

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 32 (1941)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Les parafoudres à très haute tension et à très grand pouvoir d'écoulement  
**Autor:** Degoumois, C.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1057672>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.01.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

**Vorsitzender:** Ich danke Herrn Dr. Roth für seinen Beitrag über die wesentlichen Bestimmungsgrößen der Ueberspannungsableiter. Ich glaube, Herr Dr. Roth hat vollständig recht gehabt, wenn er den Fortschritt, der in unserm Lande auf diesem Gebiete in den letzten Jahren von allen Seiten erzielt worden ist, hervorgehoben hat. Wir haben sicher in dieser Richtung etwas getan, und ich glaube nicht fehlzugehen, wenn ich sage, dass unter dem Einfluss der Forschungskommission für Hochspannungsfragen des SEV und VSE diese Geschichte in Fluss gekommen ist. Ich glaube betonen zu dürfen, dass wir auf diesem Gebiet vollständig in die vorderste Front gerutscht sind.

In dem interessanten Beispiel, das Herr Dr. Roth in bezug auf den Faktor der Wahrscheinlichkeit angeführt hat, bin ich mit ihm ganz ausserordentlich einig, und zwar aus einem Grund, der leider sehr oft missachtet wird.

Wir können, wenn wir etwas Neues schaffen, nicht nur von theoretischen Ueberlegungen allein ausgehen, sondern wir müssen unbedingt alle Vorgänge in der Praxis ganz ge-

nau beachten, weil wir sonst nicht wissen, wo die Grenze steckt. Infolgedessen scheint es mir vollständig richtig, dass man die Ueberlegungen anstellt, die Herr Dr. Roth angestellt hat. Vielleicht geht es in 99 oder gar 100 Fällen mit 1500 A; aber man kann bestimmt sagen, dass der Techniker im allgemeinen vor solchen Begriffen nicht Halt macht. Er will sich immer selber übertreffen und geht infolgedessen immer weiter, geht vielleicht noch weiter als auf 4000, auf 10 000, 20 000, 40 000 A! Aber die grundsätzliche Ueberlegung, die Herr Dr. Roth machte, möchte ich allen Herren ans Herz legen. Wir müssen immer die zweckmässige Begrenzung anhand der Praxis suchen.

Es ist sehr nett, dass Herr Dr. Roth die Erdungsanlage hervorgehoben hat. Die Frage ist ausserordentlich bedeutungsvoll, und ich bin mit ihm da ebenfalls einig. Wenn wir so weiterfahren, werden wir in kurzer Zeit vor Gewittern nicht mehr Angst haben müssen.

Ich möchte Herrn Dr. Roth nochmals danken und Herrn Degoumois bitten, mit seinem Referat zu beginnen.

## Les parafoudres à très haute tension et à très grand pouvoir d'écoulement.

Communication faite le 21 juin 1941, à Zurich, en séance de l'ASE,

par Ch. Degoumois, Baden.

621.316.933

*Les études effectuées dans le domaine des parafoudres à résistances variables, pour adapter ces appareils aux tensions de service les plus élevées et aux courants d'écoulement les plus forts qui puissent se présenter dans la pratique, posent toute une série de problèmes. L'auteur montre de quelle façon certains de ces problèmes, en particulier celui de la répartition des tensions et celui de la diminution de la tension résiduelle aux grandes intensités de décharge, ont été résolus et comment ils ont amené des modes de construction nouveaux et originaux.*

*Im Gebiete der Ueberspannungsleiter mit spannungsabhängigen Widerständen wurden Untersuchungen vorgenommen, um diese Apparate den höchsten Betriebsspannungen und den stärksten Ableitströmen, welche sich in der Praxis ergeben können, anzupassen, wobei sich zahlreiche Probleme stellten. Der Autor zeigt, auf welche Weise einige dieser Probleme, im besonderen jene der Spannungsverteilung und der Verminderung der Restspannung bei starken Entladungen, gelöst worden sind und wie sie zu neuen und originellen Konstruktionen geführt haben.*

