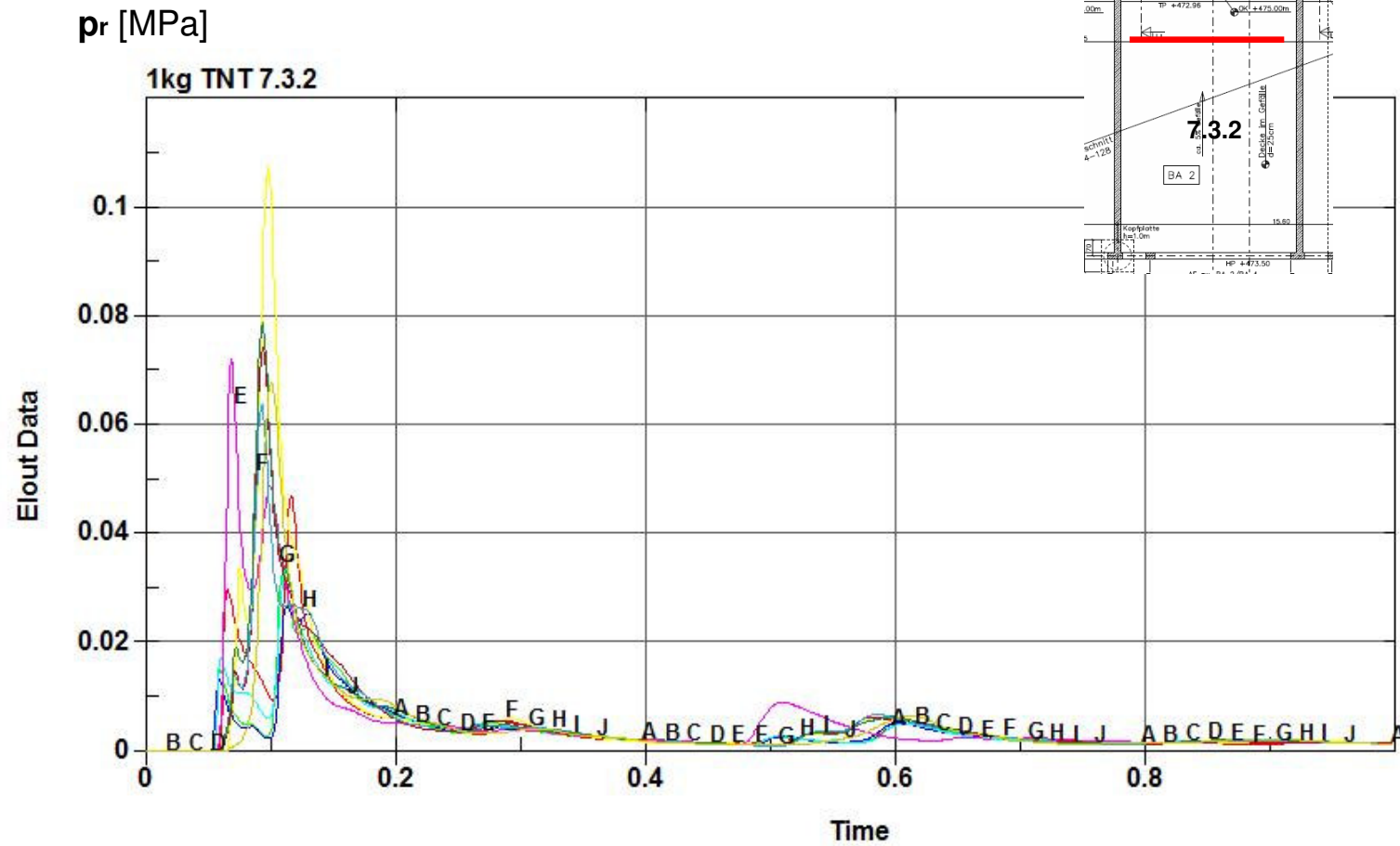
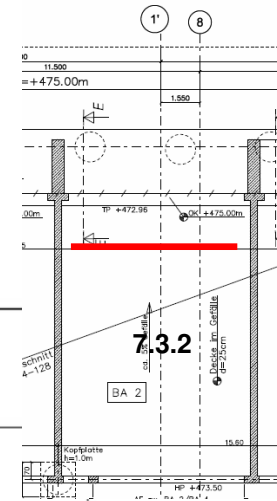


Druck auf Leitwarte



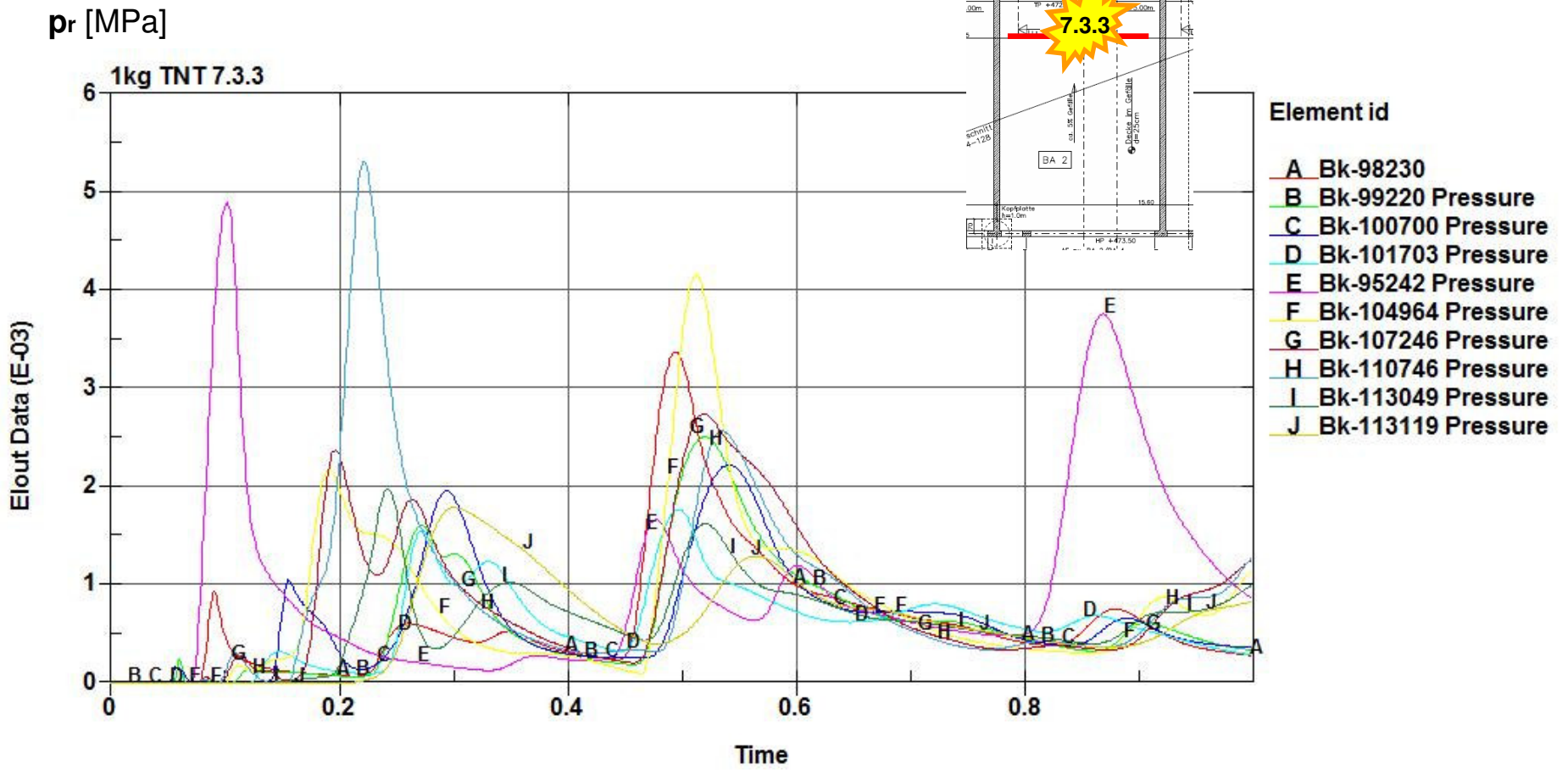
Element id

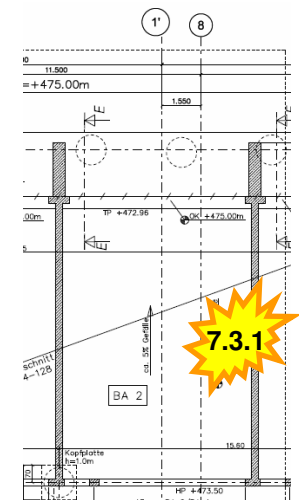
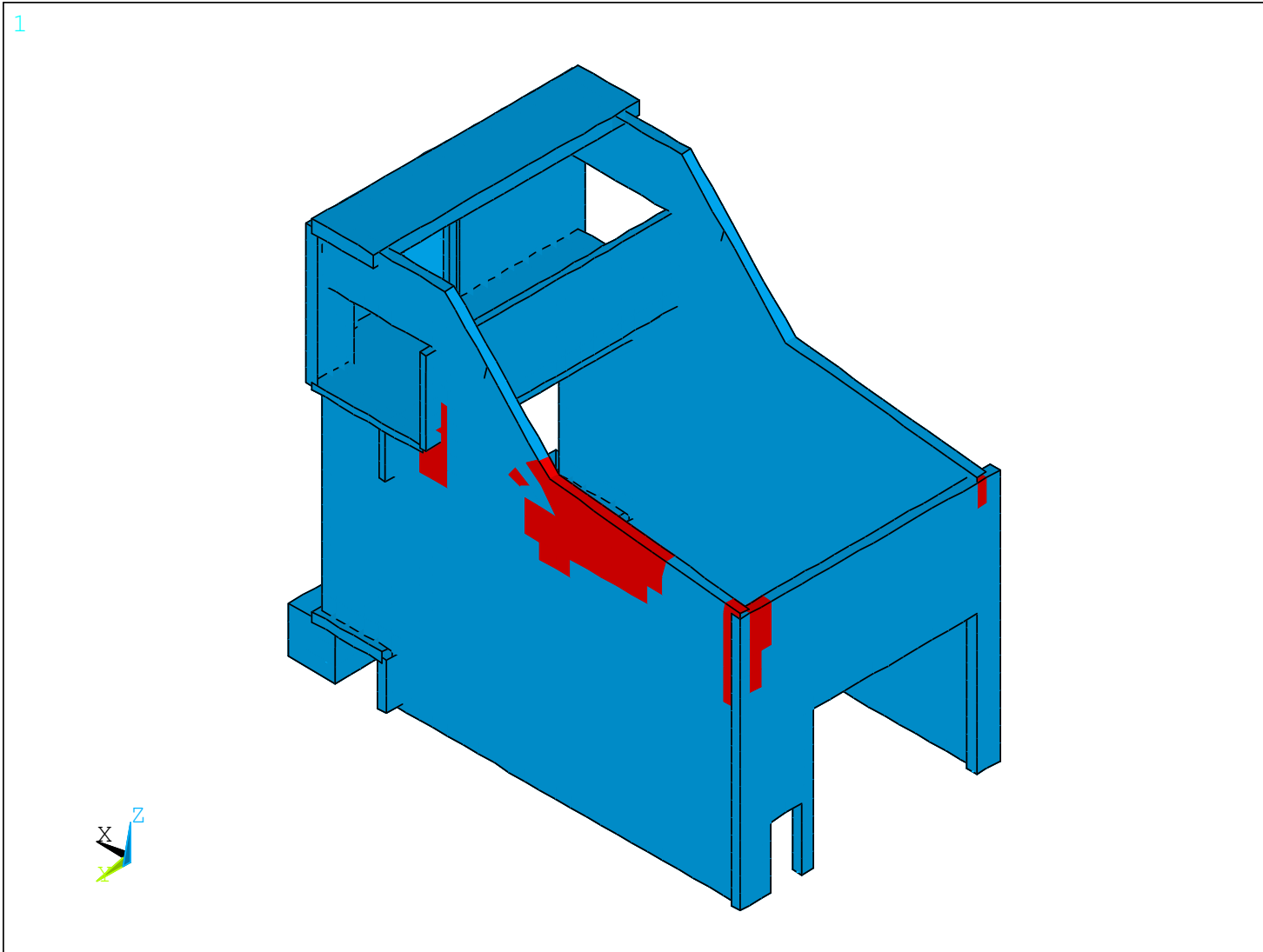
- A Bk-98942
- B Bk-99932 Pressure
- C Bk-101101 Pressure
- D Bk-102372 Pressure
- E Bk-97040 Pressure
- F Bk-105811 Pressure
- G Bk-108093 Pressure
- H Bk-110906 Pressure
- I Bk-113895 Pressure
- J Bk-113881 Pressure



