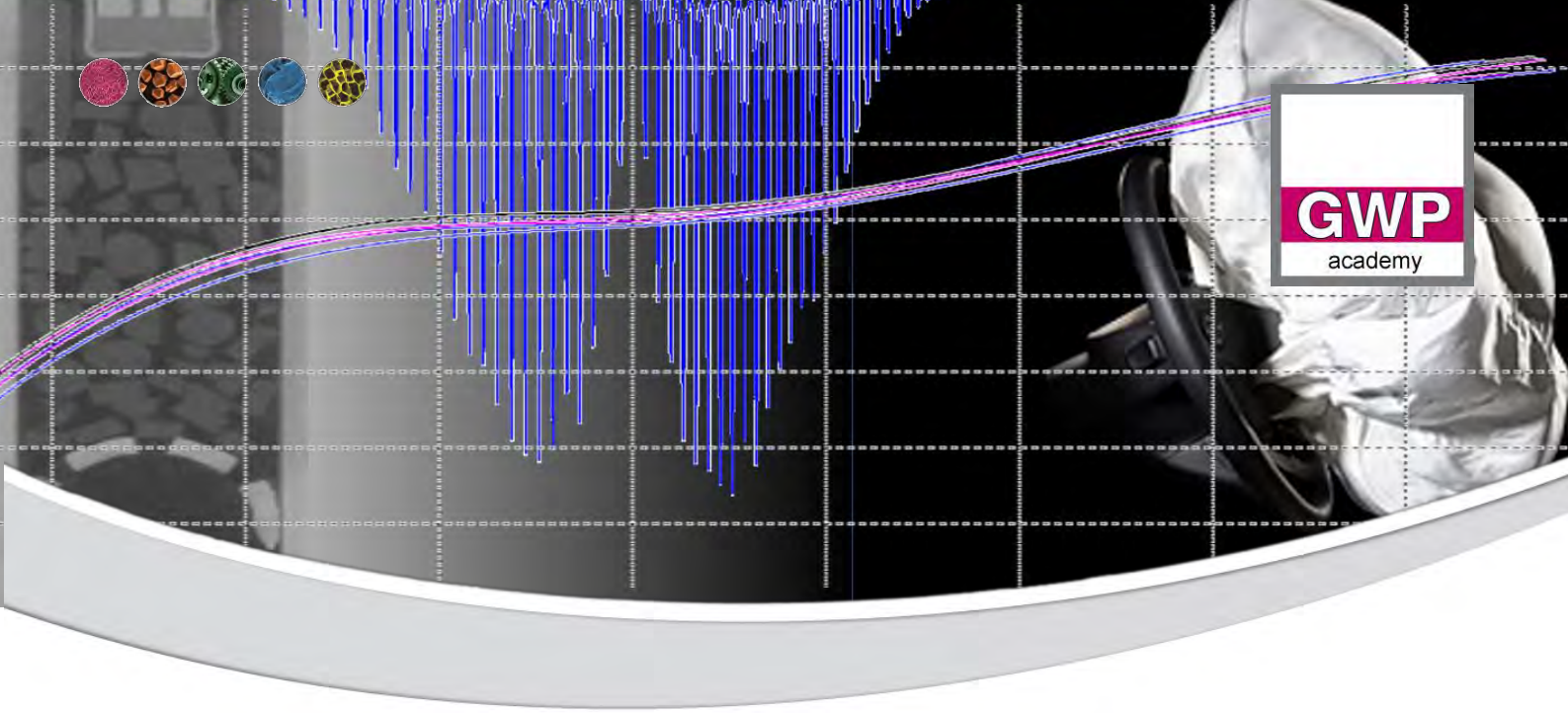


› Wissen schafft Fortschritt®

› Airbag Propellant Performance

› White Paper 20170401

› Dr. Xaver Steemann
Expert Energetic Materials
xaver.steemann@gwp.eu

› Dr. Stefan Loibl
Expert Analytics
stefan.loibl@gwp.eu

› Dr. Julius Nickl
Senior Expert Industrial Processes and Products
julius.nickl@gwp.eu

GWP Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH
Georg-Wimmer-Ring 25
D-85604 Zorneding/München
☎ +49 (0)8106 994 110
+49 (0)8106 994 111
info@gwp.eu
www.gwp.eu

X:\Organisation\Marketing\technische Mitteilungen\Airb 20170401 Airbag Pyrotechnic Performance.docx

1. Zusammenfassung

Zur Charakterisierung von Airbag-Treibstoffen stehen in der GWP eine Reihe von Möglichkeiten in
- Airbag-Emissions-Labor
- Labor für energetische Materialien
- Analytikum
- Werkstätten

zur Verfügung.

Neben der chemischen Analyse ist es möglich die pyrotechnische Leistung von Gasgeneratoren durch unterschiedliche Methoden zu überprüfen. Druckmessungen in und an Gasgeneratoren sowie Messungen am Treibstoff selbst vermitteln ein umfangreiches Bild der pyrotechnischen Leistung bei verschiedenen Bedingungen.

Mit den Umweltsimulationen können auch life cycle nachgestellt werden und Modelle entwickelt werden oder DDT (deflagration to detonation transition) untersucht werden.

