

**Zeitschrift:** Protar  
**Herausgeber:** Schweizerische Luftschutz-Offiziersgesellschaft; Schweizerische Gesellschaft der Offiziere des Territorialdienstes  
**Band:** 9 (1943)  
**Heft:** 11  
  
**Artikel:** Die Energievergrößerung von Sprengstoffen durch Aluminiumzusatz : ein Problem der Gegenwart und Zukunft [Schluss]  
**Autor:** Stettbacher, Alfred  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-362977>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Offizielles Organ des Schweizerischen Luftschutz-Verbandes - Organe officiel de l'Association suisse pour la Défense aérienne passive - Organo ufficiale dell'Associazione svizzera per la Difesa aerea passiva

Redaktion: Dr. MAX LÜTHI, BURGDORF - Druck, Administration und Annoncen-Regie: BUCHDRUCKEREI VOGT-SCHILD AG., SOLOTHURN  
Jahres-Abonnementspreis: Schweiz Fr. 8.—, Ausland Fr. 12.—, Einzelnummer 75 Cts. - Postcheck-Konto Va 4 - Telefon Nr. 2 21 55

November 1943

Nr. 11

9. Jahrgang

## Inhalt — Sommaire

Nachdruck ist nur mit Genehmigung der Redaktion und des Verlages gestattet.

	Seite		Page
Die Energievergrößerung von Sprengstoffen durch Aluminiumzusatz — Ein Problem der Gegenwart und Zukunft (Schluss). Von Dr. Alfred Stettbacher, Zürich	233	La Croix-Rouge aérienne au feu. Par le cap. E. Næf	251
Quelques problèmes médico-sociaux posés par les bombardements. Par le Dr. L.-M. Sandoz	242	Problèmes d'avenir. En songeant à notre aviation suisse de demain. Par le cap. E. Næf	253
Kann dieser Dachstockbrand durch die Hausfeuerwehr gelöscht werden? Von Lt. Im Hof	249	Verfügung II des Eidg. Volkswirtschaftsdepartementes über Errichtung von Sanitätsposten und Bereitstellung von Sanitätsmaterial für die Zivilbevölkerung. (Ausrichtung von Bundesbeiträgen)	254
Ueber die Wirkung von Phosphor-Brandbomben auf den menschlichen Organismus und deren Behandlungsmöglichkeiten. Von Oblt. G. Peyer	250	Literatur	256
		Demonstrationsmaterial des Schweizerischen Luftschutz-Verbandes	257

## Die Energievergrößerung von Sprengstoffen durch Aluminiumzusatz - Ein Problem der Gegenwart und Zukunft

Von Dr. Alfred Stettbacher, Zürich

(Schluss)

### Thermo- und explosiv-chemische Kennzeichnung der Cellulosenitrate.

Gleich wie zwischen dem Stickstoffgehalt und den übrigen stöchiometrischen Konstanten der Nitrocellulosen einfache lineare Funktionen bestehen, so hängen auch in gleicher Weise die Bildungs-, Verbrennungs- und Detonationswärmen sowie die Detonationstemperaturen linear vom Stickstoffgehalt dieser Esterverbindungen ab.

Milus<sup>9)</sup> untersuchte fünf verschiedene Nitrocellulosen von 11,62 bis 13,45 % N in der calorimetrischen Bombe und erhielt nach graphischer Darstellung der Zahlen folgende Zusammenhänge mit der Explosionswärme  $Q_v$  und der Bildungswärme  $F_v$ :

$$Q_v = 145,8 \cdot (\% N) - 874$$

$$F_v = 1428,2 - 66,26 \cdot (\% N)$$

Ferner stehen Schiesswoll-Stickstoff und absolute Detonationstemperatur  $T$  in folgender Beziehung:<sup>10)</sup>

$$T = 423 \cdot (\% N) - 2309.$$

Nach diesen einfachen Formeln errechnen sich für eine Anzahl typischer Collodium- und Schiessbaumwollen die folgenden Konstanten:

<sup>9)</sup> Ind. and Eng. Chemistry, 29, S. 492—494 (1937), E. I. Du Pont de Nemours & Co.

<sup>10)</sup> Muraour und Aunis, Mém. de l'Art. française, 1935, S. 325.

N-Gehalt %	Detonations- wärme $Q_v$ kcal/kg	Bildungs- wärme $F_v$ kcal/kg	Detonationstemperatur $T$ °	$t$ °
11,11	745,8	692,1	2391	2118
11,97	871,2	635,1	2754	2481
12,24	910,6	617,2	2868	2595
12,3	913,3	613,2	2894	2621
12,75	985,0	583,4	3084	2811
13,3	1056,9	546,9	3317	3044
13,7	1123,5	518,4	3486	3213
13,8	1138,0	513,8	3528	3255
14,0	1167,2	500,6	3613	3340
14,14 max.	1187,6	491,3	3672	3399

Diese unverhältnismässig spät entdeckten Zusammenhänge bilden ein wertvolles Hilfsmittel für die thermische Berechnung von Sprenggelatinen, Pentriten und vor allem auch von rauchlosen Pulvern aller Klassen.

In der Chemisch-Technischen Reichsanstalt Berlin (C. T. R.) sind neben vielen andern Bildungswärmen auch die der Cellulosenitrate nachgeprüft worden.<sup>11)</sup> Nachstehend geben wir eine Zusammenstellung der zu einem bestimmten N-Gehalt experimentell ermittelten Verbrennungswärmen und den daraus berechneten Bildungswärmen; daneben stehen die für denselben Stickstoffgehalt berechneten Bildungswärmen nach Milus.

<sup>11)</sup> Albert Schmidt, Z. f. Schiess- u. Sprw., 1934, S. 262, und 1933, S. 280—282.

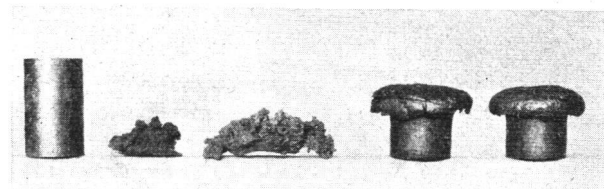
N-Gehalt %	Verbrennungswärme (experimentell, C.T.R.) kcal/kg	Bildungswärme, berechnet nach	
		C.T.R. kcal/kg	Milus kcal/kg
11,64	2515	699	657
12,20	2437	664	620
12,81	2370	605	579
13,45	2280	558	537
14,12	2208	500	493

Nach den deutschen Bestimmungen wären die Cellulosenitrate etwas energieärmer als nach den amerikanischen; da uns aber die Werte von Milus keineswegs übersetzt erscheinen, haben wir diese den nun folgenden Berechnungen zugrunde gelegt.

