©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Über die Stärke elektrischer Wellen, wenn der Primärfunke in Öl überspringt

Hermann Bauernberger.

(Mit 2 Textfiguren.)

(Aus dem physikalischen Institute der k. k. Universität in Innsbruck.)

Bekanntlich haben Sarasin und de la Rive[1] gezeigt, dass die Hertz'schen Versuche besser anzustellen sind, wenn der Primärfunke in einem flüssigen Dielektricum statt in Luft überspringt. Im Folgenden habe ich nun quantitativ bei der Lecher'-schen Drahtcombination den Einfluss verschiedener Öle (Baumöl, Olivenöl, Parafinöl, Terpentinöl und Petroleum) auf den Primärfunken untersucht und bin dabei zu folgenden Resultaten gekommen. Es zeigt sich, dass die beste Kugeldistanz ungefähr $^1/_3$ unter der äussersten Schlagweite liegt, und ferner erwies sich Petroleum als die für vorliegende Zwecke geeignetste Flüssigkeit. Die Maxima waren zwar bei Petroleum nur circa $^1/_3$ höher als bei Luft, aber der ganze Verlauf der Wellen war viel regelmässiger und die Versuche konnten viel längere Zeit ausgedehnt werden.

Schliesslich wird anhangsweise gezeigt, dass der Ort, an welchem der Primärcondensator in der Primärschwingung sich befindet, auf die Grösse des Maximums nur verhältnissmässig geringen Einfluss hat.

1. Versuchsanordnung.

A und A_1 (Fig. 1) sind quadratische Messingplatten von 40 *cm* Kantenlänge; ihnen gegenüber (6 *cm* entfernt) stehen

[1] C. R., Band CXV, Nr. 12.

zwei andere gleich grosse Messingplatten B und B_1. Die letzteren sind an beiden Seiten eines aufrechtstehenden Holzrahmens befestigt und durch Hartgummicylinder von A und A_1 isolirt. Von der Mitte der Platten B und B_1 aus sind die 1 *mm* starken Kupferdrähte I und II parallel in einer Entfernung von 30 *cm* gespannt, welche zu einem Elektrometer führen. An der unteren Ecke der Platten A und A_1 sind kleine Klemmschrauben angebracht, von denen die Drähte p und q zu den Kugeln a und b gehen.

Von den vier Quadranten des Thomson'schen Elekrometers (Lang'sche Construction) waren zwei entfernt und die Einstellung der Lemniskate L wurde durch eine kleine Magnetnadel erzielt. Um die von Bjerknes[1] als Fehlerquelle bezeichnete Elektrisirung der Magnetnadel zu vermeiden, durfte die

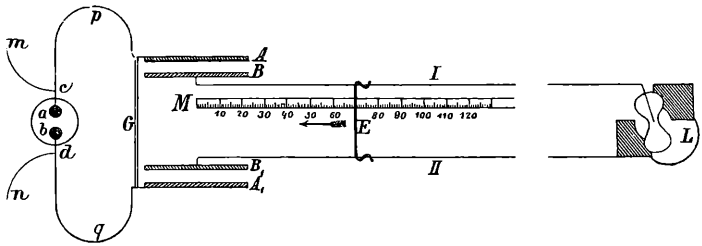

Fig. 1.

Ladung der Lemniskate nicht wie gewöhnlich mittelst des dünnen Platindrahtes, der als Aufhängefaden dient, geschehen, sondern sie wurde durch die Dämpfungsflüssigkeit — hier Kupfervitriollösung — zugeleitet und die Lemniskate selbst durch ein Schellackstäbchen von der Magnetnadel isolirt.

Die Elektroden für den Primärfunken a und b haben einen Durchmesser von 3 *cm* und sind senkrecht übereinander in einem circa 10 *cm* weiten und 14 *cm* hohen Glasgefässe; die obere a ist mittelst eines isolirenden Hartgummistückes an der Spindel einer über dem Glase stehenden Mikrometerschraube befestigt. Das Glasgefäss wurde zweimal durchbohrt, und zwar am Boden, um die Verbindung mit der Kugel b, und an der

[1] Wied. Ann., B. 44, S. 77 u. ff.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Seite, um durch einen auf der Axe federnd aufliegenden Kupferdraht die Verbindung mit der oberen Kugel *a* herzustellen. An diese beiden Zuleitungsdrähte *c* und *d* sind Klemmschrauben angebracht, welche durch *p* und *q* mit den Platten *A* und A_1 einerseits und durch *m* und *n* mit den Polen des Rhumkorff anderseits verbunden sind.

