

Porositäten in Rohrwaffentreibmitteln
Einfluss intrinsischer und in-situ generierter Porosität auf das
An- und Abbrandverhalten

Porous Structures in Gun Propellants - Influence of intrinsic and
in-situ generated Porosity on Propellant Burning Behaviour

Thomas S. Fischer, Norbert Eisenreich, Andreas Koleczko, Volker Weiser
Fraunhofer Institut für Chemische Technologie,
Joseph-von-Fraunhoferstr. 7, 76327 Pfinztal, Deutschland

Abstract

Gun propellant burning behaviour is massively influenced by porosity. Foamed propellants get their performance characteristic during production by adjusting a special porosity profile. Using plasma ignition some propellant formulations show the ability to form porous structures during plasma propellant interaction. This work gives an overview on burning behaviour changes caused by intentional changed porosity. It focuses mainly on the pressure range up to 50 MPa. Main experimental device have been closed vessel and window bomb test equipment. It is shown that a raised propellant porosity has limited influence on ignition improvements. In contrast to that plasma ignition is able to generate porous structures which raise the mass conversion rate massively in the low pressure regime.

Kurzfassung

Porosität beeinflusst drastisch das An- und Abbrandverhalten von Rohrwaffentreibmitteln. Dabei kann die Porosität wie bei geschäumten Ladungen eine durch die Herstellung gezielt eingebrachte Eigenschaft eines komplexen Ladungsaufbaus sein. Sie kann aber auch in-situ mittels Plasmaanzündung für bestimmte Rohrwaffentreibmittelformulierungen generiert werden. Diese Arbeit bietet einen Überblick über die Auswirkungen auf das An- und Abbrandverhalten durch gezielt geänderte Porosität/Fragmentierung im (in

Bezug auf eine Waffenanwendung) unteren Druckbereich bis 50 MPa. Ballistische und Optische Bombenuntersuchungen stehen dabei im Mittelpunkt. Es wird aufgezeigt, dass eine gesteigerte Porosität des Treibmittels nur bedingt zu einer verbesserten Anzündung führt. Plasmaanzündung hingegen kann zur Entstehung von porösen Strukturen führen, die bereits im Niederdruckbereich mit massiv erhöhter Umsatzrate abbrennen.

Einleitung

Porosität beeinflusst drastisch das An- und Abbrandverhalten von Rohrwaffentreibmitteln [1, 2, 3, 4, 5]. Daher werden Standardtreibladungspulver mit den klassischen Anwendungen vom Gewehr bis zur großkalibrigen Kanone so weit als möglich unporös hergestellt. In neuartigen Ladungskonzepten finden aber mehr und mehr poröse und/oder fragmentierbare Ladungen Anwendung, ein Beispiel ist die Rückstoßfreie Maschinenkanone RMK 30 [6, 7].

Dabei kann die Porosität wie bei geschäumten Ladungen eine durch die Herstellung gezielt eingebrachte Eigenschaft eines komplexen Ladungsaufbaus sein [4, 8]. Treibladungsformkörper für Munition mit verbrennbarer Hülse erhalten so ein voreingestelltes Eigenschaftsprofil. Porosität kann aber auch in-situ mittels Plasmaanzündung für bestimmte Rohrwaffentreibmittel generiert werden [9]. Das Porenprofil und damit die Abbrandeigenschaften sind dabei abhängig von Ladung und Plasmaanzündung [10].

Der Abbrand poröser Rohrwaffentreibmittel wird durch mehrere gekoppelte komplexe Phänomene beeinflusst. Penetration von Heißgasen in die Poren, die Eindringtiefe der Wechselwirkung (z.B. von Strahlungsenergie) und die Art der Porenverteilung (offenporig, geschlossenporig etc.) sind nur einige der Besonderheiten, die bei einer Beschreibung des Abbrandes zu berücksichtigen sind.

