

(19)



(11)

EP 4 040 616 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
10.08.2022 Patentblatt 2022/32

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H01T 13/58 (2020.01) **H01T 13/39** (2006.01)
H01T 13/60 (2011.01)

(21) Anmeldenummer: **22154788.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H01T 13/58; H01T 13/39; H01T 13/60

(22) Anmeldetag: **02.02.2022**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **Karlsruher Institut für Technologie 76131 Karlsruhe (DE)**

(72) Erfinder:
• **Michler, Tobias 76744 Wörth am Rhein (DE)**
• **Toedter, Dr. Olaf 75045 Walzbachtal (DE)**

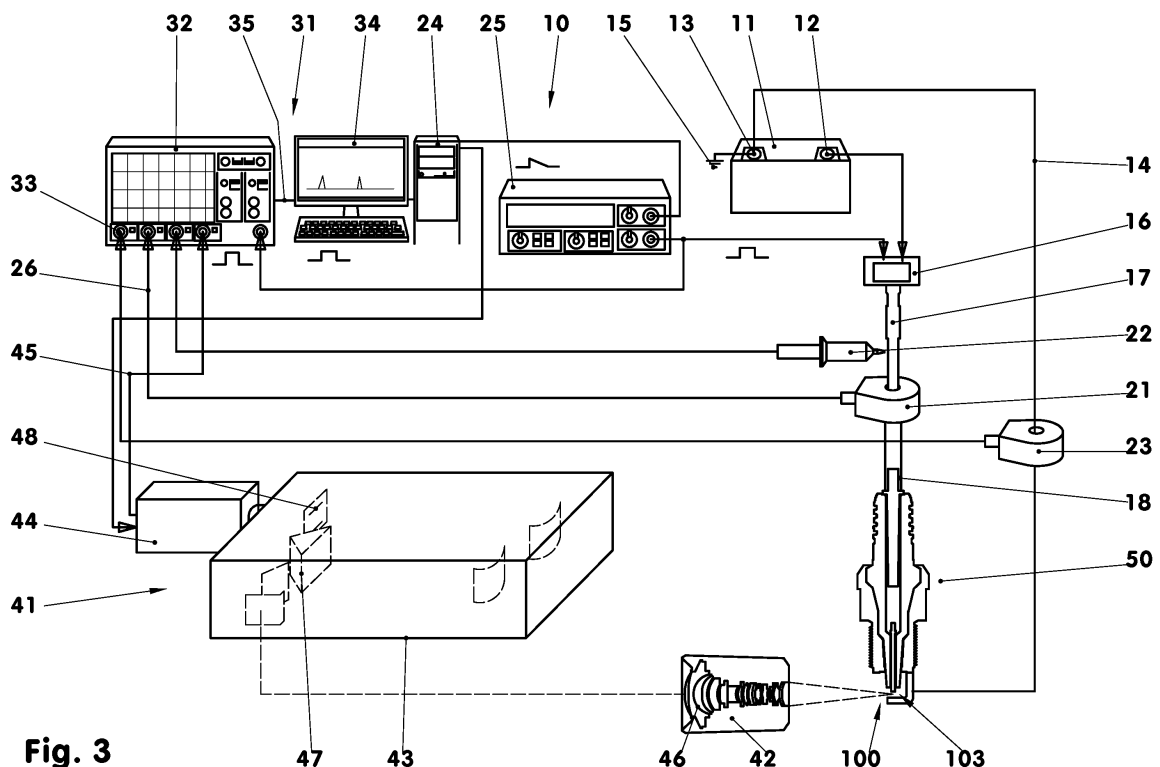
(30) Priorität: **09.02.2021 DE 102021102967**

(54) VERSCHLEISSANALYSE AN ZÜNDSYSTEMEN

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Verschleißanalyse zueinander beabstandeter Zündelektroden, mit einer Strom- und/oder Spannungsquelle und mit mindestens zwei mit der Strom- und/oder Spannungsquelle elektrisch verbundenen, ein Zündsystem bildenden Zündelektroden sowie ein Verfahren zur Verschleißanalyse an Zündelektroden mittels einer derartigen Vorrichtung. Jede der Zündelektroden weist zumindest in einem an eine Zündfläche angrenzenden Bereich einen

individuellen metallischen Werkstoff der dritten bis zwölften Nebengruppe mit stabilen Isotopen auf. Außerdem ist eine mit einer Datenerfassungsvorrichtung mittels Datenleitungen verbundene Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe auf den mittels der Zündelektroden begrenzten Zündraum des Zündsystems ausgerichtet.

Mit der vorliegenden Erfindung wird der Verschleiß von Zündelektroden ohne Zerstörung des Zündsystems zeitnah den einzelnen Zündelektroden zugeordnet.

**Fig. 3****EP 4 040 616 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Verschleißanalyse zueinander beabstandeter Zündelektroden, mit einer Strom- und/oder Spannungsquelle und mit mindestens zwei mit der Strom- und/oder Spannungsquelle elektrisch verbundenen, ein Zündsystem bildenden Zündelektroden sowie ein Verfahren zur Verschleißanalyse an Zündelektroden mittels einer derartigen Vorrichtung.

[0002] Aus der DE 10 2006 011 886 A1 ist eine Vorrichtung und ein Verfahren zur indirekten Bestimmung des Verschleißes an Zündkerzen durch Erfassung von Betriebsparametern der Verbrennungsmaschine bekannt.

[0003] Die DE 10 2012 010 177 A1 offenbart eine Vorrichtung und ein ähnliches Verfahren, bei dem zusätzlich die Betriebsparameter der Verbrennungsmaschine gewichtet werden.

[0004] Gemäß der EP 3 578 804 A1 soll der Verschleiß einer Zündkerze durch einen Vergleich ihrer Stromanstiegsrate vor dem Zünden in zwei voneinander beabstandeten Zeitintervallen ermittelt werden.

[0005] Bei diesen Verfahren wird der Verschleiß indirekt aus der Messung von Strömen und Spannungen ermittelt. Andere Analyseverfahren wie eine Dauerlaufprüfung, eine gravimetrische, optische oder mechanische Verschleißmessung, etc. erfordern eine lange Versuchsdauer und/oder sind nur unter Zerstörung des Zündsystems durchführbar.

[0006] Der vorliegenden Erfindung liegt die Problemstellung zugrunde, den Verschleiß von Zündelektroden ohne Zerstörung des Zündsystems zeitnah den einzelnen Zündelektroden zuzuordnen.

[0007] Diese Problemstellung wird mit den Merkmalen des Hauptanspruches gelöst. Dazu weist jede der Zündelektroden zumindest in einem an eine Zündfläche angrenzenden Bereich einen individuellen metallischen Werkstoff der dritten bis zwölften Nebengruppe mit stabilen Isotopen auf. Außerdem ist eine mit einer Datenerfassungsvorrichtung mittels Datenleitungen verbundene Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe auf den mittels der Zündelektroden begrenzten Zündraum des Zündsystems ausgerichtet.

[0008] Beim Verfahren zur Verschleißanalyse wird mittels Einschalten der Stromquelle zumindest ein Spannungsüberschlag zwischen den Zündelektroden unter Bildung eines Zündfunkens erzeugt. Außerdem visualisiert die Datenerfassungsvorrichtung die von der Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe übermittelten charakteristischen Spektrallinien der individuellen Werkstoffe.

[0009] Beim Zünden des Zündsystems und in der nachfolgenden Bogenphase wird der Werkstoff der jeweiligen Zündelektrode an der Zündfläche sublimiert und/oder zerstäubt. Aus dem hierbei entstehenden Plasmastrom wird mittels der Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe jeweils mindestens eine charakteristische

Spektrallinie derjenigen Werkstoffe aufgenommen, die nur an jeweils einer Zündelektrode vorhanden sind. Diese Spektrallinien werden zumindest mit einem Betriebsparameter des Zündsystems, z.B. dem Zündstrom, der Zündspannung, dem Zündimpuls, etc. korreliert. Das Ergebnis dieser Korrelation wird mittels der Datenerfassungsvorrichtung ausgewertet und optisch angezeigt. Dies ermöglicht eine in-situ Verschleißmessung und eine Zuordnung des Verschleißes zu der einzelnen Zündelektrode. Hierdurch ergeben sich Rückschlüsse auf die im Zündfunken auftretenden Phänomene.

[0010] Weitere Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung schematisch dargestellter Ausführungsformen.