Um in dem primären Stromkreise *Aca*, bdA_1 jede statische Ladung zu verhindern, wurde an den Klemmen der Platten *A* und A_1 eine 160 *cm* lange, gebogene Glasröhre *G* aufgehängt und mit destillirtem Wasser gefüllt, in welches von den Klemmen Verbindungsdrähte führten. Zu dem gleichen Zwecke wurde die auf I und II verschiebbare, 42 *cm* lange Brücke *E* aus Kupferdraht mit der Erdleitung verbunden. Als Erreger der primären Schwingungen diente ein Rhumkorff mittlerer Grösse (die Spule war 30 *cm* lang und 12 *cm* dick), welcher in der Regel durch vier Bunsenelemente betrieben wurde. Ein in den Stromkreis geschaltetes Ampèremeter zeigte bei den meisten Versuchen $1 \cdot 48 - 1 \cdot 56\,A$ als mittlere Stromstärke des intermittirenden Rhumkorff-Primärstromes.

2. Allgemeine Bemerkungen.

Capacitätsänderungen des Elektrometers bei einem Ausschlage. Die Anordnung des Elektrometers kann zu einigen Bedenken Anlass geben. Schon Bjerknes hat zur Bestimmung der Schwingungsintensität eine ähnliche Anordnung getroffen, dabei aber immer nur den ersten Ausschlag beobachtet. Mein Elektrometer besass nun eine ziemliche Capacität und es schien nicht unmöglich, dass bei verschiedenen Ausschlägen des Elektrometers die sich ändernde Capacität desselben die Versuche störend beeinflusse. Um diesen Einfluss kennen zu lernen, wurde die Lemniskate mittelst einer Hilfsvorrichtung immer in derselben Lage gehalten. Diese Nullmethode bestand darin, dass die Magnetnadel durch einen Hilfsstrom abgelenkt werden konnte. Dieser Hilfsstrom wurde von Fall zu Fall mittelst eines Stöpselrheostaten so regulirt, dass trotz der Hertz'schen Schwingungen die Nadel ruhig blieb, weil die statischen Kräfte der Schwingungen und die magnetischen Kräfte des Stromes sich aufhoben. Der Aus-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

schlag des Stromes allein gab dann ein Mass für die Grösse des Ausschlages, den die Hertz'schen Schwingungen für sich verursacht hätten. Bei einer derartigen Messung ändert sich die Capacität des Elektrometers nicht, was namentlich für rechnende Versuche von Wichtigkeit wäre. Vergleicht man die so erhaltenen Resultate mit den ersten Ausschlägen, so zeigt sich, dass der Werth der letzteren zwar bedeutend grösser ist, die Lage und relative Gestalt der Welle aber sich nicht ändert. In der folgenden Tabelle sind die Resultate beider Messmethoden zusammengestellt.[1] Der Primärfunke sprang in Terpentinöl über; die Stromstärke war 2·0 *A*. Die erste Columne enthält die Distanz der Brücke *E* von *B*, auf dem Massbande *M* abgelesen.

Distanz in *cm*	erste Ausschläge	Compensationmethode	
		Ausschläge	Widerstand
40	0·5	0·7	300
90	1·15	1·3	180
120	1·75	—	—
140	4·8	4·7	75
150	7 6	—	—
160	12·0	9·5	26·6
165	14·5	—	—
170	16·2	12·2	20
175	16·5	—	—
180	15·35	10·4	22
190	19·0	12·2	20
195	21·3	—	—
200	25·25	16·0[2]	17·9
202	27·0	17·3	17·2
205	28·0	16·75	17·5
207	27·0	—	—
210	24 5	14·0	18·7
220	15·5	9·4	27·5
225	12·0[2]	—	—
230	9·2	5·1	50
240	5·5	4·2	65
250	3·7	—	—
260	—	2·0	137
270	2·0	—	—
290	0·9	1·0	257

[1] Einen anderen Kunstgriff, den E. Wiedemann (Wied. Ann., 48, S. 564, 1893) anwendete, lernte ich erst nach Fertigstellung dieser Arbeit kennen.

