

Elektrische Festigkeit von Kunststoff-
stoffolien

(Electric Strength of Insulation
foils)

J. Deleplanque

IPP 4/19

Decembre 1965

I N S T I T U T F Ü R P L A S M A P H Y S I K

G A R C H I N G B E I M Ü N C H E N

INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

GARCHING BEI MÜNCHEN

Elektrische Festigkeit von Kunststoff-
stofffolien

(Electric Strength of Insulation
foils)

J. Deleplanque

IPP 4/19

Decembre 1965

Die nachstehende Arbeit wurde im Rahmen des Vertrages zwischen dem Institut für Plasmaphysik GmbH und der Europäischen Atomgemeinschaft über die Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Plasmaphysik durchgeführt.

Abstract

The following work concerns the measurements of the breakdown strength of insulation foils with high voltages applied for short-times and also for duration of approximately one-minute. The results are collected together in the graphs.

The following foils were tested:

Polyäthylene (polythene)	190	/um	thick
"	210	/um	"
Hostaphan	30	/um	"
"	78	/um	"
"	130	/um	"
Trovidur (P.V.C.)	500	/um	"

The influence on the measurement of different samples, electrode shape, imposed electrode pressure etc. is reported and the breakdown strength of Hostaphan was measured as a function of foil thickness and that of Trovidur as a function of endurance time.

I n h a l t

- I. Einführung
Durchschlagarten
Genauigkeit der Messungen

- II. Versuchsaufbau
Beschreibung
Wahl der Elektroden
Vergleich der 50 mm \emptyset und 10 mm \emptyset - Kugelelektroden
Wechseln und Polieren der Elektroden
Zahlen der möglichen Messungen mit denselben Elektroden ohne Polieren
Gewicht der Elektroden
Einfluß der Temperatur
Einfluß des Öles
Einfluß der Spannungssteigerung
Einfluß der Vorbehandlung der Proben

- III. Ergebnisse
Bestimmung der Kurzzeit-Durchschlagfeldstärke (Diagramme)
Die Streuung
Bestimmung der Einminuten-Stehspannung (Ergebnisse, Diagramme)
Abhängigkeit der Durchschlagfestigkeit von der Zeit

Einfluß der Dicke
Bestimmung einer bevorzugten Richtung
Einfluß einer schon früher angelegten Spannung
Form des Kanals

- IV. Zukünftige Arbeiten

- V. Literatur

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Messung von Kurzzeit-Durchschlagfeldstärke an Kunststofffolien, sowie der Einminuten-Stehspannung. Diese Ergebnisse sind in Diagrammen zusammengefaßt. Folgende Folien standen zur Verfügung:

Polyäthylen	190	/um	stark
"	210	/um	"
Hostaphan	30	/um	"
"	78	/um	"
"	130	/um	"
Trovidur	500	/um	"

Neben dem untersuchten Einfluß verschiedener Faktoren, wie Elektrodenform, Auflagedruck usw. auf die Messungen, wurde von Hostaphan die Durchschlagfeldstärke als Funktion der Dicke aufgenommen und an Trovidur die Durchschlagfestigkeit in Abhängigkeit einer vorher angelegten Spannung festgestellt.

I. Einführung

Durchschlagarten

Es gibt vier verschiedene Gründe, die zum Durchschlag in Isolierstoffen führen können. Deshalb sind vier verschiedene Durchschläge definiert:

Der rein elektrische Durchschlag, der von einer durch ein elektrisches Feld erzeugten Elektronenlawine bewirkt wird,

Der Wärmedurchschlag, bei dem die Zerstörung des Isolierstoffes durch eine Temperaturerhöhung erfolgt,

Der Innenentladungsdurchschlag durch ionisierte Gaseinschlüsse im Isolierstoff,

Der elektrochemische Durchschlag durch chemische Materialzersetzung.

Die zwei Letzteren können in den drei untersuchten Kunststoffen fast nicht auftreten, da diese nahezu rein und ziemlich homogen sind.

Es ist sehr schwer, einen rein elektrischen Durchschlag von einem Wärmedurchschlag zu unterscheiden. Obwohl die Wärmedurchschlagsspannung normalerweise niedriger ist, verhindert die große Streuung die genaue Grenze zwischen den beiden Durchschlagsarten zu bestimmen.

Es ist auch unmöglich, mit Hilfe der Form der Kanäle die Durchschlagsarten zu erkennen. Normalerweise sollten bei den hier untersuchten Folien mit hohem Isolierwiderstand bei der Prüfung mit Gleichspannung keine Wärmedurchschläge auftreten.

In der Literatur definiert man den rein elektrischen Durchschlag als die Ausschließung der anderen Durchschläge.

Genauigkeit der Messungen

Die Spannung U wird mit einem elektrostatischen Voltmeter Klasse 1,0 und umschaltbaren Meßbereichen von 100 kV, 50 kV und 20 kV gemessen, die Dicke d mit einem normalen Mikrometer auf 5 µ genau ermittelt.

$$\text{Fehler in \%} = \frac{\Delta E}{E} \cdot 100 = \left(\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta d}{d} \right) \cdot 100$$

Demzufolge ist:

Polyäthylen	190 µ ±	4 %
Hostaphan	30 µ ±	21 %
Hostaphan	78 µ ±	9 %
Hostaphan	130 µ ±	5 %
Trovidur	500 µ ±	4 %

Diese Genauigkeit ist allerdings nicht so ausschlaggebend, Hostaphan 30 µ ausgenommen, da die Streuung der Messungen viel größer ist.

II. Versuchsaufbau

Beschreibung

Die von einem Gleichrichter (Zeiss HA 150/RP oder HA 60/RP) gelieferte Spannung wird über einen Wasserwiderstand von etwa 150 MΩ an zwei kugelförmige Elektroden gelegt. Die beiden Elektroden werden in Transformatoröl getaucht und die Spannung mit einem elektrostatischen Voltmeter gemessen.

Die Proben (12 cm breit) können durch einen Rahmen zwischen den beiden Elektroden gezogen werden.

Wahl der Elektroden

Die aus Messing bestehenden Elektroden sind Kugel-Platten oder sogenannte Rogowski-Elektroden. Sie werden so dimensioniert, daß sie die Vorschriften der V.D.E. mit ihren eigenen Gewichten erfüllen.

Für dünnere Folien unter Öl können nur Kugelelektroden gebraucht werden. Platten- und Rogowski-Elektroden können auf der Folie nicht festgelegt und in die Folie nicht eingebettet werden.

Die Kugeln sollen 50 oder 30 mm Durchmesser haben, für dünnere Folien 10 oder 5 mm.

Um die Grenze zwischen dicken und dünneren Folien zu definieren, wurden 50 mm Ø und 10 mm Ø Kugelelektroden verglichen.

Vergleich der 50 mm Ø und 10 mm Ø - Kugelelektroden

An Trovidur 500 µ wurden 68 Messungen mit den 50 mm Ø - Elektroden und 124 mit den 10 mm Ø gemacht.

	Mittelwerte			Streuung der Feldstärke		Streuung der Dicke
	U kV	d µ	E kV/mm	> ± 10%	> ± 5%	± 2%
50 mm Ø	37,7	526	71,8	20,5 %	48,5 %	16,1 %
10 mm Ø	38,2	528	72,3	26 %	51 %	27,8 %

Der Unterschied in der Feldstärke ist 0,5 kV/mm.

Wenn man mit

$$\frac{\Delta E}{E} \cdot 100 = \left(\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta d}{d} \right) \cdot 100 = \left(\frac{0,5}{37} + \frac{5}{527} \right) \cdot 100 = 2,3 \%$$

rechnet, sieht man, daß der Feldstärke-Unterschied in Abhängigkeit vom Kugeldurchmesser kleiner ist als die Meßgenauigkeit.

Die Messungen an den 50 mm Ø - Elektroden streuen weniger als die an den 10 mm Ø - Kugelelektroden.