An- und Abbrandverhalten geschäumter Ladungen bei pyrotechnischer Anzündung in ballistischer Bombe

Geschäumte Treibladungen zeigen im Vergleich zu konventionellen Treibladungspulvern auf Grund ihrer porösen Struktur eine massiv erhöhte Massenkonversionsrate im untersuchten Bereich von ca. 30 bis 700 MPa, so

dass auch großvolumige Treibladungsformkörper für die Waffenanwendung angepasst schnell abbrennen können. In früheren Arbeiten [1, 3, 11] konnte gezeigt werden, dass dabei ganze Volumenbereiche brennen. Die Reaktionszone hat im Vergleich zu Standardtreibladungspulvern eine viel größere Tiefe. Durch Änderung der Porenverteilung kann die Lebhaftigkeit reproduzierbar geändert werden. Je kleiner im Mittel die Poren sind, desto lebhafter ist das Treibmittel bei der Untersuchung in der ballistischen Bombe. Dieses Verhalten konnte mit Hilfe eines am Fraunhofer ICT eigens entwickelten Modellansatzes [11, 12, 13] simuliert werden und auf dieser Basis der Einfluss von Porositätsänderungen im Einklang mit den Experimenten beschrieben werden. Bei waffenidentischer pyrotechnischer Anzündung in einem Beschusssimulator zeigt sich ein zusätzlicher Effekt: der Treibladungsformkörper wird komprimiert. Dies führt zu einer verringerten Druckanstiegsrate.

Wird jetzt der untere Druckbereich in der ballistischen Bombe für geschlossporige geschäumte Treibladungsformkörper untersucht, zeigt sich, dass sich allein durch Erhöhung der Porosität die Anzündwilligkeit nur begrenzt verbessern lässt. Dabei wurden Körper untersucht, die in sich gleichmäßig porös waren. Abbildung 1 zeigt die experimentellen Ergebnisse der Brisanz für 2 Formulierungen. Formulierung 1 ist NC basiert, Formulierung 2 wurde als geschäumter Formkörper auf Basis RDX hergestellt. Die Proben wurden in einer ballistischen Bombe mit 310 ml Volumen geschossen. Sie hatten alle die identische Zylindergeometrie mit 76 mm Höhe, 42,7 mm Außendurchmesser und 29,9 mm Innendurchmesser. Die Dichte betrug in allen Fällen 1,11 g/ml und das Gewicht 62 g (d.h. Ladedichte 0,2 g/ml). Die Anzündung erfolgte über eine Zündpille und 1 g BKNO_3 . Formulierung 2 wurde mit identischer Dichte und Abmessung aber mit geänderter Porosität hergestellt. Die Körper waren weiterhin mit geschlossenzelligen Poren durchsetzt, der mittlere Porendurchmesser nahm aber von Formulierung 2a nach 2c ab. Dies bedeutet, dass der Anteil kleiner Poren im Körper massiv anstieg.

