

Wasser in der flüssigen Phase [25]. Nach der Druckentlastung würde die insgesamt erzeugte Wärme ausreichen, etwa drei Viertel der Wassermenge zu verdampfen (Endtemperatur + 100 °C). Bei Zusatz von Cäsiumchlorid ist wegen der höheren Dichte und der dadurch bedingten größeren Stoßwellenimpedanz die Wärmeerzeugung merklich geringer als im Fall des reinen Wassers. Nach der Druckentlastung sollte daher die Probenmasse zum größeren Teil im flüssigen Zustand, zum kleineren Teil in der Dampfphase vorliegen. Im Fall eines Siedeverzugs bliebe sogar die gesamte Masse flüssig.

Abb. 6 zeigt Röntgenblitzaufnahmen der untersuchten Materialproben im freien Flug zu drei aufeinanderfolgenden Zeiten (Kupfer ist hier nicht aufgeführt, es verhält sich ähnlich wie Aluminium). Bei Aluminium und Glas fliegt die Hauptmasse in Form einer zusammenhängenden flachen Schale. Die dahinter fliegenden Probenteile sind auf Kreisringen angeordnet, was auf den Abplatzeffekt infolge der von der Seite in die Probe hineinlaufenden Entlastungswellen zurückzuführen ist. Auch ein Abplatzeffekt in Flugrichtung ist zu erkennen. Demgegenüber nimmt bei Blei, Zinn und Wasser die Probe im freien Flug eine Hohlkegelform an. Die Konturen sind verwaschen, die Probenmasse erscheint diffus verteilt. In Flugrichtung treten Schlieren auf.

Die unterschiedliche Form bei Aluminium und Glas einerseits, bei Blei, Zinn und Wasser andererseits kann man auf die Unterschiede in der während der Beschleunigung wirksamen Materialfestigkeit zurückführen. Der in der gegebenen Versuchsanordnung auftretende radiale Gradient der Geschwindigkeit muß nämlich bei Medien mit vernachlässigbarer Festigkeit (fluide Medien) zu einer Hohlkegelform der Probe im freien Flug führen, während bei Medien mit hinreichend großer Festigkeit ein teilweiser Ausgleich der Geschwindigkeitsunterschiede in radialer Richtung stattfindet.

Im Fall der wäßrigen Probe ist bemerkenswert, daß der Hauptmasse eine Teilmasse in Form einer ebenen Platte vorausfliegt. Dies ist wahrscheinlich auf einen Abplatzeffekt bei der Reflexion der ersten durchlaufenden Stoßwelle an der freien Oberfläche der Probe zurückzuführen. Bei dem sehr kurzzeitigen Reflexionsvorgang ist nämlich die Zerreißeigigkeit des Wassers nicht vernachlässigbar klein, vielmehr dürfte der Wert für sauberes, blasen- und keimfreies Wasser (etwa 10 bis 20 kp/mm<sup>2</sup> [26],[27]) gelten. Entsprechend dem endlichen Wert der Zerreißeigigkeit platzt eine Schicht endlicher Dicke von der Hauptmasse ab. Die Massenelemente am Probenrand tragen jedoch zum Abplatzeffekt nichts bei, da hier bereits die erste durchlaufende Stoßwelle durch die seitliche Druckentlastung zu stark geschwächt wird. Aus dem Zurückbleiben der Hauptmasse gegenüber der abgeplatzten Schicht kann man weiterhin schließen, daß in der gegebenen Ladungsanordnung bereits die erste durch die Wasserprobe laufende Stoßwelle einen ausgeprägten Abfall von Druck und Geschwindigkeit nach hinten zeigt.

#### 4.2.2. Auffangversuche

Zur Auswertung der Auffangversuche wurde das aufgefangene Material (die in eine Vielzahl von Partikeln zerlegte Probe sowie mitgerissene Filzfasern) für eine grobe Klassifizierung in drei verschiedene Fraktionen aufgeteilt. Die Fraktion 1 aus spezifisch leichtem Material wurde von der Wasseroberfläche abgeschöpft; die Fraktion 2 besteht aus relativ großen Partikeln, die sich vergleichsweise schnell am Boden des Gefäßes absetzen, und die Fraktion 3 aus einer Verteilung sehr kleiner Partikeln, die sich erst nach Stunden oder Tagen absetzen.

