

# **Berechnung der Flugbahn und Anprallenergie von Trümmer bei einer TNT- Explosion**

8.4.2011

Dr. Bruno Covelli

Tecova AG

## **1. Problemstellung**

In der Deponie Bonfol wurden alle Sicherheitsvorkehrungen getroffen, um eine Explosion mit einer äquivalenten Sprengstoffmasse von 10 kg TNT in der Aushubhalle zu beherrschen. Dazu wurden insbesondere die Fenster der Leitwarte in Richtung Aushubhalle aber auch in Richtung Vorbereitungshalle (hier eher konservativ) nach EN 1063 / BR4S nachgerüstet.

Es stellt sich die Frage, welche Explosionsstärke noch beherrscht wird, falls auf der Rückbauebene des Deponiekörpers eine Explosion stattfindet und Deponiematerial als sogenannte Trümmer oder Geschosse gegen gesicherte Fenster prallen.

## **2. Randbedingungen**

Bei der simulierten Explosion wird für den Referenzfall von folgenden Anfangs- und Randbedingungen ausgegangen:

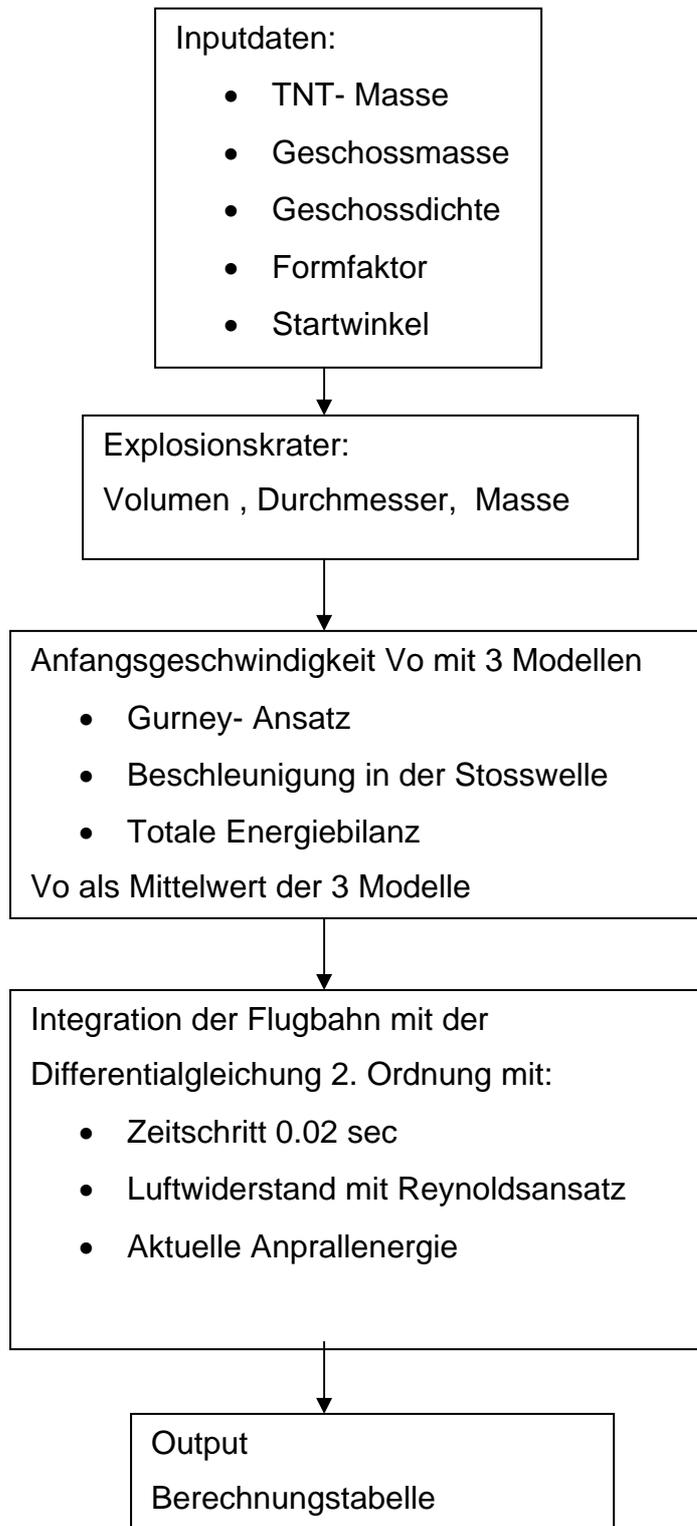
Das Trümmerteil, respektive das Geschoss bezieht sich auf vorhandene Brocken aus dem Deponiekörper und hat folgende Eigenschaften:

- Masse : 200 gr
- Dichte : 1500 kg/m<sup>3</sup>
- Formfaktor ( Länge / Breite) : 1.5

Als Explosionsstoff wird 10 kg TNT eingesetzt  
( Reaktionsenthalpie : 4.2 MJ/kg)

Der Startwinkel der Flugbahn wird so gewählt, dass die maximale Flughöhe nicht über 18 m steigt, da sonst das Geschoss gegen die Hallendecke prallt resp. diese durchschlägt.

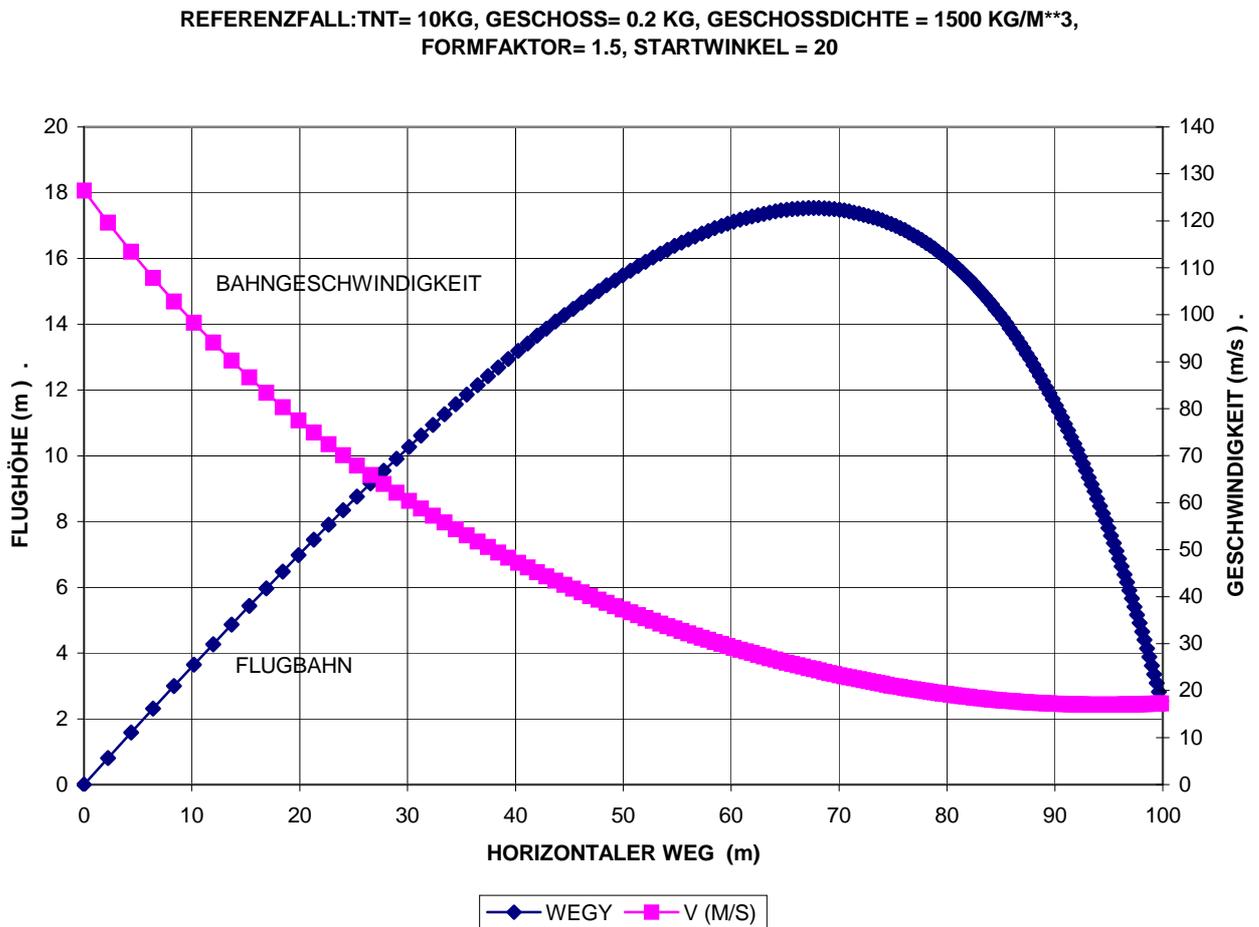