Inhalt

1. Zusammenfassung 2
2. Theorie 4
3. Chemische Charakterisierung von Treibstoffen 4
3.1. Elementaranalyse 4
3.2. Thermische Verfahren DSC & TGA 4
4. Druckmessungen 4
4.1. Druckmessungen in der 60 L Kanne 4
4.1.1. Durchführung der Druckmessungen in der 60 L Kanne 4
4.1.2. Temperaturabhängigkeit der Gasleistung 5
4.2. Druckmessungen in Gasgeneratoren 6
4.2.1. Einstufige Gasgeneratoren 6
4.2.2. Mehrstufige Gasgeneratoren 7
4.3. Druckmessungen in der ballistischen Bombe 8
5. Bestimmung der Brennraten von pyrotechnischen Gassätzen 11
14

2. Theorie

Propellants allgemein (Schubarbeit, Gasvolumen, chemische Zusammensetzung, Oxidator + Brennstoff)

Treibstoffe unterscheiden sich in erster Linie von Sprengstoffen durch ihre Umsetzungsgeschwindigkeit. Treibstoffe deflagrieren während Sprengstoffe bestimmungsgemäß detonieren. Von einer Detonation spricht man in der Regel bei Umsetzungsgeschwindigkeiten größer als 1000 m/s. Eine Deflagration kann unter bestimmten Umständen (z.B. hoher Druck) auch in eine Detonation übergehen.

Treibstoffe haben idealerweise die Eigenschaft, dass sie mit einer definierten Geschwindigkeit abbrennen. Da sich, wie so oft bei energetischen Materialien, eine rein theoretische Beschreibung der Brennrate als sehr kompliziert erweist, hat sich eine einfache empirische Beziehung durchgesetzt.

Zur Beschreibung der Druckabhängigkeit der Brennrate von energetischen gaserzeugenden Treibsätzen hat sich in der Praxis folgende exponentielle Beschreibung bewährt:

$$R = A\,p^x$$

Wobei R die lineare Brennrate [Weg/Zeit], A der Brennratenkoeffizient, p der Druck und x der Brennratenexponent ist.

3. Chemische Charakterisierung von Treibstoffen

3.1. Elementaranalyse

Die Bestimmung der elementaren Zusammensetzung des Treibstoffes erlaubt es eventuelle Unregelmäßigkeiten zu identifizieren. Eine CHNO-Analyse ermöglicht weitreichende Rückschlüsse auf die Mischungsverhältnisse und auch auf Verunreinigungen, die die pyrotechnische Leistung des Treibstoffes wesentlich beeinflussen können.

3.2. Thermische Verfahren DSC & TGA

Die thermische Stabilität des Treibstoffes kann mithilfe o.g. Verfahren bestimmt werden. Eine Zersetzung geht in der Regel mit einem exothermen Signal einher. Ausschlaggebend ist die Heizrate, mit der gearbeitet wird, je kleiner diese ist, desto früher tritt Zersetzung ein. Phasenübergänge bedeuten für Treibstoffe oft eine Desintegration der Struktur und können die Brennraten stark beeinflussen.

4. Druckmessungen

4.1. Druckmessungen in der 60 L Kanne

4.1.1. Durchführung der Druckmessungen in der 60 L Kanne

Für sicherheitstechnische Pyrotechnik ist es wichtig, dass sich die Leistung innerhalb eines bestimmten Zeitfensters entfaltet. Mehrstufige Airbags können durch Einstellung der Zündzeitpunkte variablen Anforderungen Rechnung tragen. Um das zu überprüfen wird der Gasgenerator in einem definierten Volumen ausgelöst. So kann beispielsweise der Druckverlauf in einer 60 L Kanne mit einem Piezo Drucksensor aufgezeichnet werden.

Abbildung 1: Kannen für die Druckmessung an Gasgeneratoren: 37 ccm bis 140 L

4.1.2. Temperaturabhängigkeit der Gasleistung

Der Enddruck sowie die Zeit, bis dieser erreicht wird, sind in der Regel temperaturabhängig. Der Verlauf der pyrotechnischen Reaktion wird durch die Temperatur des Treibstoffes beeinflusst. Die Reaktion stellt ihre eigene Aktivierungsenergie bereit. Je kälter der Treibstoff, desto höher ist die Energie, die benötigt wird um ihn bis zur Reaktionstemperatur zu erwärmen.