20,5 % der Werte sind > ± 10% des Durchschnitts bei 50 mm Ø - Kugeln, 26% bei 10 mm Ø - Kugeln.

Einfluß der Temperatur

Die Temperatur des Öles wurde nach 220 Durchschlägen gemessen, und wie zu erwarten war, konnte keine sichtbare Temperaturänderung festgestellt werden. Der Unterschied der Temperatur der Umgebung zwischen 18°C und 21°C hat in diesem kleinen Bereich keinen Einfluß.

Einfluß des Öles

Die Durchschlagsspannung wird durch Ölverschmutzung geringfügig vermindert. Dieser Einfluß liegt aber innerhalb der Meßgenauigkeit. Man sollte die 8 Liter Öl etwa nach 300 bis 400 Messungen wechseln.

Einfluß der Spannungssteigerung

Die VDE-Vorschriften für die Spannungssteigerung besagen, daß bei der Hälfte der zu erwartenden Durchschlagsspannung begonnen werden soll und dann die Spannung bis zum Durchschlag um 0,5 bis 1 kV/sec zu steigern ist. Diese für Wechselspannung geltende Vorschrift konnte mit dem für den Versuch benutzten Gleichrichter nicht erfüllt werden. Es wurde das folgende Verfahren angewendet:

An Polyäthylen 210 μ wird die Spannung stufenweise gesteigert. Jede Stufe dieses Gleichrichters entspricht 11,5 kV. Der höchste Wert ist 7,5 sec pro Stufe oder ca. 1,7 kV/sec. Die immer gleiche Spannungssteigerung hat zum großen Teil die Streuung verkleinert, wie die Messungen an den beiden Polyäthylenen ergeben. Die Spannungssteigerung für Polyäthylen 190 μ wurde ohne besondere Sorgfalt gemacht.

Einfluß der Vorbehandlung der Proben

Die 12 cm breiten Proben werden in parallelen Streifen aus der Folie geschnitten, dann mit Methanol und Trichloräthylen gereinigt. Einige wurden für 2, 24 oder 72 Stunden in Öl getaucht ohne sichtbaren Einfluß. Die Feuchtigkeit der Probe unter Öl spielt keine Rolle.

III. Ergebnisse

Bestimmung der Kurzzeit-Durchschlagfeldstärke (Diagramme)

Kugel-Elektroden 10 mm ϕ , Gewicht 200 g
 50 mm ϕ , Gewicht 550 g
Spannungssteigerung 1,7 kV/sec.

Polyäthylen 190 μ (vgl. Bild 1)

Durchschlagsspannung (kV)	65	70	75	80	85	90	95	100
Durchschlagfeldstärke (kV/mm)	342	368	395	420	447	472	500	525
Anzahl der Durchschläge	6	11	5	13	21	17	17	16
Durchschläge %	5,6	10,4	4,7	12,3	19,8	16,0	16,0	15,1
Häufigkeitssummen %	5,6	16,0	20,7	33,0	52,8	68,8	84,8	99,9

Mittlere Durchschlagsspannung = 82 kV
Mittlere Durchschlagfeldstärke = 425 kV/mm
Mittlere Dicke = 193 μ
Streuung = \pm 25 %

Polyäthylen 210 μ (vgl. Bild 1)

Durchschlagspannung (kV)	90	95	100	105	110	115	120
Durchschlagfeldstärke (kV/mm)	430	452	475	500	525	550	570
Anzahl der Durchschläge	4	2	17	19	8	3	2
Durchschläge %	7,3	3,6	31	34,5	14,5	5,4	3,6
Häufigkeitssummen %	7,3	10,9	41,9	76,9	90,9	96,4	100

Mittlere Durchschlagspannung = 103 kV
 Mittlere Durchschlagfeldstärke = 488 kV/mm
 Mittlere Dicke = 211 μ
 Streuung = $\pm 16\%$

Hostaphan 30 μ (vgl. Bild 1)

Durchschlagspannung (kV)	15	16	17	18
Durchschlagfeldstärke (kV/mm)	500	535	567	600
Anzahl der Durchschläge	1	9	24	12
Durchschläge %	2,2	19,6	52,1	26,1
Häufigkeit	2,2	21,7	73,9	100

Mittlere Durchschlagspannung = 17 kV
 Mittlere Durchschlagfeldstärke = 566 kV/mm
 Mittlere Dicke = 30 μ
 Streuung = $\pm 12\%$

Hostaphan 78 μ (vgl. Bild 1)

Durchschlagspannung (kV)	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49
Durchschlagfeldstärke (kV/mm)	372	398	423	450	475	500	525	550	576	602	630
Anzahl der Durchschläge	2	4	5	11	7	14	31	25	13	9	1
Durchschläge %	1,6	3,3	4,1	9,0	5,7	11,5	25,4	20,6	10,7	7,4	0,8
Häufigkeitssummen %	1,6	4,9	9,0	18	23,8	35,3	60,7	81,2	91,9	99,2	100

Mittlere Durchschlagspannung = 41 kV
 Mittlere Durchschlagfeldstärke = 513 kV/mm
 Mittlere Dicke = 80 μ
 Streuung = $\pm 25\%$

* Enthält Werte aus Literatur und Voreinstellungen

Hostaphan 130 μ (vgl. Bild 1)

Durchschlagspannung (kV)	55	57	59	61	63	65	67	69
Durchschlagfeldstärke (kV/mm)	422	439	454	470	485	500	515	530
Anzahl der Durchschläge	2	5	7	18	12	4	2	1
Durchschläge %	3,9	9,8	13,7	35,3	23,5	7,8	3,9	1,9
Häufigkeitssummen %	3,9	13,7	27,4	62,7	86,2	94,0	97,9	99,9

Mittlere Durchschlagspannung = 62 kV
 Mittlere Durchschlagfeldstärke = 477 kV/mm
 Mittlere Dicke = 130 μ
 Streuung = ± 11 %

Trovidur 500 μ (vgl. Bild 2)

Durchschlagspannung (kV)	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47
Durchschlagfeldstärke (kV/mm)	58	62	66	70	74	78	82	86	90	94
Anzahl der Durchschläge	1	2	17	45	40	50	13	17	5	2
Durchschläge %	0,5	1,0	8,8	23,4	20,8	26,0	6,8	8,8	2,6	1,0
Häufigkeitssummen %	0,5	1,6	10,4	33,8	54,6	80,6	86,4	96,3	98,9	99,9

Mittlere Durchschlagspannung = 38 kV
 Mittlere Durchschlagfeldstärke = 72 kV/mm
 Mittlere Dicke = 527 μ
 Streuung = ± 17 %

Die Streuung

Die vorhandene Streuung in Prozent wird aus der größten Abweichung (auch gegebener Werte)* errechnet.

$$\frac{X_o - X_{\max}}{X_o} \cdot 100 = \text{Streuung in \%}$$

Die Häufigkeitssummen der Durchschläge in Abhängigkeit von der Feldstärke E zeigen den Einfluß der Polindicke d.

Die Reihenfolge der Messungen war:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| 1) Polyäthylen 190 μ | 2) Hostaphan 78 μ |
| 3) Hostaphan 30 μ | 4) Trovidur 500 μ |
| 5) Hostaphan 130 μ | 6) Polyäthylen 210 μ |

Durch die Verbesserung des Elektrodengleichgewichts, der Spannungssteigerung und des Polierens der Elektroden wird die Streuung nach den ersten Versuchen verkleinert.

* Enthält Werte aus Literatur und Firmenangaben

Bestimmung der Einminuten-Stehspannung

Die VDE-Vorschriften geben zwei verschiedene Wege an:

Bestimmung der Einminuten-Stehspannung.

- a) Die ungefähr 1 Minute dauernde Spannung soll in voller Höhe an eine Probe gelegt werden und mit einer Stoppuhr soll die Zeit bis zum Durchschlag gemessen werden.
- b) Die halbe zu erwartende Durchschlagsspannung soll angelegt werden und nach jeder vollen Minute soll die Spannung stufenweise bis zum Durchschlag gesteigert werden.

