

SCHRIFTEN AUS DEM GESAMTGEBIET DER GEWERBEHYGIENE
HERAUSGEGEBEN VON DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR GEWERBEHYGIENE
IN FRANKFURT A. M., PLATZ DER REPUBLIK 49
HEFT 34

Die Verhütung von Staubexplosionen

Ein Merkbuch für jeden Betriebsleiter

Von

Walter H. Geck
Darmstadt

Mit 16 Abbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1931

SCHRIFTEN AUS DEM GESAMTGEBIET DER GEWERBEHYGIENE
HERAUSGEGEBEN VON DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR GEWERBEHYGIENE
IN FRANKFURT A. M., PLATZ DER REPUBLIK 49

HEFT 34

Die Verhütung von Staubexplosionen

Ein Merkbuch für jeden Betriebsleiter

Von

Walter H. Geck

Darmstadt

Mit 16 Abbildungen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1931

ISBN 978-3-662-34311-1 ISBN 978-3-662-34582-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-34582-5

Alle Rechte, insbesondere das
der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.
Copyright 1931 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1931.

Vorwort.

Staubexplosionen mit und ohne nachfolgende Brände nehmen erschreckend zu. Brände, deren Ursachen unbekannt sind, ebenfalls. Daß ein sehr großer Prozentsatz solcher Brände auf Staubexplosionen oder Entzündung zurückzuführen ist, findet beim Laien leider noch wenig Glauben. Um so mehr aber beim Fachmann.

Wenn ich auf Veranlassung weiter Kreise ein Merkbuch mit den bis heute erkannten und bekannten Sicherungsmaßnahmen herausgebe, so geschieht es, um der deutschen Industrie zu dienen.

Es soll ein Merkbuch sein nicht für die wenigen Fachleute auf diesem überaus schwierigen Gebiet, sondern für jeden Betriebsleiter, Betriebsbeamten, Meister. Es soll auch nicht in der Werksbibliothek verschwinden, sondern stets auf dem Tisch liegen oder in der Tasche stecken. Ich habe mich bemüht, in leicht verständlicher Weise Entstehen der Staubexplosionen zu erklären, in einfacher Betriebssprache die Schutzmaßnahmen eindringlich darzulegen.

Das Merkbuch kann nicht schematisch angewendet werden. Denn jeder Betriebsfall liegt anders, jeder Betrieb ist an einer anderen Stelle krank. Wenn ich mich krank fühle, ziehe ich ein medizinisches Buch zu Rate. Aber ich heile mich nicht nach ihm. Dazu rufe ich den Arzt. So soll auch hier der sachverständige Treuhänder mit seinen Meßinstrumenten letzten Endes geholt werden und den Ausschlag geben, wenn — wie in fast allen Fällen — die Heilung rasch und mit wenig Kurkosten erfolgen kann und soll, bevor die Katastrophe eintritt.

An keiner Stelle ist übertriebene Vorsicht zu erkennen. Viele der angeführten Sicherheitsmaßnahmen sind in gut organisierten und geleiteten Betrieben längst vorhanden. Aber wohl schwerlich alle. Und es kommt auf Einhaltung aller Sicherheiten an. Das Fehlen einer einzigen kann die Staubexplosion auslösen.

Mit einem Sondergebiet habe ich mich nur ganz kurz befaßt, weil es außerhalb der zu behandelnden Industriestaubfrage liegt: Mit der Gefahr für Kohlenstaubexplosionen. Auf diesem Sondergebiet sind in den letzten Jahren erfreuliche Forschungen, Verbesserungen und Sicherheitsmaßnahmen zu verzeichnen. Sie sind für die anderen Staubindustrien deshalb vorbildlich, weil sie das Produkt bester Zusammenarbeit zwischen Behörden, Unternehmern und Arbeitenden, also der nun schon 10 Jahre erfolgreich tätigen Sachverständigen-Ausschüsse des Reichskohlenrates, darstellen, nur dadurch den verhältnismäßig hohen Stand der heutigen Sicherheit erreichen konnten.

Ferner glaubte ich von Erörterung der Sprengstoffexplosionsgefahren als nicht in den Rahmen der Arbeit gehörig absehen zu können. Die

Sprengstoffbranche unterliegt bereits besonderen Bestimmungen. Es sei auf die Zentralaufsichtsstelle für Sprengstoff- und Munitionsfabriken beim Reichsarbeitsminister, Berlin NW, verwiesen.

Manches was die Pioniere auf dem Staubgebiet: Beyersdorfer, Jaeckel, Meldau, auch die Amerikaner Price, Brown, ferner auch der Staubausschuß des Vereins Deutscher Ingenieure erforscht haben, konnte verwertet werden, meine eigenen Erfahrungen ergänzen. Für ihre bahnbrechenden Arbeiten sei den Genannten besonders gedankt.

Darmstadt, im Sommer 1930.

Walter H. Geck.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Bilanz	1
I. Staubexplosionen	2
Mehlstaubexplosion	2
Zuckerstaubexplosion	3
Hartgummistaubexplosion	5
Dextrinexplosion	8
Staubexplosion im Zuckerschnittzellager	9
Staubexplosion bei Milchpulverherstellung	11
Kakaostaubexplosion	13
Korkstaubexplosion	14
Explosion von Bronzefarbenstaub in einer Etikettendruckerei	18
Kunstdüngerstaubexplosion	20
Holzmehlstaubexplosion	21
Staubexplosion in einer Chemischen Fabrik	22
II. Die Lehren	36
III. Vorgänge bei Staubexplosionen	40
1. Entstehung.	42
2. Auswirkung	47
3. Verhütung	48
A. Schutz gegen den Staub	48
B. Schutz gegen elektrische Gefahren	52
C. Schutz gegen thermische Gefahren	55
D. Schutz durch Minderung des Sauerstoffgehaltes.	58
Anhang. Neuzeitliche Entstaubungsanlagen.	59
1. Staubkammer	62
2. Zyklon.	62
3. Schlauchfilter.	62
4. Luftfilter mit Füllkörpern	63
5. Elektrofilter	64
6. Wanderschicht-Schüttelfilter	66
7. Gliederbandfilter	66
8. Luftfilter mit Spiralfüllkörpern.	66
9. Düsennaßfilter	67
Literatur	67

Bilanz

der nachfolgenden den deutschen Tageszeitungen
entnommenen — also nur zum Teil erfaßten —

Staubexplosions-Katastrophen

1927—1929

65 Staubexplosionen
304 Tote
357 Verletzte
Sachschaden RM. 18 964 000.

Laßt die Betriebe auf Sicherheit untersuchen!

Es sind wahllos den deutschen Tageszeitungen der letzten drei Jahre entnommene Originalberichte behandelt. Sie umfassen nur einen Teil der stattgehabten Schäden. Sie konnten sich auch nicht auf alle staubgefährdeten Branchen erstrecken. Dem Büchlein waren enge Grenzen gezogen. Aber ihre Sprache ist erschreckend, die angefügte Schadensbilanz erschütternd. Die Notwendigkeit besseren Schutzes ist zwingend und überzeugend. Kein Betriebsmann kann sich dieser Verantwortung mehr entziehen. Unter den Opfern befinden sich Direktoren, Meister, Arbeiter und Rettungsmannschaften.

Da jeder Fall anders liegt, auch in Betrieben gleicher Staubbranchen, so ist vor Verallgemeinerung der im nachstehenden behandelten Explosionskatastrophen dringend zu warnen. Nur die gezogenen Lehren sind allgemein gültig. Die erwähnten Staubexplosionen, ihre Ursachen und Wirkungen sind aus einer großen Zahl herausgegriffen¹. Sie kommen in weit mehr Branchen vor, als nachstehend genannt, als selbst der Fachmann glaubt. Es soll zunächst an Beispielen gezeigt werden, wie mannigfaltige Ursachen zur Auslösung einer Explosionskatastrophe führen. Aber auch, daß diese Ursachen vermeidbar sind.

¹ Leider lehnten manche Firmen Herausgabe von Bildmaterial und Zahlen für Zwecke öffentlicher Statistik ab.

I. Staubexplosionen.

Mehlstaubexplosion.

Die Mühle war eine der ältesten und größten. Die Einrichtungen waren auf modernem Stand erhalten worden. Elektriker waren gerade damit beschäftigt, die gesamte Installation durch staubsichere Armaturen und dergleichen zu ersetzen. Der Obermüller hatte seinen Gang durch den oberen Mühlenboden beendet. Er dachte darüber nach, woher wohl der Geruch verbrannten Gummis, den er bemerkt zu haben glaubte, komme. Da sah er in der entgegengesetzten Ecke starke Rauchbildung. Er lief sofort hinunter, um Leute zu alarmieren, als auch schon aus den Fenstern des ganzen oberen Stockwerkes Flammen schlugen. Nur eine Stichflamme und aufgewirbelter explodierender Staub konnte in derart kurzer Zeit eine Front von etwa 100 Metern in Flammen setzen. Als in kürzester Frist die Löschmannschaften eingriffen, schoß eine zweite Stichflamme aus den Fenstern des nächsten Stockwerkes. In wenigen Minuten war der große Bau bereits eine Glut. Löscharbeiten erwiesen sich als zwecklos.

Die fast restlose Zerstörung des Baues machte die Ermittlung der Explosionsauslösung schwierig. Es blieben vier Möglichkeiten übrig: Heiß gelaufene Lager — Schaden an der Kupplung — Schaden an der elektrischen Installation — Zündung im Elevator.

1. Da zweifellos der wahrgenommene Gummigeruch mit der Brandursache zu tun hatte, schied die Lagertheorie aus.

2. In der Raumecke, in welcher zuerst die starke Rauchentwicklung bemerkt wurde, lief eine Reibungskupplung. Sie konnte sich irgendwie gelöst und die Holzbacken durch Reibung in Brand gesetzt haben. Federn oder Dichtungen an dieser Kupplung mögen aus Gummi bestanden haben.

3. Die elektrische Neuinstallation hatte schon begonnen. Die Elektriker waren gerade im unteren Stock, auf welchem auch viele Elevatorfüße standen, beschäftigt. Es war also unwahrscheinlich, daß der oben beobachtete Gummigeruch von einem Schaden der neuen Installation gekommen sein konnte.

4. Es ergab sich, daß die Elektriker auch in ihrem unteren Stockwerk Gummigeruch bemerkt zu haben glaubten. Damit schied auch der Verdacht aus, daß die Kupplung im oberen Stock Anlaß zur Entzündung gegeben habe.

Die von bewährten Staubexplosions-Sachverständigen geführte langwierige Untersuchung ergab nun folgende Explosionsursache: Die Gurte der Becherwerke bestanden aus einem Balataähnlichen, jedenfalls mit Gummipräparat hergestellten Stoff. Der Ursprungspunkt des Gummigeruches war der untere Boden, wo die Elektriker arbeiteten. Dort hatte sich unbemerkt eine untere Elevatorgurtscheibe festgefressen. Sei es durch Stopfung oder durch unzureichend geschmierte Lager. Der Gurt mag lange Zeit über dieser feststehenden Scheibe geschleift haben. Er wurde heiß, roch, nahm diesen Geruch in den Elevatorrohren nach

oben, wodurch der Gummigeruch auf dem oberen Boden seine Erklärung findet. Denn hier standen die Elevatorköpfe. Zunehmende Reibung und Hitze entzündeten den Gurt. Möglicherweise an mehreren Stellen gleichzeitig. Sie entzündeten auch den im Rohr und besonders beim Auswerfen oben im Elevatorkopf besonders stark aufgewirbelten Mehlstaub.

