

Über die sprengtechnischen Eigenschaften der Flüssigluftsprengstoffe.

Von H. KAST und A. HAID.

Aus der Chemisch-technischen Reichsanstalt,
Abteilung für Sprengstoffe.

(Eingeg. 5.8. 1924.)

I. Einleitung.

Über die sprengtechnischen Eigenschaften der Flüssigluftsprengstoffe enthält die Literatur widersprechende Angaben. Nach der einen vielfach vertretenen Ansicht wurde der flüssigen Luft größere Bedeutung für die Sprengtechnik abgesprochen¹⁾. Die Vertreter dieser Ansicht, die durch die unzulänglichen Hilfsmittel des alten Oxyliquitverfahrens in ihren Anschauungen bestärkt wurden, sind durch Vervollkommnung der Fabrikation und der Aufbewahrungsgefäße eines besseren belehrt worden. Die durch diese Verbesserungen erzielten Erfolge traten besonders im verflossenen Weltkriege in die Erscheinung, zu einer Zeit, die viele Kreise zwang, auch gegen ihren Willen zum Sprengen mit flüssiger Luft überzugehen. Außerdem begünstigte die Kriegsnot den Ersatz der zerbrechlichen und teuren Glasgefäße durch solche aus Metall, was letzten Endes erst die praktische Verwendung der flüssigen Luft, namentlich untertags, ermöglichte. Durch Vervollkommnung der Fabrikation gelang es, den Sauerstoffgehalt der flüssigen Luft mehr und mehr (über 80 %) zu erhöhen, so daß man Sprengleistungen erzielte, die bisher bei weitem nicht erreicht worden waren. Die Folge dieser günstigen Entwicklung der Flüssigluftsprengstoffe war, daß die anfängliche Unterschätzung in das Gegenteil umschlug und zu einer Überschätzung führte²⁾, die dadurch theoretisch begründet erschien, als man bei der Berechnung des Energiegehalts der Flüssigluftsprengstoffe aus der Wärmemenge einen Betrag erhielt³⁾, der den der bisher praktisch verwendeten kräftigsten Sprengstoffe bedeutend übertrifft.

Für die Berechnung der entwickelten Wärme kommt allerdings in Betracht, daß der Maximalwert nur bei vollkommener Verbrennung erreicht wird, also dann, wenn weder ein Überschuß noch ein Mangel an Sauerstoff im fertigen Sprengstoffgemisch vorhanden ist, und es ist dies auch infolge der starken Verdampfung theoretisch nur einen kurzen Augenblick lang der Fall. Dennoch hat die Praxis gezeigt, daß es nicht nötig ist, diesen Zeitpunkt genau einzuhalten, daß vielmehr mehrere Minuten zur Verfügung stehen, ohne daß die Wirkung wesentlich beeinträchtigt wird⁴⁾. Das geht auch aus nachstehenden Versuchen hervor und ist noch mehr in trockenen und besonders in langen Bohrlöchern der

Fall, in denen die Kurve der Sauerstoffverdampfung verhältnismäßig flach verläuft.

In welchem Grade dies der Fall ist, zeigen die in nachstehendem Diagramm eingetragenen Verdampfungscurven, die bei gemeinsam mit der Sprengluftgesellschaft in der Chemisch-technischen Reichsanstalt ausgeführten Versuchen erhalten wurden. In einem Fall ließ man die getränkten Patronen an freier Luft verdampfen, im anderen Fall befanden sie sich in einem mit einer 15 cm dicken Sandschicht umgebenen Messingrohr. Der verdampfende Sauerstoff wurde mit einer Gasuhr gemessen. Eine weitere Kurve gibt einen Versuch wieder, der von Dr. Meyer von der Sprengluftgesellschaft in einem Kohlenflöz in der Wolfganggrube in Ruda (O.-S.) angestellt worden war, der aber wegen der schwierigen Versuchsanordnung etwas unsicher ist. Immerhin zeigt sich deutlich, daß die Verdampfung an freier Luft schneller vor sich geht als im Bohrloch.

Man wird also am besten denjenigen Zeitpunkt zur Sprengung wählen, der vor dem Optimum der Verbrennung liegt, weil für die vollständige Verbrennung praktisch ein Überschuß an Sauerstoff erforderlich ist, weil ferner mit der Verdampfung die Dichte des Sprengluftgemisches abnimmt und schließlich ein Sauerstoffmangel nicht nur auf die Zusammensetzung der Nachschwaden ungünstig einwirkt, sondern auch von schädlicherem Einfluß auf die Wirkung ist als ein Sauerstoffüberschuß. Es ist im übrigen bekannt, daß der nach der Wärmemenge bemessene Energieinhalt nur einen rohen Maßstab für die Leistungsfähigkeit eines Sprengstoffs und auch nur dort liefert, wo es mehr auf eine stark treibende und schiebende Wirkung und weniger auf eine große zerstörende Kraft ankommt.

Daß man bisher nicht den Versuch gemacht hat, sich von der Gesamtleistung der Flüssigluftsprengstoffe auf praktischem und theoretischem Wege ein richtiges Bild zu machen, mag verschiedene Gründe haben. Einer der ersten ist der, daß schon bei den festen Sprengstoffen die praktische Beurteilung auf gewisse Schwierigkeiten stößt, die nicht nur in der Eigenart des Sprengstoffs, sondern auch in der Beschaffenheit des zu sprengenden Objekts ihre Ursache haben. Diese praktische Beurteilung kann daher nur von sehr erfahrener fachmännischer Seite vorgenommen werden.

Noch schwieriger ist die Beurteilung vom theoretischen Standpunkt aus, weil die Einschätzung der Bedeutung der einzelnen Faktoren, aus denen sich die Gesamtleistung eines Sprengstoffs ergibt, mehr oder weniger willkürlich ist.

Die Schwierigkeiten werden aber nach beiden Richtungen noch beträchtlich vermehrt, wenn man es nicht mit festen, sondern mit solchen Sprengstoffen zu tun hat, die wie die Flüssigluftgemische während der Handhabung Veränderungen in ihrer Zusammensetzung erleiden.

Eine einwandfreie Beurteilung der maximalen Leistungsfähigkeit der Flüssigluftsprengstoffe ist daher nur unter großen Einschränkungen möglich, und auch nur dann, wenn es gelingt, die rechnungsmäßig ermittelten Werte experimentell nachzuprüfen. Eine solche Kontrolle ließen die seither von verschiedenen Seiten ausgeführten und in die Öffentlichkeit gelangten Berechnungen vermissen. Man begnügte sich, wie erwähnt, mit der Tatsache, daß die aus der Zersetzungsgleichung errechnete Wärmemenge sehr groß ist, und schloß aus dieser

1) Vgl. u. a. Heß, Mitt. Art. Gen. Wes. 30, 483 [1899].

2) Vgl. Sieder, Z. ang. Ch. 1898, 358; W. Schulz, Glückauf 34, 341 [1898]; Linde, Sitz.-Ber. Münch. Akad. 1899, 65; Z. Ver. d. Ing. 44, 69 [1900]; Larsen, Ann. a. Explos. 8, 108 [1900]; Stettbacher, Z. Schieß- u. Sprengstoffw. 14, 153 [1919].

3) Vgl. Schulz, a. a. O.; Mewes, Z. Sauerst.- u. Sticksstoffind. 7, 41 [1915]; Beitr. z. thermodyn. Theorie d. Sprengst., S. 8.