### 3. Berechnungsverfahren



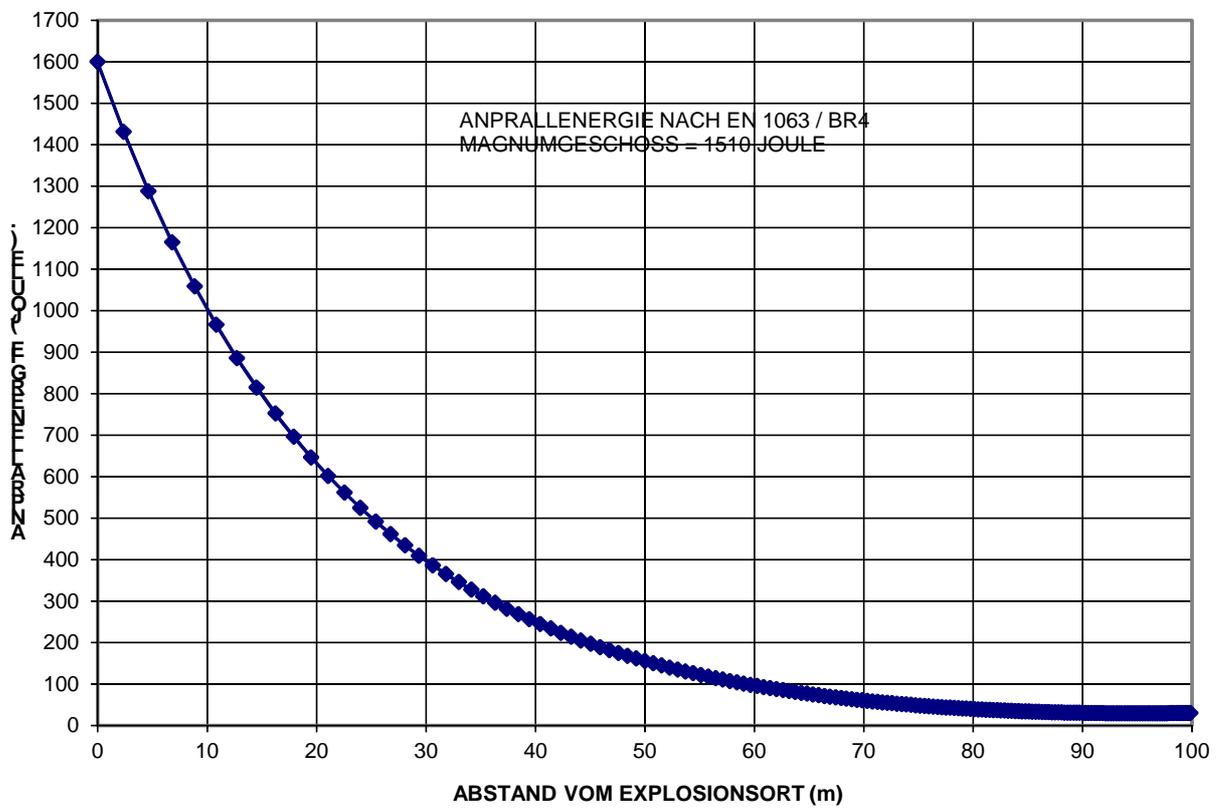
## 4 . Simulationsergebnisse

### 4.1 Referenzfall

Die Annahmen zum Referenzfall sind im Abschnitt 2 beschrieben. Als Bezug zu den Sicherheitsmassnahmen in Bonfol wurde die zertifizierte Anprallenergie von 1510 Joule auf eine Schutzverglasung mit Schutzklasse BR4S bestimmt:

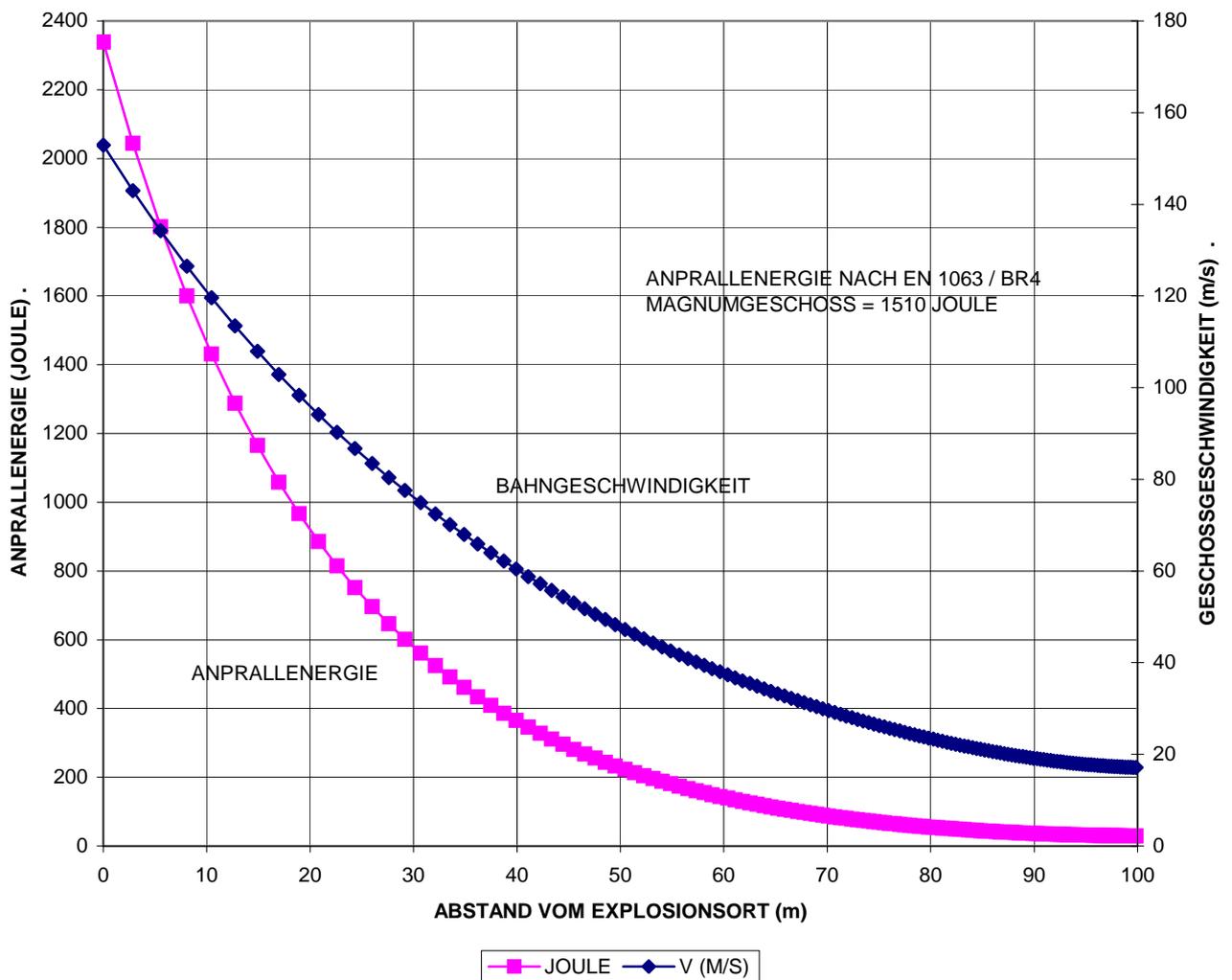


REFERENZFALL : TNT= 10 KG , GESCHOSS= 0.2 KG, GESCHOSSDICHTE= 1500 KG/M\*\*3,  
