

Zündkondensator defekt?

Zusammenfassung

Untersuchungen im Temperaturbereich ergaben, dass eine gegenüber dem Nennwert **anomal vergrößerte Kapazität** auf eine Schädigung des Zündkondensators hinweisen kann, die sich bei erhöhten Temperaturen in einer weiteren **Zunahme der Kapazität** (bis zum 5-fachen des Nennwertes) **und** einem Abfall des **Isolationswiderstandes weit unter 20 M Ω** äußert. Die Folge dieser Veränderung ist, dass die absinkende maximale Spannung auf dem Zündkabel nicht mehr ausreicht, um einen Durchbruch an den Kerzenelektroden zu bewirken.

Über die Mechanismen, auf Grund derer es bei Temperaturerhöhung zu gravierenden Veränderungen der Kapazität und des Isolationswiderstandes kommt, liegen momentan keine Kenntnisse vor.

Die hier dargestellten Aussagen basieren auf Ergebnissen weniger Einzeluntersuchungen, so dass bezüglich Verallgemeinerungen Vorsicht geboten ist. Es ist auch möglich, dass es (Hersteller- bzw. Technologie-abhängig) weitere Ausfallmechanismen gibt, die bei den hier untersuchten Exemplaren nicht auftraten.

Nennwerte

Schwächelt oder streikt die konventionelle Unterbrecherzündung, steht meist als erstes der Zündkondensator unter Verdacht. Dabei zeigen langjährige Erfahrungen, dass in den seltensten Fällen tatsächlich der Kondensator primäre Fehlerursache war. Oft wird er prophylaktisch erneuert, Kerzenstecker und Kerze gleich mit und am Ende bleibt die eigentliche Ursache im Dunkeln.



Bild 1: Zündkondensatoren verschiedener Hersteller

Hersteller von DDR-Zündkondensatoren (Bild 1) waren u.a. vor 1989 v.l.n.r. Firmen im RFT-Verband sowie Frolyt (Freiberg/Sa.) und das Kondensatorenwerk Gera.

Nach [1] haben Zündkondensatoren eine Nenn-Kapazität von $0,22 \mu\text{F} +20/-10\%$, so dass ein Kapazitätsbereich von $198 \text{ nF} \dots 264 \text{ nF}$ überstrichen wird. Die Ausführungen G (s. Bild 1) und M sind von -40°C bis $+85^\circ\text{C}$ einsetzbar, GT bis $+100^\circ\text{C}$. Die Nenngleichspannung ist 250 V , wobei die Typprüfung beim Hersteller mit 900 V erfolgte. Der Isolationswiderstand beträgt bei 20°C (mindestens) $6000 \text{ M}\Omega$.

Nach Temperatur- bzw. Spannungsstress sind (bleibende) Zusatzabweichungen für die Kapazität von $\pm 10\%$ und ein Absinken des minimalen Isolationswiderstandes auf $3000 \text{ M}\Omega$ zulässig. Über das Betriebstemperaturverhalten gibt [1] jedoch keine Auskunft.

Nach [3] liegt für einfache Papierkondensatoren der Temperaturkoeffizient bei $0,1\%/K$, so dass bei einer von 20°C auf 100°C erhöhten Betriebstemperatur eine Zusatztoleranz von 8% auf die Grundtoleranz zu schlagen wäre.

Die Isolationszeitkonstante ist nach [3] mit $20 \text{ M}\Omega \cdot \mu\text{F}$ angegeben, so dass bei Raumtemperatur mit etwa $90 \text{ M}\Omega$ Isolationswiderstand für $0,22 \mu\text{F}$ zu rechnen ist. Auch dieser Wert liegt ebenso wie der TGL-Wert von $6000 \text{ M}\Omega$ weit außerhalb des Widerstandsmessbereiches einfacher Digitalmultimeter (meist $20 \text{ M}\Omega$).

Mögliche Ausfallursachen

Kapazitätsverlust durch Trennung innerer Verbindungen

Symptom: Übermäßiges Kontaktfeuer am Unterbrecherkontakt

Diagnose: Überprüfung der Kapazität 220 nF +20% -10%

Hinweis: Handmultimeter >50 Euro verfügen i.d.R. über einen geeigneten Kapazitäts-Messbereich.

