

- ▶ **WISSEN SCHAFFT FORTSCHRITT®**
- ▶ **GWP WHITE PAPER ANALYTIKUM 007**
- ▶ **AUTOREN**

Dr. Julius Nickl
 Dipl. Chemiker
 Geschäftsführer
 Senior-Experte
 julius.nickl@gwp.eu

1 ZUSAMMENFASSUNG

Zur Charakterisierung von Airbag-Treibstoffen stehen in der GWP eine Reihe von Labor-Möglichkeiten zur Verfügung:

- ▶ Airbag-Emissions-Labor (Gas, Stäube, Akustik)
- ▶ Labor für energetische Materialien (Abbrandgeschwindigkeiten, closed vessel, Kammerdruck, Kannendruck)
- ▶ Analytikum (chemische Zusammensetzung, Porosität, Dichte, Feuchte)
- ▶ μ -CT Röntgen-Computertomografi
- ▶ Umweltsimulationslabor (Temperatur- und Feuchtewechsel)
- ▶ Werkstätten (zur Delaboration und zur Manipulation)

Neben der chemischen Analyse des geborgenen Treibstoffes aus Gasgeneratoren 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. Auch die gas- und staubförmigen Emissionen aus dem Abbrand können quantifiziert werden; die Methode dafür ist akkreditiert nach DIN EN ISO 17025. Weitere physikalisch-chemische Charakterisierungen zu den Formkörpern werden durchgeführt. Mit Hilfe der Umweltsimulationen können Modelle life cycle entwickelt werden oder DDT (deflagration to detonation transition) untersucht werden.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	1
2	Theorie	2
3	Chemische Charakterisierung von Treibstoffen	3
3.1	Elementaranalyse	3
3.2	Thermische Verfahren DSC & TGA	3
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	10
6	Delaboration	11
7	Anhang	12
7.1	Literaturverzeichnis	12
7.2	Abbildungen	13
8	Versionskontrolle	13

2 THEORIE

Propellants allgemein sind charakterisiert durch Schubarbeit, Gasvolumen, chemische Zusammensetzung, Oxidator, Brennstoff, Ibr, Porosität, Alterungsfestigkeit, ...

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 im Festkörper. Eine Deflagration kann unter

bestimmten Umständen (z.B. hoher Druck) auch in eine Detonation übergehen (DDT; deflagration-to-detonation-transition).

Treibstoffe haben idealerweise die Eigenschaft, dass sie mit einer definierten Geschwindigkeit über einen weiten Druck- und Temperaturbereich 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.