Von den übrigen benutzten Bildungswärmen, die von der *Chemisch-Technischen Reichsanstalt Berlin* grösstenteils kontrolliert wurden, seien angeführt:

	Bildungswärme in kcal/Mol
Nitroglycerin . . . . .	+ 82,7
Pentaerythrit-tetranitrat (Pentrit) . . . . .	+ 123
Erythrit-tetranitrat . . . . .	+ 114
Nitrobenzol . . . . .	+ 6,2
Toluol . . . . .	— 8
Stickstofftetroxyd ( $N_2O_4$ ) . . . . .	— 2,7
Salpetersäure ( $HNO_3$ ) . . . . .	+ 41,5
Aluminiumoxyd ( $Al_2O_3$ ) . . . . .	+ 393,3
(Aluminiumoxyd, neueste Bestimmung <sup>12)</sup> )	+ 402,9)

Die Bildungswärmen der *Cellulosenitrate* (Colloidiumwollen) werden, wie aus den vorstehenden Ausführungen ersichtlich, nach einer empirisch erhaltenen Formel jeweilen aus dem N-Gehalt berechnet und je g oder kg, also nicht in kcal/Mol angegeben, was beim Einsetzen in die Verbrennungsgleichungen wohl zu beachten ist.



Bleizylinder vor dem Schuss 391 g    Pentrit 45,0 g    Pentrit 25,5 g + 4,5 g Al-gries 137,7 g    Gelatine-Aldorfit 389 g    Aldorfit 26,2 g + 3,8 g Al-staub 391 g

Abb. 4.

Wirkung des Aluminium-Zusatzes bei Sprengstoffen. Stauchversuche mit je 30 g Ladung auf Bleizylindern von 30 mm Durchmesser und 50 mm Höhe. Die zu-unterst angeführten Gewichtszahlen beziehen sich jeweils auf das vom beschossenen Zylinder übrig gebliebene Blei.

Die keineswegs erhebliche Brisanzverkleinerung durch das Aluminium steht im Einklang mit den von *Tonegutti*<sup>13)</sup> später angeführten Zahlen; verblüffend dagegen ist der Unterschied zwischen dem *Pentrit* und dem frisch durchgекneteten, d. h. voll detonierenden *Gelatine-Aldorfit* (Sicherheitsdynamit), wo die Bleiverluste der beschossenen Zylinder 88,5 % und 0,6 % ausmachen.

<sup>12)</sup> H. Remy, Lehrbuch der anorg. Chemie, Bd. I, 1943, S. 306.

<sup>13)</sup> Suppl. tecnico della Rivista d'Artiglieria e Genio, Okt. 1941, S. 108—117.

## Sprengstoff-Kennzahlen.

Die der grossen Uebersichtstabelle zugrunde liegenden Berechnungen bezwecken, Klarheit auf einem Gebiete zu schaffen, das von alters her vernachlässigt war und in der jetzigen Zeit besonders Gefahr läuft, von der Kriegspresse zu Sensationsnachrichten missbraucht zu werden. Die bis heute übersehene, energetische Wirkungssteigerung der stärksten Sprengstoffe durch Aluminium wird sowohl rechnerisch als auch experimentell der Beurteilung zugänglich gemacht. Wie man sieht, handelt es sich höchstens um eine *doppelte*, niemals um eine «fünffache» Wirkung, denn die oft erwähnten «fünffachen Ladungen» beziehen sich auf das vergrösserte Traggewicht und nicht auf die absolute Stärke. Bei den hochbrisanten Grundsprengstoffen wie Dynamit und Pentrit werden die verschiedenen Konstanten sowohl bei der Detonation an freier Luft (winddruckerzeugende Blockbomben) als auch bei konstantem Volumen (in Festgrund oder Wasser eingedrungene Geschosse) berechnet. Die Abweichungen sind unbedeutend, dürften aber da und dort zur Berichtigung falscher Annahmen und Vorstellungen willkommen sein. Als weiteres Kriterium wurde sodann auch der *spezifische Druck* herangezogen, jedoch nicht in der gewöhnlichen, von *Berthelot* übernommenen Definition, sondern unter Berücksichtigung des Covolumens von  $\frac{1}{1000}$  des Normalvolumens. Der spezifische Druck  $f$  ist der Druck, den die Detonationsgase von 1 kg Sprengstoff bei der Detonationstemperatur in der Raumeinheit eines Liters entwickelten, wenn man sich die Einschlusswände als unnachgiebig stark denkt. Die nach *Berthelot* berechneten Drucke liegen nun bloss um 10'000 at herum, sind also für die Ladedichte 1 viel zu niedrig, während die unter Berücksichtigung des *Covolumens* (als des starren, nicht mehr zu verkleinernden Rückstandes der Gasmoleküle) erhaltenen Zahlen dem praktischen Vergleich näher kommen.

In der Tabelle sind jeweils die *Höchstsdichten* der Explosivgemenge angeführt. Diese Maximalverdichtungen beziehen sich auf völlig *entlüftete* Ladungen, wie solche durch Lagern im Vakuum-Exsikkator bei Dynamit und Pentrit mit und ohne Aluminiumzusatz leicht zu erhalten sind.

Die *Dichte* lässt sich aus der Dichte der einzelnen Sprengstoffbestandteile, sofern diese unter sich keine besondere Löslichkeit aufweisen, leicht berechnen. Die Höchstdichte der Sprenggelatine wird seit über 50 Jahren zu 1,63 angegeben. Indessen zeigt eine kurze Ueberschlagsrechnung, dass diese Zahl zu hoch sein muss. Das spezifische Gewicht des Nitroglycerins beträgt 1,60, das der Baumwollnitrocellulose 1,66 bei 15°. Das ergibt für eine Sprenggelatine von 91 % Nitroglycerin und 9 % Collodiumwolle  $0,91 \cdot 1,60 + 0,09 \cdot 1,66 = 1,6054$ . Wird die schwerere Holznitrocellulose 1,71 verwendet, erhöht sich die Zahl auf 1,6099, also nicht einmal ganz 1,61! — Bei den *aluminiumhaltigen* Sprengstoffen wurde für das Leichtmetall

(spezifisches Gewicht 2,70 bei 99,995 % Reinheit) stets die «untere» Dichte von 2,6 angenommen, so dass die Ladedichten eher zu niedrig angeführt sind und in hochgepressten Brand- und Leuchtbranzgemengen praktisch ohne weiteres erreicht werden.