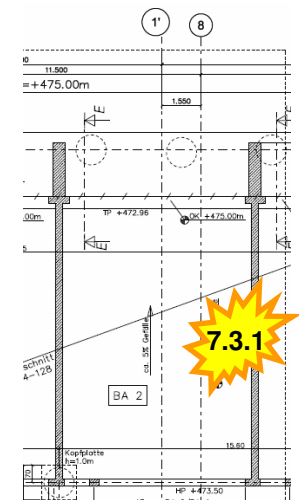
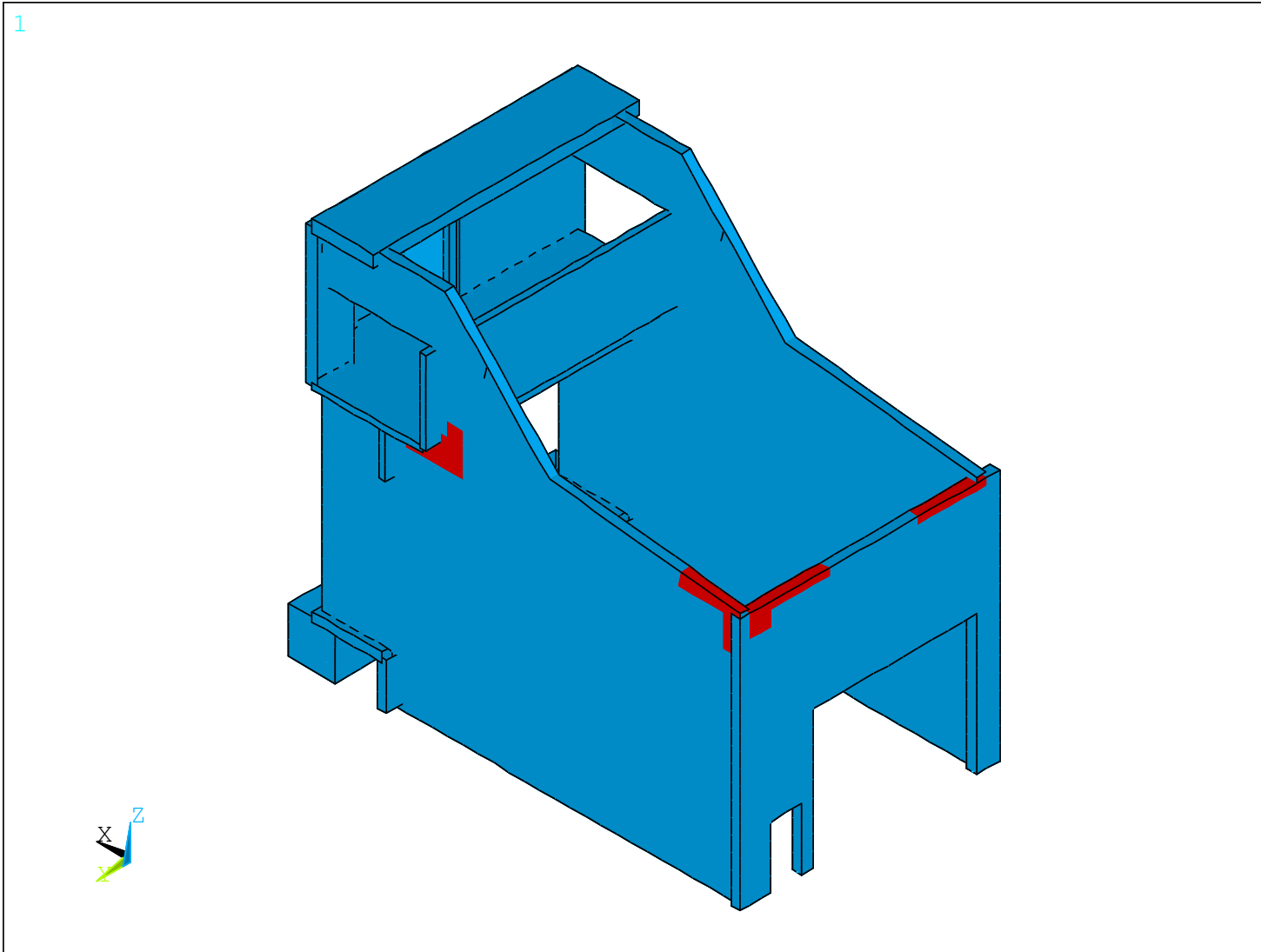
Element id

- A** Bk-96630
- B** Bk-97620 Pressure
- C** Bk-99100 Pressure
- D** Bk-100103 Pressure
- E** Bk-93660 Pressure
- F** Bk-103364 Pressure
- G** Bk-105646 Pressure
- H** Bk-109146 Pressure
- I** Bk-111449 Pressure
- J** Bk-111470 Pressure

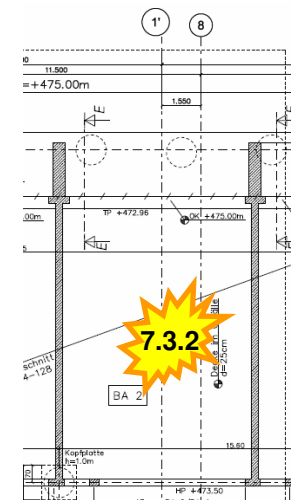
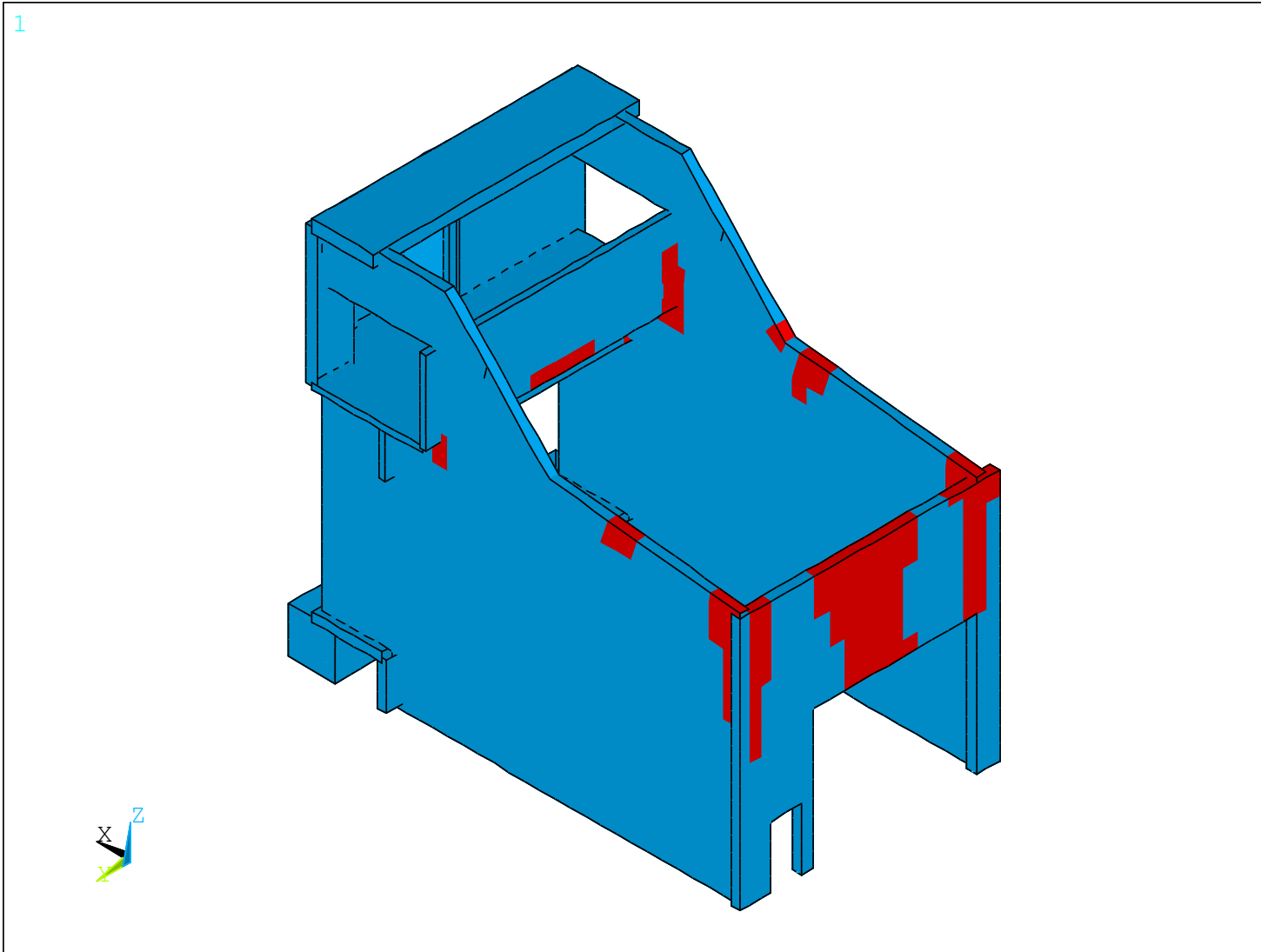




