

eigene Vorrichtungen ausgetrieben werden, die darauffolgende frische Ladung, sich mit derselben mischend, verdünnen, um sodann an dem weiteren Arbeitsprozesse teilzunehmen.

Die Arbeitscylinder müssen, um übermäßiger Erhitzung derselben mit Rücksicht auf die Möglichkeit guter Schmierung vorzubeugen, entsprechend kühl erhalten werden; sie sind daher durchgehend mit Kühlmänteln umgeben, durch deren den Arbeitscylinder einhüllenden Hohlraum beständig Wasser zirkuliert, welches eine Abflußtemperatur von im Mittel 70° C besitzen soll; zumeist bleibt die Temperatur desselben jedoch merklich darunter. Da durch die Kühlung, welche als ein großer Übelstand mit in den Kauf genommen werden muß, ein guter Teil der bei der Verbrennung entwickelten Wärme (ungefähr 40 bis 50% derselben) für die Leistung der Maschine verloren geht, daher den Wirkungsgrad entsprechend vermindert, so soll die Abühlung nur so weit getrieben werden, als unbedingt erforderlich ist; eine wesentlich geringere Temperatur des abfließenden Kühlwassers ist somit erfahrungsgemäß direkt schädlich; andererseits wäre eine wesentlich höhere Temperatur gleichfalls von nachteiligem Einflusse begleitet, weil die Gefahr einer Zersetzung des Schmieröles und als Folge dessen mangelhafte Schmierung hierdurch nahegerückt würde. Die Wasserkühlung kann entweder durch Anschluß an eine vorhandene Wasserleitung oder durch Zirkulation des Wassers in Kühlgefäßen erfolgen.

Die steuernden Organe (Einlaß- bzw. Mischventil und Auslaßventil), am Boden des Cylinders angeordnet, werden am zweckmäßigsten durch eine parallel mit der Cylinderachse mit der halben Tourenzahl der Maschine laufende, von der Maschinenwelle meist durch Schraubenräder mit der Übersetzung 2:1 angetriebenen Steuerwelle betätigt. Es gibt aber auch Maschinen, bei welchen die Steuerwelle parallel zur Maschinenwelle liegt; der Antrieb erfolgt durch Stirnräder.

**220. Die Zündung.** Bei den älteren Viertaktmaschinen erfolgte die Zündung der verdichteten Ladung unter Vermittlung eines Schiebers durch eine außerhalb brennende Gasflamme. Um zu verhindern, daß die Gase im Momente der Zündung bzw. der Explosion durch den Schieber hinausschlügen, war der Schieber so eingerichtet, daß in einer kleinen Höhlung desselben zunächst eine Interimsflamme gebildet wurde, welche sodann, gegen die Atmosphäre abgeschlossen, durch einen Kanal mit dem Inneren des Cylinders in Verbindung gebracht, in diesen hineinschlug und die Ladung entzündete.

Diese ältere Flammenzündung ist mit der Schiebersteuerung, welche ein Hindernis für die Anwendung höherer Kompression bildete, gefallen;

erstere wurde durch die Glühkörper- oder elektrische Zündung, letztere durch die heute allgemein angewendete Ventilsteuerung ersetzt. Durch die Glühkörperzündung wurde auch das lästige Ausblasen der Zündflamme der älteren Zündmethode beseitigt.

Ganz abgesehen von der an und für sich komplizierten Flammenzündung war das Zündmittel selbst eine schwache Gasflamme, deren Wirkungsdauer sich auf eine verhältnismäßig kurze Zeit erstreckte, so daß auch die Zündung leicht versagte, sobald das Zusammenwirken der beteiligten Organe eine geringe Störung erfuhr. Die Zündung war daher Ursache häufiger Betriebsstörungen, da ja das sichere Arbeiten einer Gasmaschine in erster Linie von dem präzisen Funktionieren des Zündapparates abhängt. Derselbe bildet daher ein sehr wichtiges Organ jeder Gasmaschine, wird daher meist auch durch ein Patent geschützt; für die Detailkonstruktion desselben lassen sich somit auch keine allgemein gültigen Bestimmungen feststellen.