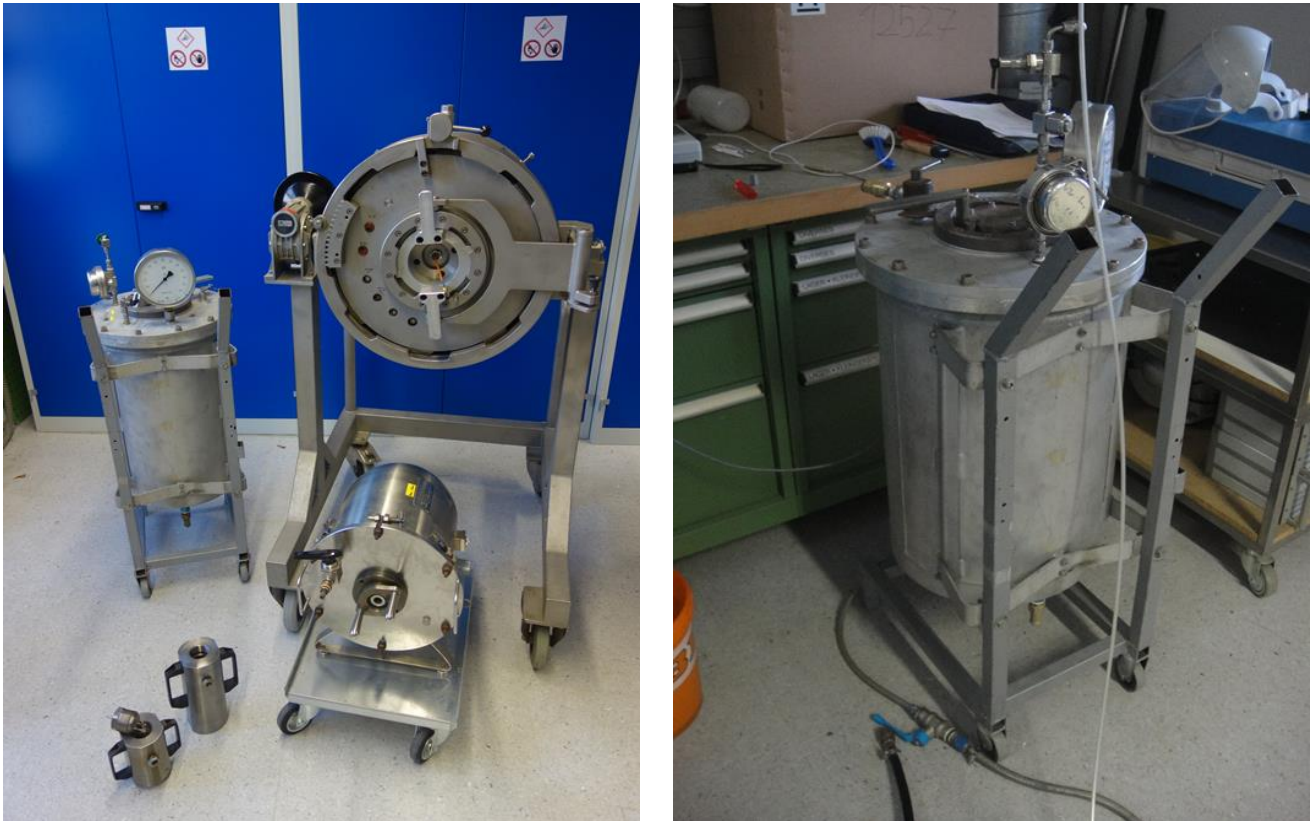


Abbildung 1: Kannen für die Druckmessung an Gasgeneratoren: 37 ccm bis 140 L

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.

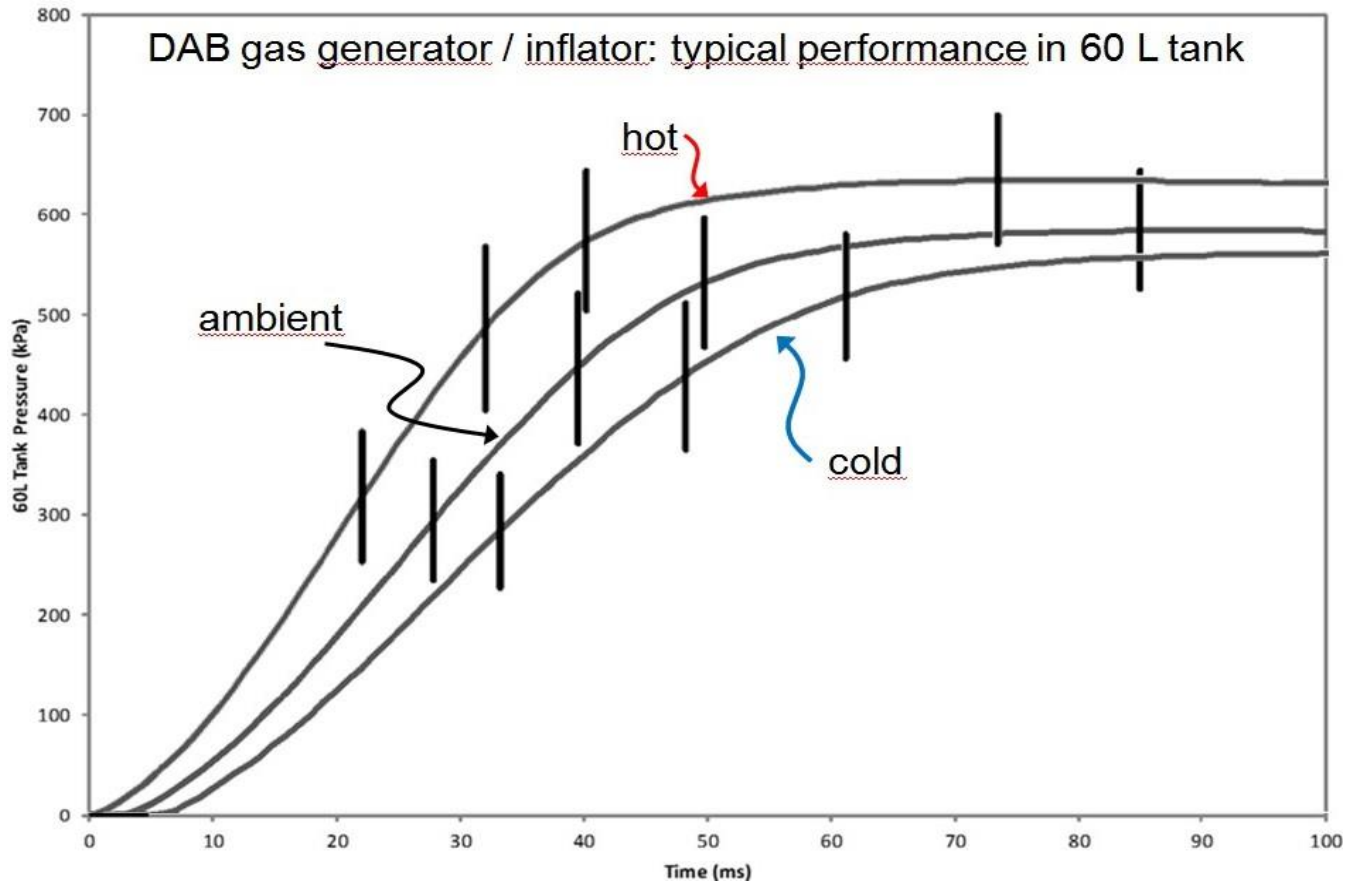


Abbildung 2: Typische Druckverläufe von Airbag Gasgeneratoren gezündet in der 60 L Kanne. Die Temperaturabhängigkeit der Abbrandrate und des Enddrucks sind deutlich erkennbar.

