

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 54 (1963)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Elektrofiter in der Industrie  
**Autor:** Scheidel, C.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916478>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 13.01.2026

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

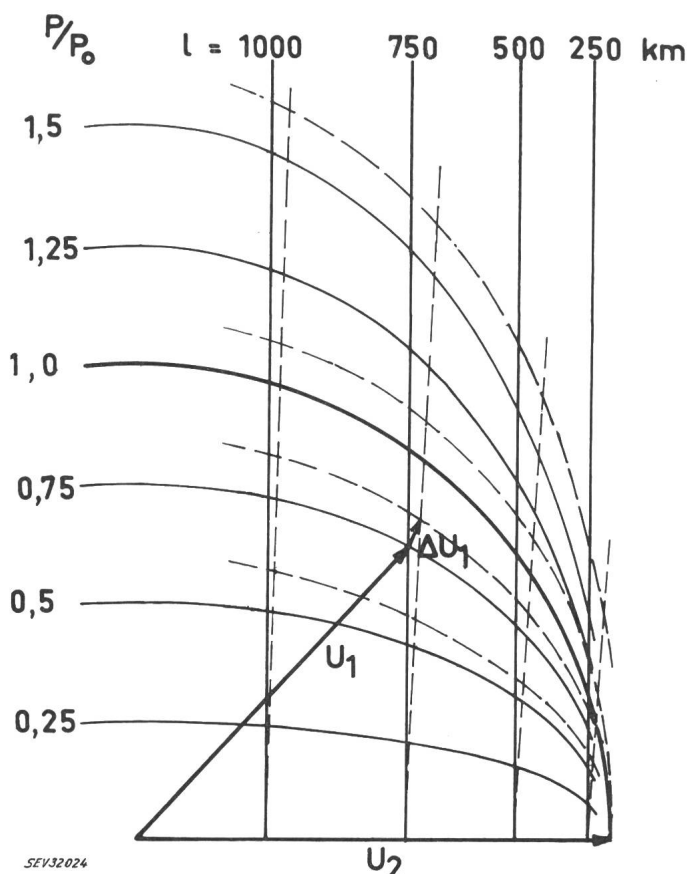


Fig. 2

Notwendige Eingangsspannung bei konstanter Ausgangsspannung

für: (ausgezogen)  $\alpha = 0$ ,  $\beta = 1,3 \cdot 10^{-3}$  rad/km;

$$\frac{P}{P_0} = \frac{Z_w}{R_2}; \quad P \text{ Leistung in } R_2;$$

$P_0$  natürliche Leistung ( $R_2 = Z_w$ )

(gestrichelt)  $\alpha = 0,865 \cdot 10^{-4}$  N/km berücksichtigt

Genaue Eingangsspannung =  $U_1 + \Delta U_1$

einige Längen, bzw. für einige Belastungsverhältnisse eingezeichnet. Der Fehler  $\Delta U_1$  kann folgendermassen berechnet werden:

Gl. (4) gibt den genauen Zusammenhang zwischen  $U_1$  und  $U_2$ . Da  $\alpha l$  als kleine Grösse vorliegt, können die hyperbolischen Funktionen nach  $\alpha l$  entwickelt werden. Wir setzen:

$$\cosh \alpha l = 1 + \frac{(\alpha l)^2}{2} + \dots$$

$$\sinh \alpha l = \alpha l + \dots$$

In die Gl. (4) eingesetzt erhalten wir einen genaueren Ausdruck für  $U_1$ . Von diesem ziehen wir den Ausdruck in Gl. (6) ab und erhalten die Spannungsdifferenz  $\Delta U_1$  in ihren Komponenten.

a) Komponente in Richtung  $U_2$ :  $\alpha l \cos \beta l \left( \frac{Z_w}{R_2} + \frac{\alpha l}{2} \right) U_2$

b) Komponente senkrecht zu  $U_2$ :  $\alpha l \sin \beta l \left( 1 + \frac{Z_w}{2 R_2} \alpha l \right) U_2$

Im vorliegenden Beispiel wird das Glied mit  $\alpha l$  in der Klammer bedeutend kleiner als das andere Glied. Die Fehlerkomponenten lauten dann:

a) In Richtung  $U_2$ :  $\alpha l \cos \beta l \frac{Z_w}{R_2}$

b) Senkrecht zu  $U_2$ :  $\alpha l \sin \beta l$ ; unabhängig von der Belastung.

### 3. Schlussbetrachtungen

Da heute die Höchstspannungsleitungen in hohem Masse genormt sind, werden sich für bestimmte Leitungstypen, bestimmte Dämpfungs- und Phasenkonstanten sowie ein bestimmter Wellenwiderstand ergeben. Damit wird es möglich, für einen bestimmten Leitungstyp ein solches Diagramm zu zeichnen, um daraus für verschiedene reelle Belastungszustände die Verhältnisse zwischen Ein- und Ausgangsspannung entnehmen zu können. Es wird die Aufgabe einer später folgenden Arbeit sein, die Verhältnisse für beliebige komplexe Belastungen darzustellen.

Adresse des Autors:

Prof. H. Weber, Institut für Fernmeldetechnik, Sternwartstrasse 7, Zürich 6.

## Elektrofilter in der Industrie

Von C. Scheidel, Frankfurt/Main

66.089.4 : 697.946 : 621.359.484

Die ersten Industrie-Elektrofilter wurden vor fünfzig Jahren gebaut. Seitdem hat sich die elektrische Gasreinigung zu einem oft unerlässlichen Entstaubungs- und Entnebelungsverfahren in einer grossen Zahl von Produktionsstätten der Industrie entwickelt. Der Artikel beschreibt den Aufbau und das physikalische Prinzip des Elektrofilters und die wichtigsten, den Wirkungsgrad beeinflussenden Staub- und Gaseigenschaften. Ferner wird ausführlich auf die notwendige Hochspannungserzeugungsanlage und die automatische Steuereinrichtung eingegangen. Eine Übersicht der gegenwärtigen Anwendungsgebiete des Elektrofilters und die kurze Beschreibung einer Abgas- und einer Nutzgasreinigung beschliessen die Ausführungen.

### 1. Einleitung

Drei Gründe, jeder für sich oder in Kombination miteinander, bestimmen, ob ein erzeugtes oder ein zwangsweise entstandenes Gas von staub-, nebel- oder gasförmigen Begleitstoffen gereinigt werden muss:

1. Wertvolle Begleitstoffe, die in einem Abgas enthalten sind, müssen zurückgewonnen werden;

2. Ein Nutzgas enthält störende Begleitstoffe;

3. Ein Abgas darf aus Gründen der Lufthygiene nicht ungereinigt ins Freie abgegeben werden.

Folgendes Beispiel mag die Problemstellung erläutern:

Die Abgase des Drehofens einer Zementfabrik dürfen, um der Forderung nach Reinhaltung der Luft nachzukommen, nicht ungereinigt ins Freie ausgestossen werden. Die Abgase

enthalten Flugstaub. Man ist daher gezwungen, einen den Eigenschaften des Gases angepassten Entstauber zu betreiben, um den Flugstaub soweit wie wirtschaftlich zumutbar abzuscheiden. Je nach Zusammensetzung des Flugstaubes hat dieser einen Wert von wenigen Fr./t oder ist, wie in den meisten Fällen, wertlos.

Da sich dieser Beitrag mit der elektrischen Gasreinigung befassen soll, erstrecken sich die nachstehenden Ausführungen nur über das Niederschlagen von Flugstaub oder Nebel aus industriellen Nutz- oder Abgasen. Die Beseitigung von gas- oder dampfförmigen Komponenten, Probleme, wie sie bei der Lösungsmittelrückgewinnung oder bei der Beseitigung von Schwefeldioxyd auftreten, ist mit der elektrischen Gasreinigung nicht durchführbar.

Zur Entstaubung industrieller Nutz- und Abgase werden vier verschiedene Prinzipien bevorzugt: Ausschleudern des Flugstaubes im Zyklon, Filtrieren des Gases durch Gewebefilter, Waschen des Gases im Wäscher und elektrisches Aufladen und Abscheiden des Staubes im Elektrofilter.

Im Vergleich zu den anderen drei Verfahren nimmt die elektrische Gasreinigung eine Sonderstellung ein: Das zu reinigende Gas muss keinen nennenswerten Strömungswiderstand überwinden, denn die zur Reinigung notwendige Energie braucht nicht auf das Gas-Staub-Gemisch als Ganzes, sondern im wesentlichen nur auf die zu entfernenden Bestandteile übertragen werden. Die zur Ausscheidung der suspendierten Teilchen erforderliche elektrische Energie ist daher gering. Ferner ist mit dem Elektrofilter jeder Reinigungseffekt erreichbar, ein Vorteil, der mit Zyklonabscheidern nicht erzielt werden kann. Schliesslich ist das Elektrofilter geeignet, Gase von einer Temperatur bis 500 °C, zu reinigen. Im Gegensatz zu Gewebefiltern ist somit die Anwendung des Elektrofilters nicht auf bestimmte Temperaturen eingengt. Der Staub kann trocken oder nass abgeschieden werden. Soll ein Gas auf einen Fremdstoffgehalt entstaubt oder entnebelt werden, der geringer ist als der Gehalt der Aussenluft, 10 mg/m<sup>3</sup> oder weniger, benützt man ein Nasselektrofilter. Dieses unterscheidet sich vom Trockenfilter prinzipiell nur dadurch, dass der Staub von den Elektroden nicht abgeklopft, sondern abgespült wird. Allerdings benötigt das Nasselektrofilter, ebenso wie der Wäscher, eine Schlammwasseraufbereitung. Um die Kosten dafür zu vermeiden, wird das Trockenelektrofilter nach Möglichkeit bevorzugt.