FORMFAKTOR= 1.5, STARTWINKEL= 20



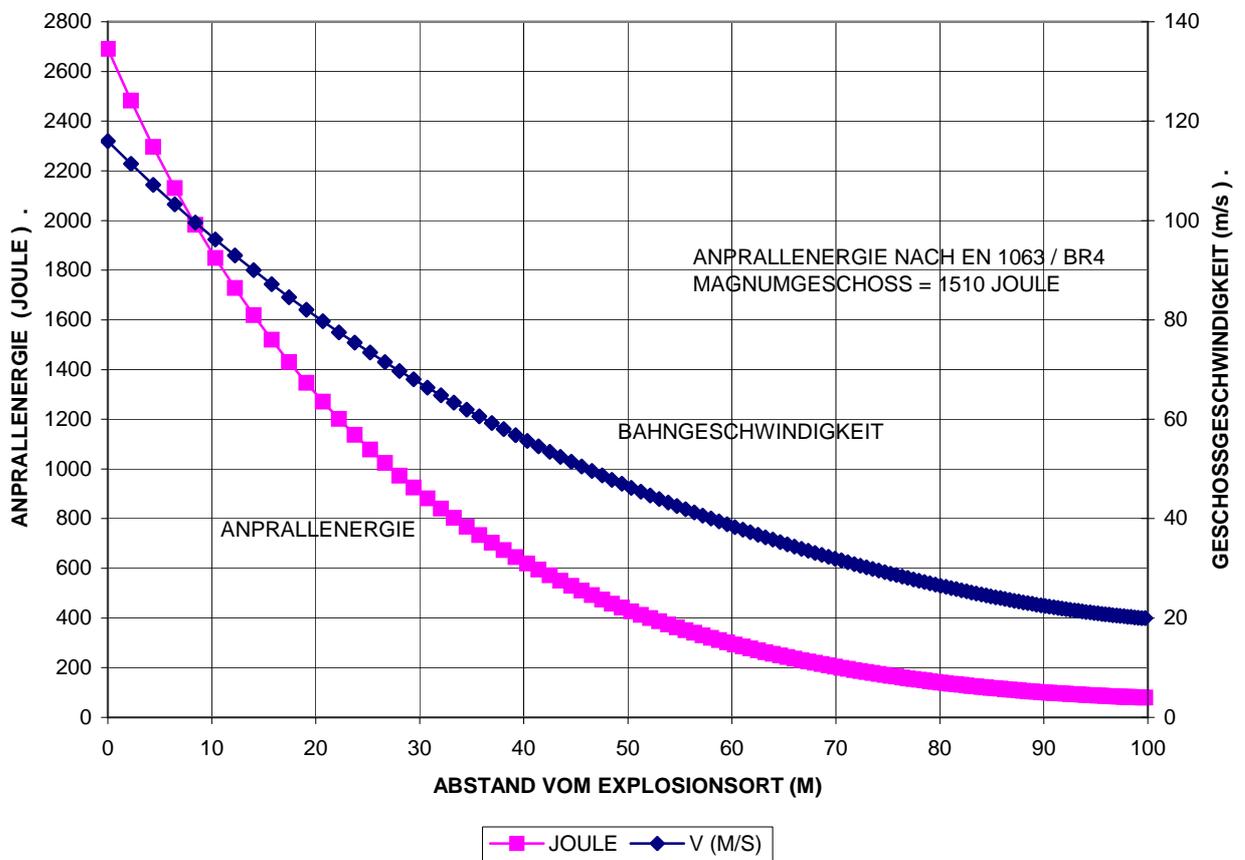
## 4.2 : Referenzfall mit 40 kg TNT- Explosion