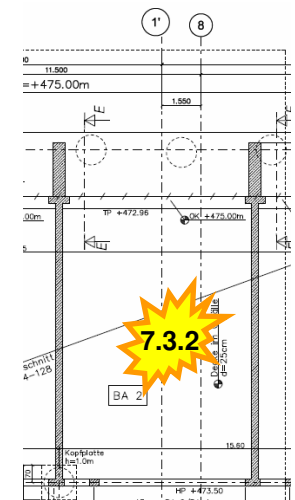
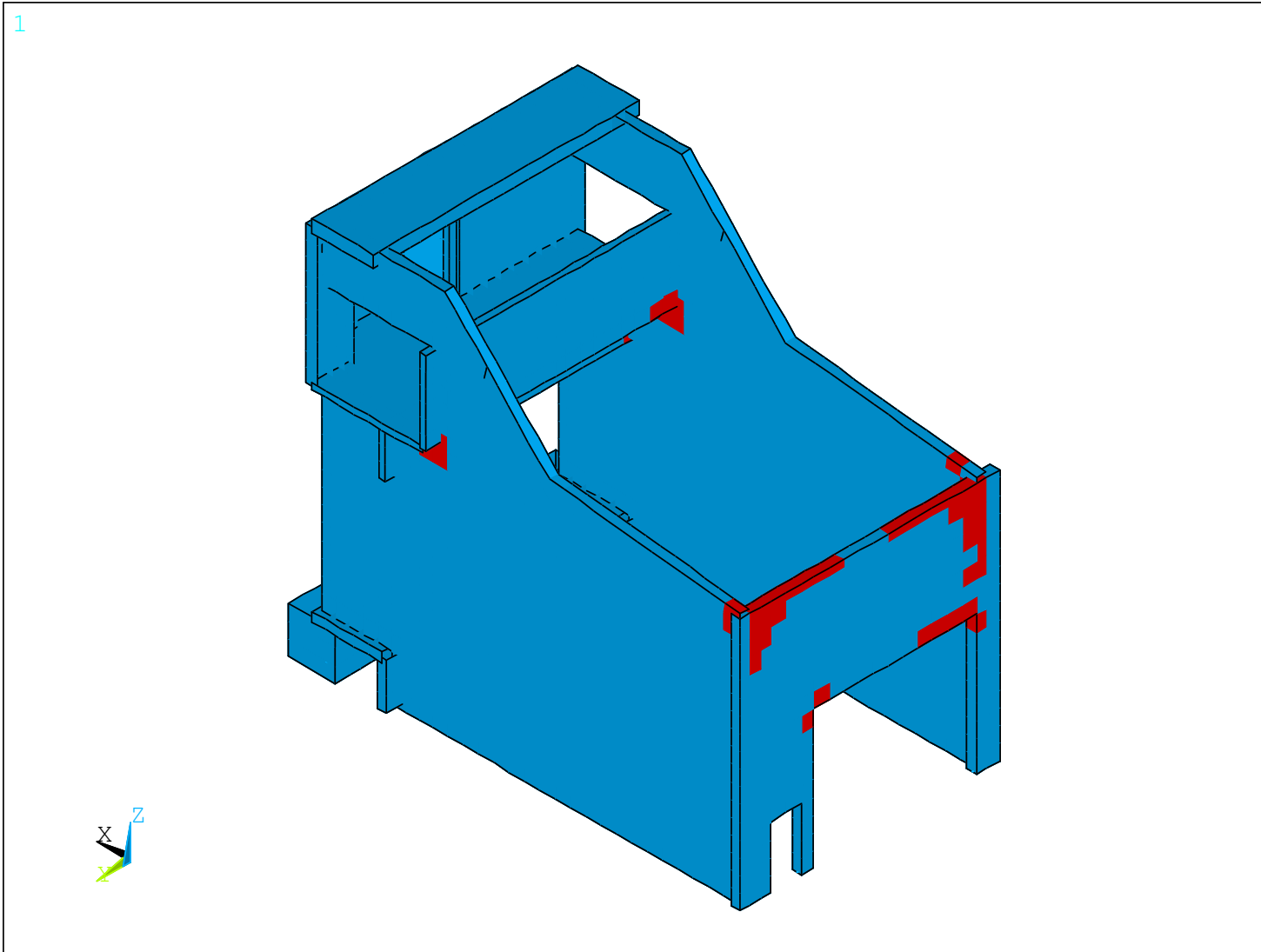
Überschreitung der Grenzmomente
(Explosion 7.3.1 Bunker)



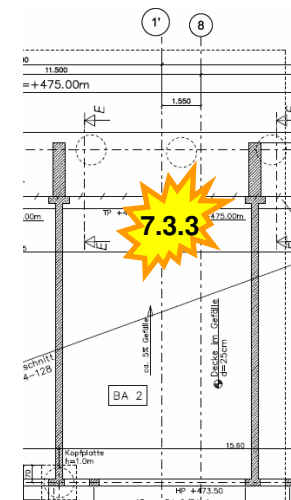
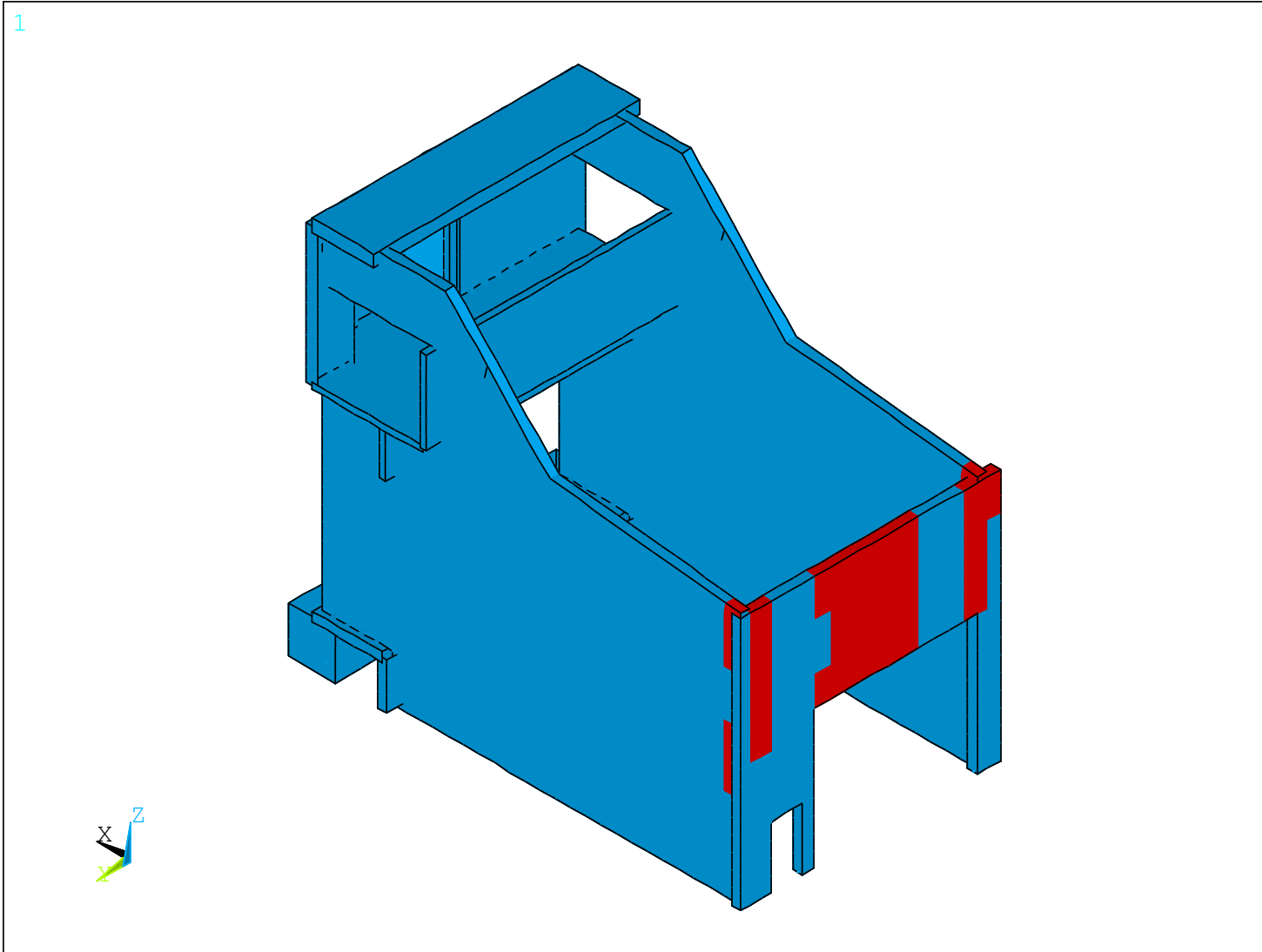
Überschreitung der Grenzquerkräfte
(Explosion 7.3.1 Bunker)