Der zuerst in der Ecke beobachtete Rauch stammte vom Gurt und quoll aus dem Elevatorkopf bzw. dessen Auslauf. (Dieser war nahe der bewußten Transmissionskupplung.) Die erste Mehlstaubzündung mag eine nur kleine Stichflamme ausgelöst haben. Jedenfalls hat die folgende Druckwelle dann alle in dem großen Raum auf Wänden, Boden, Vorsprüngen usw. ruhenden, noch so geringen Staubmengen aufgewirbelt. Nun gab es kein Halten mehr. Aufwirbelungen, Stichflammen, Druckwellen folgten sich immer wieder von neuem. Viel schneller, als Ohr und Auge es wahrzunehmen vermögen.

Die Lehren: Sauberkeit fehlte. Staubdicke von weit weniger als 1 mm auf Boden, Vorsprüngen usw. erzeugt aufgewirbelt sofortige Anschlußexplosionen. Elevator

hatte kein Explosionsrohr. Ein solches — mit größerem Querschnitt als die Summe der Elevatorschächte — hätte das erste Explosionsgemisch aufgenommen und ohne großen Schaden ins Freie geleitet. Elevatorgurte bestanden nicht aus unbrennbarem Material. Elevatorfüße und deren Lager unterstanden keiner Kontrolle.



Abb. 1. Durch Staubexplosion zerstörte 800-mm-Mauern im Vorbrecherraum einer Raffinerie.

Zuckerstaubexplosion.

Die Explosion riß 800 mm starke Mauern mehrere Stockwerke hoch auf. Sechs Arbeiter fanden ihren Tod. Mehrere wurden schwer verletzt. Dank der Sauberkeit der Mühlenräume, in welche die Stichflamme ihren Weg nahm, wurde ein anschließender Brand vermieden.

Die Explosion entstand im sogenannten Vorbrecherraum, in welchem auf mehreren Backenbrechern die Abfälle von den Brote- und Würfelzuckerstationen zerkleinert und mittelst eines Stahlbandes durch einen 60 m langen Tunnel der Weiterverarbeitung im isoliert stehenden Mühlenbau zugeführt wurden. Der Vorbrecherraum befand sich im Erdgeschoß. Über ihm lag auf mehrere Stockwerke verteilt die Würfelzuckerstation. Ob ein Fremdkörper in die Brecher geriet, ob die plötzliche Aufwirbelung der Raum-Staubluft — es war unmittelbar nach



Abb. 2. Moderner Zuckermühlenbau nach Durchrasen einer Staubexplosions-Druckwelle. Außer zerstörten Oberlichtfenstern keine Beschädigungen.

Schichtwechsel — durch Riemen und wiedereinsetzende Ventilation die Staubkonzentration über $17,5 \text{ g/m}^3$ in die Gefahrenzone brachte, ob Erdgase (Methan) die Explosion erleichterten, konnte nie ermittelt werden. Die Stichflamme raste — ihre Geschwindigkeit kann bis zum Zehnfachen der Schallgeschwindigkeit anwachsen — durch den Tunnel zum Mühlenbau. Dieser war kurz zuvor nach den neusten Erkenntnissen des Staubexplosionsschutzes erstellt worden und bewährte sich glänzend. An Stelle durchgehender Stockwerke waren die Arbeitsmaschinen auf übereinander stehenden Podesten angeordnet. Der 15 m hohe Betonbau bildete so einen einzigen Hohlraum, in welchem sich die Druckwelle verdünnte, nur noch die Kraft hatte, das große

Oberlicht und einige Fenster zu zerstören und durch sie zu entweichen. Die in den Mühlenbau gelangende Stichflamme fand infolge der Sauberkeit und der vorbildlichen dezentralisierten Ventilation (Naßfilter) keine Nahrung, mußte von selbst erlöschen.

Die Lehren: Jede Zuckerzerkleinerung, welche mit Stauberzeugung verbunden ist, darf nur in freistehendem Bau erfolgen. Niemals dürfen sich Stockwerke darüber befinden. Die mit Naßfilter arbeitende Ventilation muß gesonderten Motorantrieb besitzen, um in Pausen bzw. bei Schichtwechsel durchlaufen zu können. Unterirdische Verbindungen zwischen staubgefährdeten Bauten sind unter allen Umständen zu vermeiden. Nur langsam laufende eiserne Schnecken großer Dimensio-

nierung mit weiten Explosionsschächten seien gestattet. Die Erdung aller Zerkleinerungsmaschinen ist auf das sorgfältigste durchzuführen und bestens zu überwachen. Zuckerstaub ist eine der gefährlichsten Staubarten. Er ist sofort zu vernichten (Naßentstaubung) und nicht erst in einem Filter gleich welchen Systems zu sammeln. — Die nebenstehenden Abbildungen zeigen die zerstörten 800 mm dicken Mauern, ferner das Innere des bewährten Mühlenbaues, in welchem außer der Zerstörung des Oberlichtes keine Beschädigung erkennbar ist.

Hartgummistaubexplosion.

Schwere Beschädigung des zweistöckigen Gebäudes. Acht Arbeiter tot. Zwei weitere wurden schwer verletzt in einer Ecke des unteren Stockwerkes gefunden, wohin sie augenscheinlich durch die Explosion geschleudert wurden. Sie waren außerstande, irgendwie präzise Angaben zu machen.

Aus der Lage dieser beiden Leute konnte immerhin ermittelt werden, daß die Explosion im unteren Stock und entgegengesetzt der Ecke, in welche die Arbeiter geschleudert wurden, ihren Ursprung nahm. Dort stand eine Zerkleinerungsmaschine. Aus ihr und aus anderen Arbeitsmaschinen, hauptsächlich aber aus dem Arbeitsraum selbst wurde der schwebende Hartgummistaub abgesaugt. Der Ventilator stand außerhalb des Baues und war mit einem gleichfalls gesondert stehenden Filterhaus verbunden. Beide Seiten des Ventilators waren zerrissen, die Rohrleitung zum Filterhaus und dieses selbst vollkommen zerstört. Die Rohrleitungen von den Arbeitsmaschinen dagegen zeigten sich, soweit sie vom nachfolgenden Brand nicht beschädigt waren, vollkommen in Ordnung.

Es mußte daher die ursprüngliche Theorie der Betriebsleute, die Explosion sei durch einen Fremdkörper in der Zerkleinerungsmaschine oder durch in den Maschinen angesammelte stat. Elektrizität ausgelöst worden, verlassen werden. Für den herangezogenen Staubexplosions-Sachverständigen blieben noch vier Möglichkeiten.

1. Funkenschlagen im Ventilator selbst, entweder durch hineingetragene Fremdkörper oder durch Lockerung des Flügelwerkes und Schlagen desselben an die Seitenwände unter Funkenerzeugung. Also der Ursprung im Ventilator. Die Lage der weit fortgeschleuderten beiden Schwerverletzten war unmittelbar an der Wand, an welcher der Ventilator stand. Also konnte die verheerende Druckwelle nicht aus dem Ventilator kommen, sondern sie mußte von der entgegengesetzten Seite zu ihm hingetragen worden sein. Zumal auch, wie aus dem Bilde ersichtlich, die Wand, an deren Außenseite der Ventilator stand, nach außen, also von innen herausgeschleudert worden war.

2. Schadhafte elektrische Leitung. An der Stelle, wo der Bau eingestürzt und der Brand, wenn auch nur kurze Zeit, gewütet hatte, war wegen völliger Zerstörung der Installation nichts zu erkennen. Da aber von dieser Seite her die Stichflamme bzw. Druckwelle ihren Ausgang nicht genommen haben konnte, die elektrische Anlage im übrigen Teil des Gebäudes jedoch erhalten und einwandfrei war, so konnte auch von

der Möglichkeit eines Kurzschlusses oder sonstiger Schäden in der Installation abgesehen werden. Alle Lampen hatten staubdichte Armaturen. Die Katastrophe ereignete sich vormittags, als keine Lampen brannten.

3. Leichtsinniges Anzünden eines Streichholzes. Nach Lage des Explosionsherdes und seiner Auswirkung lag dies im Bereich der Möglichkeit. Sorgfältige Nachforschungen ergaben, daß die Leute bei Schichtbeginn sogenannte taschenlose Werkskleidung anzogen, ihre guten Sachen in Schränken verschlossen. Die unter Zeugen aus den eisernen Schränken herausgeholtene Kleidungsstücke der acht Toten und zwei Schwerverletzten enthielten noch bei allen ihr Rauchzeug und Feuerzeug. Daß Rauchverbot nicht nur angeschlagen, sondern in allen Fabrikabteilungen durch eine als rücksichtslos bekannte Betriebsleitung streng kontrolliert wurde, sei erwähnt, obwohl ihm nur geringe Beweiskraft beizumessen ist. Die Verunglückten waren ältere Leute, galten als erfahrene, zuverlässige Männer. Leichtsinn konnte daher nicht gut angenommen werden, zumal schließlich, wie wir im folgenden sehen, die Auslösung der Explosion eine einwandfreie Erklärung finden konnte.

4. Staubgewitter. Übereinstimmend und unabhängig voneinander sagten umwohnende und in der Nähe beschäftigte Leute aus, daß sie drei oder vier unmittelbar aufeinander folgende Explosionen gehört hätten. Die typischen Erscheinungen bei Eigenentzündungen von Staubluft und ihrer Anschlußexplosionen. Wir entsinnen uns, daß die Ventilationsleitungen von den Arbeitsmaschinen unbeschädigt waren, daß dagegen der Ventilator und das Hauptrohr, welches direkt aus dem Raum saugte, völlig zerstört waren. Die Zündstelle lag also, wie auch an der Art der Fensterzerstörung wahrnehmbar war, ziemlich in der Mitte des Raumes, etwa 30 m vom Ventilatorstand entfernt. Es sei eingeschaltet, daß große mustergültige Fenster vorhanden waren. Glassplitter der nach der Ventilatorgegend hinführenden Fenster waren bis 50 m entfernt im Sande auffindbar. Splitter der großen Fenster im rückwärtigen Teil des Raumes lagen jedoch fast unmittelbar unter der Fensterbrüstung. Ausgangspunkt und Weg der Explosion waren ermittelt. Es fehlte noch der Beweis der Staubzündung. Am Tage der Katastrophe war es unerträglich heiß und trocken. In anderen Fabrikräumen wurden 32° gemessen. Die nächste Wetterwarte gab eine relative Feuchtigkeit von nur 22% zur Zeit der Katastrophe an. Geradezu ideale Verhältnisse für Auslösung eines Entladungsvorganges, eines Staubgewitters, sofern die Staubkonzentration in Luft innerhalb der Gefahrengrenze lag. Dies war der Fall. Denn der Abteilungsmeister gestand ein, daß infolge Erkrankung des betreffenden Arbeiters die Filteranlage, die sonst täglich gereinigt wurde, seit vier Tagen nicht mehr gesäubert oder kontrolliert worden, daß ferner bei der letzten Reinigung ein neuer Filterstoff eingesetzt worden war. Es blieb kein Zweifel, daß der Ventilator infolge Rückdruckes nicht die normale Staubluftmenge aus dem Raum zu ziehen vermochte. Die Staubdichte im Raum nahm langsam zu, erreichte die Konzentration, die innerhalb der Gefahrengrenzen liegt.

