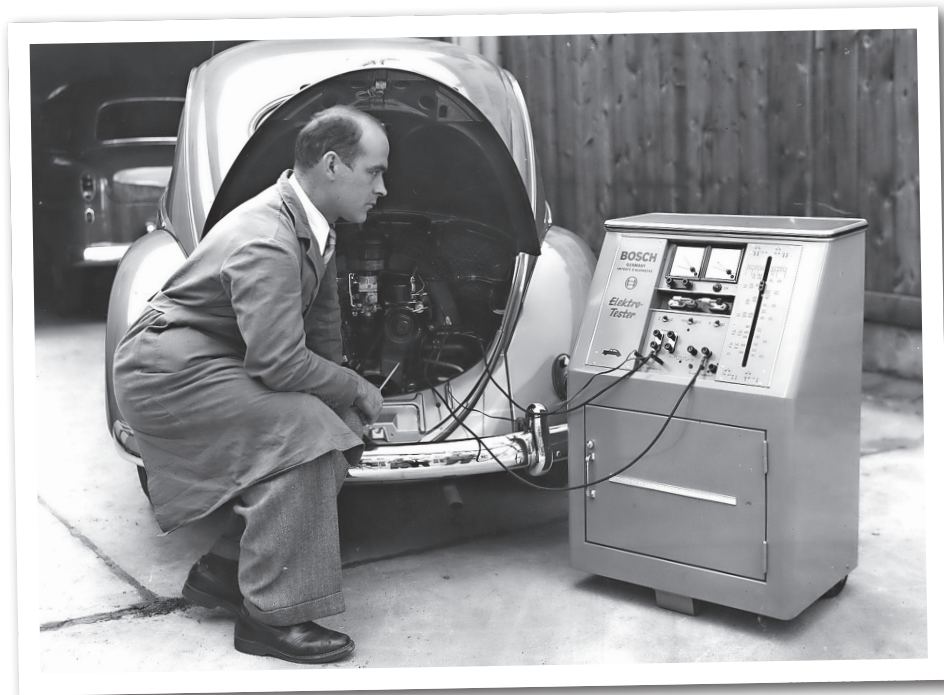


Zündanlage und Zündkerzen – Stand der Technik

# Die zündende Technologie

Zündanlagen sind für viele Werkstattmitarbeitende eine Blackbox. Sie funktionieren meist anstandslos, einzig die Zündkerzen müssen regelmässig getauscht werden. Warum wir uns heute keine Gedanken mehr über die Funktion der Zündanlage und welche Technologien sie ausfallsicher machen: ein Überblick. **Andreas Senger**



Zündanlagen in historischen Fahrzeugen benötigen viel Unterhalt: Der Zündzeitpunkt wird kontrolliert, der Schliesswinkel eingestellt und die Leistungsfähigkeit der Zündspule geprüft werden. Was vor Jahren viel Know-how benötigte, ist dank moderner Technik längst einfacher geworden. Foto: Robert Bosch GmbH, Unternehmensarchiv

Der Werkstattprofi im Hauptbild war damals gefordert: Die Zündung eines alten VW Käfers bedurfte nicht nur der Wartung, sondern auch einiger Einstellarbeiten. Der verschleissfreudige Unterbrecher, welcher mit der Schliesszeit oder dem -winkel die Dauer des Primärstromflusses in der Zündspule regelte und den Zündzeitpunkt beim Öffnen auslöste, musste regelmässig gewechselt werden. Damals genügte die statische Einstellung des Unterbrechers der Öffnungszeit und damit des Abstandes der Kontakte auf der höchsten Nockenposition des Zündverteilers mit der Blattlehre. Die Grundeinstellung des Zündverteilers mit dem ZZP (Zündzeitpunkt) vor OT erfolgte via Prüflampe statisch.

Mit dem dargestellten Prüfgerät konnte der Zündzeitpunkt bereits dynamisch gemessen, die Isolation der Hochspannungsleitungen, der Funkenschlag auf der Sekundärseite aber

auch der parallel zum Unterbrecher geschaltete Kondensator überprüft werden. All diese Arbeiten sind mit der Zeit weggefallen. Immer modernere Prüfgeräte halfen in der Werkstatt, die Zündanlage rascher einzustellen und zu kontrollieren. Seien es dynamische Schliesswinkelmessungen oder auch die Einführung von analogen Oszilloskopen in den Motortestern, um die Zündspannungsnadeln aller Zylinder gleichzeitig zu messen und zu interpretieren, aber auch, um die Fliehkraft- oder Unterdruckverstellung zu kontrollieren. Auch die Zündanlagen wurden seitens Automobilhersteller immer moderner und einfacher im Aufbau. Vom rotierenden Zündverteiler zur ruhenden Hochspannungsverteilung bis zur zylinderselektiven, vom Motorsteuergerät definierten Zündauslösung waren viele Neuerungen feststellbar. Bei modernen Motoren sind Ausfälle der Zündanlage höchst selten. Und dank der On-Board-Diagnose OBD sind

viele Fehlfunktionen oder Sensorauswertungen direkt mit dem Diagnosetester abrufbar.