## 2. Aufbau

Das Elektrofilter besteht im wesentlichen aus dem Gehäuse, den geerdeten Niederschlagselektroden und den an Hochspannung liegenden Sprühelektroden (Fig. 1). Die geerdeten Niederschlagsbleche sind parallel zum Gasstrom reihenweise in Abständen von etwa 27 cm angeordnet und ergeben so eine grössere Anzahl von Filtergassen, durch die das Gas strömt. Die Niederschlagsplatten hängen am oberen Ende in einer Tragkonstruktion, die auf den Dachträgern aufgelagert ist; am unteren Ende sind sie an einer sog. Klopfstange befestigt. Diese überträgt die Schlagenergie vom Klopfwerk auf die Platten.

Zwischen den geerdeten Gassen befinden sich die an Hochspannung liegenden Sprühdrähte. Die Drähte sind in Rohrrahmen eingespannt, die ihrerseits von durch die Decke geführten Isolatoren getragen und distanziert werden.

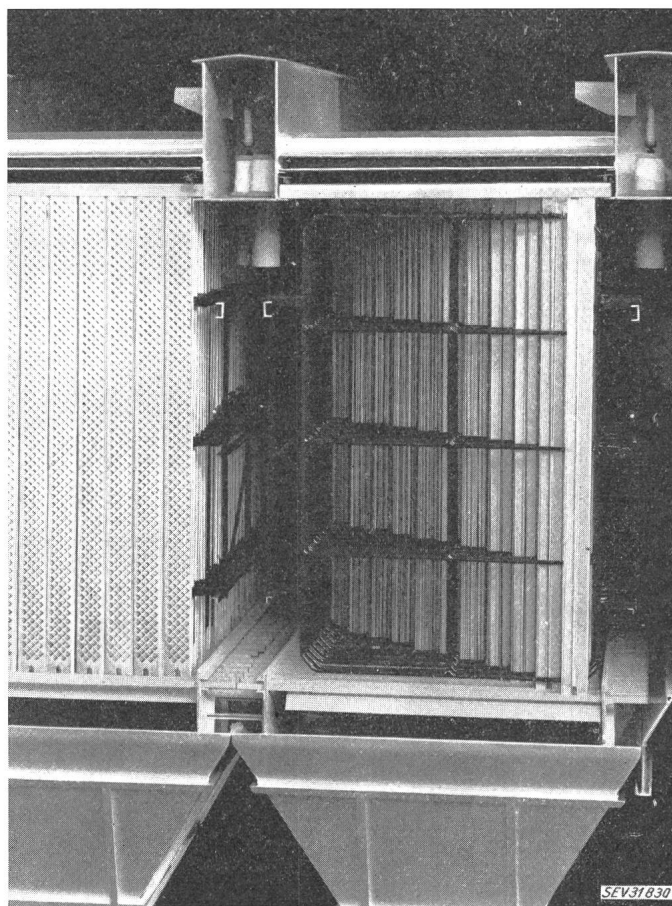


Fig. 1  
Elektrodensystem im Horizontal-Elektrofilter  
Gaseintritt von rechts (Modellphoto)

Die Elektroden haben drei Funktionen zu erfüllen:

1. Ein elektrisches Feld zu bilden;
2. Den im Gas mitgeführten Staub elektrisch aufzuladen;
3. Den niedergeschlagenen Staub derart in die unter dem Filter befindlichen Bunker zu leiten, dass ihn das strömende Gas möglichst wenig aufwirbelt.

## 3. Prinzip

Die im Gas suspendierten Staubteilchen werden im Bereich der Sprühelektroden aufgeladen und bewegen sich auf den Kraftlinien des elektrischen Feldes zur Niederschlagsfläche. Dort geben sie ihre Ladung ab und haften mehr oder weniger fest. Durch elektromechanisches Klopfen oder Vibrieren der Niederschlagsplatten wird der Staub gelöst und fällt nach unten in die Bunker.

Die Flugstaubteilchen unterliegen im Verlauf ihrer Abscheidung elektrischen und mechanischen Einflüssen. Die Physik der elektrischen Gasreinigung beruht hauptsächlich auf folgenden Vorgängen:

Wie bei den Elektrofiltern zur Reinigung industrieller Gase üblich, werden die Sprühelektroden an negative Hochspannung gelegt. In unmittelbarer Umgebung der Sprühelektroden ist infolge ihres geringen Durchmessers von wenigen Millimetern oder infolge von scharfen Kanten oder Spitzen die elektrische Feldstärke so hoch, dass die wenigen, aber immer im Gas befindlichen Ladungsträger in Richtung zum Gegenpol so stark beschleunigt werden, dass sie beim Zusammenstoss mit elektrisch neutralen Gasmolekülen aus den äusseren Atomschalen weitere Elektronen herausschla-

gen, ein als Stossionisation bekannter Vorgang. Da jedes Primär-Elektron ein oder mehrere Sekundär-Elektronen freimacht, die ihrerseits weitere freie Elektronen erzeugen können, entsteht in Sprühdrahtnähe eine «Lawine» von freien Elektronen und positiv geladenen Ionen.

Durch die mit zunehmender Entfernung vom Sprühdraht abnehmende «dynamische Feldstärke» erstreckt sich die Stossionisation über nur rund ein Drittel des Elektrodenabstandes. Aus diesem Grunde erfolgt bei der «fiktiven» Feldstärke von 3...4 kV/cm noch kein Durchschlag (Fig. 2). Während die grösste Zahl der Elektronen ohne weitere Zwischenfälle über die Niederschlagsplatten zur Erde abfliesst, lagert sich ein kleiner Teil an die Staubteilchen und nimmt sie mit zur Niederschlagsfläche. Dort fliessen die Ladungen zur Erde ab. Dies verläuft, je nach dem elektrischen Widerstand der Teilchen, rasch oder langsam. Die neutral gewordenen Flugstaubteilchen haften an der Niederschlagsfläche.

Die im Bereich der Sprühentladung entstandenen positiven Ladungsträger wandern auf die Sprühelektrode zu und können dabei Flugstaubteilchen positiv laden und mitnehmen. Dadurch sind hier Staubansätze möglich; sie gering zu halten ist Aufgabe der Sprühdrahtklopfung.

Die Abscheideleistung eines Elektrofilters folgt einem Exponentialgesetz.

$$s_e = \left(1 - e^{-\frac{wf}{100}}\right) 100 \quad (1)$$

Darin bedeuten:

- $s_e$  Gesamtentstaubungsgrad [%];
- $w$  Dimensionierungsfaktor, sog. Wanderungsgeschwindigkeit des Staubes [cm/s];
- $f$  spezifische Niederschlagsfläche, d. h. Niederschlagsfläche pro Kubikmeter zu reinigendes Gas [m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>/s].

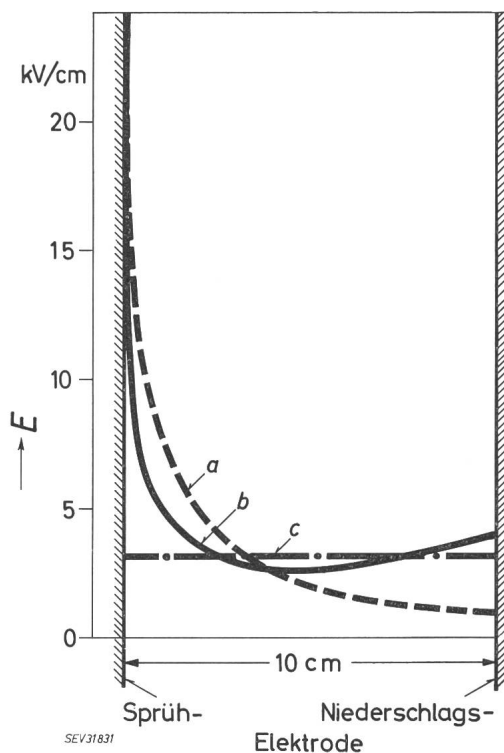


Fig. 2  
Feldstärke  $E$  zwischen Sprüh- und Niederschlagsplatte  
a «dynamische» Feldstärke, ohne Staub  
b «dynamische» Feldstärke, mit Staub  
c «fiktive» Feldstärke

Bei der Dimensionierung eines Elektrofilters ist im allgemeinen der geforderte Reingasstaubgehalt und damit der Entstaubungsgrad gegeben. Gesucht ist die erforderliche Grösse des Elektrofilters, genauer gesagt, die Grösse der Niederschlagsfläche. Gl. (1) zeigt, dass jeder beliebige Entstaubungsgrad, naturgemäss kleiner als 100 %, erreicht werden kann, und dass die erforderliche Grösse des Elektrofilters nur vom Exponenten  $w$  abhängt.

