

Fragmentierungsphänomene von transparenten NENA Treibladungspulver

Andreas Koleczko, Norbert Eisenreich

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie, 76327 Pfinztal, Germany

Einleitung

Das Konzept elektrische Energie zum Antrieb von Projektilen einzusetzen ist relativ alt. Im Wesentlichen wurde lange Zeit allein auf die Elektrik gesetzt, wobei 2 Grundtypen in Frage kamen:

- die Schienenkanone, die über magnetische Felder die Beschleunigung herbeiführt, und Geschwindigkeiten weit über 2000 m/s erzielt wurden
- der Elektrothermische Antrieb, bei dem ein inertes Material z.B. Polyethylen in die Gasphase überführt und stark aufgeheizt wird.

Prinzipiell sind mit beiden Methoden effektive Antriebe zu realisieren. Allerdings sind gewaltige Speicherkapazitäten für die kurzzeitig freizusetzende elektrische Energie notwendig, sodass nur stationäre Anwendung überhaupt angedacht werden können. Eine substantielle Reduzierung der Speichermasse ist in absehbarer Zeit nicht zu erwarten.

Inzwischen hat sich der Gedanke einer elektrothermisch-chemischen Kanone (ETC) durchgesetzt, wobei man die chemische Energie konventioneller oder angepasster Treibmittel nutzt, und die elektrische Energie additiv einsetzt oder als Hilfsmittel ausschöpft. Als erster Schritt ist mit vertretbarem Einsatz von elektrischer Energie die Anzündung zu realisieren, die bereits zu erheblichen Leistungssteigerungen führen kann. Der zweite Schritt ist die Ausnutzung der Fragmentierungseigenschaften einiger geeigneter Pulver wie z.B. JA2 oder NENA-Pulver in ihrer transparenten bzw. graphitlosen Form.

Das Fragmentierungsphänomen des transparenten NENA-Pulvers, das ein Composite TLP auf der Basis von Nitrocellulose, Hexogen und Methyl-NENA ist, soll hier genauer untersucht werden.

Untersuchungsmethoden

Wie bereits in früheren Arbeiten wurden hier die Pulverproben in offenen Versuchen und in der ballistischen Bombe untersucht.

In Bombenversuchen werden wie in der klassischen Innenballistik Druck-Zeitverläufe aufgenommen. Zusätzlich wird Spannung, Strom und die eingekoppelte Energie gemessen. Bei den hier beschriebenen Versuchen wurde versucht die Reproduzierbarkeit des Abbrandes bei verschiedenen Anzündenergien zu untersuchen. Beim transparenten NENA-Pulver bedeutet dies, zu überprüfen, ob die Fragmentierung reproduzierbar zu erreichen ist.

Bei den offenen Versuchen werden die Pulverstreifen in eine Kunststoffhülse mit dem Lichtbogen belastet. Nach dem Versuch kann die Probe auf unterschiedliche Weise untersucht werden. In dieser Arbeit sollte das Ausgasungsverhalten aus den Poren nach einem offenen Versuch untersucht werden. Hierzu wurden die ausweichenden Gase in einem IR-Gasphasenspektrometer als Funktion der Zeit registriert.

Offene Versuche

Bei früheren Arbeiten mit transparentem NENA-TLP konnten deutliche Fragmentierungseffekte festgestellt werden. Der Fragmentierungsvorgang konnte anhand der offenen Versuchreihen qualitativ erklärt werden. Bei niedrigen Energiedichten sind wenige, große Blasen unter der Oberfläche zu sehen. Bei hohen Leistungen wird die Anzahl der Blasen schnell größer, wobei diese immer kleiner werden. Die Bildung der Blasen ist auf Zersetzungsvorgänge und Ausgasung innerhalb des TLP zurückzuführen. Bei geringer Leistung gibt es wenige Zentren, an denen eine Ausgasung stattgefunden hat. Die Blasen sind somit voneinander separiert und die Gase können nicht entweichen. Um diese Theorie zu untermauern wurden NENA-TLP Streifen von gleicher Größe in einem IR-Gasphasenspektrometer 240 min beobachtet. Ein Streifen wurde mit 84kW/cm^2 behandelt, der andere mit 171kW/cm^2 . Im Chemigramm in der Abb.1 ist der Verlauf der Ausgasung bei Raumtemperatur dargestellt. Erwartungsgemäß gast die stärker belastete Probe stärker aus, was ein Indiz für höheren Fragmentierungsgrad ist. Zum Vergleich ist hier auch die Ausgasung einer mit 95kW/cm^2 JA2 Probe dargestellt. Diese gast am Anfang stärker aus und geht gegenüber der NENA Proben schneller in Sättigung. Aus den Kurvenverläufen kann man schließen dass JA2 offenerporiger fragmentiert als NENA. Dieser Erkenntnis deckt sich mit den Ergebnissen aus den bereits früher durchgeführten ballistischen Experimenten. Um die Umsatzgeschwindigkeiten von JA2 bei einer definierten Plasmaanzündung zu erreichen musste beim NENA etwa die doppelte Energie eingekoppelt werden. Der Grund dafür liegt darin, dass das Flameneindringen bei einer offenzelligen Struktur höher ist. Diese kann beim NENA erst durch eine höhere Anzahl der Poren, also höhere Strahlungsleistung, kompensiert werden.