Von diesen beiden Methoden ist für dünnere Folien keine anwendbar. Bei der Messung nach a) erfolgt der Durchschlag auf der Stelle, bei der Messung nach b) ergibt sich keine Kurve, sondern nur ein Vergleich von Punkten. Deshalb wird die halbe Spannung sofort angelegt und dann stufenweise ungefähr um 11,5 kV je 7,5 sec gesteigert, bis zu einem bestimmten Wert, bei dem die Zeit bis zum Durchschlag gemessen wird.

Ergebnisse (Diagramme)

Für jedes kV unter dem schon gefundenen Durchschnitt werden mehrere Messungen durchgeführt, deren Mittelwert verwendet wird.

Hostaphan 30 (vgl. Bild 3)	58 Messungen von 15 - 11 kV 3 - 120 sec 390 kV/mm nach 1 min.
Hostaphan 130 (vgl. Bild 4)	95 Messungen von 60 - 45 kV 7 - 500 sec 410 kV/mm nach 1 min.
Trovidur 500 (vgl. Bild 5)	165 Messungen von 36 - 22 kV 2 - 300 sec 46 kV/mm nach 1 min.

Nach 1 min. Stehspannung sinkt die Durchschlagfestigkeit

bei Hostaphan 30 μ	um 31 %
bei Hostaphan 130 μ	um 20 %
bei Trovidur 500 μ	um 36 %

Abhängigkeit der Durchschlagfestigkeit von der Zeit

Die aus den Kurven hervorgehende Abhängigkeit ist ungefähr exponentiell, aber auch hier ist die Streuung zu groß und die Zahl der Messungen zu klein, um ein sicheres Ergebnis zu liefern.

Einfluß der Dicke

Literatur: In der Literatur findet man für die Durchschlagsspannung viel niedrigere Werte:

Polyäthylen	100 kV/mm
Hostaphan	160 kV/mm
Trovidur	30 kV/mm

Der Unterschied hat mehrere Gründe:

Die in der Literatur angegebenen Werte sind die jeweils niedrigsten, so daß sie sicher benutzt werden können.

Die Versuche wurden (nach V.D.E.) mit Wechselspannung 50 Hz gemacht. Die Dicke ist meistens 1 mm, und die Durchschlagfestigkeit ist abhängig von der Dicke.

(Fröhlich [1] und Whitehead [2]: $F \text{ (V/cm)} = \frac{m \cdot v}{e \cdot \tau} \frac{1}{\log(L/\tau v)}$)

F = elektrische Feldstärke
e = Elektronenladung
m = Elektronenmasse
v = Elektronengeschwindigkeit für die Ionisation
L = Dicke des Dielektrikums
 τ = Relaxationszeit * des Leistungselektrons

Diagramm $E = f(d)$ (siehe Bild 6)

Die drei untersuchten Hostaphane verschiedener Dicke wurden von der gleichen Firma geliefert und sollten deshalb vergleichbare Materialeigenschaften besitzen. Die beiden geprüften Polyäthylene haben verschiedene Hersteller und können deshalb unterschiedliche Zusammensetzung haben.

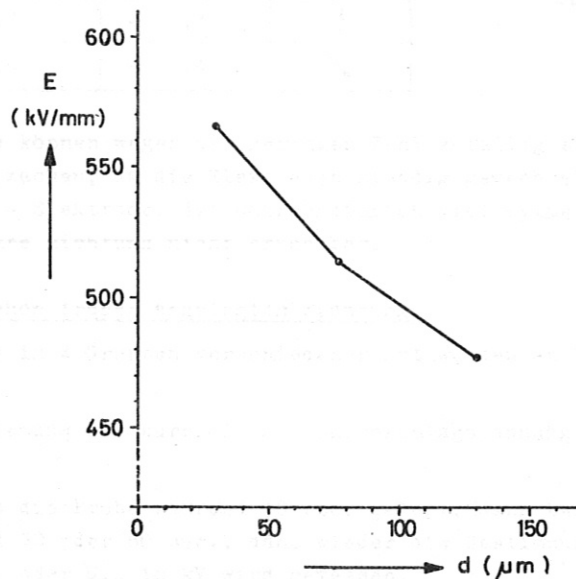


Bild 6 - Durchschlagfeldstärke der drei untersuchten Hostaphane in Abhängigkeit von der Foliendicke d

Bestimmung einer bevorzugten Richtung

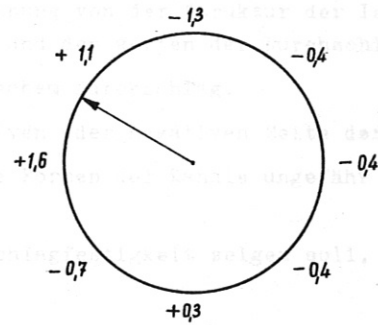
Eine Elektrode wird zwischen jeder Messung um 45° gedreht. Es wird vermutet, daß die Elektroden nicht ganz symmetrisch sind. Daher könnten Inhomogenitäten des elektrischen Feldes auftreten, die es in einer Richtung stärker als in der anderen werden lassen.

Durch Polarisation können im Isolierstoff Vorzugsrichtungen entstehen. Die Durchschlagfestigkeit wird dann erhöht, wenn Feldinhomogenität und Polarisierungseffekt zusammenfallen.

Aus 68 Messungen an Trovidur 500 μ mit 50 mm \emptyset - Elektroden wurden folgende Ergebnisse gefunden:

* Mittlere Zeit zwischen zwei Stoßereignissen eines Elektrons

Zahl der Messungen	Durchschnitt in kV	Abweichung	Richtung
8	39,6	+ 1,6	←
11	37,6	- 0,4	↗
10	38,3	+ 0,3	↓
7	39,1	+ 1,1	↘
8	37,6	- 0,4	→
10	37,3	- 0,7	↙
8	36,7	- 1,3	↑
6	37,6	- 0,4	↖



Diese Ergebnisse können wegen der geringen Zahl zufällig sein, aber es ist sehr schwierig mehr Messungen zu machen, da die Elektroden ständig gewechselt und poliert werden müssen. Mit der 10 mm ϕ - Elektrode, die wahrscheinlich viel symmetrischer ist, ist eine solche geringe bevorzugte Richtung nicht erkennbar.

Einfluß einer schon früher angelegten Spannung

100 Durchschläge in 4 Gruppen verschiedener Art wurden an Trovidur mit 30 mm ϕ - Elektroden gemacht:

- 1) Normale Bestimmung der kurzzeitigen Durchschlagspannung U (kV) und E (kV/mm) werden gemessen.
- 2) $\frac{2}{3}$ U werden an die Probe während 30 sec. gelegt, dann keine Spannung (Elektroden an Erde) während 30 oder 60 sec., dann wieder die Bestimmung der kurzzeitigen Durchschlagspannung. U_{30} oder U_{60} in kV wird gemessen.
- 3) Stehspannung: $\frac{2}{3}$ U wird an die Probe bis zum Durchschlag gelegt. Die Zeit t wird gemessen.
- 4) $\frac{2}{3}$ U wird an die Probe während $\frac{t}{3}$ Sekunden gelegt, dann keine Spannung (Elektroden an Erde) während $\frac{t}{2}$ oder t Sekunden, und dann wieder die Stehspannung bis zum Durchschlag. Die Zeit $\frac{t}{2}$ oder t wird gemessen.

Die Ergebnisse sind im Mittel:

Ruhezeit	ohne	30 sec	60 sec
Durchschlagspannung	43 kV	37 kV	41,5 kV
Durchschlagfeldstärke	85 kV/mm	73 kV/mm	80 kV/mm
Zeit bis zum Durchschlag	62 sec	10 sec	48 sec

Wird vor der Messung kurzzeitig eine Spannung an den zu untersuchenden Isolierstoff gelegt, so kann dadurch dessen Durchschlagfestigkeit vermindert werden. Das hat nichts mit der Wirkung einer Stoßspannung zu tun, weil die Spannungssteigerung sehr langsam ist und es keine Schwingung gibt. Bei der Weiterarbeit sollte man verschiedene Ruhezeiten und verschiedene Beanspruchungszeiten untersuchen.