Unter der Wanderungsgeschwindigkeit  $w$  kann man sich anschaulich die Geschwindigkeit vorstellen, mit welcher der Staub unter dem Einfluss der elektrischen Kraft und der Gasreibung zur Niederschlagsfläche gezogen wird. Es handelt sich also um eine Geschwindigkeit senkrecht zur Gasrichtung. Theoretisch gilt für die Wanderungsgeschwindigkeit der Zusammenhang nach Gl. (2).

$$w = K \frac{E \cdot f(I) \cdot a}{6 \pi \eta} \quad (2)$$

Darin bedeuten:

- $a$  Korngrösse des Staubes;       $\eta$  Gaszähigkeit;
- $K$  von der Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  abhängiger Faktor       $E$  Feldstärke.

Man sieht, dass die Wanderungsgeschwindigkeit einmal abhängig ist vom Sprühstrom  $I$ . Mit steigendem Sprühstrom wird die Wirksamkeit des Filters grösser, da die Wahrscheinlichkeit des Anlagerns von Ladungsträger an den Staub zunimmt. Andererseits ist einzusehen, dass die Gleichung ihre Grenzen hat, denn mehr als bis zu einem von der Korngrösse  $a$  abhängigen Maximalwert lassen sich die Staubteilchen nicht aufladen. Eine weitere Steigerung des Stromes würde keine Verbesserung des Abscheidegrades bewirken. Weiterhin ist  $w$  abhängig von der Feldstärke  $E$ . Je höher die Feldstärke, um so stärker werden die aufgeladenen Staubteilchen angezogen und um so schneller gelangen sie zur Niederschlagsfläche. Der Feldstärke ist freilich eine natürliche Grenze durch die Durchbruchgrenze des Gases gesetzt. In der Praxis wird daher die Betriebsspannung durch automatische Regeleinrichtungen dicht unterhalb der Durchbruchspannung gehalten, so dass hinsichtlich der Feldstärke betrieblich keine Entstaubungsgrad-Reserve mehr vorhanden ist.

Eine dritte Abhängigkeit besteht von der Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon$ , welche für mineralische Stoffe, wie Flugasche, zwischen 1 und 10 liegt, für Wasser jedoch 80 beträgt. Das ist einer der Gründe, weshalb ein Gas mit hohem Wasserdampfgehalt sehr viel leichter zu reinigen ist als ein wasserarmes Gas [ $K = f(\epsilon)$ ].

Eine weitere Einflussgrösse ist die Gaszähigkeit  $\eta$ , die mit steigender Temperatur grösser wird.

Nach Gl. (2) kann zwar die Wanderungsgeschwindigkeit ausgerechnet werden, die einzelnen Faktoren hängen aber wiederum von Einflüssen ab, die nicht oder nur mit grösstem Aufwand erfasst werden können. Ausserdem spielt auch die Ausbildung des Elektrodensystems eine entscheidende Rolle (Fig. 3).

Die Dimensionierungsgrösse  $w$  kann somit charakterisiert, aber nicht vorausberechnet werden. Erst die Erfahrungen aus Versuchen und Messungen an Betriebsanlagen gestatten es, den Anforderungen entsprechende  $w$ -Werte zu Grunde zu legen. Das zweckmässige Dimensionieren eines Elektrofil-



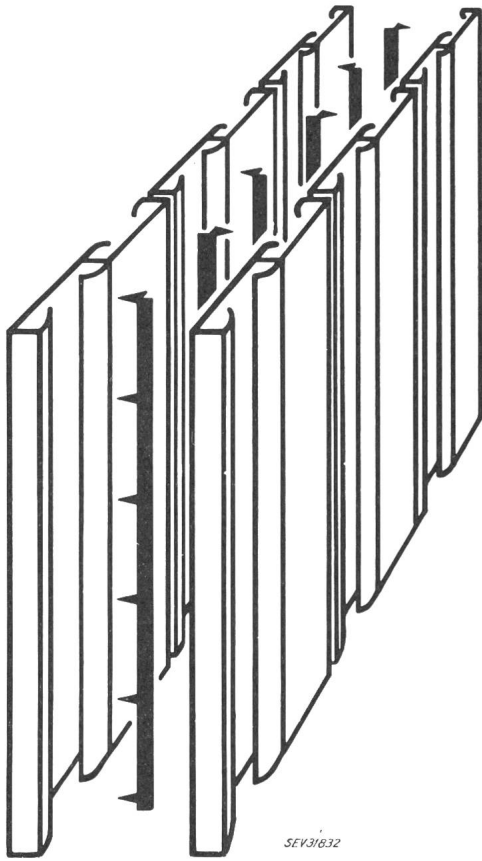


Fig. 3  
Elektrodenkombination für schwierige Abscheideverhältnisse

ters dürfte daher immer eine Erfahrungssache bleiben. Die  $w$ -Werte ausgeführter Anlagen liegen zwischen 4 und 20 cm/s.

#### 4. Einfluss der Staubeigenschaften

##### 4.1 Staubwiderstand

Im üblichen Temperaturbereich, zwischen 100 und 200 °C, in dem die meisten Gase gereinigt werden müssen, werden mit steigenden Temperaturen die elektrischen Abscheideverhältnisse ungünstiger. Das hängt einmal damit zusammen, dass mit steigender Temperatur die Durchschlagsspannung fällt, die Gaszähigkeit wächst und das Gasvolumen zunimmt, besonders aber dadurch, dass je nach Staubart im Bereich von ca. 100...160 °C der elektrische Staubwiderstand mit der Temperatur beträchtlich steigt.

Der spezifische Staubwiderstand kann zwischen  $10^4$  und  $10^{14}$   $\Omega$  cm liegen. Bis zu  $10^{11}$   $\Omega$  cm treten im allgemeinen keine Störungen im Filterbetrieb auf. Darüber macht sich aber die isolierende Eigenschaft des Staubes unangenehm bemerkbar. Die auf den Platten haftende Staubschicht wirkt wie ein Isolator.

Durch die ankommenden Ladungen bildet sich in der Staubschicht ein Zwischenpotential aus, und damit eine Feldstärke, die an den elektrisch stark beanspruchten Stellen, den Gasporen, zu einer Ionisierung führt. Es bilden sich Glimmpunkte aus, ähnlich der Lichterscheinung an den Sprühelektroden (Fig. 4). Diese Zweit-Ionisierung senkt die Überschlagsspannung der Strecke Sprühelektrode/Niederschlags-elektrode beträchtlich, wobei der Strom um ein Mehrfaches steigt. Die zusätzlich erzeugten positiven Ladungsträger bringen die für die elektrische Abscheidung erforderliche nega-

tive Korona aus dem Gleichgewicht, die maximal mögliche Spannung und damit der Abscheidegrad sinken erheblich.

Fast jeder im Elektrofilter abzuschiedende Staub hat Halbleitereigenschaften, d. h. er hat einen temperaturabhängigen Widerstand, der zusätzlich vom Feuchtigkeitsgehalt des Trägergases beeinflusst wird. Fig. 5 zeigt den typischen Verlauf des spezifischen Widerstandes  $\rho = f(t)$  mit der Temperatur unter der Voraussetzung, dass die Gastemperatur gleich der Staubtemperatur ist. Im unteren Temperaturbereich ist für den Staubwiderstand die Oberflächenleitfähigkeit massgebend, die von der Menge der adsorbierten oder chemisch gebundenen Feuchtigkeit abhängt. Mit steigender Temperatur wird die Feuchtigkeit ausgetrieben, und der Widerstand steigt. Nach dem Durchlaufen eines Widerstandshöchstwertes macht sich zunehmend die Durchgangsleitfähigkeit jedes Staubteilchens bemerkbar, die je nach seiner Zusammensetzung elektronischer oder ionischer Natur sein kann. Es ist bekannt, dass der Widerstand von Halbleitern oberhalb 400 °C dem Gesetz folgt:

$$\rho = A \cdot e^{\frac{B}{T}}$$

(worin:  $A, B$  Konstanten,  $T$  absolute Temperatur)

Einen derartigen Verlauf hat man schon bis herunter zu Temperaturen von 200 °C beobachten können.

Der Einfluss der Gasfeuchtigkeit im Temperaturbereich unterhalb des Widerstandshöchstwertes lässt sich nachweisen, wenn man den Staub in trockener Atmosphäre abkühlt. Es ergibt sich dann die gestrichelte Kurve der Fig. 5.

Einen grossen Einfluss auf den Staubwiderstand haben säurehaltige Gase. Für manche Stäube genügen z. B. geringe Mengen von  $SO_3$ , um den Staubwiderstand derart herabzusetzen, dass er für das Elektrofilter im ausserkritischen Bereich, also unterhalb  $10^{11}$   $\Omega$  cm, liegt, wie das Fig. 6 für einen Metallhüttenstaub zeigt.