4) Über die Lebensdauer der Flüssigluftpatronen, die beim Großbeschuß viel günstiger ist als die Theorie und Versuche im Laboratorium erwarten lassen, werden gerade jetzt von der Sprengluftgesellschaft Versuche ausgeführt, über die später an geeigneter Stelle berichtet werden wird.

großen Wärmemenge auch auf eine sehr große Leistung, ohne zu beachten, daß außer der Explosionswärme noch andere Faktoren zu berücksichtigen sind.

Martin⁵⁾) war bisher der einzige, der auch die kubische Dichte in Rechnung gestellt hat. Er kommt zu dem Schluß, daß die Wirkung der Flüssigluftsprengstoffe nach ihrer Arbeitsdichte, dem Produkt aus Arbeitsfähigkeit (spezifischer Energie) und Ladedichte, berechnet zwar nicht diejenige der Sprenggelatine, wie man aus der Calorienzahl angenommen hatte, aber doch die des Gurdynamits übertrifft, und glaubt, daß der dritte wichtige Faktor, die Detonationsgeschwindigkeit, bei der Beurteilung der Leistung vernachlässigt werden könne, da sie vermutlich groß genug ist, um das Auftreten eines wesentlichen Unterschiedes im Vergleich zu den Dynamiten auszuschließen.

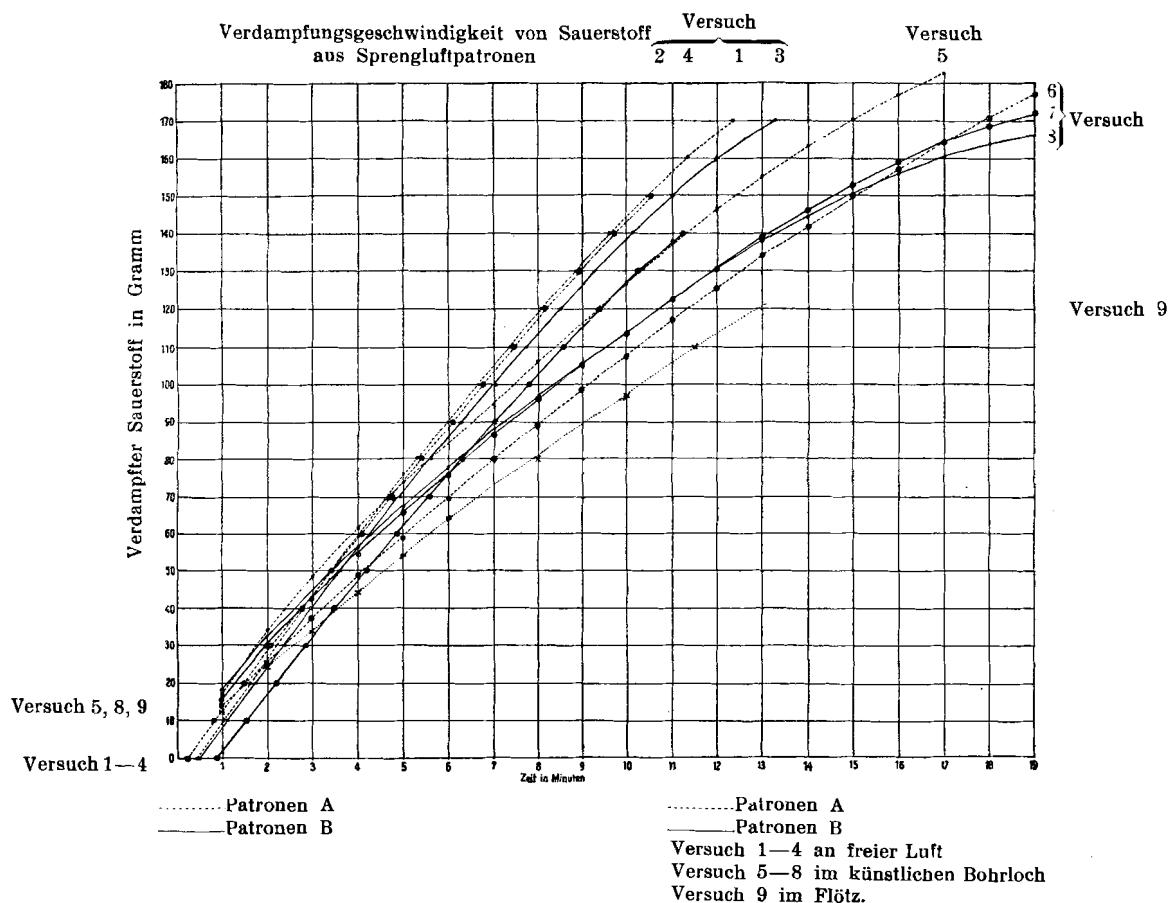
Versuche zur Gewinnung experimenteller Unterlagen für die Beurteilung der Leistung der Flüssigluft-

Zusammensetzung einer nur 10 g schweren Patrone nötige flüssige Luftmenge genau zu dosieren⁷⁾.

Schon die Bestimmung der kubischen Dichte bereitete wegen der fortschreitenden Verdampfung der flüssigen Luft, die eine genaue Bestimmung des Volumens ausschließt, Schwierigkeiten, von denen noch weiter unten die Rede sein wird. Immerhin läßt sich aber sowohl die Arbeitsfähigkeit als auch die kubische Dichte annähernd berechnen. Dagegen war man bei der Festlegung der Explosionszeit nur auf Vermutungen angewiesen.

II. Versuche.

So lagen die Dinge, als wir es unternahmen, an die Bearbeitung dieses Problems heranzugehen. Schon am Ende des Krieges hatte sich der eine von uns mit der Angelegenheit befaßt, die Arbeiten wurden aber durch den Ausbruch der Revolution unterbrochen und



sprengstoffe, die letzten Endes die praktische Grundlage für die theoretische Berechnung bilden, sind aber bis jetzt nur ganz vereinzelt angestellt worden⁶⁾, ohne daß es dabei gelungen wäre, ein einwandfreies Bild von der Wirkungsweise dieser Sprengstoffe zu erhalten. Es ist dies, wie erwähnt, auf die Eigenart der Flüssigluftsprengstoffe zurückzuführen und vor allem in der Veränderlichkeit während der Handhabung begründet. In der Tat ist es bisher noch nicht einmal gelungen, die Aufbauung im Bleizylinder, die bei den anderen festen Sprengstoffen als wichtiges Kriterium für die Arbeitsfähigkeit angesehen wird, einigermaßen genau zu ermitteln, weil es nicht möglich war, die für die günstigste

erst wieder aufgenommen, als die Sprengluftgesellschaft in Berlin auf dem Gelände der Chemisch-technischen Reichsanstalt Versuche unternahm zu dem Zweck, die Unterschiede in der Wirksamkeit verschiedener Aufsaugestoffe festzustellen.

1. Detonationsgeschwindigkeit.

Es ergab sich so die günstige Gelegenheit, eine Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit der Flüssigluftsprengstoffe vorzunehmen, die verhältnismäßig leicht durchführbar erschien, weil man hier mit größeren Sprengstoffmengen arbeiten und einen großen Patronendurchmesser anwenden konnte. Dies hat den Vorteil, daß die bis zur Erreichung der günstigsten Zusammensetzung erforderliche Wartezeit verlängert und die Ge-

⁵⁾ Z. Schieß- u. Sprengstoffwesen 11, 233 [1916].

⁶⁾ Vgl. Heß, Linde, Larsen a. a. O.; Sieder. Z. Schieß- u. Sprengstoffwesen 1, 87 [1906].