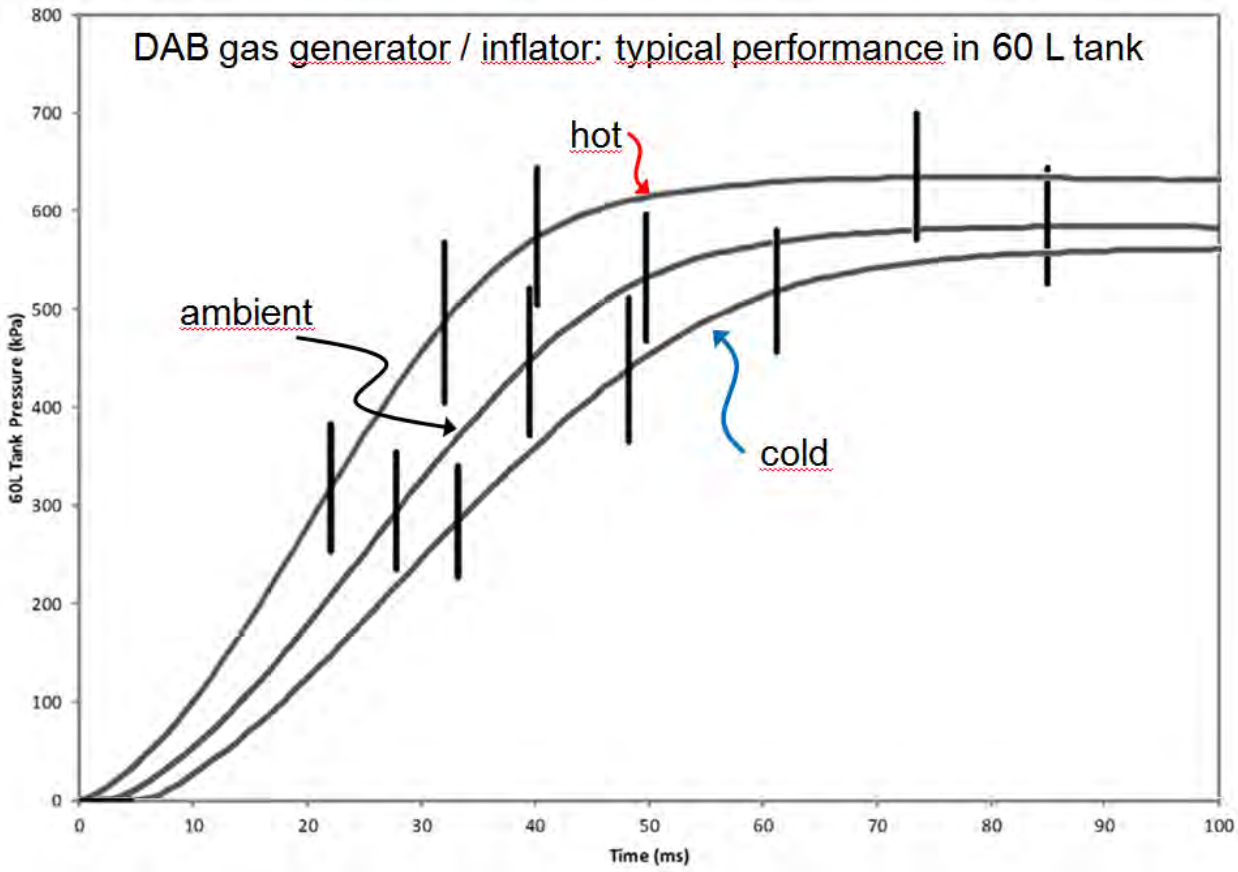


Abbildung 2: Typische Druckverläufe von Airbag Gasgeneratoren gezündet in der 60 L Kanne. Die Temperaturabhängigkeit der Abbrandrate und des Enddrucks sind deutlich erkennbar.

4.2. Druckmessungen in Gasgeneratoren

4.2.1. Einstufige Gasgeneratoren

Für genauere Untersuchungen ist es oft wichtig den Druckverlauf innerhalb eines Gasgeneratorgehäuses zu messen. Durch Anbohren des Gehäuses ist es möglich den Innendruck zu verfolgen.

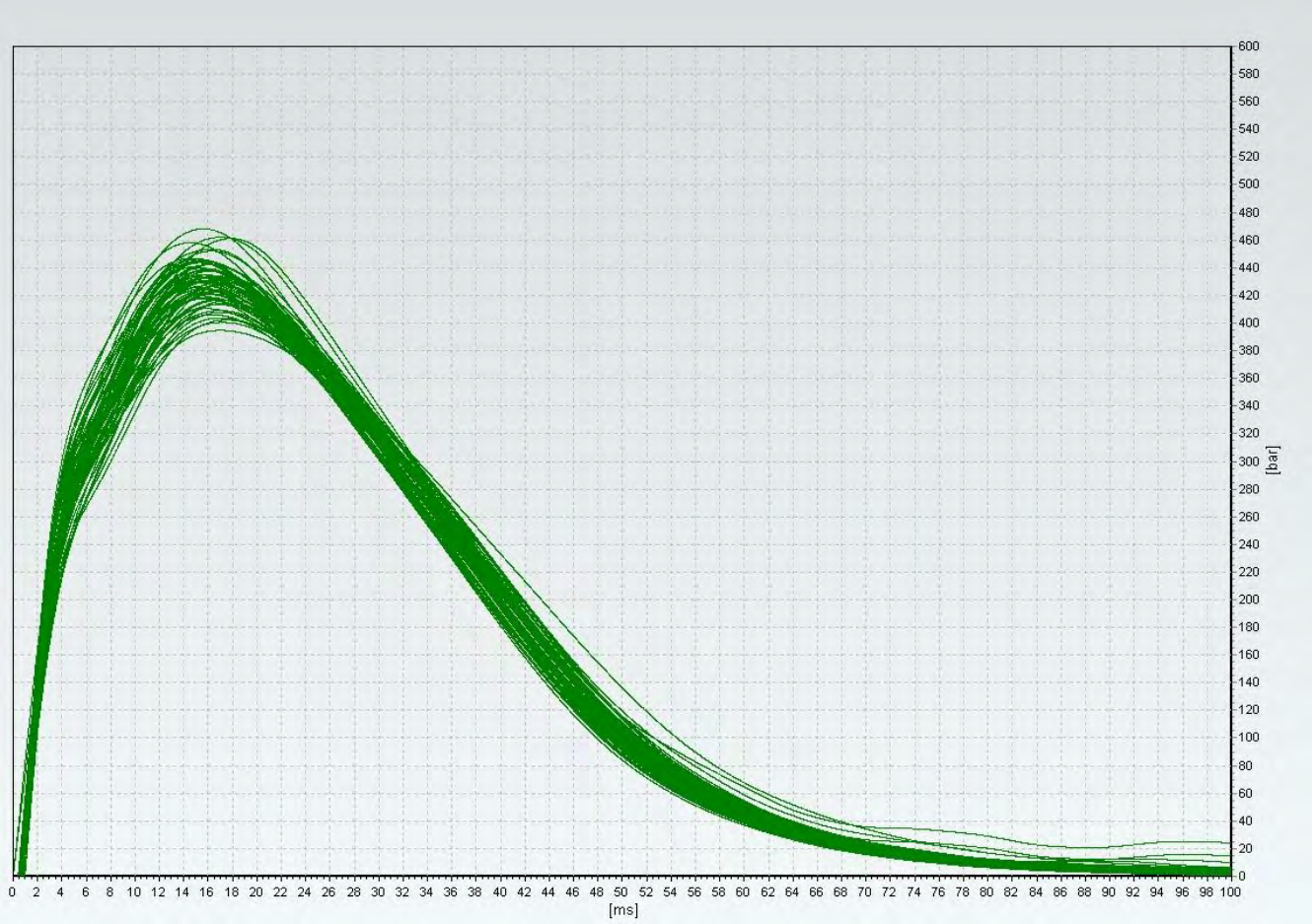


Abbildung 3: Druckverläufe in einstufigen Gasgeneratoren.

