Wirtz Jean, instituteur, Kayl.
Molitor Pierre, chef-comptable, Luxembourg.
Reding Jean-Pierre, instituteur, Hagen.

Die Entstaubung der Industriegase mit besonderer Berücksichtigung des Cottrell-Möller Verfahrens.

P. **Schiltz,** Differdingen.

(Schluss.)

Bis zu 0,2 μ gelingt es noch durch Ausnutzung der Schwerkraft und der Schleuderkräfte den Staub zu fällen. Soll die Reinigung aber noch weiter getrieben werden, dann muß schon zum Kunstgriff der Adsorption der Schwebeteilchen durch Flüßigkeiten gegriffen werden, unter 0,1 μ versagt aber auch dieses Hilfsmittel.

Zu welchen Dimensionen die Staubkanäle für bestimmte Partikelgrößen anwachsen müssen, lassen Folgerungen aus dem Stokes'schen Gesetz erkennen. Dasselbe lautet: Die Fallgeschwindigkeit v. eines Stäubchens mit Radius = r. und der Dichte = d. in einem Medium mit Viskosität = η beträgt

$$1/\ v = \frac{2\ g\ r^2\ d}{9\ \eta.}$$

$$2/\ m = \tfrac{4}{3}\ \pi\ r^3\ d.$$

Damit dieses Stäubchen nun unter dem Einfluß seiner Schwere niedergeschlagen werde, muß dasselbe einer Kraft F. unterworfen sein, die gleich ist seinem Gewicht

$$3/.\ P = m.\ g.$$

m. und g. in (3) ersetzt durch ihre Werte aus (1) und (2) ergeben für die Kraft F folgenden Ausdruck:

$$4/.\ F = 6\ \pi.\ r.\ \eta.\ v.$$

Damit nun das Stäubchen mit Radius = r. in einem Kanal von Länge = L. und Höhe = h. niedergeschlagen werde, muß eine Arbeit geleistet werden.

Wird diese Arbeit des Niederschlags über den ganzen Weg L., d. h. die Länge des Kanals geleistet, oder wird das Stäubchen erst am Ende des Kanals niedergeschlagen, so hat die geleistete Arbeit folgenden Wert:

$$5/.\ A_1 = L. \tfrac{4}{3} \pi r^3 d. g.$$

Soll jedoch die Viskosität[4]) des Mediums über die Strecke h. überwunden werden, d. h. soll das Stäubchen direkt niedergeschlagen werden, so muß folgende Arbeit geleistet werden:

$$6/.\ A_2 = h. 6. \pi r. \eta. v$$

Nun ist aber

$$7)\ A_1 = A_2.$$

Die Werte aus (5) und (6) in (7) eingesetzt und umgewandelt ergeben für r. des Staubes folgenden Wert:

$$(8)\ r^2 = \frac{g\ h.\ \eta.\ v}{2.\ L.\ d.\ g.}$$

Diese Formel angewandt auf einen Staubkanal von Länge = 1000 m., Höhe = 20 cm., Luftgeschwindigkeit = $^1/_2$ m. sek ergibt für die Staubpartikel einen Radius von der Größenordnung r. = 1 μ.

Werden die niederzuschlagenden Staubteilchen noch kleiner, müssen die Staubkanäle entsprechend länger werden.

Sollen für die Gasreinigungen die Zentrifugalkraftwirkungen angewandt werden, so ergibt sich auch hier, als Schlußfolgerung

---

[4]) *a)* Der absolute Reibungskoeffizient oder die absolute Viskosität läßt sich am einfachsten berechnen aus der Mediummenge, die aus einer Kapillare von bestimmter Länge und bestimmtem Radius in einer bestimmten Zeit unter konstantem Druck ausfließt. Diese ist abhängig von der Natur des Mediums. Sie ist direkt proportional der vierten Potenz des Radius und der Druckdifferenz an beiden Enden der Röhre und umgekehrt proportional der Länge der Röhre und dem Reibungskoeffizienten.

b) Die relativen Reibungskoeffizienten werden nach Th. Graham auf Sauerstoff bei 0° bezogen,

aus dem Stokes'schen Gesetz,[5]) daß Niederschlag von Teilchen unter 1 μ zu undurchführbaren Dimensionen und Rotationsgeschwindigkeiten führt.

Die vorhin erwähnten konstruktiven Schwierigkeiten der rein mechanischen Entstaubungsanlagen sind vollständig durch das elektrische Niederschlagverfahren Cottrell-Möller überwunden worden.