In der beruflichen Grundbildung der technischen Berufe wird in den aktuellen Bildungsplänen und Ausbildungsprogrammen die Zündanlage nur noch vom Grundprinzip angeschaut. Der Grund: Es gibt keine beweglichen Teile mehr (kein Verschleiss) und in der Wartung und Diagnose lassen sich durch die wenigen Bauteile rascher Fehler finden. Moderne Zündanlagen verfügen nur noch über eine kurze Hochspannungsleitung. Bei Einzelfunkenspulenzündanlagen wird direkt von der Zündspule oberhalb der Zündkerze die Energie des Magnetfeldes der Primärspule in elektrische Energie durch Induktion und Transformation in der Sekundärspule umgewandelt. Bei den immer rarer werdenden Doppelfunkenspulenzündanlagen sind die Hochspannungsleitungen der paarweise verbundenen Zündkerzen vor Marderbissen oft gut geschützt und ebenfalls kurz. Auch die Zündzeitpunktauslösung regelt das Steuergerät.

Den Begriff Schliesswinkel müssen jüngere Werkstattprofis eigentlich nicht mehr kennen, denn auch hier übernimmt das Steuergerät die Schliesswinkelregelung sowie die Ruhestromabschaltung bei stehendem Verbrennermotor. Damit ist das Ausschalten des Primärstromes zum Schutz vor Überhitzung der Einzelfunken- oder Doppelfunkenzündspule gemeint. Eigentlich ist die Zündanlage für viele eine Blackbox. Und doch können Pannen mit Zündaussetzern oder Zylinderausfällen auftreten. Bei der Zündspule kann es vorkommen, dass die durch einen Lack gegeneinander isolierten Kupferwindungen Windungsschluss machen, weil der Lack durch die hohe Temperatur spröde ist und durch die Vibrationen sich vom Kupfer löst. Der Innenwiderstand der Primär- oder Sekundärspule sinkt, der Stromfluss erhöht sich bis zu einem Kurzschluss. Darum kann auch bei modernsten Spulen durch Aus-

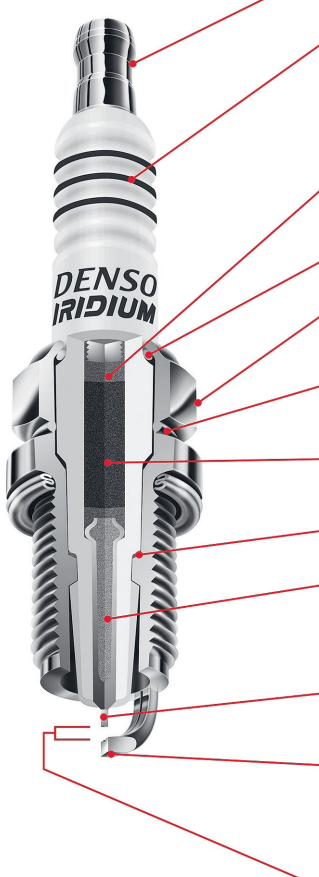
ohmen geprüft werden, ob der Wicklungswiderstand in Ordnung ist. Eine weitere Pannensursache sind Feuchtigkeit in Steckern oder nicht ordnungsgemäss montierte Einzelfunkenspulenkörper direkt auf der Zündkerze. Bei den Doppelfunkenspulenzündanlagen sind die Hochspannungskabel im Motorraum verlegt und können durch Feuchtigkeit oder Risse durchschlagen.