Da in Folge der ausgeschiedenen Kohle das Terpentinöl schon sehr dunkel erschien, wurde es hier filtrirt und dann der Versuch wiederholt, ohne dass eine Änderung eintrat. Auch Sarasin und de la Rive haben dies beobachtet (C. R. l. c.).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Man sieht, dass die Stellung des Maximums (bei 205 *cm* Distanz) bei beiden Messungen fast ganz genau stimmt. Die kleinen Abweichungen lassen sich, wie leicht gezeigt werden kann, auf nebensächliche Fehlerquellen zurückführen. Da also die durch die Ablenkung verursachte Capacitätsänderung keinen merklichen Einfluss hat, so wird im Folgenden immer durch Beobachtung der ersten Ausschläge gemessen.

Ferners war durch Versuche der Einfluss des Abstandes der Kugeln *a* und *b* zu untersuchen. Die Grösse des Maximums ist abhängig von der Distanz der Kugeln und der Stromstärke, und zwar derart, dass bei Erhöhung der letzteren auch die Kugeldistanz vergrössert werden musste.

Veränderliche Kugeldistanz bei constanter Stromstärke. Aus den vielen Versuchen, die ich hierüber anstellte und die alle das gleiche Resultat ergaben, will ich nur jene anführen, bei denen Petroleum als Dielektricum verwendet wurde. Die mittlere Stromstärke war 1·56 *A*. Die Resultate sind in folgende Tabelle eingetragen und in Fig. 2 graphisch dargestellt.

Distanz	Kugeldistanz in *mm*			
	0·32	0·64	0·80	0·96
90	5·9	—	1·5	1·25
130	4·7	3·2	3·85	4·85
140	—	—	6·25	—
145	—	—	7·0	—
150	5·7	6·0	8·35	7·5
155	—	6·3	8·2	7·7
160	—	6·0	7·9	—
170	5·4	4·1	6·5	6·5
190	5·1	1·5	2·25	2·0
200	4·3	0·9	1·65	1·35
205	—	—	1·35	—
210	5·25	1·0	1·1	1·2
230	5·1	0·8	1·0	1·0

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Das grösste Maximum ergibt sich also bei einer Distanz von 0·8 *mm*. 1·2 *mm* war die äusserste Distanz, bei der zwischen *a* und *b* noch Funken übersprangen. Diese und alle anderen Versuche, zu denen auch andere Öle verwendet wurden, zeigen, dass das höchste Maximum dann erreicht wird, wenn die Distanz der Kugeln *a* und *b* etwa $^1/_3$ unter der grössten Distanz liegt, bei der überhaupt noch Funken überspringen. Dies gilt natürlich auch, wenn der Funke durch Luft oder Gas überspringt, nur müssen dann die Distanzen bedeutend grösser sein. Darin liegt der Grund, warum die Entfernung 0·32 *mm* ein so ungünstiges Resultat lieferte; denn durch die Funken tritt immer eine Verbrennung des Öles

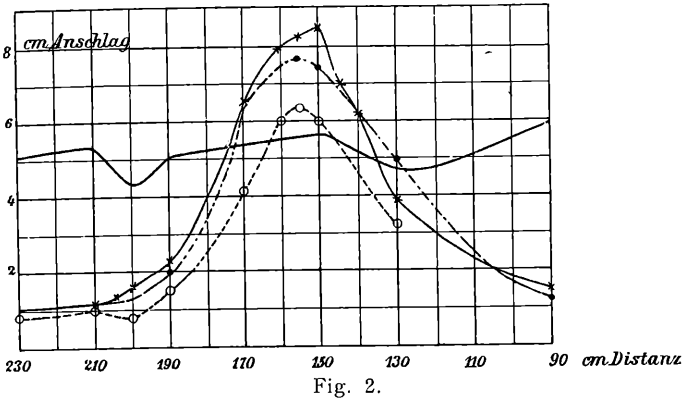

Fig. 2.

ein und die gasigen Verbrennungsproducte können bei so geringer Distanz nicht schnell genug entweichen, so dass die Funken vielfach durch Gas übersprangen. Am Elektrometer gibt sich dies immer durch ein stossweises Hinaustreiben der Lemniskate zu erkennen.