4.2.2. Mehrstufige Gasgeneratoren

Neben einstufigen Gasgeneratoren sind auch mehrstufige möglich, wobei die Innendrücke und Zündzeitpunkte der einzelnen Stufen sich gegenseitig beeinflussen.

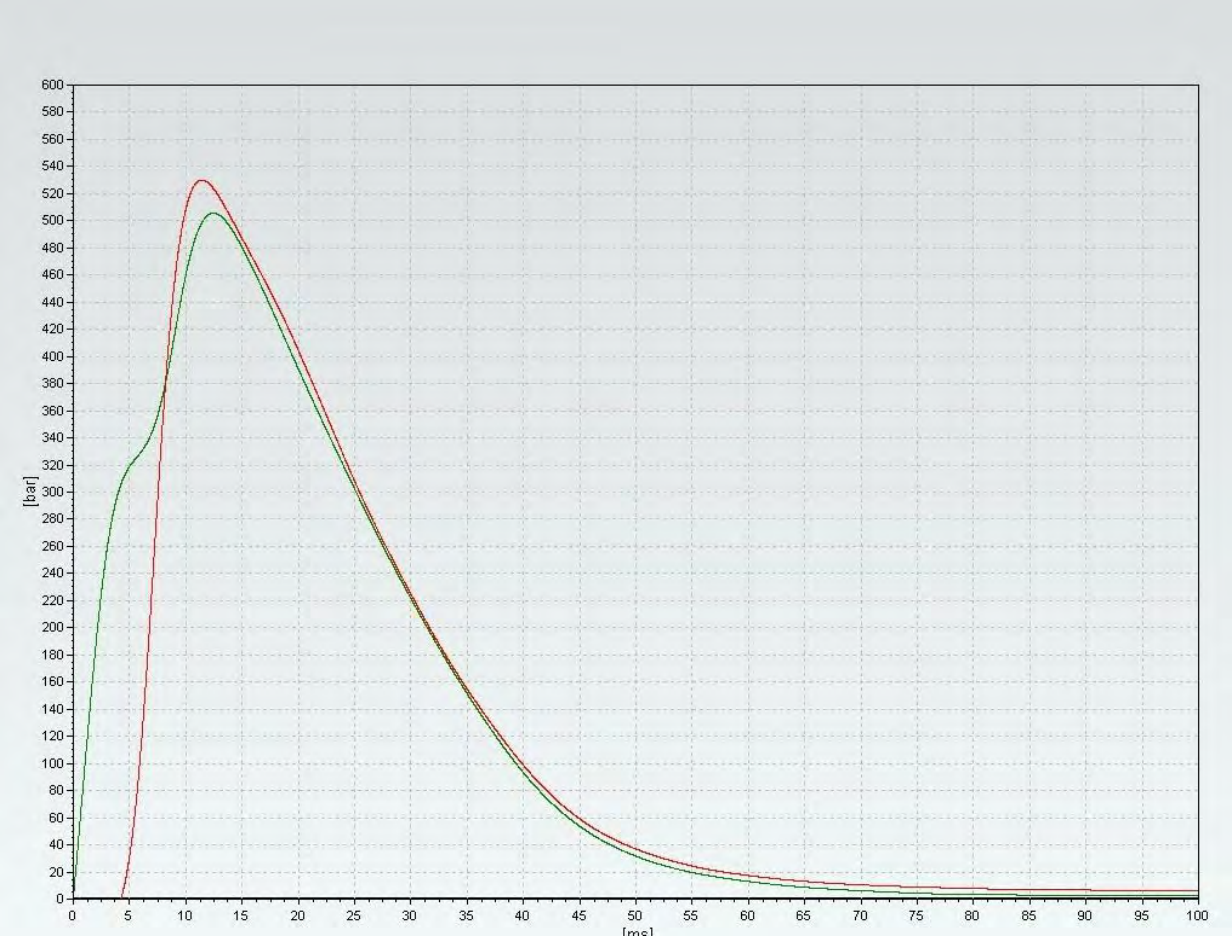


Abbildung 4: Typischer Druckverlauf in einem zweistufigen Gasgenerator bei Verzögerter Zündung der beiden Kammern (5 ms). Beachtenswert ist die Erhöhung des Innendrucks der ersten Kammer nach der Zündung der zweiten.

4.3. Druckmessungen in der ballistischen Bombe

Die ballistische Bombe ist ein wichtiges Werkzeug, um das Verhalten von Treibstoffen während des Abbrandes zu beobachten. Dabei wird der Treibstoff adiabatisch in einer geschlossenen Bombe möglichst gleichförmig angezündet und der Druckverlauf mittels Piezodrucksensor gemessen.

Abbildung 5: Ballistische Bombe zur Brennratenbestimmung; hier Schraubversion

Wenn der Treibstoff während des Abbrandes an Oberfläche verliert, also degressiv abbrennt, ergibt sich eine Rechtskrümmung der Druckkurve. Ist der Treibstoff in seiner Geometrie so beschaffen, dass er progressiv, also mit zunehmender Oberfläche abbrennt, wie das etwa bei gelochten, aber auch bei porösen Treibstoffen der Fall ist, zeigt die Druckkurve eine Linkskrümmung.