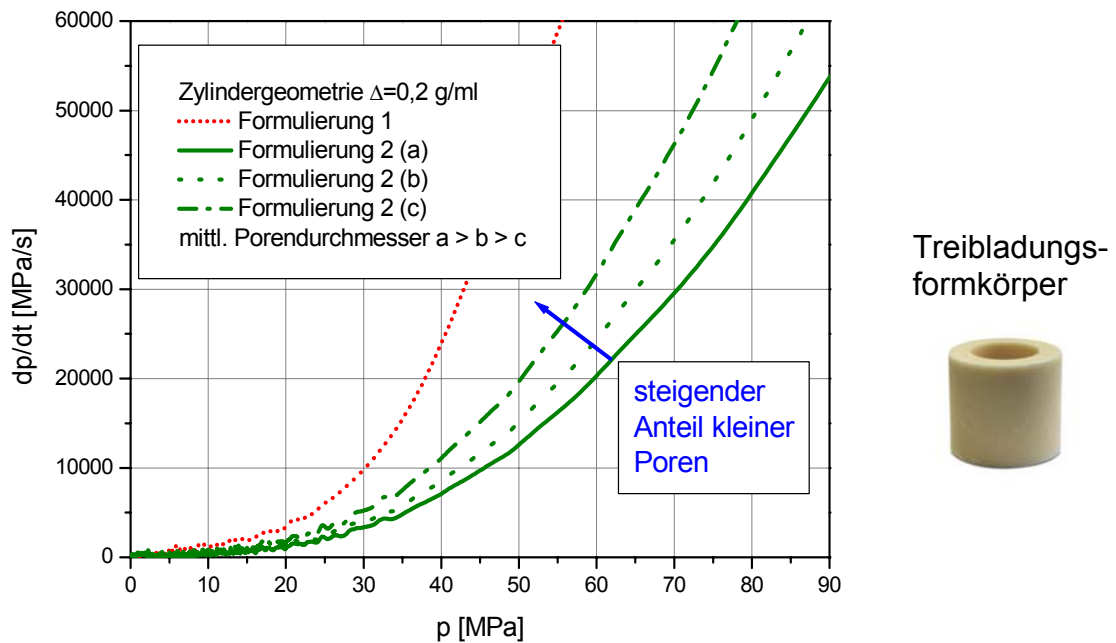


Abbildung 1: experimentell ermittelte Brisanzkurven unter Variation von Formulierung und Porosität; rechts ein Foto der immer gleichen gehaltenen Probengeometrie

Ergänzend wurden Simulationsrechnungen durchgeführt. Dabei wurden die vorhandenen experimentellen Ergebnisse unter Verwendung der detailliert bestimmten Porengrößenverteilung im Formkörper nachgestellt und Berechnungen für weitere Porenverteilungen durchgeführt. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse für 4 verschiedene Porenverteilungen (2a bis 2d) im Vergleich. Formkörper mit Porenverteilung 2d ließen sich als geschäumte Formkörper für experimentelle Untersuchungen mit identischer Dichte, Geometrie etc. wie 2a bis 2c nicht herstellen und stellen Extrembeispiele für mit vielen Miniporen versehene Formkörper dar. Unter der Bedingung, dass die Verkleinerung der Poren keine Änderung im Abbrandmechanismus bewirken, zeigen Simulation und Experiment, dass allein durch Erhöhung der Porosität die Anzündwilligkeit nur sehr begrenzt zunimmt. Die Lebhaftigkeit würde aber extrem ansteigen (sie stiege von 2a nach 2d auf über achtfachen Maximalwert an). Wie Formulierung 1 zeigt, lässt sich durch eine Änderung der Formulierung die Anzündwilligkeit

wesentlich besser steigern. Gleiches gilt natürlich auch für eine anders angepasste makroskopische Geometrie, wenn dabei die Oberfläche bei Abbrandstart erhöht wird.

