

Automobiltechnische Bibliothek Band XIII

Die elektrische Ausrüstung des Kraftfahrzeuges

Teil I

Zweite völlig neubearbeitete Auflage

Automobiltechnische Bibliothek

Die Automobiltechnik in Einzeldarstellungen

Band XIII

Die elektrische Ausrüstung des Kraftfahrzeuges

In drei Teilen

I. Teil: Zündung

II. Teil: Lichtmaschine und Batterie

III. Teil: Stromverbraucher

Unter Mitwirkung von
Ewald Kessler, Dr. Walter Lippart
Alfred Mattes

Herausgegeben von
Erich Klaiber, Franz Kratz und Dr. Friedrich Trautmann

M. Krayn, Verlagsbuchhandlung, Berlin W

Die elektrische Ausrüstung des Kraftfahrzeuges

Teil I

ZÜNDUNG

von

Erich Klaiber und Dr. Walter Lippart

Zweite, unter Mitwirkung von

Dr. Ernst Heinrich

völlig neubearbeitete Auflage

Mit 213 Abbildungen



1955

Verlag von M. Krayn, Berlin W 35

Copyright 1928 by M. Krayn, Verlagsbuchhandlung.
Alle Rechte, namentlich das der Übersetzung vorbehalten.

Printed in Germany.

Vorwort zur ersten Auflage

Dem Ersuchen des Verlages, im Rahmen der Automobiltechnischen Bibliothek die elektrische Ausrüstung des Kraftfahrzeuges zu besprechen, sind wir gern nachgekommen. Hat doch dieses Sondergebiet der Elektrotechnik einerseits und des Kraftfahrzeugbaus andererseits in den letzten 20 Jahren aus bescheidenen Anfängen eine stürmische Entwicklung zu dem überall unentbehrlichen Hilfsmittel heutigen Verkehrs mitgemacht, eine Entwicklung, die sogar dem Fachmann einen unbehinderten Überblick über den jeweiligen Stand der Technik sehr erschwerte. Bei der Wichtigkeit des elektrischen Zubehörs für Bau und Betrieb des Kraftfahrzeuges ist eine eingehende Darstellung zweifellos in weiten Kreisen erwünscht.

Unsere Arbeit soll helfen, alle, die sich mit dem Bau von Verbrennungsmotoren befassen, besonders klar erkennen zu lassen, welche grundlegende Bedeutung der elektrischen Ausrüstung für Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit des Kraftfahrzeugs zukommt und wie notwendig es ist, die elektrische Ausrüstung schon bei dem Entwurf des Motors richtig zu berücksichtigen; sie soll jedem, der mit Kraftwagen oder deren Zubehör umzugehen hat, sei es in der Fabrik, der Reparaturwerkstätte oder beim Kraftfahrzeugbetrieb, die Möglichkeit geben, die elektrische Ausrüstung des Wagens und ihre Bedeutung kennen zu lernen, und soll ihm praktische Winke vermitteln für das Erkennen und Beleben von Anständen sowie für die zweckmäßige Wahl des Zubehörs, sie soll endlich helfen, allen, die sich mit der Herstellung der elektrischen Ausrüstung befassen, einen Überblick über Entwicklung und heutigen Stand der Technik auf diesem Gebiete als Unterlage für die Weiterentwicklung zu geben.

Sollte unsere Arbeit diese Aufgabe erfüllen, so dürften wir uns nicht damit begnügen, aus der bis heute vorliegenden Literatur alles Wesentliche herauszuziehen und zusammenzustellen, vielmehr mußte das Buch entstehen in enger Zusammenarbeit mit der Praxis, mit der die elektrische Ausrüstung herstellenden Industrie. Dabei waren in erster Linie deutsche Verhältnisse zu berücksichtigen und die ausländischen heranzuziehen, insoweit sie von den deutschen wesentlich abweichen. Die einzelnen Teile des vielverzweigten Gebiets waren von Fachleuten zu bearbeiten, die über ihre Abschnitte besondere Erfahrungen aus ihrer Tätigkeit gesammelt hatten. Die Bearbeiter der einzelnen Abschnitte sind sämtlich Ingenieure der Firma Robert Bosch A.-G. in Stuttgart.

Vielen Firmen, die elektrische Ausrüstungen für Kraftfahrzeuge oder Kraftfahrzeuge selbst herstellen und die uns in uneigennütziger Weise Unterlagen über die elektrische Ausrüstung, ihre Herstellung und ihren Einbau überlassen haben, schulden wir aufrichtigen Dank. Sie sind am Schluß des Buches einzeln aufgeführt. Unser Dank gilt endlich all den Herren des In- und Auslandes, die uns ihren Rat und ihre Unterstützung bei unserer Arbeit zuteil werden ließen.

Alle an diesem Buche arbeitenden Herren haben sich bemüht, aus ihrer Erfahrung und aus den genannten Unterlagen herauszunehmen und zu verarbeiten, was immer den Wert des Buches für den Leser erhöhen kann. Freilich mußten wir uns von Anfang an darüber klar sein, daß es nicht möglich ist, jede Einzelheit in dem uns zur Verfügung stehenden Rahmen zu berücksichtigen. Vor allem widersprach es dem Zweck des Buches, für irgendeine Bauart in einer über die rein sachliche Darstellung ihrer Vorzüge und Nachteile hinausgehenden Weise einzutreten, und wir haben uns bemüht, jede Reklame von vornherein auszuschalten. Wir glaubten auch, ähnliche Bauarten verschiedener Firmen nur einmal besprechen zu sollen, und haben in diesem Falle die Ausführungsform zugrunde gelegt, die uns entweder besonders beachtenswert erschien, oder wenn in dieser Beziehung ein Urteil nicht zu fällen war, die Ausführungsform, die als erste an die Öffentlichkeit gekommen war. Wir stehen nicht an, die Möglichkeit zuzugeben, daß bei diesem ersten Versuch einer eingehenden Darstellung eines umfangreichen, zersplitterten Gebiets Fehler oder Vernachlässigungen unterlaufen sind, und werden späterhin berechnigte sachliche Einwände dankbar berücksichtigen.

Nicht zuletzt gebührt unser besonderer Dank dem Verlag, dessen großes Entgegenkommen es uns ermöglicht hat, das umfangreiche Gebiet ausführlich zu behandeln und insbesondere sehr viele Zeichnungen und Bilder zu bringen.

Wir glauben, daß es vorteilhaft ist, wenn wir den umfangreichen Stoff in drei Bände unterteilen. Der erste Band behandelt den wichtigsten Teil der elektrischen Ausrüstung des Kraftfahrzeugs: die Zündung; der zweite und dritte Band werden sich mit der übrigen elektrischen Ausrüstung befassen und in kurzem dem ersten Band folgen. Wir geben die Arbeit hinaus: Sie möge ein Beitrag sein zur Höherentwicklung der Technik.

DIE HERAUSGEBER.

Vorwort zur zweiten Auflage

In den Jahren seit dem Erscheinen der ersten Auflage hat nicht nur der Kraftfahrzeugbau wesentliche Fortschritte gemacht, auch in der elektrischen Ausrüstung des Kraftfahrzeugs, vor allem auf dem Gebiet der Zündung, sind erhebliche Neuerungen und Verbesserungen zu verzeichnen. Der heutige Fahrbetrieb und der neuzeitliche Motorenbau an sich haben die Anforderungen an das Zubehör um ein Vielfaches verschärft, die Ausbildung von Sonderbauarten für die einzelnen Verwendungszwecke schritt fort, und schließlich hat der Preisdruck vielfach dazu gezwungen, billigere und trotzdem leistungsfähige Baustoffe, Bauformen und Herstellungsverfahren zu finden.

Es mußte daher das gesamte Werk neu bearbeitet werden. Beibehalten wurden jedoch der bewährte Aufbau und das Bestreben, möglichst vorurteilsfrei die Vor- und Nachteile der einzelnen Ausführungsformen gegeneinander abzuwägen. Der heutigen Verbreitung der Batteriezündung entsprechend wurde diese wesentlich eingehender behandelt, als es früher notwendig gewesen war. Das gleiche gilt auch auf dem Gebiet der Flugzeugzündung; neu aufgenommen wurde das wichtige Gebiet der Entstörung.

An manchen Stellen wird der Leser Hinweise und Wiederholungen finden; diese werden allen denen, die nicht das ganze Werk auf einmal durcharbeiten, sondern auf eine bestimmte Frage Antwort suchen, das Verständnis einzelner Abschnitte erleichtern. Aus dem gleichen Grunde ist auch dem Sachverzeichnis wiederum besondere Aufmerksamkeit zugewandt worden.

Allen Firmen und Fachgenossen im In- und Ausland, die uns bei unserer Arbeit unterstützten und uns Unterlagen lieferten, sagen wir wiederum unseren Dank, ebenso dem Verlag für die verständnisvolle Mitarbeit, die insbesondere die Wiedergabe einer sehr großen Anzahl neuer Abbildungen ermöglichte.

DIE HERAUSGEBER.