Das Prinzip des Verfahrens ist kurz folgendes: Dem in einer unreinen Atmosphäre hängenden Draht wird hochgespannter Gleichstrom zugeführt, die Schwebeteilchen werden dadurch elektrisch geladen, aus der geraden Gasbahn abgelenkt und zur

[5]) Das Stokes'sche Gesetz beruht auf folgenden Newton'schen Überlegungen:

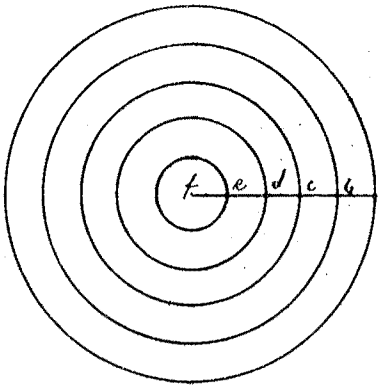


Fig. 1.

Fließt ein Medium durch eine längere Röhre, so findet infolge von Reibung an den Wänden eine Geschwindigkeitsverminderung statt. Die an die Rohrwand angrenzende Molekelschicht *a* (fig. 1) hat infolge der Adhäsion die Geschwindigkeit v=o. Auf diese Schicht *a* folgt nun Schicht *b*, welche sich auf *a* gleichsam wie auf einer Unterlage fortbewegt, also hat sie eine Reibung zu überwinden. Da aber die Berührungsfläche hier kleiner ist, wird auch die Reibung kleiner sein, mithin v. größer. Die gleiche Überlegung gilt für c, d, e. In der Röhrenachse f. wird also v. den größten Wert haben. Gemäß diesem unterscheiden wir bei einem fließenden Medium durch eine Röhre:

a) die Reibung gegen die Wand;

b) die Reibung der Flüßigkeitsteilchen unter sich.

Newton nennt erstere die äußere und letztere die innere Reibung. Die innere Reibung ist abhängig:

a) von der Beschaffenheit

b) von der Viskosität des Mediums.

Je größer die Viskosität, desto größer die innere Reibung. Außerdem ist die Reibung zweier Schichten eines fließenden Mediums direkt proportional dem Unterschied ihrer Geschwindigkeiten und der Größe der reibenden Flächen.

Die Auswertung dieser Newton'schen Überlegungen führte zu dem so wichtigen Stokes'schen Gesetz, das heute eine bedeutende Rolle auch in der Elektronentheorie führt.

gegenüberliegenden Elektrode hingeführt, wo sie sich niederschlagen.

Der Vorgang möge theoretisch kurz in Folgendem gegeben sein:

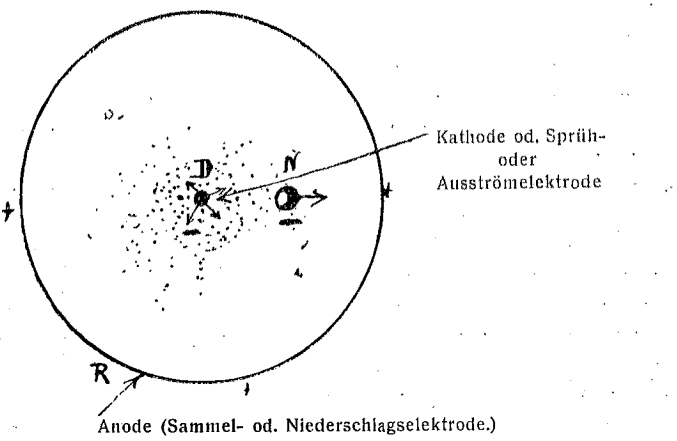


Fig. 2.

In dem gegebenen Zylinderkondensator R (fig. 2), dessen Innenelektrode aus einem dünnen Draht D besteht, bringt der eigenartige Verlauf der elektrischen Kraftlinien es mit sich, daß an der Oberfläche des Drahtes eine äußerst hohe Feldstärke zur Ausbildung kommt, welche durch Stoßionisation eine gewaltige Ionenmenge erzeugt. Die hohe Feldstärke gibt Veranlassung zu Lichtschwingungen, diese haben zur Folge eine Lichterscheinung, welche als sogenannte «Korona» in der Umgebung des Drahtes auftritt.