### 1° Introduction.

Nous assistons actuellement à un développement remarquable des parafoudres, qui procède d'une part, vers des tensions de service toujours plus élevées et d'autre part vers des courants d'écoulement toujours plus grands. Il faut considérer deux stades dans ce développement. Dans le premier, les constructeurs se sont efforcés de perfectionner les éléments constitutifs du parafoudre et de les éprouver à la limite de la résistance des matériaux, afin d'en assurer l'utilisation la plus rationnelle. Dans le second stade, ils ont construit, à l'aide de ces éléments améliorés, des parafoudres s'adaptant aux conditions les plus sévères qui puissent se présenter dans la pratique. Nous allons montrer rapidement comment quelques-uns des problèmes divers soulevés par ce développement ont été résolus. Il importe cependant de bien spécifier au préalable que dans notre esprit, le parafoudre *est et doit rester* un appareil extrêmement simple. C'est à cette condition seulement qu'il pourra remplir pleinement sa tâche et assurer une protection sûre. Les dispositions constructives nouvelles dont nous parlons ci-après, ne comportent donc en application de ce principe, aucun organe mobile; elles fonctionnent d'une manière purement statique, sans l'aide d'aucun agent extérieur et n'exigent ainsi ni entretien ni révisions périodiques.

### 2° Les parafoudres à très haute tension.

Ils sont établis sur le principe bien connu des résistances variables. Nous ne retiendrons ici que deux aspects particuliers de la question:

#### a) La répartition des tensions.

C'est un des problèmes spécifiques du parafoudre à très haute tension. On sait que les parafoudres à résistances variables comportent un grand nombre d'éclateurs dits «de désamorçage» enclenchés en série avec ces résistances. Chacun de ces éclateurs constitue une petite capacité  $C_s$ . Comme les armatures des éclateurs présentent à leur tour une certaine capacité  $C_T$  à la terre, l'ensemble du dispositif peut être représenté électriquement par le réseau de la fig. 1, résultant de la juxtaposition des condensateurs-série  $C_s$  et des condensateurs-shunt  $C_T$ . On sait que la répartition du potentiel le long de la chaîne  $AT$  n'est pas linéaire, mais hyperbolique. Certains éclateurs sont donc soumis à des tensions plus fortes que d'autres, ce qui

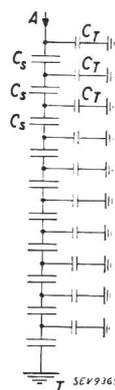


Fig. 1.  
Schéma équivalent d'un parafoudre.  
 $C_s$  condensateur élémentaire série.  
 $C_T$  condensateur élémentaire shunt.

peut présenter de graves inconvénients pendant le phénomène de désamorçage du parafoudre. La courbe  $a$  de la fig. 2 nous montre à titre d'exemple la répartition du potentiel le long d'un parafoudre composé de 3 éléments. On voit que le premier élément doit supporter à lui seul plus des 72 % de la tension appliquée. Il existe heureusement différents moyens, autres que celui de l'augmentation du

nombre d'éclateurs pour parer à cet inconvénient. Une amélioration sensible peut être obtenue en étageant les valeurs des capacités des 3 éléments

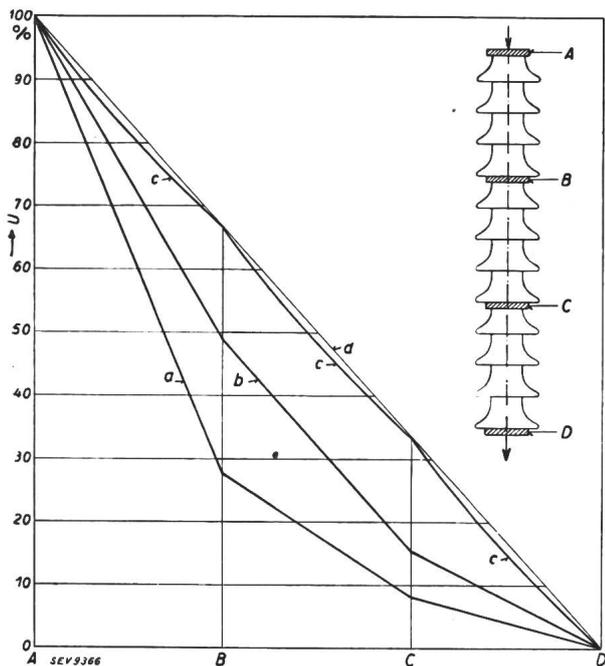


Fig. 2.