Weiterhin konnte beobachtet werden, dass die zuvor geschilderten elektrischen Schwierigkeiten an den erfahrungsgemäss kritischen Grenzen des Staubwiderstandes allgemein sehr plötzlich auftreten. Durch den steilen Verlauf der Widerstandskurven genügen dazu schon Temperaturveränderungen von 10...20 °C. Auch gibt es Fälle, bei denen die kritische Grenze nach höheren Werten verschoben ist. Die

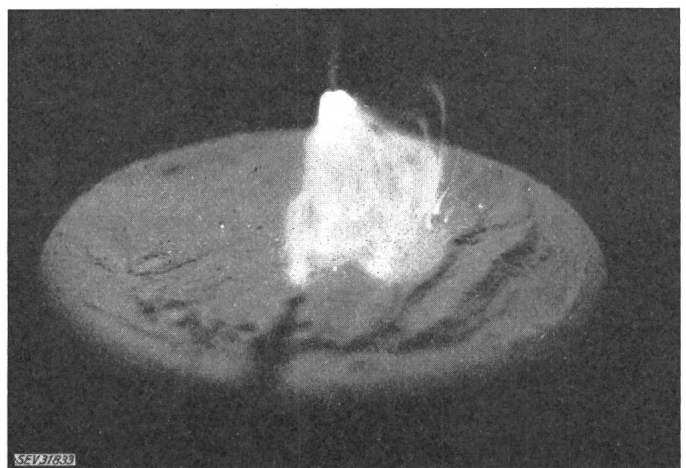


Fig. 4  
Rücksprühen im Demonstrationsversuch (Spitze und Platte)

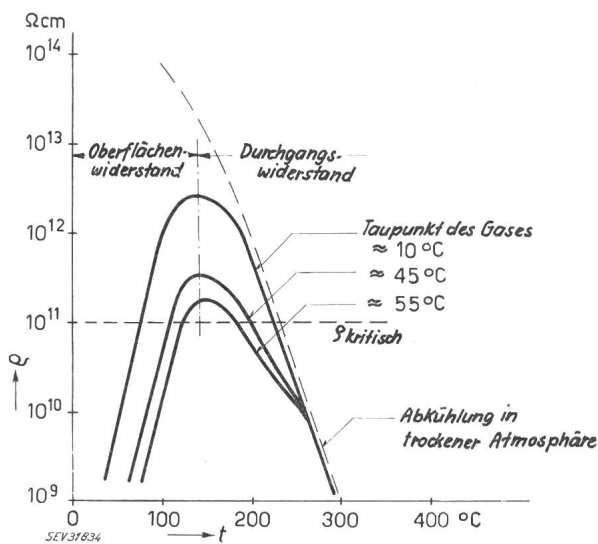


Fig. 5  
Elektrischer Staubwiderstand  
(Beispiel)  
 $\rho$  spezifischer Staubwiderstand;  $t$  Temperatur

Gründe dafür sind in verschiedenen Ursachen zu suchen, wie Art der Zusammenballung des Staubes auf den Niederschlagflächen und Anwesenheit von einzelnen sehr leitfähigen Staubteilchen. Ausserdem muss an der oberen Grenze von  $10^{11} \Omega \text{ cm}$  nicht unbedingt eine Stromerhöhung im Elektrofilter als äusseres Anzeichen von Rücksprühen eintreten. Es kann ebenso eine Stromverminderung auftreten, wenn der Staubbelag genügend dicht und ohne Gaseinschlüsse ist. Sehr deutlich ist oft der Übergang des Staubwiderstandes in den kritischen Bereich am Verhalten der Durchschlagspannung  $U_d$  einer Filteranlage zu erkennen. Diese im Abgas eines Heisswind-Kupolofens gemessene Abhängigkeit ist aus Fig. 7 zu erkennen.

Aus den bisherigen Ausführungen wird ersichtlich, dass es häufig notwendig ist, vor der Planung einer Elektrofilteranlage durch Messen des Staubwiderstandes einen Überblick zu erhalten, bei welchen Gasverhältnissen mit Schwierigkeiten bei der Abscheidung zu rechnen ist. Erst dann können entsprechende Massnahmen, wie Vergrössern der Niederschlagfläche, Gasvorbehandlung oder besondere Ausführung der Sprüh- und Niederschlagselektroden getroffen werden.

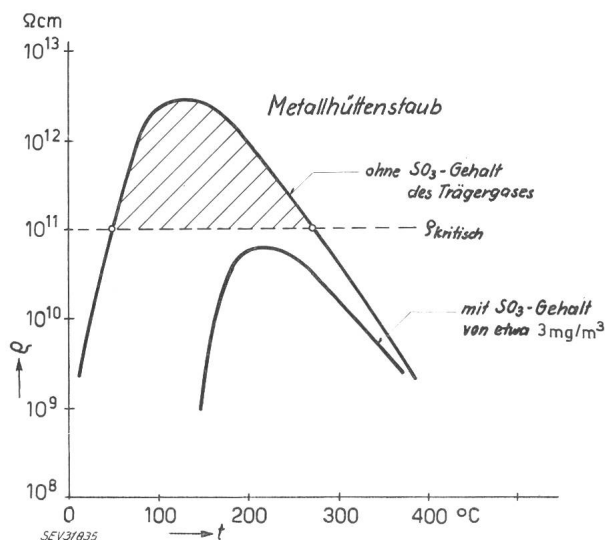


Fig. 6  
Widerstand eines Metallhüttenstaubes  
Bezeichnungen siehe Fig. 5

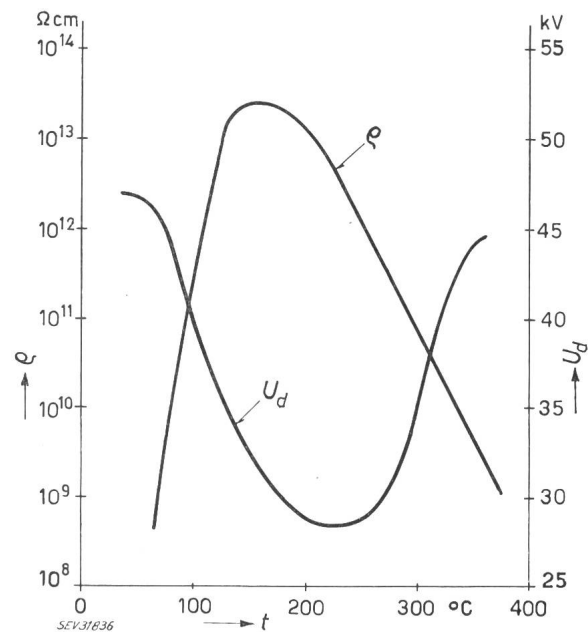


Fig. 7  
Staubwiderstand  $\rho$  und Durchschlagspannung  $U_d$   
(Beispiel)  
 $t$  Temperatur

#### 4.2 Staubgehalt

Eine zweite Ursache einer Störung kann ein hoher Rohgas-Staubgehalt sein. Wenn grosse Mengen besonders von feinem Flugstaub in das Elektrofilter gelangen, ist es möglich, dass der Koronastrom durch Raumladung unterdrückt wird. Sie schirmt die Sprühdrahte ab und behindert das Austreten weiterer Ladungen, was den Filterstrom sehr stark verkleinert.

Aber auch bei sehr niedrigen Rohgas-Staubgehalten kann die Wanderungsgeschwindigkeit sinken. Die Wahrscheinlichkeit, dass der gewünschte Anteil dieses Staubgehaltes aufgeladen und ausgeschieden wird, ist geringer als bei grösseren Staubgehalten. Dann wirkt sich jede kleine Störung im Filter sehr auf den Abscheidegrad aus. Als normal ist für den Rohgasstaubgehalt der Bereich zwischen 3 und 30  $\text{g/m}^3$  zu bezeichnen.

#### 4.3 Taupunkt und $\text{SO}_3$ -Gehalt

Neben den hier aufgezählten Einflüssen spielen natürlich noch viele Faktoren eine Rolle, wie z. B. die chemische oder mineralische Zusammensetzung des Flugstaubes, bei Rauchgasfiltern die Kohlezusammensetzung und die Feuerungsverhältnisse.

Als besonders wichtig gilt der Taupunkt des Gases. Grundsätzlich arbeitet jedes Elektrofilter um so besser, je kleiner die Differenz zwischen Gastemperatur und Taupunkt ist. Ein hoher Feuchtigkeitsgehalt im Gas erlaubt eine höhere Betriebsspannung im Filter und verbessert, wie bereits erwähnt, die Abscheideverhältnisse durch Vergrösserung der Dielektrizitätskonstanten.

Einen günstigen Einfluss hat auch der  $\text{SO}_3$ -Gehalt (Fig. 8). Er ist besonders förderlich bei der Abscheidung eines Flugstaubes mit oxydischen Anteilen, die nicht oder nur träge mit Wasser ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) zu leitfähigen Hydroxyden reagieren. Auch Sulfate sind weit besser als Oxyde abzuscheiden.