Bekanntlich sind die Gase, welche von Flammen herkommen, stark ionisiert. Kommen nun einige Ionen in unmittelbare Nähe des Drahtes, so erfahren sie hier einen solch starken Antrieb über eine bestimmte Weglänge hin, daß sie befähigt werden aus einem neutralen Gasatom ein Elektron freizumachen. Durch das Abspalten des Elektrons, das sich sofort wieder mit neutralen Gasmolekülen zu einem negativen Ion vereinigt, sind plötzlich neue Ionen entstanden, von denen die positiven vom negativen Draht stark angezogen werden und auch noch aus diesem Elektronen freimacht. Es bildet sich so nach und nach ein kompliziertes Gleichgewicht heraus, das sich darin äußert, daß außerhalb der Korona keine positiven, sondern nur negative Ionen vorhanden sind, die sich infolge ihres hohen Temperaturinhaltes mit großer Geschwindigkeit radial zur positiven Rohrwand hinbewegen und so die elektrische Leitung des Gases besorgen.

Ein in dieser Ionenatmosphäre schwebendes Staub- oder Flüssigkeitsteilchen N. wird nun gleichnamig mit der Polarität des Drahtes aufgeladen und bewegt sich im elektrischen Feld zur geerdeten Rohrwand R. hin. Hier schlagen sich die Teilchen nieder.

Zum bessern Verständnis der Theorie des Niederschlags der Staubteilchen müssen wir etwas weiter ausgreifen.

Betrachten wir ein einziges Staubteilchen in einer reinen Sauerstoffatmosphäre von 1 Atm. Druck. Die Sauerstoffmoleküle trommeln infolge der Energie der Wärmebewegung von allen Seiten auf das Teilchen los und zwar mit einer Kraft, die gleich ist 1 kg. pro 1 cm² Partikeloberfläche. Diese Angaben sind nur ein Mittelwert und nur die auftretenden Schwankungen in den Stoßwerten sind es, welche die bekannte Brown'sche Bewegung hervorrufen. Die kinetische Gastheorie erlaubt es uns die sekundliche Stoßzahl, welche ein Stäubchen von $r = 1$ μ erleiden muss, mit 26 400 Billionen Stößen zu errechnen.

Nehmen wir nun wieder eine reine Sauerstoffatmosphäre, nur mit dem Unterschied, daß neben neutralen auch noch elektrisch geladene Moleküle vorhanden sind. Letztere seien Gasionen genannt.

Die Anzahl Stöße auf das Staubteilchen ist auch in diesem Fall die gleiche, nämlich 26 400 Billionen. Unter Umständen können in diesem Fall die Ionen dauernd an dem Teilchen festgehalten werden, während die Sauerstoffmoleküle abgestoßen, d. h. reflektiert werden. In einer solchen Atmosphäre von positiven und negativen Ionen kann also ein Staubteilchen dauernd aufgeladen und wieder entladen werden.

Beim Cottrell-Möller Verfahren werden nun aber absichtlich negative Ionen in großer Anzahl im Gas erzeugt. Weshalb, werden wir später sehen. Bei diesem Verfahren müssen folglich die Staubteilchen immer elektronegativer werden. Je größer nun diese negative Aufladung wird, desto größer muß auch die Abstoßungskraft auf frische anstürmende negative Ionen werden, oder aber dem Ion müssen immer größere Energien zur Verfügung gestellt werden, damit es befähigt werde die Abstoßungsschicht des aufgeladenen Teilchens zu durchbrechen.

Ist letzteres nicht der Fall, d. h. stehen keine größeren Energiemengen zur Aushilfe bereit, so muß sich ein Gleichgewichtszustand einstellen, der gleichbedeutend ist mit einem zu erreichenden Maximum in der Abscheidung des Staubes.

Selbstverständlich besitzt das Ion nur eine angebbare mittlere Wärmeenergie, gemäß seiner Temperatur, jedoch macht die Annahme der mittleren Energiemenge den Fehler, daß sie das Max-

well'sche Verteilungsgesetz der Geschwindigkeiten nicht in Betracht zieht. Dieses Gesetz lautet: Die Geschwindigkeiten der Gasmoleküle, also auch der Ionen, ändern von Molekül zu Molekül, von Ion zu Ion, es schwanken die Geschwindigkeiten nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung um einen Mittelwert.