Répartition du potentiel le long d'un parafoudre à 3 éléments. a Répartition naturelle. b Répartition améliorée par étagement des capacités. c Répartition améliorée par étagement des capacités et équilibrage au moyen d'anneaux de garde. d Répartition théorique linéaire.



constitutifs du parafoudre, sans toutefois modifier le nombre des éclateurs (voir courbe b). Pour arriver à une répartition pratiquement linéaire du potentiel (courbe c) il est nécessaire de faire intervenir des anneaux de garde placés à l'extérieur. La disposition pratique adoptée pour nos parafoudre de 150 kV est représentée à la fig. 3.

Fig. 3.

Parafoudre à très haute tension.  
Tension de service 150 kV.  
Pouvoir d'écoulement nominal 10 000 A.  
Pouvoir d'écoulement limite 100 000 A.

b) Le pouvoir d'écoulement.

La construction des parafoudres à très haute tension n'a été rendue possible qu'à la suite des progrès considérables réalisés dans la fabrication des résistances variables et de l'augmentation sensible du pouvoir d'écoulement qui en est la conséquence.

On sait que les parafoudres à très haute tension ne s'amorcent que pour des valeurs élevées des ondes de surtensions. Il en résulte donc, par relation de cause à effet, que les courants d'écoulement

prennent en moyenne des valeurs plus fortes que pour les autres types de parafoudres et ceci d'autant plus que la tension de service est plus grande. D'où la règle: les parafoudres à très haute tension doivent être établis pour une capacité d'écoulement aussi grande que possible.

Cependant, la tension résiduelle, c'est-à-dire la chute de tension le long du parafoudre après qu'il se soit amorcé, n'est pas une grandeur constante. Elle augmente avec le courant de décharge, mais à vrai dire dans une mesure bien moindre, puisque les résistances du parafoudre ont par définition une valeur ohmique variable qui décroît très rapidement avec la valeur de la tension appliquée. Néanmoins, il peut arriver aux très fortes décharges que la tension résiduelle dépasse le niveau de protection et que la capacité d'écoulement ne puisse alors être pleinement utilisée. Cette constatation nous a amenés à étudier des parafoudres basés sur un nouveau principe dont on trouvera la description ci-après.

3° Les parafoudres à très fort pouvoir d'écoulement.

Afin de donner une base bien définie à nos calculs, nous nous sommes proposés de construire un parafoudre ayant un pouvoir d'écoulement nominal de 50 000 A. Le problème a été résolu de deux manières différentes en nous en tenant strictement au principe énoncé plus haut, à savoir de ne faire intervenir aucun organe mobile, ni aucun agent extérieur dans le fonctionnement du parafoudre.

a) Le parafoudre combiné à résistances et à tube d'extinction.

Le dessin schématique de la fig. 4 représente la disposition intérieure d'un de ces appareils, construit pour une tension de 15 kV. Il comprend une résistance variable R, des éclateurs d'amorçage E<sub>1</sub>

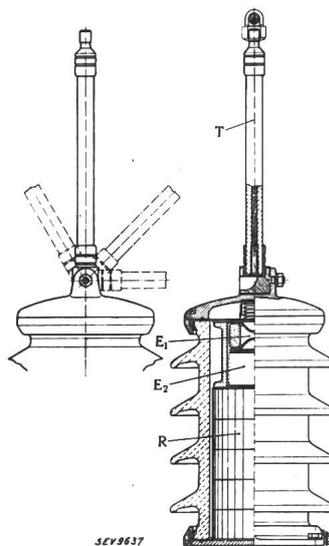


Fig. 4.

Disposition constructive du parafoudre combiné à tube d'extinction, type 15 kV.