Bei Aluminium, Kupfer oder Glas enthält die Fraktion 1 den größten Teil der mitgerissenen Fasern, während sich in der Fraktion 2 der größte Teil der Probenmasse mit Partikelgrößen von 100 µm an aufwärts findet (im Fall von Glas enthält auch die Fraktion 3 noch einen merklichen Massenanteil

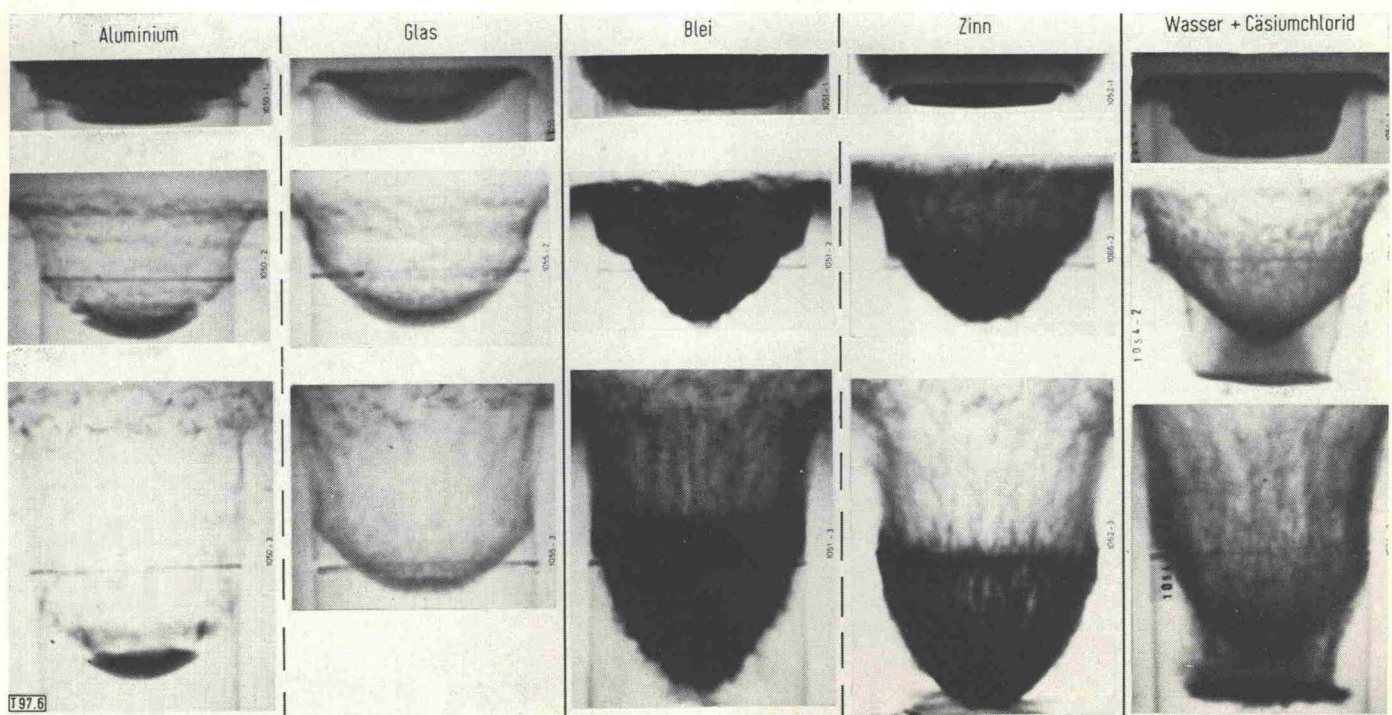


Abb. 6. Freiflugverhalten verschiedener Materialproben nach Beschleunigung mittels Comp. B. (Zeit zwischen den Bildern jeweils etwa 20 µs.)