Figur 1: Zündkerze;

Figur 2: Detail des Zündsystems der Figur 1;

Figur 3: Aufbau einer Vorrichtung zur Verschleißanalyse;

Figur 4: Ablaufdiagramm der Vorrichtung nach Figur 3;

Figur 5: Zeitlicher Ablauf der Vorrichtung nach Figur 3;

Figur 6: Ablaufplan einer alternativen Vorrichtung;

Figur 7: Zeitlicher Ablauf der Vorrichtung nach Figur 6.

[0011] Die Figur 1 und 2 zeigen eine Zündkerze (50) und ein Detail des Zündsystems (100) einer derartigen Zündkerze (50). Derartige Zündkerzen (50) werden beispielsweise in Motoren zum Fremdzünden eines Luft-Gas-Gemischs in einem Brennraum eingesetzt. Die Zündkerze (50) hat hierfür ein Zündsystem (100), das mindestens zwei zueinander beabstandete Zündelektroden (101, 111) aufweist. Beim Betrieb der Zündkerze (50) entzündet ein zwischen den Zündelektroden (101, 111) überspringender Zündfunke z.B. das Luft-Gas-Gemisch.

[0012] Die Zündkerze (50) hat ein Gehäuse (51), das beispielsweise aus einem metallischen Werkstoff, z.B. Stahl, besteht. Es ist elektrisch leitend ausgebildet. An seiner Mantelfläche (52) hat das topfförmig ausgebildete Gehäuse (51) ein Gewinde (53), einen Dichtsitz (54) und mindestens zwei einander gegenüberliegende Schlüsselflächen (55). Das Gewinde (53) ist beispielsweise als Feingewinde ausgebildet. Der Dichtsitz (54) kann flach oder kegelig ausgebildet sein. Die Mantelfläche (52) des Gehäuses (51) kann beschichtet sein. Beispielsweise kann sie eine Nickelbeschichtung tragen. Zwischen den Schlüsselflächen (55) und dem Dichtsitz (54) ist z.B. eine Stauchzone (56) ausgebildet. An der Fußseite (57) des Gehäuses (51) ist eine Masseelektrode (61) angeformt. Die Masseelektrode (61) kann auch in das Gehäuse (51) eingesetzt sein. Sieragt aus dem Gehäuse (51) heraus und ist im Ausführungsbeispiel bogenförmig zur Längsachse (59) der Zündkerze (50) geführt. Die Masseelektrode (61) hat einen z.B. rechteckigen Querschnitt. Die eine zweite Zündelektrode (111) des Zündsystems (100)

bildende Masseelektrode (61) hat beispielsweise eine in einer Normalenebene zur Längsachse (59) orientierte, von der Längsachse (59) durchdrungene Zündfläche (112). Auch eine andere Gestaltung der Masseelektrode (61) ist denkbar. So kann diese beispielsweise neben einem gedachten Zylinder angeordnet sein, dessen Mittellinie mit der Längsachse (59) zusammenfällt. Auch ist es denkbar, das Zündsystem (100) mit mehr als einer Masseelektrode (61) auszubilden. Bei einer Ausführung mit mehreren Masseelektroden (61) können diese beispielsweise in gleichmäßiger Teilung an der Stirnseite des Gehäuses (51) angeordnet sein.

[0013] Im Gehäuse (51) sitzt z.B. formschlüssig gesichert ein Isolator (71). Beispielsweise kann der Isolator (71) mittels Talkumdichtungen im Gehäuse (51) abgedichtet sein. Der Isolator (71) besteht z.B. aus einem keramischen Werkstoff, z.B. Aluminiumoxid (Al_2O_3). Er ist rotationssymmetrisch ausgebildet. In seinem aus dem Gehäuse (51) herausstehenden oberen Ende ist die Isolatormantelfläche (72) gestuft ausgebildet. Diese Stufen (73) vergrößern die Länge der Isolatormantelfläche (72) in axialer Richtung. Sie bilden damit eine Kriechstrombremse. Außerhalb des Gehäuses (51) ist die Isolatormantelfläche (72) beispielsweise glasiert.

[0014] In der Längsrichtung (75) der Zündkerze (50) durchdringt ein Mittelleiter (81) den Isolator (71). Der Mittelleiter (81) und der Isolator (71) sind koaxial zueinander angeordnet. Beispielsweise besteht zumindest bereichsweise zwischen dem Mittelleiter (81) und dem Isolator (71) ein Luftspalt (76).

[0015] Der Mittelleiter (81) umfasst einen Anschlussbolzen (82), einen Entstörwiderstand (88) und eine Mittelelektrode (91). Der auch als Zündstift (82) bezeichnete Anschlussbolzen (82) ist beispielsweise aus Stahl hergestellt. Er ragt mit einem Anschlussende (83) aus dem Isolator (71) heraus. Dieses Anschlussende (83) hat z.B. eine Rastkerbe (84) zum Einrasten eines Zündkerzensteckers (18), vgl. Figur 3. Auch eine andere Ausbildung des Anschlussendes (83), z.B. als Außengewinde, ist denkbar. Mit dem dem Anschlussende (83) abgewandten inneren Ende (85) sitzt der Anschlussbolzen (82) gasdicht eingeschlossen im Entstörwiderstand (88).

[0016] Der Entstörwiderstand (88) ist als elektrisch leitfähige Glasschmelze ausgebildet. Beispielsweise ist dies ein Kupferglas. Dieses ist beispielsweise durch Beimengungen auf ein vorgegebenes Widerstandswert eingestellt, um z.B. gewünschte Entstöreigenschaften und/oder eine gewünschte Abbrandfestigkeit zu erreichen. Der Entstörwiderstand (88) bildet die elektrische Verbindung zwischen dem Anschlussbolzen (82) und der Mittelelektrode (91).

[0017] Die Mittelelektrode (91) ist ebenfalls im Entstörwiderstand (88) fixiert. Sie ragt aus dem Isolatorfuß (74) heraus. Die Mittelelektrode (91) hat einen zur Längsachse (59) rotationssymmetrischen Querschnitt. Sie besteht aus einem oder aus mehreren metallischen Werkstoffen. Im Ausführungsbeispiel ist sie als Grundkörper (92) mit einer Beschichtung (93) ausgeführt, vgl. Figur 2. Auch

eine Ausführung des Grundkörpers (92) ohne Beschichtung ist denkbar.

[0018] In den Darstellungen der Figuren 1 und 2 besteht der Grundkörper (91) der Mittelelektrode (91) aus einem Verbundmaterial. Dies ist beispielsweise ein mit einem Nickelmantel (95) ummantelter Kupferkern (94). Beim Einsatz eines legierten Grundkörpers (91) kann dieser z.B. aus 60 % Iridium, 30 % Rhodium, 3 % Yttrium, 4 % Nickel und 3 % Ruthenium bestehen. Diese genannte Zusammensetzung bezieht sich z.B. auf die Massenanteile der einzelnen Komponenten.

[0019] Die Metallbeschichtung (93) ist zumindest auf der der Masseelektrode (61) zugewandten Stirnfläche (96) des Grundkörpers (92) aufgebracht. Auch eine Dotierung dieser Stirnfläche (96) ist denkbar. Als Werkstoff einer Metallbeschichtung (93) oder einer Dotierung kann z.B. Platin, Gold, Titan, Zink, Cadmium, Vanadin, Eisen, Zirkonium, etc. eingesetzt werden. Sämtliche Werkstoffe des Grundkörpers (92) und/oder der Metallbeschichtung (93) bzw. der Dotierung sind nicht-radioaktive Werkstoffe der 3. bis 12. Nebengruppe des Periodensystems der Elemente. Hierbei ist die dritte Nebengruppe die Scandiumgruppe, die vierte Nebengruppe die Titangruppe, die fünfte Nebengruppe die Vanadiumgruppe, die sechste Nebengruppe die Chromgruppe, die siebte Nebengruppe die Mangangruppe, die achte Nebengruppe die Eisengruppe, die neunte Nebengruppe die Kobaltgruppe, die zehnte Nebengruppe die Nickelgruppe, die elfte Nebengruppe die Kupfergruppe und die zwölfte Nebengruppe die Zinkgruppe. Die Atome dieser Werkstoffe haben beispielsweise in mindestens zwei Schalen freie Valenzelektronen und damit mindestens zwei unterschiedliche Oxidationszahlen. Die Dicke der Metallbeschichtung (93) beträgt beispielsweise zwischen 10 Mikrometern und 50 Mikrometern. Bei einer Dotierung erfolgt diese zumindest im Bereich der genannten Mindestschichtdicke. Damit enthält zumindest ein die freie Stirnseite der Mittelelektrode (91) umfassender und an diese angrenzender, die Mindestschichtdicke aufweisender Bereich den genannten Werkstoff.