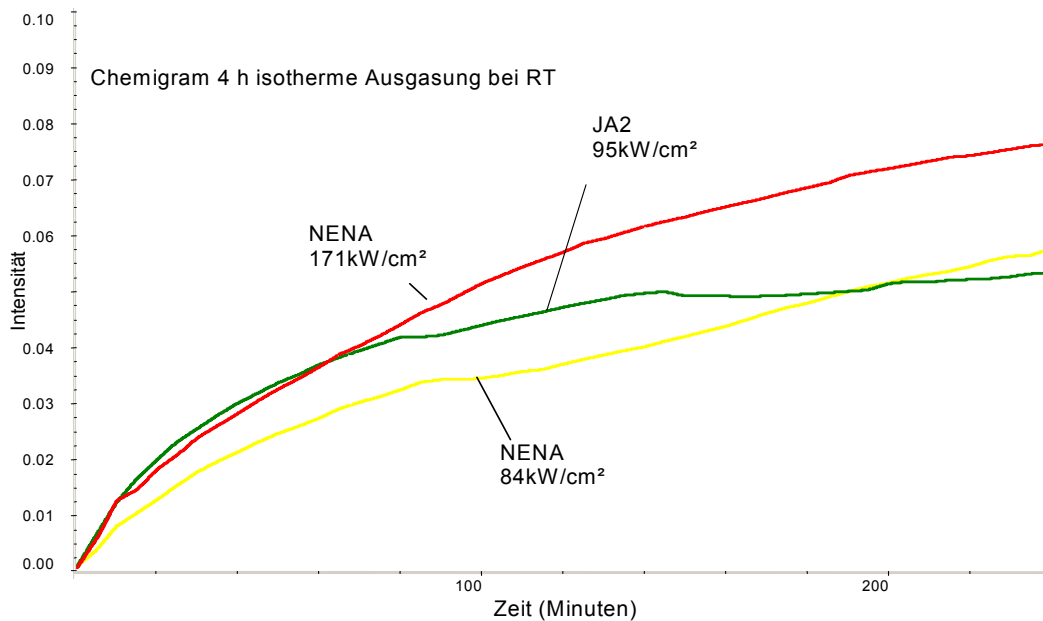


Abb 1. Chemigram der Ausgasung in einem IR-Gasphasenspektrometer der durch Plasmastrahlung vorbehandelten TLP Proben nach einem offenen Experiment.

Ein Wasserfalldiagramm des Ausgasungsvorgangs einer NENA Probe ist in Abb. 2 dargestellt. Zu den Hauptprodukten der Zersetzungsreaktion durch den Lichtbogen gehören CO₂, N₂O, H₂O HCN und CO.