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.

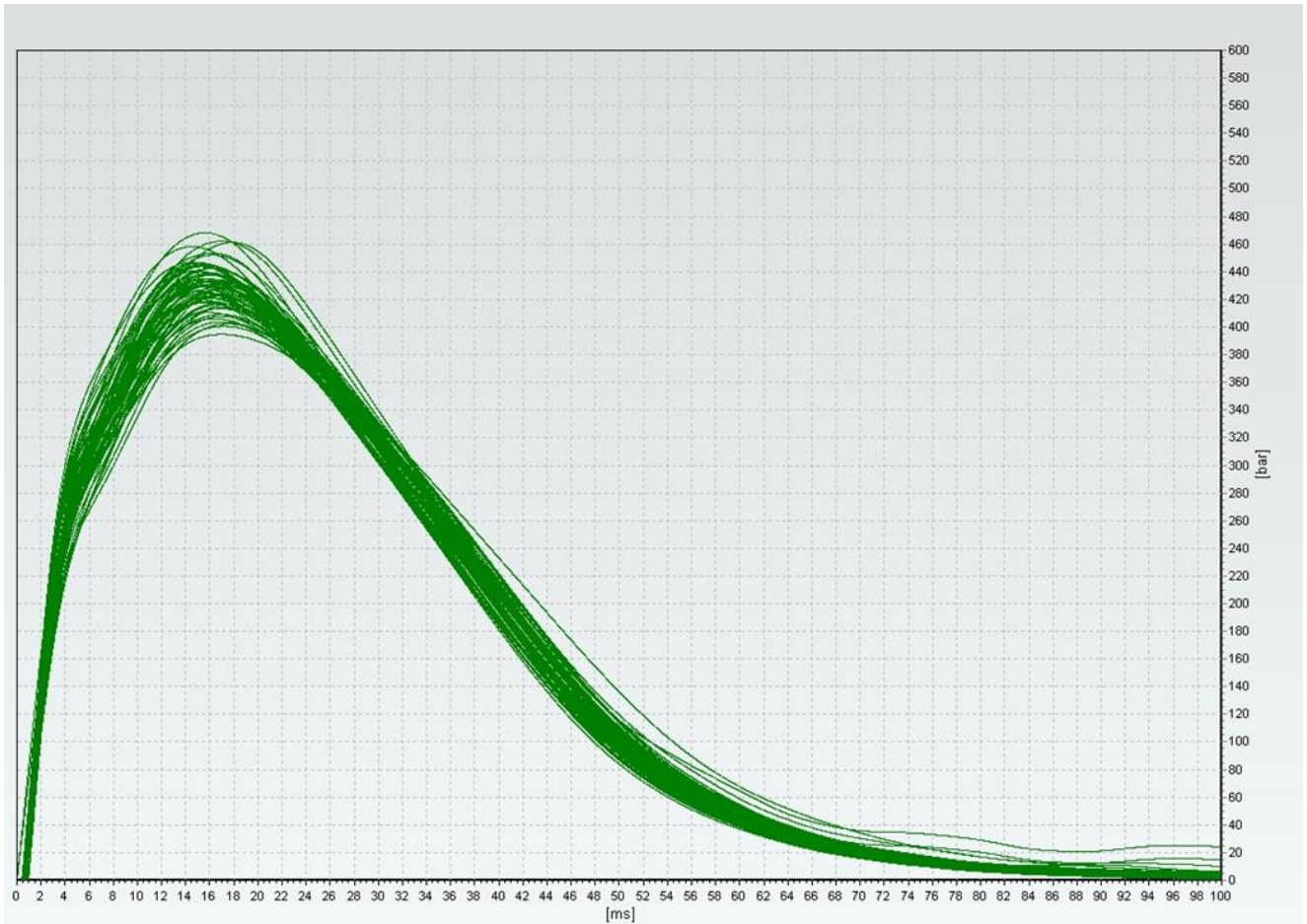


Abbildung 3: Druckverläufe in einstufigen Gasgeneratoren

4.2.2 Mehrstufige Gasgeneratoren

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

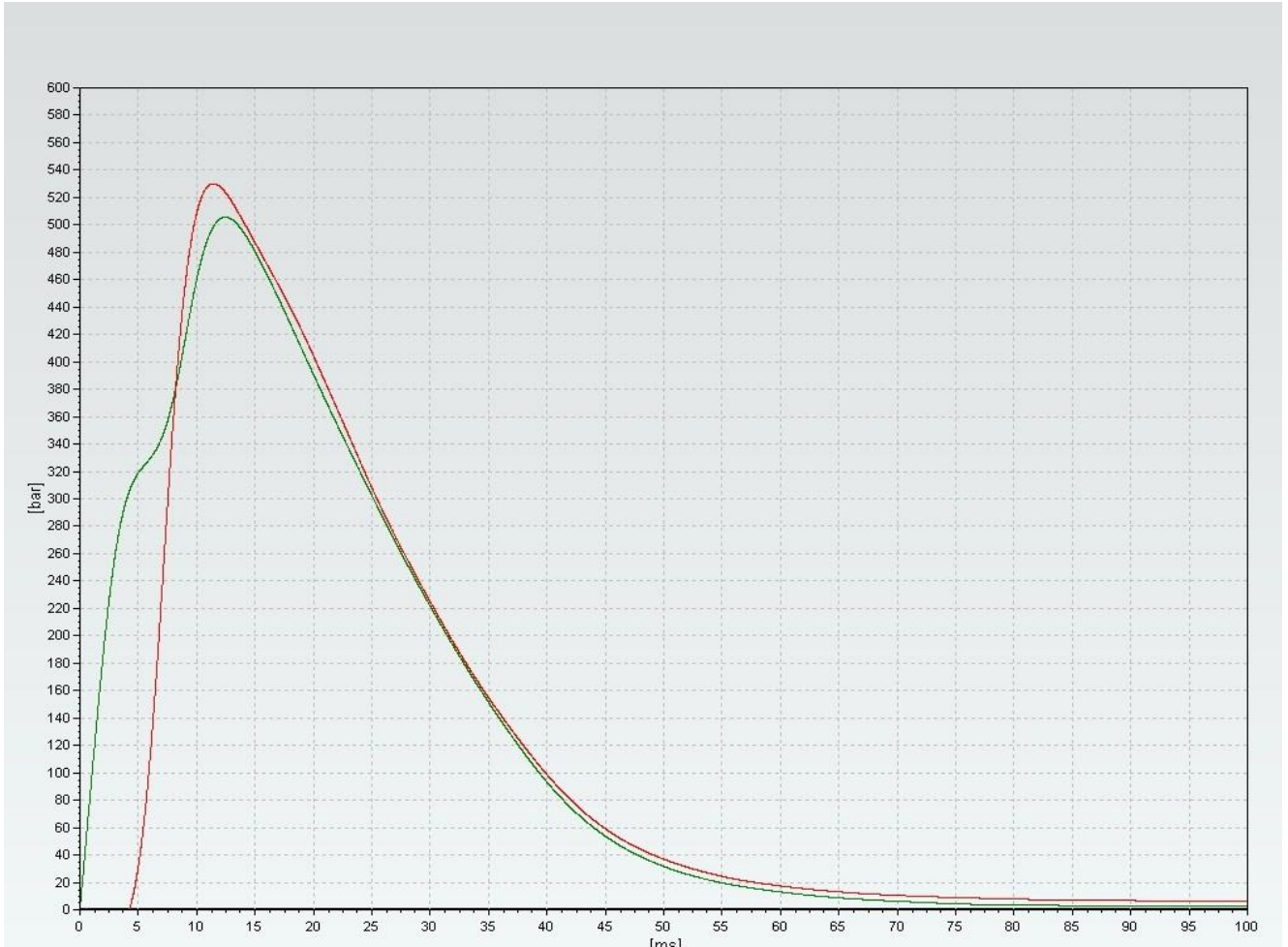


Abbildung 4: Typischer Druckverlauf in einem zweistufigen Gasgenerator bei Verzögerter Zündung der beiden Kammern (5 ms). Beachtenswert ist die Erhöhung des Innendrucks der ersten Kammer nach der Zündung der zweiten.

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.