Es sei noch ein Wort über Entladungsvorgänge in Staubluft gesagt.

Sie sind nichts neues. Für den, der einmal länger in Ägypten oder Palästina weilte, sind sie auch nichts Unerklärliches. Sie gibt es dort seit Jahrtausenden im Scirocco oder Chamsin. Die erste Phase des Chamsin ist eine kaum erträgliche Trockenheit und Hitze. Die zweite Phase das Heranstürmen der Staubmassen. Infolge ihrer elektrischen Aufladung, Feinheit und schließlich bis auf nur wenige Prozent gesunkenen Luftfeuchtigkeit, die jede Leitfähigkeit ausschließt, bleiben diese Staubmengen oft mehrere Tage schwebend in Luft. Und zwar in derart starker Konzentration, daß man während dieser Zeit kaum 20—30 m weit zu sehen vermag. Der Sandstaub ist negativ aufgeladen. Die Luftelektrizität ist positiv. Wenn nun die höchste Kapazität der elektrischen

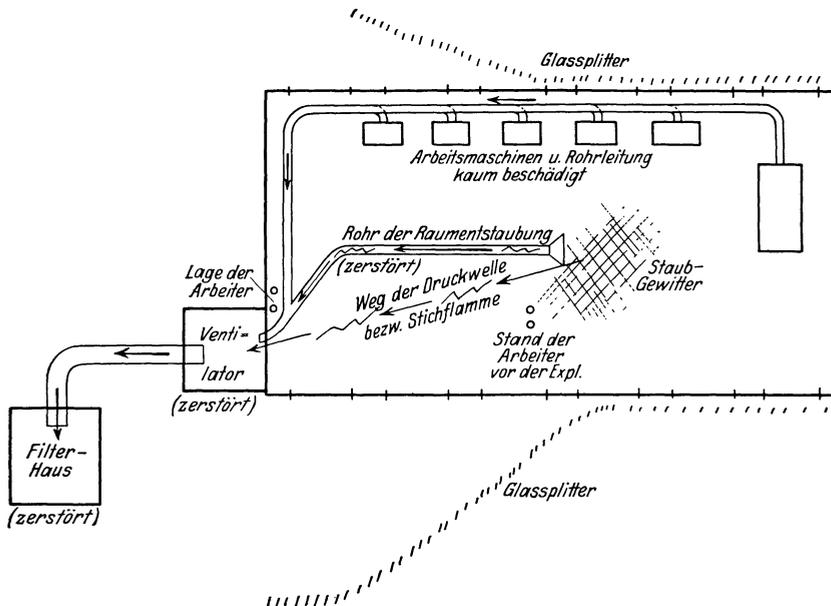


Abb. 3. Erläuternder Lageplan.

Aufladung erreicht bzw. überschritten ist, muß es zum elektrischen Ausgleichsvorgang kommen. Es setzt urplötzlich ein außerordentlich heftiges Gewitter ein. Gewaltige Wassermengen gehen nieder, die Luft ist leitend, der Staub in kürzester Frist verschwunden und man ist imstande, hundert und mehr Kilometer weit klarste Fernsicht zu genießen.

Die Lehren: Gutes Arbeiten der Filter, gleichgültig welchen Systems, ist erste Bedingung. Wir müssen uns insbesondere bei Stofffiltern eingehender mit deren Luftdurchlässigkeit, den Strömungsverhältnissen und den Eigenschaften unseres Staubes vertraut machen. Der zu starke Filterwiderstand und das dadurch bedingte Nachlassen der Raumventilation, wie in vorliegendem Fall, sollte eine Warnung sein. Die großen Fenster haben die Explosionswirkung schon erheblich abgeschwächt. Sie wäre aber noch weiter gemindert und wahrscheinlich vom oberen Stockwerk ganz ferngehalten worden, wenn außer den

Fensterflächen mindestens 10% der Wandflächen aus dünnem leicht eindrückbaren Baustoff bestanden hätten. Das gilt für alle Bauten oder Räume, in denen stauberzeugende Fabrikation stattfindet. In oberen Stockwerken sind entsprechende große Oberlichter dünnsten Glases geeigneter. Diese aber aus Mattglas. Denn es ist wohl eine vor vielen Jahren in einer Mühle am Rhein vorgekommene Explosion noch bekannt. Sie erfolgte im Dachstock. Einwandfrei wurde als Auslösung der Mehlstaubexplosion in dem dort stehenden offenen Filter eine Blase im Glasziegel ermittelt, in deren Brennpunkt gerade der Filter stand. Die relative Feuchtigkeit der Innenluft ist konstant auf mindestens 65% zu halten.

Dextrinexplosion.

Die schwere Staubexplosion hatte ihren Ursprung in der Staubkammer, welche sich im oberen Stock des Fabrikgebäudes befand. Sie nahm ihren Weg durch das gesamte Ventilationssystem, wirbelte in



Abb. 4. Zerstörungen nach einer Dextrinstaubexplosion.

allen so erreichten Arbeitsmaschinen und Stockwerken neuen Staub auf. Das ganze Gebäude stand in denkbar kürzester Frist in Flammen. Mehrere Schwerverletzte. Sachschaden eine halbe Million Mark.

Soweit man bei Erforschung der Ursachen solcher Katastrophen auf Aussagen von Leuten angewiesen ist, die zuerst von der Explosion bzw. dem Feuer überrascht worden sind, wird nicht viel Brauchbares herauskommen. Der Sachverständige muß hier schon ein wenig Detektivarbeit leisten, die ihm seine Erfahrung in der Regel erleichtert. In vorliegendem Falle konnte bald ermittelt werden, daß infolge Leistungssteigerung aller Maschineneinheiten die Transportelemente von Jahr

zu Jahr mehr überlastet worden waren. Das traf auch für die Ventilationsanlage bzw. Entstaubung zu. Die abgesaugte Staubluft blieb jahrelang in einer weit unter der Gefahrenzone (22 g/m^3) liegenden Konzentration. Mit dem Steigen der Produktion hatte die gleiche Luftmenge der Ventilation aber eine stetig wachsende Staubmenge zu bewältigen. Die Überlastung besonders der Transportelemente, die nicht kontinuierlich, sondern schubweise beschickt wurden, war schon dadurch bedenklich. Sie hatte aber noch den weiteren Nachteil, daß z. B. bei Überlastung einer Schnecke oder eines Elevators durch Würgen und damit verbundenes Reiben eine starke Stauberzeugung entsteht. Diese Staubvermehrung in den Transportelementen erreichte in vorliegendem Falle die ungewöhnliche Höhe von 400% (von 14 auf $72!$). Es mußte also zwangsläufig einmal der Augenblick eintreten, wo die Konzentration der Staubluft weit über die bei 22 g/m^3 liegende Gefahrenzone gelangte. Das war in der Staubkammer der Fall.

Die Auswirkung der Explosion nahm noch aus anderen Gründen das verheerende Ausmaß an. Eine Baubehörde hatte in Verkennung der Staubgefahren bei Erstellung des Baues angeordnet, daß möglichst kleine Fenster eine schöne architektonische Wirkung mit benachbarten alten Bauten herbeiführen sollten. Es wurden ferner nach einer Hofseite hin Glasbausteine vorgeschrieben. Die Druckwelle fand infolgedessen überall den Weg ins Freie versperrt und mußte, zumal ihr enormer Druck zur Staubentzündung allein schon genügte, solche Verwüstungen anrichten.

Die Lehren: Die stauberzeugenden Arbeitsmaschinen waren überlastet. Die gleichfalls überlasteten Transportelemente waren stärkste Staubvermehrer geworden. Die nicht dezentralisierte Ventilationsanlage war der vergrößerten Produktion nicht angepaßt, die längst veraltete Staubkammer beibehalten worden. Es ist kein Wunder, wenn unter solchen Umständen trotz besten Bemühens der Betriebsleitung ausreichende Sauberkeit nicht durchgeführt werden konnte. Statt großer Fenster waren aus falschen Gesichtspunkten heraus kleine Fenster, statt dünnster großer schon der kleinsten Druckwelle nachgebender Glaswände waren dicke Glasbausteine eingebaut worden.

Staubexplosion im Zuckerschnitzellager.

Die Lagerflächengröße war $100 \times 20 \text{ m}$. Die Schnitzelförderung erfolgte mit Druckluft durch ein 150 m langes Rohr von 300 mm Durchmesser. Dieses lief längs des Lagerinnern oben unter Dach und wurde mit fortschreitender Füllung des Lagers verkürzt. Zur Zeit der Katastrophe blies dieses Rohr in dem letzten Teil des Lagers. Der übrige Teil des Schnitzellagers war bereits gefüllt. Hohlräume waren nur durch die Böschungswinkel der Schnitzelberge verursacht. Die Abbildung veranschaulicht dies. Es ist nur noch eine Giebelwand erhalten geblieben. Dach und die übrigen Umfassungsmauern sind verschwunden.

Der noch freigebiebene Luftraum im Lager konnte mit 3800 m^3 berechnet werden. Je mehr er sich verringerte, je höher die Schnitzelberge gegen Ende der Kampagne anwuchsen, desto dichter war der freie Luft-

raum mit Staub angefüllt. In diesen sich ständig verringern den Luftraum blieb unverändert die gleiche Luftmenge, die gleiche Staubmenge aus dem Rohr. Die Staubkonzentration wuchs infolgedessen von Tag zu Tag.

Die in den geförderten Schnitzeln schon anfänglich enthaltene Staubmenge war durch die Rohrförderung und den großen Rohrquerschnitt — das Fördergut bewegt sich bekanntlich schraubenförmig mit stärkster Reibung an den Wänden — noch bedeutend vermehrt worden. Der Staubgehalt der Schnitzel konnte vor der Förderung mit 0,90%, nach der Förderung mit 2,80% ermittelt werden. Die Staubvermehrung



Abb. 5. Staubexplosion im Schnitzellager.

durch die Förderanlage betrug daher über 200% oder bei 40 dz durchschnittlicher Förderleistung stündlich 76 kg!

Es konnte ferner ermittelt werden, daß erst durch diese hohen unnötig erzeugten Staubmengen die Lagerstaublufte in die Gefahrenzone gebracht wurde. Dies wäre mit dem ursprünglich — also vor der Förderung — in den Schnitzeln enthaltenen Staubgehalt von 0,90% nicht zu befürchten gewesen. Denn der am Tage der Katastrophe verbliebene Lagerluftraum von 3800 m³ wäre bei 40 dz Förderung und 0,90% ursprünglichem Staubgehalt der Schnitzel nur auf eine Konzentration von 9,05 g/m³ gebracht worden.