Nach diesem Gesetz gibt es also Stöße, herrührend von Ionen mit maximaler und minimaler Energieaufladung, also mit maximaler und minimaler Geschwindigkeit. Jene Ionen mit maximaler Aufladung, welche gemäß dem Maxwell'schen Gesetz nun seltener auftreten, folglich auch seltener auf das Teilchen aufstoßen, sind es nun gerade, welche ihm die volle Ladung erteilen und es so befähigen, über den kritischen Punkt hinauszukommen, d. h. auch noch dort Aufladung zu erzeugen, wo mit mittlerer Energie gerechnet, bereits Abstoßung erfolgen müßte.

Ein weiter zu berücksichtigendes Moment bei dem elektrischen Niederschlagverfahren liegt in der gegensinnigen elektrischen Ladung des niederzuschlagenden Teilchens und der Abscheidefläche. Leitende Teilchen geben spontan ihre Ladung ab und nehmen die Polarität der Fläche an, erhalten also noch einen zusätzlichen Abtrieb. Zum Glück hat nun die Gasreinigungstechnik es fast nie mit leitenden Stäuben in diesem Sinne zu tun. Sogar die Reinmetallteilchen im Staube der Metallbetriebe sind stets mit einer Oxydschicht bedeckt, sind also durchweg nicht leitend, d. h. die Stäube geben an der Sammelelektrode ihre Gesamtladung nicht ab. Aus diesem Grunde werden sie infolge der gegensinnigen Ladung der Sammelelektrode von dieser mit starken elektrostatischen Kräften angezogen. Der erzeugte Druck ist so groß, daß die Staubschicht erst abfällt wenn ihr Gewicht den entsprechenden Reibungswert überschreitet.

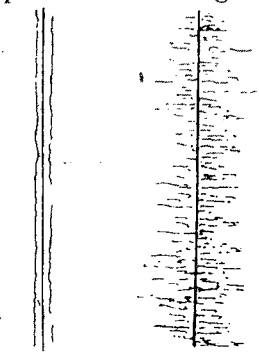


Fig. 3.

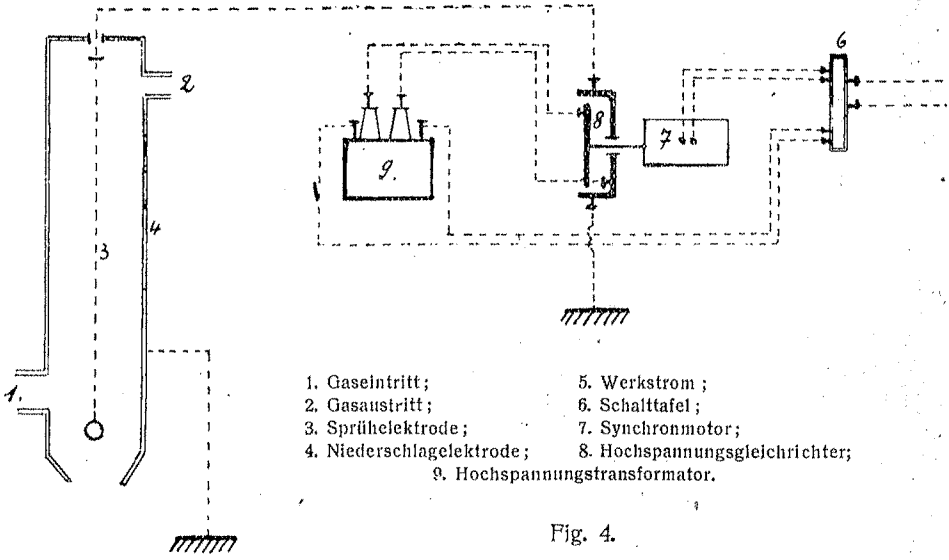
Als besonders vorteilhaft für die Abscheidung hat sich der Anschluß des Drahtes an den negativen Pol herausgestellt, weil dadurch die sogenannte stabile, das ist die negative Korona sich bildet. Diese erhebt sich nur einige Millimeter über die Drahtoberfläche (fig. 3). Bei Hochspannungsfreileitungen ist diese Koronabildung als Verlustquelle höchst unwünscht, hier aber wird sie in nutzbringende Arbeit umgewandelt.

Bei der negativen Aufladung der Sprühelektrode kann mit der Spannung viel höher gegangen werden als bei positiver Ladung, denn diese sich nun bildende

positive Korona reicht infolge fadenähnlicher Verästlungen (fig. 3) weit ins Gas hinein. Bei gegebenem Abstand kann leicht Überschlag oder Lichtbogenbildung stattfinden und das schon bei einer Spannung, die bei negativer Aufladung noch lange keine Überschlaggefahr bildet.