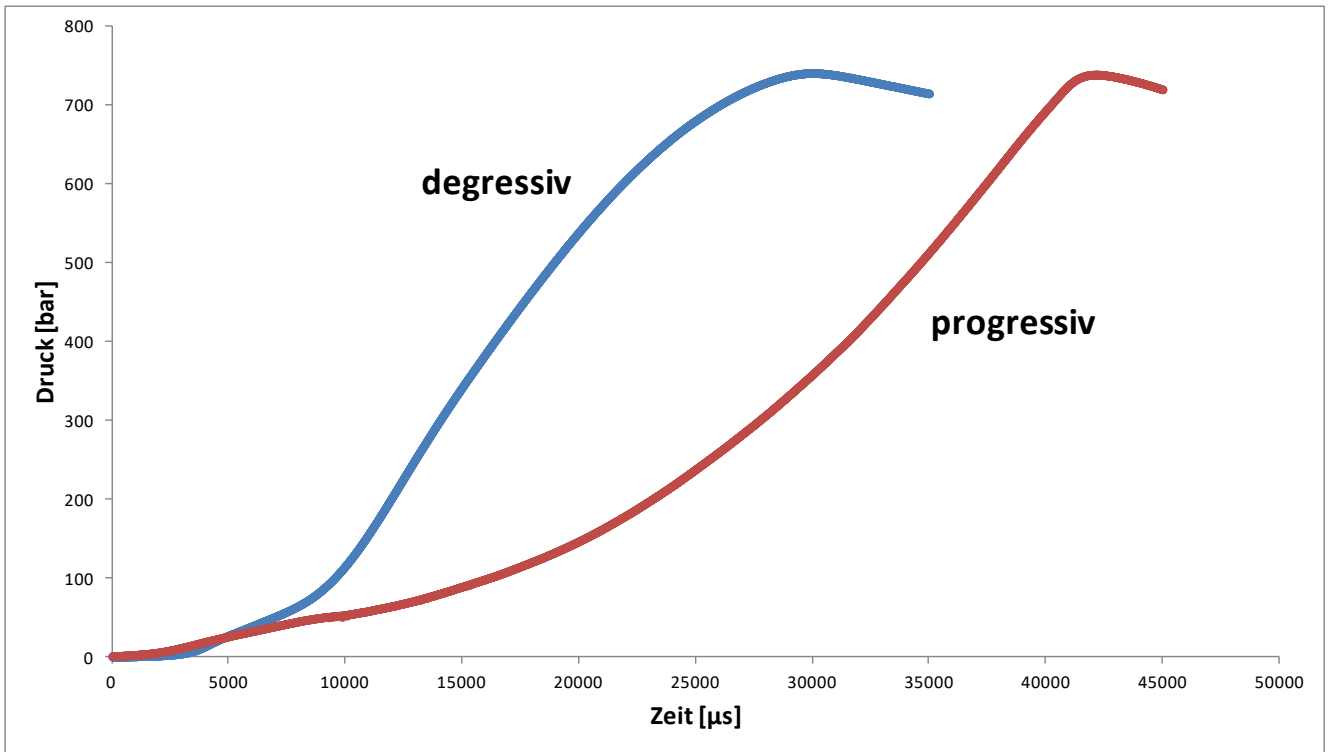


Abbildung 6: Druckverläufe von Airbag Treibstoffen in der ballistischen Bombe

Größere Oberflächen haben einen schnelleren Druckanstieg zur Folge, wie der Vergleich zwischen pelletiertem und gepulvertem Treibstoff zeigt.

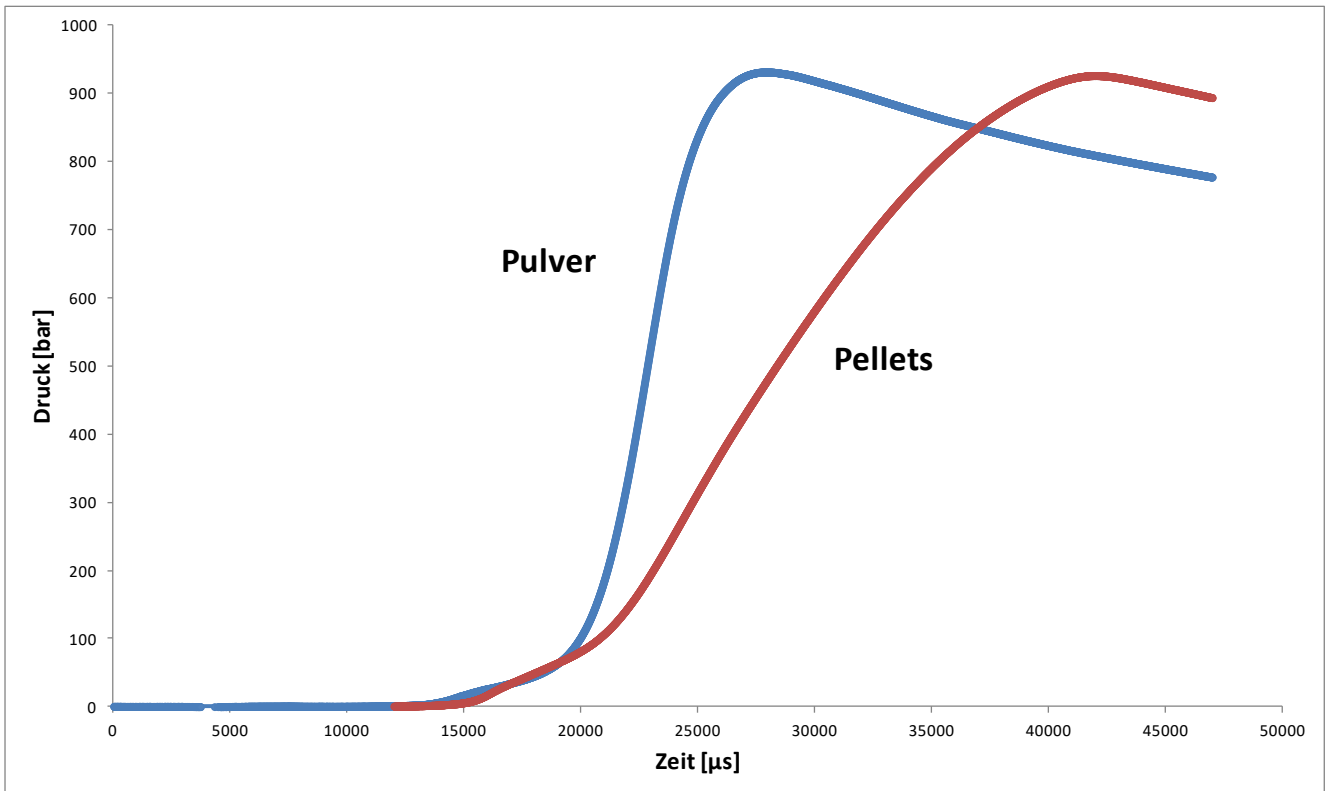


Abbildung 7: Vergleich der Druckkurven eines Treibstoffs zwischen Pulver und Pellets

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 Treibstoff 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.