Zur Erleichterung der Nachkontrolle, gleichsam als Beleg zur Schlusstabelle, folge nun eine Anzahl von Rechnungsbeispielen mit den notwendigsten Erläuterungen.

**Sprenggelatine:** Nitroglycerin, gelatiniert mit Collodiumwolle, bestehend aus einem Gemenge von 2 Mol Ennea- und 1 Mol Dekä-Cellulosenitrat (12,235 % N) im idealen Verbrennungsverhältnis.

### 1. Detonations-(Explosions)-Wärme, Wasser dampfförmig.

Nimmt man nach folgender Gleichung die *Bildungswärme* der Nitrocellulose (statt zu 617,2 nach Milus) nach Schmidt zu 660 kcal/kg an, so

<p>Nitroglycerin 148 C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> + 3 C<sub>24</sub>H<sub>30,2/3</sub>O<sub>10,2/3</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>9,1/3</sub></p> <p>148 · 227,094 + 3 · 1068,56 33,609912 + 3,20568 = 31,815592 kg</p> <p>100 + 9,538 91,293 % + 8,707 %      <b>1 kg</b></p>	<p>Collodiumwolle</p> <p>516 · 96 + 416 · 57,81 = 516 CO<sub>2</sub> + 416 H<sub>2</sub>O + 236 N<sub>2</sub> + 59366,8 kcal</p> <p>(dampfförmig)</p>	<p>73584,96 — 14218,16</p> <p>516 · 96 + 416 · 57,81 — (148 · 82,7 + 3,206 · 617,2)</p> <p>59366,8 kcal bei konstantem Druck</p> <p><b>1612,5 kcal (Q<sub>p</sub>)</b> bei konstantem Druck, Wasser dampfförmig.</p>
---	---	--

sind an Stelle der  $3,2057 \cdot 617,2 = 1975,1$  kcal  $3,2057 \cdot 660 = 2115,7$  kcal zu subtrahieren, und man erhält — Wasser gleichfalls dampfförmig —  $Q_p$  zu  $\frac{59326,2}{36,8156} = 1611,4$  kcal/kg, also um nur 1,1 kcal/kg tiefer.

Die Detonationswärme  $Q_p$  eines in freier Luft — unter dem konstant lastenden Atmosphärendruck — explodierenden Sprengstoffs ist stets etwas kleiner als bei der Explosion unter konstantem Volumen  $Q_v$ , weil im ersten Falle die sich ausdehnenden Explosionsgase die umhüllende Luft wegzutreiben und dafür eine bestimmte Arbeit zu leisten haben, welche bei der Explosion im starren Einschluss (des Bohrloches z. B.) wegfällt. Diese Arbeit, die das Molarvolumen  $v$  (= 22,415 l) braucht, um sich gegen den konstant lastenden Atmosphärendruck  $p$  zu entwickeln, wird ausgedrückt durch die Gaszustands-Gleichung:

$p \cdot v = R \cdot T$  erg (= Gaskonstante  $[8,313 \cdot 10^7]$  mal absolute Temperatur  $[273,2 + t]^\circ$ ).

Die Arbeitsleistung wächst demnach mit steigender Temperatur und beträgt bei  $20^\circ$  ( $T = 293,2^\circ$ ).

$$pv = 8,313 \cdot 10^7 \cdot 293,2 \text{ erg oder } 0,582 \text{ kcal.}$$

Jedes Mol in freier Luft sich entwickelnden Detonationsgases wird also bei  $20^\circ$  0,582 kcal (0,543 kcal bei  $0^\circ$ ) weniger Explosionswärme liefern als im Einschluss; wie gross oder wie klein

diese Unterschiede sind, zeigen die Zahlen der grossen Tabelle am Schluss.

Für die angeführte Sprenggelatine berechnet sich die Detonationswärme  $Q_v$  bei konstantem Volumen:

$$Q_v = \frac{59366,8 + (516 + 416 + 236) \cdot 0,582}{36,815592} = \frac{60046,6}{36,815592} = 1631,0 \text{ kcal/kg,}$$

Wasser als Dampf.

Bei der Detonation wirkt das Wasser gleich den übrigen hochoverhitzten Gasen als «drückender» Dampf und nicht als kondensierte Flüssigkeit (mit verschwindend kleinem Volumen). Trotzdem begegnet man Angaben von Explosionswärmen, die — auf flüssiges Wasser bezogen — entsprechend höhere Beträge aufweisen und dann einen übertriebenen Energieinhalt der betreffenden Sprengstoffe vortäuschen. Solche Zahlen sind irreführend;

sie haben höchstens eine gewisse Berechtigung bei Sprengungen unter Wasser, wo der Dampf gleich kondensiert wird, ohne jedoch an der — massgebenden — Druckentwicklung irgend etwas zu ändern. Um diese Unterschiede greifbar vor Augen zu führen, sind in der Schlusstabelle vier Parallelangaben solcher Detonationswärmen enthalten; nachfolgend seien zwei Beispiele, bezogen auf Sprenggelatine, detonierend in freier Luft und im Einschluss bei konstantem Volumen, vorgerechnet:

#### a) Detonation in freier Luft, $Q_p$ , Wasser flüssig.

Hier kommt zu der Kondensationswärme des Wasserdampfes noch die zusätzliche Wärme durch die nachdrückende Luft hinzu, weil ja aus 22,4 Litern Wasserdampf je Mol 18 g flüssiges Wasser gebildet werden, was einem verschwindenden Volumen von 22400 ccm minus 18 ccm = praktisch unverändert 22,4 Litern entspricht.

Da nun Wasserdampf, verflüssigt zu Wasser von  $20^\circ$ , je Mol 10,54 kcal frei gibt und gleichzeitig mit der nachdrückenden Luft 0,582 kcal hinzukommen, erhält man — gemäss Grundgleichung — für

$Q_p$ , Wasser flüssig:

$$59366,8 + 416 \cdot 10,54 + 416 \cdot 0,582 = 63993,55 \text{ kcal}$$

$$= \frac{63993,55}{36,8156} = 1738,2 \text{ kcal/kg.}$$

b) Detonation im Einschluss, bei konstantem Volumen, Wasser flüssig.



Diesmal handelt es sich allein um die Kondensationswärme des Wasserdampfes.