Form des Kanals

Man könnte vermuten, daß mit Hilfe eines Mikroskopes einige Punkte klarer werden könnten; z.B.:

Die Abhängigkeit der Streuung der Durchschlagspannung von der Struktur der Isolierstoffe, durch Beziehungen zwischen den Formen der Kanäle und den Werten der Durchschlagspannung.

Eine Differenzierung zwischen Wärme- und elektrischem Durchschlag.

Der Einfluß von Luftbläschen im Öl und der positiven oder negativen Seite der Proben.

Die Streuung der Durchschlagspannung ist für alle Formen der Kanäle ungefähr gleich und man kann keine Beziehungen feststellen.

Der Wärmedurchschlag, der eine niedrigere Durchschlagfestigkeit zeigen soll, hängt auch nicht von den Formen ab.

Kleiner Punkt (Aufnahmen 1, 2 und 3)

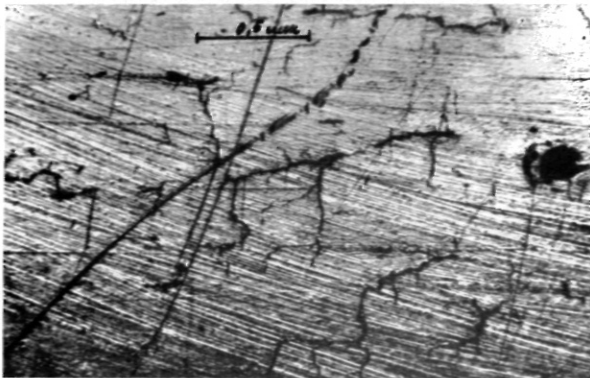
Durchmesser: Hostaphan 0,3 mm
Trovidur 50 μ m

Diese Form ist die gewöhnlichste (40% bis 50%) und charakterisiert einen ohne Kriechströme erzeugten Durchschlag.

Aufnahmen 1 (Hostaphan 130 μ)

E = 415 kV/mm 40 Durchschläge

positive Seite



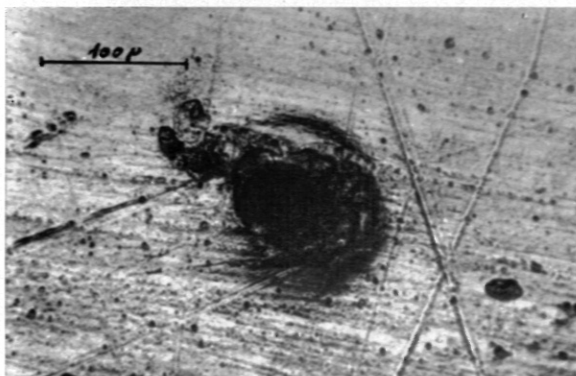
negative Seite



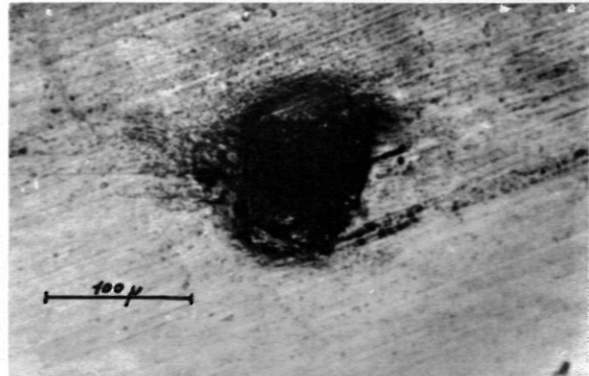
Aufnahmen 2 (Hostaphan 75 μ)

E = 470 kV/mm 256 Durchschläge

positive Seite



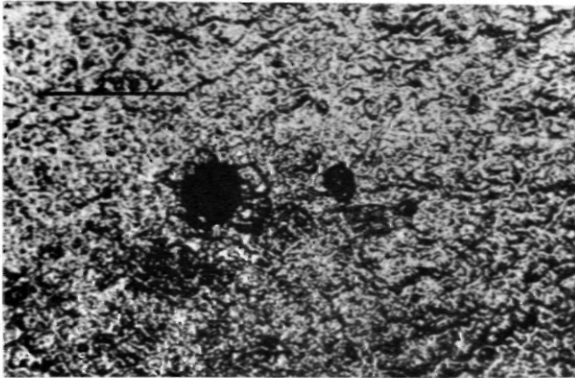
negative Seite



Aufnahmen 3 (Trovidur 535 μ)

E = 80 kV/mm 256 Durchschläge

positive Seite



negative Seite



Großer Punkt (Aufnahmen 4, 5)

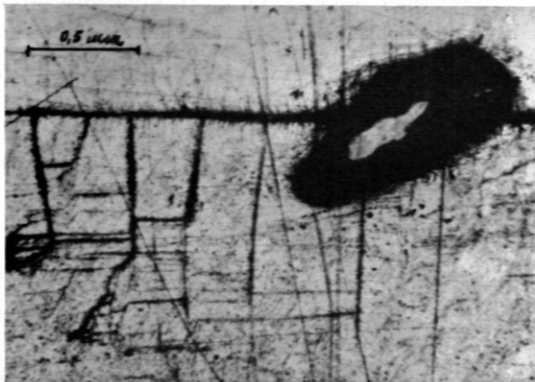
Durchmesser: Hostaphan 0,5 bis 1 mm
Trovidur 200 bis 300 μ m

Um den Kanal herum ist der Isolierstoff aufgeweitet oder zerstört, aber nicht verbrannt. Diese Kanäle stellen nicht unbedingt Wärmedurchschläge dar, weil die Zerstörungen sehr leicht nach dem Durchschlag erzeugt werden können.

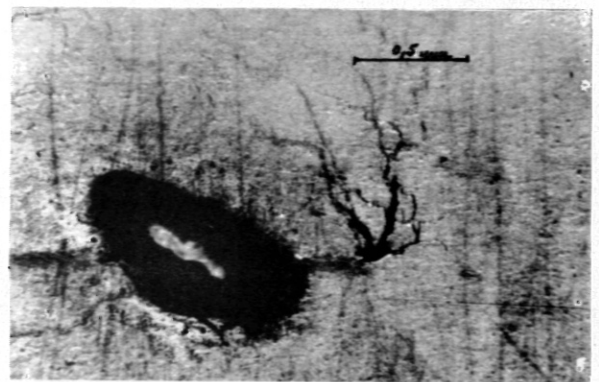
Aufnahmen 4 (Hostaphan 125 μ)

E = 528 kV/mm 40 Durchschläge

positive Seite



negative Seite

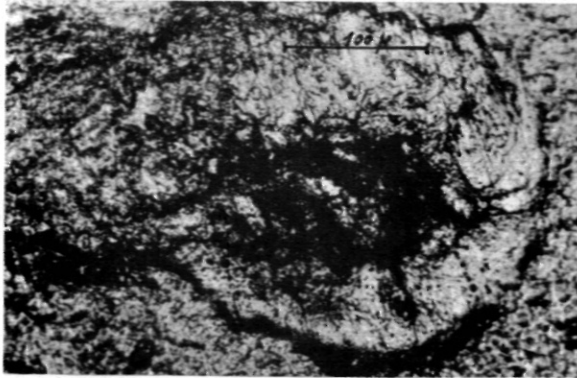


Aufnahmen 5 (Trovidur 535 μ)

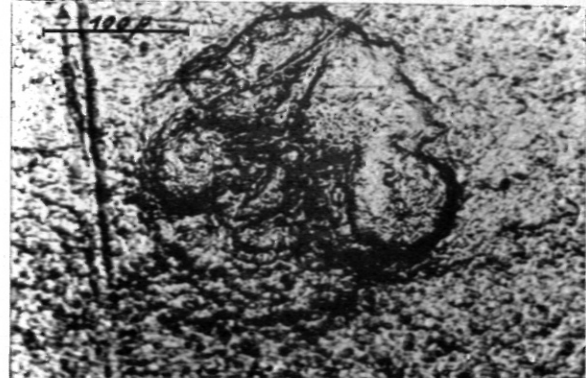
- 15 -

E = 78 kV/mm 256 Durchschläge

positive Seite



negative Seite



Punkt mit Verästelung (Aufnahmen 6, 7, 8, 9)

Die Verästelungen können bis 5 mm lang sein, aber im allgemeinen liegen sie zwischen 0,1 und 1 mm.