[0020] Es ist auch denkbar, die Metallbeschichtung (93) und/oder die Metallocdotierung auf der Stirnfläche (96) des Grundkörpers (92) bereichsweise mit unterschiedlichen Werkstoffen auszuführen. So können z.B. acht verschiedene Sektoren der Stirnfläche (96) jeweils mit einem individuellen Werkstoff oder einer individuellen Werkstoffzusammensetzung beschichtet sein. Auch eine streifenförmige, ringförmige, etc. Anordnung der einzelnen Bereiche ist denkbar.

[0021] Sowohl die Mittelelektrode (91) als auch die Masseelektrode (61) bilden Zündelektroden (101, 111) des Zündsystems (100). Diese beiden Zündelektroden (101, 111) sind im Ausführungsbeispiel starr zueinander angeordnet. Im Ausführungsbeispiel bildet die Stirnseite der Mittelelektrode (91) eine erste Zündfläche (102). Die Zündfläche (112) der Masseelektrode (61) bildet eine zweite Zündfläche (112). Je nach Aufbau des Zündsystems (100) kann der Abstand der beiden Zünd-

elektroden (101, 111) zueinander jedoch auch variabel sein. Die Einstellung der beiden Zündelektroden (101, 111) zueinander kann hierbei stufenlos oder in Stufen erfolgen.

[0022] Die Masseelektrode (61) hat im Ausführungsbeispiel einen Elektrodengrundkörper (62), der beispielsweise aus einer Nickel-Chrom-Legierung besteht, und eine Metallbeschichtung (63). Sie kann auch eine Dotierung aufweisen. Der Werkstoff der Beschichtung (63) und/oder der Dotierung stammt dabei aus den gleichen chemischen Gruppen wie der Werkstoff der Mittelelektrode (91). Hierbei sind die Werkstoffe der beiden Zündelektroden (101, 111) so aufeinander abgestimmt, dass jede der Zündelektroden (101; 111) im Bereich der jeweiligen Zündfläche (102; 112) mindestens einen Werkstoff aufweist, der in der jeweils anderen Zündelektrode (111; 101) nicht vorhanden ist. Bei einer Ausführung des Zündsystems (100) mit mehr als zwei Zündelektroden (101, 111) kann jede einzelne Zündelektrode (101; 111) mindestens einen Werkstoff in der Metallbeschichtung (93; 63) und/oder in der Metalldotierung aufweisen, der an allen anderen Zündelektroden (111; 101) nicht eingesetzt ist.

[0023] Die Zündelektroden (101, 111) können auch als Plattenelektroden, als Ringelektroden, als zylinderförmige Elektroden, etc. ausgebildet sein. Für den Einsatz können sie mit einem Gleichstrom, einem Wechselstrom oder einem Drehstrom beaufschlagt werden. Derartige Zündelektroden (101, 111) dienen beispielsweise zum Verbrennen oder zum Schmelzen eines festen, flüssigen oder gasförmigen Einsatzstoffes, dessen Schmelztemperatur oder Zündtemperatur niedriger ist als die Schmelztemperatur der Zündelektroden (101, 111). Derartige Zündelektroden (101, 111) können z.B. in Gasentladungslampen, in Durchlauferhitzern, in Heizsystemen, in Vorrichtungen zur thermischen Verbrennung, im thermischen Apparatebau, etc. eingesetzt werden.

[0024] Die Figuren 3 - 6 zeigen eine Vorrichtung (10) zur Verschleißanalyse eines Zündsystems (100). Das in diesen Figuren dargestellte Zündsystem (100) ist Teil einer Zündkerze (50). Diese Zündkerze (50) ist beispielsweise so aufgebaut, wie im Zusammenhang mit den Figuren 1 und 2 beschrieben.

[0025] Auf dem Anschlussbolzen (82) sitzt der Zündkerzenstecker (18) mit einem Zündkabel (17). Das Zündkabel (17) ist an einer Zündspule (16) angeschlossen, die wiederum mit einer Strom- und/oder Spannungsquelle (11) verbunden ist. Am Zündkabel (17) ist ein erster Stromprüfer (21), z.B. in der Bauform einer Stromzange, angeordnet. Dieser umgreift im Ausführungsbeispiel das Zündkabel (17) mittels einer Induktionsspule. Weiterhin ist am Zündkabel (17) ein Spannungsprüfer (22) angeordnet. Dieser ermittelt die elektrische Spannung des Zündkabels (17) relativ zu einer Bezugsspannung, z.B. der Masse (15).

[0026] Die Strom- und/oder Spannungsquelle (11) ist im Ausführungsbeispiel eine Batterie (11) mit einer Nenn-Gleichspannung von 13,7 Volt. Ihr Pluspol (12) ist mit der

Zündspule (16) verbunden. Der Massepol (13) der Batterie (11) ist mittels einer Masseleitung (14) mit dem Gehäuse (51) der Zündkerze (50) elektrisch verbunden. Weiterhin ist der Massepol (13) mit der Masse (15) verbunden. An der Masseleitung (14) sitzt ein zweiter Stromprüfer (23). Dieser zweite Stromprüfer (23) ist beispielsweise so aufgebaut wie der erste Stromprüfer (21). Auch an der Masseleitung (14) kann ein Spannungsprüfer (22) vorgesehen sein.

[0027] Der erste Stromprüfer (21), der zweite Stromprüfer (23) und der Spannungsprüfer (22) sind an einander parallelen Eingängen (33) eines Oszilloskops (32) angeschlossen.

[0028] Das Zündsystem (100) kann in einer beheizbaren Druckkammer angeordnet sein. Im Ausführungsbeispiel kann die gesamte Zündkerze (50) oder der untere, das Gehäuse (51) unterhalb des Gewindes (53) und das Zündsystem (100) umfassende Teil der Zündkerze (50) in einer derartigen Druckkammer angeordnet sein. Der Innendruck dieser Druckkammer kann beispielsweise zwischen Umgebungsdruck und einem Druck von $7 \cdot 10^5$ Newton pro Quadratmeter einstellbar sein. Die Innentemperatur der Druckkammer ist z.B. zwischen Raumtemperatur und einer Temperatur von 850 Grad Celsius einstellbar. Der Innenraum kann hierbei z.B. mit einem nicht zündfähigen Gas, z.B. Luft, Stickstoff, Argon, etc. befüllt sein.

[0029] Ein programmierbarer Zeitgenerator (24) steuert einen Funktionsgenerator (25). Dieser Funktionsgenerator (25) taktet die Zündspule (16). Damit wird der Stromfluss in der Zündkerze (50) ein- und ausgeschaltet. Die Signaländerung kann binär oder entlang einer stetigen oder unstetigen Rampe erfolgen. Die Taktung kann regelmäßig oder unregelmäßig erfolgen. Hierbei kann sowohl die gesteuerte Zünddauer als auch die Zündunterbrechung variabel sein. Gegebenenfalls kann auch die Höhe des Zündstroms und/oder der Zündspannung mittels des Funktionsgenerators (25) variabel einstellbar sein. Beispielsweise können diese Größen - zur Simulation eines Fahrbetriebs - stochastisch variiert werden. Das Taktsignal des Funktionsgenerators (25) wird weiterhin als Eingangssignal auf das Oszilloskop (32) geleitet.

[0030] An den programmierbaren Zeitgenerator (24) ist ein Leit- und Auswerterechner (34) angeschlossen. Auf diesem Leit- und Auswerterechner (34) ist beispielsweise ein Steuerprogramm zur Programmierung des programmierbaren Zeitgenerators (24) gespeichert. Außerdem ist auf dem Leit- und Auswerterechner (34) Auswertesoftware beispielsweise zur Visualisierung digitaler übermittelter Daten gespeichert. Auch eine mathematische, z.B. statistische Auswertung dieser Daten mittels des Leit- und Auswerterechners (34) ist denkbar. Der Leit- und Auswerterechner (34) bildet zusammen mit dem Oszilloskop (32) eine Datenerfassungsvorrichtung (31). Das Oszilloskop (32) und der Leit- und Auswerterechner (34) sind zur Datenübertragung beispielsweise mittels einer Auswerteleitung (35) miteinander verbun-

den.

[0031] Mittels des programmierbaren Zeitgenerators (24) wird eine Kamera (44) angesteuert. Die Kamera (44) ist z.B. als sogenannte CCD-Kamera (44) ausgebildet. Das einfallende Licht wird z.B. mittels Prismen in die Grundfarben zerlegt, die dann jeweils einem Halbleiterchip zugeleitet werden. Die Ausgabe eines jeden Chips ist ein digitales Signal, das beispielsweise zusätzlich verstärkt ist. Das Ausgangssignal der Kamera (44) wird mittels einer Datenleitung (45) an einen Eingang (33) des Oszilloskops (32) übertragen.