Kurz- oder Feinschluss auf Grund von Spannungsdurchschlägen oder Feuchtigkeit im Inneren.

Symptom: Kein Zündfunke. Nach Lösen der Verbindung zum Kondensator jedoch schwache Zündfunken nachweisbar.

Diagnose: Überprüfung des Isolationswiderstandes (Soll >20 MΩ). Werte unter 20 MΩ deuten auf ein Isolationsproblem hin, der Kondensator sollte besser ausgetauscht werden.

Hinweis: Bei der Messung von extrem großen Isolationswiderständen von Kondensatoren kommt es mitunter zu länger andauernden Umladevorgängen am Multimeter. Erst bei einer stabilen Anzeige ist der Messwert vertrauenswürdig!

Temperatureffekt

Häufig gehen Zündungsprobleme mit der Betriebstemperatur des Motors einher. Der Kaltstart verläuft einwandfrei, nach einigen Minuten kommt es zu Aussetzern und nach einer angemessenen Abkühlphase scheint alles wieder in Ordnung zu sein. Die Ursachen für temperaturbedingte Fehlfunktionen sind allerdings häufiger bei der Kerze, dem Kerzenstecker oder der Zündspule zu suchen und seltener beim Zündkondensator.

Dennoch ist die Fragestellung interessant, wie sich Zündkondensatoren mit „Temperatureffekt“ verhalten und ob man sie evt. durch geeignete Tests „überführen“ kann. Auf Grund der seltenen Ausfälle sind geeignete Untersuchungsobjekte äußerst rar, weshalb der Autor dieser Zeilen nach wie vor an defekten Zündkondensatoren zur Fehleranalyse interessiert ist. Anlass für die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen war ein von Jürgen (danimann, mz-forum.com) als defekt erkannter und dankenswerterweise zur Verfügung gestellter Zündkondensator (Exemplar Nr. 0). Eine Handvoll Zündkondensatoren (allesamt DDR-Produktion) aus der eigenen Lagerhaltung wurden parallel mit in die Untersuchungen einbezogen.

Zuerst wurden die in der MZ-Elektrik [2] empfohlenen statischen Messungen bei Raumtemperatur und dann zusätzlich noch bei ca. 100 °C durchgeführt *). Die Temperierung erfolgte dabei auf einer mit Wasser benetzten Warmhalteplatte einer Kaffeemaschine (Bild 2).



Bild 2: Temperierung der Zündkondensatoren

*) Zum Zeitpunkt der Messung war die maximale Betriebstemperatur von 85 °C nicht bekannt.

Die Messergebnisse sind in der Tabelle in Bild 3 dargestellt. Rote Ausrufezeichen an den Messwerten weisen auf Anomalitäten hin.

Exemplar Nr.	Kapazität bei Zimmertemperatur	Kapazität bei ca. 100 °C	Isolationswiderstand bei Zimmertemperatur	Isolationswiderstand bei ca.100 °C
1	228 nF	220 nF	>300	30
2	215 nF	210 nF	>300	60
4	211 nF	202 nF	>300	200
6	226 nF	236 nF	>300	30
7	254 nF	230 nF	>300	25
9	227 nF	225 nF	180	5!
10	263 nF	314 nF!	>300	16!
5	262 nF	347 nF!	>300	4!
8	363 nF!	530 nF!	20	2!
3	437 nF!	1260 nF!	150	0,55!
0	531 nF!	1330 nF!	3!	0.09!

Bild 3: Kapazität und Isolationswiderstand verschiedener Exemplare von Zündkondensatoren
Messung Isolationswiderstand mit **Fluke 45** Tischmultimeter (größert Messwert: 300 MΩ)
Messung Kapazität mit **Voltcraft M-4650CR** Handmultimeter (im Messbereich 20 µF)

Der ersten Gruppe (Exempl. 1, 2, 4, 6, 7 und 9) kann ordnungsmäßes Verhalten bescheinigt werden. Auch bei 100 °C liegen Kapazität und Isolationswiderstand deutlich über 20 MΩ (Ausnahme Exempl. 9). Nach Abkühlung wurden die Ausgangswerte (Kapazität und Isolationswiderstand) bei allen Exemplaren wieder erreicht.