Die Praxis hat aber bewiesen, daß die elektrische Abscheidung umso wirtschaftlicher verläuft, je höher das Potentialgefäll zwischen Kathode und Anode ist. Da man nun bei negativer Aufladung viel höhere Spannungen anwenden kann als im umgekehrten Falle, ohne daß Überschlaggefahr vorliegt, wird heute diese Anordnung allgemein zur Anwendung gebracht.

Die Hauptteile einer elektrischen Reinigungsanlage stellen sich schematisch folgendermaßen zusammen. (Fig. 4.)



1. Gaseintritt;
2. Gasaustritt;
3. Sprühelektrode;
4. Niederschlagelektrode;
5. Werkstrom;
6. Schalttafel;
7. Synchronmotor;
8. Hochspannungsgleichrichter;
9. Hochspannungstransformator.

Fig. 4.

Welche Werte der Weltwirtschaft durch die Stäube verloren gehen, mögen folgende Zahlen beleuchten:

In der Eisenindustrie rechnet man im Mittel mit 45 kg Gasstaub mit 40 % Fe pro Tonne Roheisen. Für Luxemburg allein, bei einer Produktion von 2,3 Millionen Tonnen Roheisen, ergibt sich somit ein Verlust von 41 400 Tonnen Fe. Die Weltproduktion, mit 80 Millionen Tonnen Roheisen in Betracht gezogen, führt zu einem Globalverlust von $80\,000\,000 \times 0.018 = 1\,460\,000$ Tonnen Fe, oder in andern Worten, die Hälfte der Luxemburger Hochöfen arbeitet nutzlos, nur um diesen Staubverlust auszumerzen.

In Geld ausgedrückt verliert Luxemburg allein jährlich 12 500 000 fr., die Weltwirtschaft im Ganzen 440 Millionen fr. Statistische Beobachtungen der Metallgesellschaft erbringen den Beweis, daß der Bleiindustrie jährlich ein Verlust von 800 Millionen Franken und der Kupferindustrie ein solcher von über 100 Millionen erwächst. Würden auch noch andere Industriezweige ihre Staubverluste auskalkulieren, würde sich diese jährliche Verlustziffer noch gewaltig erhöhen.

* * *

Wohl ging man frühzeitig an das Reinigungsproblem der Abgase heran, aber nur um den oftmaligen Prozessen aus dem Wege zu gehen; zudem waren die bis in die letzten Jahre angewandten Niederschlagsverfahren äußerst kostspielig und im Resultat sehr wenig befriedigend. Erst Cottrell-Möller hat hier Wandlung geschaffen, wie folgende Beispiele erkennen lassen.

Eine Bleihütte in Spanien, mit 75 Tonnen Tagesproduktion, schlug in einem 6 km. langen Flugstaubkanal täglich 2—4 Tonnen Staub mit etwa 2 Tonnen Blei und ca. 250 gr Silber nieder. Die elektrische Anlage, aufgebaut auf 40 m² Grundfläche, schlägt dagegen 5—6 Tonnen Staub mit 4 Tonnen Blei und 700 gr Silber nieder. Also mehr und wertvolleres Material.

Beim Kalzinieren von Kalkstein und Ton im Hinblick auf die Zementfabrikation entsteht eine gewaltige Menge Staub, dem die ersten Zementfabrikanten gar keinen Wert zuerkannten. Die elektrische Niederschlagung erfolgte nur um die Staubfreiheit der Betriebe und der Umgegend zu gewährleisten. Die chemische Analyse dieses abfallenden Staubes zeigte nun, daß er bis zu 10 % Kali enthielt, herrührend aus dem Ton, welcher das Zerfallprodukt von kalihatigem Feldspat ist. Diesen hohen Kaligehalt im Staube konnte niemand voraus ahnen, da der verarbeitete Ton nur bis zu 0,5 % K_2O enthielt. Heute bildet dieser kalihaltige Staub einen der besten Kunstdünger Amerikas. Amerikanische Ingenieure haben berechnet, so sämtliche Zementfabriken der Vereinigten Staaten das elektrische Niederschlagverfahren anwenden, man bis zu 90 000 Tonnen Kali gewinnen kann, d. h. die Hälfte des amerikanischen Konsums.