[0032] Die Kamera (44) ist auf einen Spektrographen (43) ausgerichtet. Der Spektrograph (43) hat eine vorgeschaltete optische Einheit (42), z.B. ein Objektiv (42). Dieses Objektiv (42) ist auf den Zündraum (103) zwischen den z.B. zwei Zündelektroden (101, 111) ausgerichtet. Es weist z.B. mehrere hintereinander angeordnete optische Linsen (46) und/oder Linsensysteme auf. Anstatt eines Objektivs (42) kann als optische Einheit (42) z.B. auch ein Lichtleiter eingesetzt werden.

[0033] Der Spektrograph (43) umfasst beispielsweise ein Linsen-, Spiegel- und Prismensystem (47) sowie mindestens ein optisches Gitter (48). Das mittels der optischen Einheit (42) erfasste optische Bild wird hiermit in sein Linienspektrum zerlegt. Dieses Linienspektrum wird mittels der Kamera (44) aufgenommen.

[0034] Die Kamera (44) und der ihr vorgeschaltete Spektrograph (43) bilden eine Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe (41). Mittels dieser z.B. zweistufig aufgebauten Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe (41) werden die erfassten Bildinformationen in qualitative, die Bildinformation charakterisierende optische Daten zerlegt. Diese optischen Daten werden anschließend digitalisiert. Beispielsweise ist die Intensität des einzelnen digitalen Signals abhängig von der Intensität der jeweiligen charakterisierenden Bildinformation.

[0035] Die Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe (41) kann auch mindestens einen Photomultiplier mit jeweils einem vorgeschalteten Filter aufweisen. In diesem Fall wird mittels des Filters z.B. eine Wellenlänge oder ein Wellenlängenbereich des ankommenden Lichtes ausgefiltert. Die Intensität dieses Lichtanteils wird dann mittels des Photomultipliers verstärkt und in ein digitales Signal umgewandelt. Auch eine Absorptionsmessung ist denkbar. Hierbei wird ebenfalls mittels eines Prismas oder eines optischen Gitters ein einzelner monochromatischer Lichtanteil ausgefiltert, der dann in Form eines elektronischen Signals verstärkt wird. Auch bei einer Absorptionsmessung ist die Betrachtung mehrerer Wellenlängenbereiche z.B. durch Einsatz mehrerer optischer Gitter denkbar. Auch der Einsatz eines optischen Detektors ist denkbar.

[0036] Zum Betrieb der in den Figuren 3 - 5 dargestellten Vorrichtung (10) wird mittels der Software des Leit- und Auswerterechners (34) der programmierbare Zeitgeber (24) auf eine gewünschte Taktfrequenz eingestellt. Diese Taktfrequenz steuert den Funktionsgenerator (25), der mit der entsprechenden Frequenz den Strom

der Zündspule (16) z.B. kurzzeitig einschaltet. Im Ausführungsbeispiel gibt der Funktionsgenerator (25) ein Rechtecksignal aus. Die Einschaltdauer beträgt beispielsweise ein Viertel der Periodendauer des programmierbaren Zeitgebers (24). Die Einschaltdauer kann auch erheblich kürzer sein. Beispielsweise kann sie wenige Millisekunden betragen.

[0037] In der Zündspule (16) wird die Spannung gegenüber der Masse (15) z.B. auf 40.000 Volt erhöht. Diese Spannungsdifferenz baut sich auch zwischen den Zündelektroden (101, 111) auf. Dies führt zum Spannungsüberschlag zwischen den Zündelektroden (101, 111). Zwischen den Zündelektroden (101, 111) bildet sich ein Zündfunken. Der Abstand der beiden Zündelektroden (101, 111) beträgt im Ausführungsbeispiel zwischen 0,7 Millimeter und 0,9 Millimeter. Bei der Zündung entsteht sowohl eine Luftfunkenstrecke als auch eine Gleitfunkenstrecke zwischen den verschiedenen elektrischen Potentialen. Die Luftfunkenstrecke liegt entlang der direkten Abstandslinie zwischen den beiden Zündflächen (102, 112) der Zündelektroden (101, 111). Die Gleitfunkenstrecke verläuft entlang des Isolatorfußes (74). Mittels der Gleitfunkenstrecke können beispielsweise Verbrennungsrückstände am Isolatorfuß (74) beseitigt werden. Nach dem Zünden geht der Zündfunke in eine Bogenphase über. Hierbei bildet sich ein Plasmaström zwischen den beiden Zündelektroden (101, 111). Dieser Plasmaström hat eine Temperatur bis etwa 5.000 Grad Celsius. Beim Einsatz eines derartigen Zündsystems (100) in einem Brennraum wird beispielsweise ein Luft-Gas-Gemisch entzündet. Dies führt z.B. zur Temperaturerhöhung und Druckerhöhung im Brennraum und zur Verschiebung eines den Brennraum begrenzenden Kolbens. Die Funkendauer beträgt beispielsweise zwischen einer Millisekunde und anderthalb Millisekunden. Nach dem Abschalten der Zündspannung verlöscht der Bogen in einer kurzen Glimmphase.

[0038] Der bei der Zündung sich ausbildende Plasmaström zwischen den Zündelektroden (101, 111) führt an den Zündflächen (102, 112) der Zündelektroden (101, 111) u.a. zu einer Sublimation des jeweiligen Werkstoffs der Zündelektrode (101, 111) sowie zum Ausbruch einzelner Atome. Gegebenenfalls kann auch ein lokales Schmelzen der Werkstoffe der Zündelektroden (101, 111) erfolgen. Diese Mechanismen bewirken u.a. einen Verschleiß der Zündelektroden (101, 111). Dies kann zu einer Veränderung des Abstands der Zündelektroden (101, 111) und damit zu einem höheren Bedarf an Zündenergie führen. Bei der im Ausführungsbeispiel eingesetzten Gleichstromquelle (11) ist der Verschleiß an der als Kathode (113) eingesetzten zweiten Zündelektrode (111) im Allgemeinen höher als der Verschleiß an der als Anode (104) beschalteten ersten Zündelektrode (101).

[0039] In der Bogenphase werden an den Zündelektroden (101, 111) oberflächennahe Atome geschmolzen, sublimiert oder aus dem Metallgitter abgetrennt und ins Plasma überführt. Hierbei emittieren alle in die Gasphase

überführten Werkstoffe werkstoffspezifische Spektrallinien.

[0040] Der Spektrograph (43) ist derart aufgebaut oder eingestellt, dass er beispielsweise nur zwei Spektrallinien weiterleitet. Zum einen ist dies eine charakteristische Spektrallinie des individuellen Werkstoffs der ersten Zündelektrode (101) und zum anderen ist dies eine charakteristische Spektrallinie des individuellen Werkstoffs der zweiten Zündelektrode (111). Diese beiden Spektrallinien sind derart ausgewählt, dass sie aus dem Gesamtemissionsspektrum des Plasmas erkennbar sind. Zur Auswahl der charakteristischen Wellenlängen werden beispielsweise die optischen Gitter (48) des Spektrographen (43) entsprechend eingestellt.

[0041] Die Kamera (44) nimmt, gesteuert vom Zeitgeber (24), die Signale der Spektrallinien auf und leitet diese an das Oszilloskop (32) weiter. Hier wird das Bild der Spektrallinien den Signalen des Funktionsgenerators (25), der Stromprüfer (21, 23) und des Spannungsprüfers (22) zugeordnet.

[0042] Die Ergebnisse der zeitaufgelösten Signale können beispielsweise mittels des Leit- und Auswerterechners (34) visualisiert werden. Auch ein Verdichten der Daten zur Auswertung z.B. über eine vorgegebene Anzahl von Zündungen oder über ein Zeitintervall ist denkbar.

[0043] Beispielsweise ist die Breite und/oder die Höhe des im Oszilloskop (32) und/oder im Leit- und Auswerterechners (34) ausgewerteten Bilds der einzelnen Spektrallinie ein Maß für die Intensität des Signals. Hieraus ergibt sich beispielsweise eine Abtragsrate des Werkstoffs der einzelnen Zündelektrode (101, 111). Aufgrund der unterschiedlichen Spektralbereiche der einzelnen Linien sind der Verschleiß der ersten Zündelektrode (101) und der Verschleiß der zweiten Zündelektrode (111) getrennt auswertbar. Die Zeitauflösung ermöglicht zudem eine Zuordnung der Verschleißmechanismen zur Zündphase, zur Bogenphase oder zur Glühphase.