Inhaltsverzeichnis:

I. Zündung und Verbrennungsmotor	Seite
1. Geschichtliches	1
2. Zündzeitpunkt	12
3. Zündleistung	21
II. Theorie der Zündung	
1. Erzeugung der Hochspannung	36
2. Erzeugung des Primärstromes	45
3. Vergleich von Magnet- und Batteriezündung	76
III. Wesentliche Konstruktionsteile des Zünders	
1. Magnetischer Kreis	83
2. Isolierung	97
3. Unterbrecher und Kondensator	107
IV. Verschiedene Zünderbauarten	
1. Magnetzünder	130
2. Batteriezünder	159
3. Kombinierte Maschinen	181
V. Einbau, Störungen und Hilfseinrichtungen des Zünders	
1. Einbau	201
2. Störungen	218
3. Hilfseinrichtungen	226
VI. Zündkerzen	
1. Beanspruchung und Arbeitsbedingungen	250
2. Konstruktionsteile	263
3. Einbau und Wartung	275

I. Zündung und Verbrennungsmotor

1. Geschichtliches

Die Zündung: der Herzschlag des Verbrennungsmotors! — In der Tat: Das Arbeiten des Verbrennungsmotors ist nicht denkbar ohne die rechtzeitige Entflammung des Gasgemisches, sei es, daß der rechtzeitig eingespritzte Brennstoffnebel sich selbst an der hoch verdichteten und erhitzten Luftfüllung des Zylinders entzündet — Dieselprinzip —, sei es, daß eine explosive Zylinderfüllung durch irgendeine Zündvorrichtung rechtzeitig entflammt wird — Verpuffungsmotor.

In den letzten Jahren hat sich der Dieselmotor vor allem bei Lastwagen in wachsendem Maße eingeführt. Die Entscheidung des wirtschaftlichen Kampfes zwischen Dieselmotor und Verpuffungsmotor läßt sich heute noch nicht überblicken und wird stark von der Entwicklung der Kraftstoffpreise abhängen; auf jeden Fall wird aber der Verpuffungsmotor noch auf lange Zeit hinaus eine bedeutende Rolle spielen.

Die geschichtliche **Entwicklung** der Zündung¹⁾ ist grundlegend für die Entwicklung des Kraftfahrzeugmotors überhaupt geworden. Ihre Marksteine sollen hier kurz verzeichnet sein. Der französische Mechaniker Lenoir schuf den ersten brauchbaren Verbrennungsmotor, betrieben mit Steinkohlengas, und machte mit ihm die ersten Kraftfahrversuche auf der Straße Paris—Joinville—Le Pont im Jahre 1860. Es ist bemerkenswert, daß schon bei diesem ersten Verbrennungsmotor, der zugleich der erste Kraftfahrzeugmotor genannt werden darf, der elektrische Funke zur Zündung benutzt wurde. Der Funke wurde erzeugt von dem damals schon bekannten Ruhmkorffschen Funkeninduktor mit Hilfe einer Batterie galvanischer Elemente und sprang im Zylinderinnern an der sogenannten Zündkerze über. Schon der erste Verbrennungsmotor arbeitete also mit Hochspannungszündung. Die heute weit verbreitete Batteriezündung unterscheidet sich grundsätzlich in keiner Weise von der Zündung dieses Lenoirschen Gasmotors.

¹⁾ Ausführlicher dargestellt in: G. Lieckfeld, Die Petroleum- und Benzinmotoren, 4. Aufl., München und Berlin 1913; Baudry de Saunier, L'Allumage dans les Moteurs à Explosions, Paris 1935; M. Sainturat, Allumage électrique des moteurs, Paris 1910; G. Yseboodt, L'Allumage des Moteurs à Explosions, Paris und Brüssel 1939.

Freilich stellte damals die Notwendigkeit, galvanische Elemente mitzuführen und instandzuhalten, eine recht erhebliche Schwierigkeit dar, wogegen heute in Lichtmaschine und Akkumulatoren-Batterie jedem Kraftfahrzeug recht zuverlässige Stromquellen zur Verfügung stehen. So kam es, daß diese Zündungsart sich in jener Zeit nicht allgemein durchsetzte, und daß die erste wirklich wirtschaftlich arbeitende Gaskraftmaschine von Otto (1867) nicht mit elektrischer Zündung ausgerüstet war. Beim Ottoschen Gasmotor wurde dem Gemisch durch einen vom Motor gesteuerten Schieber Zutritt zu einer Zündflamme gestattet und dadurch die Verbrennung eingeleitet.

Die Zündflamme hatte mancherlei Nachteile; vor allem gestattete sie nicht die Verwendung höheren Verdichtungsdrucks, da sie hierbei leicht ausgeblasen wurde. So kam man in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts zu dem durch Daimler eingeführten Glührohr, einem hohlen Metall- oder Porzellankörper, der den Zylindermantel durchsetzt und von außen her durch eine Flamme ständig glühend gehalten wird. Das Glührohr ist gegen das Zylinderinnere offen, am entgegengesetzten Ende geschlossen. Das Gemisch wird beim Verdichtungshub in das Glührohr gepreßt und entzündet sich dort, sobald es bis zur glühenden Zone des Glührohrs vorgedrungen ist. Der Zündzeitpunkt kann dabei einigermaßen durch Vor- oder Zurückverlegen der Glühzone eingestellt werden, ist aber doch sehr abhängig von den Eigenschaften des Gemisches und recht unzuverlässig. Dazu kommt ein weiterer Nachteil dieser Zündungsart: Die geringe Betriebssicherheit des Glührohres selbst.

In späteren Jahren hat man auch elektrisch durch Batterien geheizte Glühkörper verwendet. Diese elektrische Glühzündung konnte sich jedoch auf die Dauer ebenso wenig wie das Glührohr halten.

Eine Abart des Glührohrs findet sich allerdings heute noch in den nach dem Halbdieselprinzip arbeitenden Motoren (hauptsächlich landwirtschaftliche Motoren und Bootsmotoren). Es ist der Glühkopf, ein nicht gekühlter, eiserner Hohlkörper im Zylinderdeckel, der bei Inbetriebnahme des Motors von außen mit einer Lötlampe solange erhitzt wird, bis er den eingespritzten Brennstoff zu zünden vermag. Bei weiterem Betrieb des Motors wird der Glühkopf von selbst auf Rotwärme erhalten. Der Zündzeitpunkt ist bei diesen Motoren wie bei allen Dieselmotoren durch den Zeitpunkt der Brennstoffeinspritzung gegeben.

Schon vor Einführung des Glührohrs waren aber noch andere Wege zur Lösung des Zündungsproblems beschritten worden. Der Erbauer des ersten Benzin kraftwagens (1864), Siegfried Markus, ein in Wien lebender Mecklenburger, erfand auch die erste magnet-elektrische Zündvorrichtung und verwendete sie im Jahre 1875 zum Betrieb eines Fahrzeugs. Der elektrische Strom wird dabei durch die Bewegung einer Kupferdrahtwicklung im Feld permanenter Magnete erzeugt, durch den Zylindermantel geleitet und innerhalb des Zylinders durch eine mechanische Vorrichtung, die sogenannte Abreißvorrichtung, unterbrochen. Der hierbei auftretende Öffnungsfunke zündet das Gemisch. Die Bewegung der Wicklung und die des Unterbrechungsorgans im Zylinder werden vom Motor selbst gesteuert, so daß der Strom rechtzeitig auftritt und rechtzeitig unterbrochen wird. Markus machte sich durch diese Vorrichtung frei von den Nachteilen der galvanischen Elemente, der Zündflamme und des Glührohrs.

Freilich hat diese sogenannte Niederspannungs- oder Abreißzündung erst eine Reihe von Jahren später Verbreitung gefunden. Im Jahre 1880 begann die Gasmotorenfabrik Deutz Versuche mit Niederspannungsmagnetzündern zu machen — auch Siemens & Halske lieferte solche Apparate —, hauptsächlich aber griff Robert Bosch in Stuttgart im Jahre 1887 die Herstellung von Niederspannungsmagnetzündern in etwas abgeänderter Form auf und eröffnete damit die Entwicklung einer selbständigen Zünderindustrie, die dann schon um die Jahrhundertwende Tausende von Niederspannungszündern gebaut hatte.