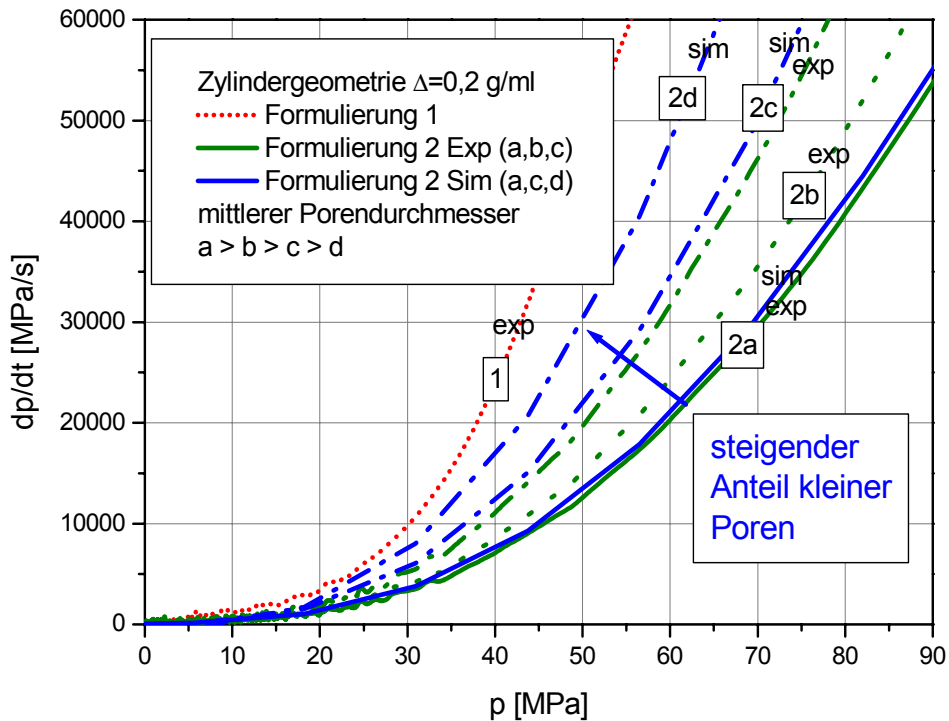


Abbildung 2: experimentelle und simulierte Brisanzkurven unter Variation von Formulierung und Porosität

Erklärung hierfür ist, dass die Flamme bei niedrigen Drücken in kleine Strukturen nicht eindringen kann. Daher ist der Energietransport in tiefere Schichten des Formkörpers begrenzt. Erst bei höheren Drücken startet der volumenartige Abbrand mit den dann massiv gesteigerten Umsatzraten.

Abbrandverhalten unporöser Double-Base Treibmittel in Optischer Bombe

Dass Flammen in kleine Strukturen nicht eindringen können, zeigen Untersuchungen in der Optischen Bombe [14]. Abbildung 3 zeigt eine Skizze des Messaufbaus. Die dabei untersuchten Treibstoffstreifen haben eine Kantenlänge von ca. 4 auf 4 mm und der Abbrand wird bei verschiedenen konstant gehaltenen Drücken untersucht. Abbildungsserie 4 zeigt Aufnahmen

der Flamme direkt oberhalb der untersuchten Treibmittel-Strands. Es handelte sich dabei um einen modifizierten unporösen Double-Base Treibstoff. Mit steigendem Druck verringert sich die sogenannte stand-off-distance der Flamme, die Dunkelzone ist oberhalb 4 MPa für diesen Treibstoff nicht mehr sichtbar. Beim Doublebase Treibmittel JA2 (Abbildung 5) erkennt man dasselbe Verhalten, nur überlagern hier abströmende luminiszierende Partikel die Dunkelzone.