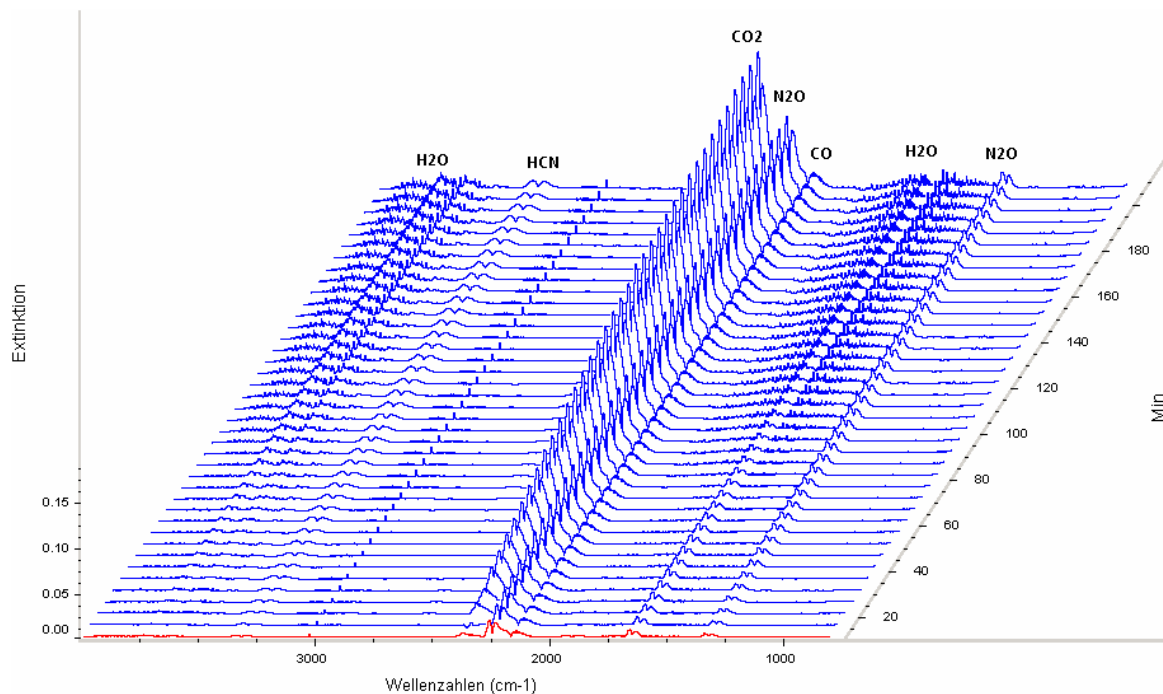


Abb. 2: Wasserfalldiagramm mit zeitlicher und spektraler Auflösung über 4h Ausgasungszeit einer NENA Probe, die mit 84kW/cm² belastet wurde