Eine der verschiedenen Bauarten des **Niederspannungsmagnetzünders** zeigt schematisch Bild 1. Zwischen dem Bügelmagneten und den Polschuhen befindet sich der doppel-T-förmige Anker aus weichem Eisen, der die — in der Abbildung nicht eingezeichnete — Wicklung trägt. Der Anker wird durch die Rückzugfedern in einer bestimmten Stellung, der Ruhelage, gehalten und durch den auf der Steuerwelle des Motors sitzenden Steuerdaumen ein Stück aus dieser Ruhelage verdreht, bis er wieder in die Ruhelage zurückschnappt. Durch diese rasche Schnappbewegung wechselt der magnetische Fluß, der den Anker durchsetzt, rasch seine Richtung und erzeugt so in der Wicklung eine elektrische Spannung, die einen kräftigen Stromstoß durch Zündstift und Zündhebel des Zündflansches schickt. Die Zuleitung zum Zündflansch zeigt in Bild 1 die strichpunktierte Linie, die Rückleitung

des Stromes erfolgt durch die Motormasse. Die Abreißvorrichtung ist so eingestellt, daß ihre Kontakte (am Zündhebel und Zündstift) gerade in dem Augenblick geöffnet werden, in dem der Strom seinen höchsten Wert besitzt, so daß ein kräftiger Abreißfunke

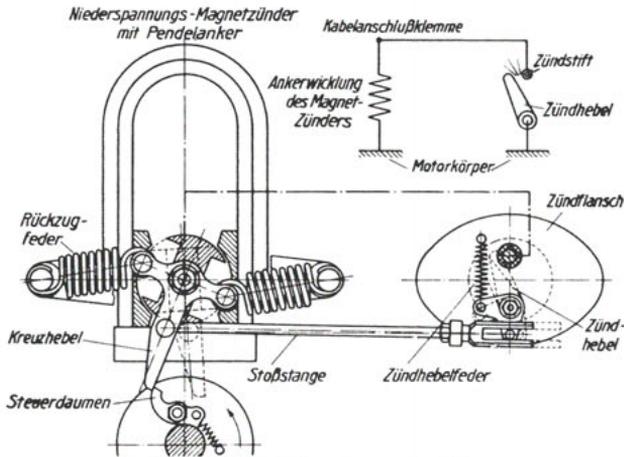


Bild 1. Abreißzündung, Pendeltyp

entsteht. Bild 2 zeigt den Zündflansch deutlicher. Der Zündstift muß isoliert durch den Flansch geführt werden, der Zündhebel beweglich im Zündflansch gelagert sein.

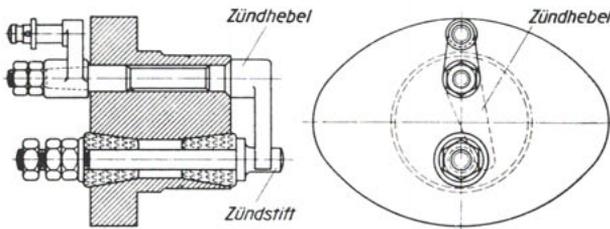


Bild 2. Abreißzündung, Zündflansch

Die Massewirkung des pendelnden Systems stand einer Steigerung der Motordrehzahlen lästig entgegen. Die Firma Bosch stellte deshalb im Jahre 1896 Versuche mit Influenz-Maschinen an, die vom Motor betrieben wurden und Funken an Hochspannungs-Zündkerzen überschlagen ließen. Da aber diese Maschinen zu sehr von den Witterungsverhältnissen abhängig waren, kehrte Bosch nochmals zur Niederspannungs-Zündung zurück und verwandte an

Stelle des pendelnden Ankers eine mit Fenstern versehene eiserne Hülse (s. auch Abschnitt IV), die zwischen dem feststehenden Anker und den Polschuhen des Magnets drehbar gelagert war. Die Schnappbewegungen dieser Hülse erzeugten im Anker einen ähnlichen Flußwechsel wie die Schnappbewegungen des Ankers, die Hülse wies aber wesentlich geringere Maße als der Anker auf. Bald ging dann Bosch von dem Schnappsystem zu dem oszillierenden System über, bei dem sich der Anker oder die Hülse, durch einen Exzenter vom Motor angetrieben, gleichmäßig hin- und herbewegte. In dieser Ausführung erlangte der Niederspannungsmagnetzünder weite Verbreitung, bis endlich der umlaufende Anker und die umlaufende Hülse aufkamen, wobei die Unterbrechungsorgane mit einem besonderen Abreißgestänge gesteuert wurden. Lästig blieb noch immer dieses Abreißgestänge und hauptsächlich die Durchführung des Zündhebels durch den Zündflansch, die die Abdichtung des Zylinders bei hohen Verdichtungsdrücken sehr erschwerte. Man versuchte später diese Mängel dadurch zu beseitigen, daß man die Abreißorgane elektromagnetisch steuerte. Eine brauchbare Vorrichtung dieser Art, die sogenannte Magnetkerze, wurde aber erst im Jahre 1907 geschaffen und kam nicht mehr zu großer Verbreitung, da inzwischen die Niederspannungszündung beim Kraftfahrzeugmotor durch die Hochspannungszündung verdrängt worden war.

Die Niederspannungszündung ist heute noch bei langsam laufenden ortsfesten Motoren vielfach im Gebrauch, teilweise als Pendeltyp, teilweise auch mit umlaufendem Anker; als Zündvorrichtung des Kraftfahrzeugmotors gehört sie aber der Geschichte an. Man erkannte bald, daß der Zylinder eines schnelllaufenden Verpuffungsmotors frei sein muß von jeder mechanisch betätigten Zündvorrichtung, und wurde dadurch veranlaßt, zur Hochspannungszündung, zur Entflammung des Gemisches mit dem elektrischen Überschlagfunken zurückzukehren. Es galt, die Vorteile der Hochspannungszündung: genauer Zündzeitpunkt und Entstehung des Zündfunkens im Zylinder an nicht bewegten Teilen, auszunützen, ohne den Nachteil einer galvanischen Batterie in Kauf zu nehmen.

Schon im Jahre 1882 benutzte Karl Benz erstmals an Stelle von galvanischen Batterien Dynamomaschinen zur Speisung des die Hochspannung erzeugenden Induktors und machte sich damit unabhängig von der Batterie. Nun erregen sich aber selbsterregende

Dynamomaschinen bekanntlich erst bei verhältnismäßig hoher Drehzahl, wodurch für die Zündung beim Anwerfen und bei niedriger Motordrehzahl Schwierigkeiten entstehen. Benz half sich durch eine große Übersetzung zwischen Kurbelwelle und Dynamomaschine, mußte aber, um die Dynamomaschine nicht zu hoch zu beanspruchen, bei höheren Drehzahlen auf eine geringere Übersetzung umschalten.

Es wird später gezeigt werden, daß die Zweckmäßigkeit derartiger Anordnungen von Dynamomaschine und Spule unter dem Schlagwort: „batterielose Dynamozündung“ heute erneut wieder in Erwägung gezogen wird, daß aber heute wie damals dieser Zündungsart grundsätzlich der Nachteil ungenügender Leistung bei geringer Drehzahl anhaften muß. — Über „batterielose Dynamozündung“ beim Krafttrad siehe Seite 81.

Auch Benz behielt, um das Kraftfahrzeug nicht zu kompliziert zu gestalten, für den Kraftfahrzeugmotor die Batteriezündung bei. Die Zündspule arbeitete mit einem Neefschens Hammer und wurde von einem vom Motor betriebenen Steurer sekundärseitig bis zum Zündungszeitpunkt kurzgeschlossen. Infolge des hohen Stromverbrauchs dieser Zündung mußten für größere Fahrten — als solche galten in damaliger Zeit Fahrten über 10 km — mehrere Batterien mitgenommen werden, damit bei Erschöpfung einer Batterie auf eine zweite umgeschaltet werden konnte.

Den Nachteil der Dynamozündung: ungenügende Leistung bei niedriger Drehzahl, hatte bis zu einem gewissen Grad die Niederspannungszündung dadurch vermieden, daß sie nicht Elektromagnete, sondern permanente Magnete zur Erzeugung des Erregerfeldes benutzte, daß also der Anker sich auch bei kleinster Geschwindigkeit in dem Erregerfeld voller Stärke bewegte. Erst um die Jahrhundertwende aber kam man auf den Gedanken, die Dynamomaschine durch einen Niederspannungsmagnetzünder zu ersetzen, d. h. eine niedere Spannung im Niederspannungsmagnetzünder zu erzeugen und sie in einem Transformator, der von der Batteriezündung bekannten Zündspule, in Hochspannung zu verwandeln, die dann im Zylinder an der Zündkerze zum Überschlag führt. Hauptsächlich die Firmen Bosch und Eisemann brachten solche Anordnungen heraus.

Bei der Firma Bosch wurden aber bald grundsätzlich neue Wege eingeschlagen: Gottlob Honold schuf im Jahre 1901 die Zünderform, die es in ein und demselben mit zwei Wicklungen ver-

sehenen Anker ermöglicht, Niederspannung zu erzeugen und in Hochspannung umzuformen²⁾). Diese Anordnung, der **Hochspannungsmagnetzünder**, setzte sich rasch durch und förderte die Entwicklung des schnellaufenden Kraftfahrzeugmotors wesentlich. Zuerst wurde der neue Gedanke beim Zünder mit umlaufender Hülse durchgeführt; schon im Jahre 1902 wandte man ihn auch beim umlaufenden Anker an. Noch im selben Jahre ging die Firma Bosch dazu über, die Wicklungen, den Kondensator und den noch zu besprechenden Unterbrecher zu einer Einheit, dem umlaufenden Hochspannungszündanker, zusammenzubauen, ein Schritt, der den neuen Zünder lebensfähig machte.

Später stellte sich heraus, daß der Grundgedanke des Hochspannungsmagnetzünders schon vor Honold von Paul Winand in Deutz angegeben wurde. Winand ließ als Erster die Erzeugung der Hochspannung in einer Spule schützen, deren Primär- und Sekundär-Wicklung vom Fluß des permanenten Magneten durchsetzt werden³⁾). Auffallenderweise wurde dieser Erfindung damals nicht die genügende Beachtung geschenkt, so daß das Patent in Vergessenheit geraten war.