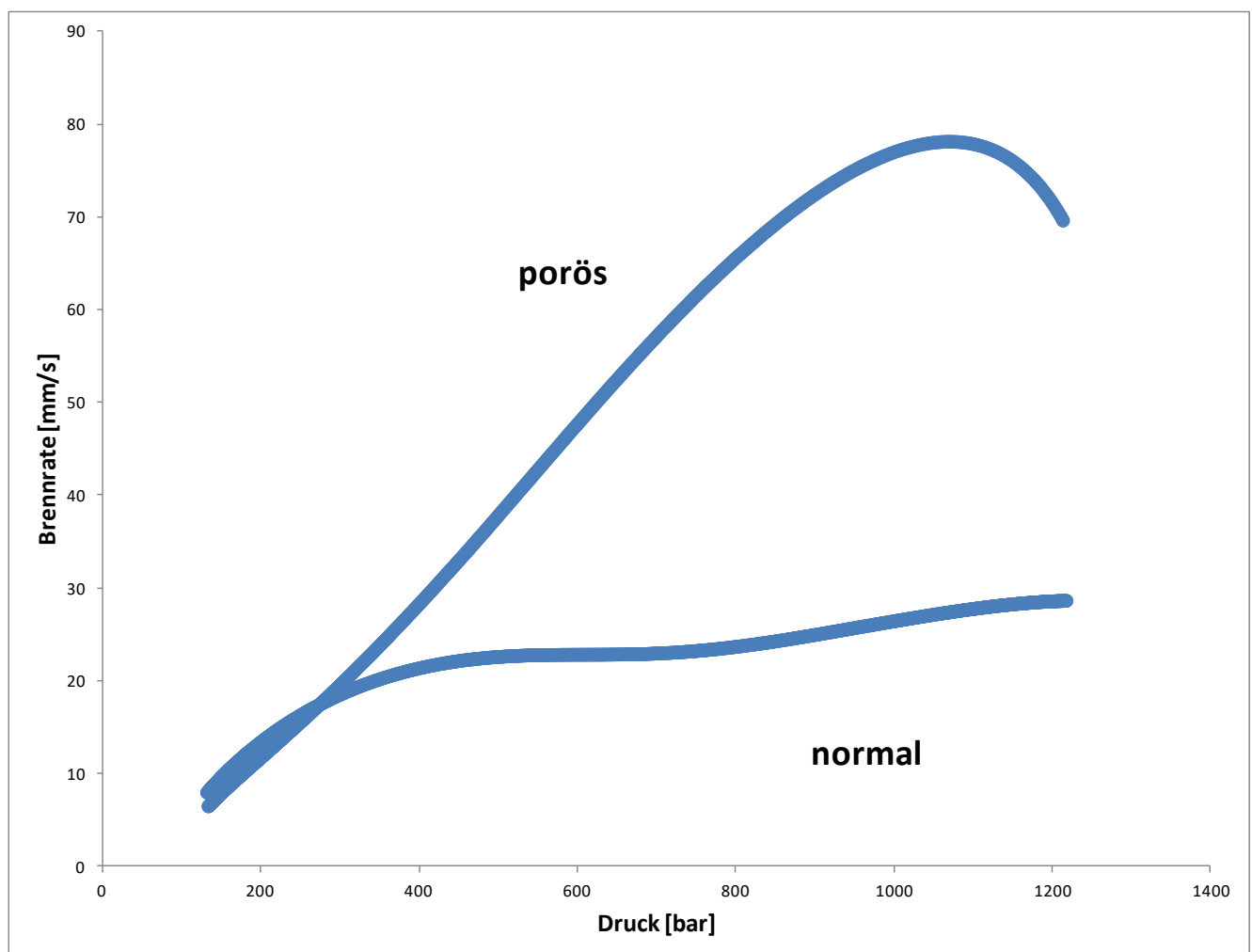


Abbildung 8: Vergleich der Brennraten von gepressten Airbag Treibstoffen

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.