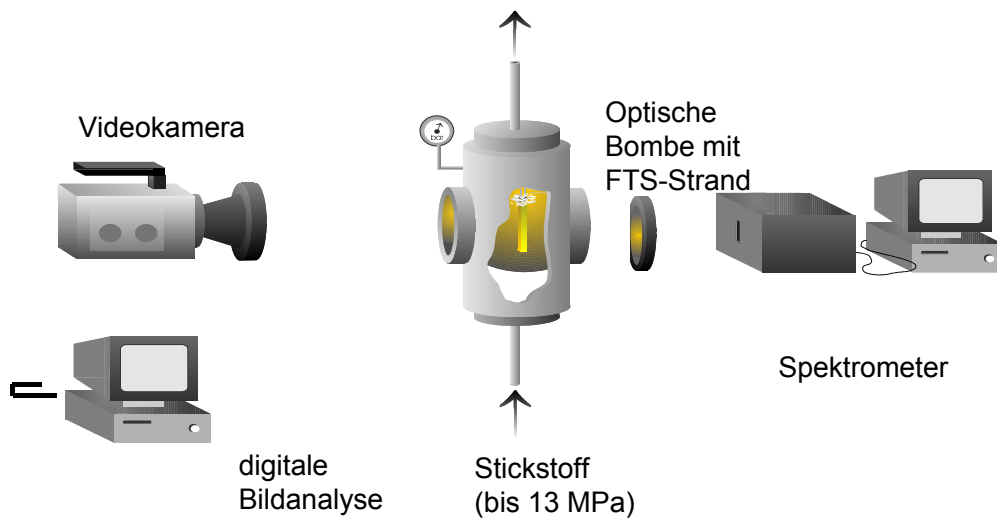


Abbildung 3: Optische Bombe

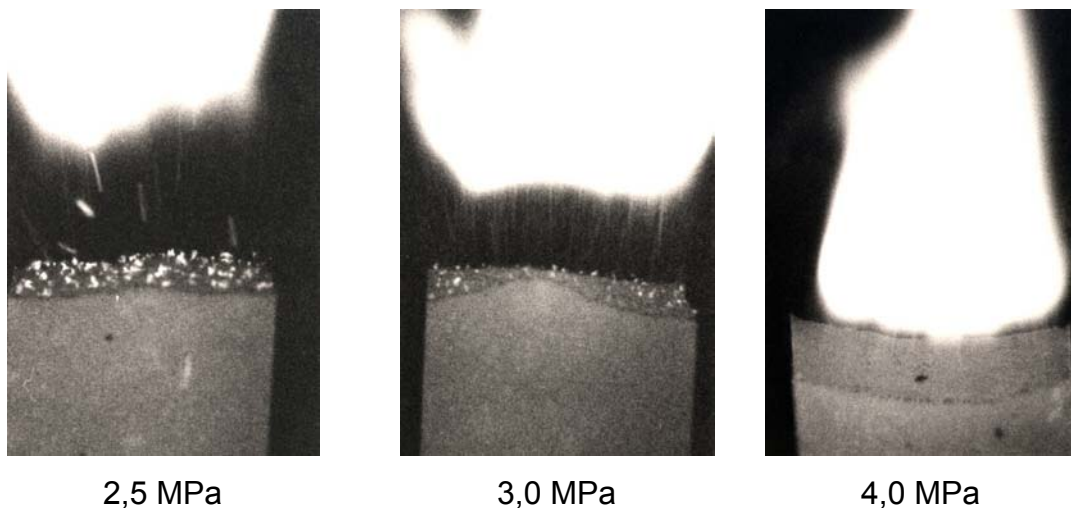
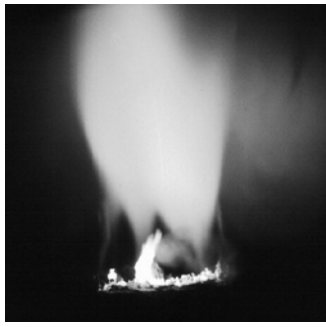


Abbildung 4: Modifizierter Double-Base, Fotografien der Abbrandoberfläche bei verschiedenen Drücken



2,0 MPa



4,0 MPa

Abbildung 5: JA2, Fotografien der Abbrandoberfläche bei verschiedenen Drücken

An- und Abbrandverhalten von transparentem und graphitiertem JA2 bei identischer Plasmaanzündung in ballistischer Bombe

Wird JA2 in einer ballistischen Bombe mittels Plasma angezündet, zeigen sich abhängig von den Absorptionseigenschaften drastisch unterschiedliche Abbrandverhalten. Abbildung 6 zeigt das Ergebnis beim Beschuss einer transparenten (ungraphitierten) und einer schwarzen (graphitierten) JA2 Platte.

Ladedichte (0.117g/cm^3) Anzündenergie (2kJ).

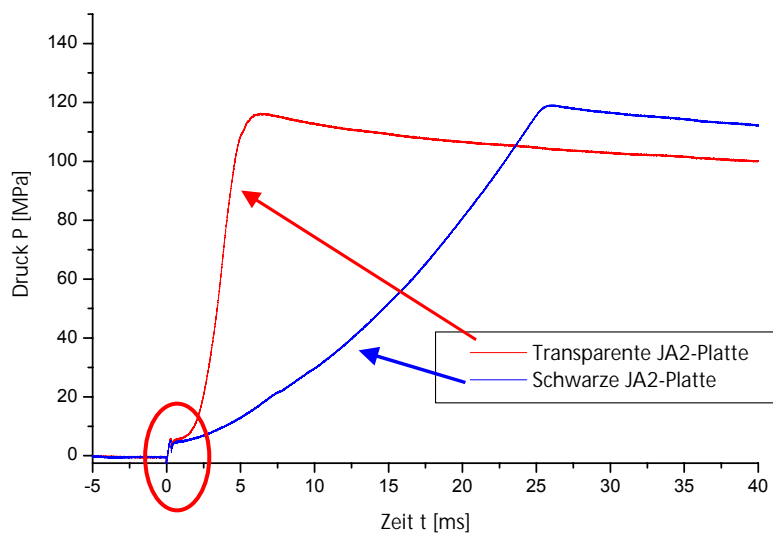


Abbildung 6: Plasmaanzündung an ursprünglich unporösem JA2

Obwohl die eigentliche Plasmaeinwirkungszeit nur wenige 100 Mikrosekunden dauerte, ist das Druckaufbauverhalten völlig unterschiedlich. Untersuchungen,