Veränderliche Stromstärke bei constanter Kugeldistanz. Obwohl die eben angeführten Versuche ganz sicher schliessen lassen, dass zu jeder Kugeldistanz eine gewisse Stromstärke gehöre, habe ich doch mehrere Versuchsreihen durchgeführt, wo ich bei constanter Kugeldistanz die Stromstärke variirte. Dieselben haben das vorige Resultat genau bestätigt. War die Stromstärke zu klein oder zu gross, so zeigte sich auch immer die Welle verflacht und erniedrigt.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

3. Verschiedene Öle.

Bei allen Versuchen, wo der Funke zwischen *a* und *b* durch Öle übersprang, zeigten sich locale Verbrennungen mit mehr minder starker Gasentwicklung. Sarasin und de la Rive, welche mit weit grösseren Distanzen (circa 7·0 *mm*) der Kugeln *a* und *b* arbeiteten, constatiren bei Petroleum sogar Entzündungen des ganzen Öles. Bei meinen Versuchen ist dieser Fall nie eingetreten, was wohl in dem sehr kleinen Funken seinen Grund haben mag, da die Mittel, deren ich mich bedienen konnte, leider bedeutend kleiner waren; sie werden aber den in physikalischen Instituten gewöhnlich zur Verfügung stehenden Grössen näher kommen.

Im Allgemeinen zeigten schon die Vorversuche, dass die flüssigeren Öle die besten Resultate lieferten.

a) Baumöl. Dieses Öl war vollständig untauglich, indem sich gar kein eigentliches Maximum constatiren liess. Der Grund mag in Folgendem liegen: Erstens können die gasigen Verbrennungsproducte der grösseren Consistenz des Öles wegen nicht rasch genug entweichen, so dass der Funke fast immer nur durch Gas überspringt; für Gas musste aber die Distanz *ab* bedeutend grösser sein, um ein ausgeprägtes Maximum zu ermöglichen. Zweitens wurde, um das Entweichen der Gasblasen zu erleichtern, die Entfernung *ab* etwas vergrössert, so trat eine um so stärkere Gasentwicklung ein und schliesslich sprang der Funke selbst bei 0·7 *mm* Distanz nicht mehr über. Der Vergleich mit anderen Ölen ergibt, dass Baumöl unter allen von mir untersuchten Ölen am besten isolirt. Ein anderer Übelstand zeigte sich erst nach länger fortgesetzten Versuchen, indem dann beide Kugeln an den einander am nächsten gegenüberstehenden Flächen ganz mit Kohle überzogen waren, ja selbst Kohlenfäden von einer Kugel zur andern gingen. Dadurch war aber eine, wenn auch schlechte, Leitung zwischen den Kugeln hergestellt[1]

---

[1] Weil der Funke längs seines Weges Kohlentheilchen ausscheidet, durchschlägt auch bei den in Öl eingelagerten Transformatoren der Funke immer leichter an solchen Stellen die Ölschicht, wo er schon einmal übergesprungen ist.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

und die Constanz des Funkens unmöglich gemacht, ein Übelstand, der auch bei vielen anderen Ölen auftritt.

b) Olivenöl. Bedeutend bessere Resultate lieferte das Olivenöl. Bei einer Kugeldistanz von 0·4 *mm* und 1·6 *A*. Stromstärke erhielt ich ein deutlich ausgesprochenes Maximum in der Entfernung 125 *cm*. Vergrösserte ich nach und nach die Kugeldistanz, so traten die schon beim Baumöl erwähnten Störungen immer häufiger ein, da dann in Folge der intensiveren Verbrennung die Gase nicht schnell genug entweichen konnten. Bei 0·7 *mm* Distanz musste ich die Versuche unterbrechen, weil der Funke fast nur mehr in Gas übersprang. Nachdem ich circa 3 Stunden experimentirt hatte, waren die beiden Kugeln an den Übergangsstellen dicht mit Kohle bedeckt und 5—6 Kohlenfäden hingen von der oberen zur unteren herab, so dass schliesslich der Funke nicht mehr die nöthige Spannung hatte, das Öl zu durchbohren und langsame Entladungen durch Convection stattfanden.