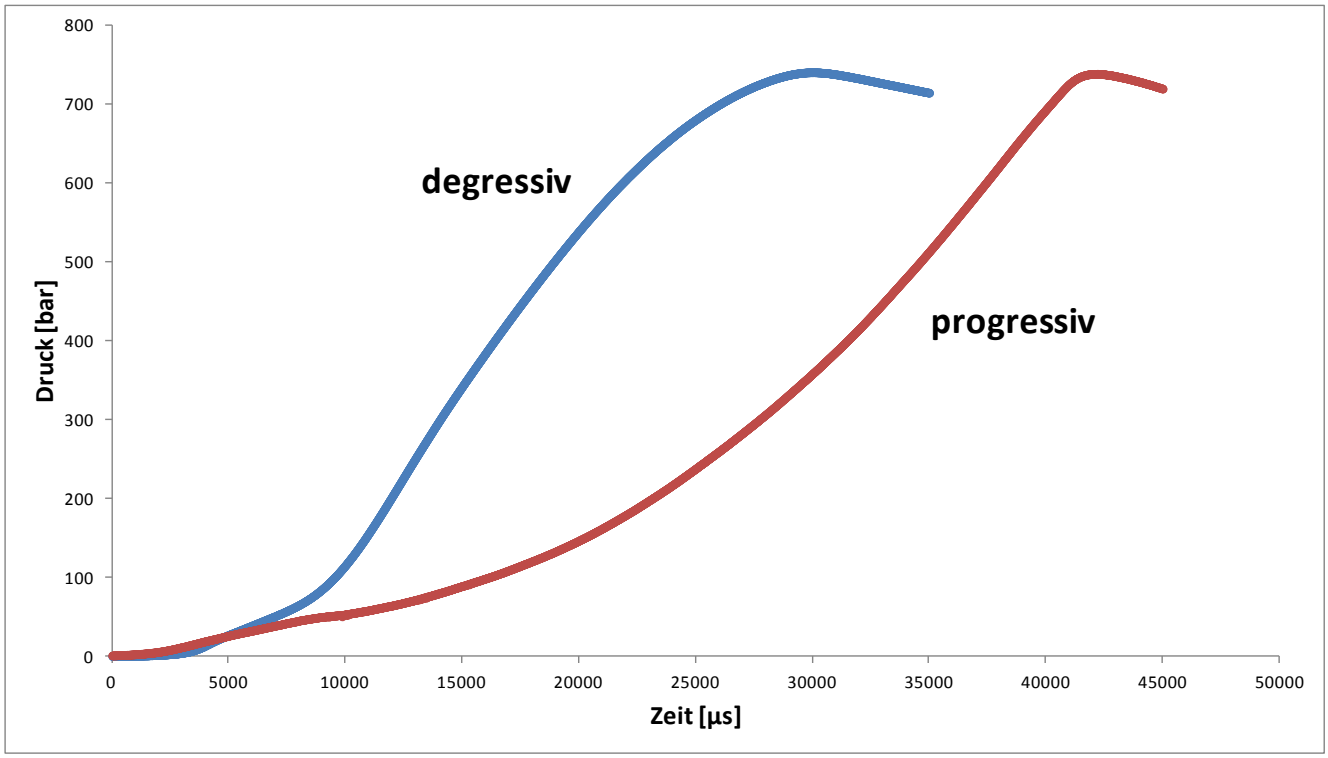


Abbildung 6: Druckverläufe von Airbag Treibstoffen in der ballistischen Bombe.
Größere Oberflächen haben einen schnelleren Druckanstieg zur Folge, wie der Vergleich zwischen pelletiertem und gepulvertem Treibstoff zeigt.