Die zweite Gruppe (Exempl. 10, 5 und 8) zeigte bereits bei Raumtemperatur erhöhte Kapazitätswerte, die nah bei 220nF+20% bzw. noch darüber lagen. Eine relativ starkes Anwachsen der Kapazität mit der Temperatur, was gleichzeitig mit einem Absinken des Isolationswiderstandes unter 20 MΩ einhergeht, lässt Verdachtsmomente aufkommen. Genauer kann man allerdings nicht sagen, die Übergänge zwischen „gut“ und „schlecht“ sind fließend.

In der dritten Gruppe (Exempl. 3 und 0), zu der auch der nachweislich ausgefallene Kondensator (Exempl. 0) gehört, steigt der Kapazitätswert bei 100 °C auf mehr als das 5-fache vom Nennwert und der Isolationswiderstand fällt auf 550 kΩ bzw. 90 kΩ ab. Physikalisch-chemische Ursachen für ein solches Verhalten sind derzeit nicht bekannt. Die Exemplare 0 und 3 hätten allerdings schon auf Grund ihrer Parameter bei Raumtemperatur den Test nicht bestanden.

Interessant ist nun, wie sich „verdächtige“ Zündkondensatoren im Zündstromkreis verhalten. Dafür wurden sie in eine Versuchsanordnung, bestehend aus Spannungsversorgung, 6-V-Zündspule mit Kabel, Kerzenstecker und Kerze und Unterbrecher (prellfreier Quecksilberkontakt) eingefügt und die Zeitverläufe von Kondensatorspannung und Sekundärspannung auf dem Zündkabel gemessen. Die Messschaltung zeigt Bild 4.