Sie können auch:

auf beiden Seiten der Folie (positive und negative)

nur auf einer Seite (Aufnahme 6)

in einzelnen Bahnen (Aufnahme 7)

oder zusammengesetzt (Aufnahme 8 und 9) auftreten.

Aus der Aufnahme 9 ersieht man, wie diese Verästelungen erzeugt werden. Die Beanspruchung durch die angelegte Spannung liefert kleine Wege (die schon auf der Aufnahme 1 sichtbar sind), die durch Ionisation einiger Luftbläschen vergrößert werden und dann Kriechströme mit entsprechenden Strombahnen erzeugen.

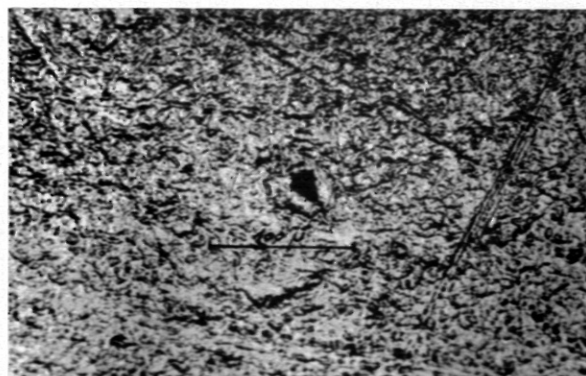
Aufnahmen 6 (Trovidur 520 μ)

E = 73 kV/mm 256 Durchschläge

positive Seite



negative Seite

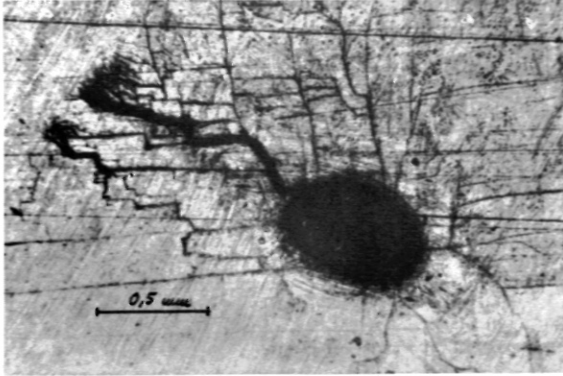


Aufnahmen 7 (Hostaphan 125 μ)

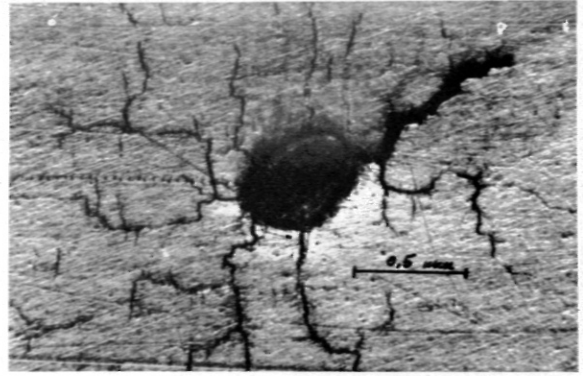
- 16 -

E = 520 kV/mm 40 Durchschläge

positive Seite



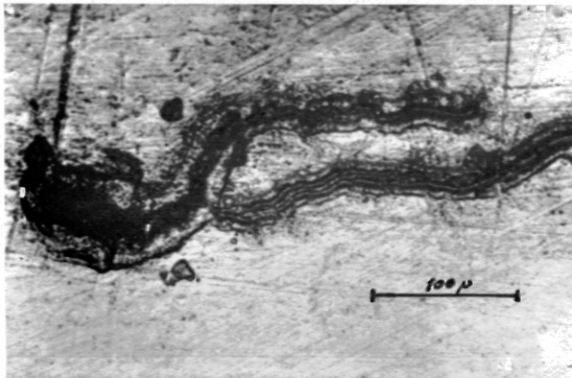
negative Seite



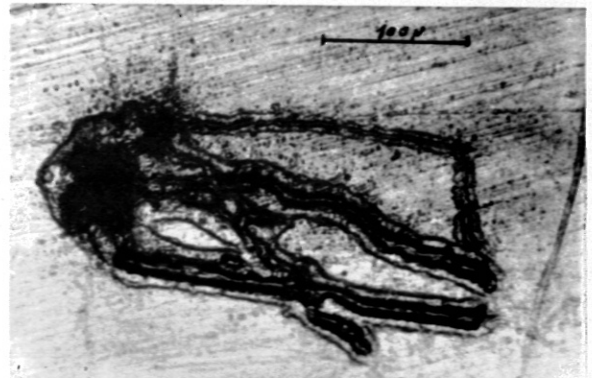
Aufnahmen 8 (Hostaphan 77 μ)

E = 460 kV/mm 256 Durchschläge

positive Seite



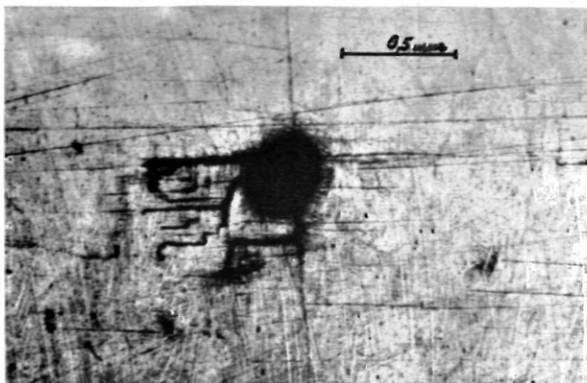
negative Seite



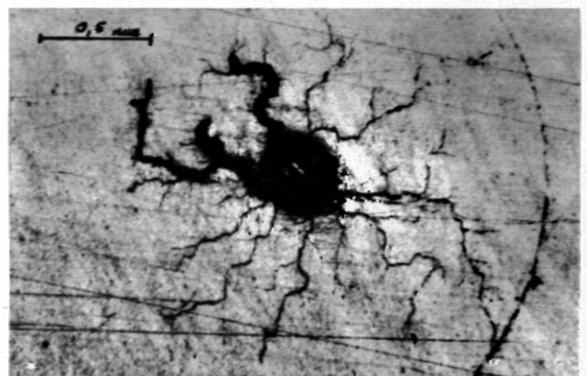
Aufnahmen 9 (Hostaphan 125 μ)

E = 487 kV/mm 40 Durchschläge

positive Seite



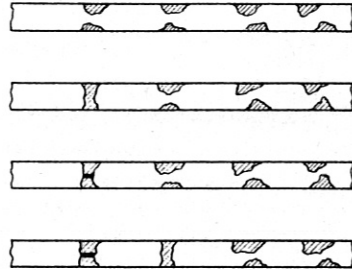
negative Seite



Mehrere Kanäle

Es können mehrere Kanäle gleichzeitig weit voneinander entfernt (bis 2 mm) erzeugt werden. Die Aufnahme 10 zeigt eine Gruppe von Kanälen, die eine Fläche der Folie zusammen zerstört hat (am selben Durchschlag gab es noch eine andere Gruppe von Kanälen, die zu weit war, um zusammen mit der ersten aufgenommen werden zu können).

