

AGF

BERICHTE

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ

Fotografisches Verfahren
zur Aufnahme von Tropfen bei Strahlrohren

9

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LANDESDIENSTSTELLEN
FÜR FEUERSCHUTZ IN DEN BUNDESLÄNDERN (AGF)

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ

AGF

Forschungsbericht Nr. 9

"Fotografisches Verfahren zur Aufnahme von
Tropfen bei Strahlrohren"

von

Dipl.-Ing. H.G. Werthenbach

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

August 1967

INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|--|---------|
| 1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG | 1 |
| 2. GRUNDSÄTZLICHER AUFBAU EINES BLITZGERÄTES | 3 |
| 3. AN DER FORSCHUNGSSTELLE ENTWICKELTES GERÄT | 4 |
| 3.1. Blitzröhre | 4 |
| 3.2. Energieteil | 5 |
| 3.3. Zündgerät | 7 |
| 3.4. Mechanischer Aufbau | 8 |
| 4. AUFNAHMEGERÄTE UND PROBEAUFNAHMEN | 9 |
| 4.1. Aufnahmekamera und Aufnahmeobjektiv | 9 |
| 4.2. Effektive Leuchtdauer eines Blitzes | 10 |
| 4.3. Helligkeit des Blitzlichtes | 11 |
| 4.4. Probeaufnahmen | 12 |
| 5. ZUSAMMENFASSUNG | 12 |
| 6. LITERATURVERZEICHNIS | 13 |
| 7. BILDER | 14 - 28 |

1. EINLEITUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Das in DIN 14 365 Blatt 2 (Ausg. Dez. 1961) genannte Mehrzweckstrahlrohr ist "eine Armatur zur Abgabe von Löschmitteln im freien Wurf als Voll- oder Sprühstrahl". Die Prüfung des Sprühstrahles umfaßt das Ermitteln des Wurfbildes und der mittleren Tropfengröße unter im Normblatt festgelegten Bedingungen. Diese Prüfung ist u.a. Voraussetzung für die Erteilung der Zulassung des Strahlrohres für Feuerlöschzwecke. Obwohl in dem obengenannten Normblatt zwei Verfahren zur Tropfengrößenermittlung angegeben sind, konnten diese von der Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH), der diese Prüfung 1963 von der Feuer- schutztechnischen Prüf- und Versuchsstelle des Bayer. Landes- amtes für Feuerschutz in Regensburg übertragen worden war, nicht durchgeführt werden, sondern wurde mit Zustimmung der Prüf- stelle nach Augenschein vorgenommen.

Dadurch wird deutlich, daß die Bestimmung der Tropfengröße und -verteilung bei den Mehrzweckstrahlrohren auf Schwierigkeiten stößt. Die bekannt gewordenen Verfahren zur experimentellen Bestimmung von Tropfengrößenverteilung, wie

- die photographische Methode (Abbildung auf Film),
- die Bestimmung mittels ölgetränkter Papierstreifen oder mittels behandeltem Filterpapier,
- die Beobachtung der Einschlüge in feiner Sandschicht mit anschließendem Ausmessen der entstandenen Krater und
- die Siebanalyse der schnellgefrorenen Tröpfchen,

sind bei der hier geforderten Prüfung bis auf das erste Verfahren durchweg nicht uneingeschränkt geeignet. Da die mittleren Tropfendurchmesser von Mehrzweckstrahlrohren Werte von 0,5 bis 1,5 mm [bei einer Wasserlieferung bis 400 l/min (BM-Rohr bei 50 m WS Druckhöhe) erreichen, sind die im allgemeinen für kleinere Tropfen und geringere

Durchsatzmengen entwickelten Verfahren kaum anwendbar. Dagegen lassen sich, wie Versuche an der Forschungsstelle bereits zeigten [1], photographische Aufnahmen der Tropfen verhältnismäßig einfach herstellen und auch gut auswerten.

Da das Normblatt DIN 14 365/2 sich auf die Feststellung der Tropfenverteilung an bestimmten Orten des Strahles beschränkt, können die photographischen Aufnahmen statt mit einer Hochfrequenzfilmkamera mit einem normalen Aufnahmeapparat für Einzelbilder hergestellt werden. Die notwendige kurze Ausleuchtung der Bildzone muß allerdings wegen der Tropfengeschwindigkeit, die 30 - 40 m/sek betragen kann, durch ein Blitzgerät erfolgen.

Außer einer einfachen Bedienung und einer vernünftigen Relation zwischen dem Preis des Blitzgerätes und der Prüfaufgabe sind noch zwei weitere Forderungen an ein für den hier geforderten Zweck geeignetes Blitzgerät zu stellen:

1. Es muß eine Leuchtzeit und Leuchtkraft aufweisen, die eine scharfe Abbildung der mit hoher Geschwindigkeit fliegenden Tropfen ermöglicht.
2. Es muß gegen Eindringen von Wasser geschützt sein, da sein Aufstellungsort u.U. im Sprühstrahl liegt.

Die auf dem Markt erhältlichen Blitzgeräte ließen sich ohne Zweifel mit mehr oder weniger großem Aufwand für den Einsatz in Wasserstrahlen herrichten. Den Amateur-Blitzgeräten haftet aber generell der Nachteil der für die Tropfenfotographie zu langen Blitzzeit an. Der Funke dieser normalen Röhrenblitzgeräte leuchtet etwa 1 Millisekunde. Das ist auch die minimale Öffnungszeit mechanischer Kamera-verschlüsse. Andererseits ist aber bei einer Tropfengeschwindigkeit von 40 m/sek der von einem Tropfen während dieser Aufnahmezeit zurückgelegte Weg etwa 40 mm. Nur das von der Fa. Impulsphysik GmbH, Hamburg, gebaute Strobokin-Blitz-

gerät erzeugt Funken von geeigneter Kürze, ist aber für den vorliegenden Fall zu aufwendig.

Es bestand daher die Aufgabe, aus handelsüblichen Bauteilen ein für den speziellen Fall geeignetes Blitzgerät herzustellen.

2. GRUNDSÄTZLICHER AUFBAU EINES BLITZGERÄTES [2] , [3] .

Die wichtigste Aufgabe hat im Elektronenblitzgerät die Blitzröhre, die elektrische Energie in Licht umsetzt. Blitzröhren sind Gasentladungsröhren, deren Entladungsgefäß mit Edelgas unter Druck gefüllt ist. Beim Durchgang eines Stromes wird das Gas derart erwärmt, daß es sichtbare Strahlung aussendet. Dies tritt allerdings erst ein, wenn das Füllgas eine hohe Temperatur angenommen hat. Andererseits braucht es anschließend wieder eine gewisse Zeit, um sich auf eine Temperatur abzukühlen, bei der die Strahlungsemission zum Erliegen kommt, d.h. die Lichtemission kann nur bis auf ein bestimmtes Maß verkürzt werden. Die Blitzdauer hängt somit von der Zeit des Stromdurchganges und von den Abkühlungsverhältnissen des Füllgases ab. Den Zusammenhang zwischen Spannung, Entladestrom und Lichtstrom bei einer Impulsenergie von 4 WS für die Osram-Blitzröhre XIE 200 W zeigt Bild 1 [4] .

Die Betriebsspannung zwischen Anode und Kathode der Lampe ist so gewählt, daß ohne besondere Maßnahmen kein Strom durch die Lampe fließt. Erst nach dem Zünden der Lampe durch einen Zündimpuls kann die Entladung stattfinden. Während der Entladung fließt ein sehr hoher Strom durch die Blitzröhre. Da die Entladungszeit wegen der gewünschten kurzen Lichtabgabe sehr kurz, die Zeit aber zwischen zwei Blitzen im Verhältnis dazu lang ist, kann der die Entladungsenergie liefernde elektrische Teil des Blitzgerätes für eine durchschnittliche Leistungsabgabe ausgelegt werden. Die Entladungsenergie wird daher von einer verhältnismäßig schwachen Gleichspannungsquelle G über einen Ladewiderstand R dem

Kondensator O zugeführt und dort gespeichert (Bild 2). Die Lampe erlischt nach der Zündung, wenn die Kondensatorspannung unter die Brennspannung der Lampe bei der Entladung abgefallen ist. In dem Zündgerät IG wird die ebenfalls in einem Kondensator gespeicherte Zündenergie stoßartig über die niederohmige Wicklung eines Zündtransformators Z entladen und erzeugt auf dessen Hochspannungsseite eine gedämpfte Schwingung, die kapazitiv auf die Entladungskapillare der Blitzlampe L gegeben wird. Grundsätzlich können Blitzlampen aber auch gezündet werden, indem die Spannung zwischen Anode und Kathode der Lampe über die Durchbruchspannung erhöht wird.

3. AN DER FORSCHUNGSSTELLE ENTWICKELTES GERÄT

Auch das hier beschriebene, für die Tropfenfotographie von Mehrzweckstrahlrohren entwickelte Blitzgerät entspricht im Aufbau prinzipiell dem obigen Schema. Lediglich die Anordnung und Auswahl der Bauteile richteten sich nach dem Anwendungszweck.