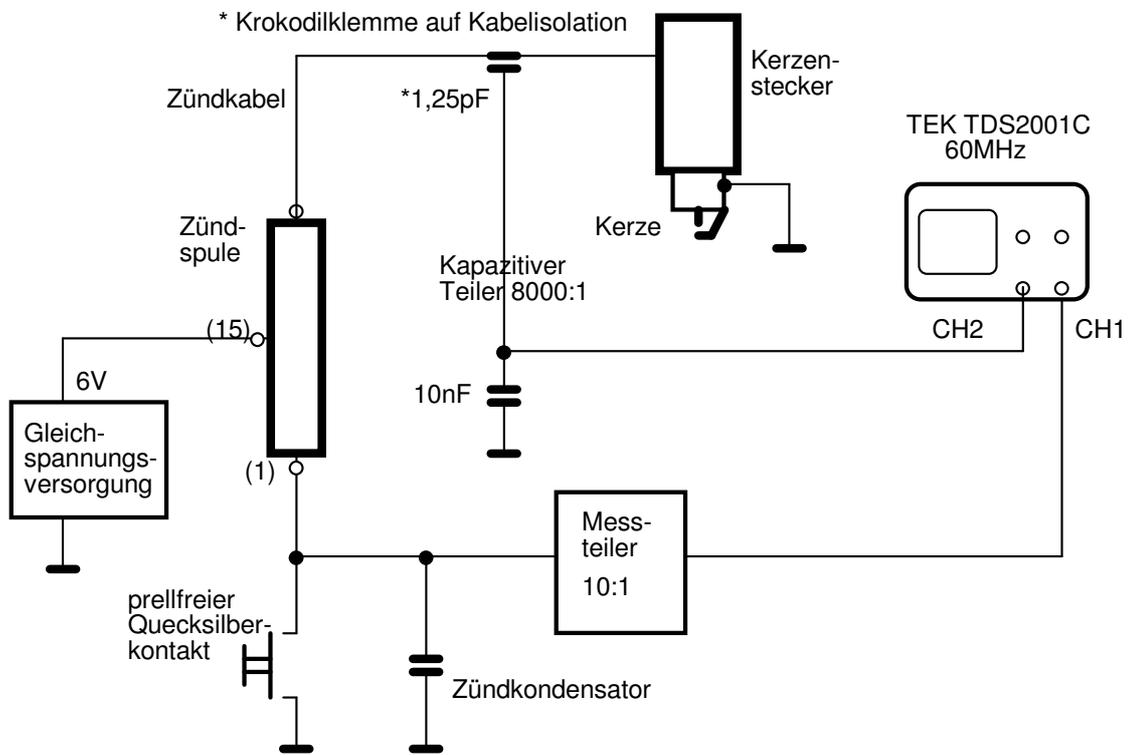


Bild 4: Versuchsaufbau Unterbrecherzündung

Bild 5 zeigt die Zeitverläufe der Kondensatorspannung und der Spannung auf dem Zündkabel nach Öffnen des Unterbrecherkontaktes mit intaktem Zündkondensator (Exempl. 1). Die Kondensatorspannung erreicht im Scheitel 120 V und klingt in Form einer gedämpften Schwingung ab (Bild 5 a). Der Elektrodenabstand der Kerze ist 1 mm, erwartungsgemäß erfolgt der Durchschlag in Luft und unter Normaldruck bei 3,5 kV. Bei beiden Betriebstemperaturen sind im Verhalten nahezu keine Unterschiede zu erkennen.

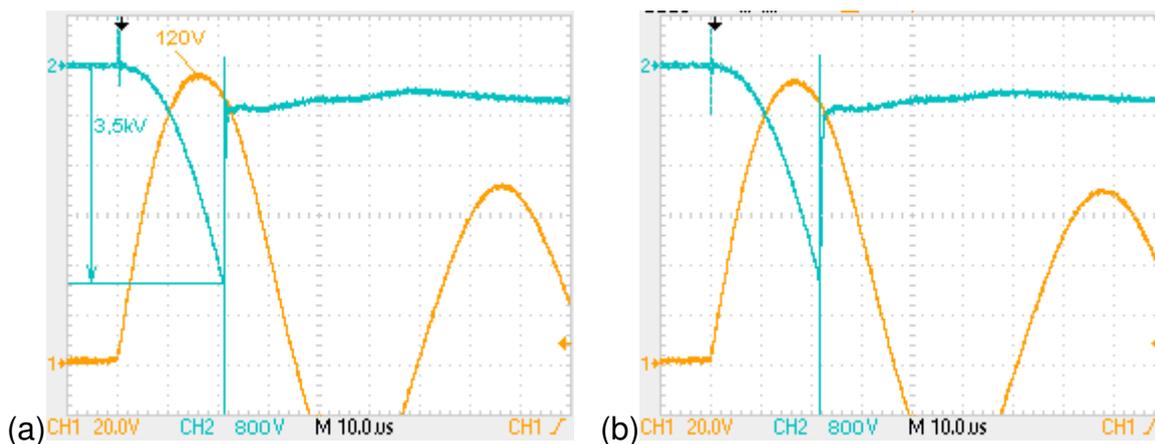


Bild 5: Kondensatorspannung (orange, 20V/T) und Zündspannung (türkis, 0,8kV/T) mit intaktem Zündkondensator (Exempl. 1) bei (a) Raumtemperatur und (b) ca. 100 °C

Der vergrößerte Kapazitätswert des defekten Kondensators (Exempl. 0) führt zunächst zu einem etwas langsameren Anstieg der Spannung, auch die Spannung auf dem Zündkabel steigt entsprechend langsamer an (s. Bild 6 b). Bei 100 °C ist die Kapazität auf ein Vielfaches des Nennwertes gewachsen, der Scheitel der Spannung erreicht gerade noch 55 V. Dennoch reicht es für einen Durchbruchfunken auf dem Labortisch.

Im realen Betrieb muss man jedoch davon ausgehen, dass die erforderliche Zündspannung etwa proportional mit dem Vorverdichtungsdruck steigt (Paschen-Gesetz). Bei einer Verdichtung von 10:1 und 0,6mm Elektrodenabstand wären somit (in Luft!) knapp 20 kV nötig.