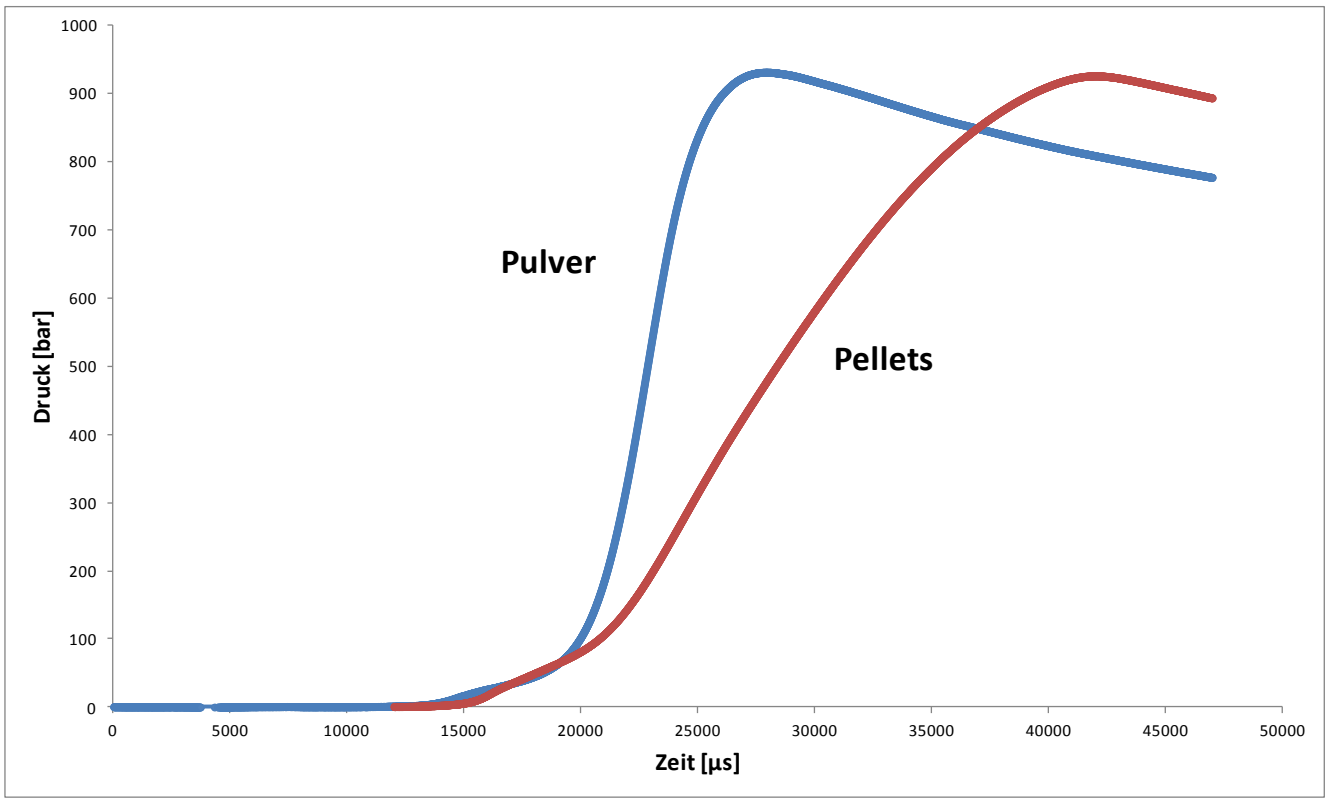


Abbildung 7: Vergleich der Druckkurven eines Treibstoffs zwischen Pulver und Pellets.

5. Bestimmung der Brennraten von pyrotechnischen Gassätzen

Bei genauer Kenntnis der Geometrie des Treibstoffs und damit der Entwicklung der Oberfläche während des Abbrandes kann man aus der Druckkurve eine Brennrate in Abhängigkeit vom Druck berechnen.

Bei Annahme von idealem Verhalten ist die Änderung des Druckes mit der Zeit proportional zum Massendurchsatz des Treibstoffes während der Reaktion. Will man wissen, wie schnell die Oberfläche in den Treibsatz hinein brennt, die lineare Abbrandrate also, dann muss der Massendurchsatz noch mit einer Formfunktion multipliziert werden. Die Formfunktion gibt den Verlauf der Oberfläche des Treibstoffes an, denn diese ändert sich ja mit fortschreitender Reaktion. Die Oberfläche kann größer werden (progressiver Abbrand) oder sie kann kleiner werden (degressiver Abbrand).

Bei porösen Treibstoffen wächst die Oberfläche bei höheren Drücken scheinbar. Die heißen Gase dringen in die Poren ein und der Abbrand wird beschleunigt.