3.1. Blitzröhre

Aus der Vielzahl der auf dem Markt befindlichen Impulsentladungslampen wurde die hauptsächlich in Lichtblitz-Stroboskopen verwendete Lampe XIE 200 W der Fa. Osram ausgewählt. Die Lampe hat bei ausreichend kurzer Leuchtdauer eine befriedigende Lichtausbeute. Alle weiteren hier bekannt gewordenen Blitzröhren wiesen zum größten Teil zwar eine höhere Lichtabgabe auf, genügten aber in Bezug auf die Leuchtdauer nicht den Anforderungen.

Bild 3 zeigt die Osram-Impulsentladungslampe XIE 200 W und gibt einen Überblick über die technischen Daten.

Während bei Stroboskop-Betrieb der Nennwert der Betriebsspannung einzuhalten ist, kann in dem hier vorliegenden

Sonderfall zeitlich verhältnismäßig weit auseinanderliegender Einzelblitze, die Betriebsspannung bis auf 4 kV erhöht werden, sofern die Einzelimpulsenergie von 12 Ws nicht überschritten wird. Diese Grenze ist durch die Folienzuführung zu den Elektroden gegeben und basiert auf einer Lebensdauer von 20 h bei Stroboskop-Betrieb mit 50 Hz ($3,6 \cdot 10^6$ Einzelblitze).

3.2. Energieteil

Aus der vorgenannten Einzelimpulsenergie von $E = 12$ Ws bei $U_L = 4$ kV Betriebsspannung ergibt sich die Kondensatorkapazität C aus der Beziehung

$$E = 1/2 C U_L^2$$

$$C = 1,5 \mu\text{F}.$$

Die Aufladung eines Kondensators auf die Spannung U_L über einen Ladewiderstand R aus einer Spannungsquelle mit der konstanten Spannung U_G erfolgt nach

$$U_L = U_G \left(1 - \exp - \frac{t}{RC} \right)$$

mit t als Ladezeit. Man erkennt, daß bei gegebenem U_G und C die Ladezeit wesentlich von dem Ladewiderstand R abhängt, der bei entladem Kondensator den Ladestrom auf ein für die Spannungsquelle erträgliches Maß begrenzen soll. Im allgemeinen, wie auch hier, wird die elektrische Energie aus dem Wechselstromnetz bezogen, auf die gewünschte Spannung transformiert und gleichgerichtet.

Die Ladestrombegrenzung ist zur Schonung von Gleichrichter und Hochspannungstransformator entwendig. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit des Gerätes wurde ein Halbleiter-Gleich-

richter US 200 (n3)* der Fa. Unitrode Corporation, Watertown, Mass (USA), verwendet. Nach den Angaben des Herstellers beträgt die maximale durchschnittliche Gleichstrombelastung des Gleichrichters 80 mA (bei Luftkühlung), die einmalige Strombelastung während 8,3 ms bis 10 A und die zulässige Gleichspannung bei Einweggleichrichtung und Kondensatorbetrieb bei einem üblichen Sicherheitsfaktor 7 000 V. Dabei betragen seine Abmessungen nur 9,53 mm Durchmesser und 25,4 mm Länge.

Ebenfalls zur Erhöhung der Betriebssicherheit wurde ein Hochspannungstransformator m4 mit magnetischem Nebenschluß gewählt, der die Kurzschlußfestigkeit gewährleistet und bei der gewählten Type (AEG - Z E 10/5) den maximal abgegebenen Strom auf 10 mA begrenzt.

Wird zur Ausleuchtung des Aufnahmegegenstandes nicht die volle Einzelimpulsenergie von 12 Ws benötigt, so empfiehlt es sich, die Blitzlampe p1 mit niedrigerer Spannung zu betreiben. Dies wird durch einen Regeltransformator m1 erreicht, der eine entsprechende Spannung an die Primärseite des Hochspannungstransformators liefert.

Zum Energieteil gehört im Falle der Blitzröhre XIE 200 W noch ein Transformator m3, der die Heizspannung von 2 V (6 A) für die Kathode der Blitzlampe liefert, zur genauen Anpassung dient der Widerstand r2 auf der Primärseite. Um den Einschaltstromstoß zu mindern und die thermische Belastung der Bauteile in dem Blitzgerät zu verringern und um andererseits in längeren Pausen zwischen den Aufnahmen die Heizung der Blitzröhre nicht völlig abschalten zu müssen, kann die Primärwicklung des Heiztransformators m3 auf die gegenüber der Nennspannung von 220 V verminderte Ausgangsspannung des Regeltransformators m1 geschaltet werden. Der Hochspannungstransformator ist dann abgeschaltet.

* Kennbuchstaben siehe Bild 4 und Bild 5

Je nach Güte des Gleichrichters und des Kondensators kann sich die Ladung des Kondensators nach dem Abschalten des Gerätes noch lange halten, was beim Öffnen des Gerätes eine Gefahr darstellen könnte. Zur schnellen Entladung ist daher der Lampe ein Widerstand von 20 MOhm (r5) parallel geschaltet.

3.3. Zündgerät

Die Zündspannung von mindestens 10 kV wird durch Entladen des Zündkondensators k4 über die Niederspannungswicklung des Zündtransformators m5 erzeugt. Dieser Zündtransformator wurde aus einem unbrauchbar gewordenen Blitzgerät genommen, seine Daten waren nicht mehr feststellbar. Für die notwendige Zündenergie muß bei einer Kapazität des Zündkondensators k4 von 4 μF die Kondensatorspannung 100 V betragen.

Diese Kondensatorspannung wird aus einer 150 V (10 mA) - Wicklung des Heiztransformators über einen Einweggleichrichter n4 und einen Ladewiderstand r4 gewonnen. Der Spannungsteiler r3 gestattet ohne Änderung des Zündkondensators eine Anpassung der Zündenergie an ggfs. ersetzte Zündtransformatoren oder Blitzlampen, wobei stets der niedrigste noch zur Zündung führende Wert eingestellt werden kann.

Für die Blitzauslösung sind drei Möglichkeiten vorgesehen:

1. Handauslösung durch Drucktaster b6
2. Auslösung über Kamerakontakt, Anschluß über Buchsen b3
3. Auslösung der Kamera über elektrischen Fernauslöser F1 durch Drucktaster b6 und Auslösung des Blitzes wie bei 2.

Der Fernauslöser wird am Kontakt b4 angeschlossen. Der Schalter b5 läßt wahlweise Betrieb nach 1. und 2. bzw. 3. zu.

Um den Kamerakontakt beim Auslösen des Blitzes zu schonen, wurden zwei Relais d1 und d2 nachgeschaltet. Der Spulen-

widerstand von d1 beträgt 220 Ohm, während d2 das sichere Schalten der Zündenergie übernimmt.

Die Relais d1 und d2 werden mit Gleichspannung von 12 V aus einem Transformator m2 über den Einweggleichrichter n1, den Ladewiderstand r1 und den Ladekondensator k1 gespeist. Der Ladewiderstand r1 ist so gewählt, daß die Relais d1 und d2 nur kurz über die Kondensatorenergie in k1 anziehen, dann aber bei ständig gedrücktem Taster b6 oder geschlossenem Kamerakontakt wieder abfallen. Die Ladezeit von k1 beträgt weniger als 2 Sekunden.

Über eine weitere Niederspannungswicklung von m2, einen Einweggleichrichter n2 und einen Kondensator k2 wird die Gleichspannung von 4 V zum Betrieb des Fernauslösers gewonnen.

Den Schutz des Blitzgerätes gegen zu hohe Berührungsspannung und gegen Fehler im Gerät übernimmt ein Fehler-Strom-Schutzschalter e1 mit 0,3 A Nenn-Fehlerstrom.

3.4. Mechanischer Aufbau

Der Einsatz des Blitzgerätes im Sprühstrahl von Mehrzweckstrahlrohren erfordert die Trennung von Steuerteil und Blitzteil.

Der Steuerteil enthält den Hauptschalter a1, den Fehlerstrom-Schutzschalter e1, den Regeltransformator m1, den Kraftteil (m2, n1, n2, r1, k1, k2) für die 4 und 12 Volt-Steuerspannungen, sowie die Kontakte b3 und b4 zum Anschluß von Kamera und Fernauslöser, den Schalter b7 zum Umschalten der Spannung für den Heiztransformator, den Schalter b5 für die Wahl der Betriebsart und den Taster b6 für Handauslösung des Blitzes.

Eine 25 m lange, 5-adrige Leitung stellt über eine unverwechselbare Steckverbindung b2 und b8 die Verbindung zum Blitzteil her, in dem sich die Blitzröhre p1, der Hochspannungstransformator m4, der Hochspannungsgleichrichter n3, der Ladekondensator k3, der Entladewiderstand r5, der Heiztransformator m3, und die zum Zündkreis gehörigen Teile wie Zündspule m5, Zündkondensator k4, Gleichrichter n4, Ladewiderstand r4, Spannungsteiler r3 und Relais d2 befinden. Die Bilder 6, 7, 8 und 9 zeigen die Anordnung der Bauteile und eine Gesamtansicht des Gerätes. Steuerteil und Blitzteil sind in ein 5 bzw. 10 mm dickes Gehäuse aus PVC-hart eingebaut (Bild 9). Im Blitzteil, das vollständig wasserdicht ist, hat kein nach außen ragender Gegenstand Kontakt mit einem elektrischen Bauteil. Das Steuerteil dagegen sollte wegen der Herausführung von Kontakten und Schaltern nur im Trockenen betrieben werden. Zur Erleichterung der ObjektivEinstellung dient ein in der Ebene der Blitzröhre liegender 0,8 mm langer, aus dem Blitzgerät herausziehbarer Stab. Die Abmessungen von Steuerteil und Blitzteil zeigen die Bilder 10, 11 und 12.