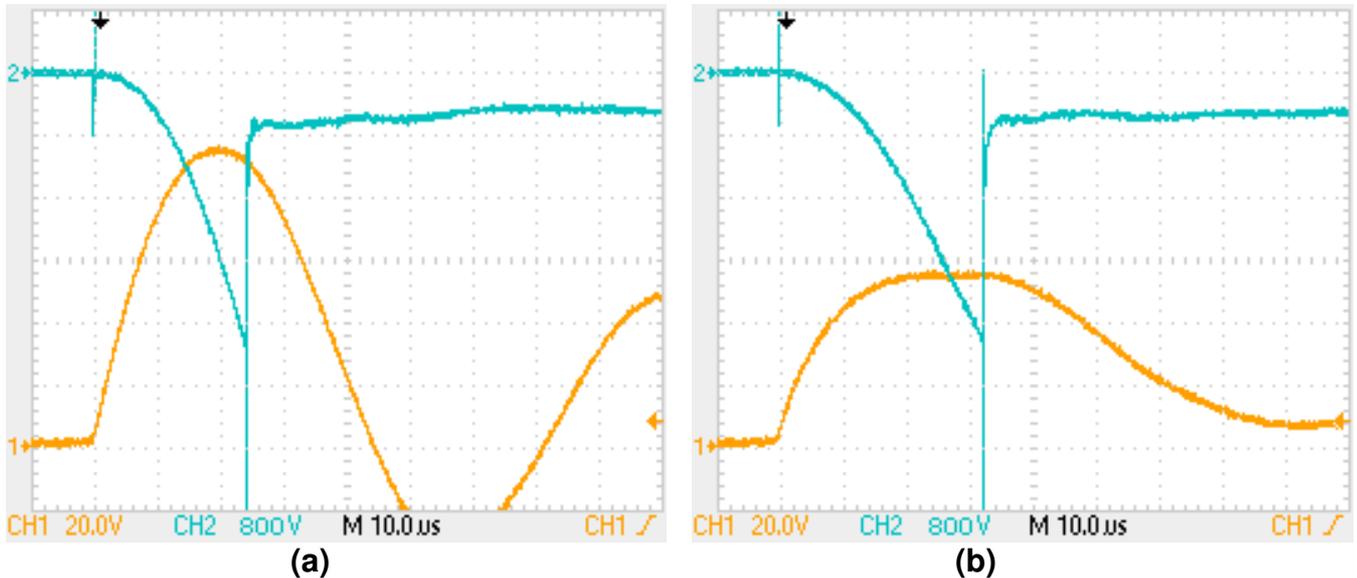


Bild 6: Kondensatorspannung (orange, 20V/T) und Zündspannung (türkis, 0,8kV/T) mit defektem Zündkondensator (Exempl. 0) bei (a) Raumtemperatur und (b) ca. 100 °C

Um zu erfahren, welche Spannung auf dem Zündkabel maximal erreicht werden kann, wurden Kerze und Kerzenstecker entfernt, um den Spannungsanstieg nicht durch einen Funken an den Kerzenelektroden oder einen Überschlag innerhalb des Kerzensteckers zu beenden.

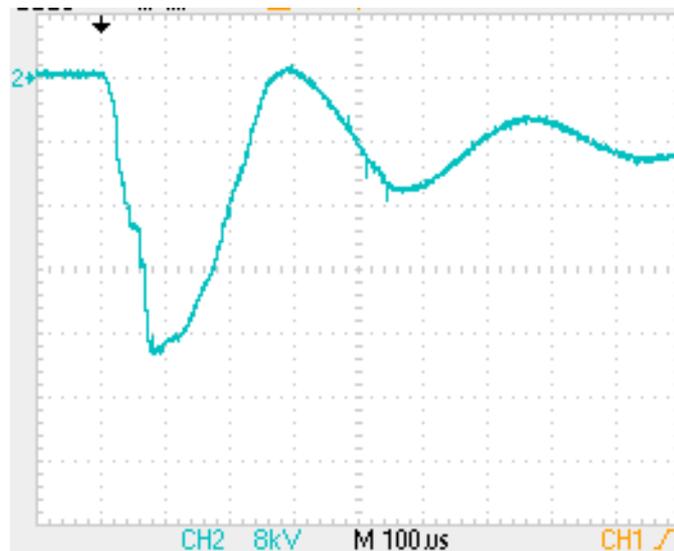


Bild 7: Spannung am offenen Zündkabel mit intaktem Kondensator (Exempl. 1)