⁷⁾ Vgl. Lisse, Das Sprengluftverfahren, Berlin 1924, S. 37.

schwindigkeit des Energieabfalls vom Zeitpunkt des Energieoptimums an verzögert wird, so daß die Fehlergrenzen auf ein Minimum eingeschränkt werden.

Der günstige Ausfall der Versuche gab die Anregung, diese auch auf die Ermittlung der anderen sprengtechnischen Eigenschaften auszudehnen, um so mehr als diese Untersuchung bei der großen wirtschaftlichen Bedeutung der Flüssigluftsprengstoffe auch für die Allgemeinheit Vorteil versprach.

Die bei den nachstehend beschriebenen Untersuchungen geprüften Aufsaugestoffe im patronierten Zustand und die dazu nötige flüssige Luft wurden von der Sprengluftgesellschaft bereitwilligst zur Verfügung gestellt. Dabei kamen uns die reichen Erfahrungen dieser Gesellschaft sehr zu statten. Als Aufsaugestoffe wurden als die bekanntesten Holzmehl, Korksleifmehl, Torf, Ruß, Kohlepulver und auch das besonders wirksame Kondensationsprodukt des Acetylens, Sprengluft-Carben (Cupren), sowie Mischungen dieser Stoffe, ausnahmsweise auch Cellulose verwendet.

Die Anordnung der Versuche zur Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit, deren Ergebnisse in der Tabelle 1 zusammengestellt sind, war derart getroffen worden, daß die in dünne Pappe- oder Papierhülsen von 3,5 cm Durchmesser eingefüllten und in dieser Patronenform auf einer Holzlatte befestigten Aufsaugestoffe nach Anbringung der für die Messung notwendigen Drahtführung ⁸⁾, in einem Holztrog etwa 10 Minuten mit dem flüssigen Sauerstoff getränkt und nach Verdunsten des überschüssigen Sauerstoffs gesprengt wurden.

Die für die Verdampfung des überschüssigen Sauerstoffs notwendige Zeit wurde vorher durch Ermittlung der Aufsaugefähigkeit und Verdampfungsgeschwindigkeit an kleineren Patronen unter Zugrundelegung der stöchiometrischen Beziehungen gefunden.

Die so festgestellte „Wartezeit“ betrug für Carben etwa 2, für Ruß mehr als 3, für Korkmehl weniger als 10 und für Holzmehl, Cellulose, Torfmehl etwa 10 Minuten.

Es wurde aber bald erkannt, daß innerhalb des Zeitraums von etwa 5—10 Minuten die Detonationsgeschwindigkeit sämtlicher Patronen sich kaum ändert, so daß bei den späteren Versuchen die Messung innerhalb dieser Zeitspanne, die praktisch eingehalten werden konnte, vorgenommen wurde.

Besondere Schwierigkeiten bereitete die für die Beurteilung nicht nur des Geschwindigkeitswerts, sondern auch der Gesamtleistung notwendige Berechnung der kubischen Dichte, weil diese wegen der Veränderlichkeit der Zusammensetzung des Sprengstoffs einer direkten Messung nicht zugänglich ist. Das kubische Gewicht ist im übrigen einerseits von der Stopfdichte des Aufsaugestoffs und anderseits von dem Rauminhalt der Patrone abhängig. Die Stopfdichte ist aber nach unten und oben begrenzt, nach unten, weil die Aufsaugestoff den verfügbaren Raum gleichmäßig ausfüllen, und nach oben, weil genügend Raum für den zur vollständigen Verbrennung nötigen flüssigen Sauerstoff übrig bleiben muß.

Berechnet man beispielsweise nach den unten angegebenen Methoden die Maximaldichte für das Carben-Luftgemisch, so kommt man auf eine solche von etwa 1,04 entsprechend einer kubischen Dichte des Carbens von 0,26. Übersteigt die letztere den Betrag von 0,27, so läßt sich die erforderliche flüssige Luft nicht mehr in der Patrone unterbringen, so daß von vornherein ein Sauer-

Tabelle 1.
Detonationsgeschwindigkeiten von Sprengluftpatronen.

Aufsaugestoff	Stopfdichte der Patrone (ohne Sauerstoff)	Ungefähr Dichte beim Sprengen	Zeit bis zum Sprengen in Minuten	Detonationsgeschwindigkeit m/sec	Bemerkungen
Carben	0,25	1,04	4	4600	Unter Einschluß im eisernen Rohr
	0,25	1,05	6	4670	
	0,26	1,06	6	4850	
	0,28		10	4780	
	0,33	ungenüg.	3	4930	
	0,33	Raum für Sauerstoff	6	4750	
	0,32		7	5160	
	0,21	0,90	8	5600	
Ruß	0,21	0,80	12	Nur Teilexplosion (3310)	
	0,21	0,80	12	4680	
	0,21	0,80	12		
Korkmehl	0,22	0,67	10	3490	Nach Dautrich gemessen
			2	3100	
Holzmehl	0,38	0,79	14	3385	
	0,39	0,80	14	3670	
	0,28	0,60	12	3780	
Cellulose	0,35	0,70	11	4240	Unter Einschluß im eisernen Rohr
				3130	
	0,18	0,49	20	3100	
	0,19	0,47	12	3330	
Torfmehl	0,28	0,58	10	3390	Unter Einschluß im eisernen Rohr. Wert zu niedr., vermutl. ungenüg. getränkt
	—	—	—	(3475)	
Kohlenstaub	0,25	0,91	9	Teilexplos.	

stoffmangel vorhanden ist. Auf jeden Fall wird bei allen Mischungen, die neben der flüssigen Luft nur organische Stoffe als Bestandteile enthalten, das kubische Gewicht den Wert 1,08 nicht überschreiten, was ja auch ohne weiteres aus dem spezifischen Gewicht der flüssigen Luft (1,15) als des Hauptbestandteils, dem spezifischen Gewicht der Aufsaugestoffe, und daraus hervorgeht, daß es sich um eine siedende Flüssigkeit handelt, in der Dampfblasen vorhanden sind. Auch aus der zur Erreichung der günstigsten Zusammensetzung erforderlichen Wartezeit kann man einen Schluß auf das kubische Gewicht ziehen, da dieses von der Wartezeit insofern abhängig ist, als der verdampfende Sauerstoff Hohlräume hinterläßt, die das kubische Gewicht des Patroneninhalts vermindern. Das kubische Gewicht wird um so niedriger sein, je länger die Wartezeit ist, es wurde daher nicht allein durch Ausmessen und Auswägen des Inhalts der gelieferten Patronen unter Berücksichtigung der theoretisch erforderlichen Sauerstoffmenge, sondern auch aus der in einem gegebenen Raum von genau bekanntem Volumen unterzubringenden Menge des Aufsaugestoffs und der erforderlichen Sauerstoffmenge berechnet.

Die gefundenen Detonationsgeschwindigkeiten der weniger sprengkräftigen Mischungen entsprechen bei gleicher Dichte etwa denen der Ammonsalpeterspreng-

⁸⁾ Über die nähere Versuchsanordnung vgl. Z. Schieß- u. Sprengstoffw. 8, 90 [1913]; Muspratt's Chemie. Erg.-Bd. I, 2 [1921], S. 952.

stoffe (3000 und 4000 m/sec), während mit Carben und Ruß Geschwindigkeiten erreicht werden, die mit denen der höher nitrierten aromatischen Nitroverbindungen (Pikrinsäure und Trinitrotoluol) geringerer Dichte übereinstimmen, aber wegen ihrer geringen Dichte den Höchstwert dieser Sprengstoffe bei stärkerer Verdichtung (etwa 7000 m) nicht erreichen. Die Höchstwerte sind also auch nicht so hoch wie diejenigen der hochprozentigen Dynamite.