Tatsächlich aber war die Stauberzeugung durch die Förderanlage auf 2,80%, also auf eine Staubmenge von 112 kg, mithin auf eine Konzentration von 29,95 g/m³ gebracht worden. Diese Menge schwebte zur Zeit der Explosion aufgewirbelt in der Luft. Die Gefahrenzone bei Schnitzelstaub beginnt bekanntlich bei 18 g/m³. Es war daher die gefahrbringende Konzentration erreicht.

Die elektrische Aufladung derart dicht schwebender aufgewirbelter feinsten trockener Staubmengen ist sehr bedeutend. Sie wuchs mit steigender Aufwirbelung. Denn diese ergab sich zwangsläufig schon dadurch, daß etwa 18000 m³ Luft stündlich in einen sich täglich mehr verkleinernden Raum geblasen wurden, immer stärkere Staubturbulenz und Aufladung hervorrufend. Gerade der allerfeinste Staub, um den es sich hier handelt (feiner wie Siebgewebe Nr. 80 DIN 1171), mit seinem hohen Verhältnis Oberfläche:Maße begünstigt diese hohe Aufladung. Sie genügt zur Entzündung der Staubwolken.

Der den großen Brand auslösende Explosionsvorgang bzw. die Auslösung potentieller Energie bzw. statischer staubeigener Elektrizität hat sich demnach wie folgt abgespielt:

Die Staubkonzentration im verbliebenen freien Luftraum des Schnitzlagers mußte an der Stelle des Baues, an der auch der Ausbruch des Feuers richtig beobachtet wurde, die untere Gefahrenzone von 18 g/m³ überschritten haben und auf über 29,5 g/m³ gelangt sein. Der ausgelöste „Gewitterblitz“ entzündete zunächst die ihn umgebenden Staubwolken. Durch die entstehende Druckwelle wurde aller in der Dachkonstruktion und anderen Vorsprüngen abgelagerte Staub aufgewirbelt, erzeugte neue Entladungen, Stichflammen, neue Verpuffungen, neue Druckwellen. Der Vorgang spielt sich rascher ab, als unsere Sinnesorgane es wahrzunehmen vermögen. Eine merkbare Detonation braucht mit diesen Vorgängen nicht verbunden sein. Auch die Auswirkung des Druckes nach außen — etwa durch Eindringen einer Wand — war hier nicht zu erwarten. Denn der verbliebene freie Luftraum von 3800 m³ nahm die Expansion auf, ließ die Druckwelle schließlich abebben.

Die Lehren: Die Förderanlage darf nicht gleichzeitig Staubvermehrter sein! Die Luft im Lager soll künstlich auf mindestens 65% relative Feuchtigkeit konstant gehalten werden. Das Lager ist genügend groß zu bauen, damit gegen Schluß der Kampagne die verbliebene freie Raumluft noch groß genug ist, um die Staubkonzentration je m³ Luft unter 18 g zu halten. Für Schnitzzellager ist unbrennbare Dachkonstruktion (Stein, Eisen) zu wählen, glatte Innendachflächen ohne jede Vorsprünge bzw. Staubablagerungs-Möglichkeiten. Viele und mindestens 1000 mm weite Dunstschächte über Dach, große Oberlichter aus dünnstem Mattglas. Die gesamte elektrische Installation außerhalb des Baues verlegen. Belichtung von außen durch vor Glasscheiben angebrachte Beleuchtungskörper.

Staubexplosion bei Milchpulverherstellung.

Völlige Zerstörung des Gebäudes. Schaden 120000 RM. Ein Schwerverletzter.

Arbeitsgang: In einem zweistöckigen Gebäude befand sich die Trockenkammer. In diese brachte ein abseits stehender Druckluftventilator Heißluft von etwa 90°, erzeugt durch einen Lamellen-Kalorifer. Aus 12 Düsen wurde die pasteurisierte Milch in den Trockenraum zerstäubt. Von unten kam die vorerwähnte Heißluft, verdampfte das in der zerstäubten Milch enthaltene Wasser und führte es nach oben

durch Filter und aus dem Raum. Der verbleibende trockene Milchstaub fiel nach unten, wurde abgeschneckt. Sein Wassergehalt war nur noch bis 3%. Es wurde 24 Stunden, also Tag und Nacht gearbeitet. Nur zeitweise wurden Düsen und Ventilator abgestellt, um die Filter durch ein Klopffwerk zu säubern. Der an ihnen haftende Milchstaub fiel dann in dichten Wolken zu Boden und in die Schnecke.

Hergang: Nachts 11 Uhr sah der Vorarbeiter durch ein im Trockenraum zur Beobachtung der Düsen angebrachtes Fenster einen Lichtschein im Innern des Raumes und zwar anscheinend am Boden desselben. Er öffnete den Raum und fand in einer geschützten Ecke, da, wo die Heißluft eintritt, eine handvoll glimmendes Milchpulver. Anstatt nun dieses gefährliche Nest mit Schaufel oder dergleichen „auszuheben“, wegzutragen, lief er fort, den Nachtwächter zu rufen und einen Handfeuerlöscher zu holen. Bei seiner Rückkehr stellte er den Ventilator ab. Dann setzte er das Klopffwerk der oben im Raum hängenden Filter in Bewegung, um — wie er sagte — den Milchstaub dort zu entfernen, bevor er den Feuerlöscher anwendete. Denn er wolle das wertvolle Milchpulver durch den flüssigen Inhalt des Feuerlöschers nicht entwerten. Über diesen unbegreiflichen Handlungen, die keineswegs übereilt vor sich gingen, waren auch Angaben des Nachtwächters inzwischen fünf Minuten verstrichen. Eine Detonation schleuderte den Wächter etwa 10 m weit fort. Das ganze Dach hob sich und fiel auf den Wächter. Die vier Seiten des Gebäudes stürzten nach außen. Der Vorarbeiter wurde durch eine offene Tür ins Freie geschleudert. Stichflammen und Brand folgten unmittelbar.

Ursache: Elektrische Installation war in diesem Raum nicht vorhanden. Kurzschluß oder dergleichen scheidet aus.

Ebenso heißlaufende Lager. In dem Raum befanden sich keine Lager. Das mechanische Klopffwerk wurde von außen angetrieben.

Übertretung des Rauchverbotes kam nicht in Frage. Vorarbeiter und Nachtwächter waren Nichtraucher.

Die Möglichkeit, daß durch die große Hitze der Filterstoff oben im Raum zur Selbstentzündung gekommen sei, konnte ausscheiden, weil der Feuerschein unten im Raum und nicht oben zuerst bemerkt wurde.

Stat. Elektrizität, die sich zweifellos durch das heftige Ausströmen der Milch aus den 12 Düsen bildete, konnte als Zündquelle nicht angesehen werden, weil die 12 Düsen und ihre Leitung in bester Weise geerdet waren. Es würde auch eine elektrische Zündung sich momentan auflösen. Wie wir aber sahen, verstrichen vom Bemerkten des ersten Feuerscheines bis zur Explosion 5 Minuten.

Die Zündungsursache war vielmehr das Glimmnest am Boden, zusammen mit den von den Filtern herabfallenden dichten Staubwolken. Die zur Schnecke führenden inneren Rutschen waren mit Zinkblech belegt. Darunter war Holz und an den hochgehenden Seitenwänden, wo das Zinkblech aufhörte, ebenfalls Holz. Hier wurde das Glimmnest beobachtet. Gerade hier war der Zutritt der Kaloriferluft, die an diesem Punkt die höchste Temperatur hatte. Allmählich mußte sich auf dem Zinkblech und angrenzenden Holz pyrophore Kohle

bilden. Sie kann bei 100° bereits zu schwachem Glühen kommen. Die Heißluft hatte zweifellos zuweilen diese Temperatur. Reinigung des Trockenhauses war vernachlässigt worden. Das Stillsetzen des mit 10 m/sec in den Raum nach oben blasenden Ventilators ließ den trockensten feinsten oben an den Filtern hängenden Staub ungehemmt herabfallen. Und zwar durch unerwartet einsetzendes Klopfwerk in so dichten Wolken, daß das Glimmnest eine durch den geringen Teilchenabstand begünstigte Zündung und Vergasung in denkbar kürzester Zeitspanne auslösen mußte.

Die Lehren¹: Ruhe behalten. Nicht erst nach Hilfe laufen, wenn man selbst durch einfachen Handgriff die Situation retten kann. Auch nicht an Schonung event. noch so wertvollen Staubmaterials denken, sondern nur an Rettung von Menschen und Sachwerten. Durch vorsichtiges Herausnehmen des Glimmnestes konnte die Angelegenheit erledigt werden. An den Stellen von Staubbetrieben, an welchen die Möglichkeit von Glimmnestern besteht (z. B. bei Mahlgängen usw.) sollten stets gefüllte Wassereimer stehen. Nicht um das Wasser über das Nest zu gießen, sondern um das herausgehobene Glimmnest in den Eimer zu werfen. Besser sind bereitstehende Kasten mit feinem trockenem Sand. Mit ihm kann man ein Glimmnest sowohl an Ort und Stelle zudecken, als auch ein herausgehobenes Nest in ihm schadloos machen. Niemals spritzen! Pyrophore Kohle braucht in der Regel längere Zeit zur Bildung und Glimmfähigkeit. Je nach dem Material, aus welchem sie sich bildet. Es ist daher täglich Reinigung vorzunehmen. Das Reinigen darf nicht in Staubaufwirbelung bestehen, wie man leider meist beobachtet. Auch das Abklopfen von Filtern oder Wänden, welches Staubwolken auslöst, darf niemals in der in unserm Fall angewendeten Weise erfolgen. Denn die Dichtigkeit der so entstehenden Wolken allertrockensten feinsten Staubes kann so groß sein, daß sie in die Gefahrenzone gelangt. Daher Reinigung mit Handbesen, Eimer und kleiner Handschaufel, auch wenn sie etwas länger dauert.

Kakaostaubexplosion.

Die Explosion entstand im Kakaopulver-Herstellungsraum. Der alte Bau, teilweise noch Holzkonstruktion, wurde vernichtet. Drei Arbeiter schwer verletzt.

Als Ursache wurde Funkenschlag eines Ventilatorflügels ermittelt. In dem alten, schlecht geleiteten, kleineren Unternehmen fehlte jede Organisation und Sauberkeit. Die an sich nicht direkte Gefahr bringende Verpuffung wirbelte jedoch den allenthalben liegenden Staub auf. Ungeschützte elektrische Lampen (Wandarme), auf denen schon lange dicke Staubschichten lagerten und schwelende, wahrscheinlich bereits glimmende pyrophore Kohle gebildet hatten, gaben erst die katastrophale Wendung. Der Staub entzündete sich. Im Nu stand der Holzbau

¹ Arbeiter und Meister in staubgefährdeten Betrieben müssen weit mehr als es gemeinhin geschieht, mit den behördlichen Sicherheitsvorschriften bekannt gemacht werden und vertraut sein. Sie müssen sich bewußt sein, daß Verstöße gegen diese Vorschriften unter Umständen hohen Strafen unterliegen.

in Flammen, die, durch den starken Wind genährt, die übrigen Fabrikgebäude ergriffen.