$Q_v$ , Wasser flüssig:

$$60046,6 + 416 \cdot 10,54 = 64431,2 \text{ kcal}$$

$$= \frac{64431,2}{36,8156} = 1750,1 \text{ kcal/kg.}$$

## 2. Das Normalvolumen, $V_0$ .

Damit bezeichnet man den Raum, den die Detonationsgase bei 0° und 760 mm Barometerdruck einnehmen, im Falle unserer Sprenggelatine also

$$\frac{(516 + 416 + 236) \cdot 22,415}{36,8156} = 711,61 \text{ l/kg.}$$

(Dieses Volumen ist in Wirklichkeit, da das Wasser erst bei 100° in Gasform vorliegt, bei den Normalbedingungen nicht vorhanden, nichtsdestoweniger aber als abstrakte «Wert»-Zahl durchaus vergleichswürdig.)

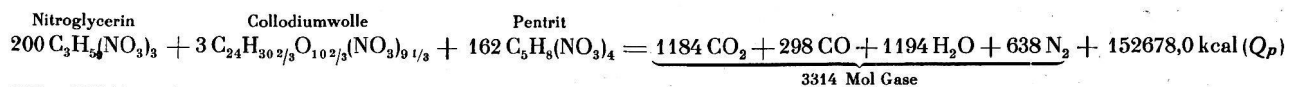
## 3. Detonationstemperatur $t$ .

Damit bezeichnet man die *Höchsttemperatur*, auf welche die Gase bei der Explosion erhitzt werden können. Sie wird erhalten als Quotient der Detonationswärme und der Summe der mittleren spezifischen Wärmen der einzelnen Detonationsgase:

$$t = \frac{Q_p}{\Sigma \bar{c}}$$

Die *mittleren spezifischen Wärmen der Detonationsgase* ( $\bar{c}$ ) sind von Nernst und Wohl bei konstantem Volumen ( $\bar{c}_v$ ) bis auf etwa 3500° bestimmt und weiter bis zu den Detonationstemperaturen von 5000° extrapoliert worden:

$\bar{c}_v$	4500°	4800°	5000°	5500°
CO <sub>2</sub> . . . . .	12,00	12,06	12,10	12,20 cal/Mol
H <sub>2</sub> O . . . . .	9,75	9,80	9,85	10,15 "
N <sub>2</sub> , CO . . . . .	6,90	7,00	7,10	7,40 "
O <sub>2</sub> . . . . .	7,00	7,05		



$$\begin{array}{l} 200 \cdot 227,094 + 3 \cdot 1068,56 + 162 \cdot 316,146 \\ 45418,8 + 3205,68 + 51215,65 = 99,84015 \text{ kg} \end{array}$$

$$\frac{45,492\% + 3,211\% + 51,298\%}{48,703\%} + 51,30\% \text{ Pentrit}$$

$$Q_p = \frac{\text{Verbrennungswärmen}}{99,84015 \text{ kg} \rightarrow 191122,54} - \frac{\text{Bildungswärmen}}{38444,6 = 152678,0 \text{ kcal}} =$$

$$1 \text{ kg} = \frac{152678,0}{99,84015} = 1529,2 \text{ kcal für } Q_p$$

$$Q_v = 152678,0 + \frac{3314 \text{ Mol Gase}}{(1184 + 298 + 1194 + 638) 0,582} = 154606,75 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kg} = \frac{154606,75}{99,84015} = 1548,5 \text{ kcal } Q_v$$

$$V_0 = \frac{3314 \cdot 22,415}{99,84015} = \frac{74283,31}{99,84015} = 744,0 \text{ l/kg}$$

$$t_p = \frac{152678,0 \cdot 1000}{1184 \cdot 12,06 + 936 \cdot 7,00 + 1194 \cdot 9,8} = \frac{152678000}{32532} = \frac{4693,2 + 4800}{2} = 4746,6^\circ$$

$$t_v = \frac{154606750}{32532} = \frac{4752,5 + 4800}{2} = 4776,3^\circ$$

$$f = 744 \frac{273 + 4776,3}{273 (1 - 0,001 \cdot 744)} = 53753 \text{ at}$$

Setzen wir unter Annahme von 5000° Detonationstemperatur nun die spezifischen Wärmen der Explosionsgase in die Verbrennungsgleichung der Sprenggelatine ein, so erhalten wir

$$\Sigma \bar{c}_v = 516 \cdot 12,10 + 416 \cdot 9,85 + 236 \cdot 7,10 = 12016,8 \text{ cal.}$$

Daraus ergibt sich

$$t = \frac{59366,8 \cdot 1000}{12016,8} = \frac{4945,3 + 5000}{2} = 4970,2^\circ (t_p)$$

Dies ist die *Detonationstemperatur* der Sprenggelatine bei der Explosion *unter konstantem Druck* ( $t_p$ ); dividieren wir die etwas höhere Detonationswärme im konstanten Volumen ( $Q_v$ ) durch dieselbe Summe der mittleren spezifischen Wärmen, erhält man

$$t_v = \frac{60546,6 \cdot 1000}{12516,8} = \frac{4496,8 + 5000}{2} = 4998,4^\circ (t_v)$$

Genau genommen ist nur die letztere Temperatur  $t_v$  richtig berechnet;  $t_p$  müsste in Wirklichkeit — da wir hier nicht ganz korrekt durch die Summe der mittleren spezifischen Wärmen bei konstantem Volumen ( $\bar{c}_v$ ) dividiert haben — etwas tiefer ausfallen, weil die *mittleren spezifischen Wärmen der Detonationsgase bei konstantem Druck* ( $\bar{c}_p$ ) ja ganz wenig höher als  $\bar{c}_v$  sind. Der wahre Unterschied dürfte bestenfalls das Doppelte, rund 60° betragen, was bei einer Detonationstemperatur von 5000° praktisch belanglos ist, aber immerhin zeigt, mit welchen Differenzen man hier — absolut betrachtet — zu rechnen hat.