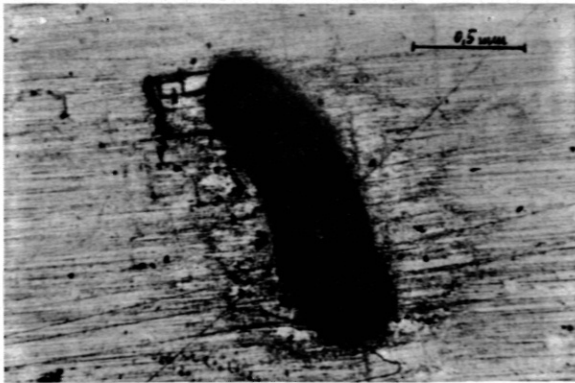
Wahrscheinlich sind zuerst mehrere schwache Punkte erzeugt worden. Dann wurde ein Punkt durchgeschlagen. Aber unter chemischer Einwirkung (Oxydation ...) wurde dieser Kanal widerstandsfähiger und eine zweite schwache Stelle wurde durchgeschlagen usw.



Aufnahme 10 (Hostaphan 130 μ)

E = 507 kV/mm 40 Durchschläge

positive Seite



IV. Zukünftige Arbeiten

Zur Verbesserung der Statistik ist eine grosse Zahl von Messungen erforderlich. Man sollte deshalb automatische, schnellere Meßverfahren entwickeln. Zur Verminderung der Meßwertstreuung wäre folgendes vorzusehen:

- Überwachung des Elektrodengewichtes
- Überwachung des Spannungsanstiegs als Funktion der Zeit
- selbsttätiger Probenwechsel
- schrittweise Drehung der Elektroden zwischen den Versuchen
- automatische Registrierung der Versuchsergebnisse.

Folgende Daten sind zu erfassen:

- | | |
|---|---|
| Durchschlagfestigkeit in Abhängigkeit der Öleigenschaften | |
| " | " der Zeit der Spannungsbeanspruchung |
| " | " der Polarisierung |
| " | " der Vorzugsrichtung des Isolierstoffes |
| " | " der Temperatur bis zu tiefen Temperaturen hin |

Ausserdem wäre der Zusammenhang zwischen der Form der Durchschlagkanäle und der Durchschlagspannung zu klären. Es wäre der Durchschlagstrom zu messen und die Durchschlagzeit zu ermit-

teln. Diese Versuche sind sowohl mit Stoßspannungen unterschiedlichen Zeitverlaufs als auch mit Wechselfspannungen der in Frage kommenden Frequenzen unter mechanischer und chemischer Beanspruchung durchzuführen.

V. Literatur

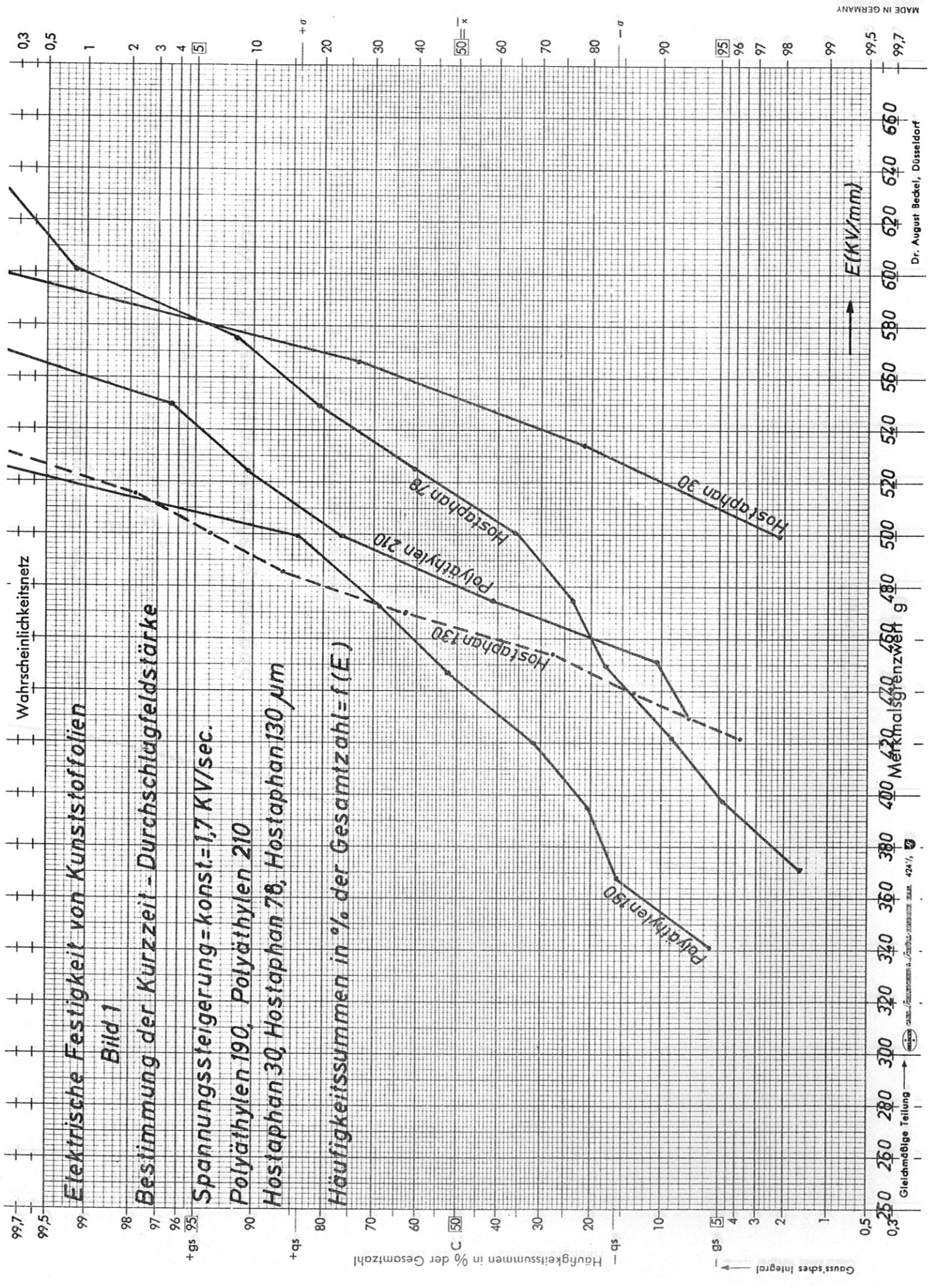
Allgemeine Kenntnisse der Kunststoffe (elektrische Eigenschaften)