Die Lehren: Sauberkeit! Richtige Ventilationsanlage. Die Arbeitsmaschinen bildeten hier verschiedene Gruppen. Alle Gruppen waren durch die Entstaubungsrohrleitungen wieder verbunden. Der Rückschlag aus dem Ventilator brachte alle Gruppen in Gefahr. Deshalb: Ein Satz Arbeitsmaschinen soll nicht mit einem zweiten Satz in Verbindung stehen. Entstaubungsanlagen sind dementsprechend zu dezentralisieren. In unserem Fall waren sogenannte Explosionsrohre vorhanden, die einen Querschnitt von 200 mm hatten (!) und durch einen Nebenraum mit mehreren Krümmern horizontal ins Freie gingen. Sie waren völlig ungeeignet. Explosionsrohre sollen nicht nur ohne Krümmer gerade hoch durchs Dach gehen, sondern auch einen um mindestens 50% größeren Querschnitt haben, als das Maschinen- oder Transportelement, welches sie zu sichern haben. Exhaustoren aus Aluminium, auch solche mit nur Aluminiumflügeln haben sich bewährt. In einem Kakaopuderraum darf nicht die geringste Staubquelle geduldet werden. Die Räume sollen mit glattem Wandputz versehen und mit bester heller Emaillefarbe gestrichen werden, um sofort dunkle Staubansätze zu erkennen. Für kleinere Gefahren Schaumlöscher oder Wassereimer bereithalten. Nicht spritzen.

Korkstaubexplosion.

Sachschaden 500 000 RM. Zwei Tote, sieben Schwerverletzte. Betriebsstörung vier Monate.

Die Organisation und das Bestreben, alles für höchste Betriebssicherheit zu tun, waren bei diesem bedeutenden Unternehmen muster-gültig. Die Betriebsleitung besaß ein vorbildliches Maß von Verantwortungsbewußtsein. Öftere Verpuffungen und Explosionen, die glimpflich abliefen, veranlaßten die Betriebsleitung, einen Staubexplosions-Sachverständigen heranzuziehen. Dieser deckte rücksichtslos alle noch vorhandenen Gefahrenquellen auf in einem Gutachten, aus welchem wenige aber um so bezeichnendere Sätze und Meinungen herausgegriffen seien.

Die vorgefundene Abtrennung der ineinander arbeitenden Teile: Vorbrecherei — Mühle — Sieberei durch Steigschnecken ist der sicherste Schutz gegen Übertragung von Explosionsgemischen, Druckwellen oder Stichflammen von einer Abteilung zur andern. Diese Maßnahme wird aber illusorisch, wenn eine Steigschnecke infolge zu kurzer Lager oder nicht ausgerichteter Welle so stark an der eisernen Trogwand kämmt, daß man es weithin hört, das ganze Schneckenrohr erzittert. Ein Funkenschlagen im Innern ist unvermeidbar und kann eines Tages zu schweren Schäden führen.

Dem aus der Vorbrecherei gelangenden Korkschtrotgemisch ist das bereits darin enthaltene Fertiggut (fertige Körnungen) vor den Mahlgängen zu entziehen. Es belastet unnötig die Gänge, trägt zu ihrer viel zu starken Erwärmung bei, steigert die Staubbildung. Die Mahlsteine sind in weit kürzeren Zwischenräumen zu schärfen, um eine zu

starke Erhitzung des Mahlgangsinners, des Brüdens bzw. der Staubluft zu vermeiden. Im Innern der Mahlgangszargen konnten bereits starke Bildungen pyrophorer Kohle und in einem Mahlgang die ersten Ansätze eines Glimmnestes festgestellt werden. Die Brüdenlufttemperatur an der Absaugstelle eines überlasteten Mahlganges war mit 78° ermittelt worden.

In der Meinung, Arbeiten ohne Entstaubung sei ein besserer Schutz wie mit Entstaubung, hatte man bis vor wenigen Jahren die Zargen nur mit über Dach gehenden Dunstschächten verbunden. Der Brüden führte in kurzer Frist eine Verkrustung der Schachtwände und damit eine starke Verengung des Querschnittes herbei. Bei feuchter, schwerer Außenluft sank diese zudem in den Schächten herab, machte Entweichen des Staubbrüdens zeitweise unmöglich, verursachte immer mehr anwachsende Erhitzung und Staubkonzentration im Brüden. Als dann durch Entzündung der großen Mengen pyrophorer Kohle im Innern der Schächte einer dieser in Brand geriet, entschloß man sich zur Entstaubungsanlage. Man baute sie selbst. Tüchtige Schlosser und Spengler waren da. Was brauchte man einen Staub- bzw. Ventilationsfachverständigen! Die Folgen werden wir bald sehen.

Die Entstaubung bestand in einem seitlich über den Mahlgängen laufenden eisernen Aspirationskanal, in welchen von jeder Zarge ein 120-mm-Rohr seitlich einmündete. Wegen der seitlichen Lage des Kanals lief jedes Rohr 2 m horizontal bis zur Einmündung. Querschnitt des Kanals war 250 mm. Durch undichte Schieber in den Saugrohren konnte man sich überzeugen, daß die Zugluft nur sehr gering war. Das horizontale Rohrstück war etwa zu Zweidrittel verkrustet, verlegt, der Querschnitt von 120 mm weitaus zu gering. Trotzdem wunderte sich der Meister, daß die Erwärmung und die starke Bildung pyrophorer Kohle in den Zargen genau so blieb wie zuvor. Nachdem später (nach dem Schaden) die Saugstutzen auf den Mahlgängen auf 200 mm erhöht, der Aspirationskanalquerschnitt 25% über der Querschnittsumme aller in ihn mündenden neun Rohre, also statt 250 mm mit 670 mm (!) gebaut worden und die Rohre im spitzen Winkel von oben in den Kanaldeckel anstatt in horizontaler Lage eingeführt waren, sank die Mahlgangstemperatur von 78° auf 62° . Die Staubkonzentration der Brüdenluft blieb unter 22 g/m^3 , Ansätze pyrophorer Kohle wurden nicht mehr beobachtet.

Gleichmäßige Speisung und gutes Scharfhalten der Mahlgänge, durchlaufende Ventilation in Pausen oder sonstigen Stillständen sind die beste Sicherheit. Denn die Staubbildung und ihre Konzentration in den Mahlgängen sowohl wie in den Saugrohren bleibt außerhalb der Gefahrenzone. Staubbekämpfung aber ist Energiebekämpfung.

Werden die Gänge aus gemeinsamer Zuführungsschnecke gespeist, dann ist die ausreichende Speisung des letzten Ganges meist gefährdet. Wie oft fängt er an zu blasen. Ob er leerläuft, ob er zu wenig Rohmaterial hat, wird nicht immer sofort untersucht oder abgestellt. Der Müller hat ja auch noch andere Dinge zu tun, wie uns einmal einer sagte! Aber gerade hier beginnt die Gefahr. Und ist die Explosion vorüber, buchen

die Versicherungsgesellschaften den Fall unter Rubrik „unaufgeklärt“; sind alle eventuellen Zeugen der Katastrophe beerdigt, Schwerverletzte wieder hergestellt aber außerstande, Authentisches über den Hergang zu sagen, dann geht alles weiter und wartet auf die nächste Katastrophe. Welche Leichtfertigkeit! Wie einfach wäre der absolute Schutz vor solchen Katastrophen. Und zwar gestellt auf mechanische Schutzmittel, nicht gestellt auf Menschen, die nun einmal unzuverlässig sind.

In unserem vorliegenden Fall war die Reorganisation der ganzen Korkmühle nach den Vorschlägen des Sachverständigen beschlossen worden. Bevor sie noch in Angriff genommen war, erfolgte eine schwere Explosionskatastrophe. Wir betrachten ihre Entstehung, erinnern uns dabei des oben Gesagten.

Während der Nachtschicht schlug plötzlich aus dem letzten Gang eine heftige Stichflamme gleichzeitig nach oben durch die Speisung in den Raum, durch das Ventilationsrohr in den Aspirationskanal, und nach unten in die Schnecke, die das Mahlgut zur Sieberei trägt. Die Flamme jagte in immer neuer Aufwirbelung bis zur Steigschnecke, welche die Sieberei abriegelte, die Flamme mangels neuer Staubbahnung zum Ersticken brachte. Oben dagegen zertrümmerte die Stichflamme bzw. Druckwelle den viel zu engen Aspirationskanal, zündete den Bau. Durch den Hauptventilator drang ein Ableger der Stichflamme in den Filter. Eine Reihe von Anschlußexplosionen wurden gehört, obwohl sich alles viel rascher abgespielt hat, als es hier niedergeschrieben werden kann. Auf der Abbildung ist der erhaltene Teil rechts die Sieberei. Vorne links die Reste des Filterhauses. An der angekreuzten Stelle stand der letzte Mahlgang.

Uns interessiert das Zündmittel. Es war in der Zarge des letzten Mahlgesanges. Es kann also sein: Leerlauf, Fremdkörper, pyrophore Kohle. Steine sind schlechte Wärmeleiter. Die durch Leerlaufreibung erzeugte Wärme bleibt auf der Reibfläche lokalisiert, kann in kurzer Zeit eine gefährliche Höhe erreichen. Je heißer die Staubluft, um so leichter die Zündung. Ein Reibungsfunken aus den Mahlsteinen findet den Fortpflanzungsboden vorbereitet.

Aber auch ein Funken aus Fremdkörpern. Steinchen usw., also nichtmagnetische Fremdkörper, werden in kürzester Zeit zwischen den Mahlflächen in viele kleine Teilchen von sehr geringer Wärmekapazität zersplittert. Sie können also nur kleinsten Wärmevorrat aufspeichern, der vom Mahlgut und den Mahlsteinen bereits verzehrt ist, bevor er selbst auf Entzündungstemperatur kam. Man sollte daher dem Funken aus Steinchen oder den Reibungsfunken der Mahlsteine selbst nur geringeres Gewicht beilegen.

Anders dagegen bei metallischen Fremdkörpern. Diese können in der mechanischen Bearbeitung zwischen den Mahlsteinen stark und rasch auf gefährliche Temperatur gebracht werden. Besonders, wenn sie groß genug sind, also eine ausreichende Wärmekapazität besitzen.

Leerlauf der Gänge, mineralische Fremdkörper können in unserem Fall als Zündmittel ausscheiden. Auch die Möglichkeit eines in die Gänge gelangten Eisenteiles. Über jedem Mahlgang lief ein Elektromagnet.

Jedem war eine rote Lampe nachgeschaltet. Diese Lampen konnte man weithin bis zur Meisterbude sehen. Wie vom Maschinenmeister, der wenige Minuten vor der Katastrophe die Mühle durchschritt und die sieben Lampen beobachtete — zwei Gänge standen wegen Schärfens still — und auch vom Obergeringieur, der noch einmal trotz später Nachtstunde die Runde gemacht hatte, versichert wird, brannten die roten Lampen. Die Magnete arbeiteten. Also kommt als Zündmittel nur noch pyrophore Kohle in Betracht. Wir haben oben gesehen, daß die Absaugstutzen von 120 mm viel zu klein waren, daß die Saugleitung stark verkrustet, verlegt war. Die Staubkonzentration der Brüdenluft stieg immer mehr, die Luft war durch Mahlgangleerlauf noch heißer geworden. Die starke Wärme in der Zarge förderte das Glimmen der pyrophoren Kohle und die Zündung der Luft. Die weit über der Gefahrenzone von 22 g/m^3 mit Staub geschwängerte Luft war ein guter Boden für die Fortpflanzung der Explosion, die sich denn auch, wie wir zuvor gesehen haben, in völlig erklärlicher Weise austobte bzw. auswirkte.