Die Detonationsgeschwindigkeiten der einzelnen Mischungen sind im übrigen, wie dies von vornherein zu erwarten war, etwa proportional der spezifischen Energie. Die geringen Abweichungen von dieser Regel sind durch die infolge der verschiedenen physikalischen Beschaffenheit etwas schwankende Detonationsübertragung, die unsichere Berechnung und die Versuchsfehler zu erklären.

Auch bezüglich der bei Einschluß der Mischungen im eisernen Rohr erhaltenen Ergebnisse ist eine Einschränkung zu machen, insofern als gut übereinstimmende Werte bei verschiedenen Versuchen (s. auch Tabelle 5) nicht erhalten werden konnten. Es röhrt dies vor allem daher, daß der Einschluß im eisernen Rohr einerseits die Tränkung sehr erschwert und anderseits die Verdampfung bedeutend beschleunigt, so daß eine absolute Gewähr für eine richtige Zusammensetzung der Gemische beim Abschuß nicht gegeben ist. Die Versuchsergebnisse im eisernen Rohr bedürfen daher einer Ergänzung.

Zur weiteren Kontrolle wurde versucht, den Stauchungswert nach der Kupferzylindermethode¹⁰⁾ zu ermitteln, der den besten Maßstab für die Brisanz, d. h. die Gesamtarbeitsleistung bildet. Um dabei den Einfluß der kubischen Dichte kennen zu lernen, wurde einmal der Stauchungswert bei solchen Patronen bestimmt, die dieselbe Ladedichte besaßen wie die für die Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit gelieferten Patronen, und

Zinkhülsen für Stauchversuche mit flüssiger Luft.

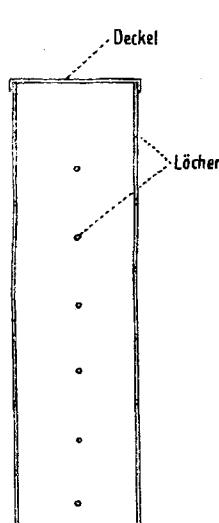


Fig. 1.

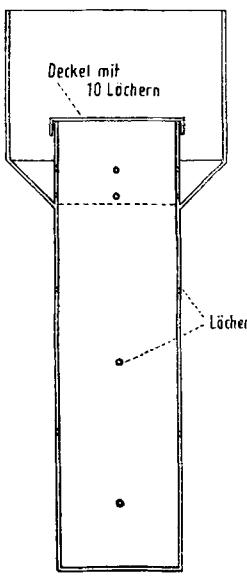


Fig. 2.

ferner bei solchen, die die überhaupt mögliche Maximalmenge an Sprengstoff enthielten.

Die Versuche wurden derart ausgeführt, daß der Aufsaugestoff in dünne, mit Löchern versehene Zinkblechhülsen (s. Fig. 1) eingestopft, mit flüssiger Luft

¹⁰⁾ Vgl. Z. Schieß- u. Sprengstoffw. 8, 88 [1913]; Muspatts Chemie, Erg.-Bd. I, 2 [1921], S. 956.

getränkt und auf dem Stauchapparat durch einen aufgesetzten gepreßten mit Sprengkapsel versehenen Pikrinsäurekörper abgesprengt wurde.

Dabei kam es bei der Ausführung der Versuche vor allem darauf an, möglichst schnell nach der Tränkung abzusprengen, weil die Zinkblechhülsen in Berührung mit den Bleiplatten durch ihre große Leitfähigkeit den Sauerstoffverlust sehr beförderten und die Wartezeit verkürzten. Im übrigen wurde der Maximalwert durch Veränderung der bis zur Sprengung verflossenen Zeit zu ermitteln gesucht. Versuche, die Verdampfung durch Bekleben der Blechhülsen mit Papier einzuschränken, oder die Wartezeit dadurch zu verlängern, daß man am oberen Teil der Blechhülsen einen ringförmigen Ansatz anbrachte, in den flüssiger Sauerstoff eingefüllt werden konnte (vgl. Fig. 2), blieben ohne Erfolg. Die rechtsstehenden Werte in der letzten Spalte stellen die abgerundeten Durchschnittswerte dar.

Die Unterschiede zwischen den bei den verschiedenen Stopfdichten erhaltenen Werten (s. Tabelle 2) sind sehr klein, was offenbar darauf zurückzuführen ist, daß

Tabelle 2.
Stauchversuche mit Flüssigluftsprengstoffen.

Versuchsreihe	Bezeichnung	Ange-wandtes Gewicht	Kubische Dichte	Kubische Dichte des Sprengstoffes	Wartezeit in Sekunden	Stauchwert in Zinkblechhülsen von 20 mm Durchmesser u. 80 mm Länge bei Zündung m. 10 g gepreßter Pikrinsäure		
						des Aufsaugestoffes	in g	
I	Carben	7,20	0,26	1,04	15—25	3,10		
						3,40		
						3,45		
						3,40	3,35	
						3,50		
						3,20		
						3,20		
						(2,82)		
I	Ruß	5,82	0,21	0,73	17—32	2,52		
						2,27	2,35	
						2,27		
I		7,10	0,26	0,88	ca. 30	3,07	3,05	
III		8,70	0,31	1,08	ca. 30	1,70	(1,70)	
I	Korkmehl	6,1	0,22	0,63	25—40	2,56		
						2,22	2,35	
						2,23		
II		10,4	0,36	1,08	40	2,82	2,80	
I	Holzmehl	10,53	0,38	0,82	15—25	2,36		
						2,24	2,25	
						2,20		
II		12,0	0,43	0,93	24	2,78	2,80	
I	Torf	6,37	0,23	0,54	18	2,21	2,20	
II		6,70	0,24	0,57	29	1,91	(1,90)	

die bei der zweiten und noch mehr bei der dritten Reihe erhaltenen Werte durch die infolge der höheren Dichte noch weiter verminderte Wartezeit und die schwerere Detonierbarkeit allzu sehr beeinflußt wurden. Das macht sich besonders dadurch kenntlich, daß bei der dritten Reihe bereits ein starker Abfall der Stauchung eintritt.

Die so gefundenen Stauchungswerte ordnen sich der Reihenfolge der nach der Brisanzformel¹⁰⁾ $B = V \cdot \Delta \cdot f$ berechneten Werte (s. Tabelle 6b) ziemlich gut ein¹¹⁾, so daß

¹⁰⁾ Vgl. Z. Schieß- u. Sprengstoffw. 8, 67 [1913].

¹¹⁾ Um vergleichbare Werte zu erhalten, sind bei der Berechnung der Brisanz für die Detonationsgeschwindigkeit die Werte gewählt worden, die bei freier Sprengung erhalten wurden. Bei der praktischen Verwendung der Sprengstoffe im Bohrloch würden aber die um etwa 15—20 % höheren Brisanz-

der Schluß gezogen werden kann, daß die für die Energie theoretisch berechneten und die für die Dichte angenommenen Werte nicht allzusehr von den wirklichen abweichen.