### Fingerspitzengefühl beim Wechsel

Im Werkstattbetrieb haben die Mitarbeitenden im Grundsatz nur mit dem Wechsel der Zündkerzen zu tun. Durch den Verschleiss der Elektroden durch das Überspringen des Stromes beim Zünden wird Material abgetragen. Der Wechsel erfordert Fingerspitzengefühl. Beim Ausbau kann durch Verkanten oder ruckartige Drehbewegungen die Zündkerze brechen. Vor allem wenn Wasser zu Korrosion im Gewindebereich geführt hat und die Zündkerze fest sitzt. Vorsichtiges Arbeiten und Feingefühl sind vom Werkstattmitarbeitenden gefordert. Bricht die Zündkerze ab, kann entweder der festsitzende Gewindeteil mit entsprechendem Werkzeug noch ausgedreht werden. Die Bruchstücke und auch die Späne müssen aber zwingend aus dem Brennraum herausgeholt werden, um die Abgasnachbehandlungssysteme nicht zu beschädigen. Oft ist ein Ausbau des Zylinderkopfes und damit ein enormer Zeitaufwand die sinnvollere Lösung. Ist das Gewinde angelöst, lohnt es sich, das Zündkerzenloch mittels Pressluft auszublasen, um Verunreinigungen wegzubringen, so dass diese nicht in den Brennraum zu fallen.


Auch beim Einbau ist mit Vorsicht zu arbeiten. Ein Verkanten mit der Zündkerzenuss kann zu einem Bruch des Isolatoroberteils führen. Die unterschiedlichen Materialien wie Isolator aus Keramik und der Verbund mit Metallen ist grundsätzlich heikel und bedingt gefühlvolles Schrauben. Auch das Festziehen der Schraube ist für den Werkstattprofi essenziell. Wird das Zündkerzengewinde mit zu wenig Drehmoment angezogen, wird der Dichtring beim Zylinderkopf ungenügend zusammengequetscht und dichtet zu wenig. Wird mit zu viel Drehmoment angezogen, kann sich auch im Fahrzeugbetrieb später der Isolator vom Gewinde lösen und der Brennraum undicht werden. Alle Hersteller weisen zudem darauf hin, dass heruntergefallene Zündkerzen aus diesem Grund nicht mehr verbaut werden sollten. Bei einigen Herstellern ist es zudem so, dass nicht nur mit einem vorgegebenen Drehmoment, sondern auch mit zusätzlichem An-

**1**



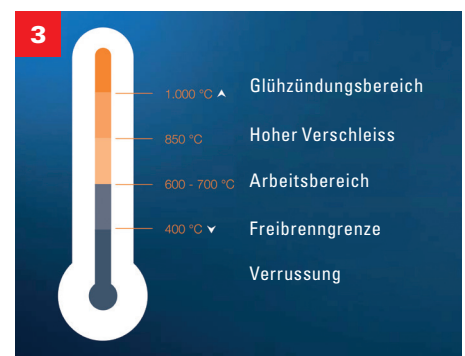
- Hochspannungsanschluss (fest, geschraubt oder gecrimpt)
- Isolator aus Keramik mit Kriechstrombarriere (farbige Ringe) aus Aluminiumoxid, hochsprödes Material, Zündkerzen nicht fallen lassen und sonst nicht mehr einbauen, um das Lösen zum Gewindeteil im Betrieb zu vermeiden.
- Spezielle Kupfer-Glas-Dichtung für Luftdichtheit, Haltbarkeit und Wärmeleitfähigkeit (Wärmeisolator, der elektrisch leitend ist).
- Innendichtring zwischen Keramik und Metall
- Metallgehäuse mit einem hohen Nickelanteil, um Korrosion zu verringern
- Wärmeausdehnungsring
- Entstörwiderstand (rund 5 kΩ)
- Haltenase, um Keramik- und Metallteil mechanisch zu verbinden
- Kupferkern-Mittelelektrode, leitet den elektrischen Strom zum Elektrodenübergang und nimmt einen Grossteil der Wärmeenergie auf. Kann auch aus anderen Metallen gefertigt sein.
- Mittelelektrode, mit speziellen Oberflächenmaterialien und sehr dünner Ausführung (Durchmesser bis lediglich 0,4 mm). Es kommen als Material Nickel-, Mangan-, Chrom- oder Silberlegierung, aber auch Platin auf den Elektrodenansätzen zum Einsatz.
- Massenelektrode mit spezieller Formgebung, um den Funken Schlag zu optimieren und einen möglichst breiten Funken zu erzeugen, damit das Gemisch optimal entzündet werden kann.
- Elektrodenabstand: Je grösser, desto intensiver der Zündfunke, aber auch desto grösser die erforderliche Zündenergie von der Spule. Wenn er zu klein ausfällt, kann das Gemisch unter Umständen nicht entzündet werden. Sollte vor dem Einbau kontrolliert werden.