c) Paraffinöl. Mit diesem wurden schon theilweise befriedigende Resultate erzielt; doch muss man die Trübung des Öles durch ausgeschiedene Kohle und die Bildung von Kohlenfäden als misslich betonen. Dem kann man an und für sich wohl durch fleissiges Filtriren des Öles und durch starkes Umrühren theilweise abhelfen, doch läuft man da immer Gefahr, die Entfernung der Kugeln zu ändern, so dass die einzelnen Messungen nicht zusammenstimmen. Übrigens waren auch bei diesem Öle die störenden Stösse deutlich bemerkbar.

d) Terpentinöl. Ich verwendete reines, weisses Terpentinöl und erhielt dabei ganz gute Resultate. Die mittlere Stromstärke war meist 1·48—1·56 *A* und dafür hatte ich 0·5 *mm* als die günstigste Kugeldistanz gefunden. Wohl sprangen auch noch bei 1·0 *mm* einzelne Funken über, doch schon so unregelmässig, dass keine genauen Messungen gemacht werden konnten. Auch schon bei 0·7 *mm* Distanz traten Störungen ein, indem da die Welle verflacht ist, was auf ein häufiges Überspringen des Funkens in Gas schliessen lässt. Der in diesem Öle immer vorhandene Ozongehalt oxydirte ziemlich rasch die Kugeln und änderte so den Widerstand, ferner waren die Kohlenablagerungen auf beiden Kugeln beträchtlich. Diese zwei

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Gründe bewirkten, dass Messungen bei gleicher Distanz der Kugeln und gleicher Stromstärke verschiedene Resultate ergaben, je nachdem ich dieselben am Beginn oder am Schlusse einer Versuchsreihe machte; diese Differenz war zuweilen ziemlich beträchtlich. Nachdem die Funken im ganzen circa 6 Stunden lang übersprungen waren, bemerkte ich, dass beide Kugeln an der Übergangsstelle der Funken kleine Vertiefungen hatten; offenbar sind sie durch Verbrennung des Messings entstanden. Bei anderen Ölen, die nicht soviel oder kein Ozon enthalten, trat keine so auffallende Veränderung der Kugeln ein.

e) Petroleum. Um die Gefahr einer Entzündung zu verringern, wählte ich das bestraffinirte Petroleum, das sogenannte »Kaiseröl«. Die damit erhaltenen Resultate sind die besten, die ich unter allen Ölen erhalten habe. Bei einer mittleren Stromstärke von $1 \cdot 56\,A$ erwies sich, wie schon erwähnt, die Distanz $0 \cdot 8\,mm$ als die günstigste. Die mit Petroleum erreichten Maxima zeichnen sich nicht so sehr dadurch aus, dass sie grösser sind als die mit Luft, Terpentinöl etc. erreichten, als durch ihre Constanz und Regelmässigkeit, so dass das Petroleum als das geeignetste Öl für derlei Versuche erscheint.

Störungen durch abgelagerte Verbrennungsproducte kamen selbst dann nicht vor, wenn ich den Apparat durch drei Stunden functioniren liess, ohne die Kugeln zu reinigen. Die Ausscheidung von Kohle ist beim Petroleum eben sehr gering und so bleibt auch das Öl fast ganz rein, wodurch das lästige Filtriren wegfällt. Dann möchte ich noch als Vorzug des Petroleums erwähnen, dass es die Oberflächen der Kugeln nicht im geringsten angreift.

Aus dem Ganzen sieht man also, dass von allen diesen Ölen Petroleum am meisten geeignet ist, bei Erzeugung Hertz'scher Wellen als Dielektricum zu dienen, in welchem der Primärfunke überspringt.