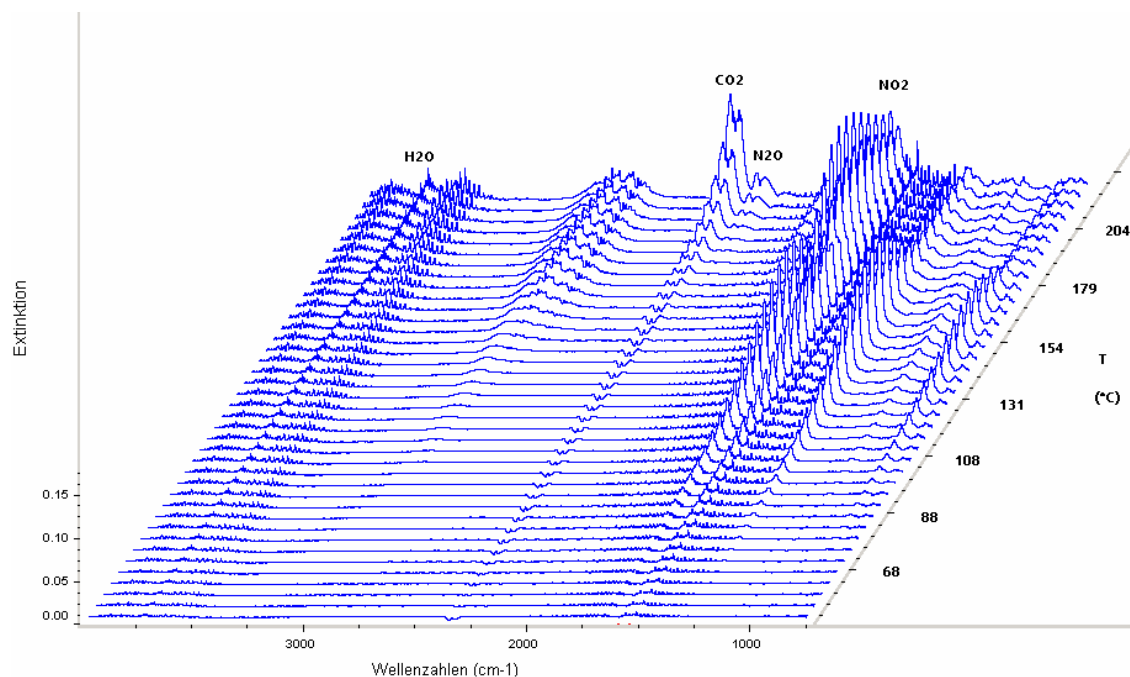


Abb.3: Wasserfalldiagramm eines Aufheizvorgangs einer NENA-TLP Probe mit zeitlicher und spektraler Auflösung bis zur vollständigen Zersetzung (Aufheizdauer 50 min, Aufheiztemperatur 270°C)

Die Zusammensetzung der Endprodukte eines Aufheizvorgangs einer NENA Probe ist in Abb. 3 dargestellt. Die Reaktion beginnt hier bei knapp 100°C mit der Verdampfung des Methyl-NENA Weichmachers. Dessen Banden sind bis 170°C sichtbar. Die Banden konnten anhand einer Messung von reinem Methyl-NENA identifiziert werden. Die chemische Zersetzung führt zu den Endprodukten CO₂, NO₂, H₂O und N₂O. Die unterschiedliche Zusammensetzung der Gasphase lässt auf zwei verschiedene Zersetzungsmechanismen schließen. Der Grund dafür ist die Schnelligkeit der Aufheizung. Die Lichtbogenaufheizung dauert 350µs was einer Entladungshalbwelle entspricht. Die Zersetzungstemperatur wird aufgrund der diffusen Eigenschaft des Pulvers und der dadurch hervorgerufenen Streuung der einfallenden Strahlung nur an bestimmten Zentren innerhalb des Treibstoffs erreicht. Die mittlere Temperatur des Streifens erhöht sich zwar auf 40-50°C, liegt aber hier noch deutlich unter der Zersetzungstemperatur.

Wird die Zersetzungstemperatur in so einem Zentrum erreicht findet Pyrolyse statt, die allerdings nach eine 350µs schon beendet ist. In diesem Zeitraum ist eine Pore entstanden. Die hier entstandenen Produkte werden durch die umgebene kühleren Pulverwände schnell abgekühlt. Weitere Reaktionen in der Gasphase werden somit unterbunden und die gebildete Gaszusammensetzung kann beim Ausgasen aus der Probe registriert werden.

Bei einer kontinuierlichen langsamen Erhitzung nimmt die Temperatur homogen in der Probe und in der Gasphase zu. Dies führt am Anfang zu Verdampfung des Methyl-NENA Weichmachers und dann ab 170°C zu endgültigen Pyrolyse der einzelnen Pulverbestandteile. Im Gegensatz zu der schnellen Aufheizung können sich hier die thermodynamischen Gleichgewichte in der Gasphase einstellen, was zu unterschiedlichem Produktspektrum führt.

Versuche in der geschlossenen Bombe

Zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit der zufälligen Fragmentierung wurden Bombenschüsse mit ungraphitiertem NENA durchgeführt. Es wurde versucht, mehrere Schüsse mit möglichst gleicher Anzündenergie zu realisieren. In den Abbildungen 4 bis 7 sind einige Ergebnisse dargestellt, die sowohl die anfangsphase, wie auch den Verbrennungsablauf wiedergeben.