4. AUFNAHMEGERÄTE UND PROBENAUFNAHMEN

4.1. Aufnahmekamera und Aufnahmeobjektiv

Obwohl Tropfenphotographien mit jeder handelsüblichen Kamera möglich sind, lassen jedoch Aufnahmegegenstand und Auswertung der Tropfenaufnahmen bestimmte Anforderungen an die Aufnahmegерäte sinnvoll erscheinen. So sollte erstens der Ausnahmemaßstab möglichst groß gewählt werden, damit die z.T. sehr kleinen Tropfen (0,1 mm \varnothing) bei einer Auswertung der Aufnahme noch erfaßt werden können. Zweitens sollte bei diesem großen Aufnahmemaßstab ($\sim 1:3$) die Bedienung der Kamera durch den Sprühstrahl nicht zu sehr beeinträchtigt werden.

Frühere Aufnahmen wurden aus diesem Grund mit einem Teleobjektiv mit 135 mm Brennweite durchgeführt.

Im vorliegenden Falle wurde ein Objektiv Pan-Tele-Kilar 4/300 S, Typ PANSO der Firma Kilfitt, Großhesselohe bei München, benutzt. Die technischen Daten des Objektivs sind: Brennweite 300 mm, maximale relative Lichtstärke 1:4, durch doppelten Entfernungsauszug Entfernungseinstellung von ∞ bis 1,4 m, größter Abbildungsmaßstab (bei 1,4 m Entfernung) 1:2.5, d.h. bei einem Negativformat von 24 x 36 mm wird ein Strahlausschnitt von 60 x 90 mm fotografiert. Durch dieses Objektiv wird die Wahl zwischen den Aufnahmekameras allerdings praktisch auf Kleinbild-Spiegelreflexkameras beschränkt. Beschafft wurde daher eine Kleinbildkamera NIKKOR F der Fa. Nippon Kogaku, Japan. Diese Kamera ist auch für andere Einsätze außerordentlich ausbaufähig.

4.2. Effektive Leuchtdauer eines Blitzes

Wie bereits ausgeführt, wird in der Blitzlampe das Füllgas durch die elektrische Entladung zum Leuchten gebracht, dabei hat der Lichtstrom wegen der schon erwähnten Gründe grundsätzlich den in Bild 1 gezeigten zeitlichen Verlauf. Die Leuchtzeit t_L wird daher auf den 1/2 Lichtstrom-Scheitelpunkt L_{sch} bezogen (Bild 13).

Bei mittleren Belichtungsverhältnissen gilt für die Lichtwirkung auf eine Filmemulsion das Reziprozitätsgesetz, d.h. Helligkeit und notwendige Einwirkungszeit sind umgekehrt proportional. Bei sehr kurzen Belichtungszeiten (unter 1/1000 sek) ändern sich diese Verhältnisse durch den Kurzzeiteffekt (Schwarzschildeffekt). Die effektive Belichtungszeit ermittelt man daher zweckmäßig durch eine Probeaufnahme. Bei diesen Probeaufnahmen stellte eine Markierung auf dem Flansch (52 mm \varnothing) eines sich mit 18 000 U/min drehenden Elektromotors ein sehr schnell be-

wegtes Objekt dar. Diese Markierung bewegte sich auf dem äußeren Umfange mit 49 m/s d.h. mindestens mit der Geschwindigkeit der schnellsten Tropfen in einem zu prüfenden Sprühstrahl. Wie die Bilder 14 und 15 zeigen, wird die Markierung bei der Aufnahme völlig scharf wiedergegeben. Die Blitzdauer ist also für den Zweck der Tropfenfotographie bei Sprühstrahlen aus einem Mehrzweckstrahlrohr völlig ausreichend.

4.3. Helligkeit des Blitzlichtes

Da die Verschlussgeschwindigkeit der verwendeten Kamera bei Blitzlichtaufnahmen höchstens $1/30$ sek betragen darf - sie liegt für sämtliche Kameras mit Schlitzverschluss in dieser Größenordnung - spielt sie für die Lichteinwirkung auf die Filmemulsion keine Rolle.

Die richtige Belichtung des Filmes muß daher durch die Objektivblende und die Entfernung der Blitzlichtquelle vom Objektiv geregelt werden. Als Rechengröße gilt dabei die Leitzahl, die als Produkt aus Blendenöffnung und Entfernung gebildet wird. Diese Leitzahl wurde für das hier beschriebene Blitzgerät bei einem Blitz von der Kamera aus in Objektivachse für die Spannungen des Blitzkondensators von 2000 V, 3000 V und 4000 V mit einem Schwarz-Weiß-Film der Empfindlichkeit 17° DIN (40 ASA) in einem Raum mit mittlerem Reflexionsvermögen ermittelt.

Tabelle 1. Leitzahl bei SW-Film 17° DIN (40 ASA) und verschiedenen Kondensatorspannungen

| Kondensator-Spannung | 4000 | 3000 | 2000 |
|----------------------|------|------|------|
| Leitzahl | 20 | 11 | 5 |

Für den jeweiligen Aufnahmefall, insbesondere abweichende Stellungen des Blitzgerätes, müssen die Leitzahl durch Probeaufnahmen ermittelt werden. Die Werte in Tabelle 1 zeigen aber, daß eine ausreichende Helligkeit von dem Blitzgerät erzeugt werden kann. Im Einzelfall sollte jeweils die niedrigste Spannung gewählt werden.

4.4. Probeaufnahmen

Mit dem hier beschriebenen Blitzgerät wurden in dem Sprühstrahl eines DM-Strahlrohres Probeaufnahmen gemacht. Da die Lichtreflexion an der Vielzahl der kleinen Tröpfchen eines Sprühstrahles sehr hoch ist, muß der Strahlengang des Aufnahmeobjektives im Bereich des Sprühstrahles mit einem Rohr abgeschirmt werden. Weiter mußte die Lichtrückstrahlung des hinter der Aufnahmeebene liegenden Teiles des Sprühstrahles zum Aufnahmeobjektiv durch eine geschwärzte Platte verhindert werden. Die Anordnung von DM-Strahlrohr, Blitzgerät, Kamera, Rohr und Platte zeigt Bild 16.

Die Bilder 17 und 18 zeigen Tropfenaufnahmen unter zwei verschiedenen Aufnahmebedingungen. Beide Bilder zeigen, daß auch bei kurzem Abstand von der Strahlrohrmündung keine Bewegungsunschärfe durch die Geschwindigkeit der Tropfen entsteht. Bild 18 zeigt gegenüber Bild 17 weiter, wie der Kontrast der Aufnahmen durch die Verwendung einer schwarzen Platte als Hintergrund gesteigert werden kann.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Um die in DIN 14365/2 geforderte Tropfengrößenbestimmung durchführen zu können, wurde ein Elektronenblitzgerät mit extrem geringer Belichtungszeit aus handelsüblichen Bauteilen für diesen speziellen Einsatzfall entwickelt. Wie Probeaufnahmen zeigen, sind bei einer bestimmten Anordnung

von Strahlrohr, Blitzgerät, Aufnahmekamera usw. fotografische Aufnahmen auf normalem Fotomaterial möglich, die ein Bild der Tropfenverteilung am untersuchten Ort ergeben.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Hinrichs, B.R.:
Ermittlung des Tropfenspektrums von Sprühdüsen auf photographischem Wege.
VFDB-Zeitschrift, 9 (1960), Sonderheft Nr. 3, S.61-63.
- [2] Bender, G.:
Das elektronische Foto-Blitzgerät.
2. Auflage.
München: Francis-Verlag 1962.
- [3] Grabner, H. und
Reger, M.:
Physik und Technik der Blitzröhren unter besonderer Berücksichtigung der Anwendung in der Kinematographie.
Techn.-Wiss. Abhandlungen der Osram-Gesellschaft, 7 (1958), S.52-62.
- [4] Xenon-Impuls-Entladungslampen. Liste XIE der Fa. Osram, Ausgabe März 1967.