## 4. Spezifischer Druck $f$ .

$f$  bezeichnet den «statischen» Explosionsgasdruck von 1 kg Sprengstoff im unnachgiebigen Einschluss eines Liters. Er wird für die folgenden



Reines Aluminiummetall verbrennt an der Luft nach der Gleichung:

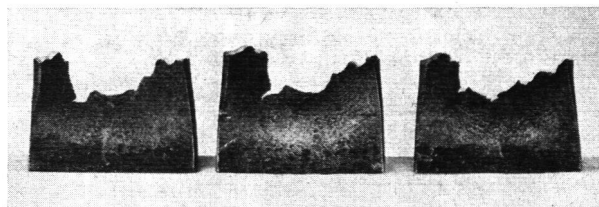


oder umgerechnet auf

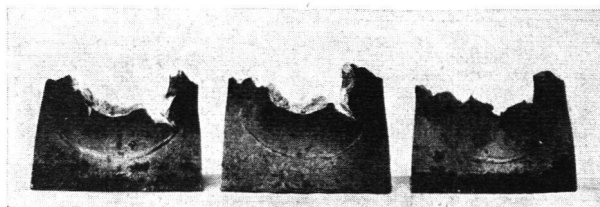
$$1 \text{ kg Al} \longrightarrow \frac{393,3 \cdot 100}{2 \cdot 26,97} = 7291 \text{ kcal.}$$

Bei allen drei Schüssen wurden die Unterlagsplatten in zwei fast gleiche Hälften zerschlagen; in Abb. 5 und 6 sind jeweils die Parallelstücke, von oben und von unten gesehen, nebeneinander gereiht. Die Platte 3 mit dem 30 %-Al-Gemisch erscheint dabei kaum weniger brisant mitgenommen als die Platte 1 mit reinem Pentrit.

Jedenfalls geht aus dieser Versuchsserie mit aller Deutlichkeit hervor, dass selbst 30 % Aluminium die Brisanz nur wenig vermindern, sofern die Detonationsgase genügend Kohlendioxyd und Wasserdampf zur Oxydation des Leichtmetalls enthalten, eine Erscheinung, die allein aus der molekular-homogenen Durchdringung von Aluminiumdampf und Explosionsgasen erklärlich ist (Schmelzpunkt des Al 658 °, Siedepunkt 2270 °).



Oberseite



Unterseite

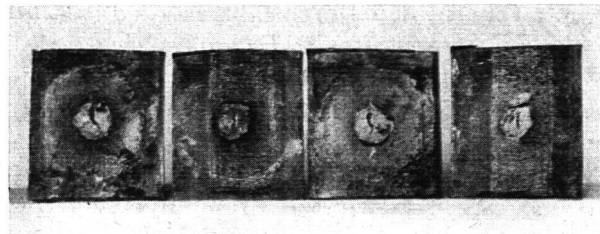
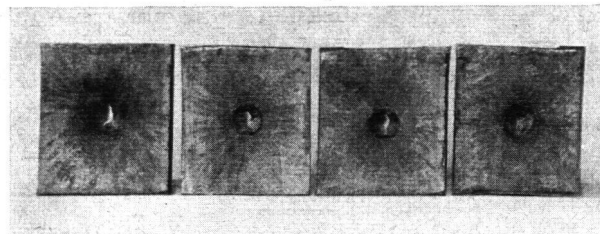
1) 30 g Pentrit	2) 30 g Pentrit/Al 90/10	3) 30 g Pentrit/Al 70/30
$V_0$ 720 l/kg	650 l/kg	500 l/kg
$Q$ 1590 kcal/kg	1800 kcal/kg	2250 kcal/kg
2610 kcal/l	3120 kcal/l	4300 kcal/l

Je 30-g-Ladung in 1-mm-Eisentiegeln detoniert über 7,5-mm-Eisenplatten

Abb. 5 und 6.

Aehnlich, wenn auch etwas abgestufter zwischen Pentrit und den Aluminiummengen, ist die folgende Beschussreihe mit gleichfalls 30 g Ladung, jedoch über 10 mm starken Eisenplatten:

Da das gebildete *Aluminiumoxyd* bei 2980 ° siedet, während der Detonation also *verdampft* und gleich darauf als molekularfeiner *Staub* niedergeschlagen wird, muss es in ganz oder auch nur halb geschlossenen Räumen tödlich *erstickend* wirken. Aluminium-Sprengstoffladungen nach Muster 3 der Abbildungen 5 und 6 sowie 7 und 8 vereinigen «Brisanz» und «Brand» mit vergiftenden und erstickenden Explosionsprodukten in einer Vollständigkeit, wie sie bisher unbekannt war.



1) Pentrit 2) Pentrit mit 15 % Al 3) Pentrit mit 30 % Al 4) Pentrit mit 40 % Al  
Oberseite  
Unterseite

Abb. 7 und 8.

Selbst 40 % Aluminium bringen noch eine ansehnliche Brisanz hervor bei gleichzeitig vermehrter Hitze- und Staubentwicklung durch die 9 % überschüssigen, nach der Explosion verbrannten Aluminiums.

Neben den vorgezeigten Wirkungen in *Luft* mögen noch einige Belege zur *Druckverstärkung* des Aluminiumzusatzes bei Sprengstoffen *unter Wasser* folgen. Abb. 9 zeigt ein *eisernes Aggregat* vor dem Schuss zur Sichtbarmachung der *Minen- und Torpedowirkung* einerseits und der *Einknick- (Einbeulungs)-Gewalt* gegen getauchte *U-Boote* anderseits.

Die obere, unmittelbar von der Explosion betroffene 6-mm-Platte wird von der aluminiumhaltigen Ladung mit grösserem Durchmesser durchschlagen, ebenso ist die seitliche Stahlröhre

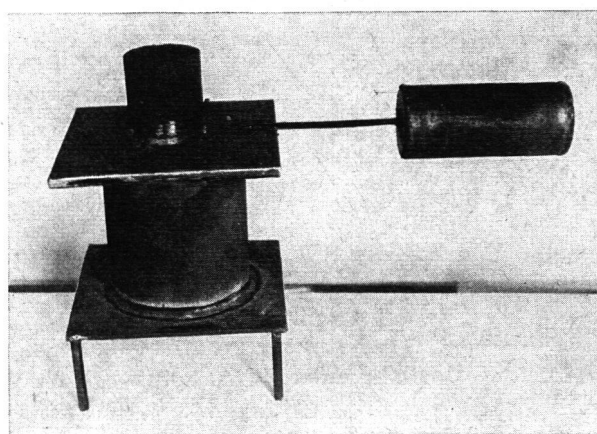
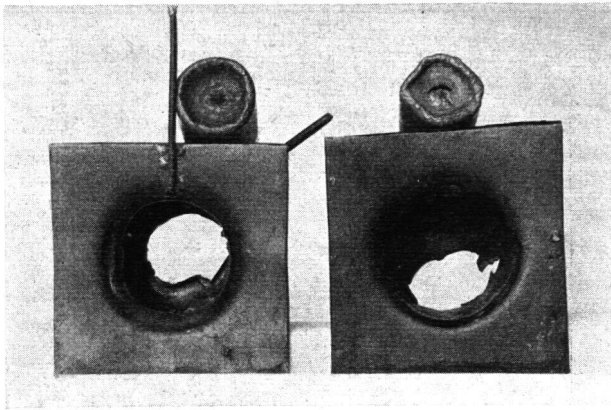


Abb. 9.