Bekanntlich wirkt Arsen bei der Gewinnung von Schwefelsäure nach dem Kontaktverfahren schon in Spuren als heftiges «Kontaktgift», und zwar höchstwahrscheinlich dadurch, weil es das Platin mit glasigen, sehr schwer flüchtigen Verbindungen von $As_2O_3 + SO_3$ überzieht. Die mechanische Reinigung, durch

Wäscher, Kiesfilter und andere große Anlagen, arbeitete nur unvollkommen. Die elektrische Reinigung hingegen gestattete eine solche weitgehende Entarsenierung, daß selbst nach mehrtägiger Meßdauer mit der so äußerst empfindlichen Marsh'probe kein Arsen mehr nachgewiesen werden konnte.

Zum Schluß möge noch eine etwas phantastisch anmutende Anwendung des Cottrell-Verfahren berührt werden. Die Erzeugung des künstlichen Regens, beruhend auf einem Niederschlag der Wolken.

Sandteilchen werden elektronegativ aufgeladen und so sich dichte Wolken zeigen, wird mittels Flugzeug der elektrisch geladene Sand über der Wolke ausgestreut. Die Sandteilchen ziehen die feinen suspendierten Nebelstäubchen an, woraufhin Kondensation stattfindet. Große Tropfen bilden sich und ein rascher befreiender Regen ist die Folge. Nach Versuchen konnte festgestellt werden, daß 40 kg Sand genügen, um eine Wolke von 5 km² in Regen aufzulösen.

* * *

Wollten nun alle Industriezweige sich Rechenschaft ablegen von dem großen Verlust, den sie persönlich und die Weltwirtschaft im Allgemeinen durch mangelhafte Reinigung der Abgase erleiden, so würde bald genug der Tag anbrechen, wo keine Hygienekommission mehr eingreifen müßte, um die Unternehmen zu zwingen, das den Schornstein hinausfliegende Geld wiederzugewinnen.

Gleichfalls erkennen wir, wie einfache Laboratoriumsversuche, so sie technisch gut durchdacht und ausgebaut sind, große Werte schaffen, und bereits verloren gegangene Werte wieder der Weltwirtschaft zuführen.

LITERATUR:

A. Werke:

1. Stöchiometrie. Biehringer. 1900.
2. Theoretische Chemie. W. Nernst. 1913.
3. Die Atomionen chemischer Elemente. J. Stark. 1913.
4. Précis de chimie physique. H. Vigneron. 1924.
5. Introduction à l'étude des colloïdes. W. Kopaczewski. 1926.

B. Sonderdrucke:

6. Elektrische Gasreinigung und Entstaubung. Obering. Emil Zopf. 1925.

7. Elektrische Fällung metallhaltigen Staubes aus Industriegasen. Dr. W. Deutsch. 1927.
8. Elektrische Entteerung nach dem Cottrell-Möller Verfahren. Dr. Jos. Weyl. 1927.
9. Staubverluste in der Industrie. Dr. H. Fiesel. 1927.
10. Staub- und Rauchfreiheit in der Industrie durch Elektrizität. Obering. E. Zopf. 1927.
11. Elektroentstaubung von Trocknerabgasen. Dr. F. Blass. 1929.
12. Prospekte der Firma Lurgi Apparatebau A. G. Frankfurt a/M. 1929.

Table des matières.

Chronique.

	Pages
Assemblée générale de l'année 1928	1
Rapport du Président sur l'année 1928	2
„ „ Bibliothécaire „ „	4
„ „ Trésorier „ „	5
Séance du 20 janvier 1929	17
„ „ 10 février 1929	45
„ „ 10 mars 1929	81
„ „ 21 avril 1929	82
„ „ 9 mai 1929	97
„ „ 16 juin 1929	117
„ „ 14 juillet 1929	133
„ „ 18 août 1929	149
„ „ 22 septembre 1929	161
„ „ 13 octobre 1929	161
„ „ 24 novembre 1929	173
Nécrologie	173
Liste des membres	46

Excursions.

Excursion à Kahler et ses environs (minerais d'alluvion) - *F. Heuertz*	116
Excursion au „Grünewald". — *F. Heuertz.*	97
Excursion au „Grünewald" (itinéraire) — *Aug. Rischard*	120
Excursion à Contern. — *F. Heuertz.*	
Promenade à travers le Parc de la Ville de Luxembourg. — *Ed. Pierret.*	135
Excursion à Kockelscheuer. — *F. Heuertz.*	135
Excursion à Mutfort — Trintange. — *F. Heuertz*	136