- T Tube d'extinction.
- E<sub>1</sub> Eclateur principal d'amorçage.
- E<sub>2</sub> Eclateur multiple d'amorçage.
- R Résistances variables.

et E<sub>2</sub> et un tube d'extinction T, branchés en série. La valeur ohmique de la résistance R et par conséquent la valeur de la tension résiduelle ont été considérablement réduites par rapport à celle des parafoudres usuels. Il en résulte que le courant de

suite, c'est-à-dire le courant du réseau à 50 pér./s, qui suit immédiatement le courant d'amorçage, prend des valeurs plus grandes puisqu'il est limité par une résistance de plus faible valeur ohmique. Les moyens utilisés ordinairement pour le désamorçage ne suffisent plus et il faut faire appel à un organe spécial: le tube d'extinction. Le fonctionnement du tube d'extinction, appelé aussi tube à expulsion est fondé sur la vaporisation d'une mince couche des parois actives du tube, sous l'influence de l'arc de décharge. Les gaz ainsi formés sont enfermés dans un espace très restreint et ne peuvent s'échapper que par une étroite ouverture. L'extinction de l'arc est assurée par leur brusque détente. Le parafoudre tubulaire employé depuis de nombreuses années pour la protection des lignes à haute tension n'est autre chose qu'un tube d'extinction. Malheureusement, cet appareil très simple présente

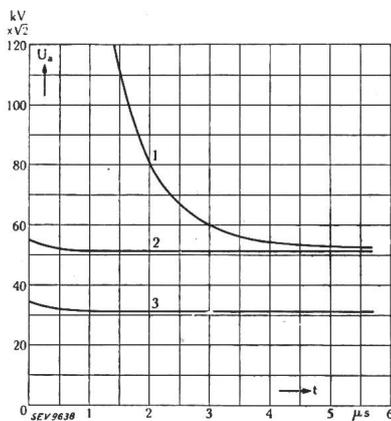


Fig. 5.  
Variation de la tension d'amorçage en choc  $U_a$  en fonction du temps  $t$  qui s'écoule jusqu'au moment de l'amorçage.  
1 parafoudre tubulaire du type courant.  
2 parafoudre 15 kV, combiné à tube d'extinction de la fig. 4.  
3 parafoudre 11 kV, à extinction en cascade de la fig. 6.

divers inconvénients. Nous n'en citerons que les principaux: l'usure assez rapide des parois du tube en cas de fonctionnement fréquent et le mauvais facteur d'impulsion, c'est-à-dire la propriété du parafoudre tubulaire de présenter des tensions d'amorçages variables, qui sont d'autant plus grandes que le front de l'onde est plus raide (voir la courbe 1 de la fig. 5 qui représente la variation de la tension d'amorçage d'un parafoudre tubulaire du type normal). Il est évident qu'il eut été impossible de donner au tube d'extinction cette fonction nouvelle sans avoir éliminé au préalable les inconvénients que nous venons de citer.

Dans le parafoudre combiné de la fig. 5, l'usure est réduite au strict minimum, parce que le courant d'extinction est limité à quelques centaines d'ampères par la résistance  $R$ , alors que le courant de décharge du parafoudre tubulaire — qui ne comporte aucune résistance — peut atteindre plusieurs milliers d'ampères. Quant à l'amélioration du facteur d'impulsion, obtenue par des mesures d'ordre purement constructif, elle est documentée par les courbes de la fig. 5. La courbe 2 représente la variation de la tension d'amorçage du parafoudre combiné de la fig. 4, et l'on peut se rendre compte que son allure est beaucoup plus favorable que celle de la courbe 1. Si on la compare enfin à la courbe 3

du parafoudre sans tube d'extinction de la fig. 6, on voit que le facteur d'impulsion du nouvel appareil ne le cède en rien aux facteurs d'impulsion des parafoudres usuels.

#### b) Le parafoudre à extinction en cascade.

Ce parafoudre, représenté schématiquement à la fig. 6 ne comporte que des organes connus (résistances et éclateurs) employés normalement dans la construction des parafoudres. Son fonctionnement peut s'expliquer succinctement de la manière suivante: A l'amorçage le courant s'écoule à travers les éclateurs  $E_1$  et  $E_2$  et les résistances  $R_1$  et  $R_2$ . S'il dépasse une certaine valeur susceptible de donner lieu à des tensions résiduelles trop élevées, l'éclateur  $E_3$  s'amorce à son

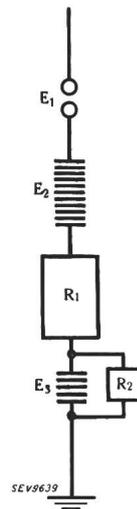


Fig. 6.  
Disposition schématique d'un parafoudre à extinction en cascade.