Die Lehren: In staubgefährdeten Betrieben sollte man von Doppelschicht absehen. Mit jedem Schichtwechsel wechselt das persönliche Verhältnis des Arbeiters zur Maschine. Die allgemeine Luft- und Stauberwärmung ist in 20 Stunden stärker als in 10 Stunden. Menschen sind bei Nachtarbeit nicht so verlässlich wie bei Tagesarbeit. Verfasser hat selbst bei einer dringenden Messung während der Nachtschicht den Kontrollarbeiter schlafend gefunden. Die Betriebsleitung hat von solchen Nachlässigkeiten keine Kenntnis.

Die Entstaubungsanlage besteht nicht aus Ventilator, Rohren und Filter, sondern aus wissenschaftlichen Grundlagen, auf Grund welcher für jeden Fall andere Maßnahmen zu treffen sind. Große Luftmengen, große Rohrquerschnitte, geringe Luftgeschwindigkeit in den Rohren und genaue Berechnung der möglichen Staubkonzentration in der durch die Rohre streichenden Luft sind unerlässlich. Staubsaugungsanlagen in staubgefährdeten Betrieben kann man nicht selbst, mit eigenen Leuten ausführen. Solche Arbeiten sind nur besten Ventilationsfirmen, also Spezialisten, zu übertragen. Überall gut schließende Reinigungsklappen, keine horizontalen Rohre. Aspirationskanalquerschnitt mindestens 25% größer als die Summe der in ihn einmündenden Rohre. Schärfste Überwachung der Elektromagnete und eventueller Bildung pyrophorer Kohle.

Genaueste Gleichmäßigkeit der Speisung aller Mahlgänge. Die Speiseschnecke muß stets mehr bringen als die Gänge abnehmen, so daß der letzte Gang nicht leerlaufen kann. Der Überlauf kann ohne Schwierigkeiten dem Silo oder der Speisung wieder zugeführt werden. In einem sich auf mehrere Abteilungen erstreckenden Arbeitsgang Steilschnecken zwischenschalten. Steilschnecke nie leerlaufen lassen. Meisterbude und Arbeiterschranke gehören nicht in die Arbeitsräume. Sie haben unkontrollierbaren Inhalt und sind schon Anlaß zu uner-

warteter Ausbreitung eines an sich harmlosen Feuers geworden. Niemals lasse man sich verleiten, irgendwelche Maßnahmen zur Betriebssicherung provisorisch zu machen. Sicherungen gegen Staubgefahren sind sehr ernst zu nehmen, gewissenhaft mit höchstem Verantwortungsbewußtsein herzustellen und zu überwachen. Denn es handelt sich nicht nur um Schutz ersetzbarer Sachwerte, sondern um Schutz unersetzbarer Menschenleben.

Explosion von Bronzefarbenstaub in einer Etikettendruckerei¹.

Die Explosion fand statt in einem Ventilationsrohr zwischen Arbeitsmaschine und Staubsammelanlage. Sie wurde verursacht durch Entzündung des Staubluftgemisches im Ventilationsrohr. Zwei Tote, zwei Schwerverletzte.

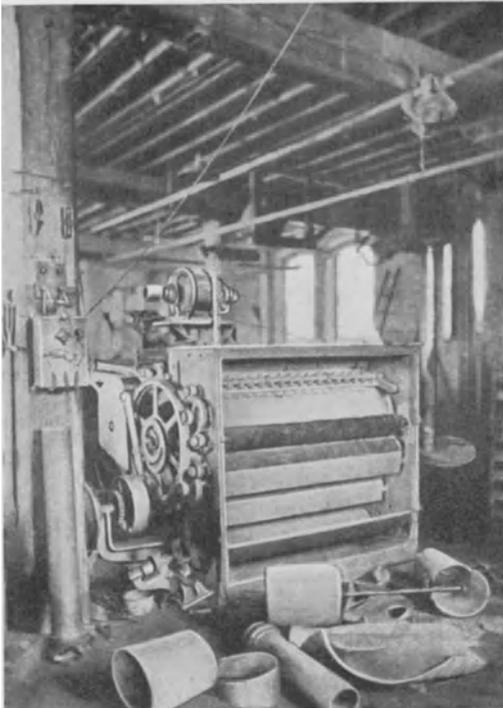


Abb. 6. Nach der Staubexplosion in einer Etikettendruckmaschine.

Der Fabrikationsvorgang war der folgende: Die Firma befaßte sich mit der Herstellung von Etiketten in Gold- oder Silberbronzedruck. Der vierstöckige Bau hatte 20×30 m, dreiseitig Fenster, vierte Seite festes Drahtglas in eisernen Rahmen. Im unteren Stock stand neben anderen Arbeitsmaschinen eine Zylinderpresse, welche die Etiketten nicht mit Farbe, sondern zunächst mit Klebmasse bedruckte. Bevor diese trocken ist, werden die Etiketten in der Bronziermaschine automatisch mit Bronzepulver bestäubt und zwar derart, daß die Blätter auf einem Transporteur unter

einem Vorratskasten mit etwa 15 kg Bronzepulver Inhalt vorbeilaufen. Der Staub wird mit Walzen auf das Blatt gebracht, richtig verteilt, der Überschuß abgebürstet. Dieser überschüssige Staub fällt in ein Gefäß im Boden der Maschine. Diese ist allseitig fest mit Blech umschlossen. Ein kleiner Ventilator saugte den Staub im Boden der

¹ Auf die ausgezeichnete Arbeit Ritters: Über die Ursachen der Entzündung von Aluminiumstaub bei der Herstellung, Z. V. d. I. 1930, Nr 5, sei besonders verwiesen.

Maschine ab und beförderte ihn in einen Staubsammler im vierten Stock.

Die Explosion zerstörte das gesamte Ventilationssystem, riß die Maschine im unteren Stock auseinander, setzte die oberen Stockwerke in Brand.

Es konnte festgestellt werden, daß die Arbeitsmaschine gut gearbeitet hatte, auch gut geerdet war. Anzeichen statischer Elektrizität waren niemals beobachtet worden. Sorgfältige Nachforschungen ergaben, daß das von der Maschine zum Staubsammler hochgehende Ventilationsrohr auf dem dritten Stock in Kontakt gekommen war mit einem elektrischen Leitungsdraht einer alten Leitung. Dieser stark isolierte Draht führte zu einem Motor. Als vor Jahresfrist das Ventilationsrohr eingebaut wurde, schob man diesen Draht etwas beiseite, damit das Rohr durch das Loch im Boden des oberen Stockwerkes hindurchkam. Die Draht-



Abb. 7. Kunstdüngerstaubexplosion.

isolierung — es sollte gerade mit Neuverlegung der elektrischen Installation in Stahlpanzerrohr begonnen werden — war bei dieser Gelegenheit oder durch Vibration des Ventilationsrohres im Laufe der Zeit am Berührungspunkt mit dem Rohr beschädigt worden. Das Rohr zeigte hier eine eingeschmolzene Stelle von etwa 10 mm. Der Strom hatte den Berührungspunkt Draht-Rohr auf hohe Temperaturen erhitzt. Es genügte, um die im Rohr aufsteigende Staubluft, deren Konzentration über 7 g/m^3 , also bereits innerhalb der Gefahrenzone lag, zu entzünden, die heftige Explosion auszulösen. Ihre Auswirkung ging nach oben (Staubsammler und obere Stockwerke) und nach unten (Arbeitsmaschine). Löschversuche mit Hand- und Feuerlöschern, später mit Schlauchleitungen beschleunigten den Brand, da durch das Aufwirbeln von Staub, durch Wasserstrahlen und Zugluft immer neue Explosionen erfolgten.

Die Lehren: Elektrische Installationen in Staubbetrieben müssen

aus bestem Material sein und unbedingt den dafür geltenden Vorschriften entsprechen. Staubsammler gehören über Dach oder in freistehenden Bau. Der Ventilator ist so groß zu bemessen, daß die Staubkonzentration in den Rohren und selbst bei Überlastung unter der Gefahrenzone von 7 g/m^3 bleibt, oder durch Zuführung inerte Gase der Sauerstoffgehalt in der Ventilationsluft unter 12% gehalten wird. Ist das nicht möglich, so soll — gerade bei Bronzefarbenstaub — auf Ventilation ganz verzichtet werden.

Zum Löschen dieses Materiales in staubigen Innenräumen nicht Wasser nehmen. Mit feinstem nicht klumpenden Sand, mit Kochsalz oder mit Soda hat man in einzelnen Fällen beste Erfahrungen gemacht.

Kunstdüngerstaubexplosion.

(Superphosphat).

In einem mit Metallgeweben bespannten und über die Lager geerdeten Sechskantsichter fanden häufig Verpuffungen statt. Einmal eine starke Explosion mit anschließendem Brand. Die Verpuffungen zeigten sich meist nach frischer Lagerölung.

Als Ursache konnte ermittelt werden, daß eine feinste Haut frischen Öles die Welle so umhüllte, daß sie vom Lager isoliert war. Die elektrostatischen Ladungen mußten sich so im Innern und im Gehäuse ansammeln und bei Überschreitung der Kapazität durch den Entladungsfunkten den Staub im Sichter entzünden bzw. zur Explosion bringen.

Es wurde nun am eisernen Sichtergehäuse Erdung vorgenommen und zwar über die Rohre der vorhandenen Sprinkleranlage. Es wurde ferner an der Welle des Sichters ein gut geerdeter Schleifbürstenkontakt angebracht. Explosionen haben nicht mehr stattgefunden.

Die Lehren: Richtige Erdung vornehmen, sonst ist sie zwecklos. Die geologischen Verhältnisse sind als Ursache nachgewiesen, warum in einzelnen Gegenden Staubexplosionen besonders häufig vorkommen. Es muß, besonders bei Sand- und Kalksteinuntergrund, die Erdung bis zum Grundwasser durchgeführt werden. Die Veränderung des Grundwasserspiegels ist zuvor gründlich zu untersuchen. Die Metallteile einer Maschine, z. B. Lager, Welle, Gehäuse sind wegen der Gesamterdung untereinander zu verbinden. Da eine schwere Staubexplosion erst kürzlich durch eine keinem Betriebsbeamten bekannte Unterbrechung der Erdung erfolgte, so ist darauf zu achten, daß bei baulichen Veränderungen die Erdleitung nicht angetastet oder aber zuvor eine Reserveleitung gelegt wird.

Nur durch die Verstaubung der Betriebsräume nahm die Sichter-Explosion derart verheerenden Umfang an. Die Abbildung zeigt das weggeschleuderte Dach, die trotz großer Fenster herausgedrückte Front. Der Brand setzte erst der in der Ecke des Baues ein, wo Stichflamme bzw. Druckwelle nicht weiter konnten, ungeheure Kompression entstand. Sie zündete die dort lagernden Vorräte. Sackstapel — ob mit Rohstoffen oder Fertigfabrikaten — gehören nicht in Arbeitsräume.