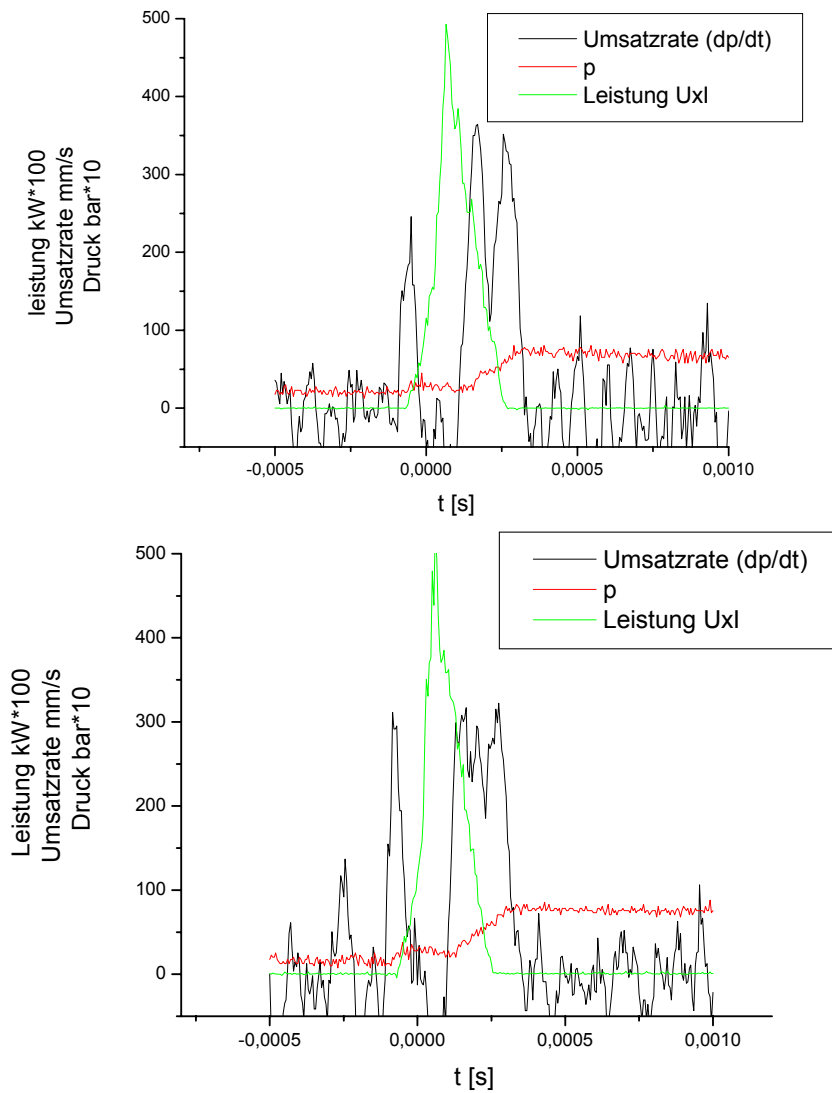


Abb.4: Zwei Versuche mit jeweils 0,6kJ Anzündung, Auflösung in der ersten Millisekunde, des Anzündimpulses

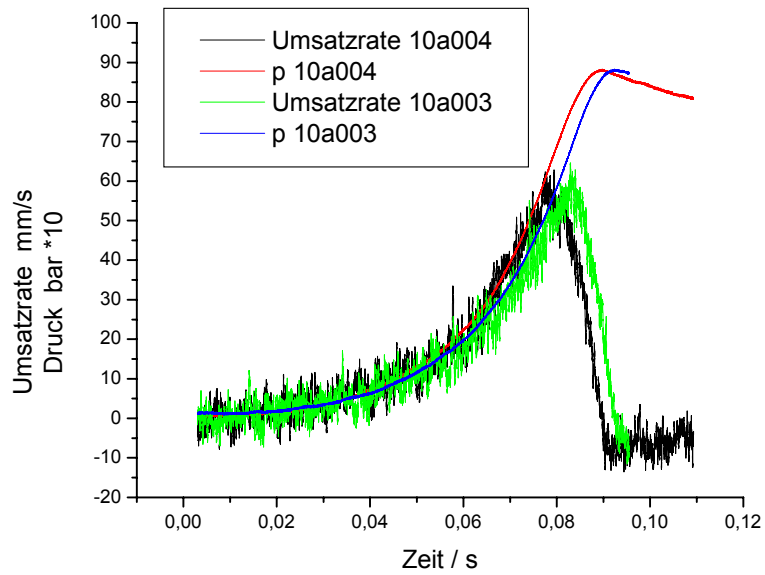


Abb.5: Druck und Umsatzverlauf über die gesamte Schussdauer der Versuche mit 0,6kJ Anzündenergie