4. Änderung der Länge des primären und secundären Stromkreises.

Nachdem durch die vorausgehenden Versuche ein Dielektricum gefunden war, welches eine genaue und bequeme

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Beobachtung des Verlaufes der Hertz'schen Wellen zulässt, untersuchte ich noch anhangsweise den Einfluss der Drahtlängen des primären und secundären Stromkreises.

1. Die Drähte I und II hatten eine Länge von 490 *cm*. Um den Einfluss kennen zu lernen, welchen die Länge der Drähte p und q auf die Lage und Höhe des Maximums hat, nahm ich für dieselben folgende Längen: 60, 100, 125, 150, 160, 170, 187, 200 und 250 *cm*. Vergleichshalber wurde ein paarmal Terpentinöl statt Petroleum genommen.

Erste Versuchsreihe.

Dielektricum: Terpentinöl. Stromstärke 1·54 *A*.

Drahtlänge	60	100	150	250
Maximum bei	173	161	144	86
Höhe des Maximums	4·3	5·1	5·6	4·35

Im Allgemeinen sieht man also, dass das Maximum gegen B hinwandert, wenn p und q länger werden, und dass zuerst ein Ansteigen, dann ein Sinken des Maximums auftritt.

Zweite Versuchsreihe.

Dielektricum: Petroleum. Stromstärke 1 55 *A*.

Drahtlängen.	100	125	150	170
Maximum bei	164	154	143	137
Höhe des Maximums	6·1	6·45	6·6	6·6

Dritte und vierte Versuchsreihe.

Dielektricum: Petroleum. Stromstärke 1·54 *A*.

Drahtlängen	160	170	187	200
Maximum bei	145	137	128	122
Höhe des Maximums	6·55	6·5	6·35	5·4

Aus den mitgetheilten Resultaten folgt, dass das Maximum am grössten ist, wenn p und q circa 160 *cm* lang sind; das Maximum ist dann 145 *cm* von B entfernt.

2. Um diese Resultate prüfen zu können, wurden dieselben Untersuchungen bei anderen Längen des secundären Kreises angestellt. Ich theile hier zwei Versuchsreihen mit.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Fünfte Versuchsreihe.

Petroleum. Stromstärke 1·52 *A*; secundärer Kreis 390 *cm* lang.

Drahtlängen.	125	160	170	200
Maximum bei	105	87	81	62
Höhe des Maximums	6·85	7·4	7·4	7·0

Für das grösste Maximum hat sich also die Länge der Zuleitungsdrähte *p* und *q* nicht geändert, dafür desto mehr der Abstand des Maximums von *B*, welcher hier nur mehr circa 85 *cm* ist.

Sechste Versuchsreihe.

Petroleum. Stromstärke 1·48 *A*; secundärer Kreis 340 *cm* lang.

Drahtlängen..	150	160	170
Maximum bei	72	67·5	55
Höhe des Maximums	4·5	4·75	4·7

Auch hier haben *p* und *q* die gleiche Länge wie früher, während das Maximum bei 60 *cm* steht.

Bei der von mir getroffenen Versuchsanordnung ist also das grösste Maximum dann vorhanden, wenn jeder der Zuleitungsdrähte *p* und *q* 160 *cm* lang ist; dies gilt innerhalb der untersuchten Grenzen für jede Länge der Drähte I und II. So lange der primäre Stromkreis so liegt, dass die Condensatoren ungefähr in der Mitte der Primärströmung stehen, ändert sich die Grösse des Maximums verhältnissmässig sehr wenig.

Vergleicht man alle sechs Versuchsreihen mitsammen, so lässt sich mit ziemlicher Sicherheit schliessen, dass die Verschiebung der Maxima ungefähr gleich der Hälfte der Änderung der Zuleitungsdrähte ist; die Abweichungen glaube ich als zufällige Störungen ansehen zu können.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1893

Band/Volume: 102_2a

Autor(en)/Author(s): Bauernberger Hermann

Artikel/Article: Über die Stärke elektrischer Wellen, wenn der Primärfunke in Öl überspringt. 782-792