[0044] An den einzelnen Zündelektroden (101, 111) können auch individuelle Werkstoffe mit unterschiedlicher Sublimationstemperatur eingesetzt werden. Damit können beispielsweise unterschiedliche Stufen des Verschleißes erkannt und ausgewertet werden.

[0045] Die Figuren 6 und 7 zeigen eine Variante der Vorrichtung (10) zur Verschleißanalyse. Ein Zündsteuergerät (25) steuert die Zündspule (16). Das Zündsteuergerät (25) ist hierbei beispielsweise so aufgebaut wie der im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschriebene Funktionsgenerator (25). Das Ausgangssignal kann ein Rechtecksignal, ein Impulssignal, ein Rampensignal, etc. sein. Beispielsweise bei einem Rampensignal kann das Ausgangssignal zu einem Maximalwert ansteigen und/oder von einem Maximalwert abfallen. Die Rampe kann hierbei z.B. stetig oder gestuft ausgebildet sein.

[0046] Die Zündkerze (50) mit dem Zündsystem (100) und die Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe (41) sind in diesem Ausführungsbeispiel so ausgebildet, wie

im Zusammenhang mit dem ersten Ausführungsbeispiel beschrieben. Der oder die Stromprüfer (21; 23) sowie der Spannungsprüfer (22) der Vorrichtung (10) sind mit dem Oszilloskop (32) mittels elektrischer Leitungen (26) verbunden. Auch die Kamera (44) der Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe (41) ist mit dem Oszilloskop (32) mittels einer Datenleitung (45) verbunden. Das Oszilloskop (32) ist weiterhin mit einem programmierbaren Zeitgenerator (24) verbunden, der die Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe (41) steuert. Mittels des Leit- und Auswerterechners (34) sind sowohl der programmierbare Zeitgenerator (24) als auch die zu beobachtenden Spektralbereiche z.B. des Emissionsspektrums einstellbar.

[0047] Beim Betrieb der Vorrichtung (10) wird mittels des Zündsteuergeräts (25) der Stromfluss von der Stromquelle (11) zur Zündspule (16) und damit die Zündung des Zündsystems (100) gesteuert. Die Prüfwerte des Stroms und/oder der Spannung werden dem Oszilloskop (32) zugeleitet. In Abhängigkeit dieses Signaleingangs steuert das Oszilloskop (32) den programmierbaren Zeitgenerator (24), der wiederum das Belichtungsintervall der Kamera (44) steuert. Dieses Belichtungsintervall wird an das Oszilloskop (32) zurückgemeldet. Dort wird es dem jeweiligen Prüfwert des Stroms und/oder der Spannung zugeordnet.

[0048] In dem genannten Belichtungsintervall werden die mittels der Kamera (44) aufgenommenen Bilder des Spektrographen (43) an den Leit- und Auswerterechner (34) übertragen. Gleichzeitig werden die Daten des Oszilloskops (32) an den Leit- und Auswerterechner (34) übertragen. Die Software des Leit- und Auswerterechners (34) ermöglicht beispielsweise eine Visualisierung der Daten. Damit kann auch in diesem Ausführungsbeispiel der Gesamtverschleiß des Zündsystems (100) den einzelnen Zündelektroden (101, 111) oder den Zonen der einzelnen Zündelektroden (101, 111) zugeordnet werden. Die Breite und/oder die Höhe beispielsweise des visualisierten Signals kann als Maß für den Abtrag oder die Abtragsrate an der einzelnen Zündelektrode (101, 111) eingesetzt werden.

[0049] Beispielsweise bei Ausbildung des Leit- und Auswerterechners (34) mit den genannten Funktionen eines Oszilloskops kann das Oszilloskop (32) entfallen.

[0050] Auch Kombinationen der einzelnen Ausführungsbeispiele sind denkbar.

Bezugszeichenliste:

[0051]

- 10 Vorrichtung zur Verschleißanalyse
- 11 Strom- und/oder Spannungsquelle, Batterie
- 12 Pluspol
- 13 Massepol
- 14 Masseleitung
- 15 Masse
- 16 Zündspule

17 Zündkabel
 18 Zündkerzenstecker

21 Stromprüfer, erster Stromprüfer
 22 Spannungsprüfer
 23 Stromprüfer, zweiter Stromprüfer
 24 programmierbarer Zeitgenerator
 25 Funktionsgenerator, Zündsteuergerät
 26 elektrische Leitungen

31 Datenerfassungsvorrichtung
 32 Oszilloskop
 33 Eingänge von (32)
 34 Leit- und Auswerterechner
 35 Auswerteleitung

41 Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe
 42 optische Einheit, Objektiv
 43 Spektrograph
 44 Kamera, CCD-Kamera
 45 Datenleitung
 46 Linsen
 47 Linsen-, Spiegel- und Prismensystem
 48 optisches Gitter
 50 Zündkerze
 51 Gehäuse
 52 Mantelfläche
 53 Gewinde
 54 Dichtsitz
 55 Schlüsselflächen
 56 Stauchzone
 57 Fußseite

59 Längsachse

61 Masseelektrode
 62 Elektrodengrundkörper
 63 Metallbeschichtung

71 Isolator
 72 Isolatormantelfläche
 73 Stufen
 74 Isolatorfuß
 75 Längsrichtung
 76 Luftspalt

81 Mittelleiter
 82 Anschlussbolzen, Zündstift
 83 Anschlussende
 84 Rastkerbe
 85 inneres Ende

88 Entstörwiderstand

91 Mittelelektrode
 92 Grundkörper
 93 Beschichtung, Metallbeschichtung
 94 Kupferkern

95 Nickelmantel
 96 Stirnfläche von (92)

100 Zündsystem
 5 101 Zündeletrode, erste Zündeletrode
 102 Zündfläche
 103 Zündraum
 104 Anode

10 111 Zündeletrode, zweite Zündeletrode
 112 Zündfläche
 113 Kathode

15 Patentansprüche

1. Vorrichtung (10) zur Verschleißanalyse zueinander beabstandeter Zündeletroden (101, 111), mit einer Strom- und/oder Spannungsquelle (11) und mit mindestens zwei mit der Strom- und/oder Spannungsquelle (11) elektrisch verbundenen, ein Zündsystem (100) bildenden Zündeletroden (101, 111), **dadurch gekennzeichnet**,
 - 25 - **dass** jede der Zündeletroden (101; 111) zumindest in einem an eine Zündfläche (102; 112) angrenzenden Bereich einen individuellen metallischen Werkstoff der dritten bis zwölften Nebengruppe mit stabilen Isotopen aufweist und
 - 30 - **dass** eine mit einer Datenerfassungsvorrichtung (31) mittels Datenleitungen (45) verbundene Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe (41) auf den mittels der Zündeletroden (101, 111) begrenzten Zündraum (103) des Zündsystems (100) ausgerichtet ist.
 - 35
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zündeletroden (101, 111) starr zueinander angeordnet sind.
- 40 3. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strom- und/oder Spannungsquelle (11) eine Gleichstromquelle ist.
- 45 4. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** an mindestens eine der elektrischen Verbindungen zwischen der Strom- und/oder Spannungsquelle (11) und den Zündeletroden (101; 111) ein mit der Datenerfassungsvorrichtung (31) elektrisch verbundener Stromprüfer (21; 23) angeordnet ist.
- 50
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein mit der Datenerfassungsvorrichtung (31) verbundenes Zündsteuergerät (25) den Stromfluss zwischen der Stromquelle (11) und mindestens einer Zündeletrode (101; 111) schaltet oder steuert.
- 55

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der individuelle Werkstoff jeweils einer der Zündelektroden (101; 111) einer der Werkstoffe Platin, Gold, Zink, Cadmium, Vanadin, Eisen oder Zirkonium ist. 5
7. Verfahren zur Verschleißanalyse an Zündelektroden (101, 111) mittels einer Vorrichtung (10) nach Anspruch 1, 10
- wobei mittels Einschalten der Strom- und/oder Spannungsquelle (11) zumindest ein Spannungsüberschlag zwischen den Zündelektroden (101, 111) unter Bildung eines Zündfunken erzeugt wird und 15
 - wobei die Datenerfassungsvorrichtung (31) die von der Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe (41) übermittelten charakteristischen Spektrallinien der individuellen Werkstoffe visualisiert. 20
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** entweder ein Zündsteuergerät (25) oder das Überschreiten eines Schwellenwertes des Stromflusses zwischen der Strom- und/oder Spannungsquelle (11) und einer der Zündelektroden (101; 111) die Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe (41) schaltet. 25
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Datenerfassungsvorrichtung (31) die Daten des Zündsteuergeräts (25), des mindestens einen Stromprüfers (21; 23) und der Bildzerlegungs- und Umwandlungsgruppe (41) zeitgleich aufnimmt. 30
35