Die ersten Patente auf Glühzünder wurden schon vor etwa 25 Jahren genommen, doch fand diese Idee erst vor etwa 15 Jahren die erste praktische Verwendung. Das erste Patent, welches das Zündglührohr nachweisbar zum Gegenstande hatte, wurde 1879 Leo Funk verliehen, doch geriet diese Erfindung wieder in Vergessenheit, bis derselbe Gedanke, jedoch in vereinfachter Form 1883 von G. Daimler wieder aufgegriffen und patentiert wurde.

Das Bedürfnis nach dieser neuen Zündungsmethode war bei den Gasmaschinen jener Zeit nicht in dem Maße vorhanden, daß sich daraus das rasche Verdrängen der alteingebürgerten Flammenentzündung erklären ließe; die Fortschritte im Baue der Petroleum- und Benzinmotoren forderten jedoch eine geänderte Zündungsmethode, weil sich bei den Petroleummotoren die Flammenzündung ihrer ungenügenden Zündkraft wegen als wirkungslos erwies, während bei den Benzinmaschinen andererseits ein vollkommen luftdichter Abschluß des Cylinders nach außen, der leichten Entzündbarkeit der Benzindämpfe wegen, ein Gebot der Notwendigkeit war; dieser luftdichte Verschuß war jedoch bei Schiebersteuerung und Flammenzündung nicht zu erreichen.

Die praktische Verwertung der Glührohrzündung fällt daher mit der Vervollkommnung der Ölmaschinen zusammen, während diese andererseits erst durch die Erfindung dieses neuen Zündverfahrens lebensfähig wurden.

Zufolge ihrer Einfachheit, verlässlichen Wirkungsweise und des Wegfalles jeder mechanischen Betätigung hat die Glührohrzündung seitdem auch im Gasmotorenbau nebst der elektrischen Zündung allgemeine Anwendung gefunden; damit ging andererseits die Erhöhung des Kompressionsdruckes Hand in Hand.

Das Prinzip der Glührohrzündung besteht dem Wesen nach darin, daß ein kurzes, einseitig geschlossenes, also sackförmiges Röhrchen aus Metall oder Porzellan, das Glührohr, mit seinem offenen Ende mit dem Laderaume des Cylinders in geeigneter Verbindung steht, während es von außen durch einen Brenner erhitzt und in beständiger Rotglut erhalten wird. Gegen Ende der Kompressionsperiode dringt das explosible Ladungsgemisch in die rückwärtige glühende Partie des Röhrchens und wird entzündet; nachdem der Kolben und somit auch die Ladung mit Ende des Hubes zur Ruhe gekommen ist, teilt sich die Entflammung sofort der ganzen Ladung mit.

Das Glührohr selbst ist im allgemeinen von verschiedener Form und Größe. Von den hierzu verwendeten Materialien, als Porzellan, Platin, Nickel, Neusilber, Aluminium und einigen patentierten Legierungen hat bisher das Porzellan die größte Verbreitung gefunden, da es rasch glühend wird, die Gluthitze lange bewahrt, dabei durch die chemische Einwirkung der Flamme nicht leidet und billig ist; es hat nur die üble Eigenschaft, daß es zerbrechlich ist und leichter zerspringt. Platin besitzt die guten Eigenschaften des Porzellans, ist dabei sehr widerstandsfähig, jedoch verhältnismäßig kostspielig. Die übrigen Metalle haben sich weniger bewährt.

Der Wirkungsweise nach unterscheidet man im allgemeinen zwei Arten von Glührohrzündungen und zwar Zündung mit offenem Glührohr und Zündung mit gesteuertem Glührohr.

Bei der Zündung mit offenem Glührohr steht das Rohr mit seinem offenen Ende in dauernder Verbindung mit dem Laderaume des Cylinders. Die Erhitzung auf Hellrotglut wird entweder durch einen offenen oder einen Bunsenbrenner bewirkt; im ersteren Falle brennt die Flamme in einem kleinen, im Verbrennungsraume mit Schamotte ausgekleideten Kamin. Nach erfolgter Erhitzung wird die äußere Erwärmung meistens entbehrlich, da die durch die Explosion erzeugte Wärme, namentlich bei raschlaufenden Maschinen und dementsprechend in kurzen Intervallen wiederkehrender Zündung, genügt, um das Glührohr dauernd auf der erforderlichen Temperatur zu erhalten.