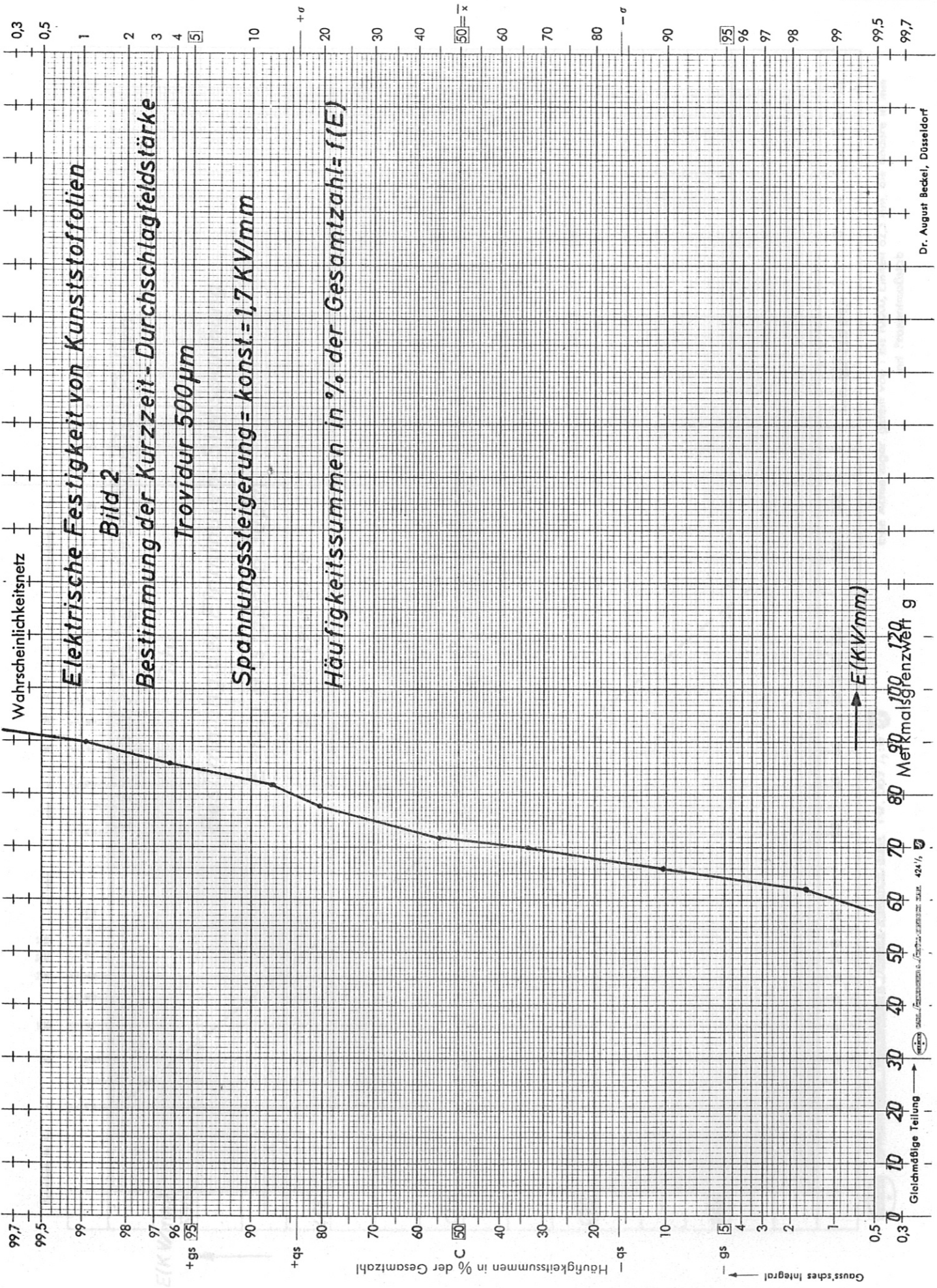
Holzmilller, W. - Altenburg, K.	Physik der Kunststoffe
Birks	Modern Dielectric Materials
Obürger, W.	Die Isolierstoffe der Elektrotechnik
Striegel, R.	Elektrische Stoßfestigkeit
Imhof, A.	Hochspannungs-Isolierstoffe
Hausner, H.H.	Modern Materials (3)
Kunststoffe Tagebuch	

Durchschlagfestigkeit der Isolierstoffe VDE-Vorschriften

Auf der theoretischen Seite gibt es sehr wenig in den allgemeinen Büchern zu finden:

- | | | |
|---|---------------|---|
| 1 | Fröhlich, H. | Nature London 151, 339 (1943)
Proc. Ray. Soc. Lond. Ser. A 188, 521 (1947) |
| 2 | Whitehead, S. | Dielectric Breakdown of Solids (Oxford 1951) |
| | Flügge, S. | Handbuch der Physik, Band XVII Seite 155 |
| | Franz, W. | Dielektrischer Durchschlag |





Elektrische Festigkeit von Kunststofffolien

Bild 2

Bestimmung der Kurzzeit - Durchschlagfeldstärke

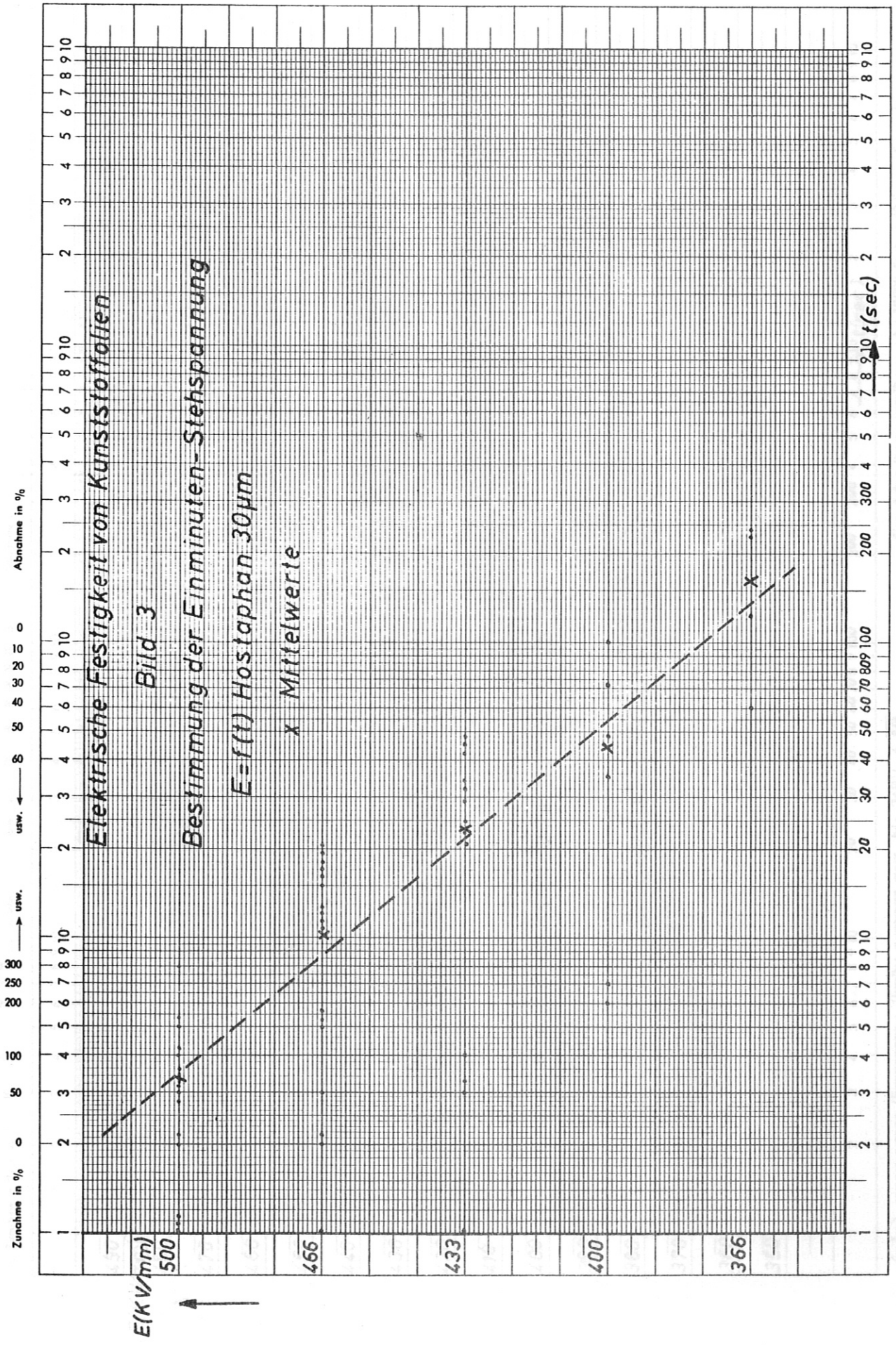
Trovidur 500µm

Spannungssteigerung = konst. = 1,7 KV/mm

Häufigkeitssummen in % der Gesamtzahl = f(E)

→ E (KV/mm)

Gleichmäßige Teilung → 10 20 30 40 50 60 70 80 90 95 100 Maßstabsgrenzwert g



Eine Achse logar. geteilt von 1 bis 10000, Einheit 62,5 mm, die andere in mm mit Prozentmaßstab