bei denen der Abbrand abgebrochen wurde, führen zu drastisch unterschiedlichen Ergebnissen für schwarzes und transparentes JA2. Während sich bei schwarzem JA2 Poren und Krater an der plasmabeaufschlagten Oberfläche mit einer Eindring- und Wirtiefe der Strahlung von etwa 60 Mikrometer gebildet hatten, war das transparente JA2 durch und durch mit Porositäten durchzogen. Abbildung 7 zeigt Elektronenmikroskopieaufnahmen von schwarzem JA2, Abbildung 8 präsentiert Fotografien von plasmabeaufschlagtem und damit vorfragmentiertem transparentem JA2.

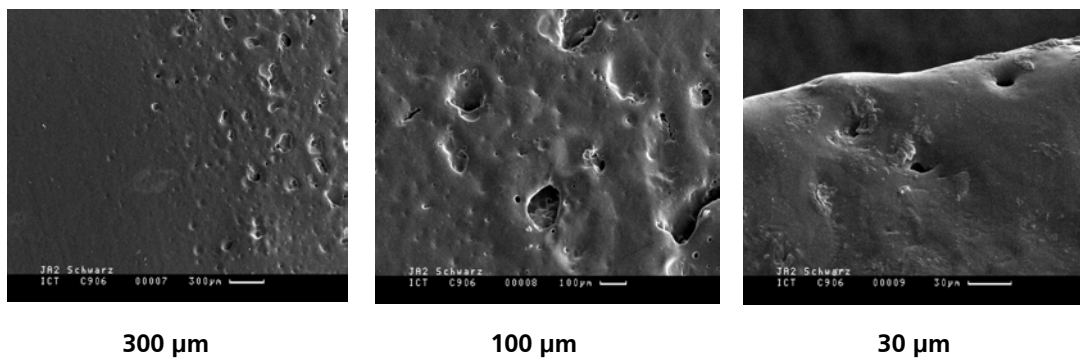


Abbildung 7: Elektronenmikroskopieaufnahmen von schwarzem JA2 nach Plasmabeaufschlagung in offenem Versuch, linkes und mittleres Bild Aufsicht, rechtes Bild Seitenansicht



Abbildung 8: transparentes JA2 nach Plasmavorbehandlung, rechts Detailaufnahmen

Bei schwarzem JA2 wird die Strahlung an der Oberfläche absorbiert, nach Ende der Lichtbogenphase findet konventioneller Abbrand statt. Transparentes JA2 wird innenfragmentiert. Die Flammen können in die Poren eindringen und es kommt zu einer schnellen Umsetzung des Pulvers. Abbildung 9 zeigt Rasterelektronenmikroskopaufnahmen von transparenten JA2, das während

der Lichtbogenphase ausgasen konnte, ohne dass in der Zelle ein Druck aufgebaut wurde. Gleichartige Proben wurden bei gleicher Anzündung in der Bombe geschossen und der Abbrand bei 20 MPa abgebrochen. Insgesamt wurde dabei 59% der ursprünglichen Masse umgesetzt.