Es ergibt sich ferner, daß bei den kräftigeren Gemischen (Carben und Ruß) der Stauchungswert beträchtlich höher ist als der der Ammonsalpetersprengstoffe bei der üblichen Ladedichte von 0,9—1,1, was auch der doppelten Energie bei etwa gleicher Dichte entspricht.

2. Energie.

Auf dieselbe Weise, d. h. durch Ermittlung des Maximalwerts bei veränderter Wartezeit wurde der Energieinhalt der Flüssigluftsprengstoffe an der Aufbauchung im Normalbleizylinder ermittelt. Die oben angegebene, bei dieser Ermittlung auftretende Schwierigkeit, d. h. der Sauerstoffverlust vor dem Abschuß der Patrone, wurde dadurch vermieden, daß vor dem Laden des Bleizylinders mit der getränkten Patrone etwa 15 ccm flüssige Luft in die Ausbohrung eingefüllt wurden. Dem Herauswerfen des Sandbesatzes wurde durch Einsetzen eines Entlüftungsrohrchens aus Papier vorgebeugt.

Bei den Versuchen wurden die in Tabelle 3 eingetragenen Werte erhalten. Sie passen sich den theo-

Tabelle 3.
Bleizylinderversuche mit Flüssigluftsprengstoffen.

Stoff	Ab- ge- wogene Menge	Berech- neter Sauer- stoff- bedarf	Abkühl- ungszeit des Blei- zylinders nach Ein- gießen von etwa 15 ccm fl. L.	Zeitdauer bis zum Schluß nach dem Heraus- nehmen aus dem Tauch- gefäß	Aufbauchung in Kubikzentimeter gefunden nach Ab- zug des Bohrloch- raums	Aufbauchung in Kubikzentimeter reduziert auf Normal- kurve	
						reduziert auf Normal- kurve	
Carben	2,45	7,55	30	23 30 21 45	710 740 660 (560)	530 540 515 (465)	
Ruß	2,86	7,14	30	30 45 20 23 60	685 730 620 650 (580)	520 540 495 505 (475)	510
Kork	3,31	6,69	30	30 35 35	675 680 615 640	515 520 490 505	
Holz	4,64	5,36	30	30 35 25 25 60	550 510 590 500 (100)	450 435 480 430 (100)	450
Torf	4,20	5,80	30	25 25 45 45	615 595 (425) (380)	490 480 (380) (350)	465
Pikrinsäure als Vergleich in mit flüssigem Sauerstoff abge- kühltem Blei- zylinder desgl. bei 0°	10	—	30 60 120	—	310 310 303 290	—	290
					300		

werte, die sich aus der höheren Detonationsgeschwindigkeit ergeben, und außerdem der bereits auf S. 973, r. erwähnte Umstand in Betracht zu ziehen sein, daß die Verdampfungskurve des Sauerstoffs im Bohrloch verhältnismäßig flach verläuft, daß also die Brisanz nicht in demselben Maße abnimmt wie bei freier Sprengung.

retisch zu erwartenden gut an, und es ist zu erkennen, daß sie entsprechend der großen spezifischen Energie selbst den Wert der Sprenggelatine (520, reduziert 440 ccm) erheblich übersteigen.

Da die Aufbauchungen des Bleizylinders nicht direkt proportional der Energie sind, sondern schneller als diese ansteigen, wurden die Werte auf eine Normale, d. h. eine der genannten Proportionalität entsprechende Linie reduziert.

An und für sich liegen die Bleizylinderzahlen etwas hoch. Zum Teil haben sie ihre Ursache darin, daß der Sandbesatz infolge der Gasentwicklung eine sehr lockere Beschaffenheit besitzt, was zur Folge hat, daß eine starke Aufweitung des Bohrlochs nach oben eintritt; vielleicht auch darin, daß der Dampfdruck der überschüssigen flüssigen Luft die Wirkung verstärkt, es kann aber dieser Betrag nicht sehr groß sein.

3. Empfindlichkeit.

Weitere Versuche wurden ausgeführt, um die Empfindlichkeit unter dem Fallgewicht festzustellen. Ähnliche Versuche sind schon von Seiten der Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen in Neubabelsberg¹²⁾ angestellt worden, nachdem man beobachtet hatte, daß beim Besetzen der Bohrlöcher vorzeitige Entzündungen vorgekommen waren. Sie führten zu der Annahme, daß die Flüssigluftsprengstoffe gegen mechanische Einwirkung verhältnismäßig empfindliche Sprengstoffe sind.

Wenn diese Empfindlichkeit der Flüssigluftsprengstoffe und die daraus sich ergebende Gefährlichkeit im Gebrauch anfangs bei der Verwendung auch zum Ausdruck kam, so hat man doch gelernt, die Handhabungssicherheit im Laufe der Zeit ganz beträchtlich zu erhöhen, so daß die Unfallgefahr heute bei den Flüssigluftgemischen nicht größer ist als bei den handfertigen Sprengstoffen. Es ist dabei auch in Betracht zu ziehen, daß viele Unfallmöglichkeiten (Transportgefahr, nachträgliches Losgehen von Versagern usw.) für die genannten Gemische wegfallen. Die Verminderung der Unfälle bei Verwendung der flüssigen Luft ist in erster Linie den Bestrebungen der Sprengluftgesellschaft zu danken, die durch sachgemäße Anfertigung der Sprengluftpatronen und Herausgabe von Gebrauchsvorschriften für die nötige Aufklärung in den Verbraucherkreisen Sorge getragen hat.

Bei der Ausführung der Versuche zur Feststellung der Empfindlichkeit war es nicht möglich, die übliche Fallhammermethode anzuwenden, bei der nur kleinste Mengen (unter 0,1 g) geprüft werden können. Man mußte sich daher begnügen, die ganzen Patronen zu prüfen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 eingetragen. Sie zeigen, daß die Empfindlichkeit dieser Sprengstoffe namentlich der kräftigeren Gemische (Carben) derjenigen der Dynamite nichts nachgibt. Es ist aber zu beachten, daß bei den Versuchen entsprechend den praktischen Verhältnissen eine verhältnismäßig lange Wartezeit gewählt wurde, so daß im Augenblick der Einwirkung des Fallgewichts wohl nicht mehr die richtige Zusammensetzung vorhanden war. Das zeigte sich auch daran, daß die Stoffe mit geringer Aufsaugfähigkeit (Holzmehl und Cellulose) sich sehr unempfindlich erwiesen. Eine Nachprüfung der Versuche, die zur genauen Ermittlung der Empfindlichkeit erforderlich wäre, wurde zunächst aus dem Grunde unterlassen, weil der Empfindlichkeit unter dem Fallgewicht eine allzu große praktische Bedeutung

¹²⁾ Vgl. Brunschw. Z. ang. Ch. 36, 256 [1923].

Tabelle 4.

Stoßempfindlichkeit unter dem Fallhammer von Sprengluft- im Vergleich zu anderen Sprengstoffpatronen.