**2**



- ca. 2 %
- ca. 20 %
- ca. 30 %
- ca. 30 %
- ca. 18 %

Der Wärmewert bestimmt, wie gut die Zündkerze die Wärme an den Zylinderkopf abgeben und trotzdem an den Elektroden durch genügend Wärme ein Freibrennen stattfinden kann. Die Prozentzahlen zeigen an, wie viel Wärmeenergie jeweils über welches Bauteil ungefähr abgegeben wird.



- 1** Zündkerzen bestehen grundsätzlich aus zwei Hauptstoffen, deren Materialeigenschaften eigentlich nicht kompatibel sind. Der Isolator aus Keramikwerkstoff und die Metallteile haben unterschiedliche Wärmeausdehnungen und der Zusammenbau sowie die Dichtigkeit gegenüber dem Brennraum eine Herausforderung. Entsprechend wichtig ist es, beim Einschrauben der Zündkerze nur mit dem vorgesehenen Drehmomentwert anzuziehen und nicht mit dem Werkzeug zu verkanten.
- 2** Das Design der Zündkerzen ist sehr unterschiedlich und entsprechend ist beim Ersatz genau darauf zu achten, die korrekten Ersatzteile einzusetzen.
- 3** Ist es zu kalt, verrusst der Elektrodensteil, ist es zu heiss, kann es zu Glühzündungen kommen. Der korrekte Wärmewert hilft, die Wärmeabfuhr kontrolliert über die Konstruktion der Zündkerze abzuführen. Fotos: Denso (oben), Beru (links).

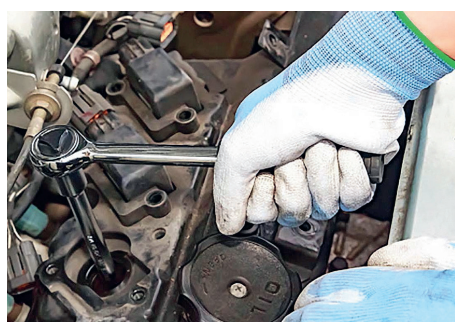
Fortsetzung Seite 18

zugswinkel gearbeitet werden muss. Sorgfältiges und konzentriertes Arbeiten lohnt sich, um den Betrieb störungsfrei zu ermöglichen.

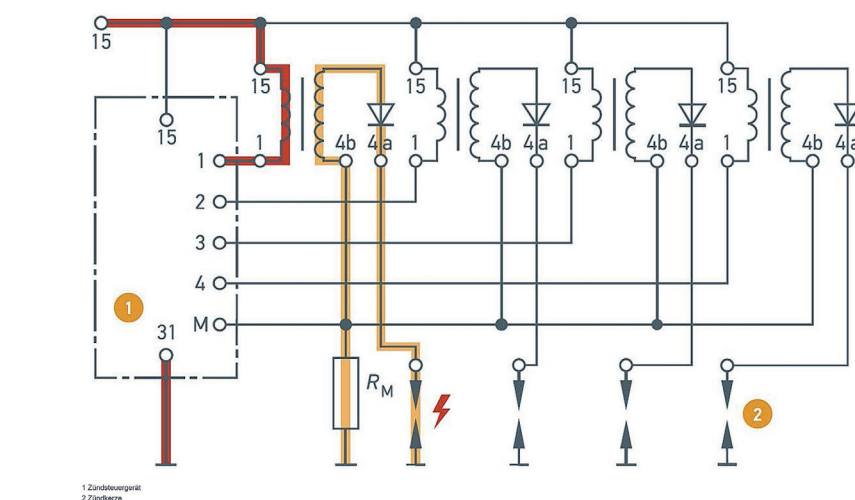
**Vier Hauptanforderungen**

Die Zündkerzen müssen vier Hauptanforderungen erfüllen: Nebst der elektrischen Anforderung (sichere Hochspannungsübertragung, Wärmedämmfähigkeit nach oben) sind die mechanische Beanspruchung (Gasdichtigkeit trotz ungleicher Wärmeausdehnung zwischen Keramik und Metall), die thermische Anforderung (Wärmewert) sowie die elektrochemische Herausforderung (Funkenerosion, Vermeidung von Ablagerungen am Isolator) zu meistern. Die Zulieferer haben in den vergangenen Jahren insbesondere in der Langlebigkeit grosse Fortschritte erzielt und die Wartungsintervalle deutlich erhöht. Trotzdem ist es wichtig, beim Ausbau der Zündkerze das «Gesicht» zu analysieren.