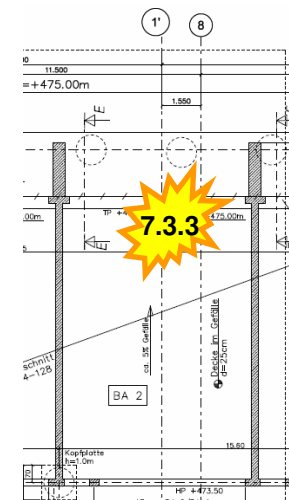
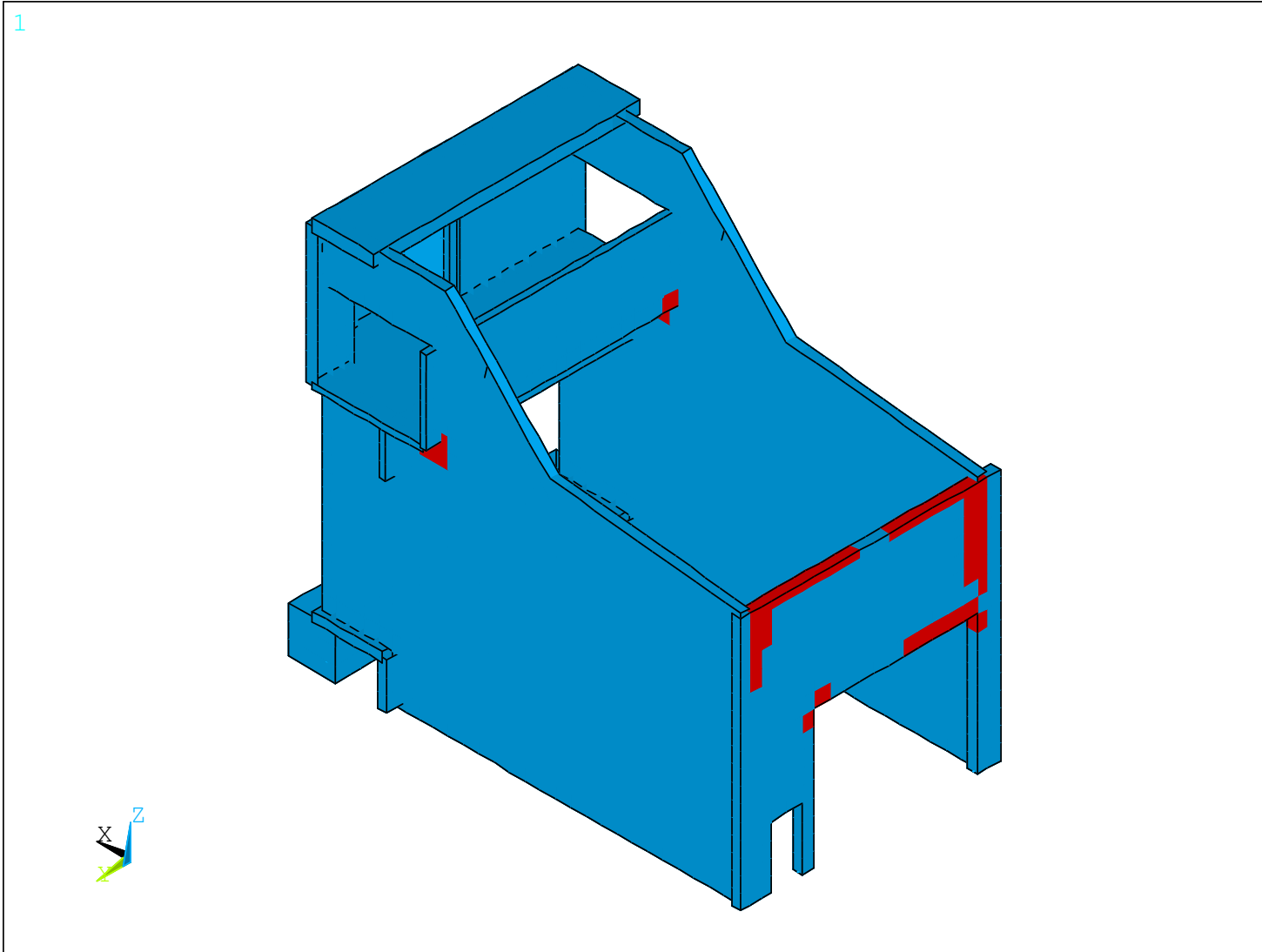
Überschreitung der Grenzmomente
(Explosion 7.3.2 Bunker)



Überschreitung der Grenzquerkräfte
(Explosion 7.3.2 Bunker)



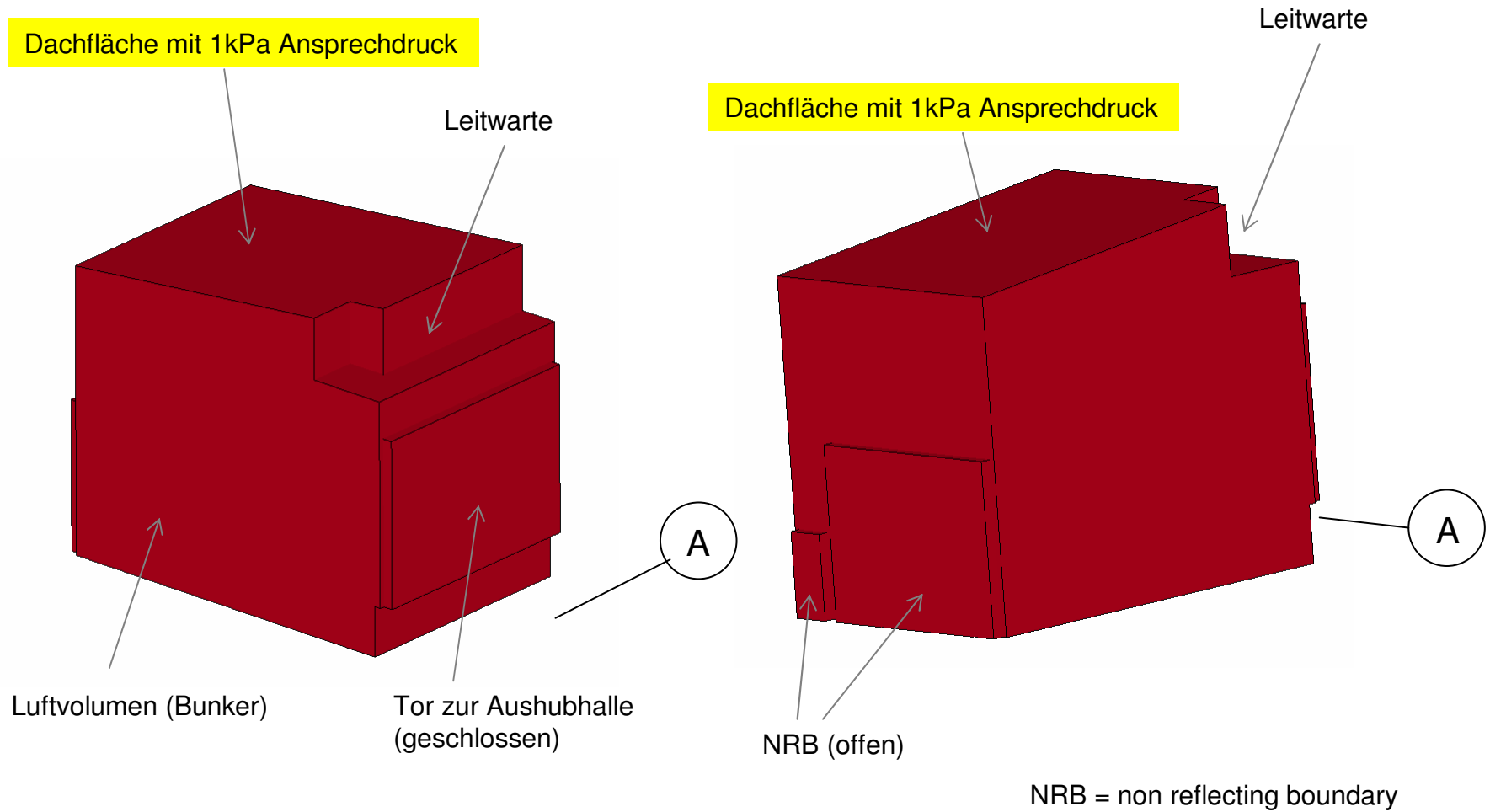
Überschreitung der Grenzmomente
(Explosion 7.3.3 Bunker)



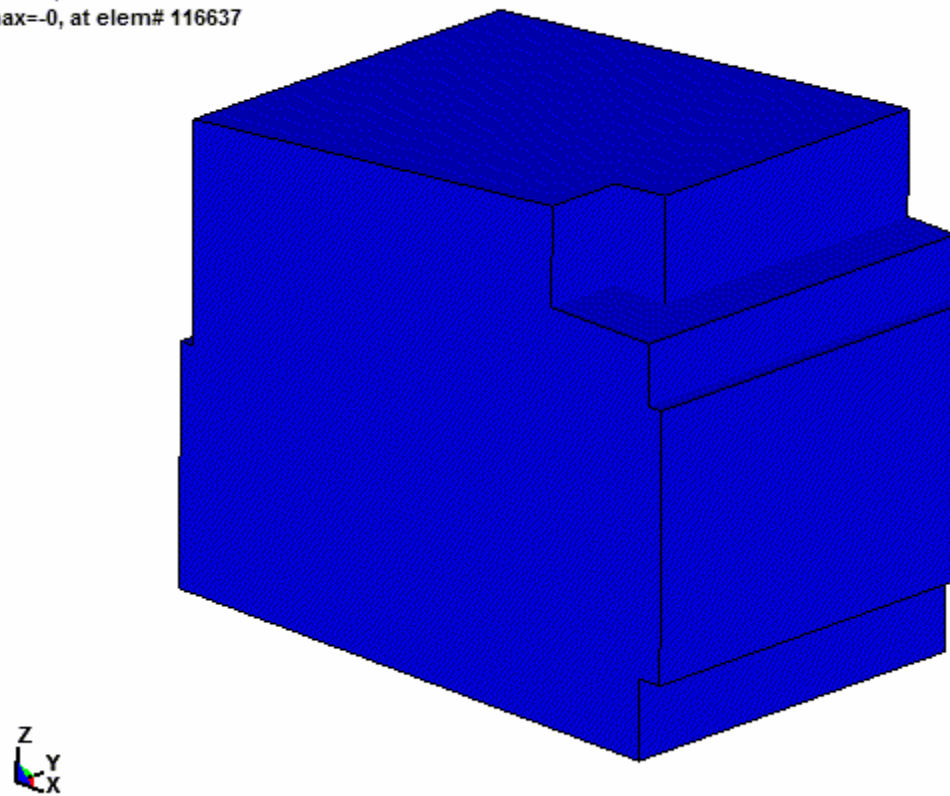
Überschreitung der Grenzquerkräfte
(Explosion 7.3.3 Bunker)

Grenzfallbetrachtung:

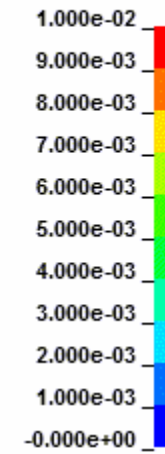
Dachfläche mit 1 kPa Ansprechdruck



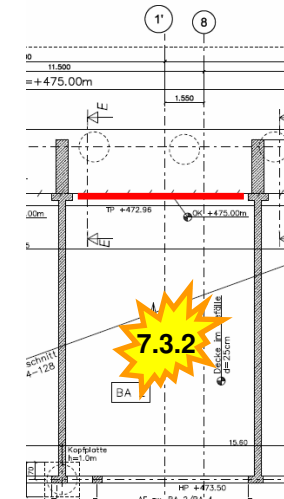
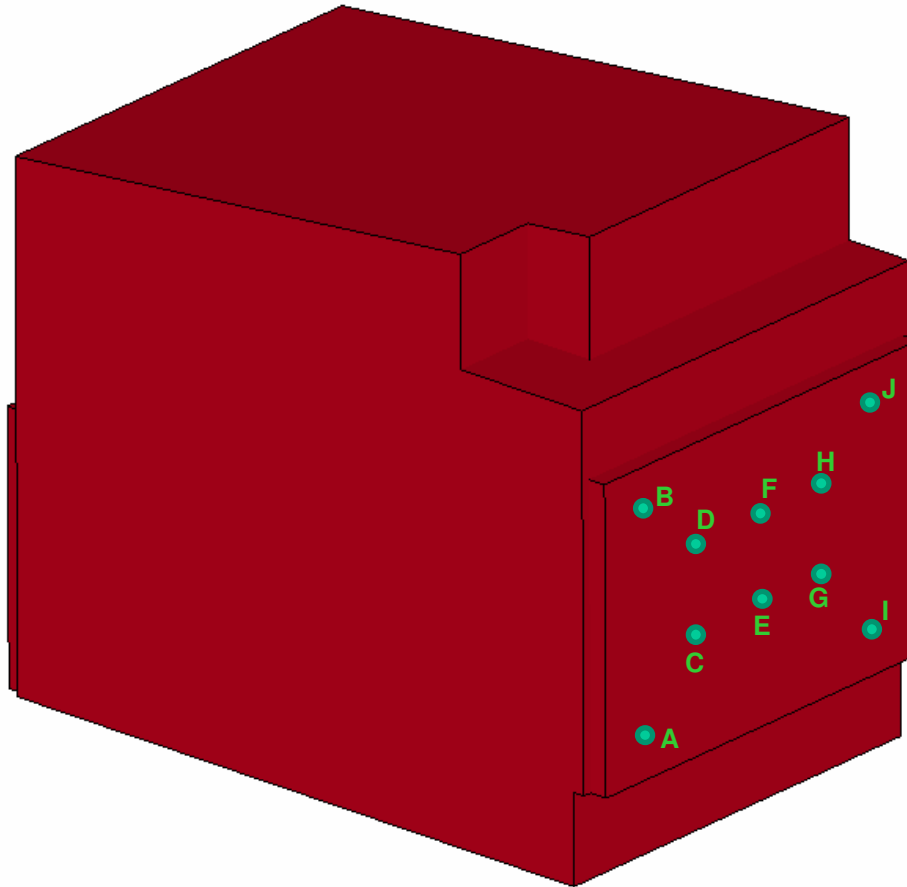
1kg TNT 7.3.2 oben offen
Time = 0
Contours of Pressure
min=-0, at elem# 116637
max=-0, at elem# 116637



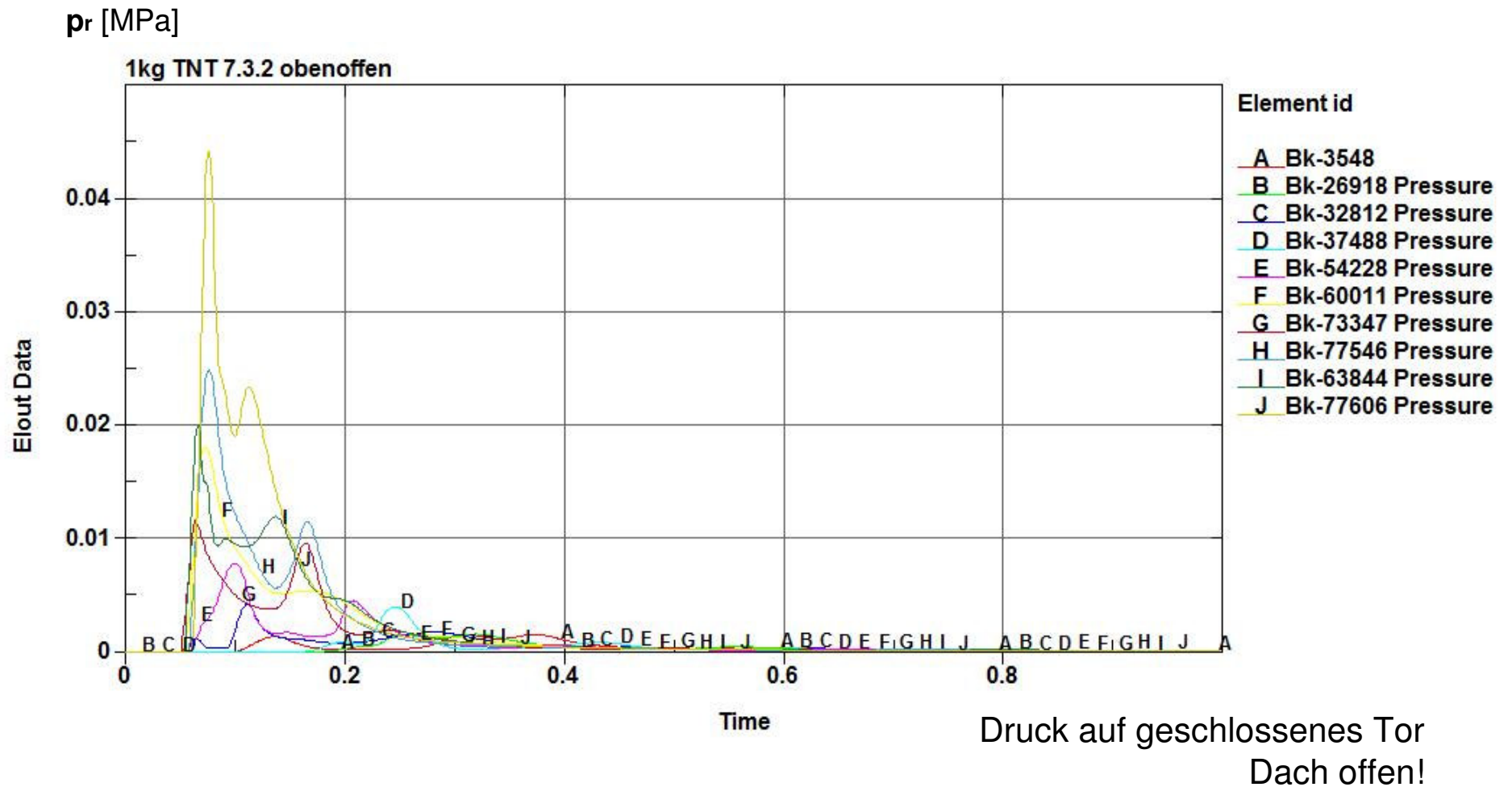
Fringe Levels

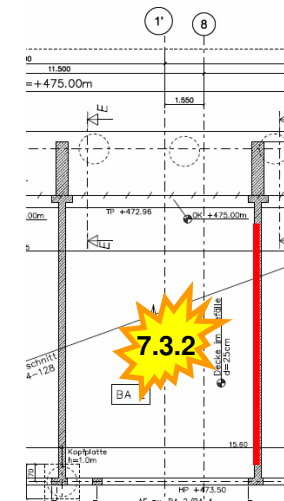
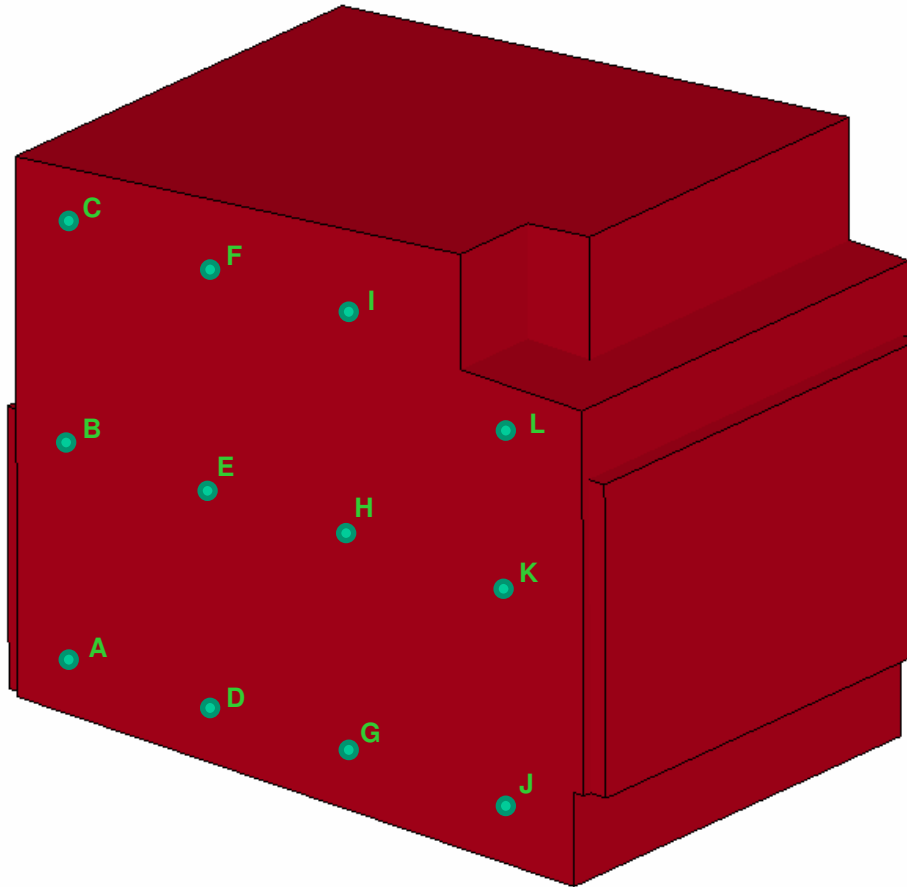


Dach offen!