Mit der so veränderten Anordnung werden (s. Bild 7) am offenen Ende des Zündkabels nach 80 μs etwa 34 kV erreicht. Mit dem defekten Kondensator (s. Bild 8a) werden 25 kV erreicht. Jedoch stehen bei 100 °C nur noch 8 kV (s. Bild 8 b) zur Verfügung, und das reicht offenbar nicht mehr aus, um den Durchschlag bei Vorverdichtungsdruck im Benzin/Luftgemisch zu bewirken.

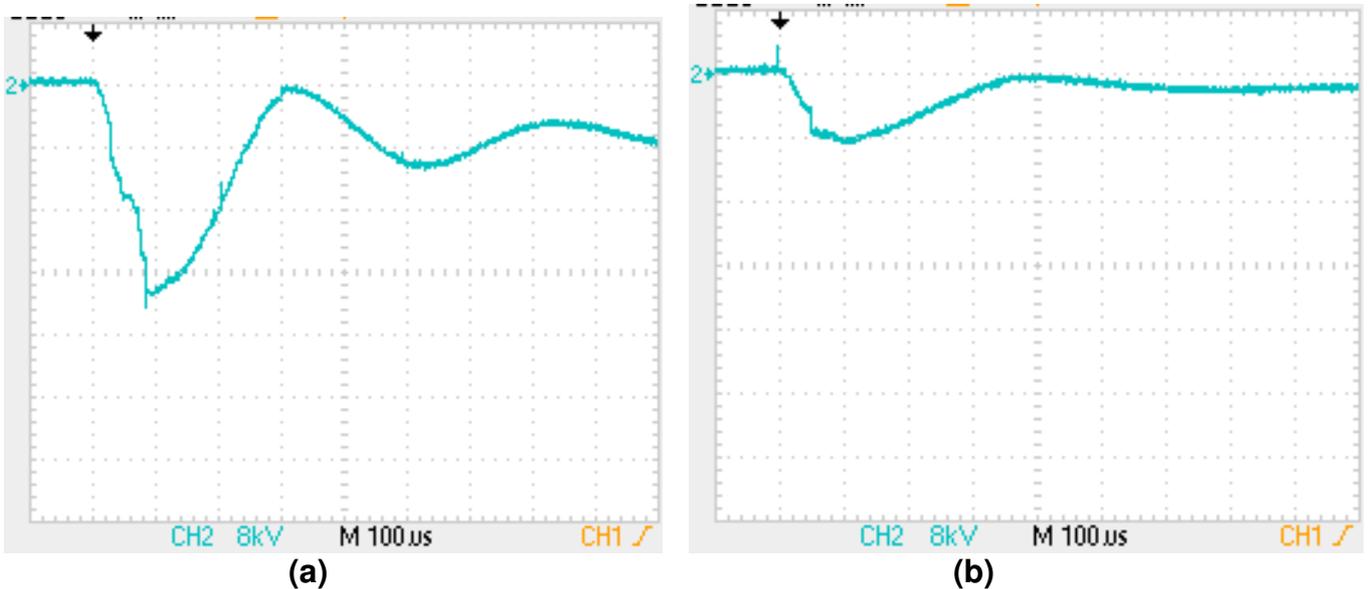


Bild 8: Spannung am offenen Zündkabel mit defektem Kondensator (Exempl. 0)
 (a) Raumtemperatur max. 25 kV, (b) 100°C max. 8 kV

Die Untersuchungen zeigen, dass der defekte Kondensator (Exempl. 0) bei erhöhter Temperatur eine starke Absenkung der maximalen Zündspannung verursacht, die zu Aussetzern oder gänzlichem Versagen des Zündsystems führen können.

Als Ergänzung noch zwei sehenswerte Oszillogramme (Bild 9), die bei einer Horizontalablenkung von 0,5ms/T die Glimmentladungsphase des Funkens sichtbar werden lassen: Nach dem Durchbruch „brennt“ der Funke bei etwa 600 V eine reichliche Millisekunde.