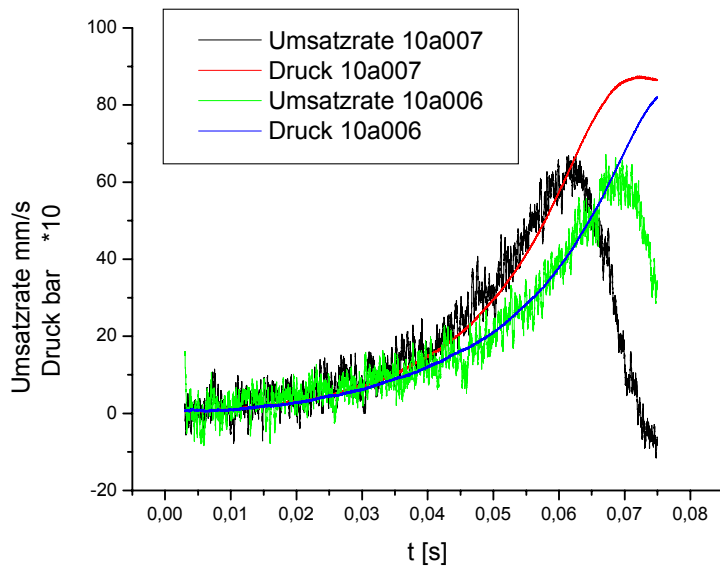


Abb. 6: Druck und Umsatzverlauf über die gesamte Schussdauer der Versuche mit 1,1kJ Anzündenergie

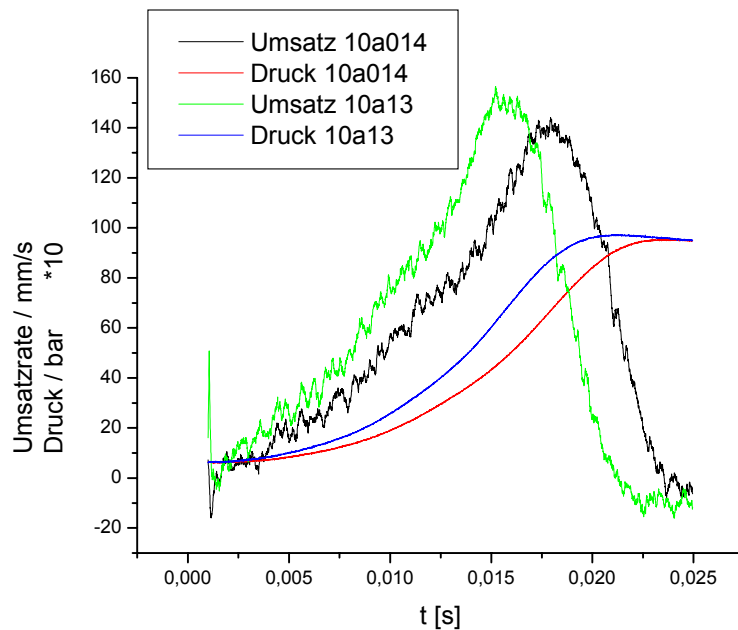


Abb.7: Druck und Umsatzverlauf über die gesamte Schussdauer der Versuche mit 3,3kJ Anzündenergie

Da es sich beim transparenten NENA um eine zufällige Fragmentierung während der Anzündphase handelt, wurde eine gute Reproduzierbarkeit festgestellt. Die Reproduzierbarkeit der Lichtbogenphase und des ersten Druckanstieges wie in Abb.4 zu sehen ist sogar sehr gut. Die Abweichungen in den gemessenen Drücken und Zeiten kommen hauptsächlich von der Kunststoffauskleidung in der Bombe, die innenballistisch gesehen sicher nicht eine Ideallösung ist. Da das Fragmentierungsverhalten von den mechanischen Eigenschaften des Pulvers abhängt und diese wiederum stark Temperatur abhängig sind können bereits kleine Temperaturdifferenzen deutliche Unterschiede im Fragmentierungsgrad bewirken. Dies führt zu unterschiedlichen Umsatzgeschwindigkeiten.

Schlussfolgerungen

NENA-TLP und JA2 unterscheiden sich gravierend in ihrem Fragmentierungsverhalten und auch in dem folgenden Ausgasungsverhalten. Der Grund liegt wahrscheinlich in der unterschiedlichen Struktur und der damit verbunden Lichtabsorption, was auch zu einer anderen, nämlich geschlossenzelligeren Porenstruktur des NENA-Pulvers führt. Generell ist die zufällige Fragmentierung durch die Plasmaanzündung erstaunlich gut reproduzierbar und damit auch gut gezielt einsetzbar.