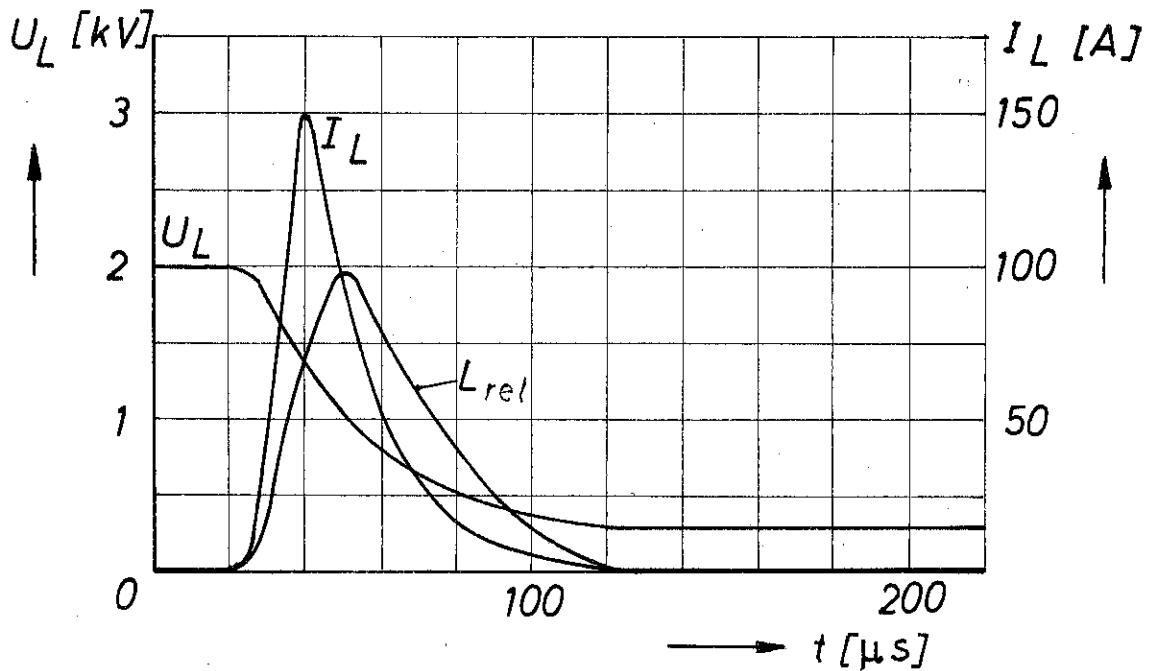


Bild 1. Zeitlicher Verlauf von Entladestrom I_L , Spannung U_L und Lichtstrom L_{rel} bei einer Impulsenergie von 4 Ws ($U = 2$ kV, $C = 2 \mu\text{F}$) bei der Osram-Impulsentladungslampe XIE 200 W nach [4].

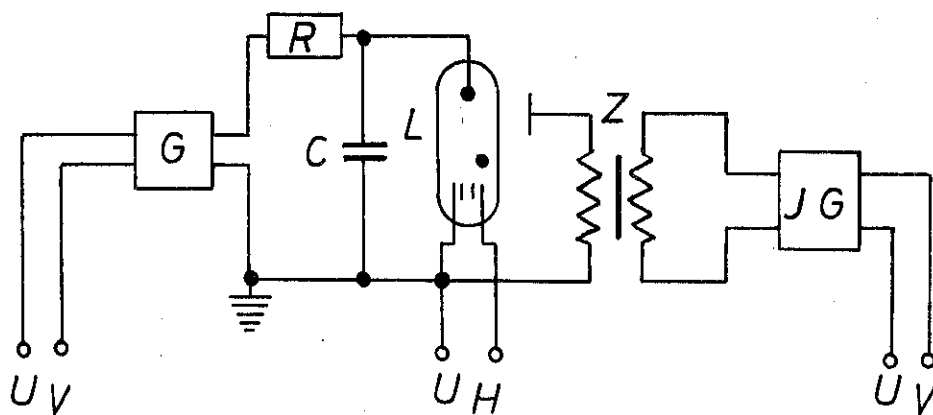


Bild 2. Prinzipschaltung für Xenon-Impulsentladungslampen. Gleichrichtergerät mit Hochspannungstransformator G , Zünd-Impulsgerät IG , Zündtransformator Z , Kondensator C , Lampe L , Ladewiderstand R . U_V = Versorgungsspannung (z.B. 220 V, 50 Hz), U_H = Heizspannung für Lampe XIE 200 W.

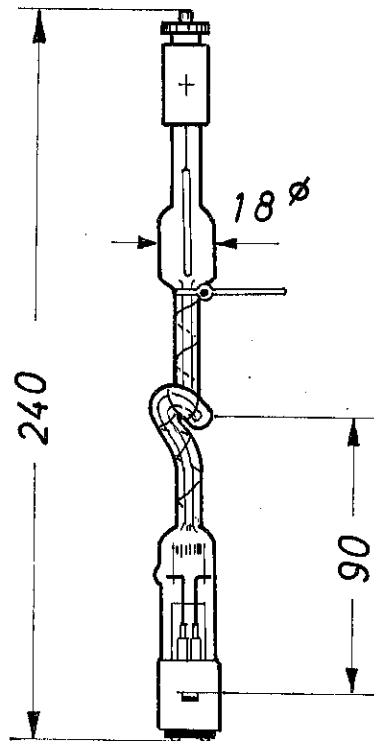


Bild 3. Osram-Impulsentladungslampe XIE 200 W. Technische Daten: Leistungsaufnahme 200 W, Betriebsspannung 2000 V, Impulsfrequenzen bis 1000 Hz, maximale Impulsenergie 12 Ws, Scheitelwert der Zündspannung mind.10 kV; Ladungsenergie des Zündkondensators 30 mWs.

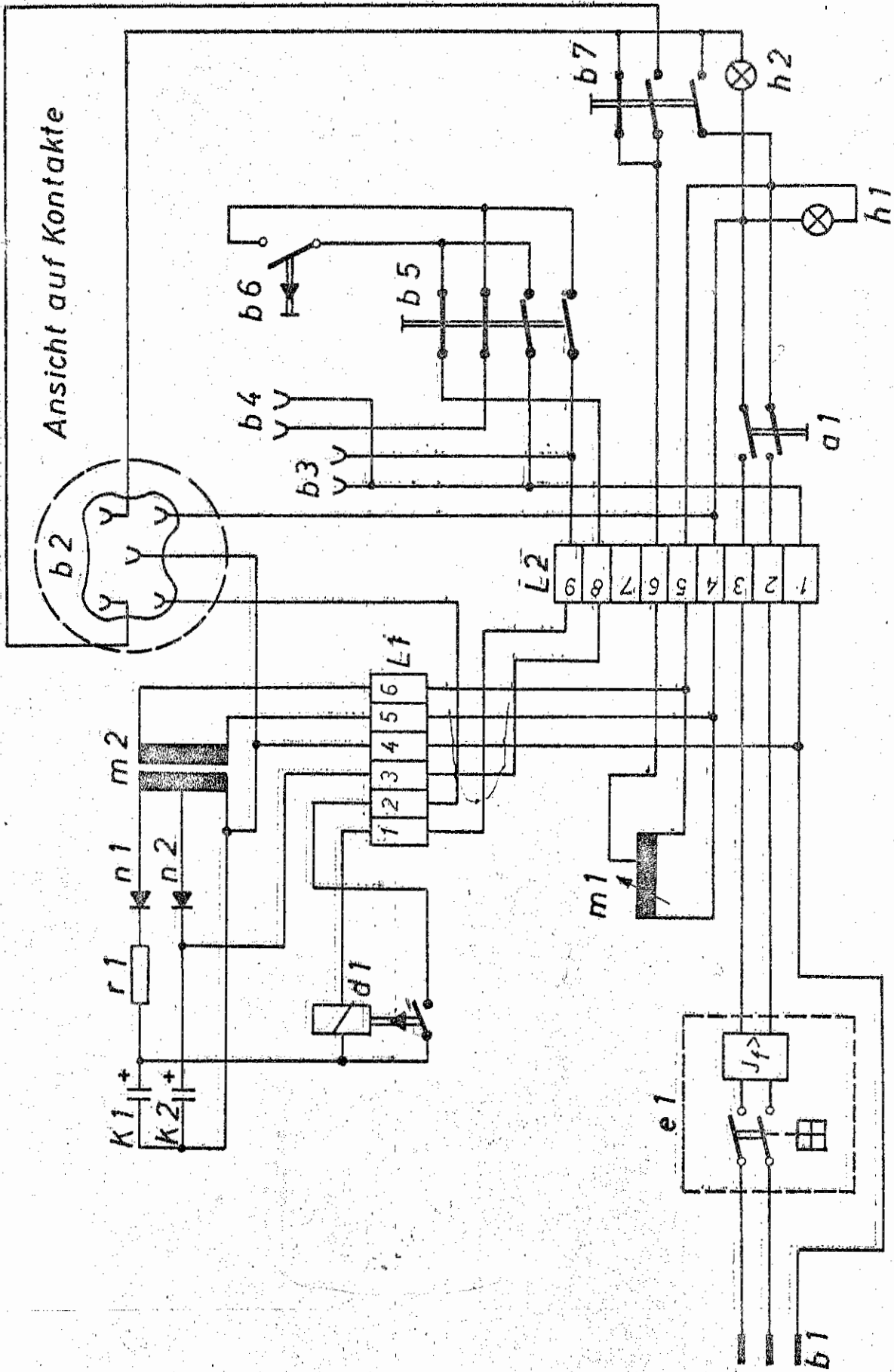


Bild 4. Schaltplan des Steuerteils.