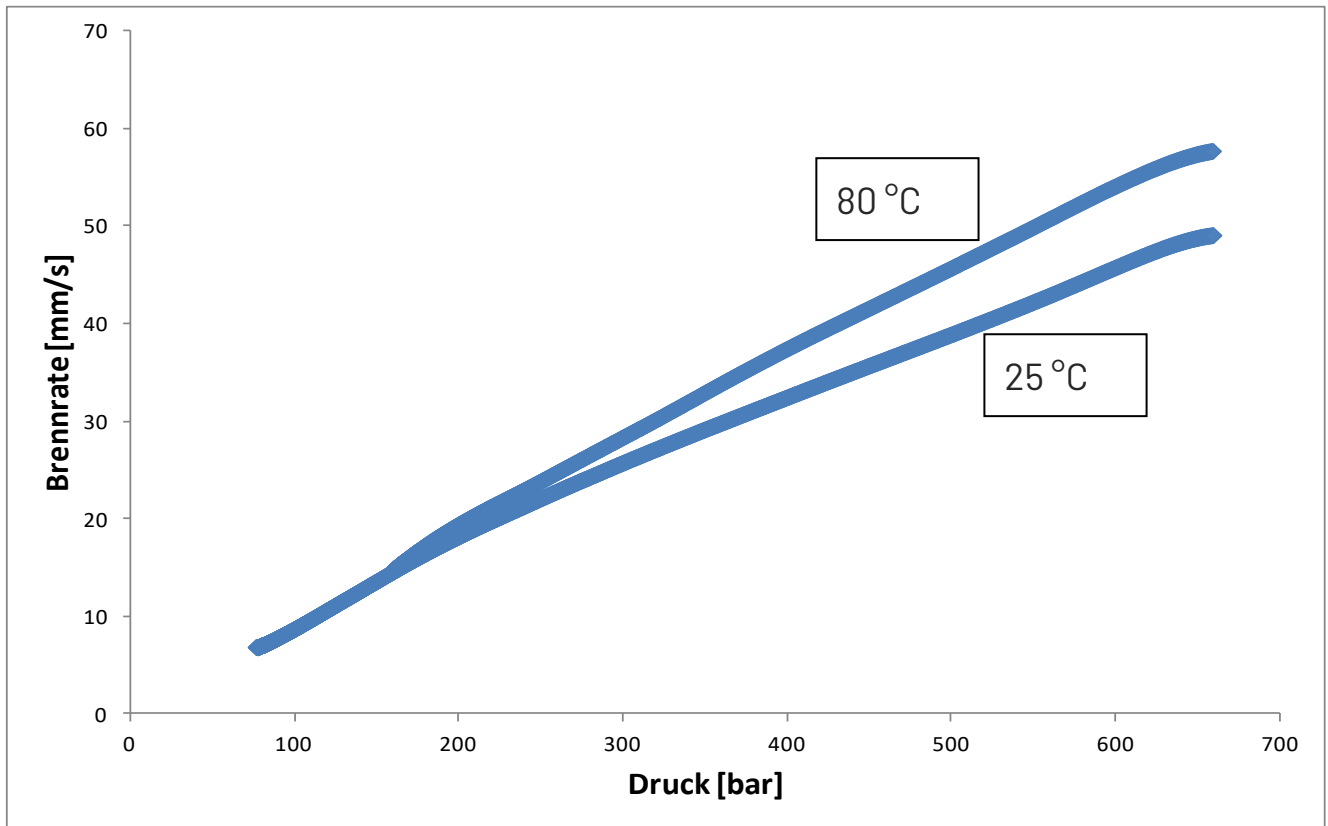


Abbildung 9: Brennrate eines extrudierten Treibstoffes in Abhängigkeit vom Druck bei verschiedenen Temperaturen

Da die Brennrate im Wesentlichen durch die Aktivierungsenergie des Treibstoffes und den Energieeintrag der laufenden Reaktion in dem unreaktierten 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 sind möglich. Die Beachtung von Schutzgas (wasserfrei) als auch Abschirmung durch Bearbeitung in geschlossenen Räumen ist umgesetzt.