Sprengstoff	Wartezeit in Min.	Fall- gewicht kg	Fall- höhe cm	Verhalten v. Patronen mit 3 cm Durchmesser und 5 cm Länge
Carben	6	50	20	nicht detoniert
			50	Detonation m. lautem Knall und Feuererscheinung
Korkmehl	5	25	30	Detonation unter lautem Knall und Feuererscheinung
			40	nicht detoniert
Holzmehl	5	25	30	nicht detoniert
			40	Detonation unter lautem Knall mit Feuererscheinung
Cellulose	1	25	40	nicht detoniert
	5	25	50	nicht detoniert
Torf	1	25	50	Teilexplosion unter schwachem Knall
	5	25	100	nicht detoniert
Gurdynamit	—	25	50	nicht detoniert
	—		60	Detonation
Cheddit	—	25	70	nicht detoniert
	—		100	Teilexplosion. Ein großer Teil des Sprengstoffes wurde wieder gefunden
Donarit	—	25	150	nicht detoniert
	—		100	Teilexplosion. Sonst wie bei Cheddit
	—		150	
	—		300	Teilexplosion. Sonst wie bei Cheddit

nicht beigemessen werden sollte. Die Sprengluftpatronen besitzen nämlich die Eigentümlichkeit, stets von einem Luftpulster und einer Schicht kondensierten und gefrorenen Wasserdampfes umgeben zu sein, die eine unmittelbare Berührung des Sprengstoffs mit der Bohrlochwand verhindern und einen auf den Sprengstoff ausgeübten Stoß stark abschwächen. Das schließt natürlich nicht aus, daß die Handhabungssicherheit wesentlich geringer ist als die der sogenannten handhabungssicheren (Ammonsalpeter-) Sprengstoffe, daß also dieselben Vorsichtsmaßregeln beim Gebrauch getroffen werden müssen wie bei den hochprozentigen Dynamiten.

4. Detonationseinleitung und Entzündlichkeit.

Schließlich wurde versucht, die Detonationseinleitung im Sprengstoff mit Hilfe der Entwicklung der Detonationswelle bei verschiedener Zündung, nämlich bei Sprengkapsel- und einfacher Zündschnurzündung, festzustellen. Diese Versuche verliefen aber insofern ergebnislos, als es selbst bei Einschluß im Eisenrohr, das mit einer dicken Sandschicht überdeckt war, nur bei Carben und Korkmehl gelang, die Detonation mit Zündschnur einzuleiten. Dagegen versagte die Zündung bei Ruß stets und bei Holzmehl in vielen Fällen. Bei Holzmehl wurde nur in einzelnen Fällen eine Explosion erzielt, deren Wirkung nicht über die von Schwarzpulver hinausging (siehe Figg. 3—4). Es ist aus diesen Versuchen der Schluß zu ziehen, daß die Entzündlichkeit der Flüssigluftsprengstoffe durch Funken und Flamme

nicht so groß ist, wie man bisher vielfach angenommen hatte, und es scheinen, an dem Verhalten des Carbens und Kork gemessen, nur solche Gemische in dieser Hinsicht gefährlich zu sein, die verhältnismäßig viel Wasserstoff enthalten. Wenn man auch annehmen kann, daß die Umstände für die Detonationseinleitung und Übertragung im Bohrloch günstiger sind als bei den vorstehend beschriebenen Versuchen, so ist doch der Schluß berechtigt, daß die einfache Zündung mit Zündschnur nur bei denjenigen Aufsaugestoffen angebracht ist, die an und für sich leicht entzündliche Gemische geben, wie Carben und Kork, nicht aber bei Ruß und Holzmehl. Auch bezüglich dieser Entzündlichkeit gibt die neuere Unfallstatistik keine Handhabe zu einer ungünstigen Beurteilung. Es werden aber die Sprengluftpatronen stets leicht brennbar sein, und Unfälle können auch dann entstehen, wenn keine Detonation eintritt, so daß auch hier die obige Einschränkung bezüglich der Handhabungssicherheit zutrifft.

Sprengstoffwirkung durch Flammenzündung.



Fig. 3. Flüssigluft-Korkmehl im Eisenrohr.

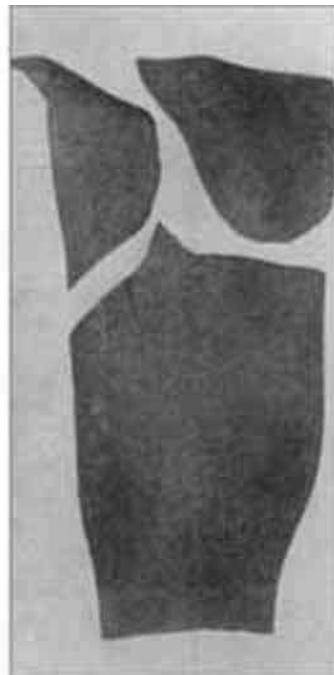
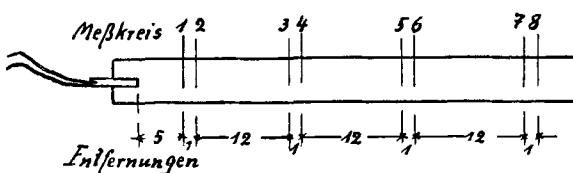


Fig. 4. Flüssigluft-Holzmehl im Eisenrohr.

Die Zündung mit Sprengkapsel wurde in Papphülsen ohne besondere Verdämmung vorgenommen. Die Messung ergab überall einen hohen Anfangswert (was hauptsächlich auf den Einfluß der Zündung als Folge der kurzen Anlaufstrecke (5 cm) zurückzuführen ist), der aber im weiteren Verlauf der Detonation auf den normalen Wert herabsank¹³⁾. Dieser hohe Anfangswert wurde auf fallenderweise auch bei der einfachen Zündschnurzündung des Carbengemisches erhalten, während als Regel ein Ansteigen von einem niederen Wert zum Höchstwert eintritt¹⁴⁾, wie es bei Carben in Papphülse und Korkmehl im Eisenrohr zu erkennen ist. Allerdings zeigte sich hier beim ersten Versuch die eigentümliche Erscheinung eines plötzlichen Abfalls im letzten Teil des 59 cm langen Rohres weit unter den normalen Wert. Es ist dies aber ohne Zweifel auf eine unvollständige Tränkung der Patrone zurückzuführen, was aus den niederen Zahlenwerten und daraus hervorgeht, daß diese Erscheinung bei weiteren Versuchen, bei denen auf eine bessere Durch-

¹³⁾ Vgl. Z. Schieß- u. Sprengstoffwesen 8, 156 [1913].¹⁴⁾ Vgl. ebenda.

Tabelle 5.

Detonationseinleitung in Flüssigluftsprengstoffen
bei verschiedener Zündung.Versuchsanordnung: Länge der Teilstrecken: je 13 cm;
(Gesamtlänge des Rohres) = 49 cm.

Aufsaugestoff	Kubische Dichte des Aufsaugestoffs	Art der Umhüllung	Art der Zündung	Detonationsgeschwindigkeit				Durchschnittswert m/sec		
				der Teilstrecken m/sec						
Carben	0,23	Papierhüllung von 3,3 cm innerem Durchmesser	Resorcinatkapsel	1-3	5010			4735		
				2-4						
				3-5	4670					
	0,24		Zündschnur	4-6						
				5-7	4520					
				6-8						
Ruß	0,25	Papierhüllung im Eisenrohr von 4 cm innerem Durchmesser	Zündschnur	1-3	2070			4890		
				2-4						
				3-5	4890					
	0,19	Papierhüllung von 3,3 cm innerem Durchmesser	Resorcinatkapsel	4-6						
				5-7	4890					
				6-8						
Korkmehl	0,23	Papierhüllung im Eisenrohr von 4 cm innerem Durchmesser	Zündschnur	I		II	III	I (4075)		
				1-3	5430	6445	7680			
				2-4						
	0,22	Papierhüllung von 3,3 cm innerem Durchmesser	Zündschnur	3-5	4890	5755	6630	II 5815		
				4-6						
				5-7	(1900)	5246	4990			
Holzmehl	0,33	Papierhüllung von 3,3 cm innerem Durchmesser	Resorcinatkapsel	6-8				III 6435		
	0,34	Papierhüllung im Eisenrohr von 4 cm innerem Durchmesser	Zündschnur	I		II	III	4360		
				1-3	4605					
				2-4						
Keine Übertragung										
Keine Messung Sprengstoff abgebrannt unter Beobachtung von 2 aufeinanderfolgenden schwachen Knallen, aber keine detonationsartige Erscheinung										
Keine Übertragung										

tränkung geachtet wurde, ausblieb. In der Tat ergaben auch diese Versuche mindestens denselben hohen Durchschnittswert, wie er bei der früheren Messung der Detonationsgeschwindigkeit im Eisenrohr erhalten worden war. Es kommt aber auch hier die auf Seite 976, 1, erwähnte Einschränkung in Betracht. Das Nähere dieser Versuche geht aus Tabelle 5 hervor.