TNT = 40 KG, GESCHOSS= 0.2 KG, GESCHOSSDICHTE= 1500 KG/M\*\*3, FORMFAKTOR= 1.5,  
STARTWINKEL= 20



### 4.3 Referenzfall mit einem Geschossgewicht von 0.4 kg

TNT= 10 KG, GESCHOSS= 0.4 KG, GESCHOSSDICHTE= 1500 KG/M\*\*3, FORMFAKTOR= 1.5,  
STARTWINKEL= 20



## 5. Erkenntnisse

Abgestützt auf die Erfahrungen aus der Chloratexplosion vom 7.7.2010 in der Deponie Bonfol wurde den Simulationen ein sogenannter Referenzfall zugrunde gelegt.

Die Abmessungen des Trümmerteils (Geschoss) entsprechen einerseits den vorkommenden Feststoffstücken im Deponiekörper und andererseits den festgestellten Lochgrössen im Hallendach über dem Explosionsherd. Die Dichte der Feststoffe aus der Deponie schwankt in einem grossen Bereich. Organisch- verglaste Feststoffe liegen im Bereich von 900 – 1400 kg/m<sup>3</sup>, Backsteine und Betonsteine im Bereich von 1100 – 2000 kg/m<sup>3</sup>. Beim Referenzfall wurde eine mittlere Dichte von 1500 kg/m<sup>3</sup> gewählt.

Die in der Leitwarte eingesetzte Spezialverglasung mit der Schutzklasse BR4S weist einen garantierten Schutz gegen Geschosse mit der Anprallenergie von 1510 Joule auf. Die bei der Leitwarte nachgeschaltete zweite Schutzverglasung (EI30) erhöht den Schutz gegen Trümmerflug und Druckwellen zusätzlich und kann bis zu einem Faktor 1.5 betragen, da die Energie von der 1. Schutzbarriere weitgehend vernichtet wird. Nachfolgend wird konservativ von diesem zusätzlichen Schutz keinen Kredit genommen und die nachgeschaltete zweite Verglasung als wirkungslos gegen Trümmer angenommen.

Die Simulationen zeigen die Anprallenergie von Trümmern bei verschiedenen Szenarien. Geht man davon aus, dass der Grenzwert der Schutzverglasung BR4S von

1510 Joule nicht überschritten werden soll, ergeben sich folgende Konsequenzen für den Grenzabstand vom Explosionsort:

- Beim Referenzfall (TNT- Masse von 10 kg, Trümmermasse von 200 gr) liegt der Grenzabstand im Bereich von 2-3 m
- Erhöhte man die TNT- Masse von 10 kg auf 40 kg, steigt der Grenzabstand auf 8 – 9 m

- Erhöht man die Trümmermasse von 200 gr auf 400 gr (bei 10 kg TNT), steigt der Grenzabstand auf 14 – 16 m

Erwartungsgemäss hat die Trümmer -Masse und -Form einen grossen Einfluss auf die Durchschlagsenergie. Grosse Trümmer sind beim Rückbau von Bauabfällen möglich. Solche grossen Abfälle können einerseits durch die Explosionskräfte am Sprengort zersplittert und verkleinert werden und andererseits sind die Bauabfälle kaum mit pyrotechnischen Stoffen vermischt.

Die Fragmentierung von grossvolumigen Festkörpern im Explosionszentrum ist sehr wahrscheinlich, sie kann aber aufgrund des grossen Bereichs der vorkommenden Stoffe und deren Festigkeit nicht deterministisch ermittelt werden. Daher muss konservativ angenommen werden, dass Trümmer bis zu 500 gr aus dem Explosionsort weggeschleudert werden.

#### **Sicherheits- Empfehlung:**

Während des Deponierückbaus näher als 15 m von der Leitwarte sollten die Fenster zusätzlich zur Schutzverglasung z.B. mit einem Stahlrohgitter oder Stahlkabelnetz geschützt werden. Die Spaltweite sollte etwa 5 – 7 cm betragen. Eine alternative technische Massnahme mit einer vergleichbaren Schutzwirkung für die Fenster der Leitwarte (z.B. „Schutzwand“ mit Sand-gefüllten Big-bags) könnte allenfalls auch eingesetzt werden.