Bild 4. Schaltplan des Steuerteils (Fortsetzung)

- a1 = Hauptschalter
- b1 = Netzstecker
- b2 = 5-polige Steckdose, unverwechselbar,
- b3 = Buchse für Anschluß Kamerakontakt
- b4 = Buchse für Anschluß Fernauslöser
- b5 = Schalter für wahlweise Auslösung mit und ohne Fernauslöser
- b6 = Drucktaster für Auslösung
- b7 = Schalter zur Reduzierung der Lampenheizung in längeren Pausen
- d1 = Hilfsrelais zur Schonung des Kamerakontaktes (Siemens Kammrelais NV 23154-C0717-B104)
- e1 = Fehlerstrom Schutzschalter, 0.3 A Auslösestrom
- h1 = Anzeigelampe (grün) für Hauptschalter
- h2 = Anzeigelampe (rot) für Blitzbetrieb
- k1 = Kondensator 1000 μ F, 30/35 V
- k2 = Kondensator 1000 μ F, 30/35 V
- L₁L₂ = Klemmleiste
- m1 = Ringstelltransformator 0 - 220 V, 0 - 1.15 A
- m2 = Transformator, prim. 220 V, 50 Hz, sek. 4 V, 6.3 V / 3.8 A, 12.6 V / 1.9 A
- n1 = Gleichrichter 30 V, 0.6 A
- n2 = Gleichrichter 30 V, 0.25 A
- r1 = Ladewiderstand, 390 Ohm, 1/2 W

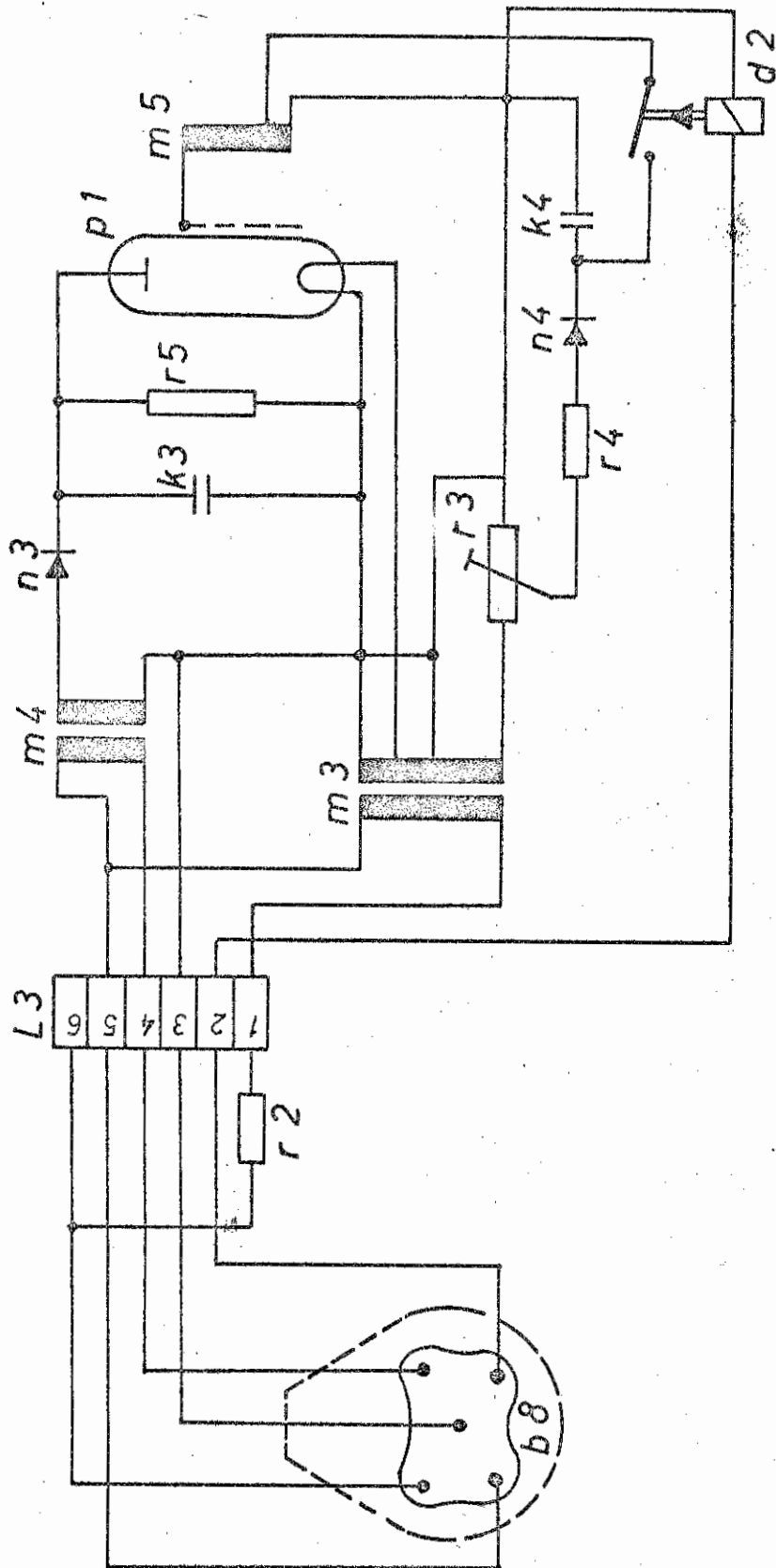


Bild 5. Schaltplan des Blitzteiles.

Bild 5. Schaltplan des Blitzteiles (Fortsetzung)

- b8 = 5-fach Steckverbindung, unverwechselbar.
- d2 = Relais für Zündkreis (Siemens, Typ V 23009-A 0006-A 052)
- k3 = Hochspannungskondensator 6300 V, 1.5 μ F
(Bosch Nr. 0670 407 057)
- k4 = Zündkondensator 220 V, 4 μ F (Bosch, Typ KO/MP 30/4 D 220/1)
- L3 = Klemmleiste, 6-reihig
- m3 = Transformator für Heizung der Blitzröhre und für Zündspannung; primär 220 V, 50 Hz, sek. 2 V, 6 A und 150 V, 10 mA
- m4 = Hochspannungstransformator; primär 220 V, 50 Hz; sekundär 5000 V, 10 mA, kurzschlußfest durch magnetischen Nebenschluß (AEG Typ ZE 1015)
- m5 = Zündtransformator
- n3 = Hochspannungsgleichrichter (Unitrode Corporation Atertown, Mass., Typ US 200)
- n4 = Gleichrichter für Zündgerät 250 V, 100 mA
- p1 = Xenon Impulsentladungslampe (Osram, Type XIE 200 W)
- r2 = Vorschaltwiderstand vor m3, um Heizspannung genau einzustellen, 400 Ohm, 6 W
- r3 = Spannungsteiler, 51 kOhm, 11 Stufen
- r4 = Ladewiderstand für Zündkondensator, 15 kOhm, 4 W
- r5 = Entladewiderstand für Hochspannungskondensator, 20 MOhm, 1/2 W (20 x 1 MOhm)

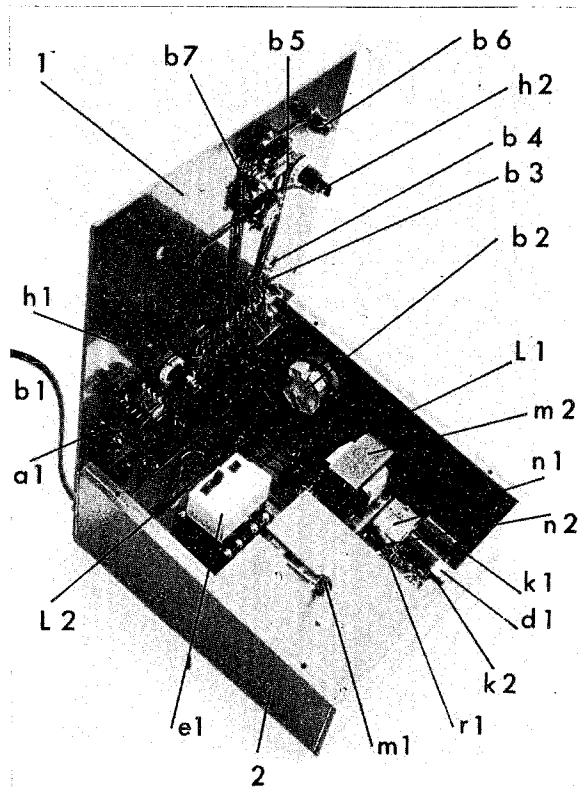


Bild 6. Anordnung der Bauteile in Steuerteil
Gehäuse 1, klappbarer Deckel 2. Bezeichnung
der Bauteile entsprechend Bild 4.