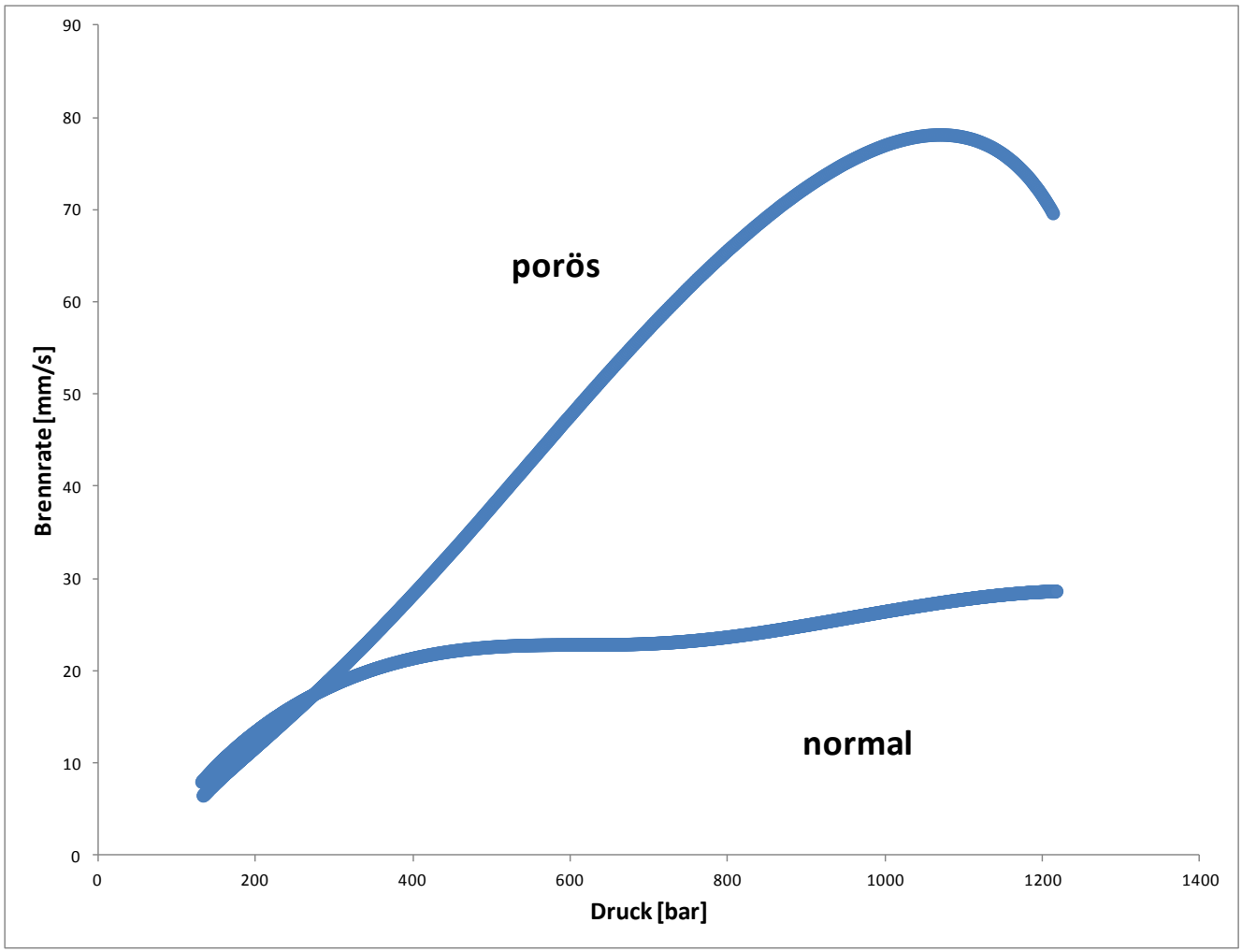


Abbildung 8: Vergleich der Brennraten von gepressten Airbag Treibstoffen.

Die Brennratenkurve für gepresste Treibstoffe weist einen leicht signoiden Verlauf aufgrund der Restporigkeit auf.

Extrudierte Treibstoffe unter Verwendung eines geeigneten Binders weisen im Gegensatz zu gepressten Treibstoffen in der Regel keine so großen Effekte auf, die auf Porosität zurückzuführen sind.

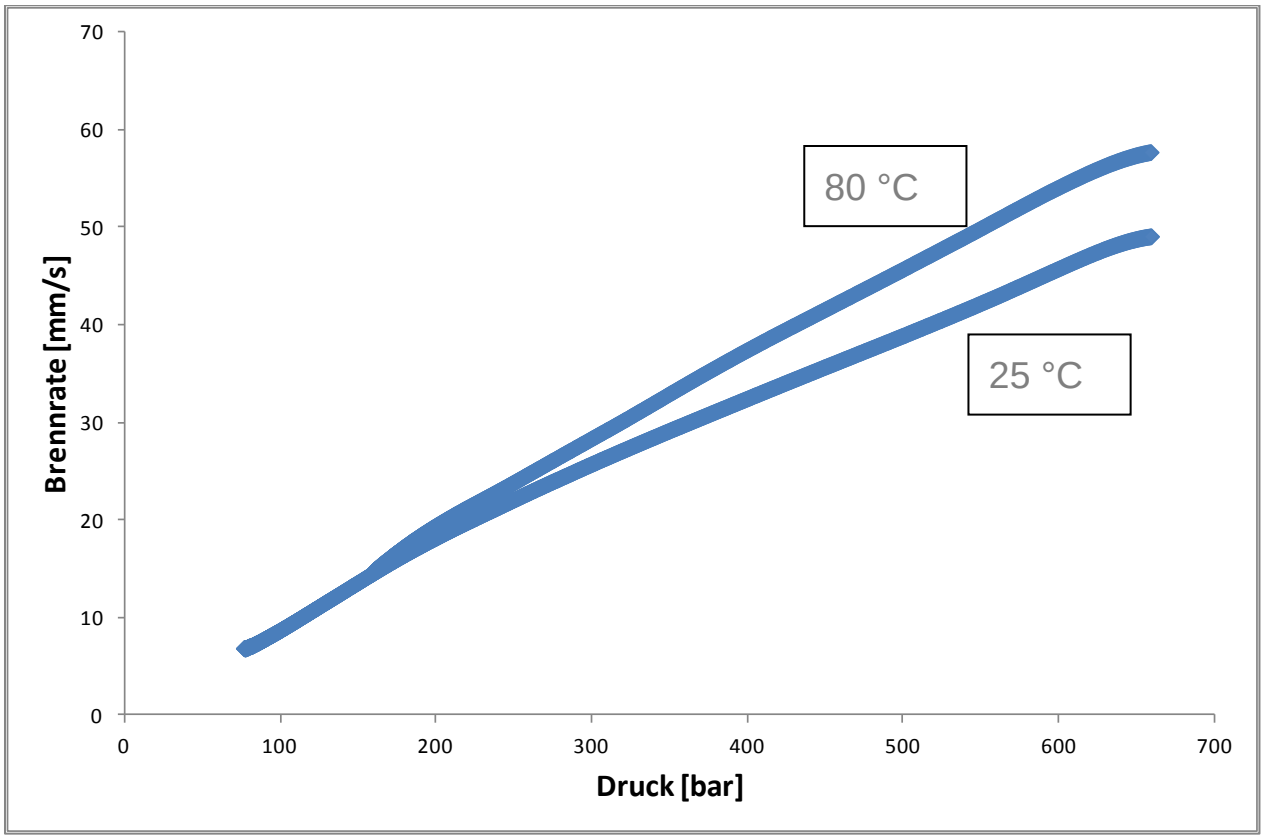


Abbildung 9: Brennrate eines extrudierten Treibstoffes in Abhängigkeit vom Druck bei verschiedenen Temperaturen.

Da die Brennrate im Wesentlichen durch die Aktivierungsenergie des Treibstoffes und den Energieeintrag der laufenden Reaktion in den unreagierten Treibstoff bestimmt wird, ist diese auch Temperaturabhängig. Die Wärmemenge, die in den Treibstoff gebracht werden muss, bis dieser reagiert, wird mit zunehmender Temperatur kleiner und die Brennrate damit größer. Ein Vergleich der Brennrate eines extrudierten Treibstoffes bei Raumtemperatur und bei 80°C zeigt eine Erhöhung der Brennrate.