Ehe der Hochspannungsmagnetzünder näher betrachtet wird, muß ein Wort über Verteiler und Unterbrecher nachgetragen werden. Als man um die Jahrhundertwende mit dem Bau von Mehrzylindermotoren begann, hatte man bei der Batteriezündung eine Summer-Zündspule für jeden Zylinder vorgesehen und diesen Zündspulen den Primärstrom durch einen Niederspannungsverteiler abwechselungsweise zugeführt. Der Schleifkontakt dieses Verteilers bewegte sich (siehe Bild 3) mit der Geschwindigkeit der Steuerwelle auf den an die Zündspule angeschlossenen Segmenten. Das Auflaufen des Schleifkontaktes auf ein Segment bestimmte gleichzeitig den Zündzeitpunkt. Das Schaltbild einer derartigen Vierzylinder-Batteriezündung zeigt Bild 3.

Bald führte man an Stelle des Neefschens Hammers den schon lange bekannten Unterbrecher ein. Ein solcher Unterbrecher ist im Grunde genommen dasselbe wie die Abreißvorrichtung des Niederspannungszünders. Der Strom wird durch zwei mittels Federkraft aneinander gedrückte, im übrigen aber elektrisch isolierte Körper geleitet, deren einer durch einen von der Motorwelle be-

²⁾ Lichtbogenzündung. DRP. 156 117 vom 7. 1. 1902.

³⁾ DRP. 45 161 vom 17. 4. 1887.

wegen Nocken von dem anderen kurzzeitig abgehoben wird. Dadurch wird jedesmal, wenn der Nocken den Unterbrecher berührt, der Primärstromkreis unterbrochen. Ebenso wie dem Neefschens Hammer jedes Funkeninduktors muß dem Unterbrecher ein Kondensator parallel geschaltet werden, damit an der Öffnungsstelle kein Lichtbogen entsteht, da der bei der Abreißzündung erwünschte Lichtbogen bei der Hochspannungszündung dem Hochspannungsfunken die Energie wegnehmen würde.

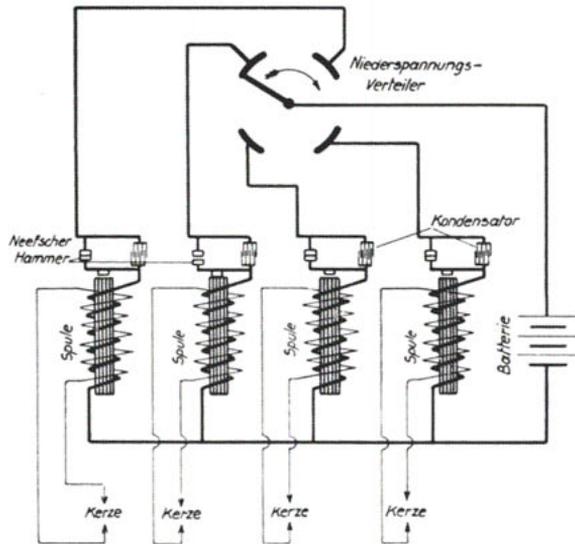


Bild 3. Schaltbild der Mehrzylinder-Batteriezündung mit Niederspannungsverteiler und Neefschem Hammer

Der Unterbrecher erzeugt für jede Zündung einen Einzelfunken an Stelle der vom Neefschens Hammer gelieferten Funkenreihe, von der in der Regel nur der erste Funke für die Zündung in Frage kommt. Der Zeitpunkt, in dem dieser Einzelfunke entsteht, ist durch den Öffnungs Augenblick des Unterbrechers genau bestimmt. Die Schleifbahn des Verteilers ist nicht mehr der schädlichen Funkenbildung ausgesetzt, die beim Schließen und Öffnen des Stromkreises durch den Verteilerarm vorhanden war, und eine bisher nicht gekannte Genauigkeit des Zündzeitpunktes ist erreichbar.

Einen weiteren Schritt vorwärts brachte die Anwendung des Hochspannungsverteilers. Die in der Zündspule oder der Ankerwicklung erzeugte Hochspannung wird auf die einzelnen Zy-

linder in ähnlicher Weise wie zuvor der Primärstrom auf die Zündspulen verteilt. Dabei erübrigt sich die Anwendung mehrerer Spulen und im Primärstromkreis ist nur noch eine der mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit so gefürchteten Kontaktstellen, nämlich der

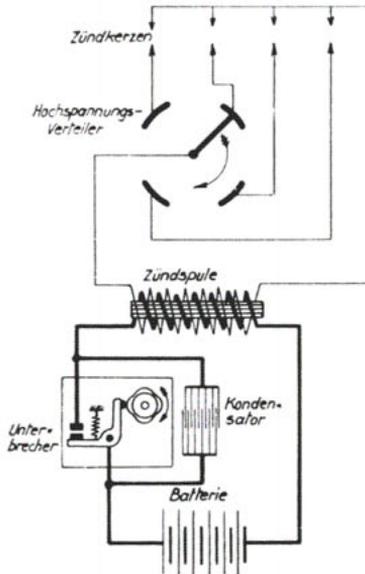


Bild 4. Schaltbild der Mehrzylinder-Batteriezündung mit Hochspannungsverteiler und Unterbrecher

Unterbrecher, vorhanden. Das Schaltbild einer Batteriezündung mit Hochspannungsverteiler zeigt Bild 4. Entsprechend erfolgt die Verteilung auch beim Hochspannungsmagnetzünder.

An Hand der schematischen Darstellungen in Bild 5 und 6 soll kurz der Grundgedanke des Hochspannungsmagnetzünders in allgemein verständlicher Form gezeigt werden. Auf die Gesetze des Hochspannungszünders wird dagegen in Abschnitt II, auf die Konstruktionsteile in Abschnitt III näher eingegangen.

Der Hochspannungsmagnetzünder besteht in seiner ursprünglichen Gestalt aus dem vom Niederspannungsmagnetzünder bekannten Magneten mit Polschuhen, dem umlaufenden Anker — das Pendelsystem eignet sich für hohe Drehzahlen nicht —, endlich dem von der Batteriezündung bekannten Unterbrecher, der bei umlaufender Wicklung ebenfalls umläuft, und dem soeben erwähnten Hochspannungsverteiler.

Der Ankersteg trägt eine Primärwicklung mit wenig Windungen und eine Sekundärwicklung mit vielen tausend Windungen. Der den Ankersteg durchsetzende Magnetfluß wechselt bei jeder Anker-

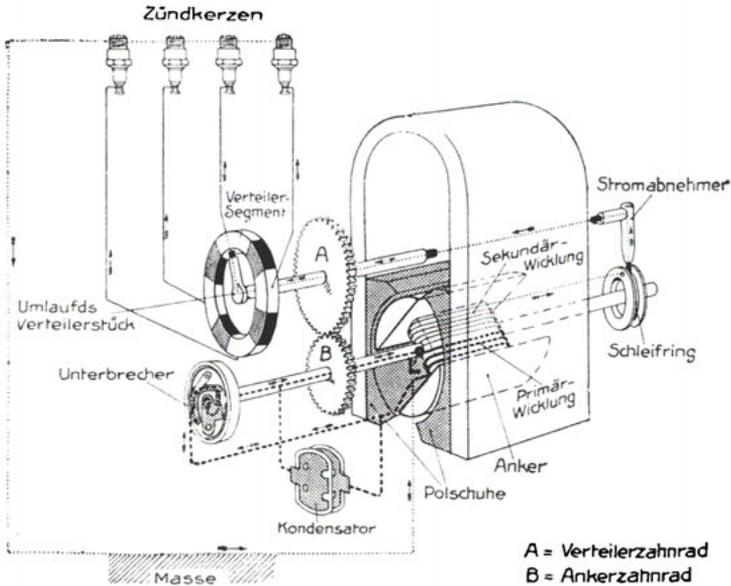


Bild 5. Hochspannungs-Magnetzünder, schematisch

umdrehung seine Richtung zweimal. Die Primärwicklung wird durch den Unterbrecher immer in dem Augenblick kurzgeschlossen, in dem der Fluß des Magneten den Ankersteg voll durchsetzt (Bild 6 links),

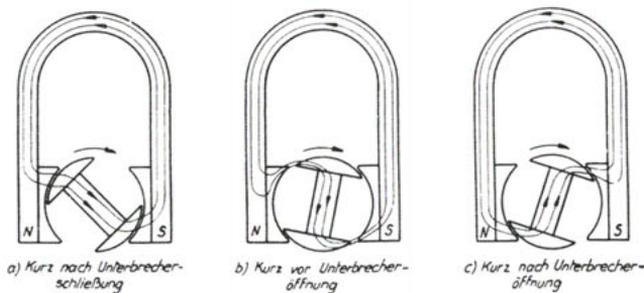


Bild 6. Flußverzerrung durch die kurzgeschlossene Wicklung

und erst geöffnet bei der Ankerstellung, bei der der Fluß den Ankersteg schon wieder in umgekehrter Richtung durchsetzen sollte (Bild 6 Mitte). Die kurzgeschlossene Wicklung hat die Eigenschaft,

jeder Änderung des Flusses im Ankersteg entgegenzuwirken, und hält den Fluß dementsprechend bis zum Öffnungsmoment fest. Bild 6 Mitte zeigt den ungefähren Flußverlauf vor der Unterbrechung, Bild 6 rechts den Flußverlauf nach der Unterbrechung. Im Augenblick der Öffnung erfolgt so ein außerordentlich rascher Flußwechsel im Ankersteg; dieser Flußwechsel erzeugt in der vieldrähtigen Sekundärwicklung einen Hochspannungsstoß, der vom Anker abgenommen und über den Verteiler der Zündkerze zugeführt wird. Wie aus Bild 5 deutlich ersichtlich ist, wird nur das eine Ende der Sekundärwicklung isoliert zur Zündkerze geführt; die Rückleitung erfolgt — ähnlich wie es beim Niederspannungsmagnetzünder bereits gezeigt wurde — durch den Motor- und Magnetzünderkörper, die sogenannte „Masse“.