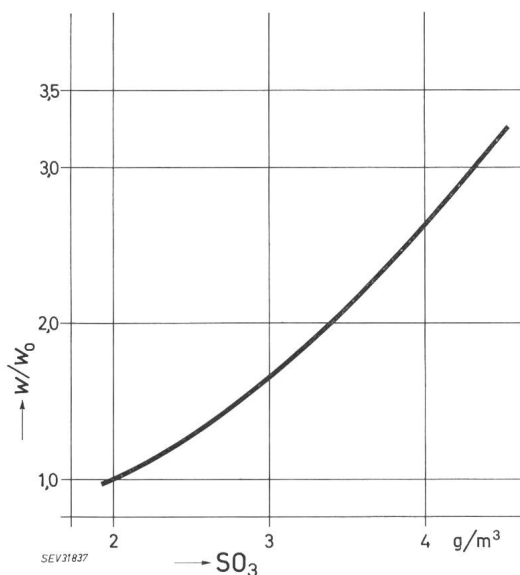


Fig. 8

Beispiel für den Einfluss des SO<sub>3</sub>-Gehaltes auf die Wanderungsgeschwindigkeit  $w$   
 $w_0 = w$  bei 2 SO<sub>2</sub>/m³ Gas

### 5. Hochspannungsanlagen für Elektrofilter

Je nach Elektrodenabstand benötigt das Elektrofilter eine Betriebsgleichspannung von 40...60 kV. Die ersten Elektrofilteranlagen, gebaut um das Jahr 1913 und damals als Cottrell-Filter bezeichnet, waren mit Motor-Generatoren oder Transformatoren und mit mechanischen Einphasen-Gleichrichtern ausgerüstet (Fig. 9). Um die Spannungsmittelwerte zu erhöhen, baute man auch Drehstrom-Gleichrichteranlagen. Allerdings war die Leistung des Schaltkreizes wegen des Stromübergangs an den Schaltstücken auf etwa 30 kVA beschränkt. Versuchsweise wurde durch Parallelschaltung mehrerer Gleichrichterscheiben auf einer Welle ein Aggregat von 150 kVA gebaut. Da aber früher die Möglichkeit fehlte, die im Elektrofilter entstehenden Kurzschluss-Ströme zu beherrschen, was dazu führte, dass Sprühdrahte verbrannten, wurde diese Möglichkeit nicht weiter verfolgt.

Der mechanische Gleichrichter war ein sehr robustes Gerät. Jedoch machten sich Stickoxyd- und Ozonbildung und



Fig. 10

Schaltschrank mit automatischer Steuereinrichtung  
 (in der Endabnahme)

die Verschmutzung der Räume durch den Abbrand der Segmente störend bemerkbar. Auch ergab sich ein für heutige Begriffe sehr umfangreicher Wartungsdienst. Ferner führten Begriffe sehr umfangreicher Wartungsdienst. Ferner störten die Schaltfunken den UKW- und Fernsehempfang.

In den dreissiger Jahren wurden Versuche mit gasgefüllten Gleichrichterröhren durchgeführt. Auch hier kam man über das Versuchsstadium nicht hinaus, weil die sich im Filterbetrieb ergebenden hohen Rückspannungen im Moment eines Überschlages zur Rückzündung und zur Zerstörung der in Europa sehr teuren Röhren führten.

Erst der Selengleichrichter, als sicheres und einfaches Betriebselement, verdrängte vor etwa 10 Jahren den mechanischen Gleichrichter für Elektrofilter. Die Wartung der Gleichrichteranlage umfasst seither lediglich die Kontrolle des Kühllöls. Störende Begleiterscheinungen, also auch Funkstörungen, treten nicht mehr auf (Fig. 10).

Die Hochspannungs-Selengleichrichter werden üblicherweise bis zu einer Leistung von 50 kVA einphasig und selbsttätig kühlend und ab 50 kVA dreiphasig, mit Ölumwälzpumpe und Öl-Luft-Kühlung gebaut. Sie werden sowohl in Innenraum- als auch in Freiluftausführung hergestellt und vertragen Umgebungstemperaturen bis 45 °C. Für tropische Temperaturen sind die Geräte mit Öl-Wasser-Kühlung ausgerüstet.

### 6. Prinzipielle Schaltung

Hochspannungstransformator und Selengleichrichtersatz in Brückenschaltung befinden sich, bei einer bestimmten Bauart zusammen mit der Widerstandskette für die Messung der ausgehenden Hochspannung, in einem Ölgefäß. Ein eingebautes Kontaktthermometer dient zum Vorwarnen und Abschalten bei erhöhter Öltemperatur. Die Prinzipschaltung von einphasigen Anlagen zeigt Fig. 11. Der Anschluss der zum Filter führenden Hochspannungsleitung geschieht mittels Kabelendverschluss oder über eine Hochspannungsdurchführung. Da die maximale Leerlaufgleichspannung je nach

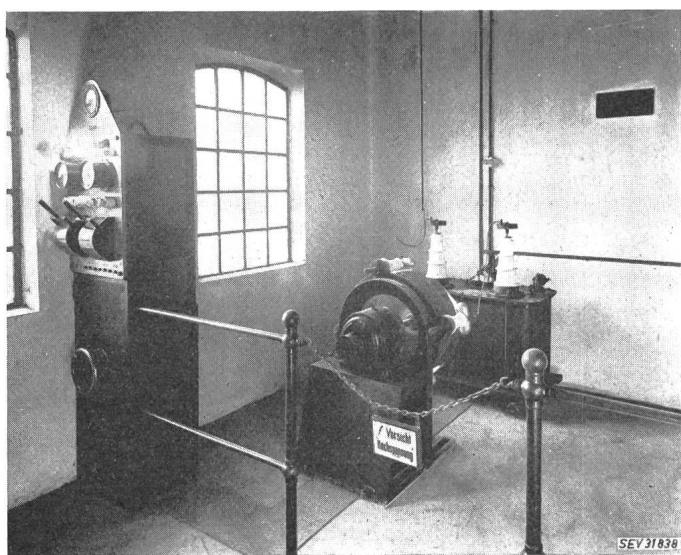


Fig. 9

Hochspannungserzeugung in einer Zementfabrik  
 Baujahr 1926

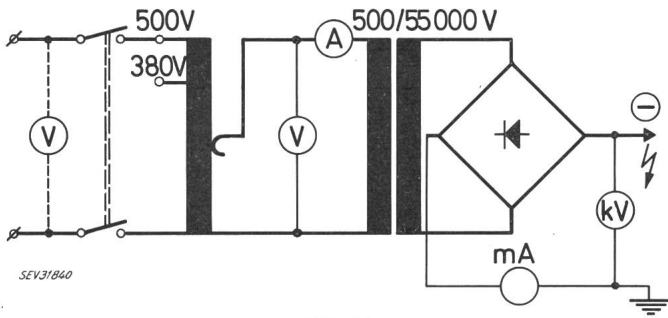


Fig. 11

Prinzipschaltung einer Hochspannungs-Erzeugungsanlage

Hersteller bei Kondensatorlast 70...80 kV beträgt, sind alle Teile des Hochspannungskreises für diesen Wert ausgelegt.

## 7. Automatische Steuerung

Die Automatisierung hat vor etwa 10 Jahren auch in die Schaltungstechnik der Elektrofilter-Hochspannungsanlagen Eingang gefunden. Heute ist die automatische Steuerung dieser Anlagen so gut wie allgemein üblich.

Aus Gl. (2) ist ersichtlich, dass der die Filterdimensionen bestimmende Faktor  $w$  abhängig ist von der Feldstärke  $E$  und gleichzeitig von einer sprühstromabhängigen Funktion  $f(I)$  (Fig. 12). Damit ergibt sich, da  $I = f(U)$ , eine in roher Näherung quadratische Abhängigkeit  $w = f(U^2)$ . Dies bedeutet bei einer gegebenen Filtergrösse, dass auch der Abscheidegrad [siehe Gl. (1)] etwa vom Quadrat der angelegten Spannung abhängt. Diese nur qualitative Aussage wird durch die Erfahrung an Elektrofilteranlagen bestätigt.

Aus der Tatsache, dass die Filterspannung die wichtigste Grösse im Filterbetrieb ist, ergeben sich für eine verfahrensgerecht selbsttätige Spannungssteuerung folgende Forderungen:

a) Die Betriebsspannung ist immer nahe an der Durchbruchgrenze des Gases zu halten. Die Automatik muss daher dem vom jeweiligen Gas-Staub-Gemisch abhängigen Verlauf der Durchschlagspannung folgen (Fig. 13 und 14).

b) Die maximal mögliche Spannung muss in Abhängigkeit von den Schwankungen des Betriebes in einstellbaren Perioden abgetastet werden, wobei innerhalb einer Abtastperiode die eingestellte Spannung konstant bleiben soll.