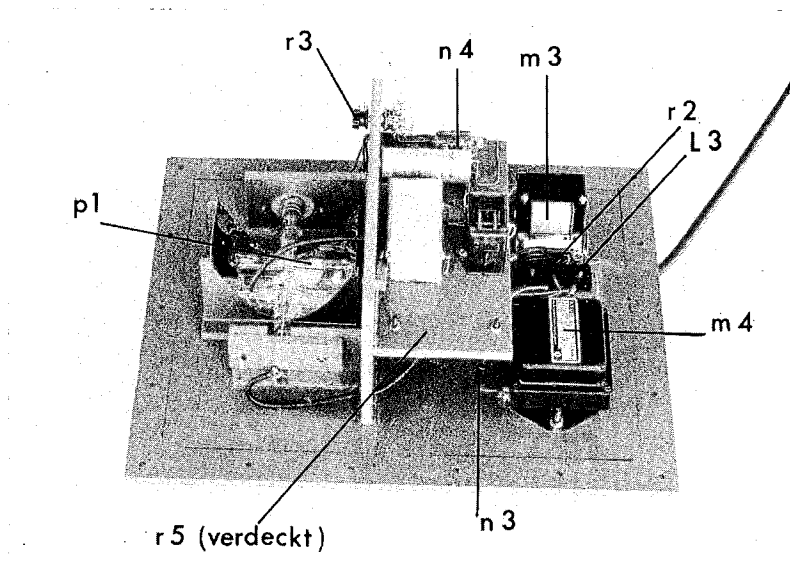
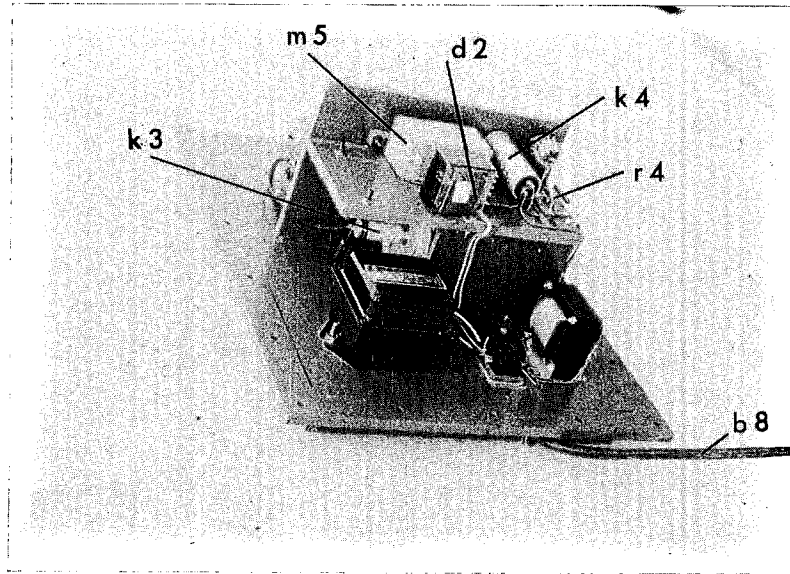


Bild 7 und 8.

Anordnung der Bauteile im Blitzteil
Bezeichnung der Bauteile entsprechend Bild 5.

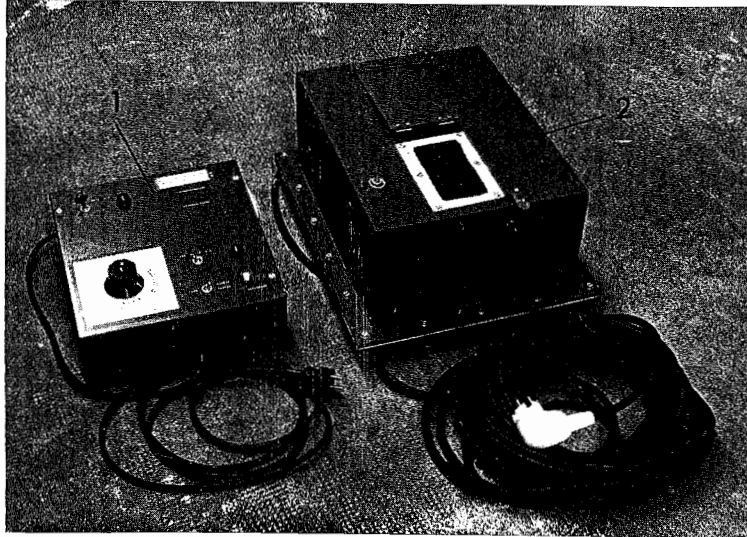


Bild 9. Gesamtansicht von Steuerteil 1 und Blitzteil 2.

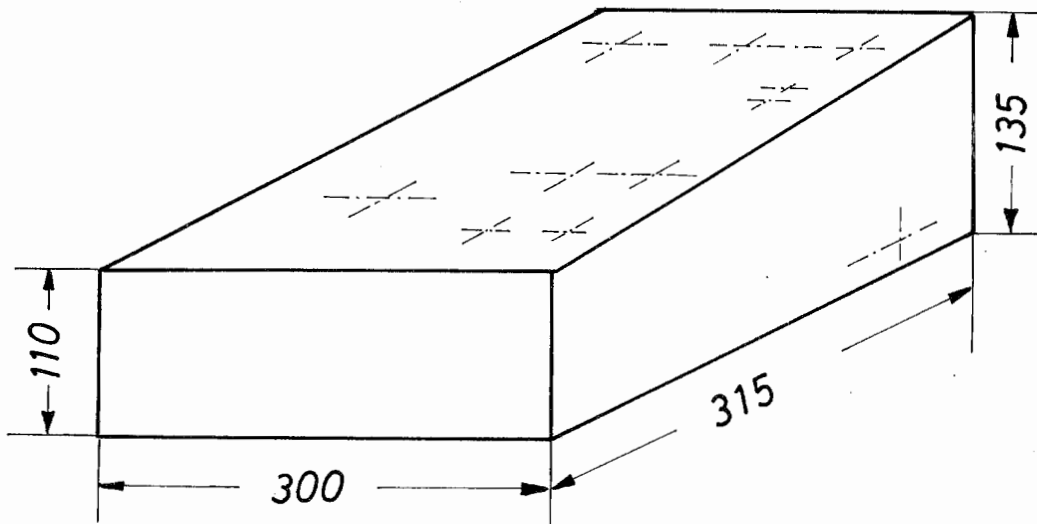


Bild 10. Abmessungen des Steuerteils.

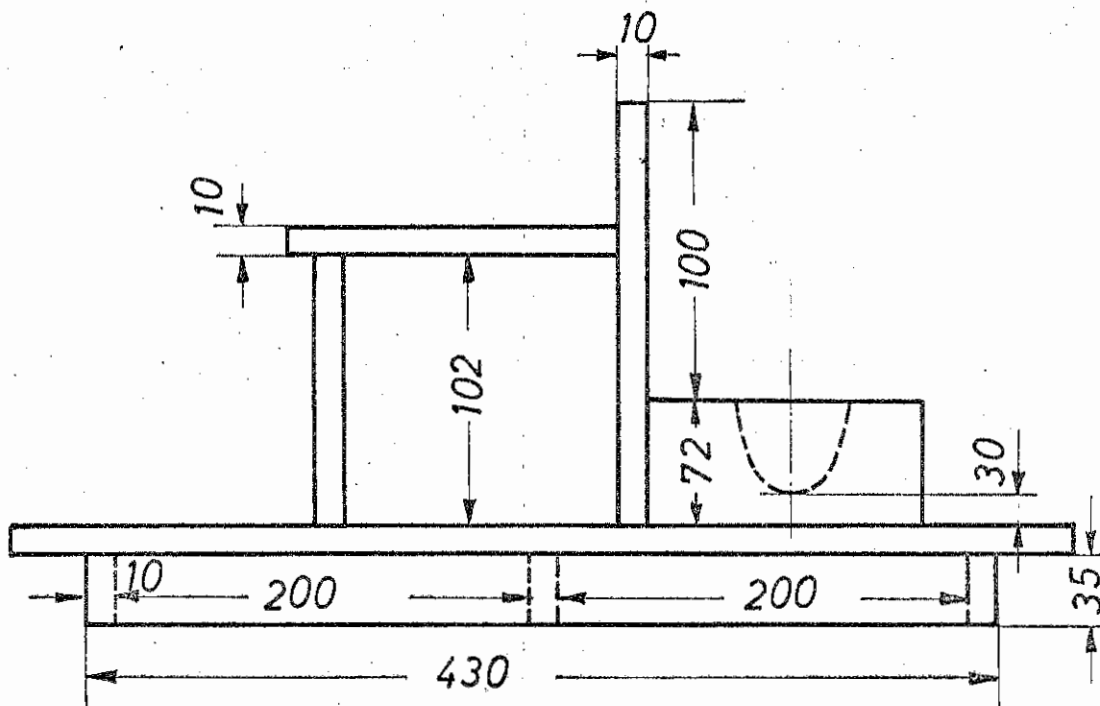
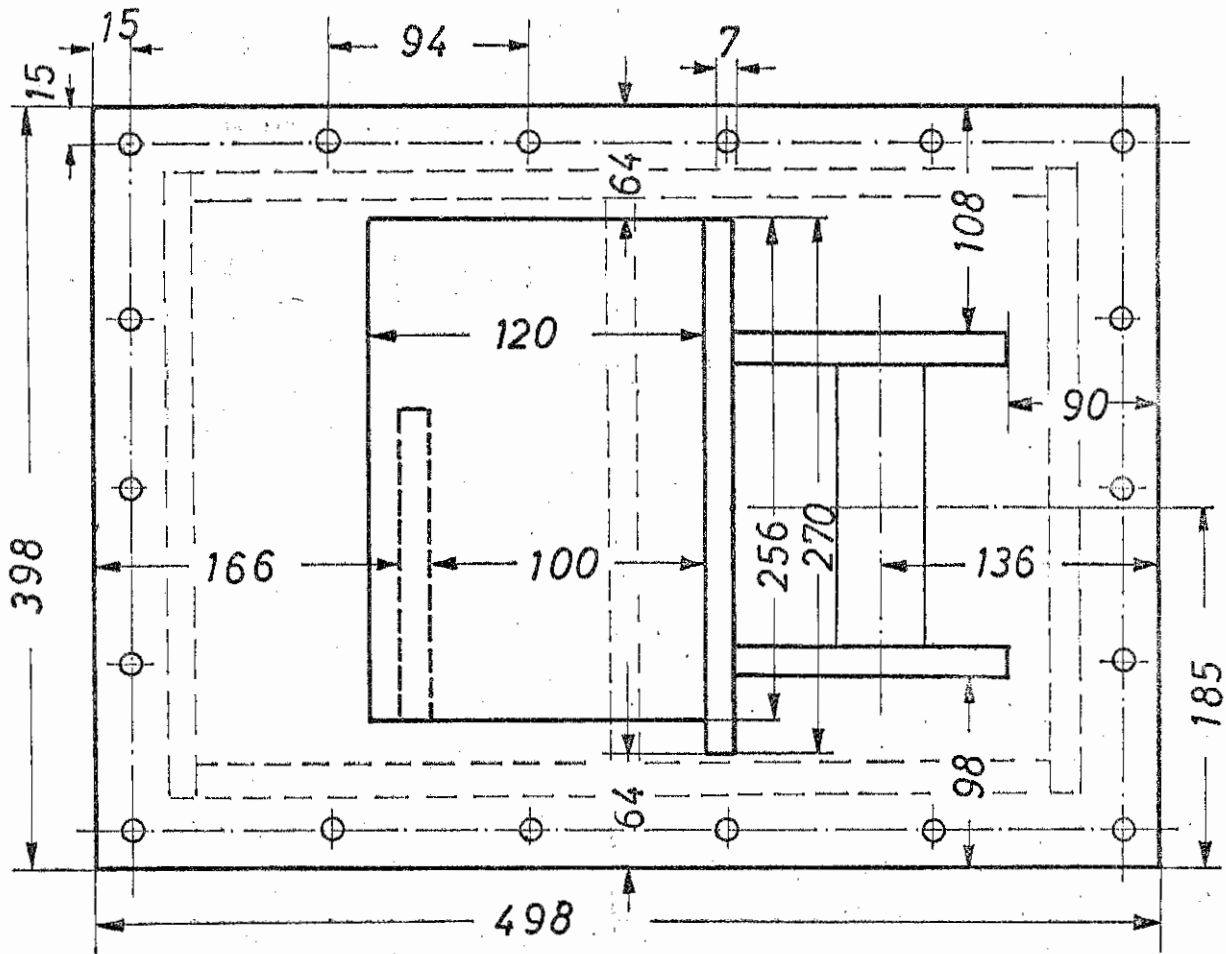