Die Wirkungsweise des offenen Glührohres läßt sich auf folgende Weise erklären: Das Innere des Rohres ist zum Schlusse der letzten Arbeitsperiode mit Verbrennungsrückständen gefüllt; diese Füllung, von atmosphärischer Spannung, bleibt während der darauffolgenden Saugperiode nahezu stagnierend; während des Verdichtungshubes werden die verbrannten Gase nach dem rückwärtigen Teile des Rohres gedrängt; gegen Hubende werden sie jedoch so stark verdichtet, daß die frische Ladung mit der glühenden Zone des Glührohres in Berührung kommt, sich entzündet und die Explosion verursacht.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Entflammung der ganzen Ladung stattfindet, hängt mit von dem Einmündungsorte, der Lage und Länge des Glührohres ab. Man kann daher den Moment der Zündung regulieren, indem man die Länge und somit auch den Inhalt des Glührohres veränderlich macht, z. B. in der Weise, daß man das Glührohr mit einem seitlichen Rohr verbindet, dessen Inhalt durch einen mittels Schraubengewinde verstellbaren Pfropfen veränderlich gemacht werden kann, eine Vorrichtung, welche bei neueren Ottomaschinen für kleine Leistungen angewendet wird.

Es läßt sich wohl nicht leugnen, daß derlei Vorrichtungen nicht zur Vereinfachung der Maschine und ihrer Bedienung beitragen, daher die meisten Gasmotorenfabriken Glührohre unveränderlicher Länge anwenden.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß der Moment der Zündung stets sehr nahe am toten Punkte der Maschine liegt, und daß sich die Zündung auch bei Maschinen, die mit veränderlicher Stärke der Ladung arbeiten, zur richtigen Zeit einstellt, wenn man Sorge trägt, daß auch bei der geringsten Verdichtung frische Ladung mit Ende des Hubes die Glühzone des Glührohres erreicht.

Beim Anlassen des Motors können verfrühte Zündungen vor der Totlage des Kolbens eintreten, wodurch der Kolben wieder zurückgeschleudert und das Schwungrad plötzlich verkehrt gedreht würde. Diese Vorzündung tritt dann ein, wenn die Geschwindigkeit, mit welcher frische Mischung infolge der Verdichtung in das Glührohr eindringt, kleiner ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Entzündung dieser Mischung im Glührohre nach außen fortschreitet. Um dieser Gefahr der Vorzündung namentlich bei großen Maschinen vorzubeugen, wendet man entweder gesteuerte Glührohre oder elektrische Funkenzündung an.

Die Zündung mit gesteuertem Glührohr unterscheidet sich im Principe von jener mit offenem Glührohre nur dadurch, daß das Glührohr mit dem Laderaume nicht in fortwährender Verbindung steht, sondern nach innen durch eine Absperrvorrichtung (Zündventil), welche von der Steuerwelle betätigt wird, geschlossen erhalten wird. Im Momente der Zündung wird durch Öffnen dieses Ventils die Verbindung zwischen dem Inneren des Rohres und dem Cylinder hergestellt, infolgedessen ein Teil der verdichteten Ladung in dasselbe hineinschlägt und sich entzündet. Da das verläßliche Funktionieren dieser Zündvorrichtung von dem jedesmaligen sicheren Abschlusse des Verbindungskanales zwischen Glührohr und Cylinder abhängt, so muß sehr darauf gesehen werden, daß die Abschlußvorrichtung auch verläßlich arbeitet, d. h. präzise öffnet und schließt, da sonst Vorzündungen eben so gut eintreten können, wie bei offenem Glührohre. Es stehen auch Ausführungen in Gebrauch, bei welchen das Rohr

nach außen offen, also mit atmosphärischer Luft gefüllt ist, um im Momente der Zündung nach außen abgeschlossen und nach innen geöffnet zu werden.

Die Glührohrzündung ist im allgemeinen einfach, sicherwirkend und billig; sie ist von der Geschwindigkeit der Maschine und deren Aufstellung unabhängig, erfordert jedoch eine gewisse Zeit (etwa 5—10 Minuten) zum Anwärmen des Glührohres beim Anlassen der Maschine; diese ist daher nicht momentan dienstbereit.