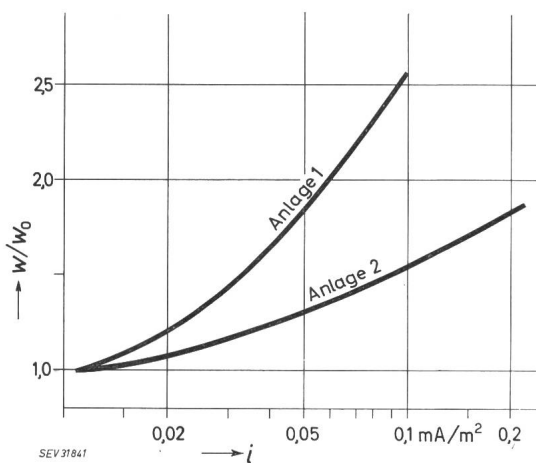


Fig. 12

Beispiel für den Einfluss des Sprühstromes  $i$  auf die Wanderungsgeschwindigkeit  $w$

$i$  in mA pro  $m^2$ -Niederschlagfläche  
 $w_0 = w$  bei  $0,011 \text{ mA/m}^2$

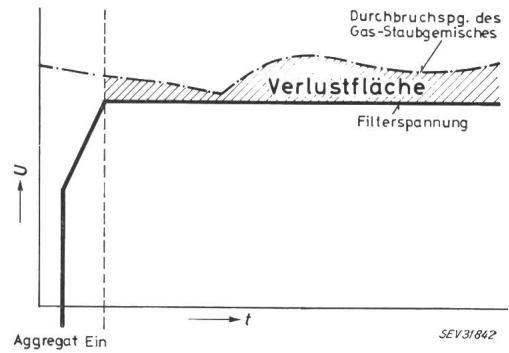


Fig. 13

Nicht ausgenützte Spannungshöhe bei Regelung von Hand  
 $U$  Spannung;  $t$  Zeit

c) Während des Hochregels soll die Geschwindigkeit der Spannungserhöhung an die Ionenbeweglichkeit des Gases angepasst sein.

d) Ein beim Abtasten der Durchbruchgrenze entstehender Lichtbogen muss sofort gelöscht werden, damit die an der Sprüh-elektrode umgesetzte Energie so klein bleibt, dass keine Beschädigungen entstehen.

e) Nach dem Umschalten von selbsttätiger Steuerung auf Handbetrieb darf sich die eingestellte Filterspannung nicht ändern.

## 8. Die Arbeitsweise der selbsttätigen Steuerung

Eine der ersten Ausführungen der Automatik, die den erwähnten Forderungen gerecht wurde, war mit Schützen, elektromagnetischen Auslösern und motorgetriebenen Zeitrelais bestückt. Obwohl diese Arbeitsweise den verfahrenstechnischen Forderungen genügte, war der Funktionsablauf nicht immer folgerichtig. Die zur Steuerimpulsgabe verwendeten Überstromunterbrecher waren in der Sicherheit ihrer Kontaktgabe abhängig von der Stromhöhe und der Brenndauer der im Filter auftretenden Durchschläge. Bei manchen Durchschlägen war die Kontaktgabe der Auslöser zu kurz, um einen einwandfreien Schaltablauf der angeschlossenen Schütze und Zeitrelais zu bewirken.

Um diese Schwierigkeiten zu umgehen und umfangreichere Steueraufgaben zu lösen, ging man mit Erfolg auf eine Kombination elektronischer Zeit- und Auslösekreise mit Kaltkathodenthyratrons und elektromagnetischen Relais über. Mit diesen Kombinationen lassen sich alle auftretenden Impulse von Elektrofilterdurchschlägen auch selektiv nach ihrer Stromhöhe erfassen; sie lösen einen eindeutigen Steuer-

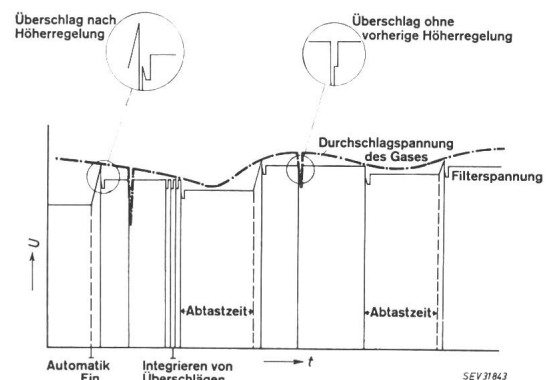


Fig. 14

Wie Fig. 13, aber bei automatischem Betrieb  
 Bezeichnungen siehe Fig. 13



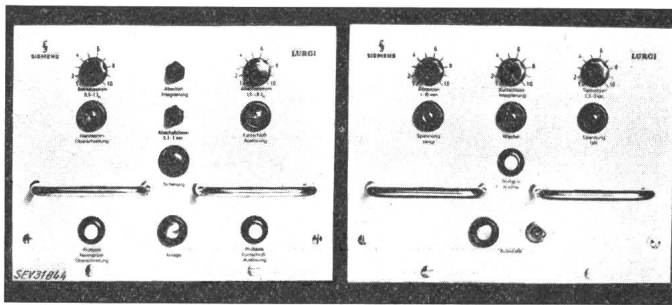


Fig. 15

Auswechselbare Einschübe für die automatische Steuerung

vorgang aus. Auch konstruktiv wurden Verbesserungen erzielt: Die Steuergeräte werden vorzugsweise als Einschübe (Fig. 15) gebaut, die leichtes Einstellen der Betriebswerte und einen schnellen Austausch ermöglichen.

Fig. 16 zeigt die Blockschaltung einer Elektrofiltersteuerung. Nach dem Einschalten wird die Filtergleichspannung mit einer der Ionisierungsgeschwindigkeit im Elektrofilter angepassten Spannungsänderung bis zum Lichtbogendurchschlag gesteigert. Dieser zeigt an, dass die Maximalgrenze der Spannung überschritten ist. Die gemessene Kurzschlußstromstärke wird in eine ihr proportionale Spannung umgeformt ( $I$  in Fig. 16), die in einem Auslöser eine Kaltkathodenröhre zündet. Der Auslöser unterbricht die Hochsteuerung der Spannung und leitet eine Spannungserniedrigung mit erhöhter Geschwindigkeit ein (6), so dass rasch ein Sicherheitsabstand von der Durchbruchgrenze des Gases erreicht wird.

Lichtbogen, die nicht von selbst erlöschen, werden durch sofortiges oder verzögertes Abschalten der Speisespannung zum Verlöschen gebracht (8). Wird dann wieder eingeschaltet, so ist die Speisespannung infolge eines Widerstandes vermindert. Damit liegen Spannungsstöße, die beim Wiedereinschalten einen erneuten Durchschlag veranlassen könnten, unterhalb der Durchschlaggrenze.

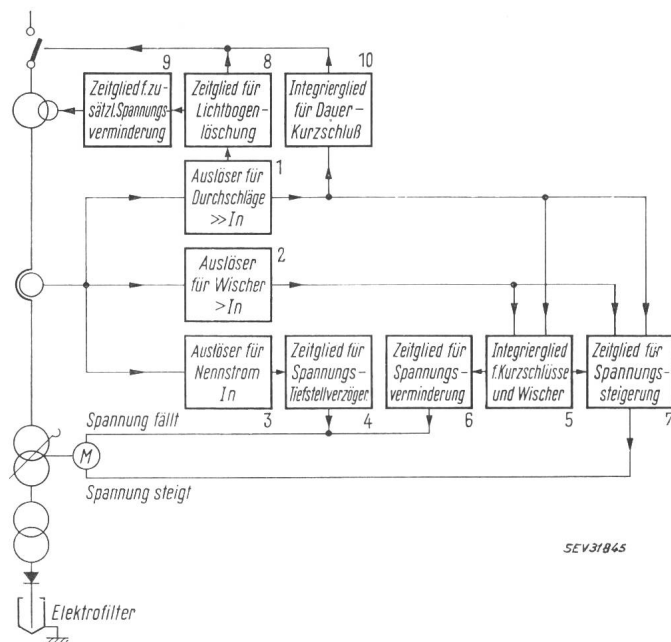


Fig. 16

Blockschaltung einer Elektrofilter-Steuerung

Erläuterungen siehe im Text

Nach Aufheben der vorübergehenden Spannungsminde- rung (9) ist die gewünschte Spannung am Filter eingestellt. Sie liegt um einen einzustellenden Betrag unterhalb der Durchschlaggrenze.

Einzelne Durchschläge, gleichgültig ob sie sofort oder verzögert abgeschaltet werden, führen nicht zu einer Span- nungsminde- rung, da sie erfahrungsgemäss durch nur kurz- zeitige Störungen im vorgeschalteten Verfahren verursacht sind. Ändert sich der Gaszustand in Richtung kleinerer Durchschlags- spannungen, beispielsweise durch gestiegene Temperatur, so löst die auftretende Durchschlagsreihe über den Integrator eine Spannungsminde- rung aus. Stroms- wache Durchschläge mit Stromstärken zwischen dem Nenn- strom und dem eingestellten Kurzschlussauslösestrom leiten im Hauptstromkreis keinen Abschaltvorgang ein (2). Diese sog. «Wischer» werden ebenfalls vom Integrator erfasst, jedoch nur mit dem halben Wert der stromstarken Durch- schläge. Die Speisespannung des Filters wird demnach nur dann vermindert, wenn die Anzahl der Wischer etwa doppelt so gross ist wie die Anzahl der stromstarken Durchschläge in der gleichen Zeit.