6. Delaboration

In der GWP stehen geeignete Methoden zur Bergung von Pyrotechnik zur Verfügung; sowohl händische Arbeiten als auch CNC-basierte Operationen snd möglich. Die Beachtung von Schutzgas (wasserfrei) als auch Abschirmung durch Bearbeitung in geschlossenen Räumen ist umgesetzt.

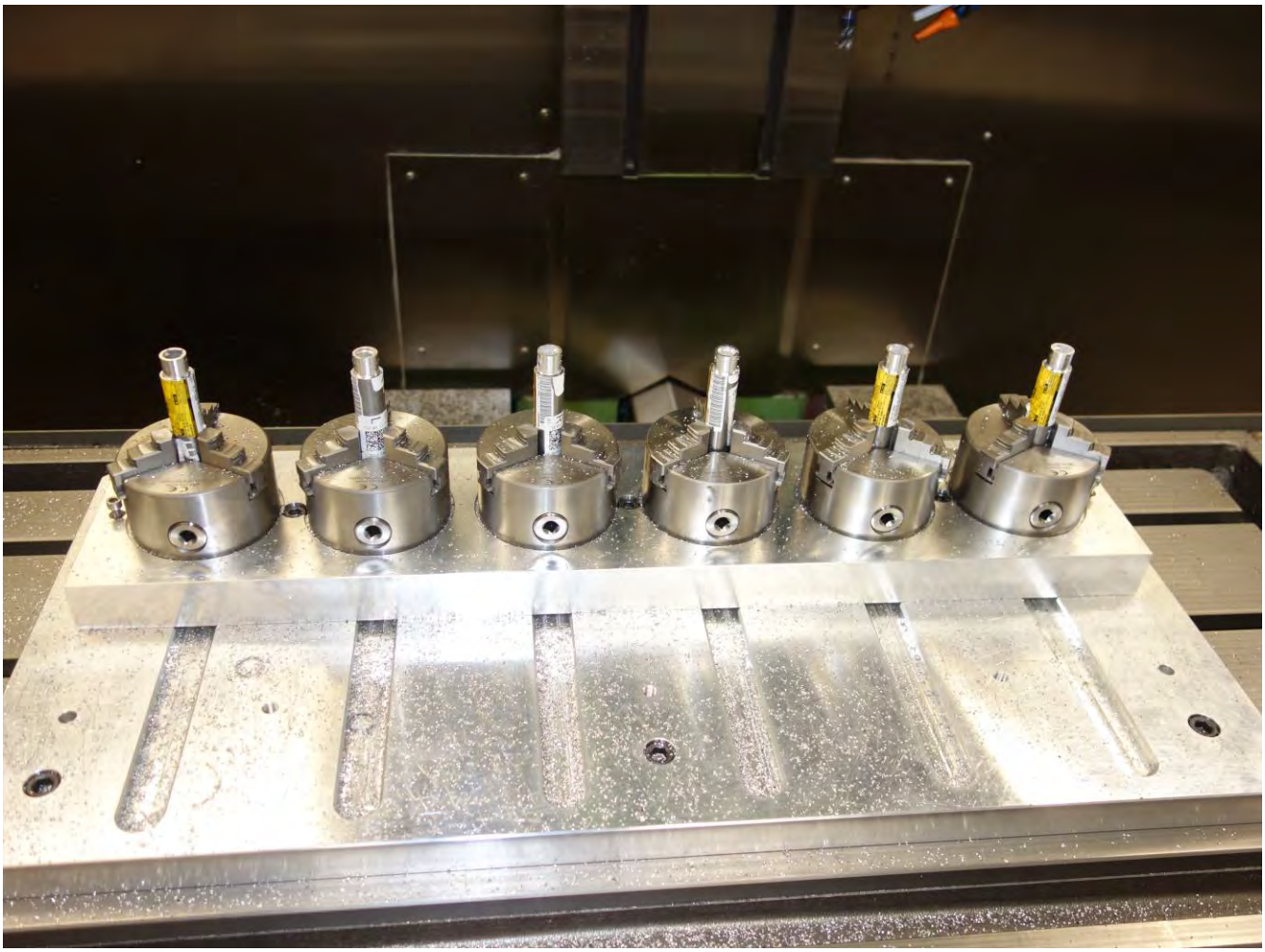
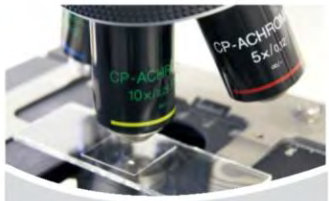


Abbildung 10: Beispiel einer vollständigen CN-gesteuerten Bergung von Pyrotechnik; geeignet für Schutzgas und für wasserfreie Operation.

» Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH

› Analytik

› Werkstoffprüfung



› Materialografie

› Qualitätssicherung

› Schadensanalyse

› Entwicklung

› Laborservices

› Analytikum
› Chemie & Korrosionslabor
› Elektroniklabor
› Gaslabor
› Kunststofflabor
› Materialografie
› Mikroskopie REM/LIM
› Umweltsimulation
› Werkstatt
› Werkstoffprüfung
› Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

› Schadensanalyse

› Airbag
› Batterien
› Baustoffe
› Fraktographie
› Heterogene Katalyse
› Industrielle Prozesse und Produkte
› Korrosion
› Kunststoffe
› Medizintechnik
› Metallische Gefüge
› Oberflächentechnik
› Zerstörungsfreie Prüfung

› GWP Gesellschaft für Werkstoffprüfung mbH
› Georg-Wimmer-Ring 25, D-85604 Zorneding/München
› Tel. +49 (0) 8106 994 110 › Fax +49 (0) 8106 994 111
› Mail info@gwp.eu › Web www.gwp.eu

GWP