Der Gasverbrauch ist etwas größer als bei der älteren Flammenzündung und beträgt unabhängig von der Maschinengröße durchschnittlich 150 bis 200 Liter pro Stunde und Cylinder.

Die derzeit sowohl bei Gasmotoren als auch namentlich bei den mit flüssigen Brennstoffen arbeitenden Maschinen gebräuchlichste Zündmethode ist die elektrische Zündung.

Die elektrische Zündung, bekanntlich die älteste Zündungsmethode, welche später durch die Flammenzündung verdrängt wurde, besteht darin, daß durch die explosible Ladung ein elektrischer Funke schlägt, welcher in seiner Wirkung einem Glühkörper ähnlich, das Ladungsgemisch an einer bestimmten Stelle auf die Entzündungstemperatur erhitzt; die Entzündung überträgt sich dann explosionsartig auf die benachbarten Schichten und die ganze Ladung. Der Funke selbst soll in erster Linie heiß sein; seine Länge ist weniger von Belang. Ein heißer Funke ist rötlich-violett, ein kalter hingegen weißlich.

Die zum Überschlagen des Funkens dienende Vorrichtung nennt man den Zünder. Der Zünder besteht dem Wesen nach aus einem metallenen Pfropfen von verschiedener Form und Anordnung, welcher am Cylinder, in den rückwärtigen Teil des Laderaumes mündend, befestigt wird. Der Pfropfen, welcher möglichst einfach konstruiert sein muß, um rasch abgenommen und untersucht werden zu können, wird durch zwei gegenseitig isolierte Drähte durchsetzt, deren Platinspitzen sich im Innern des Cylinders gegenüber stehen. Zwischen diesen Spitzen, deren Abstand zumeist nur 1 mm beträgt, springt der elektrische Funke über. In der konstruktiven Durchführung unterscheiden sich die verschiedenen in Anwendung stehenden Zünder mehr oder weniger von dieser einfachsten Form; auf eine Besprechung derselben soll hier nicht weiter eingegangen werden\*).

So einfach die zur Funkenbildung dienenden, im Inneren des Cylinders liegenden Zünder im allgemeinen auch gebaut sind, so mannigfaltig und kompliziert sind jene Apparate, welche zur Erzeugung des Funkens dienen. Während man früher zur Erzeugung des den Funken bildenden Stromes

\*) Einige dieser Konstruktionen sind durch Zeichnung und Beschreibung erläutert in A. von Ihering, „Die Gasmachine“, Leipzig 1901, S. 393—399.

galvanische Batterien benützte, verwendet man jetzt eigene magnetelektrische Apparate oder kleine vom Motor selbst betätigte Dynamomaschinen. Die elektrische Zündung wäre wohl die beste aller Zündungsmethoden, wenn sie eben vollkommen verlässlich wäre. In diesem Sinne ist die Zündung mit fortwährender Funkenbildung beziehungsweise ununterbrochenem Durchströmen des Stromes durch den Zünder viel sicherer wirkend, als die Zündung durch einen einzigen überschlagenden Funken, weil bei dieser Anordnung ein förmliches Funkenbüschel fortwährend überströmt, wodurch die Möglichkeit eines Aussetzens der Explosion durch Versagen der Zündung ausgeschlossen erscheint.

Bei Einzelfunken ist das Versagen der Zündung leicht möglich, da allerlei Ursachen, als ein Fehler in der Entfernung der Spitzen, ein zwischen die Spitzen gelangender Öltropfen, ein Verrücken der Spitzen etc., das Überspringen des Funkens verhindert. Man trachtet daher unter allen Umständen, den Zünder an einer Stelle des Cylinders anzubringen, wo er solchen Störungen und Zufälligkeiten weniger ausgesetzt ist.

Die stromerzeugenden Apparate erhalten ihre Bewegung beziehungsweise ihren Arbeitsimpuls fast ausnahmslos von der Steuerwelle der Maschine.

Sämtliche Methoden der Funkenerzeugung kann man dem Wesen nach in zwei Gruppen trennen und zwar in solche, bei welchen durch Losreißen eines beweglichen Hebels von einem Metallstifte oder durch das Anschlagen eines derartigen Hebels an die Cylinderwand im Inneren des Cylinders entweder ein Öffnungs- oder ein Schließungsfunken im Stromkreise erzeugt wird, und in Anordnungen, bei welchen durch einen außerhalb der Maschine angebrachten Unterbrecher eine Störung in einem primären Stromkreise hervorgerufen und durch diese ein Strom in einem zweiten, sekundären Stromkreise, in welchem der oder die Zünder eingeschaltet sind, induziert und hierdurch die Funkenbildung am Zünder bewirkt wird.