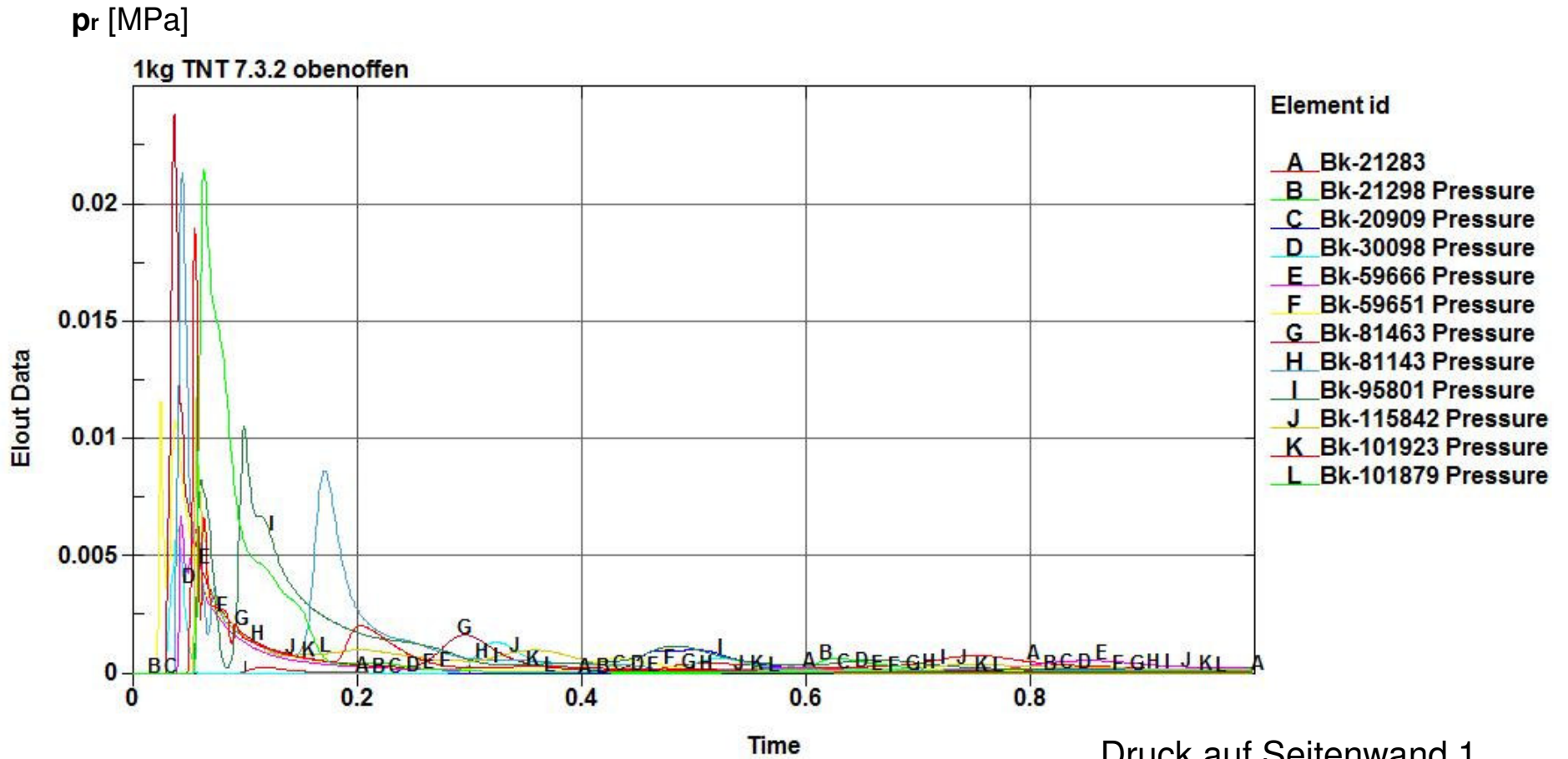


Druck auf geschlossenes Tor
Dach offen!

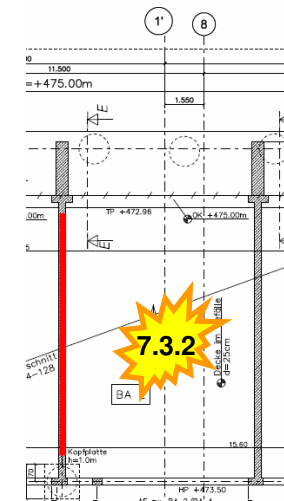
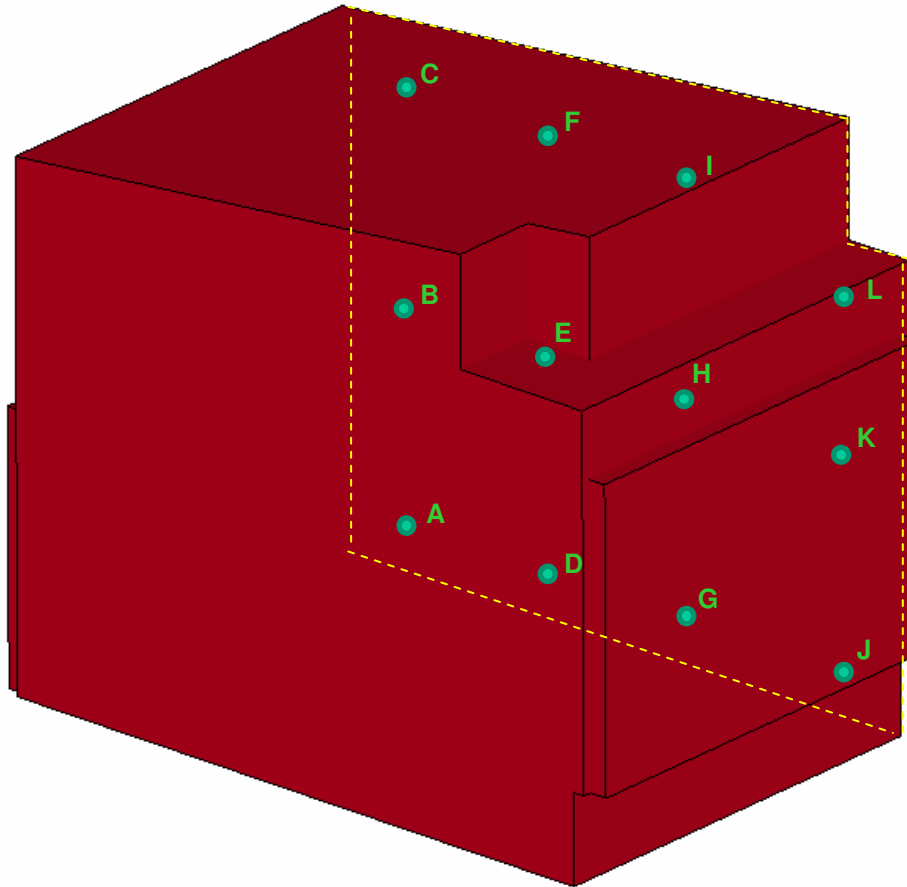




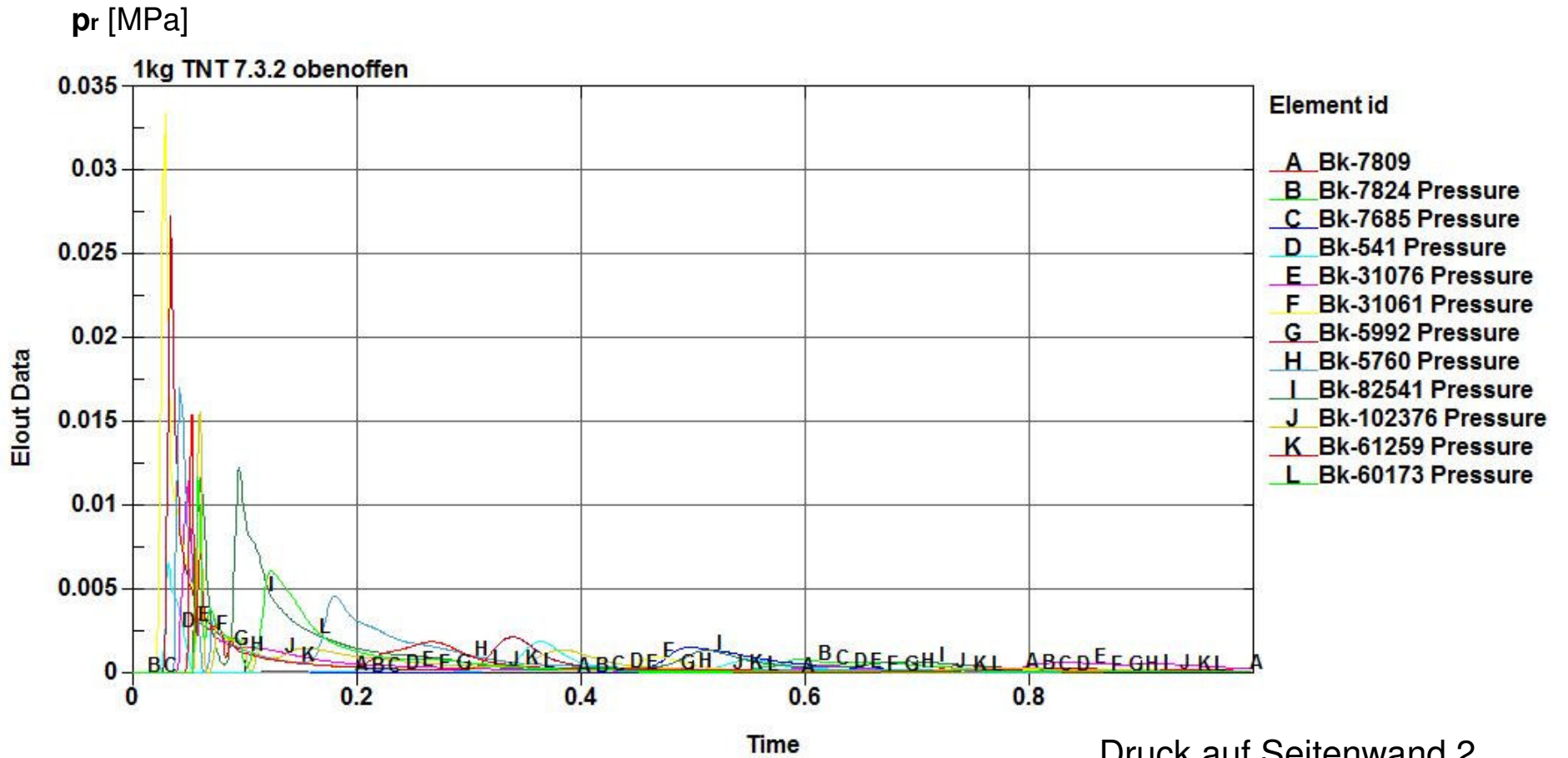
Druck auf Seitenwand 1
Dach offen!



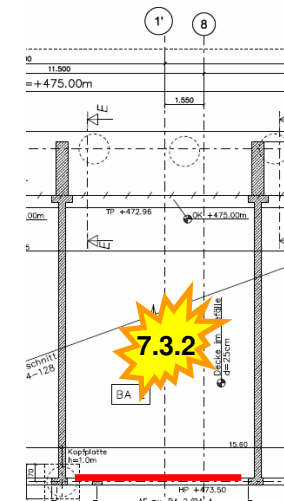
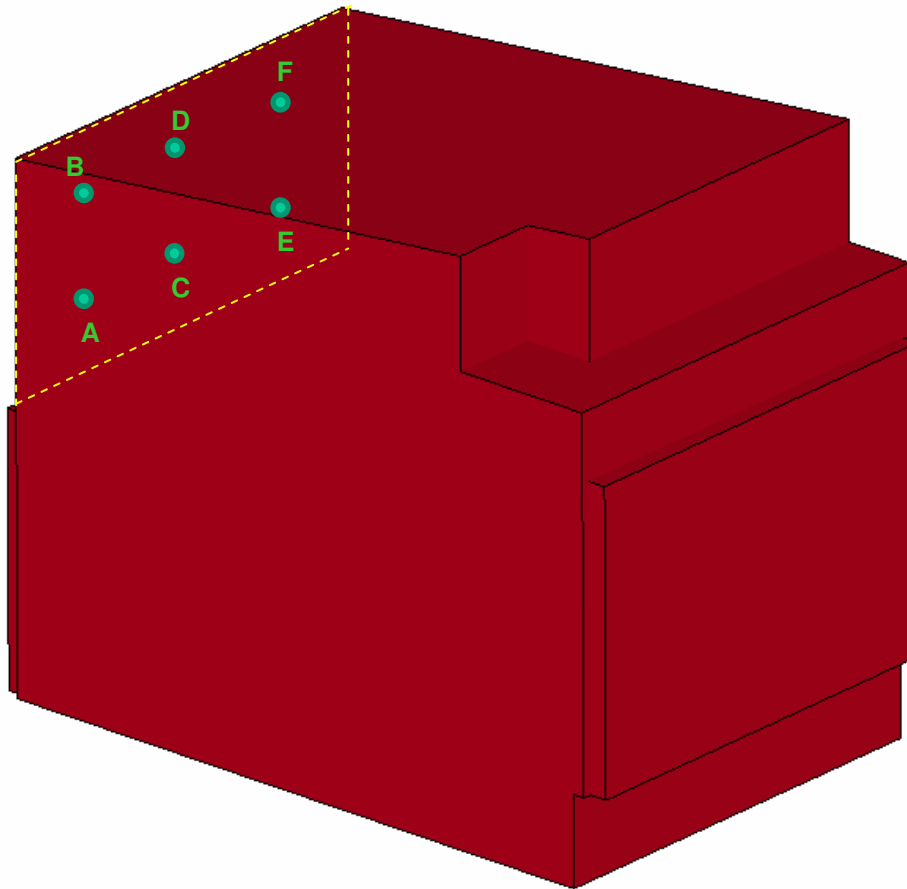
Druck auf Seitenwand 1
Dach offen!