Zunahme in %

usw. →

300

250

200

100

50

0

2

3

4

5

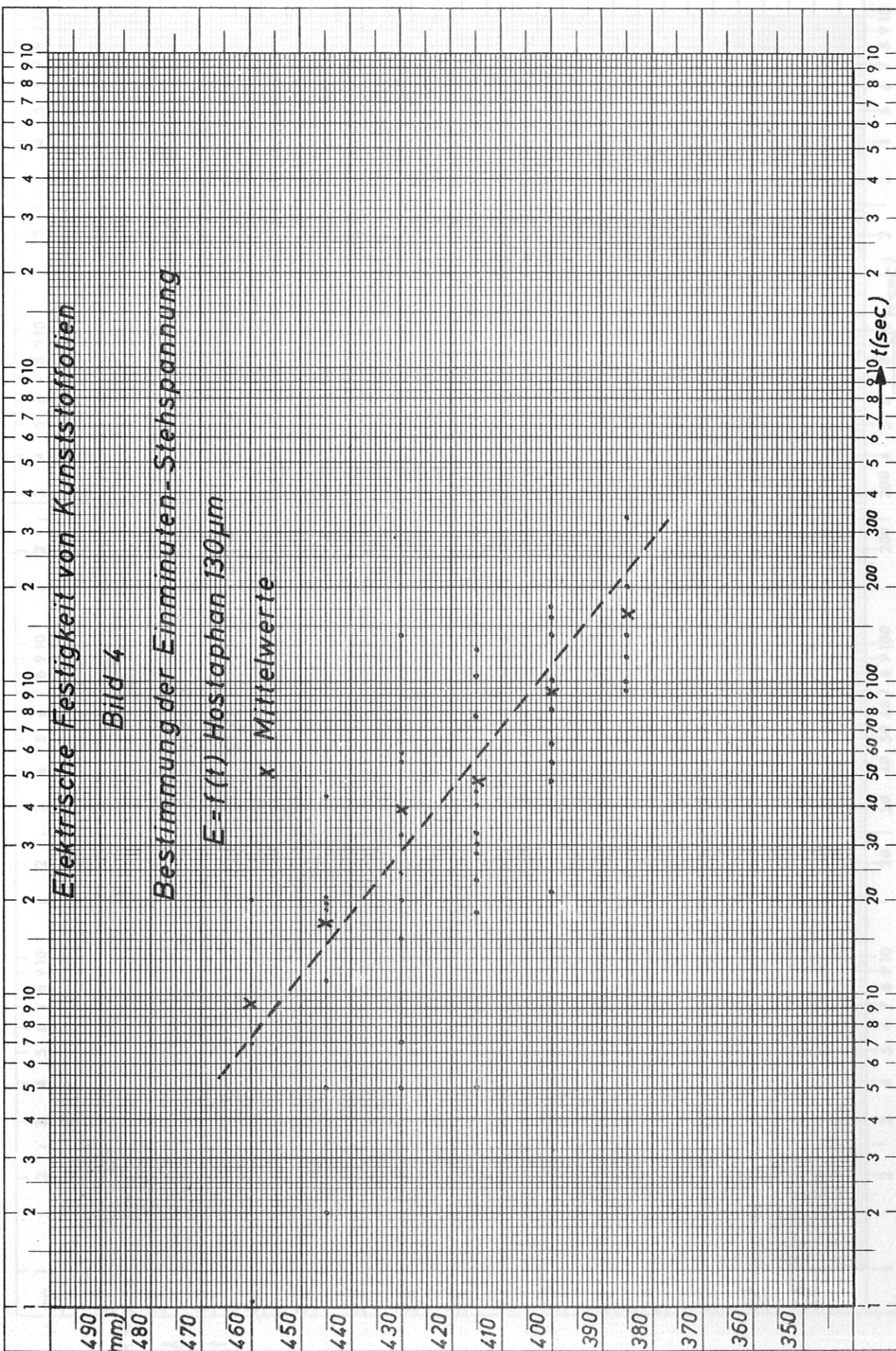
6

7

8

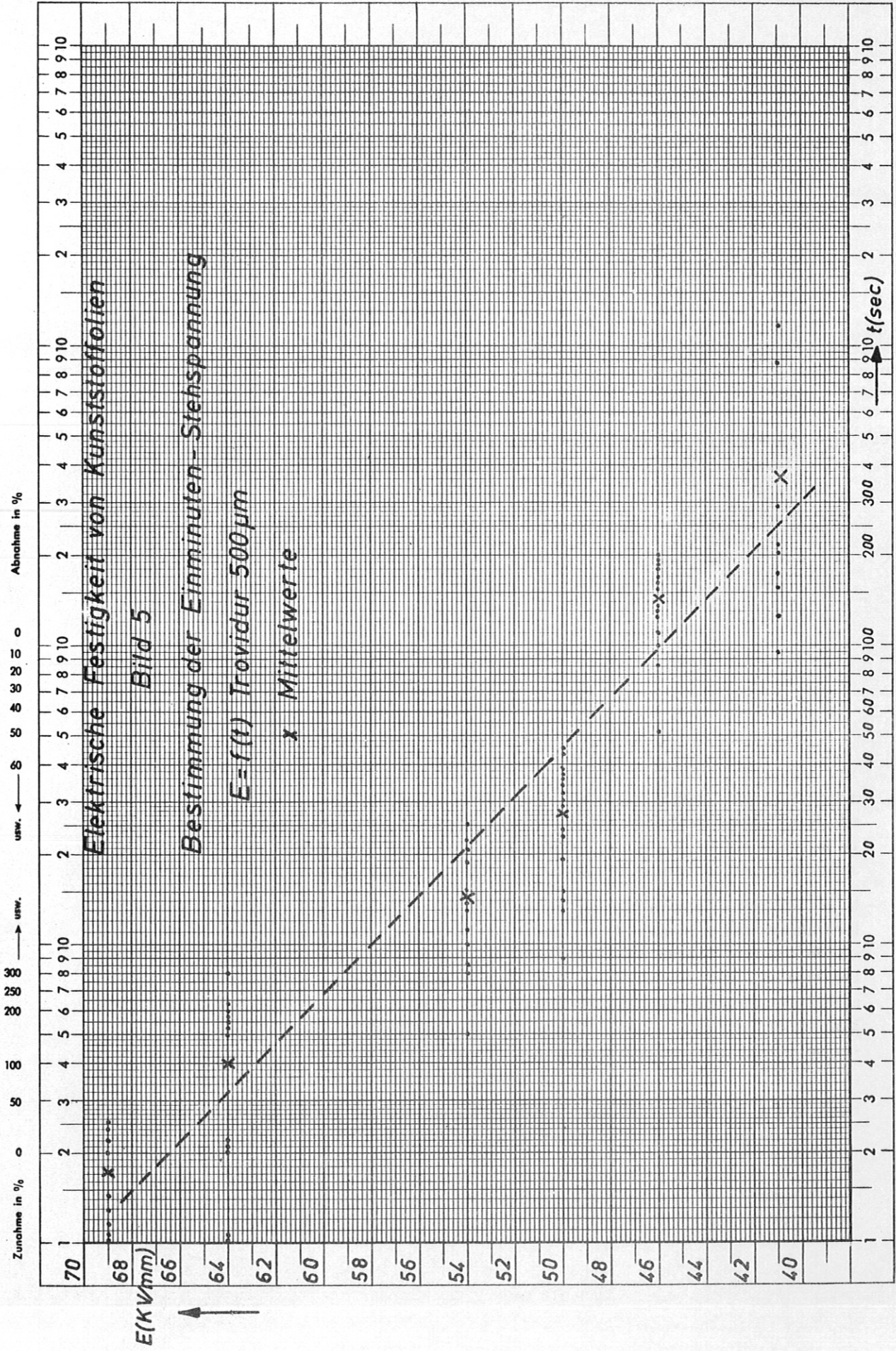
9

10



E(KV/mm)





Zunahme in % \leftarrow usw. \rightarrow usw. \leftarrow usw. \rightarrow usw. Abnahme in %

Eine Achse logar. geteilt von 1 bis 1000, Einheit 62,5 mm, die andere in mm mit Prozentmaßstab