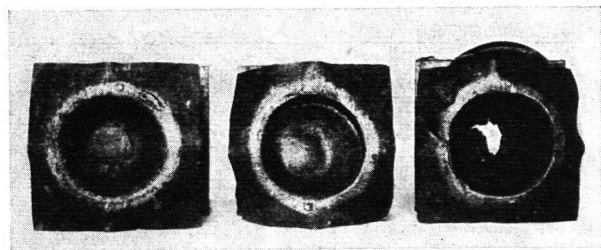
Eisenzyylinder von 8 × 8,8 cm Durchmesser und 10 cm Höhe, luftdicht verschweisst mit einer Eisenplatte von 6 mm Stärke (oben) und einer solchen von 2 mm Stärke (unten). Rechts davon, durch einen angeschweissten Eisenstab verbunden, eine beidseitig dicht verschlossene Mannesmannstahlröhre von 1 mm Wandstärke (als U-Bootkörper). Oben auf der Platte, eingeklemmt in drei Eisenstifte, ein zylindrischer Eisenbehälter zur Aufnahme der 49 g Sprengladung.



1914—1918 Heute mit 16,4 % Al-Zusatz.  
Deutsche Minen- und Torpedokopf-Ladungen von je 43,8 g, detoniert mit je 5 g Pentrit.

Abb. 10.

Der Effekt nach dem Schuss, 70 cm tief unter Wasser: Beidseitiger Durchschlag von oben nach unten mit Einbeulung der Röhren an dem der Ladung zugekehrten Ende.



1) Eingebault

2) Halb abgescheert

3) Randscharf durchgestanzt (Kreisscheibe oben aufliegend)

Abb. 11.

Je 40 g Pentrit, für sich allein und vermischt mit wenig und viel Aluminium, detoniert auf einem ähnlichen Dispositiv wie in Abb. 9, jedoch mit einer obren Eisenplatte von 10 mm Dicke.

durch den Kompressionsdruck stärker deformiert als bei der früheren deutschen Ladung, bestehend aus 60 % Trinitrotoluol und 40 % Hexanitrodiphenylamin. Einzig der Einbeulungsdruck an der untern 2-mm-Platte will nicht recht in die Reihe passen, was vermutlich auf einen zufälligen Umstand, z. B. andern Untergrund bei der Detonation, zurückzuführen ist. Dass diese Anomalie sicherlich auf einen Experimentierfehler zurückgeht, zeigt die folgende Schußserie der Abb. 11, wo mit steigendem Aluminiumzusatz eine zunehmende Einknickgewalt parallel geht.

Wie man hier in schönster Deutlichkeit sieht, hat der Kompressionsdruck vom Wasser her auf die untere 2-mm-Eisenplatte beim grössten Aluminiumanteil am stärksten gewirkt, die zerstörendste Tiefenbombenwirkung hervorgebracht, so dass man sich wundern müsste, wenn zur Bekämpfung der Unterseeboote — wie auch von Staumauern, Hafentoren, Schleusen — nicht überall der verhältnismässig billige und autarkische Zusatz von Aluminium angewandt würde.

Aus umstehender Zusammenstellung sind verschiedene Abhängigkeiten sowohl ergänzender als

auch gegensätzlicher Art zu erkennen, Unterschiede, die man bisher übersehen oder nur durch den Nebel unklarer Vorstellungen vermutet hat. So spielt bei der Sprenggelatine der wechselnde Stickstoffgehalt der Collodiumwollen eine ganz untergeordnete Rolle, denn die Abnahme des Sprenggasvolumens von 711,1 auf 710,6 l/kg einerseits wie die Zunahme der Detonationswärme  $Q_p$  von 1612,3 auf 1612,9 kcal/kg anderseits ist verschwindend gering. Gleichfalls von untergeordneter Bedeutung sind die Abweichungen bei der Detonation in freier Luft  $Q_p$  und im Einschluss  $Q_v$ , wo die Energien um bloss 1,1 % differieren. Nicht ohne weiteres voraussehbar dagegen erscheint die Abnahme des spezifischen Drucks  $f$  von 47'588 auf 47'431 at: der geringe Anstieg der Detonationswärmen wird hier umgekehrt durch den grössern Abfall der Normalvolumen überkompensiert. In besonderem Masse gilt dies — wie bereits früher bemerkt — für das Pentrit, das mit rund 80 kcal weniger Explosionswärme einen um

$$\frac{(53'753 - 47'528) \cdot 100}{47'528} = 13,1 \%$$

höhern  $f$ -Druck entfesselt als das Dynamit.

Aus den Zahlen ist ferner ersichtlich, dass durch den Aluminiumzusatz das Gasvolumen bei der Detonation nicht verändert wird, da ja die beteiligten Explosionsprodukte Kohlendioxyd und Wasserdampf in der gleich nach dem Höchstdruck einsetzenden Abkühlungs- oder Sekundärperiode — ohne Raumänderung — zu gleichmoligem Kohlenmonoxyd und Wasserstoff reduziert werden. Das in der Druckanstiegsperiode bei 2270° verdampfende Leichtmetall verbrennt dann auf Kosten des Kohlendioxyd- und Wasserdampfsauerstoffs unter erneuter Wärmeentwicklung und einer dementsprechenden Druckverlängerung, wie in Abb. 1 schon angedeutet wurde. Das Normalvolumen des Grundsprengstoffs bleibt, wie gesagt, unverändert; wenn z. B. das Sprenggelatine-Al-Gemenge 68,72/31,28 dennoch nur 488,7 l Gas entwickelt, so sind es eben die Reduktionsgase des Dynamitanteils ( $0,6872 \cdot 711,1 = 488,67$  l/kg), während das erst bei 2980° siedende Aluminiumoxyd wohl keine nennenswerte Gasspannung hervorbringt. Es wäre überaus interessant und verdienstlich, die Rolle des Aluminiums als Druckverlängerer chemisch und physikalisch mit und ohne «Einfrieren des Gasgleichgewichts» nach der Methode der Chemisch-Technischen Reichsanstalt zu enthüllen.