Der hier in seiner Grundform dargestellte Magnetzünder wird von deutschen und seit der Kriegszeit auch von ausländischen Spezialfirmen gebaut, und zwar in verschiedenen Ausführungen: mit feststehendem Magneten und umlaufendem Anker, mit feststehendem Anker und umlaufendem Magneten, oder schließlich mit feststehendem Anker und Magneten und umlaufenden Kraftlinienleitstücken. (Nähere Einzelheiten darüber enthält der IV. Abschnitt.) Der Hochspannungsmagnetzünder hat über zwei Jahrzehnte lang den europäischen Markt fast ausschließlich beherrscht, ist aber in den letzten Jahren auf Sondergebiete zurückgedrängt worden (Omnibusse, Traktoren, Flugzeuge, Rennwagen usw.); erst lange Zeit nach dem Aufkommen des Hochspannungsmagnetzünders ließ die Verbesserung der Akkumulatorenbatterien und die Einführung der elektrischen Kraftfahrzeug-Belichtung die Batteriezündung in der in Bild 4 dargestellten Form erneut aufleben und zunächst in Amerika weite Verbreitung finden, bis sie dann, vor allem aus Preisgründen, auch den europäischen Personenwagen weitgehend eroberte.

Gerade in den letzten Jahren wurden beim Motorenbau hauptsächlich in Europa Drehzahlen und Verdichtungsdrücke immer höher getrieben und demzufolge an die Hochspannungszündung von Jahr zu Jahr neue, höhere Ansprüche in bezug auf Leistung und mechanische und elektrische Haltbarkeit gestellt. Diesen Ansprüchen in wirtschaftlichem Rahmen gerecht zu werden, war keine einfache Aufgabe für die Zünderindustrie, zumal außer der reinen Leistungssteigerung eine außerordentliche konstruktive Vielseitigkeit verlangt wurde, die eine Massenherstellung erschwerte.

2. Zündzeitpunkt

Im folgenden soll zunächst über die Vorrichtungen gesprochen werden, die die Hochspannung rechtzeitig erzeugen und auf die Zylinder verteilen. Wir wollen sie kurz Zünder nennen, und zwar je nach der Energiequelle Magnetzünder oder Batteriezünder. Die Vorrichtung, die die Hochspannung durch den Zylindermantel führt und an der der Überschlag entsteht, die sogenannte Zündkerze, bedarf besonderer Beachtung und wird in Abschnitt VI ausführlich besprochen.

Vor allem ist die Frage zu erörtern: Welche Anforderungen stellt der moderne Kraftfahrzeugmotor an den Zünder hinsichtlich Leistung, Drehzahl und Einstellung des Zündzeitpunktes?

Wir dürfen die Wirkungsweise des Vier- und Zweitaktmotors als bekannt voraussetzen, weisen jedoch hier besonders auf die Wichtigkeit des richtigen Zeitpunkts für die Entflammung des Gemisches hin. Erfolgt die völlige Entflammung zu früh, das heißt vor dem Totpunkt, so erhält der Kolben eine rücktreibende Kraft, der Motor arbeitet stoßweise und überhitzt sich, die Leistung sinkt und beim Anwerfen erfolgen Rückschläge. Erfolgt die völlige Entflammung zu spät, das heißt nach dem Totpunkt, so ist die Verdichtung ungenügend, häufig sogar die Verbrennung unvollständig; der Motor wird ebenfalls überhitzt, der Maximaldruck und die Leistung sinken und der Motor arbeitet unwirtschaftlich. Bild 7

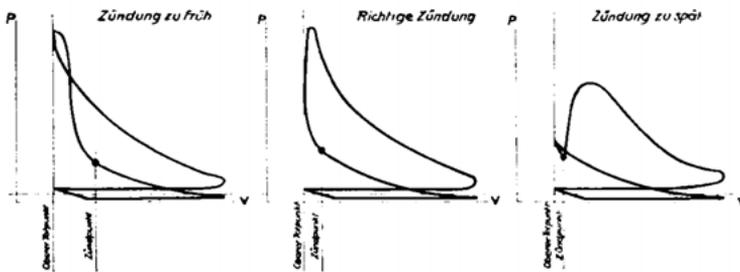


Bild 7. Druckdiagramme des Verpuffungsmotors bei verschiedenen Zündzeitpunkten

zeigt die Indikatordiagramme eines Verpuffungsmotors mit zu früher, rechtzeitiger und zu später Gemischzündung. Die Zündung soll so erfolgen, daß der Maximaldruck unmittelbar nach der Totpunktstellung des Kolbens auftritt.

Die Gesetze, nach denen die Entflammung und Verbrennung eines Gasgemisches vor sich gehen, sind heute noch nicht restlos erforscht. Immerhin gibt eine Reihe wichtiger Untersuchungen aus neuerer Zeit Aufschluß über die Probleme der Zündgeschwindigkeit, der Vollständigkeit der Verbrennung, des sogenannten Klopfens, der Selbstzündungsgrenze und Anhaltspunkte über zweckmäßige Wahl von Zylinderform, Ventilanordnung, Zündkerzensitz, Verdichtung und Gemischzusammensetzung. Ein näheres Eingehen auf diese interessanten und auch für die Zündung sehr wichtigen Fragen fällt aus dem Rahmen unserer Betrachtungen heraus; wer sich näher damit befassen will, sei hingewiesen auf die umfangreichen Versuche von Ricardo und die klare Untersuchung dieser Fragen durch ihn, hauptsächlich auf die sehr gute deutsche Bearbeitung des Ricardoschen Werkes durch Werner und Friedmann⁴⁾, endlich auf den hierher gehörigen Inhalt der übrigen Literatur und der Fachzeitschriften⁵⁾.

Rechtzeitige Entflammung des Gemisches erfordert rechtzeitiges Auftreten des Zündfunkens in bezug auf die Kolbenstellung. Daher ist nötig:

1. ein ganz bestimmtes, unveränderliches Übersetzungsverhältnis zwischen Motorachse und umlaufendem Teil des Zünders — also Antrieb durch unmittelbare Kupplung, Zahnrad oder Kette, nicht durch Riemen!

2. beim Einbau genaue Einstellung des Zünders zur Kolbenstellung des Motors;

⁴⁾ H. R. Ricardo: Schnellaufende Verbrennungsmaschinen, übersetzt und bearbeitet von Werner und Friedmann, 2. Aufl., Berlin, Springer 1932.

⁵⁾ Zum Beispiel: Professor Dr. E. Wirth: Die Verbrennungsvorgänge im Explosionsmotor. Automobil-Rundschau 1920, Heft 7—14 (zusammenfassende Darstellung).

Dr.-Ing. O. Enoch: Die Wertung der Ricardoschen Versuche. Motorwagen, 1923, Heft 18 und 19.

Dr.-Ing. Ludwig Richter: Das Klopfen der Zündungsmotoren. Motorwagen, 1925, Heft 32.

W. A. Whatmough: Detonation, The Automobile Engineer, 1927, Bd. XVII, Heft 225—233, 235, 236.

Dr.-Ing. W. Lindner: Entzündung und Verbrennung von Gas- und Brennstoffgemischen. Berlin, VDI.-Verlag 1931.

K. Schnauffer: Verbrennungsgeschwindigkeiten von Benzin- und Benzol-Luftgemischen in raschlaufenden Zündermotoren. Diss. T. II., Berlin 1931.

3. beim Zünder unbedingte Genauigkeit des Zündzeitpunktes in bezug auf die Stellung der umlaufenden Teile und Unveränderlichkeit des Zündzeitpunktes während langer Betriebszeit; endlich

4. die Möglichkeit, den Zündzeitpunkt während des Betriebes zu verändern, um ihn den wechselnden Drehzahlen anzupassen.