Holzmehlstaubexplosion¹.

Diese Explosion ist besonders erwähnenswert, weil man den an sich alten Bau durch Sprinkleranlage gesichert glaubte. Zwar schützt eine solche Anlage nicht vor Staubexplosion. Aber man dachte sich irrigerweise eine Staubexplosion stets mit großem Brand verbunden. Dies ist nur der Fall bei Unsauberkeit, schlechter Organisation und in alten Bauten mit Balken, Holzdecken und dergleichen.

Wie der Bau, so war auch die elektrische Installation veraltet. Die Katastrophe ist eine der wenigen, die durch Kurzschluß ausgelöst wurde. Der Bau bestand aus acht Stockwerken. Im sechsten Stock entstand die Explosion. Die Abbildung veranschaulicht besonders deutlich, wie die oberen Stockwerke samt Dach durch den hohen Druck, der sich in den niedrigen Stockwerken nicht austoben konnte, hochgehoben und weggeschleudert wurden. Wie ferner die 700 mm starke Frontwand herausgedrückt, der Boden des fünften und sechsten Stockwerkes nach unten gerissen wurden. Man ermißt die ungeheure Gewalt der Druckwellen, denen alte Bauten rettungslos unterliegen müssen. Diese in kaum einer Sekunde vollbrachte Zerstörung zerriß sofort das Rohrsystem der Sprinkleranlage. Einer Kette von Zufällen war es zu verdanken, daß der entstandene Brand nur geringen Umfang annahm. Der Sprinkleranlage ist das nicht zu verdanken. Sie war gleich vom ersten Augenblick an ausgeschaltet.

So ausgezeichnet die Wirksamkeit einer Sprinkleranlage ist: bei staubgefährdeten Betrieben scheint sie uns problematisch, gleich welchen Systems sie sein mag. Es beweist das nicht nur der vorliegende Fall, sondern auch eine uns in USA. — wo ja Sprinkleranlagen weit verbreiteter sind — vorgelegte Statistik aus dem Jahre 1923. Von 1227 Bränden in Fabriken mit Sprinklerschutz wurden 55 Sprinkler durch die ausgelöste Explosion sofort zerstört, konnten nicht in Tätigkeit treten.

Die Lehren: Wenn solche aus dem vorliegenden Fall gezogen werden können, so kann es nur derart sein, daß überall da, wo Staubexplosionsschäden im Bereich der Möglichkeit liegen, Sprinkleranlagen geringen Wert besitzen. Denn einmal ist ein Brand nicht unbedingt die Folge einer Staubexplosion. Zum andern ist die Zerstörung und Unwirksamkeit einer Sprinkleranlage bei Explosionskatastrophen wahrscheinlich. Es erscheint uns zweckmäßiger — wie das auch in anderen Ländern gehandhabt wird — die bei Sprinkleranlagen übliche wesentliche Ermäßigung der Versicherungsprämie auch auf Bauten auszudehnen, die besonders für staubgefährdete Betriebe geeignet errichtet werden, aber keine Sprinkleranlage besitzen.

¹ Es waren in den letzten Jahren über ein Dutzend Staubexplosionen bzw. starke aber noch gut verlaufene Verpuffungen hier vorgekommen. Die Firma sah sich schließlich gezwungen, Meldungen an Aufsichtsämter und Versicherungen zu unterlassen. Erstere hätten evtl. den Weiterbetrieb untersagen, letztere das weitere Risiko ganz ablehnen können. Die Verluste, Betriebsstörungen, Nichteinhalten vertraglicher Lieferfristen stellten die Existenz der Firma in Frage. Erst nach Zuziehung eines Staubexplosions-Sachverständigen und Vornahme aller notwendigen Änderungen konnte ein ruhiger, gleichmäßiger, sicherer Betrieb erreicht werden.

Staubexplosion in einer Chemischen Fabrik.

Die Explosion vernichtete 42 Menschenleben. Viele Schwerverletzte. Sachschaden 6 Millionen RM.

Trotz der restlosen Vernichtung des Unternehmens (Traubenzucker, künstlicher Gummi und dergleichen) konnte als Ursache einwandfrei das folgende festgestellt werden: Ein großer Silo wurde sowohl durch Auskippen von Handwagen als auch durch eine Schnecke gespeist. In dieser Schnecke war ein Zwischenlager heiß gelaufen. Auf der Holzwand des Troges hatte sich innen pyrophore Kohle gebildet, das Holz wurde langsam zum Glimmen gebracht. Durch die Wärme war das Lageröl so dünnflüssig geworden, daß es auf die Holzwand tropfte, diese und die pyrophore Kohle tränkte, letztere autoxydabel also noch leichter entzündlich machte. Wie in jeder geschlossenen Schnecke, so war auch in dieser schwebender, aufgewirbelter und, wo das Fördergut warm ist, besonders trockener Staub. Dieser entzündete sich an der glimmenden Stelle. Die Stichflamme nahm ihren Weg in der Transportrichtung, zum Silo. Im gleichen Augenblick wurde in den Silo ein eiserner Rollwagen ausgekippt unter entsprechender Staubaufwirbelung. In diese schlug die Stichflamme. Das Gleise der Rollwagen führte hoch über die Straße in einem geschlossenen Übergang zum gleichen Stockwerk eines anderen Baues. Durch diese wegen ihres großen Querschnittes bequeme tunnelartige Verbindung zwischen den Bauten nahm die Druckwelle ihren Weg, überall neuen Staub aufwirbelnd, neu zündend. Die beiden großen Bauten waren sofort ein Flammenmeer. Ein Entkommen der vielen darin Beschäftigten war vereitelt.

Zur Zeit der Explosion waren im Freien minus 18°. Die Luft war von ungewöhnlicher Trockenheit. Wegen der Kälte waren zudem alle Fenster und Öffnungen usw. verschlossen und verstopft. In der Explosionsnacht war mangels Feuchtigkeit gerade der feinste schwebende Staub besonders dicht, trocken und elektrisch aufgeladen. Er wurde beim Transport, in den Schnecken, beim Abfüllen usw. in erhöhtem Maße aufgewirbelt. Es ist bekannt, daß sich die Trockenheit des allerfeinsten Staubes mit fortschreitender Verarbeitung erhöht, weshalb bei Schichtschluß in der Regel größere Trockenheit festgestellt wird als bei Schichtbeginn. Das Zusammentreffen dieser Einheiten kann als Idealzustand für Entwicklung von Explosionen bezeichnet werden.

Die Lehren: Die Raumbefeuchtung soll unbedingt auf mindestens 65% konstant gehalten werden wegen besserer Leitfähigkeit der Staubluft und wegen geringerer Schwebefähigkeit des allerfeinsten Staubes. Das Auskippen von staubhaltigen Material in Innenräumen sollte wegen der Staubaufwirbelung unbedingt unterbleiben. Silos, in welche Schnecken oder Elevatore entleeren und dabei Staubentwicklung bewirken, müssen dicht geschlossen sein. Ein mindestens 800 mm im Durchmesser haltendes eisernes oder hölzernes sogenanntes Explosionsrohr soll vom Silodeckel über Dach gehen. Unter der Silodecke ist ein grobmaschiges Kupferdrahtgewebe zu spannen und gut bzw. richtig zu erden. Sofern es das im Silo lagernde Material verträgt, sollte die Silo-

luft auf mindestens 65% relativer Feuchtigkeit gehalten werden. Die Verbindung von staubgefährdeten Bauten bzw. von gleichen Stockwerken zweier Bauten darf nicht mit gewöhnlichen geschlossenen Verbindungsgängen bewirkt werden, sondern nur in der auf S. 57 ange deuteten Art. Transportschnecken sollen möglichst aus Eisen sein, mindestens aber sollen die Schneckenstellen, an denen sich Zwischenlager befinden, ein kurzes Stück aus Eisen bestehen. Vor dem Auslauf einer Schnecke muß stets ein Explosionsrohr sich befinden und zwar mit einem um mindestens 50% größeren Querschnitt des Schnecken durchmessers. Auf Zugänglichkeit und Kontrolle gerade der Schnecken zwischenlager (auch der Elevatorflüsse) sollte weit mehr Gewicht gelegt werden, als es bisher geschieht. Auch auf die Tourenzahl. Es ist nicht angängig, Schnecken einfach schneller laufen zu lassen, zu forcieren, wenn die Gesamtleistung steigen soll. Schnecken sollen langsam laufen!



Abb. 8. Staubexplosion in einer Lederfabrik.
Kaltexplosion von Schleifstaub.

Schließlich noch die Sauberkeit. Durch sie hätte sehr wahrscheinlich der Tod dieser 42 Menschen verhütet werden können. Vergessen wir nicht, daß die Ursprungsexplosion — ob durch elektrische oder technische Ursachen erzeugt — meist geringeren Schaden anrichtet. Diesen verursachen vielmehr in fast allen Fällen die Anschlußexplosionen. Herrscht Sauberkeit, kann man letztere unterbinden, mindestens aber einschränken¹.

¹ Der Betriebsdirektor dieser Firma hatte dem Verfasser vor Jahren einmal geantwortet: Ich will gar keine sachverständigen Treuhänder in meinem Betrieb haben. Was sie mir raten, kostet Geld. Weiß ich zuviel von den Gefahren oder mache ich nicht alles, was diese Leute mir empfehlen und es passiert etwas, so bin ich haftbar. Das will ich nicht. Es sei dieser Ausspruch erwähnt, um die Einstellung mancher Kreise gegenüber Staubexplosionsgefahren zu kennzeichnen. Die schwere Explosionskatastrophe brachte der Firma hohe Verluste. Als Lehre für den Betriebsdirektor kam sie zu spät. Er war kurz zuvor altershalber ausgeschieden, jüngere Kräfte waren im Begriff, das veraltete Werk von Grund auf unter Aufnahme schwerer finanzieller Belastungen auf eine moderne, betriebssichere Grundlage zu stellen.

1. WTB.¹ F., 4. April 1929. In T. wurden durch eine Holzstaubexplosion 11 Arbeiter verletzt. Einer von ihnen wurde mit einer Gehirnerschütterung in bewußtlosem Zustand in ein Krankenhaus gebracht, 10 trugen erhebliche Brandwunden davon. Im Krankenhaus erlag ein Arbeiter seinen schweren Verletzungen. Der durch die Staubexplosion angerichtete Sachschaden ist sehr bedeutend, der Betrieb liegt still. Nachforschungen über die Ursachen werden fortgesetzt.

2. WTB. P., 21. März 1928. Die schwere Staubexplosion ist, wie jetzt festgestellt wurde, durch Sprühfunken verursacht worden, die dadurch erzeugt wurden, daß ein Grubenwagen einen steilen Abhang hinunterstürzte. Die Explosion erfolgte mit ungeheurer Gewalt, zertrümmerte das Fördergestell und sämtliche Fensterscheiben in weitem Umkreis. Nach der Explosion schossen aus dem Hauptschacht 100 m hohe Flammen empor. Die Gesellschaft ist noch nicht in der Lage, die Zahl der Toten zu übersehen, man schätzt sie bereits auf über hundert.