Das Bild der beispiellos energiereichen Aluminiumsprengstoffe wäre nicht vollständig, wenn nicht auch noch des zusätzlichen Wärmebeitrages gedacht würde, der durch die meist anschliessende Verbrennung der Reduktionsgase Kohlenoxyd und Wasserstoff in der Luft entsteht und so den tödlichen Versengungsbereich beträchtlich erweitert.



# Kennzahlen hochbrisanter Sprengstoffe, für sich allein und mit Aluminium-Zusatz

Sprenggelatine (100 prozentiges Dynamit)									
Höchste Lade-Dichte kg/l	Normal-Gas-Volumen l/kg	Detonationswärme (Wasser dampfförmig) In freier Luft $Q_p$   Im Einschluß $Q_v$ kcal/kg		Detonationstemperatur $t_p$ Explosion frei in die Luft   $t_v$ Explosion im Einschluß In Temperaturgraden		Spezifischer Druck $f$ bei der Ladedichte 1 in at ( $t_v$ )	Maximale Energie im Raum 1 l kcal/l ( $Q_p$ )		
Nitroglycerin Colloidumwolle (11,97% N)									
1) 51 $C_3H_5(NO_3)_3$ + 100 $C_{24}H_{31}O_{11}(NO_3)_6$ . . . . .	1,61	711,4	1612,3	1630,7	4969,1	4997,4	47588	2595,8	
91,662 % 8,338 %									
Nitroglycerin Colloidumwolle (12,235% N) Pentrit									
2) 148 $C_3H_5(NO_3)_3$ + 100 $C_{24}H_{30}O_{10}(NO_3)_6$ (12,235% N) . . . . .	1,61	711,1	1612,5	1631,0	4970,2	4998,4	47528	2596,1	
91,293 % 8,707 %			1738,2	1750,1					
			Wasser flüssig						
3) 46 $C_3H_5(NO_3)_3$ + 10' $C_{24}H_{30}O_{10}(NO_3)_6$ (12,75% N) . . . . .	1,61	710,6	1612,9	1631,4	4972,3	5000,5	47431	2596,8	
90,484 % 9,516 %									
Nitroglycerin Colloidumwolle (12,235% N) Pentrit									
1) 200 $C_3H_5(NO_3)_3$ + 45,49 % $3 C_{24}H_{30}O_{10}(NO_3)_6$ + 162 $C_6H_5(NO_3)_4$ . . . . .	1,68	744,0	1529,2	1548,5	4746,6	4776,3	53753	2569,0	
51,30 %			1662,2	1674,6					
			Wasser flüssig						
2) 1000 $C_3H_5(NO_3)_3$ + 12 $C_{24}H_{30}O_{10}(NO_3)_6$ + 200 $C_6H_5(NO_3)_4$ . . . . .	1,64	719,5	1597,8	1616,5	4857,2	4885,9	48473	2620,4	
74,935 % 4,201 % 20,864 %									
			79,136 %						
Erythrit-Tetranitrat (1, 2, 3, 4-Butantetrol-Tetranitrat) $C_4H_6(NO_3)_4$ . . . . .									
~1,7	704,8	1467,7	1486,0	4729,8	4759	44080	2496		
Stickstoffdioxyd Toluol									
9 $N_2O_4$ + 2 $C_6H_5 \cdot CH_3$ . . . . .	1,36	686,3	1824,1	1842,0	5048	5677	47620	2481	
100 22,25 18,20 %									
81,80 %									
Salpetersäure Nitrobenzol									
10 $HNO_3$ + 2 $C_6H_5 \cdot NO_2$ . . . . .	1,42	716,2	1487	1505	4552	4580	44860	2112	
100 39,07 28,10 %									
71,90 %									
Sauerstoff, flüssig Naphthalin									
12 $O_2$ + $C_{10}H_8$ . . . . .	~1,1	610,8	2287	2303	6383		38300	2516	
74,98 % 25,02 %									



Mit Aluminium-Zusatz			Wasser flüssig			Wasser flüssig		
<b>Sprengelatine mit Colloidumwollmenge von 12,235 % N (Zusammensetzung 2)</b>								
Sprengelatine + Aluminium	Reduktion zu							
79,87 %	CO . . . .	1,81	588,0	{ [3034]* 1997,7 2098,1	2012,5 2107,6 2044,0			[3692] 3616
83,11 %	H <sub>2</sub> . . . .	1,78	591,5	{ [3344] 2287,9 1930,2	2300,6			3616 { [4300] 4393
88,72 %	CO + H <sub>2</sub> .	1,92	488,7	1930,2	1934,2			3397
83,40 %	teilweise CO	1,77	593,1	1918,7				
84,00 %	teilweise CO		597,4	1907,2				
84,60 %	teilweise CO		601,7					
<b>Pentrit 45,5 / 3,2 / 51,3 mit Colloidumwolle 12,235 % N</b>								
Pentrit + Aluminium	CO . . . .	1,84	613,3	{ [1912] 1880,2 1989,8	1896,1 2000,0 1995,9			{ [3518] 3459
82,43 %	H <sub>2</sub> . . . .	1,84	612,3	{ [2264] 2210,8 1728,9	2224,3			3643 { [4437] 4334
70,02 %	CO + H <sub>2</sub> .	1,96	520,9	{ [2009] 1974,2 2274,0	1989,2 2286,8 1807,5			{ [3876] 3313 [4495] 4389
90,0 %	teilweise CO	1,77	609,6	1790,6				3115
<b>Pentrit 74,9 / 4,2 / 20,9 mit Colloidumwollmenge 12,102 % N</b>								
80,48 %	CO . . . .	1,83	579,1	{ [2408] 2350,0	2361,7			[4792] 4676
69,002 %	CO + H <sub>2</sub> .	1,93	496,5					
90,00 %	teilweise CO	1,74	647,6					
<b>Erythrittrinitrat + Aluminium</b>								
67,75 %	CO + H <sub>2</sub> .	1,99	452,4					
<b>Panklastit (Toluol) + Aluminium</b>								
80,09 %	CO . . . .	1,01	549,7	2163,1	2177,3			3482
<b>Hellhoffit (Nitrobenzol) + Aluminium</b>								
80,25 %	CO . . . .	1,65	574,7	1889,4	1904,3			3118
<b>Sprengluft (Naphthalin) + Aluminium</b>								
74,02 %	CO . . . .	~1,5	453,5	2608				~3900
67,03 %	CO + H <sub>2</sub> .	~1,6	410,8	2747				~4395
<b>Leucht-Brand-Gemenge</b>								
Kaliumperchlorat + Aluminium	KCl fest . .	2,55	(106,5 L KO-Lampfl)	{ [2504] 2443				[6385] 6230
65,83 %	(S. P. 1415*)	1,62	684	950				1539
<b>Trinitrotoluol</b>								
Trinitrotoluol + Aluminium	CO + H <sub>2</sub> .	1,78	559	1472	2620			2578
81,8 %	(maximal)	1,76	572	1462				
83,6 %	CO + teilweise H <sub>2</sub>							

\* Die in [] gesetzten Zahlen beziehen sich auf den jüngst bestimmten — etwas höheren — Verbrennungswert von 7,47 kcal für 1 g AL.