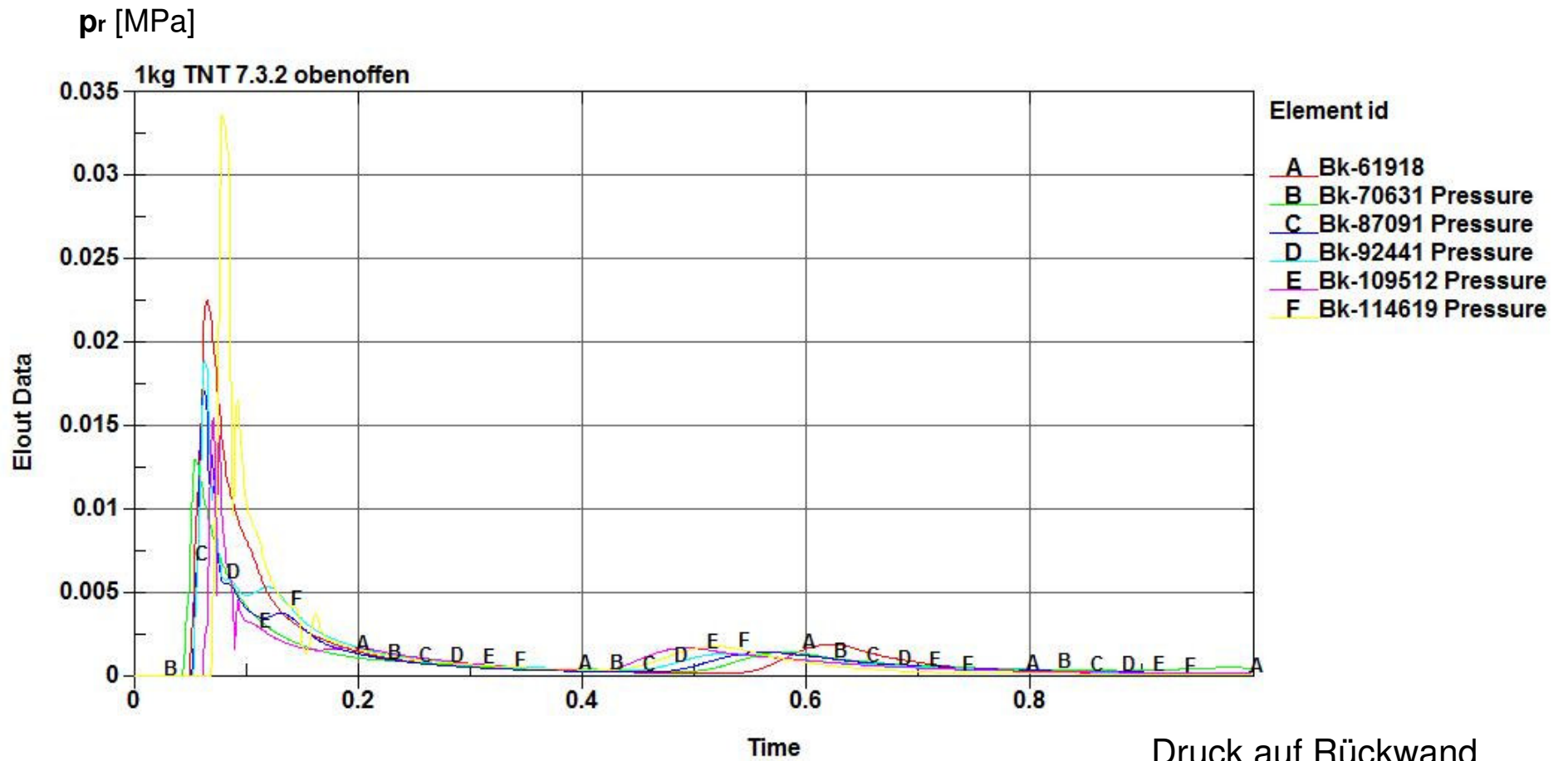
Druck auf Seitenwand 2
Dach offen!



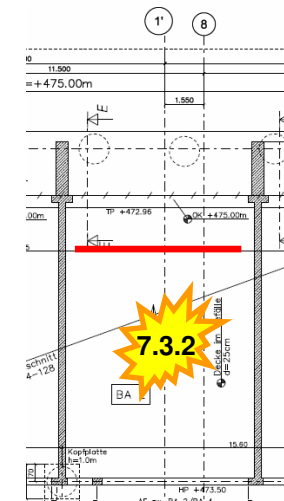
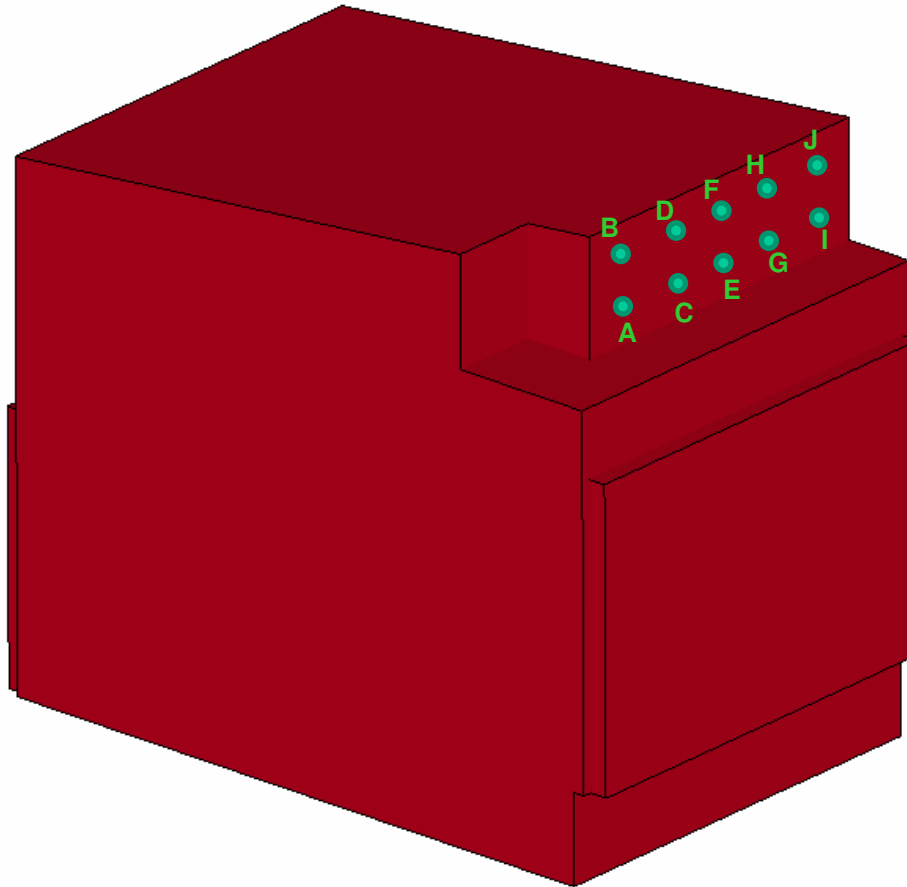
Druck auf Seitenwand 2
Dach offen!



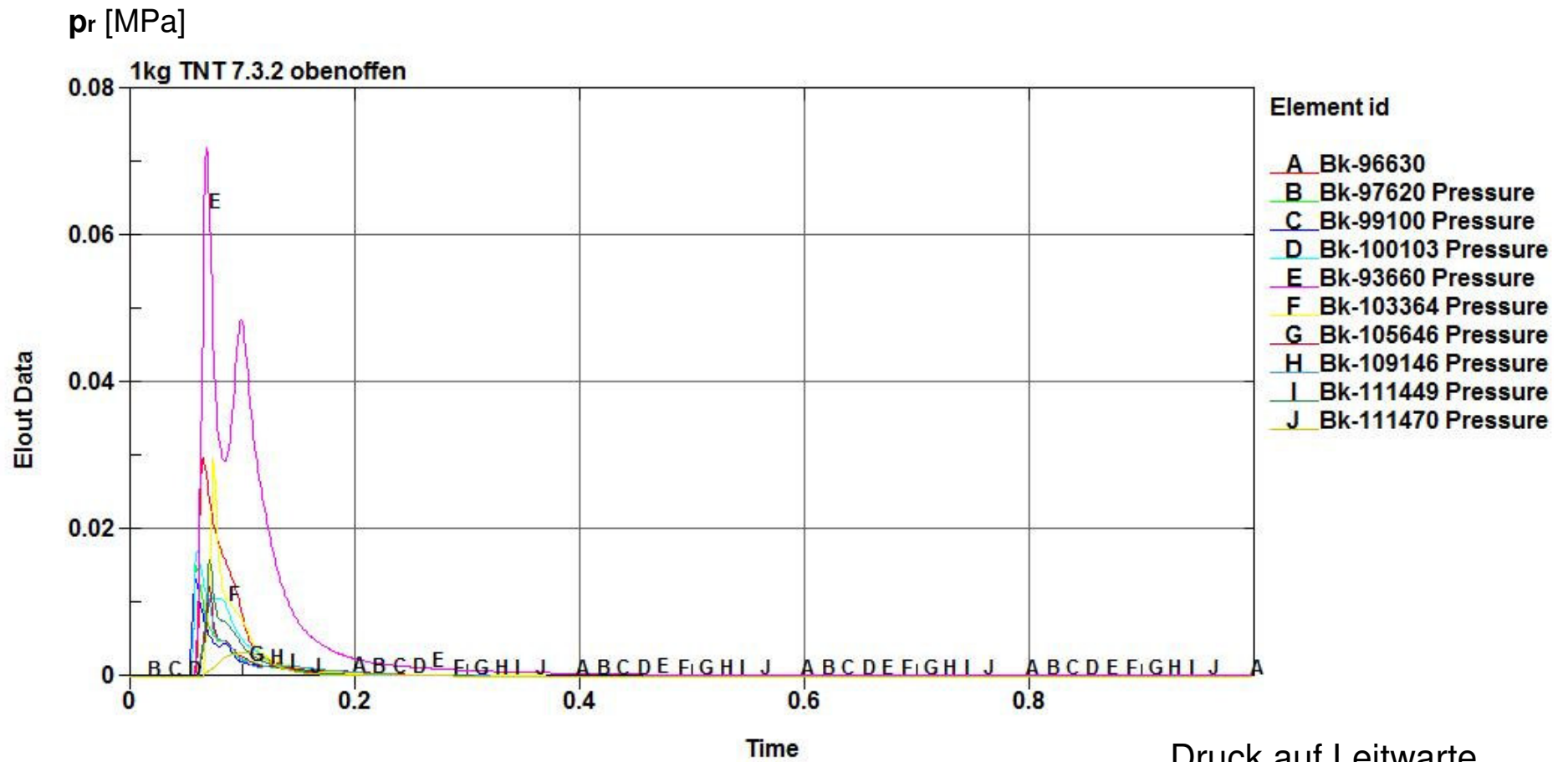
Druck auf Rückwand
(oberhalb offenes Tor)
Dach offen!