Die zum Überschlagen des Funkens im geeigneten Momente dienenden Vorrichtungen sind sehr einfach und werden hierzu meistens die Steuermechanismen selbst benützt. Kompliziert werden diese Zündungen nur durch die Apparate zur Erzeugung des Stromes. Gewöhnlich wird ein sekundärer, induzierter Strom benützt, welcher durch einen in einer Spirale mit Hilfe zweier mit chromsaurer Eisenlösung gefüllter Elemente erzeugten primären Strom in der Zündleitung induziert wird.

Seltener werden die galvanischen Elemente durch magnet- oder dynamoelektrische Apparate ersetzt oder der Unterbrechungsstrom eines magnetelektrischen Apparates benützt; in beiden Fällen werden die Apparate von der Maschine beziehungsweise deren Steuerwelle bewegt.

Die Nachteile der Stromerzeugung durch galvanische Elemente haben

zur Anwendung der magnet- oder dynamoelektrischen Apparate geführt. Der Strom behält keine gleichmäßige Stärke, andererseits ist das Manipulieren mit den zur Füllung der Elemente dienenden Stoffen nicht ungefährlich. Die doppeltechromsauren Elemente reichen für etwa 150 Betriebsstunden aus und müssen daher rechtzeitig ausgewechselt werden.

Die von der Maschine bewegten magnet- oder dynamoelektrischen Apparate sind natürlich unabhängig von den Nachteilen galvanischer Batterien, sie sind jedoch viel teurer und komplizierter, da am Schwungrad eigene Drehvorrichtungen angebracht sein müssen, um beim Anlassen der Maschine auch sofort die für die Erzeugung des Stromes erforderliche Geschwindigkeit, ohne welche der Strom nicht stark genug, also das Anlassen nicht möglich ist, zu erlangen.

Die Zündung durch elektrische Funken ist einfach, jedoch sehr empfindlich, doch bietet sie den Vorteil, daß ihre Verwendung jede Feuergefahr ausschließt, daher dieselbe für jedes beliebige Gas anwendbar ist; aus diesem Grunde wird sie auch bei Benzinmaschinen fast ausschließlich benützt.

Die elektrische Zündung durch Elektromagneten und Dynamos verursacht weder während des Betriebes noch während des Stillstandes Unterhaltungskosten, jedoch bedeutend höhere Anschaffungskosten als die Zündung durch galvanische Batterien. Die Kosten der Erhaltung der Batterien stellen sich ziemlich gleich mit jenen der Zündflamme, doch erfordern sie eine viel aufmerksamere Wartung und daher mehr Bedienungsarbeit.

Außer den beiden besprochenen Zündungsmethoden — Glührohrzündung und elektrische Zündung — gibt es noch eine dritte Zündungsmethode durch bloße Verdichtung der Ladung, ohne irgend welche äußere Wärmezufuhr.

Diese Methode setzt eine so weitgehende Verdichtung der Ladung beziehungsweise der angesaugten Luft voraus, daß die Verdichtungs-entemperatur, um Versager zu vermeiden, entsprechend höher sein muß als die Entzündungstemperatur des verwendeten Brennstoffes. Diese Entzündungsmethode hat bisher bei den mit Gemischladungen arbeitenden Viertaktmotoren, der steten Gefahr eintretender Vorzündungen wegen, keine Anwendung gefunden. Das Arbeitsprinzip der an späterer Stelle eingehend besprochenen Dieselmachine, welche nur reine atmosphärische Luft saugt und komprimiert, beruht jedoch auf dieser Selbstzündungsmethode.

**221. Die Steuerung.** Die steuernden Organe haben allgemein den Zweck, die Maschine rechtzeitig zu füllen und zu entleeren; häufig dienen sie auch zur Regulierung der Geschwindigkeit derselben. Bei allen im Viertakt arbeitenden Maschinen treten die einzelnen Steuerorgane nur