mit Partikelgrößen unter  $100\ \mu\text{m}$ ). Bei Blei und Zinn enthält die Fraktion 1 demgegenüber nur wenige Fasern; der größte Teil der Fasern befindet sich, durchsetzt bzw. überzogen mit Metall und daher spezifisch schwerer als Wasser, in der Fraktion 2. Ein großer Teil der Probenmasse findet sich hier außerdem in der Fraktion 3 in Form sehr kleiner Teilchen ( $< 5\ \mu\text{m}$ ).

Abb. 7 (links und in Bildmitte) zeigt aufgefangene Fasern. Bei Kupfer und Glas sind diese von milchig weißer Farbe, bei Blei und Zinn metallisch glänzend. Die Form der aufgefangenen Partikeln ist vor allem bei Blei und Zinn bemerkenswert. Bei Blei treten praktisch durchweg, bei Zinn zu einem gewissen Teil, kristallartige Partikeln auf. Ursache dieser Kristallformen ist vermutlich ein dendritisches Wachstum aus der flüssigen Phase. (Abb. 8)

#### 4.3. Versuche mit energiearmem Sprengstoff (Donarit 3)

Aus den beschriebenen Röntgenblitz- und Auffangversuchen mit Comp. B als Sprengstoff kann man schließen, daß Blei und Zinn als Folge der hohen Stoßbelastung in den flüssigen Zustand übergehen. Zur Erhärtung dieses Ergebnisses wurden, gewissermaßen als Gegenprobe, einige weitere Versuche mit Blei- und Zinnproben unter Verwendung des relativ energiearmen Sprengstoffs Donarit 3 durchgeführt. Nach den vom Hersteller angegebenen Sprengstoffdaten [28] läßt sich der in Proben aus Blei oder Zinn entstehende Stoßwellendruck bei senkrechtem Auftreffen der Detonationswelle je nach Verdämmung zu 77 bis 120 kbar (Blei) bzw. 75 bis 116 kbar (Zinn) abschätzen. Der mit diesen Drücken verbundene Temperaturanstieg ist nach Abb. 3 sehr klein, es sollte daher auch bei den niedrigschmelzenden Metallen kein Schmelzen mehr auftreten.

Abb. 9a zeigt Röntgenblitzaufnahmen einer Probe aus Zinn; zum Vergleich sind in Bild 9b die entsprechenden Aufnahmen bei Verwendung von Comp. B als Sprengstoff (Bild 6) nochmals wiedergegeben. Sowohl in der äußeren Form als auch in der „Struktur“ der fliegenden Probe zeigen sich wesentliche Unterschiede. Im Gegensatz zur früheren Hohlkegelform (Abb. 9b) hat die Hauptmasse der Zinnprobe jetzt die Form einer flachen Schale. Außerdem ist die Probe deutlich in einzelne Bruchstücke unterteilt, während vorher (Abb. 9b) eine diffuse Massenverteilung mit verwaschenen Konturen auftrat. Insgesamt weist das Bild der Zinnprobe gerade diejenigen Merkmale auf, die in den Versuchen mit Comp. B als Sprengstoff bei den Proben aus Kupfer und Aluminium angetroffen wurden.

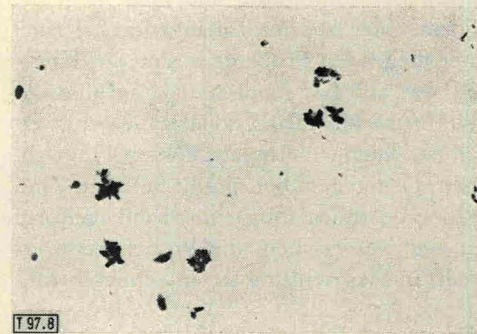


Abb. 8. Aufgefangene Blei-Partikeln. Vergrößerung 400 : 1.