Die auf vorstehend beschriebene Weise ermittelten und in den Tabellen 1—4 im einzelnen niedergelegten Versuchsergebnisse sind zum Vergleich mit anderen handfertigen Sprengstoffen in der nachstehenden Gesamt-

übersicht (Tabelle 6 a und 6 b) zusammengestellt. In derselben Übersicht sind auch die aus der Zersetzungsgleichung und den Gasdruckkonstanten errechneten Zahlen eingetragen. Die Grundsätze, die bei dieser Berechnung beachtet wurden, sind unten auf Tabelle 6 a verzeichnet. Dabei muß noch im besonderen bemerkt werden, daß die Berechnung des Energiewertes (spezifische Energie) nach der Mariotte-Gay-Lussac-schen Gleichung¹⁵⁾, $\frac{P_0 V_0}{273} T$ infolge der mangelnden Kennt-

¹⁵⁾ Vgl. ebenda S. 65.

Gesamtübersicht — 1. Teil (Tabelle 6 a).
Chemische Beschaffenheit von Flüssigluft- im Vergleich zu anderen Sprengstoffen.
(Grundlagen für die Berechnung der Sprengstoffkonstanten.)

Art des Grundstoffs oder Sprengstoffe	Chemische Zusammensetzung für die Berechnung (analytisch ermittelt)		Reingehalt in % (Rest Asche)	Angenommene Bildungswärme des Grundstoffs		Verbrennungswärme (Cal/kg)		Bedarf pro kg an		Aufsaugefähigkeit
	Formel	Elementar-Gehalt der Trocken-substanz in Gewichtsprozenten		(analyt. ermitt.)	pro g-Mol	pro kg	nach Angabe mit gasförmigem Sauerstoff	nach Berechnung mit 97 proz. flüssigem Sauerstoff	100 proz. Sauerstoff	
Carben	C ₂₃ H ₂₀	C = 93,24 H = 6,76 O = —	98	0	0	—	8826	3015	3105	3,2 fach
Ruß	C ₂₀ H ₃ O · 0,3 H ₂ O	C = 94,3 H = 0,9 O = 4,8	98	21	62	7500—7800	7146	2450 (2670)	2523	(5,6—6,8 fach)
Korkmehl	C ₆ H ₉ O ₂ · 0,5 H ₂ O	C = 63,7 H = 8,0 O = 28,3	98	261	2140	5500—6600	4608	1865 (1800—2200)	1921	(5,7—7,0 fach)
Holzmehl	C ₇ H ₁₀ O ₅ · H ₂ O	C = 48,3 H = 5,7 O = 46,0	99	322	1677	2900—3600	3383	1155 (1600)	1190	(2,9 fach)
Torf	C ₁₀ H ₁₂ O ₅ · 2 H ₂ O	C = 56,6 H = 5,7 O = 37,7	99	367	1480	4360	3990	1340 (1300)	1380	(2,7 fach)
Sprenggelatine	92 Nitroglycerin 8 Collodiumwolle	—	—	437						
Gelatinedynamit 64 proz.	62,5 Nitroglycerin 2,5 Collodiumwolle 25,5 Natronalpeter 8,75 Holzmehl 0,25 Soda	—	—	793						
Gurdynamit	75 Nitroglycerin 25 Kieselgur	—	—	1076						
Donarit	80 Ammonalpeter 12 Trinitrotoluol 4 gelat. Nitroglyc. 4 Mehl	—	—	963						
Cheddit Typ. 60	79 Kaliumchlorat 15 Dinitrotoluol 1 Nitronaphthalin 5 Rizinusöl	—	—	666						
Schwarzpulver	75 Kalisalpeter 10 Schwefel 15 Holzkohle	—	—	1098						

Bei der Berechnung der Werte in Tabelle 6 a und 6 b angewandte Grundsätze.

- Der Sauerstoffgehalt der flüssigen Luft wurde analytisch zu etwa 97 % ermittelt.
- Der Aschengehalt wurde als Verunreinigung angenommen und bei der Berechnung durch Abzug berücksichtigt. Seine spezifische Wärme wurde vernachlässigt.
- Die Bildungswärme wurde bei Carben und Ruß = 0 gesetzt, bei Holzmehl wurde der Wert für Cellulose auf das Molekulargewicht umgerechnet angenommen; bei Kork und Torf ein etwas geringerer Wert eingesetzt; jeweils unter Zurechnung der Bildungswärme des Wassergehalts (als Eis).
- Die Verdampfungswärme der flüssigen Luft wurde zu 95 Cal/kg, die Bildungswärme von CO₂ zu 94,3 Cal/Mol., Bildungswärme des Wasserdampfs zu 58,2 Cal/Mol. angenommen.

nis des Covolumens sehr unsicher ist, und daß sich deshalb der Einfluß der Dichte auf den Gasdruck nicht berücksichtigen läßt. Dieser Einfluß wird allerdings bei den Flüssigluftsprengstoffen wegen ihrer niedrigen Dichte kleiner sein als bei den festen Sprengstoffen, er wird aber das Verhältnis zwischen den Werten der einzelnen Sprengstoffe etwas verschieben.

III. Zusammenfassung.

Wenn man somit die Ergebnisse der vorstehend beschriebenen Berechnungen und Versuche zusammenfaßt, so kommt man zu folgenden Schlußfolgerungen:

1. Die Flüssigluftsprengstoffe sind die energiereichsten der bisher praktisch verwendeten Sprengstoffe.

2. Die Brisanz (Maximalarbeitsleistung) erreicht bei den geprüften, aus einfachen Rohstoffen zusammengesetzten Flüssigluftsprengstoffen im günstigsten Fall diejenige der weniger sprengkräftigen aromatischen Nitroverbindungen (Dinitrobenzol), der Schießbaumwolle und des Gurdynamits, aber nicht diejenige des Trinitrotoluols,

der Pikrinsäure und der sehr sprengkräftigen hochprozentigen Dynamite.

3. Durch den Umstand, daß die Flüssigluftsprengstoffe infolge der Verflüchtigung des Sauerstoffs sich verändern, wird der Vorzug der sehr großen Energie etwas abgeschwächt und auch der Hauptvorzug der Sprengstoffe gegenüber anderen technischen Hilfsmitteln, d. h. die stete Bereitschaft einer verhältnismäßig großen, an beliebigem Ort und zu beliebiger Zeit auslösbarer Arbeitsleistung beeinträchtigt. Dieser Nachteil ist jedoch in Anbetracht der Wirtschaftlichkeit nicht so groß, daß den Flüssigluftsprengstoffen nicht am richtigen Ort eine gute Zukunft — nicht im Wettstreit, sondern im friedlichen Wettbewerb mit den festen Sprengstoffen — gesichert wäre.