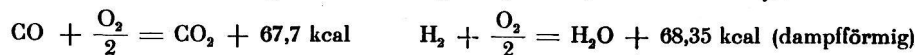
**Beispiel der Berechnung des verbrennlichen Gasvolumens ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ) mit Luftbedarf samt Verbrennungswärme für Pentrinit-Aluminiumgemisch 69/31.**

Pentrinit 74,9/4,2/20,9 + Al

$$303,06 \text{ kg} + 136,145 \text{ kg} = 439,20 \text{ kg} \longrightarrow \frac{4288 \text{ CO}}{4288 \cdot 22,415 \text{ l}} + \frac{3485 \text{ H}_2}{3485 \cdot 22,415 \text{ l}} (+ 1955 \text{ N}_2)$$

$$\text{Trockene Luft von } 4^\circ \text{ enthält } \begin{array}{l} 21,0 \text{ Vol. \% O}_2 + 79,0 \text{ \% N}_2 \\ 1 \text{ Vol. \% O}_2 + 3,762 \text{ Vol. \% N}_2 \end{array} \begin{array}{l} = 96115,52 \text{ l} \\ = 78116,28 \text{ l} \end{array}$$

1 Volum Oxydationssauerstoff entspricht 4,762 Volumen Luft.



$$\text{Nun benötigen: } 96115,52 \text{ l CO} \quad \frac{96115,52}{2} \text{ l O}_2; \quad 78116,28 \text{ l H}_2 \quad \frac{78116,28}{2} \text{ l O}_2$$

$$\text{oder zur vollständigen Verbrennung mit Luft: } (48057,8 + 39057,6) 4,762 = \underline{414845,92 \text{ l für } 439,20 \text{ kg.}}$$

Auf 1 kg Pentrinit-Al-Gemisch:

$$\begin{array}{l} \frac{414845,92}{439,20} = 944,5 \text{ l Luft für die nachträgliche Verbrennung des CO und H}_2 \\ \frac{96115,52}{439,20} = 218,8 \text{ l CO} \longrightarrow \frac{218,8 \cdot 67,7}{22,415} = 660,7 \text{ kcal} \\ \frac{78116,28}{439,20} = 177,9 \text{ l H}_2 \longrightarrow \frac{177,9 \cdot 68,35}{22,415} = 542,4 \text{ kcal} \\ \frac{396,7 \text{ l CO und H}_2}{\longrightarrow} \frac{1203,1 \text{ kcal}}{1203,1 \text{ kcal}} \end{array}$$

1 kg Pentrinit-Aluminiumgemenge 69/31 liefert bei der Detonation 2274 kcal und durch nachträgliche Verbrennung der 396,7 l Detonationsgase  $\text{CO} + \text{H}_2$  mit 944,5 l Luft weitere 1203,1 kcal.

1 l Pentrinit-Al 69/31 von der Höchst-Ladedichte 1,93 liefert 4389 Detonationskcal und mit  $944,5 \cdot 1,93 = 1822,9 \text{ l}$  Luft weitere 2322 kcal.

Für eine Anzahl typischer Al-Sprengstoffgemenge, bezogen auf 1 Liter Bombenladung von Maximal-dichte, erhält man die nachstehenden Wärmewerte:

		1 l Ladung von kcal	erzeugt mit l/Luft	weitere kcal	insgesamt also kcal
Sprenggelatine + Al					
68,7 %	31,3 %	4393	1783	2271	6664
Pentrinit + Al					
69,0 %	31,0 %	4389	1823	2322	6711
Trinitrotoluol + Al					
81,8 %	18,2 %	2620	2076	2868	5488

Wie man sieht, wirken die Aluminiumsprengstoffe über den als Gift- und Brandmittel doppelt gefürchteten Phosphor hinaus sogar dreifach, nämlich durch *Brisanz*, *Kohlenoxyd* und *Nachverbrennung*, — ein «Fortschritt», der allem Anschein nach neue «Abwechslung» im Krieg gegen die Zivilbevölkerung und damit auch für den Luftschutz bringen wird.

## Quelques problèmes médico-sociaux posés par les bombardements

Par Dr ès sciences L.-M. Sandoz

Les destructions s'accumulent sur le sol européen. Le fracas des bombes qui explosent et celui des maisons qui chutent éventrées, mêlé aux terribles lueurs d'incendies inextinguibles, causent parmi les populations d'incalculables ravages. Ravages économiques, physiologiques, psychiques. Les plus belles cités sont réduites au silence, leurs habitants hébétés et stupides sont jetés à la rue souvent sans un rouge liard en poche, quand du haut du ciel tout noir et impénétrable, que lacèrent seuls les faisceaux des projecteurs de D. C. A., tombent avec une régularité d'horloge les engins de mort qui ont nom: bombes incendiaires, bombes pour le personnel, bombes à effet de souffle, etc.

Nous nous proposons d'étudier brièvement ici les répercussions que créent ces chocs brutaux, ces

traumatismes collectifs qui, en une nuit, vous transforment une ville normale, telle que nous en connaissons des dizaines chez nous, en un cimetière de ruines, sous lesquelles gémissent et pleurent jusqu'au dernier soupir, ensevelis, de pauvres êtres dont le seul tort est d'habiter là. Toute une série de constatations peuvent être faites à cet égard, en envisageant par ailleurs non seulement les conséquences directes du bombardement sous l'angle médico-social, mais aussi les répercussions sur l'hygiène du travail qui en résulte. Ne perdons point de vue, en effet, que dès la tourmente passée, tout comme sur un navire à voiles démâté, il faut procéder au gréement sommaire de l'ensemble pour éviter de tomber par le travers du vent et sombrer sous l'assaut répété des lames. De plus se