Ähnliches gilt hinsichtlich der Form der aufgefangenen Blei- und Zinnpartikeln. Im Gegensatz zu den Versuchen mit Comp. B als Sprengstoff, bei denen ausgeprägte Kristallbildung auftrat, ist die Form der Partikeln jetzt ganz unregelmäßig.

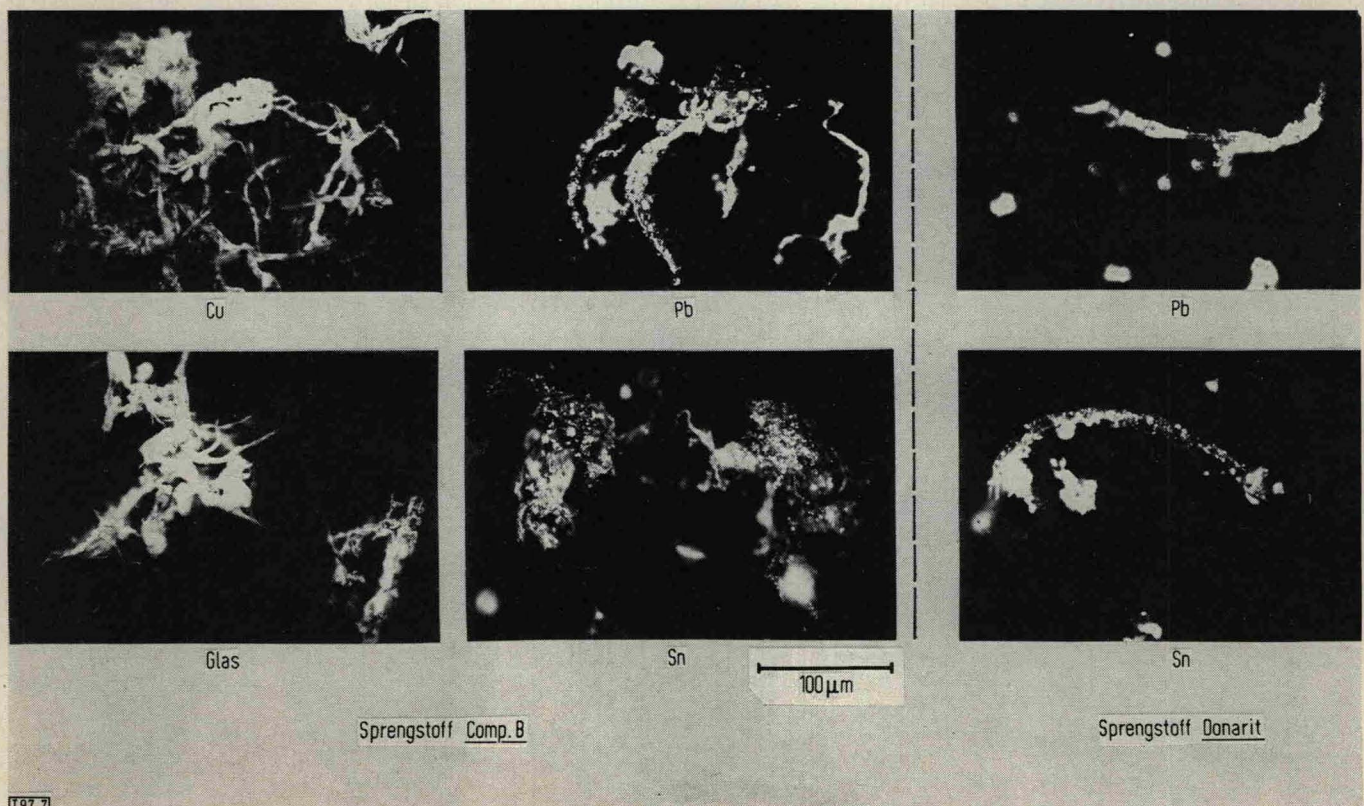


Abb. 7. Beschaffenheit mitgerissener Filzfasern.