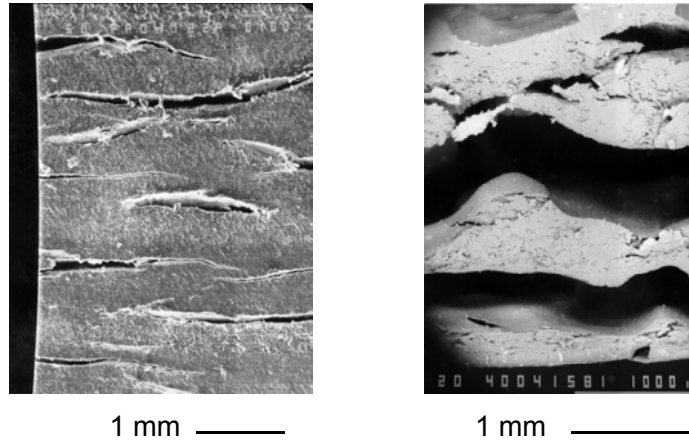


Abbildung 9: Seitenansicht JA2 Probe nach Vorfragmentierung (links) und nach Abbrandunterbrechung (rechts)

Abbrandverhalten poröser und unporöser JA2-Strands in Optischer Bombe

Werden die Umsatzgeschwindigkeiten bei konstanten Drücken von unporösen und mittels Plasmaanzündung vorbehandelten (und damit porös gemachten) JA2 Strands in der Optischen Bombe untersucht, bestätigt sich, dass mit Hilfe der Plasmaanzündung bei bestimmten transparenten Treibmittelformulierungen Poren beziehungsweise eine Fragmentierung erzeugt werden kann, die von ihren Abmessungen so sind, dass Flammen schon bei relativ niedrigen Drücken eindringen können. Abbildung 10 zeigt die Messergebnisse für unbehandeltes und vorfragmentiertes JA2. Die Abbranduntersuchungen an den vorfragmentierten Proben zeigen, dass dabei Ausrichtung und Struktur der Fragmentierung für den Massenumsatz von Bedeutung sind. Schon bei 4 MPa ist die Flamme in die poröse Struktur eingedrungen und die Abbrandgeschwindigkeit wurde dadurch massiv erhöht.

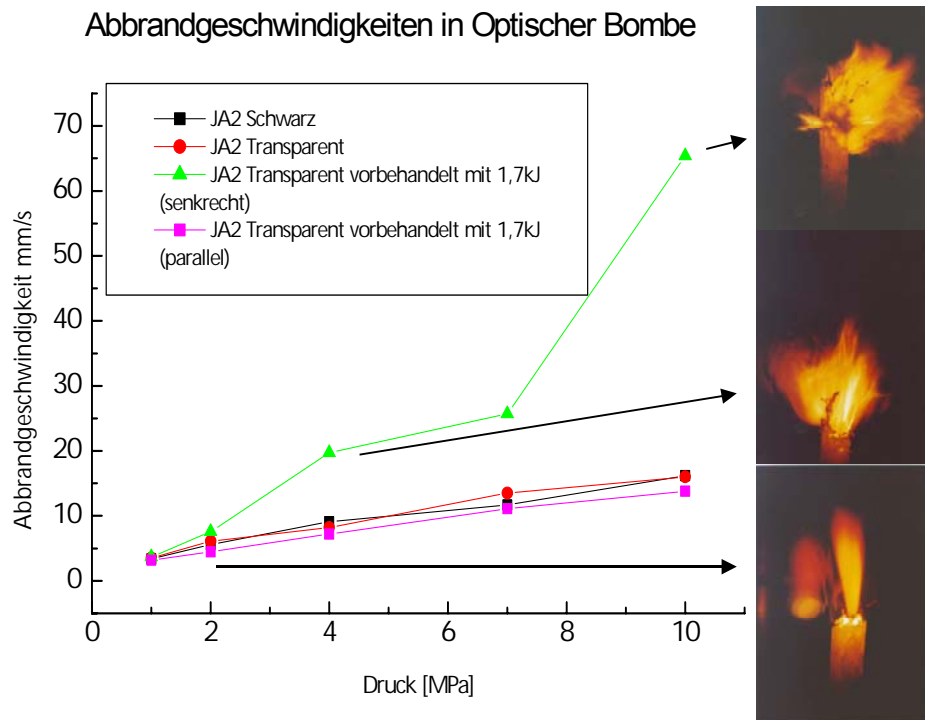


Abbildung 10: Nachweis der Erhöhung der Massenkonversionsrate in Folge einer gezielten Erzeugung von Porosität in transparentem JA2