Die Farbe am Isolatorfuss erzählt viel über die Betriebsbedingungen des Verbrenners. Ist sie rehbraun, ist der Motor gesund, wird kein Öl oder Kühlflüssigkeit mitverbrannt und kann die neue Zündkerze verbaut werden. Ist die Zündkerze ölig, weiss (Kühlflüssigkeit) oder rötlich/braun (Treibstoffzusätze) oder verkohlt, gilt es die Ursache zuerst ausfindig zu machen, bevor ein Neuteil verbaut wird. Auch lohnt es sich, die Farbe aller ausgewechselten Zündkerzen anzuschauen, ob jeder Zylinder «gesund» ist. Auch der Keramikeil sollte vom



Beim Lösen der Zündkerze ist Feingefühl und präzises Arbeiten gefordert. Verkanntet das Werkzeug oder wird mit zu viel Drehmoment gearbeitet, bricht die Zündkerze und ein aufwändiges Reparieren wird nötig. Foto: Bero



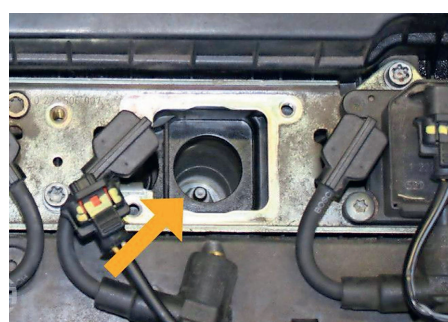
Moderne Zündanlagen sind simpel aufgebaut: Das Steuergerät (1) regelt den Primärstrom (rot) und induziert in der Einzelfunkenzündspule die Hochspannung (gelb), damit an der Zündkerze (2) der Funke springt. Foto: Hella Internet

Werkstattprofi kontrolliert werden: Sind Russspuren auf dem weissen Isolatorsteil zu sehen, sollte der Zündkerzenstecker oder der Hochspannungsanschluss der Einzelfunkenspule kontrolliert werden. Dass der Wärmewert stimmen muss, damit die Zündkerze sich freibrennen kann und trotzdem genügend Wärmeenergie abgegeben kann, ist eine weitere Kontrollarbeit beim Einbau. Die meisten Automobilhersteller haben entsprechende Einbaulisten, um für jeden Motor die Zündkerze mit dem optimalen Wärmewert anzugeben.

Moderne Ottomotoren mit Benzindirekteinspritzung verlangen durch das Downsizing und die daraus resultierenden, höheren Brenn-

raumdrücke eine noch verbesserte Abdichtung bei der Zündkerze. Diese müssen zudem kleiner ausgeführt werden, fordern oft eine präzise Positionierung der Masseelektrode und durch die höheren Drücke eine optimiertere mechanische Festigkeit und Dichtigkeit. Zudem verfügen moderne Motoren über hohe Zündspannungsspitzen, welche an die Isolation der oft schmalen Zündkerzen zusätzlich höhere Anforderungen stellen.

Dies bedingt im Werkstattalltag auch, dass beim Einbau der Elektrodenabstand zumindest optisch oder sogar mit der Blattlehre kontrolliert wird. Nur der exakte Abstand sorgt für eine sichere Entflammung des Benzin-/Luftgemisches und damit eine optimale Verbrennung. Ist der Abstand zu klein, können Verbrennungsaussetzer resultieren, und ist er zu gross, kann es in bestimmten Betriebszuständen vorkommen, dass die Ionisation zwischen den Elektroden nicht erfolgt und damit ebenfalls Zündaussetzer vorkommen können. Vorsicht ist zudem vor gefälschten Ersatzteilen geboten. Es lohnt sich, nur über Lieferanten des Vertrauens Zündkerzen einzukaufen. Fazit: Die Zündanlage modernster Fahrzeuge erfordert weniger Aufwand als früher, die Zündkerzen bedürfen aber professioneller Behandlung. ●



Ist im Zündkerzenschacht Feuchtigkeit vorhanden, kann sowohl die Hochspannungsbarriere versagen und es zu Fehlzündungen kommen, aber auch das Gewinde der Zündkerze korrodieren: Rostlöser hilft. Fotos: Hella

**MIDLAND, GEPRÄGT DURCH ÜBER 140 JAHRE ERFAHRUNG. MIDLAND.CH**