Bild 11. Aufbau der Bodenplatte des Blitzteils aus 10 mm dicken PVC-hart-Platten.

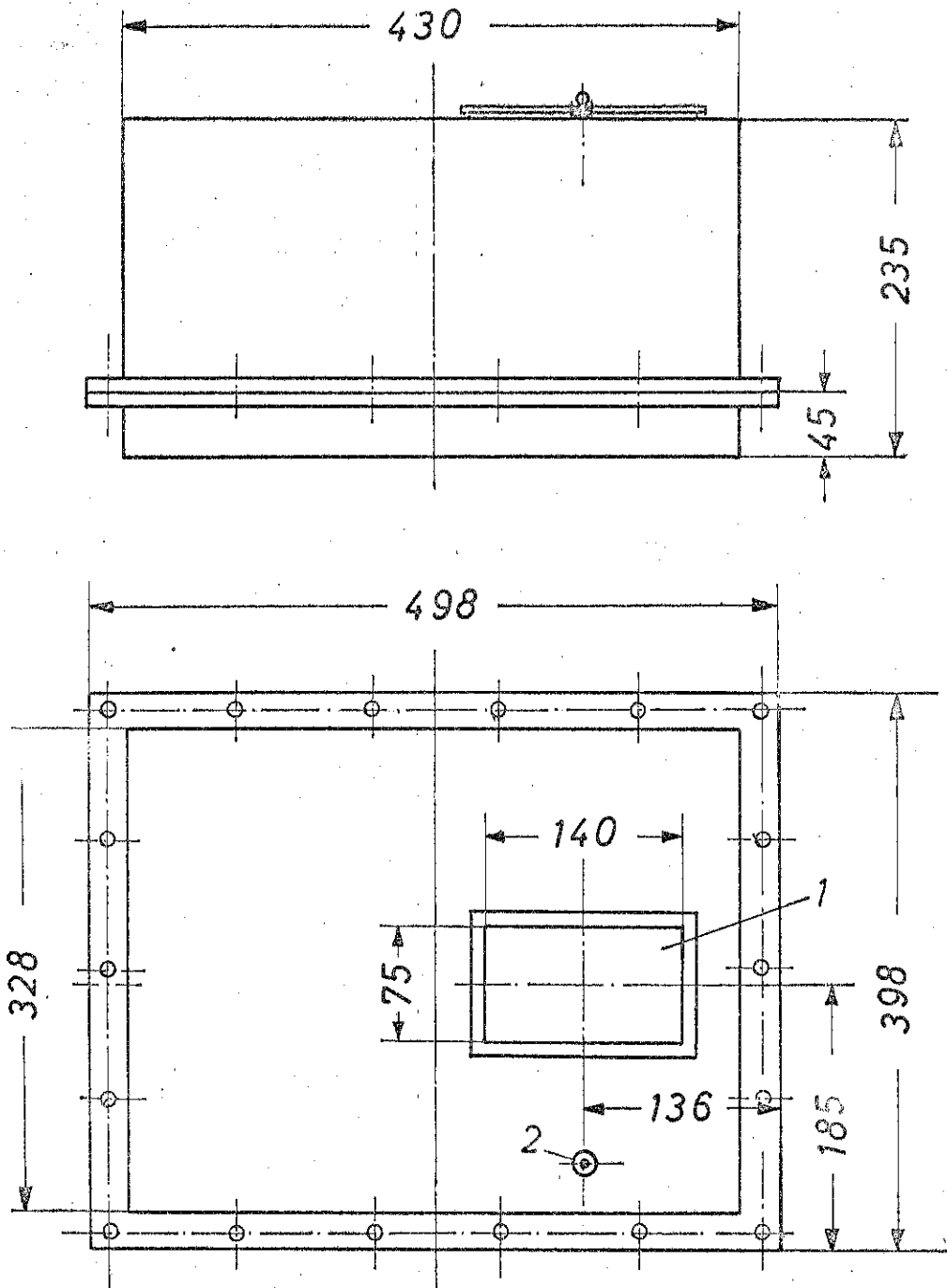
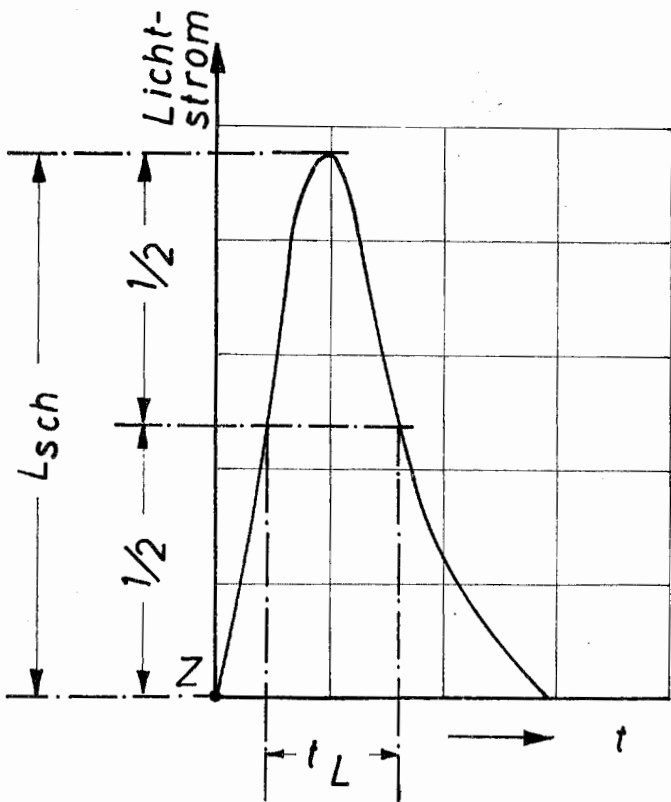


Bild 12. Abmessungen des Blitzteils. 1 = Plexiglasfenster, 2 = Stab zur Einstellung der Kamera.



Z = Zündzeitpunkt
 L_{sch} = Lichtstrom-Scheitelwert
 t_L = Leuchtzeit gemessen
bei $1/2$ Scheitelwert

Bild 13. Zeitlicher Verlauf des Lichtstromes bei der Entladung einer Blitzröhre, Leuchtzeit t_L wird auf $1/2$ Lichtstromscheitelwert L_{sch} bezogen.