Fazit

Die Untersuchungen zeigen, dass Poren nicht allein durch eine Vergrößerung der Abbrandoberfläche Einfluss auf An- und Abbrand nehmen. Der Energieeintrag an der Oberfläche und in die Tiefe des Treibmittels sind bestimmend für dessen Abbrandverhalten. Dabei sind verschiedene Wirkmechanismen beteiligt und führen zu einem komplexen Wechselspiel. Daher kann das Abbrandverhalten poröser Ladungen nicht einfach durch die standardmäßige Anwendung des Vieilleschen Gesetzes beschrieben werden.

Literatur

- [1] FISCHER T.S., MESSMER A., Burning Characteristics of Foamed Polymer Bonded Propellants, Proceedings of the 19th International Symposium on Ballistics, Interlaken, Switzerland, 7 –11 May **2001**, p. 107-114

- [2] FISCHER T.S., BÖHNLEIN-MAUSS J., EBERHARDT A., EISENREICH N., Abbrandeigenschaften geschäumter polymergebundener Treibladungen, Proceedings of the 33rd International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, **2002**, p. 139 / 1-14
- [3] FISCHER T.S., BÖHNLEIN-MAUSS J., EBERHARDT A., Abbrandverhalten geschäumter Rohrwaffentreibmittel - Abbrandunterbrechungsuntersuchungen, Proceedings of the 34th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, **2003**, p. 165 / 1-12
- [4] BÖHNLEIN-MAUSS J., EBERHARDT A., FISCHER T.S., Foamed Propellants, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 27, **2002**, p. 156-160
- [5] van DRIEL C., KOBES J., BROEKHUIS R., Characterisation of Porous Single Base Propellant, Proceedings of the 34th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, **2003**, p. 112 / 1-12
- [6] von LAAR K., Rückstoßfreie Maschinenkanone RMK 30 und ihre Munition, Wehrtechnisches Symposium - Maschinenkanonen, Bundesakademie für Wehrverwaltung und Wehrtechnik, Mannheim, Oktober **2002**
- [7] REUTER I., MK 2000 und ihre Munition, Wehrtechnisches Symposium - Maschinenkanonen, Bundesakademie für Wehrverwaltung und Wehrtechnik, Mannheim, Oktober **2002**
- [8] MESSMER A., PFATTEICHER A., SCHMID K., KUGLSTATTER W., Foamed propellants with energetic binders, Proceedings of the 31st International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, **2000**, p. 111 / 1-13
- [9] KOLECZKO A., EISENREICH N., Fragmentierungsphänomene von transparenten NENA Treibladungspulver, Proceedings of the 34th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, **2003**, p. 167 / 1-7
- [10] KAPPEN K., DERLICH H., Plasma-Propellant Interaction: Progress in Understanding, Modeling and Simulation, Proceedings of the 34th

International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Germany, **2003**, p. 4 / 1-11

- [11] FISCHER T.S., BÖHNLEIN-MAUSS J., EBERHARDT A., EISENREICH N., Abbrandverhalten geschäumter Treibladungsformkörper; Experimente und Simulation, Wehrtechnisches Symposium - Innenballistik, Bundesakademie für Wehrverwaltung und Wehrtechnik, Mannheim, Mai **2003**, p. 19
- [12] FISCHER T.S., KOPPENHÖFER W., LANGER G., WEINDEL M., Modellierung von Abbrandphänomenen bei porösen Ladungen, 30th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Federal Republic of Germany, **1999**, p. 98 / 1-13
- [13] EISENREICH N., FISCHER T., LANGER G., S. KELZENBERG, WEISER V., Burn Rate Models for Gun Propellants, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 27, **2002**, p. 142-149
- [14] WEISER, V.; EISENREICH, N.; POLLER, S.; KELZENBERG, St.; ECKL, W., Experimental and theoretical investigations of ADN model propellant flames; 37th AIAA/ASME/SAE/ASEE JPC Conference and Exhibit; 8-11 July 2001, Salt Lake City, USA; AIAA 2001-3857, pp. 1-6