Auf die Frage des **Antriebs** und des Einbaus von Zündern (Forderung 1 und 2) muß gegen Ende unserer Betrachtungen ohnedies näher eingegangen werden. Hier sei nur darauf hingewiesen, daß bekanntlich beim Einzylinder-Viertaktmotor eine Zündung bei jeder Steuerwellenumdrehung, also bei jeder zweiten Kurbelwellenumdrehung zu erfolgen hat. Bei Mehrzylindermotoren erhöht sich die Zahl der auf eine Kurbelwellenumdrehung erforderlichen Zündungen proportional der Zylinderzahl, wie aus den ersten vier Spalten der Tafel, Bild 8, einfach zu entnehmen ist. Die Tafel zeigt gleichzeitig die Antriebsdrehzahl, die für Magnetzünder und Batteriezünder, von Sonderfällen abgesehen, gewählt werden muß, und zwar gesondert für den sogenannten Zweiabrißtyp, bei dem bei einer Umdrehung der Zylinderachse zwei Funken entstehen, und für die Vier-, Sechs-, Acht- und Zwölfabrißtypen, bei denen bei einer Umdrehung der Zylinderachse 4, 6, 8 und 12 Funken entstehen (siehe Abschnitt IV). Beim Einzylinder-Magnetzünder erzeugt auch der Zweiabrißtyp nur einen Funken pro Umdrehung. Einen nicht in der Tafel verzeichneten Ausnahmefall bildet der Zweizylinder-Zweitaktmotor mit um 180° versetzter Kurbel und entgegengesetzt liegenden Zylindern. Die Zündung der beiden Zylinder erfolgt gleichzeitig, und zwar durch einen Einzylinder-Zweifunken-Magnetzünder, der mit der Motorwelle anzutreiben ist. Das Wesen des Zweifunken-Magnetzünders wird weiter unten erläutert.

Der Batteriezünder wird, wie ebenfalls aus der Tafel ersichtlich, mit Rücksicht auf die Verteilung der Hochspannung auf die Zylinder fast stets mit Steuerwellendrehzahl angetrieben. Dies ist dadurch möglich, daß man den Unterbrechnocken für jede Zylinderzahl anders ausbildet und die Zahl der Unterbrechungen pro Umdrehung jeweils gleich der Zylinderzahl macht.

Die Verteilung der Funken auf die einzelnen Zylinder geschieht, wie bereits erwähnt wurde, bei der Hochspannungszündung durch den Hochspannungsverteiler. Es ist dies entweder ein mit der Wicklung in Verbindung stehender umlaufender Kontaktgeber, der

die mit den Zündkerzen der einzelnen Zylinder in Verbindung stehenden Segmente der Reihe nach berührt (Schleifbahnverteiler),

Zünder-System	Anzahl der Zylinder	Taktzahl des Motors	Erforderliche Zündungs-Anzahl pro Motor-Umlauf	Erzeugte Funkenzahl pro Zünder-Umlauf	Übersetzung Kurbelwelle zu Zünderwelle	Übersetzung Verteilerwelle zu Zünderwelle	Bemerkungen	
Magnetzündler	1	2	1	1	1:1	1:1	Normale Typen	
	2	2	2	2	1:1	1:1		
	1	4	Alle Umläufe 1zündung	1	1:1 od. 2:1	1:1		
	2	4	1	2	2:1	1:1		
	4	4	2	2	1:1	1:2		
	5	4	2,5	2	4:5	2:5		
	6	4	3	2	2:3	1:3		
	7	4	3,5	2	4:7	2:7		
	8	4	4	2	1:2	1:4		
	4	4	2	4	2:1	1:1		
	5	4	2,5	4	8:5	4:5		
	6	4	3	4	4:3	2:3		
	7	4	3,5	4	8:7	4:7		
	8	4	4	4	1:1	1:2		
	9	4	4,5	4	8:9	4:9		
	12	4	6	4	2:3	1:3		
	6	4	3	6	2:1	1:1		Sondertypen
	4	4	2	8	4:1	2:1		
6	4	3	8	8:3	4:3			
8	4	4	8	2:1	1:1			
12	4	6	8	4:3	2:3			
12	4	6	12	2:1	1:1			
Batteriezündler	1	2	1	1	1:1	1:1	Normale Typen	
	2	2	2	2	1:1	1:1		
	1	4	Alle Umläufe 1zündung	1	2:1	1:1		
	2	4	1	2	2:1	1:1		
	4	4	2	4	2:1	1:1		
	5	4	2,5	5	2:1	1:1		
	6	4	3	6	2:1	1:1		
	7	4	3,5	7	2:1	1:1		
	8	4	4	8	2:1	1:1		
	9	4	4,5	9	2:1	1:1		
	12	4	6	12	2:1	1:1		

Bild 8. Antrieb des Zünders

oder aber eine umlaufende Schneide, von der die Hochspannung zu den einzelnen Segmenten überspringt (Überschlagverteiler). Dieser

Verteiler muß seinem Zweck entsprechend mit der Drehzahl der Steuerwelle umlaufen, so daß beim normalen Vier- und Mehrzylinder-Magnetzünder eine Zahnradübersetzung zwischen dem Verteiler und den übrigen umlaufenden Teilen nicht zu umgehen ist. Das Übersetzungsverhältnis richtet sich nach der Zylinderzahl und der Antriebsdrehzahl des Magnetzünders und ist in der letzten Spalte der Tafel, Bild 8, eingetragen. Bei dem ohnedies mit Steuerwellendrehzahl angetriebenen Batteriezünder ist eine Zahnradübersetzung nicht notwendig, ebenso wenig beim normalen Ein- und Zweizylinder-Magnetzünder.

Die Empfindlichkeit der Motoren auf genaue Einhaltung des Zündzeitpunktes ist recht verschieden, häufig aber wird die Leistung schon bei Verschiebung des Zündzeitpunktes um wenige Winkelgrade verändert. Besonders bei Sportmodellen ist deshalb die Genauigkeit der Zündzeitpunkt-Einstellung von großer Bedeutung. Auch darauf, daß die Zündzeitpunkte der verschiedenen Zylinder den genau richtigen Abstand voneinander haben (sogenannte Zylinderversetzung, in der Regel am Zweiabriß-Magnetzünder 180°) ist besonders zu achten. Eine Verschiebung des Zeitzündpunktes im Laufe des Betriebes erfolgt durch Abnutzung der Unterbrecherteile, hauptsächlich der Unterbrecher-Gleitstücke, Nocken und Kontakte. Gute Zünder sind so gebaut, daß bei geringer Abnutzung dieser Teile die Verschiebung des Zündzeitpunktes nicht zu groß ist. Das Nachstellen der Kontakte nach längerer Betriebszeit ist jedoch nicht zu umgehen.

Für die Zündung von besonderer Wichtigkeit ist die Tatsache, daß vom Augenblick des Überschlags des Zündfunkens bis zum Augenblick der völligen Entflammung des Gemisches eine Zeitspanne, die sogenannte Entflammungsdauer, vergeht, die in der Hauptsache abhängig ist von der jedem Gemisch eigenen Entflammungsgeschwindigkeit — sie beträgt für ruhendes Benzindampf-Luft-Gemisch 2...6 m/sek, für durchwirbeltes Gemisch 10...20 m/sek, —, von der Zylinderform und von der Wirksamkeit des Zündfunkens. Der Zündfunke muß um die Zeitspanne der Entflammungsdauer dem gewünschten Zeitpunkt der völligen Entflammung vorausseilen.

Da nun mit zunehmender Drehzahl der Motor in derselben Zeit einen immer größeren Winkel an der Kurbelwelle durchläuft, muß der Zündfunke, in Winkelgraden gemessen, mit zunehmender Motordrehzahl in bezug auf die Kurbelwelle immer früher auftreten.

Dies führt zur Forderung 4: Der Zündzeitpunkt muß, wie man sagt, „verstellbar“ sein. Diese **Verstellung** des Zündzeitpunktes erfolgt am Zünder selbst, und zwar in der Regel durch Änderung der Lage von Unterbrecher und Unterbrechernocken zueinander, so, daß der Öffnungszeitpunkt des Unterbrechers im Verhältnis zur Stellung der Kurbelwelle sich verändert. Dabei kann grundsätzlich die Verstellung entweder von Hand, und zwar vom Führersitz des Kraftfahrzeuges aus betätigt werden, oder sie erfolgt selbständig abhängig von der Drehzahl durch einen Fliehkraftregler oder eine ähnliche Vorrichtung. (Über die elektrische Verstellung bei Flugzeugzündern s. S. 138.)

Die Verstellvorrichtung ermöglicht die Verstellung des Zündzeitpunktes in gewissen Grenzen, dem sogenannten **Verstellbereich**. Die Einstellung, die eine möglichst frühzeitige Zündung in bezug auf die Kurbelwelle hervorruft, nennt man „Frühzündung“, die Einstellung, die eine möglichst späte Zündung hervorruft, heißt „Spätzündung“. Diese Bezeichnungen dürfen nicht verwechselt werden mit den hin und wieder gebrauchten Ausdrücken „Vor- und Nachzündung“, die zumeist angeben wollen, wieviel Grad vor oder nach Totpunktstellung des Kolbens ein Motor zu zünden ist.