Bild 14. Aufnahme einer mit 49 m/s bewegten Markierung auf dem Flansch eines Motors, Kondensatorspannung 3000 V. Markierung wird scharf wiedergegeben.

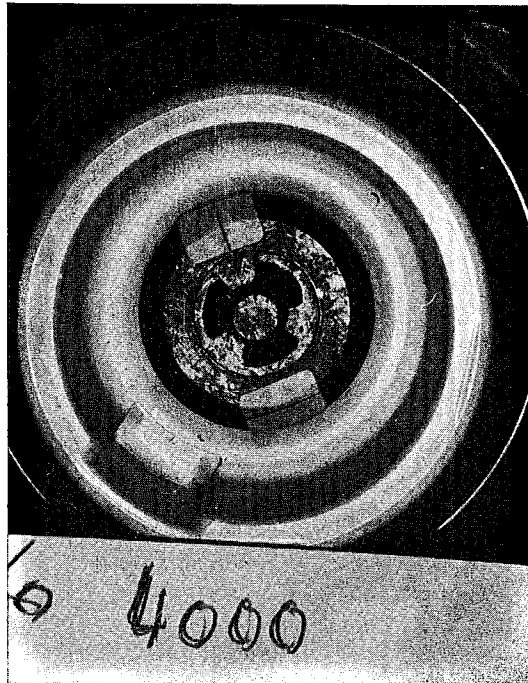


Bild 15. Aufnahme einer mit 49 m/s bewegten Markierung auf dem Flansch eines Motors, Kondensatorspannung 4000 V, Markierung wird scharf wiedergegeben.

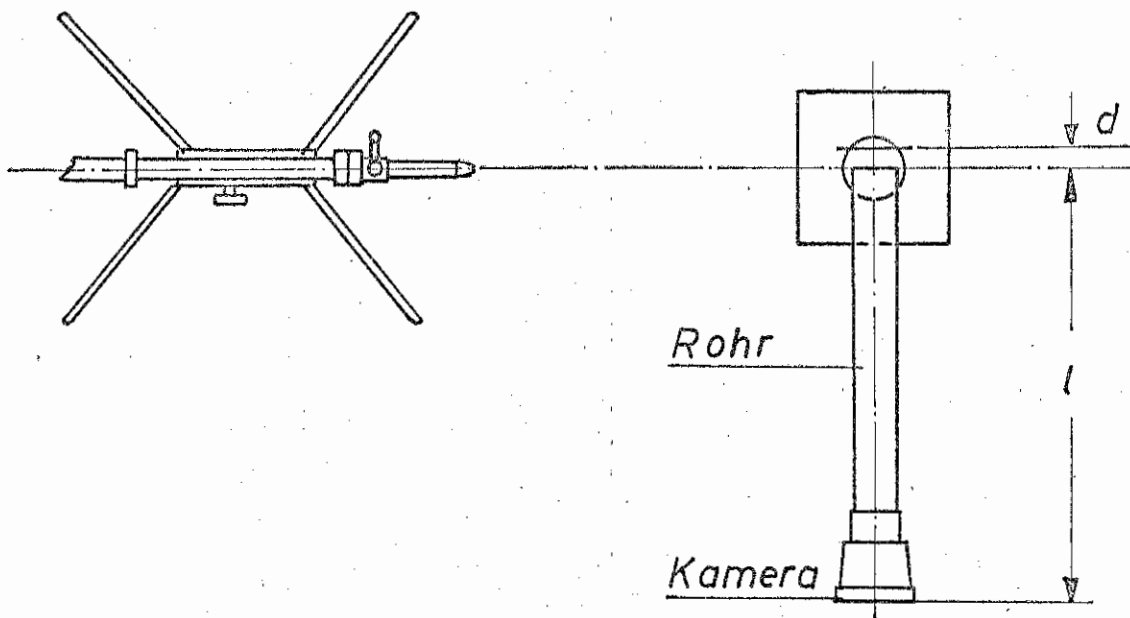
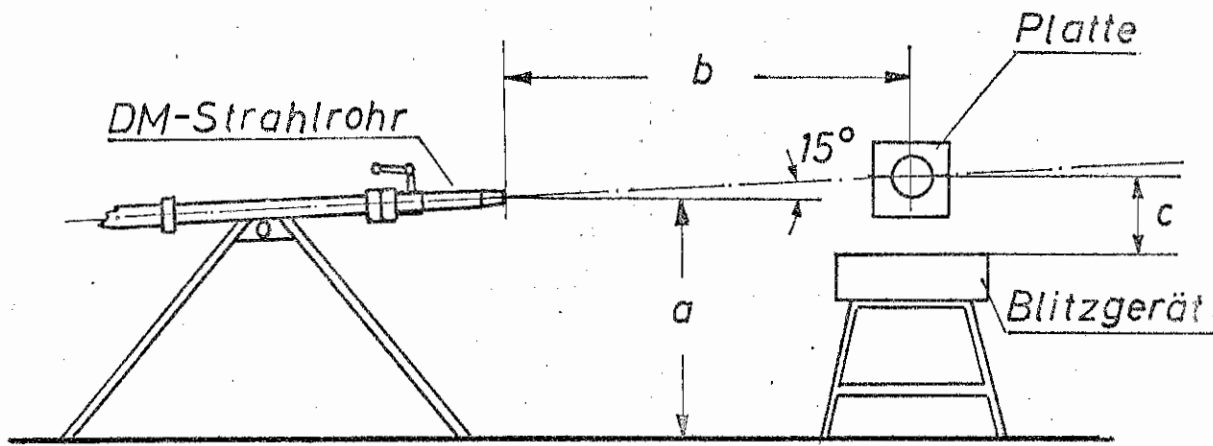


Bild 16. Anordnung von DM-Strahlrohr, Blitzgerät, Kamera, Rohr und Platte bei den Probeaufnahmen.

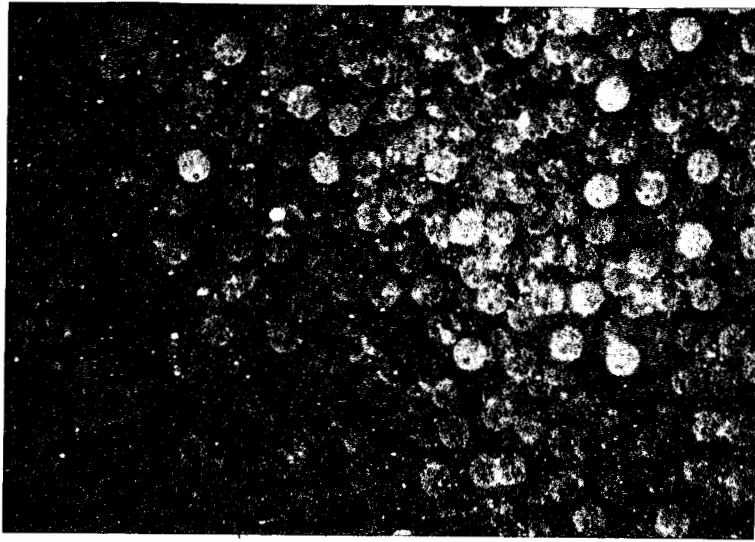


Bild 17. Tropfenaufnahme auf der Strahlachse eines Sprühstrahles eines DM-Mehrzweckstrahlrohres. Wasserdruck 5 atü. Anordnung nach Bild 16: a = 100 cm, b = 105 cm, c = 45 cm, d = entfällt, da ohne Platte fotografiert, l = 140 cm. Aufnahmematerial: SW-Film 27 - 29⁰ DIN (400 - 650 ASA).

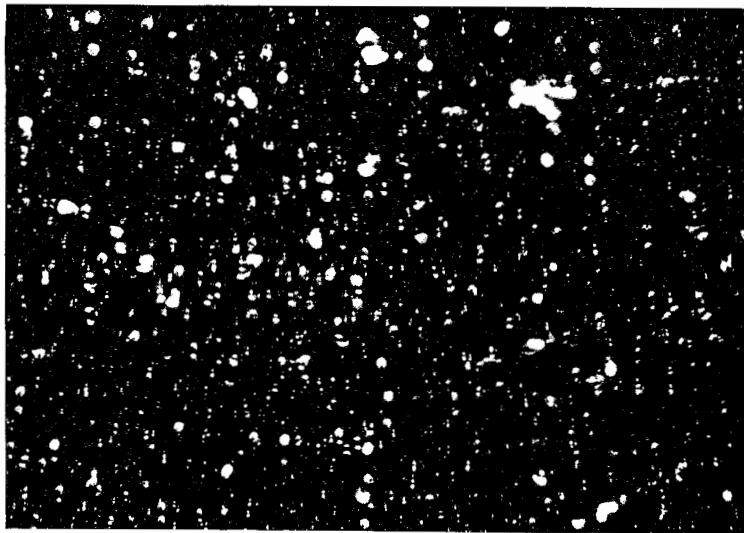


Bild 18. Tropfenaufnahme auf der Strahlachse eines Sprühstrahles eines DM-Mehrzweckstrahlrohres. Wasserdruck 5 atü. Anordnung nach Bild 16: a = 100 cm, b = 210 cm, c = 5,5 cm, d = 3 cm, l = 140 cm. Aufnahmematerial: SW-Film 17⁰ DIN (40 ASA).