Nach einer dem jeweiligen Filterbetrieb, wie Gastempera- tur, Staubgehalt usw., entsprechenden Abtastzeit wird die Spannung wieder erhöht. Diese Zeit läuft nach jedem Durch- schlag neu an.

## 9. Die Anwendung der Elektrofilter

Nachstehende Übersicht vermittelt einen Begriff über die industriellen Anwendungsmöglichkeiten eines Elektrofilters:

- Entstaubung der Rauchgase von kohlegefeuerten Kraft- werken und Heizkraftwerken zur Energieversorgung;
- Gasreinigung bei der Kohle-Trocknung und -Brikettierung;
- Abgasreinigung und Raumentstaubung von Sinteranlagen bei der Erzaufbereitung;
- Reinigung von Gichtgas aus Hochöfen und Kupolöfen, für Gasturbinen bis auf  $0,001 \text{ g/m}^3$ ;
- Beseitigung des braunen Rauches, wie er bei der Stahl- herstellung im Tiegel, Konverter, Siemens-Martin-Ofen u. a. auf- tritt, wobei die trockene Abscheidung dieses feinen Staubes eine direkte Wiederverwertung ermöglicht;
- Gasreinigung in Metallhütten zur Rückgewinnung des oft sehr wertvollen Staubes; Abgasentstaubung bei der Aluminium- erzeugung;
- Entstaubung und Entnebelung von Röstgas, wie es zur Herstellung von Kontaktschwefelsäure und für das Sulfat-Zell- stoffverfahren gebraucht wird;
- Entnebelung von Nutz- und Abgasen der chemischen In- dustrie;
- Entteerung von Kokerei- und Generatorgas, ferner von Ab- gasen aus Elektroden-Brennöfen;
- Gasreinigung in der Industrie der Steine und Erden, bei- spielsweise für Rohmaterial-Mahltrockner, für Drehöfen und Schachtöfen zur Erzeugung von Zementklinker, Kalk, Magnesit oder Dolomit, für Zementmühlen, pneumatische Förderanlagen;
- Auf Spezialgebieten, wie bei der Entstaubung der Rauch- gase von Laugeverbrennungskesseln in der Zellstoffindustrie oder zum Entrussen bei der Ölvergasung oder Erdgasspaltung.

Aus dieser trockenen Aufzählung kann nicht hervorgehen, wieviel Kenntnisse notwendig sind, eine elektrische Gasrei- nigung sowohl verfahrensgerecht als auch wirtschaftlich vertretbar zu planen und zu bauen. Die Entstaubungstechnik prägte den lapidaren Satz «Staub ist nicht gleich Staub». Diese



Feststellung hat insofern eine augenfällige Berechtigung, als Staubfeinheit und Staubzusammensetzung, aber auch die Abgasdaten von Produktionsverfahren zu Produktionsverfahren stark wechseln. Zwei Beispiele, eines für eine Abgasentstaubung, das zweite für eine Nutzgasreinigung, sollen diesen keinesfalls lückenlosen Bericht beschliessen.

### 10. Zementwerkentstaubung

In einem Zementwerk unterscheidet man entsprechend dem Produktionsablauf folgende Staubarten: Kohlenstaub für die Feuerung, Rohmaterialstaub (Kalkmergel, Ton, Hütensand) und Rohmehlstaub aus der Rohmaterial-Vorbereitung, Flugstaub aus den Klinkerbrennöfen und Zementstaub aus den Zementmühlen. Die Hauptstaubquelle eines Zementwerkes ist die Ofenanlage. Die Entstaubung ihrer Abgase erfolgt wie bei den anderen Produktionsstufen überwiegend durch Elektrofilter.

Man unterscheidet zwei grundlegend verschiedene Klinkerbrennverfahren: Das Nassverfahren, bei dem das Rohmaterial in Form von Schlamm in den Ofen eingebracht wird und das (mit trockenem Rohmehl arbeitende) Trockenverfahren. Beide Verfahren wurden in den zurückliegenden Jahren besonders in ihrem Wärmeverbrauch verbessert, was veränderte Abgaseigenschaften zur Folge hatte. Versuche und Planung für neu zu erstellende Elektrofilter mussten sich diesen Veränderungen notwendigerweise anpassen.

Das Nassverfahren hat man durch den Bau von Öfen mit Schlammtrocknern so verändert, dass der Wärmeverbrauch von 1500 auf 1250 kcal pro kg Klinker zurückging. Die Folge war, dass die Abgastemperaturen von 200 auf 130 °C gesenkt wurden und erhebliche Korrosionserscheinungen in den Filtern auftraten. Abhilfe musste werkstoffseitig gefunden werden: Statt aus Stahl baut man die Filterinnenausrüstung aus einer eigens entwickelten Aluminiumlegierung.

Die Abgasentstaubung trocken arbeitender Öfen bereitete demgegenüber mehr Schwierigkeiten. Zwei grundlegend verschiedene Trockenverfahren, das Lepolverfahren und das Wärmetauschverfahren, sind von besonderem Interesse. An Wärmeenergie benötigen sie rund 800 kcal/kg, also weitaus weniger als das Nassverfahren.

Beim Lepolofen, der aus einem Wanderrost und aus einem vergleichsweise kurzen Drehrohr besteht, lässt sich das Abgas elektrisch gut entstauben. Durch die Bemühung des Herstellers, auch bei diesem Verfahren Wärmeenergie einzusparen oder, anders gesagt, die eingebrachte Wärme besser auszunutzen, sind auch hier die Abgastemperaturen in manchen Werken bis auf 90 °C gesenkt worden. Häufig ist die Gastemperatur nur wenig höher als der Taupunkt. Die Folge davon war, dass auch in diesem Falle der Korrosionsfrage erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden musste, die Ersparnis an Wärmeenergie ist also in gewissem Ausmass durch korrosionsfeste Werkstoffe für die Abgasreinigung erkauft worden. Abgesehen vom klassischen Schachtofen und von dem seit etwa 80 Jahren bekannten Trockenverfahren im einfachen Drehofen ist der Lepolofen der ältere Zweig moderner trockenarbeitender Klinkerbrennverfahren.

Wesentlich andere Abscheidebedingungen haben die verschiedenen in den letzten Jahren entwickelten Wärmetauschverfahren. Ohne auf die Besonderheiten der einzelnen Systeme einzugehen, lassen sie sich folgendermassen beschrei-

ben: Das den Drehofen verlassende, etwa 800 °C heisse Abgas durchströmt nacheinander einige Zyklone oder Wirbelschächte, durch die das kalte Rohmaterial im Gegenstrom zum Gas hindurchgeleitet wird und in das Drehrohr gelangt. Das Gas wird dadurch mit Rohmaterial abwechselnd angereichert und von ihm wieder befreit. Aus der letzten Wärmetauscherstufe tritt das Gas dann mit 300...350 °C aus; es enthält dabei einen wesentlichen Staubgehalt mit feiner Körnung, weil die Zyklone nur den gröberen Staub herausnehmen können. An Flugstaub treten 30...40 g/m<sup>3</sup> aus, die Hälfte davon ist feiner als 0,002 mm. Diese Art von Abgas war für die Entstaubungstechnik neu, jede die Entstaubung erschwere Eigenschaft war gegeben: Hohe Temperatur und niedriger Taupunkt, hoher Staubgehalt und grosse Staubfeinheit. Bei den heutigen Anforderungen an das Sauberhalten der Luft konnte man derartige Abgase natürlich nicht in die Atmosphäre schicken. Dass dieses Entstaubungsproblem nach umfangreichen Versuchen gelöst werden konnte, ist das Verdienst einiger weniger Elektrofilterfirmen. Neuartige Sprüh-elektroden in Kombination mit besonderen Niederschlag-elektroden und eine grössere Filterbemessung führten hier zum Ziel. Die üblicherweise verlangten und erzielten Reingasstaubgehalte liegen bei 0,1...0,2 g/m<sup>3</sup>, auch niedrigere Werte können erreicht werden. Mit Blick auf die Nachbarschaft der Zementwerke kann damit festgestellt werden, dass erst die Weiterentwicklung des Elektrofilters die Anwendung von Wärmetauschöfen ermöglicht hat.

### 11. Röstgasreinigung in Schwefelsäure-Kontakthanlagen

Schwefelsäure wird heute dadurch hergestellt, dass man schwefelhaltige Erze in Etagenöfen oder, bei neueren Anlagen, in Wirbelschichtöfen abröstet. Das erzeugte SO<sub>2</sub>-reiche Gas (9...12 Volumprozent) wird dann entstaubt, gekühlt und entnebelt, schliesslich getrocknet und so vorbereitet dem Kontaktsystem zugeführt.