Bei niederen Drehzahlen und hauptsächlich beim Anwerfen hat die Zündung in der Nähe des Totpunktes zu erfolgen, man stellt deshalb häufig den Zünder zum Motor so ein, daß der Unterbrecher bei Spätzündung dann öffnet, wenn der Kolben sich in der Totpunktstellung befindet. Mit zunehmender Motordrehzahl erfolgt dann die Verstellung gegen Frühzündung. Der erforderliche Verstellbereich ist natürlich bei den einzelnen Motortypen sehr verschieden; auch ist die erforderliche Verstellung bei hoher Verdichtung geringer als bei niedriger. Bei neueren Motoren werden etwa 20...40° Verstellung, gemessen an der Kurbelwelle, verlangt. Bei der Batteriezündung hat die Verstellung keinen Einfluß auf die Zündleistung, ebenso nicht bei Magnetzündern, die mit Antriebsverstellung ausgerüstet sind, bei denen also durch die Verstellung die elektrischen Verhältnisse im Zünder nicht beeinflußt werden. Anders bei Magnetzündern mit Abrißverstellung; bei diesen werden Unterbrecher und Nocken gegeneinander verdreht, es ändert sich also mit der Verstellung die Stellung des Ankers im Magnetfelde, bei der der Strom unterbrochen wird. In diesem Falle stellen große Verstellbereiche recht hohe Anforderungen an den Entwurf von Magnetzündern für höhere Zylinderzahlen.

Die Entflammungsdauer und damit der erforderliche Verstellbereich hängt stark von der Zylinderform und der Wirksamkeit des Zündfunken, hauptsächlich von der Anordnung der Zündkerze im Zylinder ab. Die Zündkerze soll den frischen Gasen leicht zugänglich und nicht zu weit außerhalb der Mitte des Explosionsraumes liegen. Mit Rücksicht auf das noch zu besprechende sogenannte „Klopfen“ des Motors wird manchmal geraten, die Zündkerze in der Nähe des Auspuffventils anzubringen. Vom Zündungsstandpunkt aus ist davor zu warnen, da der lange Weg des Gemisches vom Ansaugventil bis zur Kerze das Anwerfen erschwert und die Entflammungsdauer vergrößert. Außerdem ist dann die Erwärmung der Kerze am Auspuffventil und damit die Glühzündungsgefahr besonders groß.

Bei großem oder ungünstig geformtem Explosionsraum und bei hohen Drehzahlen greift man hin und wieder zu einem besonderen Mittel, die Entflammungsdauer herabzusetzen, indem man zwei Zündstellen in einem Zylinder unterbringt; Bild 9 zeigt zwei Beispiele hierfür. Man kann dabei entweder an beiden Zünd-

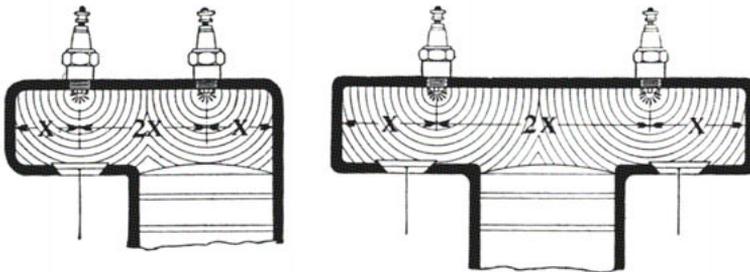


Bild 9. Anordnung von zwei Zündstellen im Zylinder

stellen gleichzeitig Überschlüge hervorrufen und hat auch zu diesem Zweck besonders ausgebildete, sogenannte Zweifunken-Magnetzündler geschaffen, oder man kann die Zündstelle, die erfahrungsgemäß ein schlechteres Gemisch zu zünden hat, um einige Winkelgrade früher ansprechen lassen als die andere. In diesem Fall wird die sogenannte Zwillingzündung angewandt, bei der jede der beiden Zündkerzen von einer besonderen Zündvorrichtung gespeist wird. Diese Anordnung bedeutet zugleich eine wesentliche Erhöhung der Betriebssicherheit der Zündung. Es ist Tatsache, daß bei gewissen Motoren derartige Anordnungen nicht nur geeignet sind, den Verstellbereich wesentlich zu verkleinern, sondern auch die Maximalleistung bei jeweils günstigstem Zündzeitpunkt gegenüber der Einfunkenzündung

zu erhöhen, offenbar infolge einer vollständigeren Verbrennung des Gemisches.

Bei der Konstruktion selbsttätiger Verstelleinrichtungen ist nicht nur der Verstellbereich, sondern auch die Abhängigkeit der

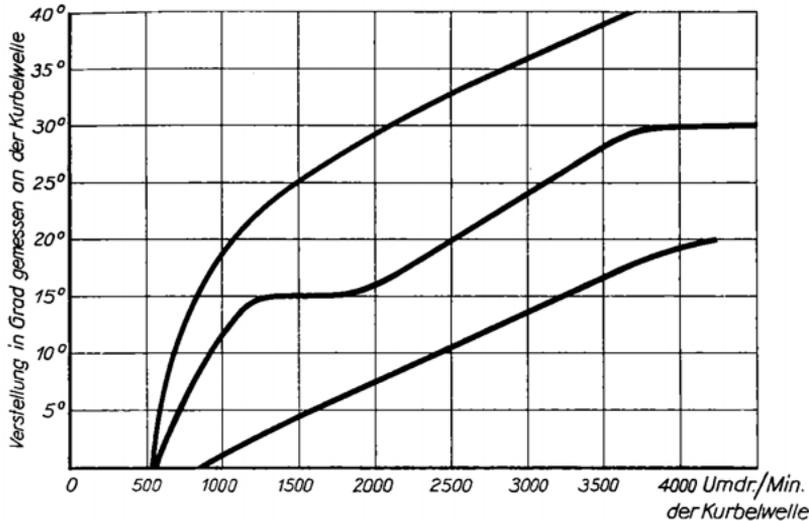


Bild 10. Verstellung des Zündzeitpunkts in Abhängigkeit von der Motordrehzahl

Verstellung von der Motordrehzahl wichtig. Es ist zu beachten, daß die Verstellung bei einer bestimmten Drehzahl einsetzt und bei einer bestimmten Drehzahl, spätestens bei der Motorhöchstdrehzahl, auf volle Frühzündung kommt. Bild 10 zeigt verschiedene Verstellkurven, eine zuerst rasch, später langsam ansteigend, eine andere mehr linear, usw. Die günstigste Form dieser Linie ist bei jedem Motor wieder anders. Ist die Linie zu flach, so beschleunigt sich der Motor schlecht, ist sie zu steil, so tritt leicht das sogenannte „Klopfen“ oder „Klingeln“ ein⁶⁾.

Bei der Verbrennung des Gemisches werden häufig noch unverbrannte Gemischteile bis zur Selbstzündung verdichtet. Ihre Explosion erzeugt das schlagartige Geräusch des Klopfens, erhitzt auch die verbrannten Teile des Gemisches höher, steigert die Temperatur von

⁶⁾ S. a. Lindner a. a. O. (Dort auch weitere Literaturangaben.)

J. D. Morgan: Some Experiments on gas explosions in closed tubes with particular reference to „pinking“ in: Institution of Automobile Engineers, Dezember 1924, Seite 254.

J. D. Morgan: Note on the Vibrational movements which occur during the inflammation of combustible gas, in Philosophical Mag. Bd. III, Seite 1161.

Motor und Zündkerze und führt häufig bis zu Glühzündungen und Störung des Betriebes. Das Klopfen, das natürlich auch von Zündkerzensitz, Zylinderform und Brennstoff stark abhängig ist, bildet im allgemeinen die Grenze des zulässigen maximalen Explosionsdrucks, der, wie Bild 7 zeigt, durch den Zeitpunkt der Entflammung, also der Zündung, stark beeinflußt wird. Je höher der Explosionsdruck ist, desto höher ist die Leistung, und so kommt es, daß in der Regel für jede Motordrehzahl ein ganz bestimmter günstigster Zündzeitpunkt besteht, vor dem das Klopfen beginnt und hinter dem die Leistung sinkt. Bei sehr hohen Drehzahlen verringert sich in der Regel die Gefahr des Klopfens wieder, wahrscheinlich unter dem Einfluß der unvollständigen Füllung des Zylinders.

Erfahrungsgemäß nimmt die Entflammungsgeschwindigkeit eines Gases oder Brennstoffgemisches mit abnehmendem Druck ebenfalls ab. Für die beste Leistung benötigt also ein Motor bei Teilgas mehr Vorzündung als bei Vollgas. In den meisten Fällen ist jedoch die erzielte Brennstoffersparnis im praktischen Fahrbetrieb zu gering, als daß eine besondere Zusatzverstellung gerechtfertigt wäre, die die Druckänderungen berücksichtigt.

Die Einstellung des Zünders zur Kurbelwelle erfolgt, wie erwähnt, häufig — bei Zündern mit selbsttätigen Verstelleinrichtungen stets — in der Spätzündungslage. Häufig aber wird auch nach der Frühzündungslage eingestellt, da die Genauigkeit des Zündzeitpunktes bei mittleren und hohen Drehzahlen, also bei Frühzündung, aus den angegebenen Gründen wichtiger ist als bei Spätzündung. Es ist dann für die Einstellung anzugeben „Zündzeitpunkt bei Frühzündung x mm oder x Grad vor oberem Totpunkt“, wobei sich die Längenangabe auf den Kolbenweg, die Gradangabe auf den Kurbelwinkel bezieht.