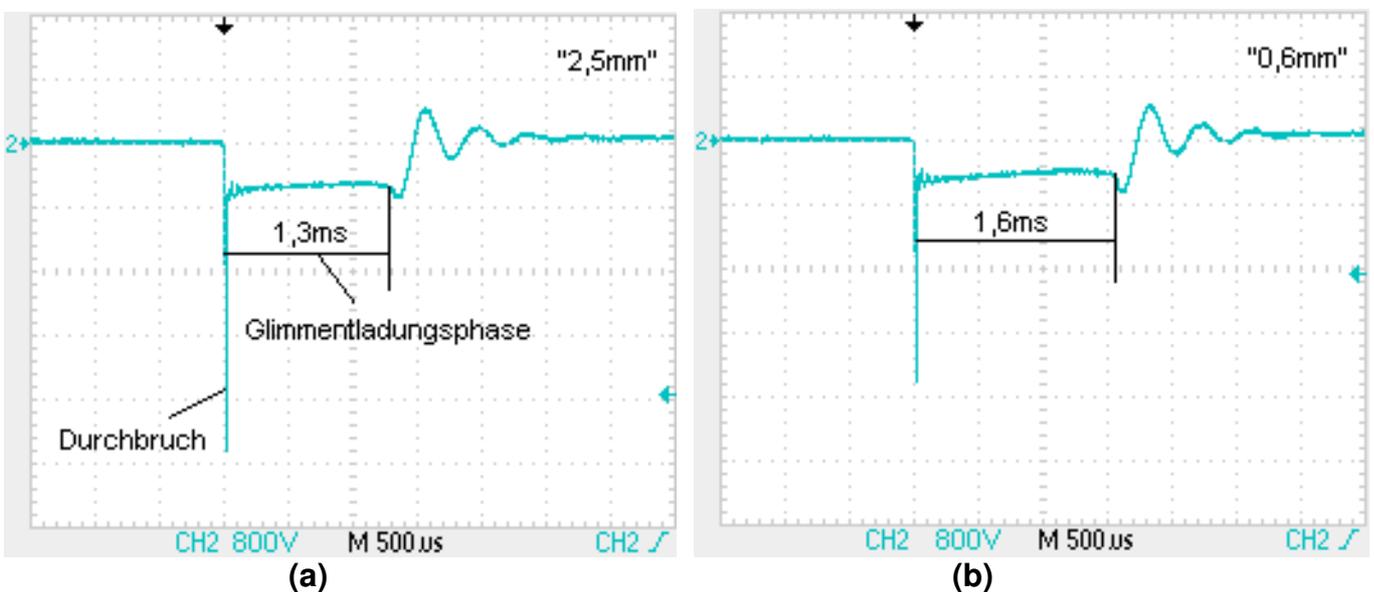


Bild 9: Glimmentladungsphase an der Kerze bei (a) 2,5mm bzw. (b) 0,6mm Elektrodenabstand.

Bei vergrößerten Elektrodenabstand bricht die Glimmentladung eher ab, da eine höhere Spannung zur Aufrechterhaltung nötig ist. Mit dem Ende der Glimmentladung ist auch die Funkenentladung zu Ende, die plötzliche Stromunterbrechung zwischen den Kerzenelektroden äußert sich im gedämpften Ausschwingen der Spannung auf dem Zündkabel.

Quellen:

- [1]** DDR-Standard TGL 5187/01, Kraftfahrzeug-Kondensatoren für Zündeinrichtungen von Ottomotoren, Technische Bedingungen, Ausgabe Okt. 1982
- [2]** Elektrik der MZ-Zweitakter (Lothar, mz-forum.com)
- [3]** Hoffmann, Hans-Peter: Widerstände und Kondensatoren, Amateurbibliothek, Militärverlag der DDR, Berlin, 1990
- [4]** Maly, Rudolf: Spark Ignition: Its Physics and Effect on the Internal Combustion Engine in: Fuel Economy in road vehicles powered by spark ignition engines / John C Hilliard; George S Springer [Hrsg.], Plenum Pr., New York, 1984