Das Röstgas aus den Etageöfen enthält an Flugstaub um die 5 g/m<sup>3</sup> <sup>1)</sup> aus Wirbelschichtöfen in der Grössenordnung von 200 g/m<sup>3</sup> <sup>1)</sup>. An SO<sub>3</sub> sind etwa 10 bzw. 5 g/m<sup>3</sup> <sup>1)</sup> enthalten. Da im allgemeinen kein Interesse besteht, den besonders bei Wirbelschichtöfen hohen Flugstaubanteil in Schlamm mit der dann notwendigen Aufbereitung überzuführen, benützt man zur Hauptentstaubung keinen Wäscher. Wegen der hohen Gastemperatur — je nach vorgeschalteter Abhitzeverwertung 300...400 °C — muss die Entstaubung elektrisch vorgenommen werden. Meistens wird zur Entlastung der Elektrofilter ein Zyklonentstauber vorgeschaltet. Das Heissgaselektrofilter wird in 2...4 elektrisch getrennten Abscheidezonen gebaut, um den hohen Rohstaubgehalt auf rund 0,1 g/m<sup>3</sup> <sup>1)</sup> senken zu können. Nicht nur der hohe Staubgehalt beeinflusst die Filterkonstruktion, auch die besonderen Eigenschaften des Staubes sind zu beachten. Während im Elektrofilter eines Etagenofens entsprechend dessen Charge ein blei- und zink-sulfathaltiger Staub abgeschieden wird, also ein Material, das nicht mehr reagiert, handelt es sich beim Wirbelschicht-ofen-Elektrofilter um die Abscheidung von Eisenoxiden teilweise hoher Reaktionsfähigkeit.

Dies führte früher in den Elektrofiltern zu Schwierigkeiten. Der Staub, der sich an den Sprühelektroden ansetzt, kann

<sup>1)</sup> Diese Staubkonzentrationen beziehen sich auf den Normal-kubikmeter.

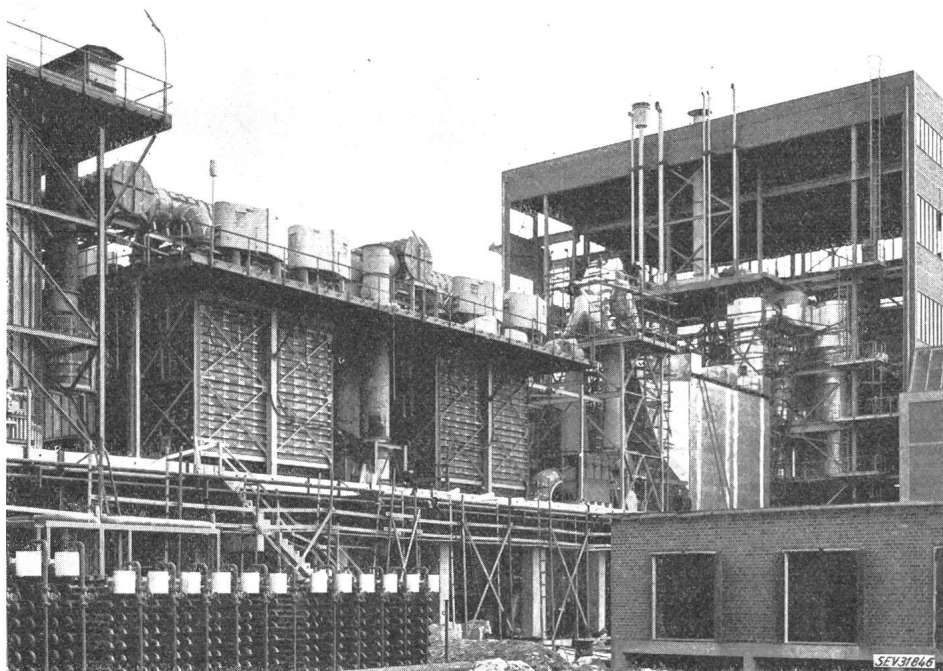


Fig. 17  
Gasreinigung einer Schwefelsäure-  
Kontakthanlage

von rechts nach links: Gebäude mit  
Wirbelschichtöfen, Heissgas-Elektrofil-  
ter, Wasch- und Kühlanlage (einges-  
rüstet), zweistufige Nass-Elektrofilter mit  
Bleigehäusen. Anschliessend folgt die  
Kontakthanlage

in der  $O_2$ - und  $SO_2$ -Atmosphäre bei der herrschenden Temperatur und unter der Wirkung der Glimmentladung zu Sulfat umgesetzt werden, das feste Schalen und Knollen an den Sprühdraht bildet. Es war eines der schwierigsten Probleme bei der Einführung der Wirbelschichtröstung, das Entstehen dieser Ansätze zu verhüten oder sie nachträglich zu entfernen.

Das Problem wurde durch geeignete Betriebsweise gelöst. Zu hoher Sauerstoffgehalt und hohe Temperatur des Gases müssen vermieden werden. Ausserdem wurden die Einrichtungen zum Aufhängen und zum Abklopfen der Sprühelektroden so gebaut, dass beim Abklopfen die Erschütterungen der Staubansätze stärker sind, als es früher bei Filtern hinter Etageöfen notwendig war.

Bei der weiteren Behandlung des Gases, also beim Kühlen und Entnebeln, liegen die Verhältnisse günstiger als bei der Nassreinigung von Röstgasen aus Etageöfen. So lässt sich der Schlamm, der noch in der Nassreinigungsanlage ausgewaschen und abgeschieden wird, leichter von Kühl- und Elektrodenflächen abspülen als der bleihaltige Schlamm aus Anlagen hinter Etageöfen.

Nach dem Heissgasfilter gelangt das Röstgas in die Wasch- und Kühlanlage. Im Waschturm, einem säurefest ausgemauerten Leerturm mit Düsen zum Einsprühen von Schwefelsäure oder, neuerdings, im einfachen Venturiwäscher wird das Gas auf  $50...70^\circ C$  gekühlt und im Feststoffgehalt noch weiter herabgesetzt. Die anschliessend für das Kontaktverfahren noch notwendige Temperaturniedrigung auf  $40...35^\circ C$  erfolgt in einem indirekt wirkenden Gaskühler, dessen Kühlelemente aus wasserdurchflossenen Bleirohren bestehen.

Die letzte Stufe der Röstgasreinigung besteht aus in Blei gebauten Nasselektrofiltern. In ihnen werden die durch die vorgeschaltete Verdampfungskühlung entstandenen Schwefelsäure-Nebel ( $5...10 g/m^3$ ) mit den letzten Flugstaubspuren niedergeschlagen. Da die Nebeltröpfchen bei arsenhaltigem Röstgut auch noch Arsentryoxyd enthalten, werden die Nass-

elektrofilter solcher Anlagen oft als «Entarsenierung» bezeichnet (Fig. 17).

Damit ist das ursprünglich heisse, mit Flugstaub, Schwefeltrioxyd und Arsen verschmutzte Röstgas gereinigt. Es wird anschliessend getrocknet und ist dann «kontaktreif».

Entsprechend der eingangs gegebenen Klassifizierung, wann eine Gasreinigung notwendig ist, gehört die Röstgasreinigung zur Nutzgasreinigung. Der ausgeschiedene Flugstaub ist jedoch wegen seines Metallgehaltes nicht wertlos. Er wird zusammen mit dem Abbrand des Ofens je nach Art des gerösteten Erzes einer metallurgischen Weiterverarbeitung zugeführt. Endprodukte sind hauptsächlich Eisen, in der Metallhüttenindustrie im wesentlichen Blei, Kupfer und Zink und deren Begleitmetalle. Bei der Schwefelsäureherstellung aus  $SO_2$ -haltigen Röstgasen ist die elektrische Gasreinigung somit eine notwendige und, bei Verwertung des Flugstaubes eine finanziell sich selbst tragende Produktionsstufe.

#### Literatur

- [1] Szubinski, H. W.: Röstgasreinigung für Wirbelschichtöfen. Dechema-Monogr. 33(1959), S. 123...132.
- [2] Hesselbrock, H.: Physikalische Vorgänge im Elektrofilter. Mitt. VGB —(1960)64, S. 13...26.
- [3] Eishold, H. G.: Der elektrische Staubwiderstand im Elektrofilter. Arch. Eisenhüttenwesen 32(1961)4, S. 221...224.
- [4] Schmolling, G.: Leistungssteigerung vorhandener Rauchgasfilter. Energie 13(1961)11, S. 528...531.
- [5] Schwarz, E., R. Schlitt und G. Götz: Verfahrensgerechte Spannungssteuerung von Elektrofiltern. Siemens Z. 35(1961)5, S. 387...392; 6, S. 478...482.
- [6] Waeber, H. G.: Elektrische Ausrüstungen für Zementwerke. Zement-Kalk-Gips —(1961), Sonderausg. 10.
- [7] Scheidel, C.: Die elektrische Gasreinigung in grossen Industriewerken. Metallges. A.-G., Mitt. Arbeitsbereich —(1962)4, S. 33...44.
- [8] Stern, A.: Air Pollution, Bd. 2. New York, London: Academic Press 1962.

#### Adresse des Autors:

Dr. C. Scheidel, Lurgi Apparatebau Gesellschaft mbH, Postfach 9181, Frankfurt/Main (Deutschland).

<sup>1)</sup> Diese Staubkonzentrationen beziehen sich auf den Normal-kubikmeter.