40

45

50

55

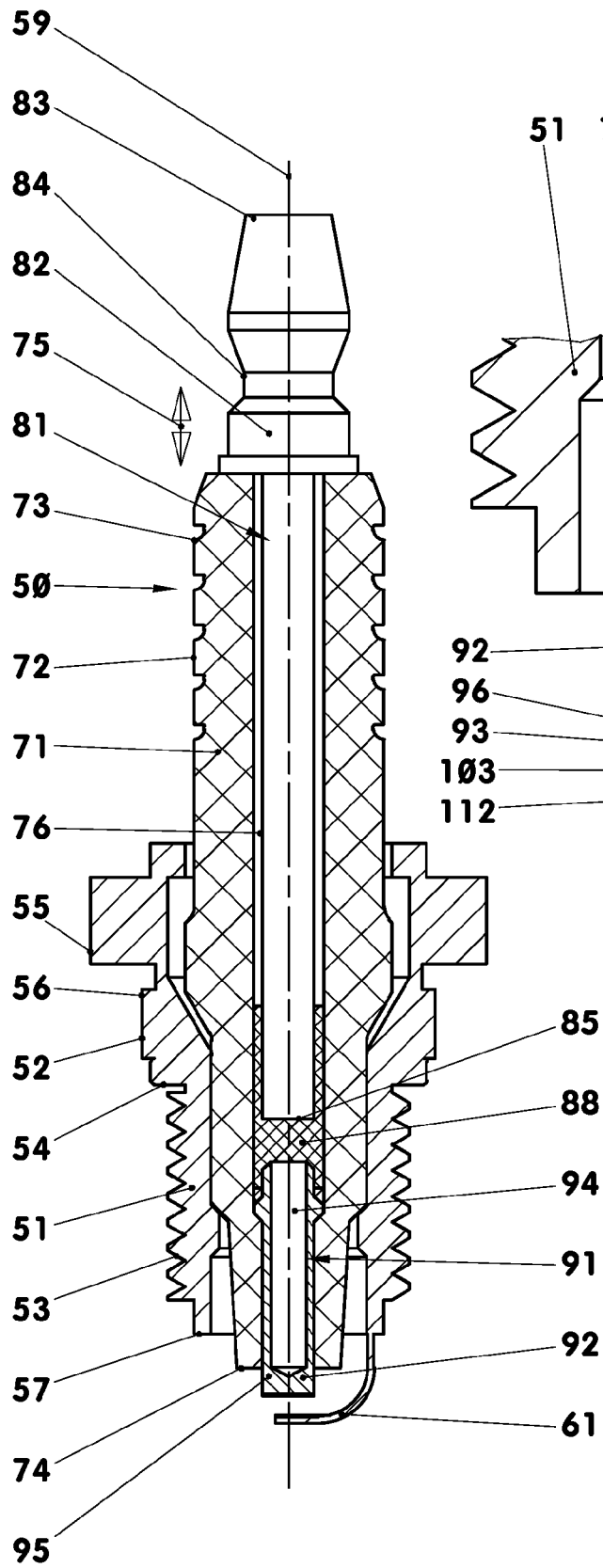


Fig. 1

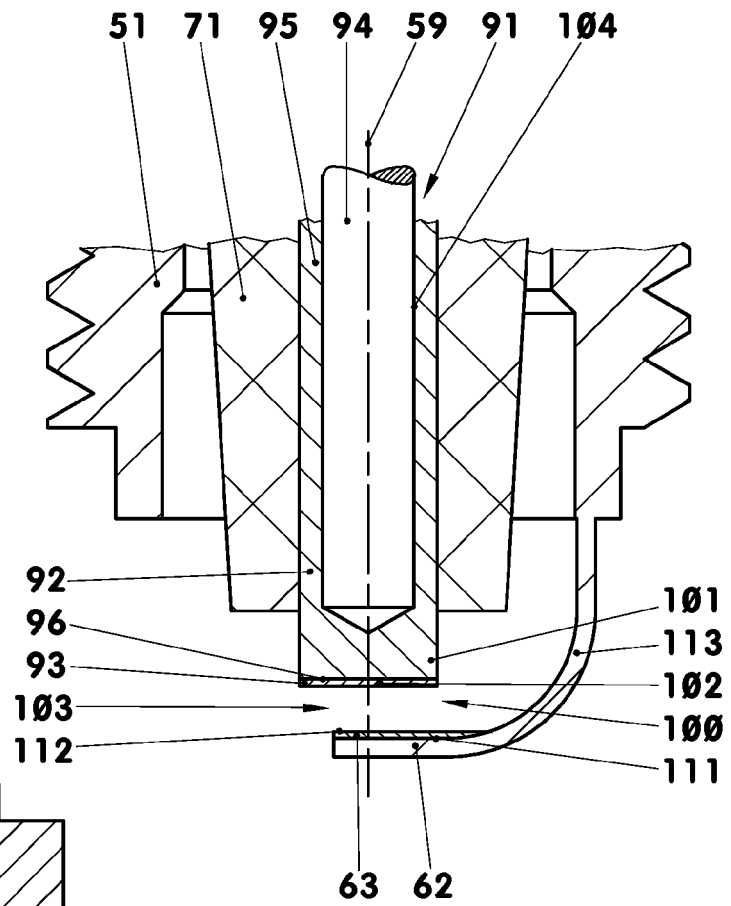


Fig. 2

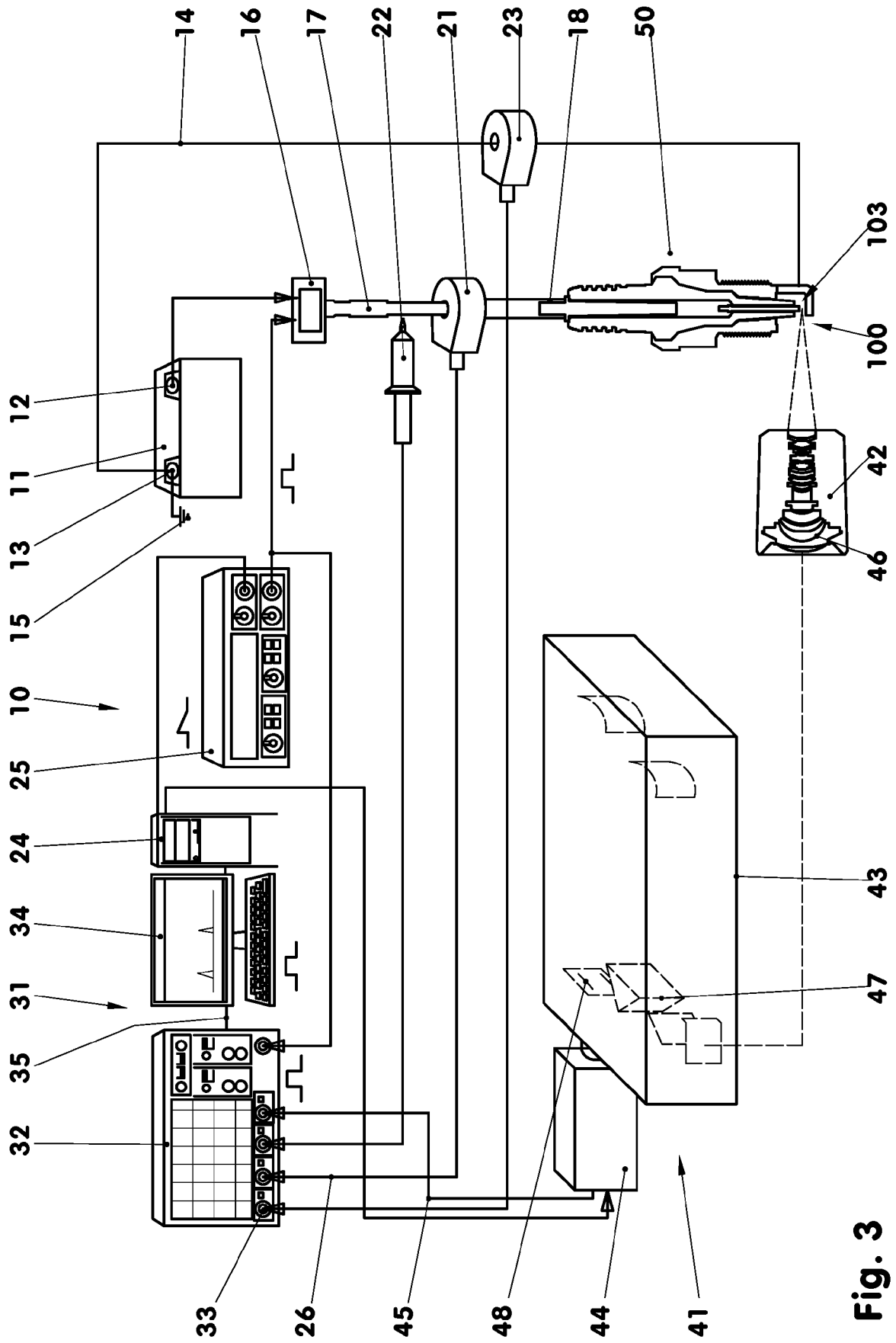


Fig. 3

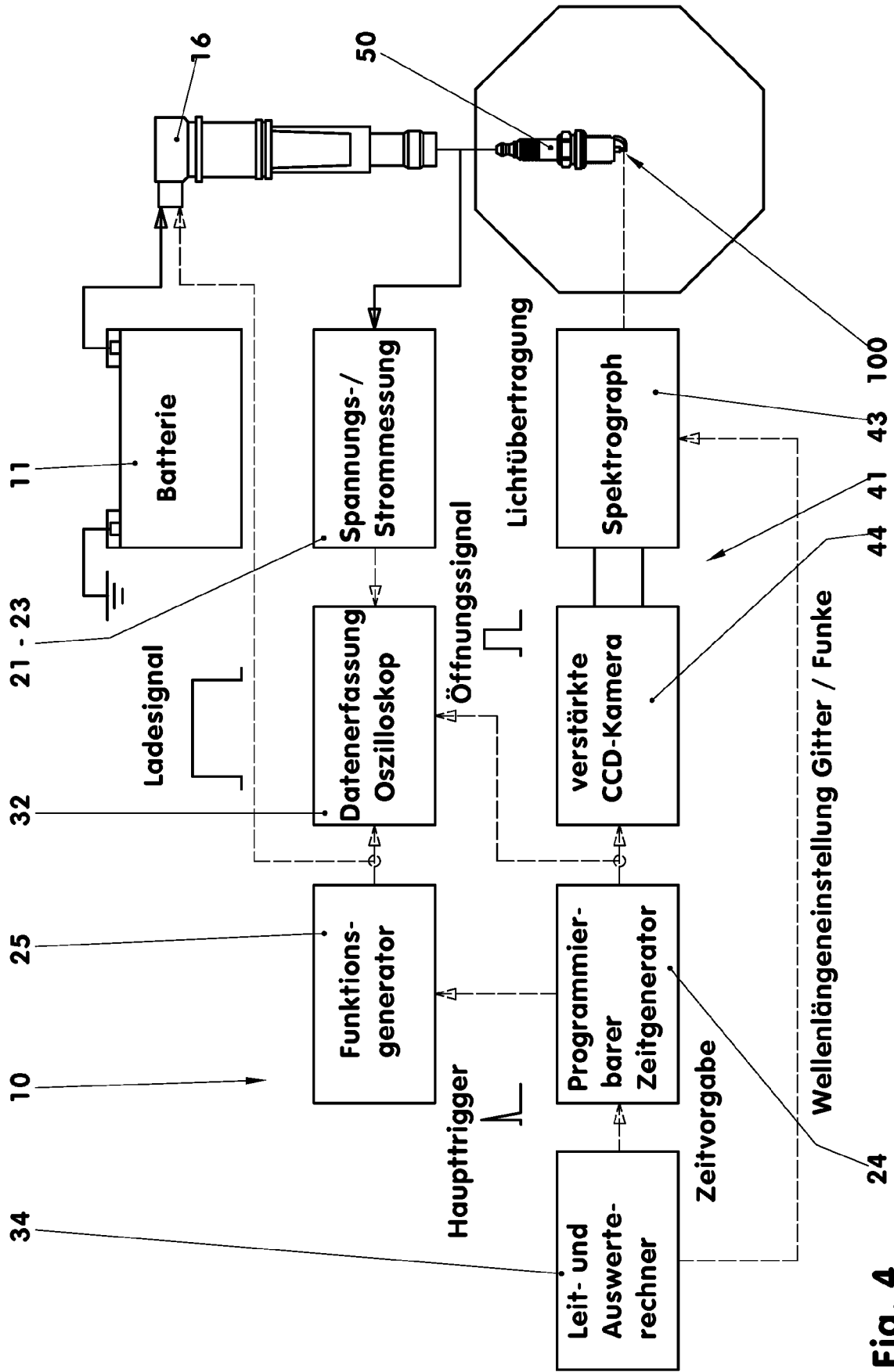


Fig. 4

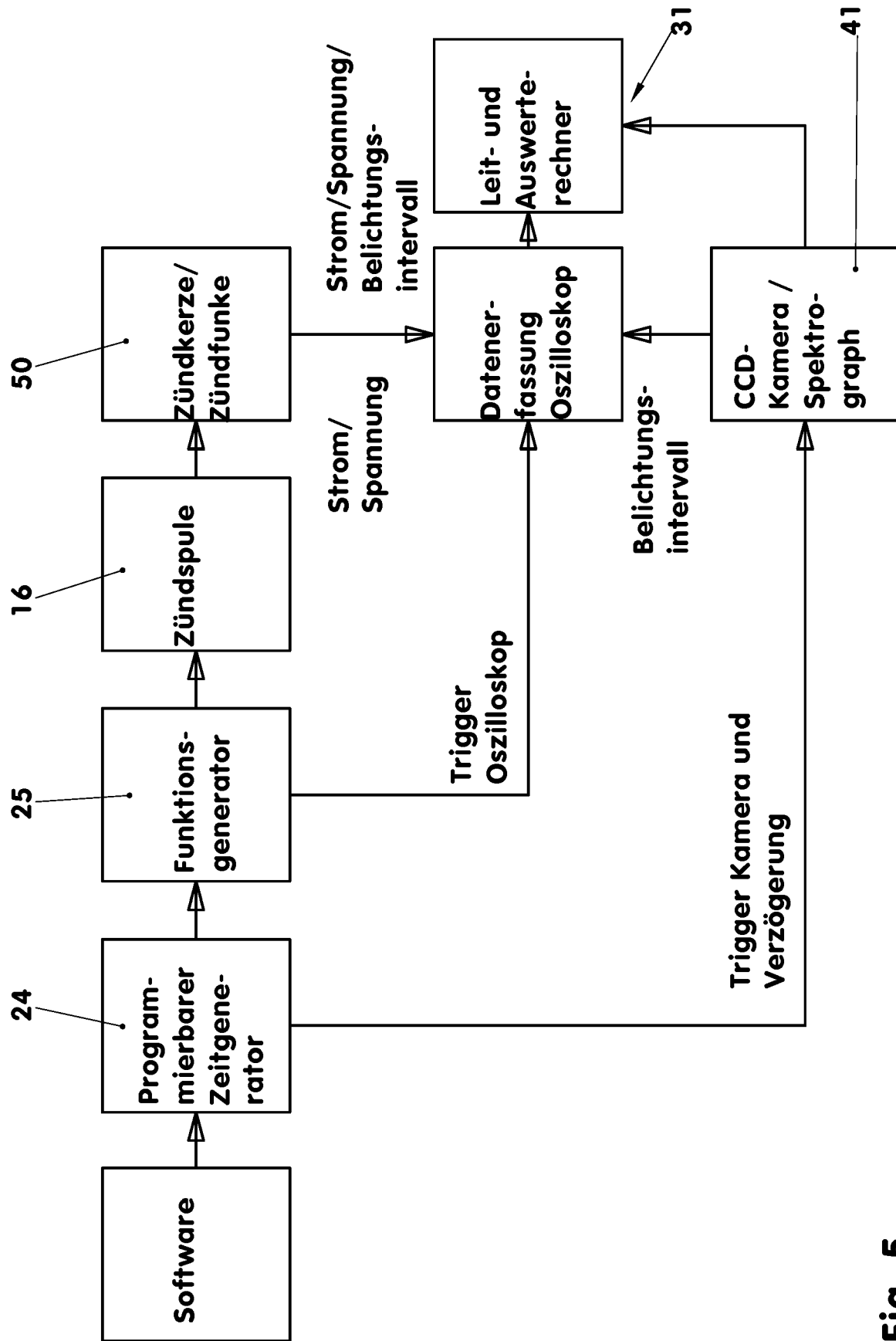


Fig. 5

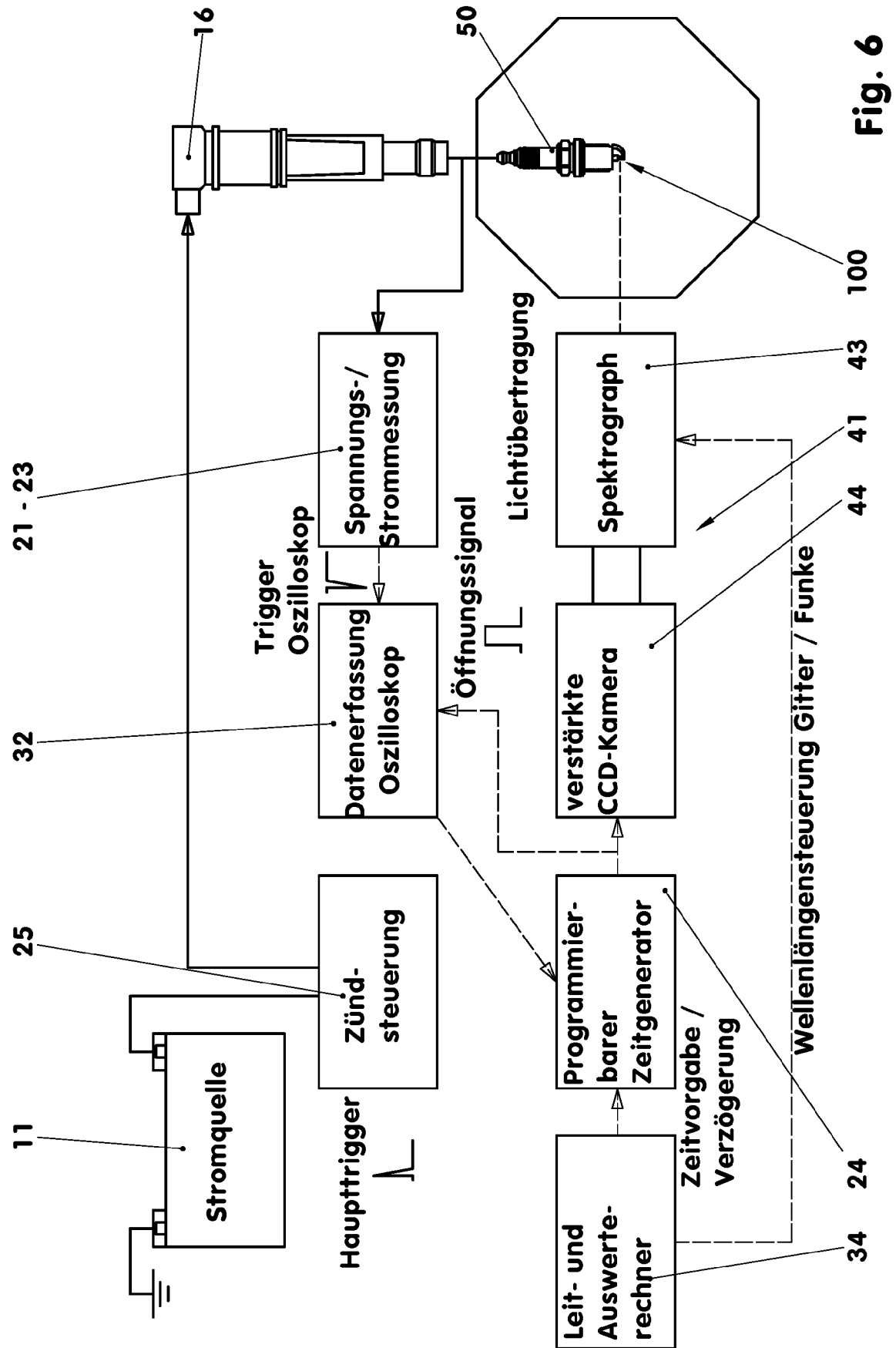


Fig. 6

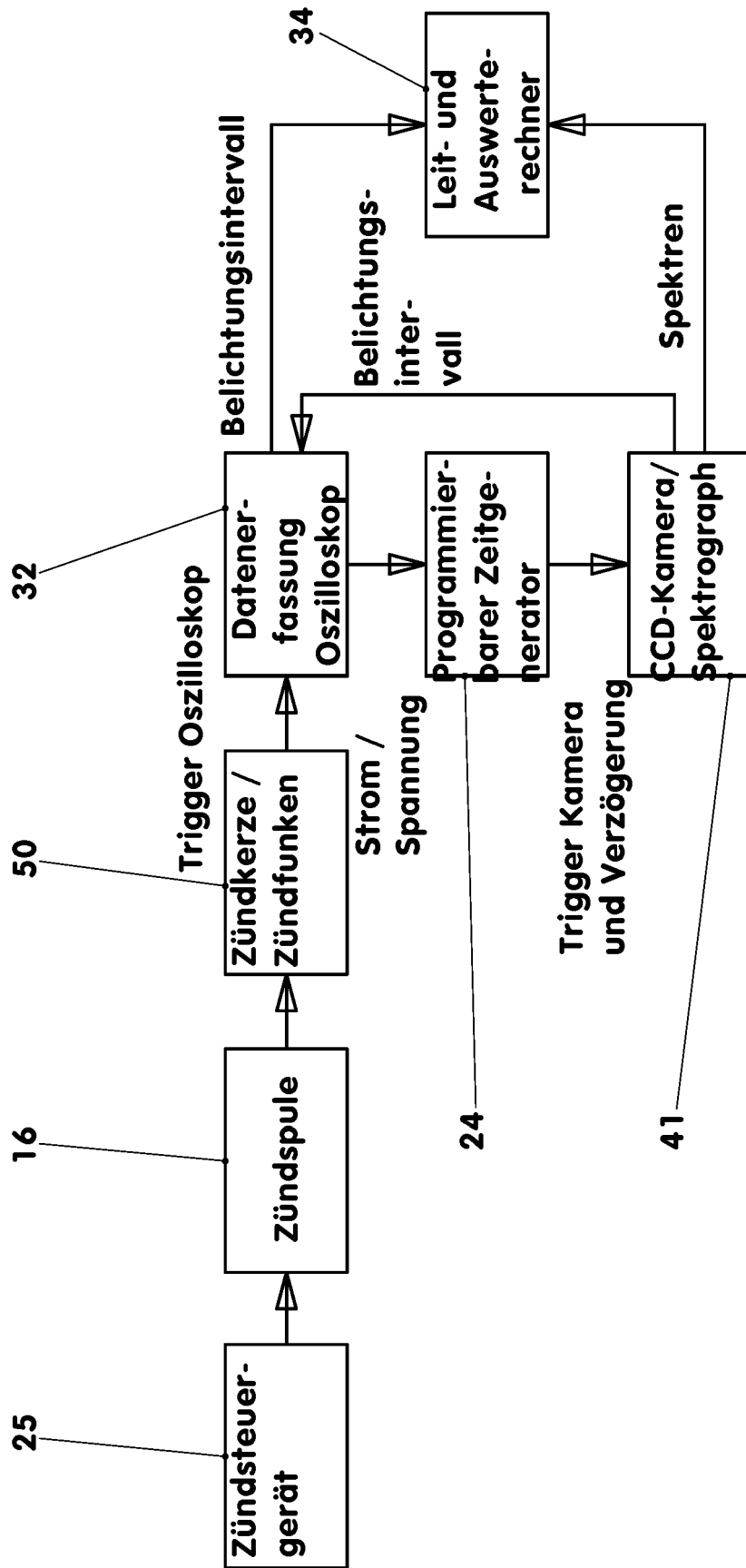


Fig. 7



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 15 4788

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP 2014 017153 A (NIPPON SOKEN; DENSO CORP) 30. Januar 2014 (2014-01-30) * Absatz [0001] * * Absatz [0027] - Absatz [0030] * * Absatz [0040] - Absatz [0044] * * Abbildungen 1-7 *	1-9	INV. H01T13/58 H01T13/39 H01T13/60
A	EP 2 485 033 A1 (IMAGINEERING INC [JP]) 8. August 2012 (2012-08-08) * Absatz [0041] - Absatz [0043] * * Absatz [0055] - Absatz [0058] * * Abbildungen 1, 2, 6 *	1-9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H01T
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 27. Juni 2022	Prüfer Fribert, Jan
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 22 15 4788

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

27-06-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	JP 2014017153 A	30-01-2014	JP 5860777 B2 JP 2014017153 A	16-02-2016 30-01-2014
15	EP 2485033 A1	08-08-2012	EP 2485033 A1 JP 5688570 B2 JP WO2011040589 A1 US 2012242982 A1 WO 2011040589 A1	08-08-2012 25-03-2015 28-02-2013 27-09-2012 07-04-2011
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102006011886 A1 **[0002]**
- DE 102012010177 A1 **[0003]**
- EP 3578804 A1 **[0004]**