$E_1$  Eclateur d'amorçage.  
 $E_2$  Eclateurs multiples de désamorçage.  
 $R_1$  Résistance variable.  
 $E_3$  Eclateurs multiples de désamorçage.  
 $R_2$  Résistance variable.

tour et court-circuite la résistance  $R_2$ . L'extinction se fait en deux temps, d'abord en  $E_3$  avec remise en service de la résistance  $R_2$ , puis définitivement en  $E_2$ .

#### c) Résultats d'essais.

Nous nous bornons à reproduire ici un exemple de chacun des deux essais principaux (contrôle du pouvoir d'écoulement et du désamorçage des parafoudres) effectués au laboratoire d'Oltén-Gösgen de

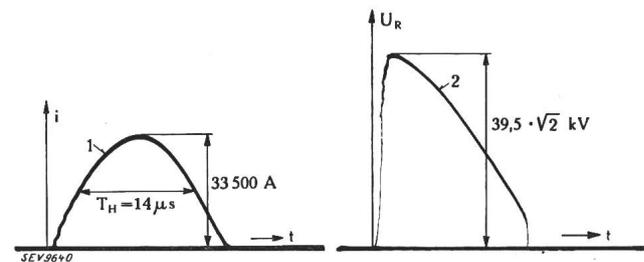


Fig. 7.  
Contrôle du pouvoir d'écoulement du parafoudre à extinction en cascade.

1 Courant de choc.  
2 Tension de choc correspondante.

la «Commission d'études pour les hautes tensions». Ces épreuves furent toujours effectuées sur des parafoudres complets. Le relevé oscillographique de la fig. 7 nous montre l'essai du parafoudre sous une intensité de décharge de 33 500 A, l'énergie totale de l'installation de choc n'étant pas suffisante pour faire l'essai à 50 000 A. Quant à l'épreuve d'extinction, elle est représentée par le relevé oscillographique de la fig. 8 relatif au parafoudre de la fig. 6. La tension du réseau  $U$  était égale à  $1,2 \times 11 = 13,2$  kV et le courant de choc  $i$  appliqué simultanément

s'élevait à 33 000 A, comme dans l'exemple précédent. Le courant de suite  $I$  a passé pendant  $\frac{1}{4}$  de

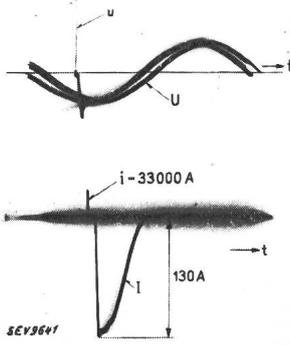


Fig. 8.

Essai d'extinction.

- $U$  Tension du réseau à 50 p/s.
- $u$  Tension de choc.
- $I$  Courant de suite.
- $i$  Courant de choc (l'échelle de ce courant est tronquée pour des raisons de sécurité de l'appareillage de mesure).

période environ et le parafoudre s'est désamorcé au premier passage de la tension  $U$  par zéro.

4<sup>o</sup> Conclusions.

Nous avons voulu montrer dans cet exposé rapide et malheureusement incomplet, combien la technique des parafoudres a progressé au cours des derniers mois. Les résultats obtenus sont particulièrement encourageants non seulement parce qu'ils ont prouvé qu'il était possible de construire des parafoudres pour les conditions les plus extrêmes de tension et d'intensité qui puissent se présenter, mais encore parce qu'ils permettent d'améliorer la construction des parafoudres des types courants.

**Vorsitzender:** Ich danke Herrn Degoumois für seinen Vortrag. Er hat Ihnen ganz kurz zwei Gebiete herausgeschält: den Ableiter mit grossem Schluckvermögen einerseits und andererseits den Ableiter für Höchstspannung. Ich bin überzeugt, dass die Ausführungen des Herrn Degoumois Sie interessiert haben.

Ich möchte nun weitergehen und Herrn Gantenbein bitten, seinen Vortrag zu beginnen.

Neuere Forschungsergebnisse im Ueberspannungsableiterbau.

Referat, gehalten an der Kurzvorträgeveranstaltung des SEV vom 21. Juni 1941 in Zürich.  
Von A. Gantenbein, Zürich-Oerlikon.