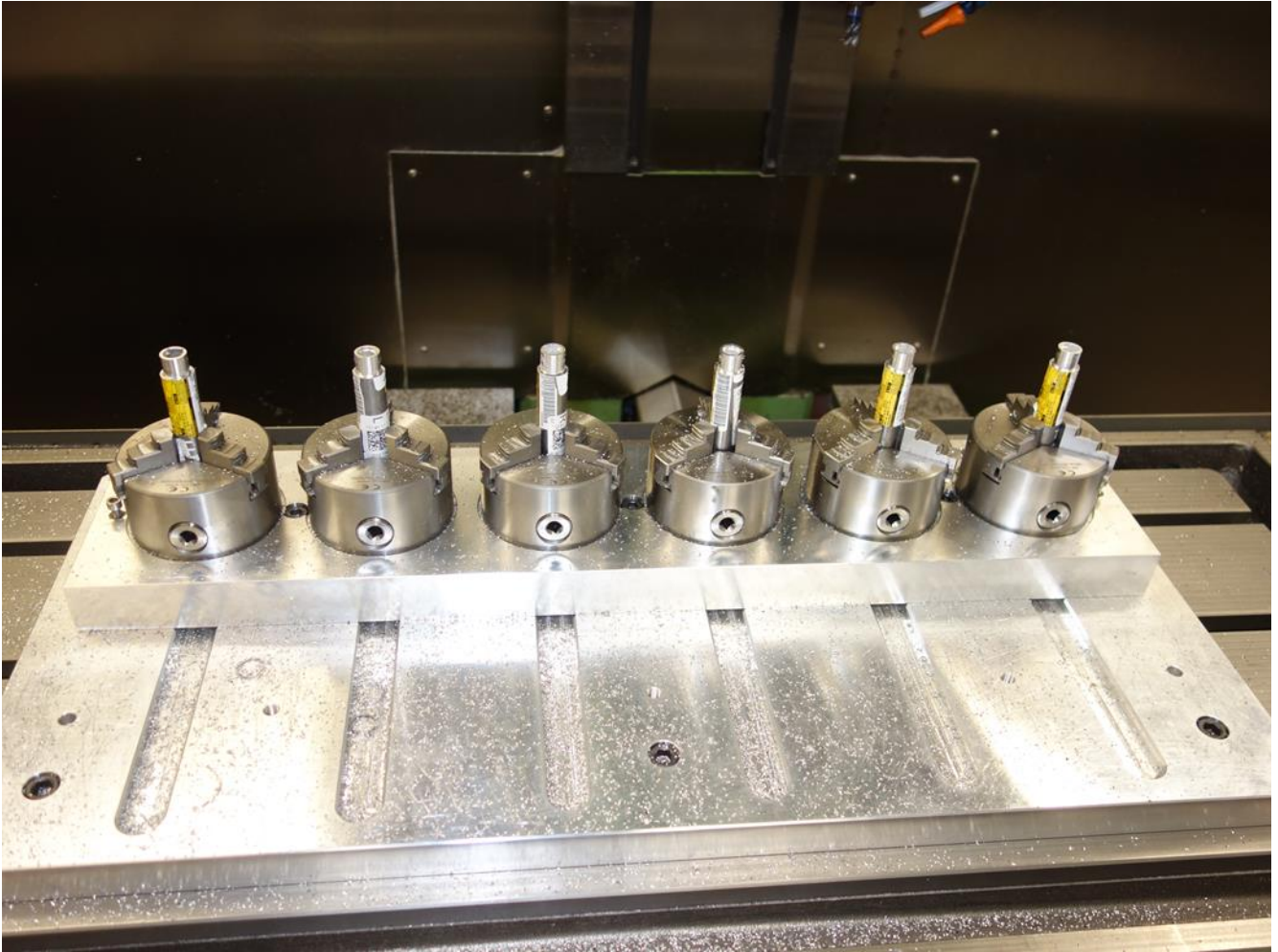


Abbildung 10: Beispiel einer vollständigen CN-gesteuerten Bergung von Pyrotechnik; geeignet für Schutzgas und für wasserfreie Operation

- ▶ Dr. Julius Nickl
Berichtsersteller und
Interne Prüfung

7 ANHANG

7.1 Literaturverzeichnis

ohne

7.2 Abbildungen

Abbildung 1: Kannen für die Druckmessung an Gasgeneratoren: 37 ccm bis 140 L 4

Abbildung 2: Typische Druckverläufe von Airbag Gasgeneratoren gezündet in der 60 L Kanne. Die Temperaturabhängigkeit der Abbrandrate und des Enddrucks sind deutlich erkennbar. 5

Abbildung 3: Druckverläufe in einstufigen Gasgeneratoren 6

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..... 7

Abbildung 5: Ballistische Bombe zur Brennratenbestimmung; hier Schraubversion 8

Abbildung 6: Druckverläufe von Airbag Treibstoffen in der ballistischen Bombe 9

Abbildung 7: Vergleich der Druckkurven eines Treibstoffs zwischen Pulver und Pellets 9

Abbildung 8: Vergleich der Brennraten von gepressten Airbag Treibstoffen.....10

Abbildung 9: Brennrates eines extrudierten Treibstoffes in Abhängigkeit vom Druck bei verschiedenen Temperaturen..... 11

Abbildung 10: Beispiel einer vollständigen CN-gesteuerten Bergung von Pyrotechnik; geeignet für Schutzgas und für wasserfreie Operation12

8 VERSIONSKONTROLLE

Revision Datum	Autor	REV	Bemerkung
2021-01-01	XS	03	Erstellung
2021-12-06	JAN	04	redaktionelle Überarbeitung



WISSEN SCHAFFT FORTSCHRITT®

- ▶ Qualität sichern
- ▶ Entwicklungen begleiten
- ▶ Schäden analysieren
- ▶ Wissen weitergeben

LABOR-SERVICES

- ▶ Analytik
- ▶ Werkstoffprüfung
- ▶ Metallografie
- ▶ Mikroskopie
- ▶ Airbag-Labor
- ▶ Zerstörungsfreie Prüfung
- ▶ Physikalische Prüfung
- ▶ Brandprüfungen
- ▶ Werkstatt
- ▶ ParticleCheck
- ▶ Kunststoff-Labor
- ▶ Umweltsimulation
- ▶ Sprengstofflabor

SCHADENSANALYSE & ENTWICKLUNGSBEGLEITUNG

- ▶ Airbag
- ▶ Automotive
- ▶ Kunststoffe
- ▶ Katalyse
- ▶ Batterien
- ▶ Bauwirtschaft
- ▶ Chemie
- ▶ Elektrotechnik
- ▶ Maschinenbau
- ▶ Luftfahrt
- ▶ Medizintechnik



Die Akkreditierung gilt nur für den in der Urkundenanlage D-PL-19907-01-00 aufgeführten Akkreditierungsumfang.