4. Der große Energieinhalt der Flüssigluftsprengstoffe steht in unmittelbarer Beziehung zu ihrer Empfindlichkeit gegen mechanische Einwirkungen. Diese Empfindlichkeit ist aber selbst bei den energiereichsten Gemischen nicht wesentlich größer als diejenige der energiereichen handfertigen Sprengstoffe. Man muß sie beim praktischen Gebrauch eher noch als geringer anschlagen.

Gesamtübersicht — 2. Teil (Tabelle 6 b).
Sprengtechnische Konstanten von Flüssigluft- im Vergleich zu anderen Sprengstoffen.

Sprengstoff	Grund-stoffs	Ladegewicht des fertigen Spreng-stoffs	Maximale Explosionswärme (Cal/kg)	Bei der Explosionsentwickeltes Gasvol. v_0 (L/kg)	Detonations-temperatur °C	Spezif. Energie ohne Berücksichti-gung des Covolumens kg/L	Bleiblock-aufbauchung		Detonationsgeschwindigkeit V (m/sec)	Maximale Stauch-wirkung frei gesprengt mm	Δ	Brisanz-wert-verhältnis a) frei b) im Rohr f.Z.V.10 ⁻⁵
		a) gefunden b) berechn.					gefunden-der Wert ccm	reduzierter Wert ccm				
Flüssige Luft Carben	0,26	a) 1,04 b) 1,06	2180	615	5750	14100	725	535	a) 4760 b) 5600	3,35	1,04	a) 70 b) 82
" Ruß	0,21	a) 0,72 b) 0,75	1995 (2130)	535 (505)	6500	13715	705	530	4680	2,35 3,05	0,73	a) 47 a) 56
" Korkmehl	0,22	a) 0,63 b) 0,67	1660 (1960—2050)	700	4195	11840	655	510	3300	2,35 2,80	0,63 1,08	a) 25 a) 42
" Holzmehl	0,38	a) 0,82 b) 0,84	1535 (1770)	700	4095	11575	535	450	a) 3610 b) 4240	2,25 2,80	0,82 0,93	a) 34 b) 40 a) 39 b) 46
" Torf	0,23	a) 0,53 b) 0,55	1670 (1490)	700	4385	12340	605	485	3275	2,20	0,54	a) 22
Sprenggelatine	—	1,60	1565	710	4365	12465	520	440	7800	5,0	—	156
Gelatinedynamit 64 proz.	—	1,66	1295	630	3700	9490	415	375	6100	3,9	—	96
Gurdynamit	—	1,68	1120	540	3490	7690	315	300	6650	3,1	—	76
Donarit	—	1,14	930	900	2620	9855	400	365	3700	1,85	—	41
Cheddit Typ 60	—	1,3	1185	335	4500	6090	255	250	2500	1,6	—	20
Schwarzpulver	—	1,2	665	280	2380	280	—	—	300—400	—	—	1

Diese Annahme wird auch durch die Unfallstatistik nicht widerlegt, selbst wenn man den Umstand nicht beachtet, daß eine Unfallgefahr bei der Fabrikation, der Lagerung und der Beförderung der Flüssigkeitssprengstoffe und eine solche bei der Beseitigung von Versagern im Bohrloch wegen ihrer Eigenart überhaupt nicht in Frage kommt.

Bei den experimentellen Arbeiten und an den Berechnungen war Dr. K. F. Meyer in eifriger und dankenswerter Weise beteiligt. [A. 185.]

Eine biologische Methode zum Nachweis der Regenwirkung auf Pflanzenschutzmittel.

Von Dr. E. W. SCHMIDT, Hannover.

(Eingeg. 11./9. 1924.)

Um experimentell nachzuweisen, inwieweit der Regen ein aufgespritztes Pflanzenschutzmittel in seinem fungiziden Werte herabzusetzen vermag, habe ich folgende einfache Versuchsanordnung getroffen:

Auf Glasplatten (alte photographische Platten im Format 6 × 9 cm) wurde das zu prüfende Pflanzenschutzmittel, z. B. eine Bordeauxbrühe und im Vergleich dazu die modernen kolloidalen Kupferpräparate aufgespritzt in einer Stärke bzw. Spritzfleckenverteilung wie eine Spritzung in natura auf Blättern sonst vorzunehmen üblich ist. Diese bespritzten Glasplatten wurden bei Zimmertemperatur zum Trocknen ausgelegt. Nach dem Antrocknen der Spritzbrühe wurden in kleinen Wassertropfen, die auf die bespritzte Glasoberfläche flach ausgetragen wurden, Botrytissporen ausgesät. Das Ganze kam, so beschickt, in eine feuchte Kammer, und es wurde dann mikroskopisch nach 24 Stunden oder nach längerer Zeit die Hemmungswirkung der Spritzbrühe auf die Botrytissporen in dem Wassertropfen festgestellt. Da gleichzeitig Glasplatten, in gleicher Weise mit Botrytis-

sporen in Wassertropfen beschickt, jedoch ohne Spritzbrühenüberzug als Kontrolle ausgesetzt wurden, welche Kontrolle bei Zimmertemperatur in feuchter Kammer zu meist nach 24 Stunden zu keimen angefangen hat, so konnte an dem Vergleich mit der Kontrolle die Dauer der absoluten Hemmung (Verhinderung der Keimung) oder die Stärke der relativen Hemmung (Verzögerung der Keimung) festgestellt werden.

Nachdem obiges geschehen, werden die Spritzbrüheplatten eine Stunde lang künstlich beregnet. Nach der Beregnung werden die Platten wie zuvor bei Zimmertemperatur zur Trocknung ausgelegt und erneut in gleicher Weise mit Botrytissporen in Wassertropfen beimpft. Durch die Beregnung sind die ersten Botrytissporen abgewaschen worden, so daß eine Verwechselfung mit der Nachimpfung nicht eintreten kann. Die erneut in dieser Weise beimpften Platten werden wiederum nach einem 24 stündigen Aufenthalt in einer feuchten Kammer auf Nichtkeimung oder Keimungsverzögerung der Botrytissporen untersucht. Je nach der Stärke der Haftfähigkeit des angewandten Mittels und der Menge des nach der Beregnung auf der Platte sich noch befindenden Giftes ist jetzt eine gleiche oder nur etwas verminderte oder vollständig aufgehobene Hemmungswirkung auf die Botrytissporen festzustellen. Versuche ergaben bei einer parallelen Reihe von mit Kupferspritzmitteln behandelten Platten, die einmal mit Botrytissporen vor und nach der Beregnung wie beschrieben beimpft worden waren, in einer anderen Reihe aber nach der Beregnung einer Reaktion mit Ferrocyanikalium auf noch vorhandenes Kupfer unterworfen wurden, daß eine klare Beziehung zwischen dem Ausfall der Kupferreaktion und dem Ergebnis der Hemmungsversuche bestand. Nämlich, auf denjenigen Platten, bei welchen eine Ferrocyanikupferreaktion ausblieb, war auch eine Hemmungswirkung in der Parallelreihe auf die Botrytissporen verschwunden. Wiederum bei anderen, bei welchen nur eine schwache Ferrocyanikupferreaktion noch nachweisbar war, kam es in der parallelen Reihe zu entsprechend geringen relativen Hemmungen. Und nur dort, wo eine starke Kupfer-