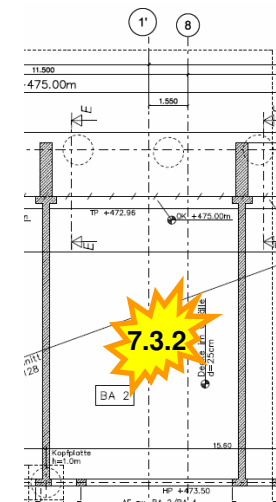
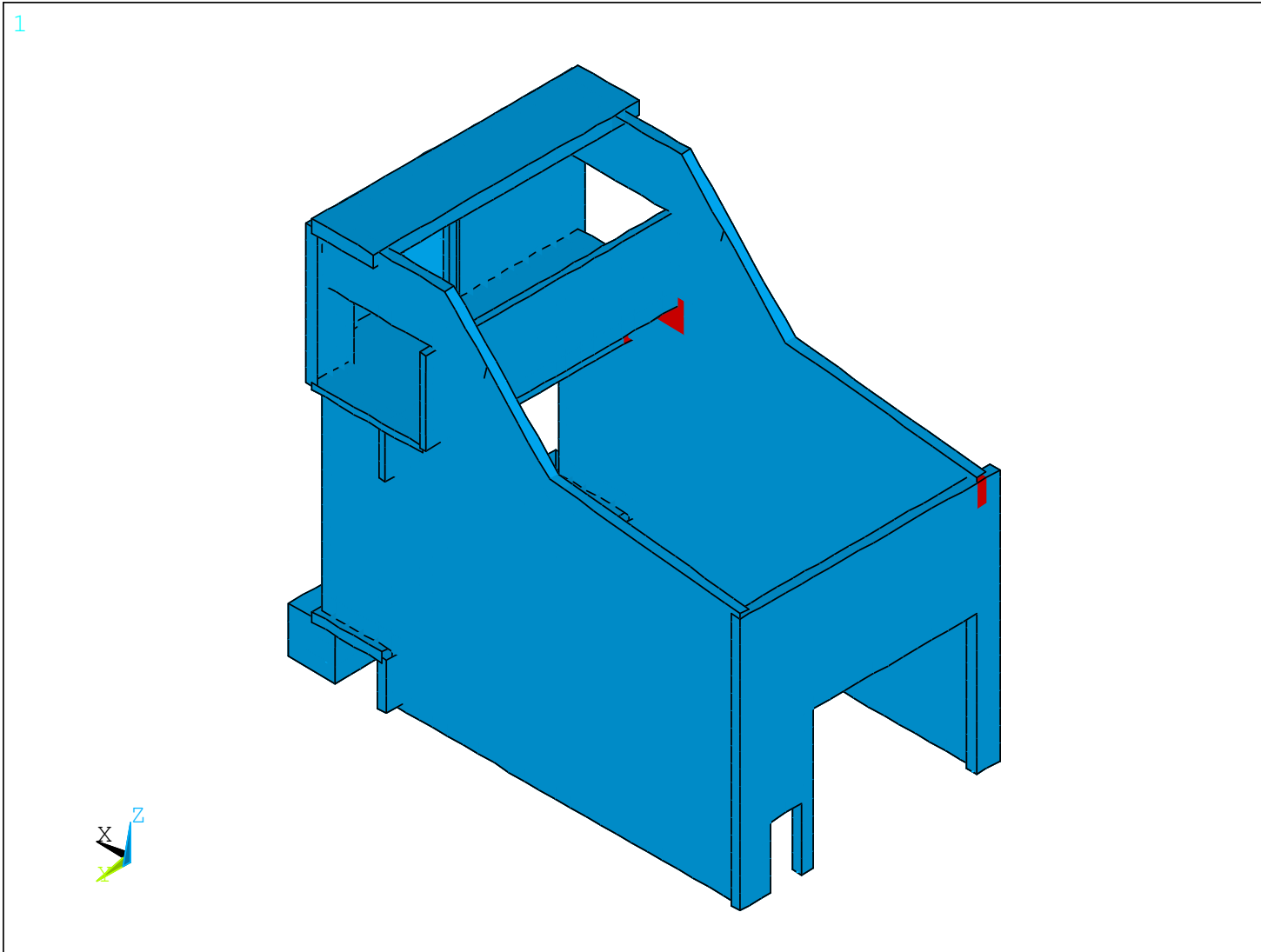
Druck auf Rückwand
(oberhalb offenes Tor)
Dach offen!



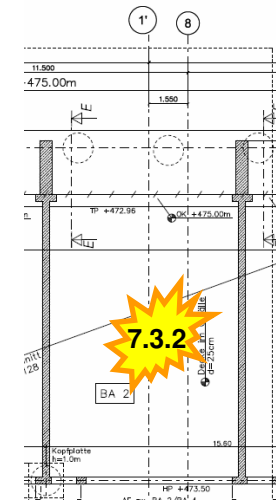
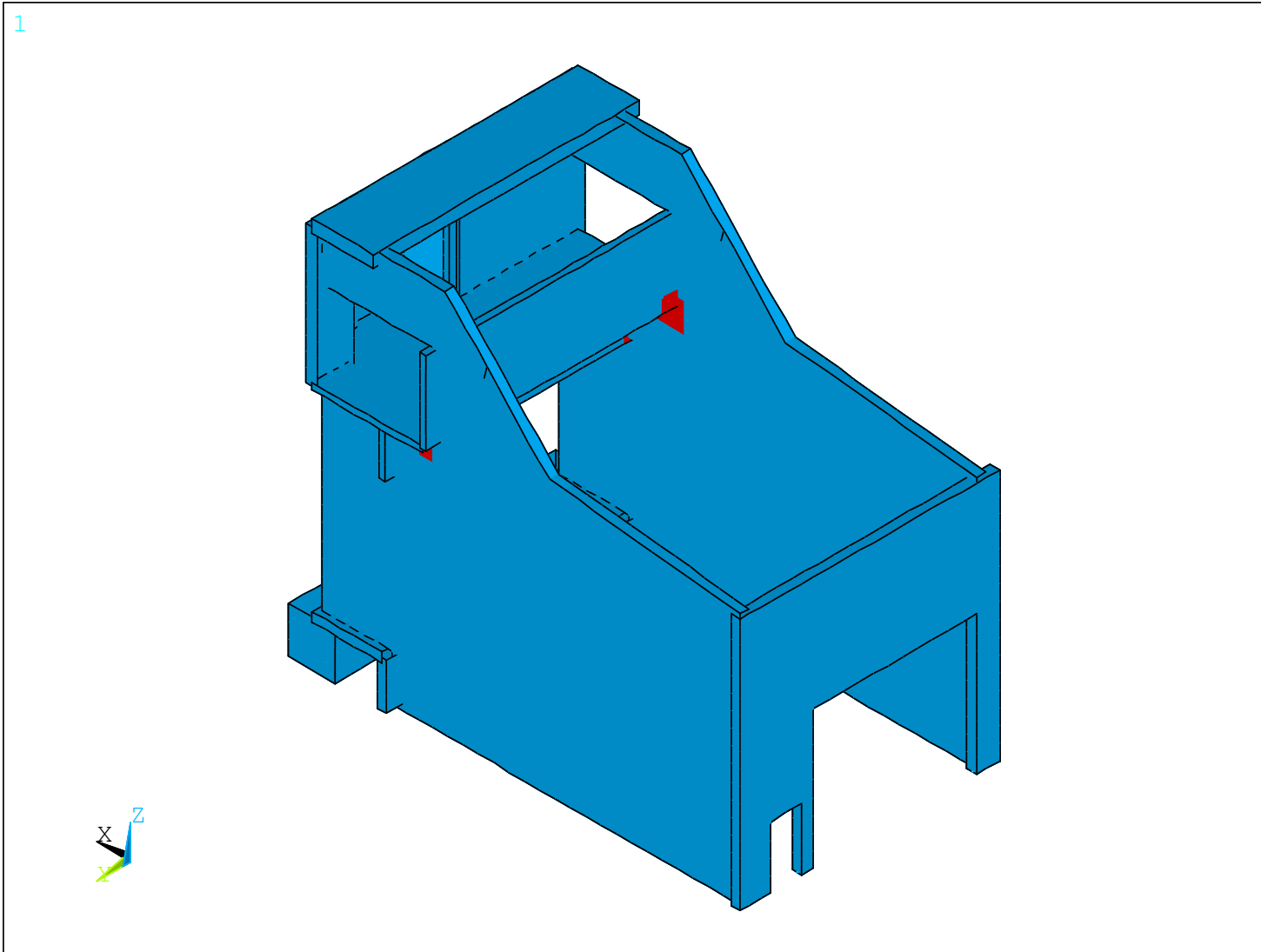
Druck auf Leitwarte
Dach offen!



Druck auf Leitwarte
Dach offen!



Überschreitung der Grenzmomente
(Explosion 7.3.2 Bunker)
Dach offen!



Überschreitung der Grenzquerkräfte
(Explosion 7.3.2 Bunker)
Dach offen!

Zusammenfassung

- Durchgeführt wurden Untersuchungen unterschiedlicher Explosions-szenarien in Form von Grenzfallbetrachtungen
- Bei geschlossenem Dach (konservative Annahme) entstehen aus Explosionsszenarien in der Abbauhalle in der Wand in Achse A lokal Überschreitungen der Grenzschnittgrößen
- Die Berücksichtigung eines Ansprechdruckes für das Dach reduziert die Beanspruchungen drastisch, Überschreitungen der Grenzschnittgrößen in der Wand in Achse A treten nicht mehr auf
- Für die Explosionsszenarien in den Bunkern gelten analoge Verhältnisse
- Bei der Grenzfallbetrachtung mit ansprechendem Dach ergeben die Bunkerszenarien äußerst lokale Überschreitungen der Grenzschnittgrößen, die für die Standsicherheit als unkritisch betrachtet werden.
- Nach Explosionsereignissen sind detaillierte Kontrollen und Reparaturmaßnahmen notwendig