621.316.933

Es wird über neue Erfolge im Bau von Ueberspannungsableitern berichtet. Diese Erfolge beruhen einerseits auf einem neuen Aufbau der spannungsabhängigen Widerstände, deren Belastungsmöglichkeit mit einem Schlag um gut eine Grössenordnung gesteigert werden konnte, andererseits auf einer Druckgasbebläsung der Löschfunkenstrecke, wodurch der nachfolgende Netzstrom viel grösser sein darf als bei der gewöhnlichen selbstlöschenden Funkenstrecke mit Löschplatten.

L'auteur décrit les récents progrès réalisés dans la construction des parafoudres. Ces progrès sont le résultat d'une constitution nouvelle des résistances variables avec la tension, dont la capacité de charge a pu être considérablement augmentée, et d'autre part au soufflage pneumatique des parafoudres. Ceux-ci sont capables d'interrompre des intensités de courant suivant la décharge beaucoup plus élevées que les parafoudres à dispositif d'extinction ordinaire.

Bei Ueberspannungsableitern kommt besonders zwei Bauelementen, dem spannungsabhängigen Widerstand und der Löscheinrichtung, die den nachfolgenden Netzstrom löscht, eine ausschlaggebende Bedeutung zu. Diesen beiden Bauelementen eines Ueberspannungsableiters hat die Maschinenfabrik Oerlikon bei deren Weiterentwicklung ihre ganz spezielle Aufmerksamkeit geschenkt. Ueber die erzielten Fortschritte im Ueberspannungsableiterbau soll hier kurz berichtet werden.

Kurve  $b$  dargestellt. Bei kleinem Strom soll der Ohmwert des Widerstandes möglichst gross und bei grossem Strom möglichst klein sein. Die «Hysteresis-Schleife» sollte im weitem möglichst eng werden.

1. Spannungsabhängige Widerstände.

Schickt man durch einen spannungsabhängigen Widerstand einen Stoßstrom und misst gleichzeitig mit dem Kathodenstrahloszillographen den durch den Widerstand fliessenden Strom und die an dem Widerstand auftretende Spannung, so erhält man zwei Oszillogramme, die den in Fig. 1 dargestellten Verlauf aufweisen. Trägt man die zusammengehörigen Strom- und Spannungswerte im rechtwinkligen Koordinatensystem auf, und zwar auf der Abszissenaxe den Strom, auf der Ordinatenaxe die Spannung, so erhält man das in Fig. 2 dargestellte Kurvenbild  $a$ .

Der spannungsabhängige Widerstand besteht aus Karborundum, d. h. Siliziumkarbid-Kristallen, chemische Formel  $SiC$ , die mittels eines Bindemittels ähnlich keramischen Produkten gebrannt werden.

Ueber das Zustandekommen der Spannungsabhängigkeit des Widerstandes sind bis jetzt drei Ansichten bekannt geworden. Die Amerikaner, die wohl als erste die spannungsabhängigen Widerstände für die Ueberspannungsableiter ausnützten, erklärten sich die Spannungsabhängigkeit zuerst mit dem *Kathodenfall* der vielen zwischen den einzelnen Widerstandsscheiben entstehenden sehr kurzen Funken. Später wurde die Spannungsabhängigkeit mit der *negativen Charakteristik* der vielen kleinen Lichtbogen, die in den Poren zwischen den Siliziumkarbid-Kristallen brennen, erklärt. Müller-Hillebrand führte sie ausserdem noch auf *Kalt-emission* von Elektronen zurück.

Es muss hier gleich auf eine Eigentümlichkeit dieser spannungsabhängigen Widerstände hingewiesen werden. Bei ansteigendem Strom ist die Spannung am Widerstand grösser als bei sinkendem Strom. Es entsteht eine Kurve, die an die Hysteresis-Schleife bei der Magnetisierung von Eisen erinnert. Der ideale Verlauf für einen spannungsabhängigen Widerstand ist in Fig. 2 durch die

An Hand unserer neuesten Versuche können wir sagen, dass wohl keine der genannten Vorstellungen richtig ist oder das Wesentliche trifft. Unsere Versuche gingen in zwei Richtungen:

- a) Prinzipielle Abklärung des Vorganges beim Stromdurchgang im spannungsabhängigen Widerstand.
- b) Versuche zur Verbesserung der bisherigen Widerstände.