Bei langsam laufenden Motoren und bei ganz kleinen Schnellläufern kann unter Umständen die Verstellung des Zündzeitpunktes überhaupt entbehrt werden, bei jenen, da infolge der niederen Drehzahlen der Zündzeitpunkt stets in der Nähe des Totpunktes verbleiben kann, bei diesen, da sie sich so rasch anwerfen lassen, daß die Gefahr der Rückschläge⁷⁾ gering ist, auch wenn die

⁷⁾ Die deutschen Unfallverhütungsvorschriften zur Sicherung gegen Kurbelrückschlag verlangen, daß beim Anwerfen die Zündung bei Batterie-Zündung nicht vor O. T., bei Magnetzündern höchstens 15° vor O. T. erfolgen darf; die Vorschriften gelten für Motoren mit einem Inhalt des einzelnen Zylinders von mehr als 375 cm³.

Zündung ständig wesentlich vor dem Totpunkt erfolgt. Ganz gleichmäßiges Arbeiten des Motors bei sehr niedriger Drehzahl ist in diesem Fall allerdings schwer zu erreichen.

3. Zündleistung

Nach diesen Betrachtungen über den Zündzeitpunkt zurück zum ersten Teil der uns gestellten Frage: Welche Anforderungen stellt der moderne Kraftfahrzeugmotor an den Zünder hinsichtlich der Leistung und der Drehzahlen? Die verlangte Leistung ist maßgebend für die Formgebung jedes Krafterzeugers, also auch des Zünders.

Nun ist freilich die von den Zündern bei den verschiedenen Drehzahlen zu fordernde Leistung so außerordentlich von den sehr verschiedenen Betriebsbedingungen der Kraftfahrzeugmotoren abhängig

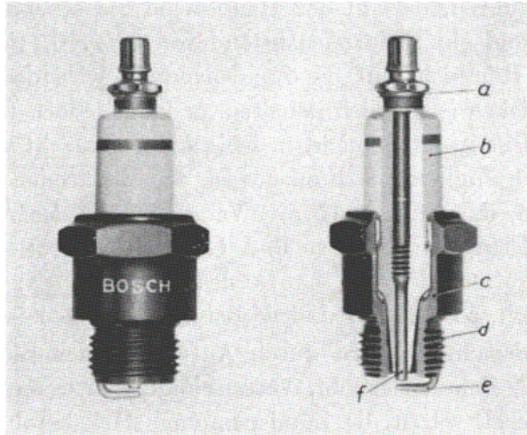


Bild 11. Zündkerze

- | | |
|--|---------------------------------------|
| <i>a</i> = Einführung für den Kabelstecker | <i>d</i> = Einschraubgewinde |
| <i>b</i> = Isolierkörper | <i>e</i> = Masselektrode |
| <i>c</i> = Kerzenkörper | <i>f</i> = Zündstift (Mittellektrode) |

und so viel umstritten, daß es kaum möglich ist, eine Faustregel dafür anzugeben. Zerlegen wir die Leistung, wie dies bei jedem Erzeuger elektrischer Energie möglich ist, in ihre Komponenten Strom und Spannung, so kommen wir dem Ziel wesentlich näher, da die für die Zündung erforderliche **Zündspannung** einfacher zu bestimmen ist.

Bild 11 zeigt die Zündkerze mit ihren sogenannten Elektroden, der isolierten Mittellektrode und den mit dem Kerzen- und

Motorkörper, der sogenannten „Masse“ verbundenen Körperelektroden. Ist die vom Zünder den Elektroden zugeführte Spannung groß genug, so entsteht ein Überschlag an den Elektroden: der bekannte Zündfunke. Die zur Erzeugung des Überschlags erforderliche Spannung heißt Zündspannung und ist abhängig:

1. von der Form der Elektroden,
2. vom Abstand der Elektroden,
3. von der Beschaffenheit der Elektrodenoberfläche,
4. von der Polarität,
5. von der Steilheit des Spannungsanstiegs,
6. von der Beschaffenheit der zwischen den Elektroden vorhandenen Gasschicht.

Über Form und Abstand der Elektroden wird in Abschnitt VI bei Besprechung der Zündkerze des näheren die Rede sein. Hier genügt anzuführen, daß in der Hauptsache die scharfkantige Elektrodenform und ein Elektrodenabstand von 0,5...0,7 mm gebräuchlich ist. Mit Rücksicht auf die Zündspannung wird der Elektrodenabstand so klein wie möglich gehalten, er kann jedoch mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit nicht beliebig klein gemacht werden. Auch auf die Zündfähigkeit des Funkens ist der Elektrodenabstand nicht ohne Einfluß, da naturgemäß mit Vergrößerung des Abstandes die Berührungsfläche von Funken und Gemisch vergrößert wird. Die Elektroden nutzen sich im Laufe des Betriebes ab; ihr Abstand vergrößert sich, so daß hin und wieder nachzustellen ist.

Die Zündspannung wird durch Aufrauhnen der Elektroden verringert, durch Polieren erhöht. Verunreinigungen durch Ruß, Eisenoxyd oder dergl. setzen die Zündspannung stark herab; aus diesem Grunde wäre eine Verrußung der Elektroden nicht unerwünscht, wenn dieser Vorteil nicht durch das gleichzeitige Verrußen des Steins mehr als aufgehoben würde.

Wenn bei Batteriezündung der Minus-Pol an der Mittelelektrode liegt, ist die Zündspannung um 1...2 kV höher, als wenn der Plus-Pol an der Mittelelektrode liegt. Außerdem ist die Zündspannung um so höher, je steiler der Spannungsanstieg ist.

Wesentlich beeinflußt wird die Zündspannung durch die Beschaffenheit der Schicht zwischen den Elektroden, d. h. des Gasgemisches, hauptsächlich durch Zusammensetzung, Temperatur und Verdichtung des Gemisches. Im Gemisch beträgt das Raumverhältnis von Kraftstoff zu Luft etwa 1:9000, d. h.

auf 1 Liter Gemisch kommen 0,111...0,116 cm³ flüssiger Kraftstoff; ist weniger Kraftstoff im Verhältnis zur Luft vorhanden, so spricht man von armen, ist mehr vorhanden, von reichem Gemisch. Armes Gemisch erfordert im allgemeinen höhere Zündspannungen als reiches Gemisch; dagegen verringert sich mit steigender Temperatur und sinkender Verdichtung die erforderliche Zündspannung, so daß bei mittlerer und hoher Drehzahl, bei der der Motor warm und die Füllung häufig unvollständig ist, oft nur ein Bruchteil der beim Anwerfen des kalten Motors erforderlichen Zündspannung notwendig ist. Der Verdichtungsdruck der Verbrennungsmotoren wurde in den letzten Jahren von den Konstrukteuren ebenso wie die Drehzahlen immer mehr gesteigert und schwankt heute zwischen 3 und 10 Atmosphären.

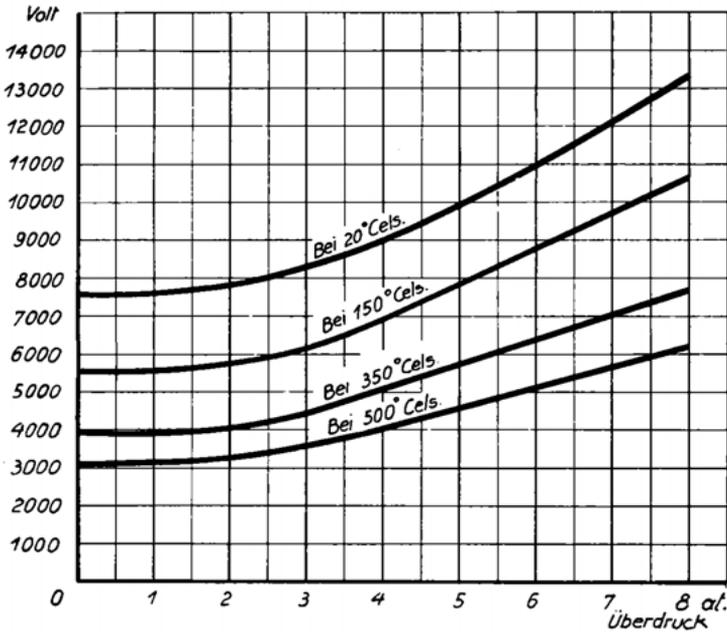


Bild 12. Zündspannung in Abhängigkeit vom Verdichtungsdruck

Aus Bild 12 ist die Abhängigkeit der mittleren Zündspannung vom Verdichtungsdruck und aus Bild 13 die Abhängigkeit der mittleren Zündspannung von der Gemischtemperatur bei Verwendung einer bestimmten Zündkerze zu ersehen⁸⁾. Unter mittlerer Zünd-

⁸⁾ Die Messungen wurden sämtlich an ein und derselben Zündkerze mit 0,5 mm Elektrodenabstand und leicht abgenutzten Elektroden in Kohlensäure durchgeführt.