3. WTB. F., 14. März 1928. Am Mittwoch früh um 2 Uhr entstand in der K.schen Mühle durch eine Staubexplosion ein großer Brand, dem Millionenwerte an Korn, Mehl sowie Maschineneinrichtungen zum Opfer gefallen sind. Der ältere Bau wurde durch das Feuer vollständig vernichtet. Die sehr großen Vorräte in den Nachbargebäuden wurden durch Feuer zerstört, teils dadurch entwertet, daß die Lagerräume unter Wasser gesetzt werden mußten.

4. WTB. L., 17. April 1927. In den Linoleumwerken von B. ist am Dienstag abend ein Feuer ausgebrochen, dem die Fabrikanlagen und eine große Menge chemischer Produkte zum Opfer fielen. Trotz der gemeinsamen Anstrengungen der Feuerwehren von L. und R. brannten die gesamten Anlagen bis auf den Grund nieder. Bereits um 1 Uhr nachts betrug der Schaden über 20 Millionen Franken. Die Ursache der Katastrophe vermutet man zunächst in einer Staubexplosion in der großen Mühle.

5. WTB. V., 21. April 1927. In dem großen chemischen Werk L. wurden zwei Anlagen durch eine Gas- und Staubexplosion zerstört. Fünf Arbeiter wurden verletzt, der Sachschaden ist sehr bedeutend.

6. TU. R., 24. April 1927. Dienstag nacht zwischen 3 und 4 Uhr ist die Bronzefabrik in E. in die Luft geflogen. Das Unglück entstand dadurch, daß sich eine Riemenwelle gelockert hatte (?) und Funken in den Aluminiumstaub sprangen. Es folgten zwei heftige Detonationen nacheinander. Die sechs Räume der Fabrik, in der Aluminiumbronze hergestellt wurde, sind in die Luft geflogen. Verletzt wurde glücklicherweise niemand. Der Schaden dürfte sehr hoch sein.

7. WTB. G., 27. März 1929. In einem hiesigen Bergwerk ereignete sich gestern eine Staubexplosion. Acht Bergleute wurden als Leichen geborgen. 15 Arbeiter werden noch vermißt.

8. WTB. N., 27. März 1929. Im Fabrikgebäude der Mineralölwerke fand beim Vermahlen von Harzmassen eine Staubexplosion statt, die einen Brand hervorrief, der das Gebäude bis auf die Grundmauern in Asche legte. Zwei Arbeiter trugen leichte Brandwunden davon.

9. TU. H., 21. Oktober 1927. Ein schwerer Unfall hat sich auf einer M.-Grube ereignet. Nach der einen Version soll es sich um eine Kohlenstaubexplosion handeln, nach einem anderen Bericht soll es sich um einen Brand handeln, der durch Reibung oder Explosion in einem Schneckengetriebe entstanden sein soll. Bei dem Unfall sollen im ganzen sechs Personen Verletzungen erlitten haben.

10. NBL. F., 21. Februar 1929. Bei der F.-Industrie kam es heute in H. zu einer Staubexplosion, bei der drei Arbeiter schwer verletzt wurden. Sie fanden Aufnahme im Krankenhaus. Der Raum wurde stark beschädigt, das Dach mußte gestützt werden, infolgedessen mußte der Betrieb in diesem Raum stillgelegt werden.

11. WTB. W., 30. Januar 1929. In der obersten Mädchenklasse der hiesigen Mittelschule erfolgte heute vormittag bei Vornahme eines chemischen Experi-

¹ Bedauerlicherweise erhoben manche Firmen Einspruch gegen Namensnennung oder eine Ortsbezeichnung, welche Schluß auf die vom Explosionsschaden betroffene Firma zuläßt. Verfasser mußte sich mit Nennung der Anfangsbuchstaben begnügen. Die den einzelnen Berichten vorgedruckten Zeichen sind Quellenangaben. WTB. = Wolfs Telegraphen-Bureau. TU. = Telegraphen-Union usw.

mentes eine Explosion, bei der sämtliche Mädchen zur Erde geschleudert wurden. Vier Mädchen wurden leicht verletzt. Nach Ansicht des Lehrerkollegiums handelt es sich um eine Staubexplosion, bei der sich der in der Experimentierschale befindliche Staub mit anderen Stoffen verband und zur Explosion kam.

12. PRI. N., 10. September 1927. In der Sch.schen Fabrik in P. entzündete sich auf bisher ungeklärte Weise der im Exhaustor befindliche Schleifholzstaub. Die große Mauer des Gebäudes wurde gegen den Hof hinausgedrückt. Ein Maschinenarbeiter, der unter den Trümmern begraben wurde, erlitt schwere Verletzungen am Kopf. Der entstandene große Brand konnte schließlich gelöscht werden.

13. PRI. S., 24. Juni 1928. In den Mittagsstunden ereignete sich in der Bronzefabrik von W. ein schweres Explosionsunglück, dessen Entstehungsursache auf Staub zurückgeführt wird. Kurz vor 11 Uhr flog mit einer mächtigen Detonation das Fabrikgebäude zur Herstellung von Aluminiumbronze in die Luft, nachdem eine Stichflamme, die über 30 km sichtbar war, das Unglück angekündigt hatte. Das ungefähr ein Jahr in Betrieb befindliche neue Werk wurde bis auf die Grundmauern vernichtet. Ein Arbeiter wurde getötet, ein zweiter schwer verletzt.

14. SCB. N., 29. April 1929. In der Nacht zum Freitag ist in der hiesigen Pulvermühle Aluminiumstaub explodiert. Der größte Teil des Werkes wurde zerstört, das Dach abgerissen und weit hinausgeschleudert. Zwei im Betrieb befindliche Arbeiter konnten sich glücklicherweise noch vor der Explosion in Sicherheit bringen. Die Feuerwehren mußten sich auf die Rettung der Nachbargebäude beschränken.

15. GRE. R., 5. Dezember 1928. Am Montag abend 6 Uhr ist in der hiesigen Holzmehlmühle ein Schadenfeuer ausgebrochen, das großen Umfang annahm. Die Bekämpfung des Feuers gestaltete sich äußerst schwierig. Der Brand ist durch einen Fremdkörper (Eisen oder Steinchen) hervorgerufen worden, der trotz angeblich vorhandener Schutzvorrichtungen in einen Steinmahlgang geraten war und Staubexplosion mit anschließender Stichflamme auslöste. Zur Bekämpfung des Feuers war die Feuerwehr von R. und G. sowie die Berufsfeuerwehr der B.-Werke herbeigeilt. Sie sahen sich jedoch außerstande, des verheerenden Elementes Herr zu werden. Die Fabrikationsmaschinen sind vollständig vernichtet worden, während der Maschinenraum gerettet werden konnte. Der Sachschaden an Maschinen beläuft sich auf ungefähr 180000 RM. Der Gebäudeschaden läßt sich nicht überblicken.

16. WTB. L., 6. Oktober 1928. Eine schwere Staubexplosion, die alle bisherigen an Stärke und Auswirkung weit übertraf und weithin zu hören war, ereignete sich gestern abend in der hiesigen Brikettfabrik. Sechs Mann der Belegschaft wurden verletzt zum Krankenhaus geschafft. Die Fabrik ist völlig zerstört. In kürzester Frist war die hiesige Feuerwehr zur Stelle, die den durch die Explosion in der Fabrik und den anschließenden Gebäuden ausgebrochenen Brand aus mehreren Schlauchleitungen angriff. Das Eindringen in die Fabrik gestaltete sich besonders schwierig, da der glimmende Staub beim Spritzen hoch aufwirbelte und immer neue Explosionen verursachte. Der Materialschaden ist außerordentlich groß und läßt sich auch noch nicht einigermaßen übersehen. Bei der Explosion sind leider sechs Personen schwer verletzt worden. Über die Ursache des Unglücks wird mitgeteilt, daß ein Kolben aus einer Presse Funken verursachte mit nachfolgender Explosion. Durch diese flog das Dach der Fabrik in die Luft, und die Wände wurden eingedrückt. In der Dunkelheit bot die brennende Fabrik, aus deren Schloten die Feuersäulen aufstiegen, ein schaurig schönes Bild. Immer wieder stoben die glühenden Funkenmassen durch neue Explosionen in die Höhe, weithin die Gegend erleuchtend. Ein ergreifendes Bild von der rasenden Gewalt des Feuers, der der Mensch nicht Gewalt bieten kann, wenn sie erst in voller Kraft entfesselt ist.

17. WTB. T., 29. September 1927. Montag abend fand in den Stickstoffwerken eine Elevatorexlosion statt, die dadurch entstanden war, daß der Elevator ohne die zugehörige Entstaubung in Betrieb gesetzt wurde. Durch die Explosion wurden 5 Arbeiter schwer verletzt, einer getötet. Die Unfallstelle bot nach der Explosion ein grauenhaftes Bild der Zerstörung. Staub und Gase er-

füllten die Räume, jede Sicht verwehrend. Dazwischen klangen die Klagerufe der Verletzten, die um ihr Leben bangten. Der Schaden am Material ist sehr erheblich.

18. WTB. R., 17. April 1927. Durch eine schwere Aluminiumstaubexplosion wurde ein Angestellter getötet, ein anderer schwer verletzt. Als Ursache wurde ermittelt, daß ein elektrisches Leitungskabel mit der Rohrleitung eines Abzugsrohres Kontakt hatte. Diese Berührungsstelle war vom Kabel aus allmählich so erhitzt worden, daß die Entzündung des Staubluftgemisches im Abzugsrohr erfolgen mußte.

19. UN. H., 23. April 1928. Auf der Gewerkschaft H. hat sich gestern nachmittag ein schweres Explosionsunglück ereignet, bei dem 13 Arbeiter schwer verletzt wurden. Zwei Arbeiter sind ihren Verletzungen bereits erlegen, und bei den meisten andern sind die Verletzungen so schwer, daß man für ihr Leben fürchten muß. Während der Löscharbeiten ereigneten sich schwere Staubexplosionen, die sich durch die ganze Fabrik fortpflanzten und großen Schaden anrichteten. Sämtliche Fenster wurden aus ihren Fassungen herausgerissen und mehrere Arbeiter durch die Fenster hindurch auf den viele Meter tiefer liegenden Hof geschleudert, wo sie schwer verletzt liegen blieben. Durch die große Gewalt der Explosion wurden insgesamt 13 Personen, darunter auch der Direktor der Gewerkschaft, schwer verletzt. Die Verunglückten wurden nach der ersten ärztlichen Hilfe an Ort und Stelle sofort in die Krankenhäuser gebracht, wo 6 Arbeiter bereits gestorben sind.

Über die Ursache der Explosion erfahren wir folgendes: In einem der Schneckengänge war ein Brand ausgebrochen. Während der Löscharbeiten erfolgten plötzlich durch Aufwirbelung von Staub Explosionen, die von furchtbarer Wirkung waren und sich sofort durch alle Räume fortpflanzten. Im Ofenraum wurden mehrere Arbeiter durch die Fensteröffnungen auf den Hof geschleudert. Alle in dem Raum befindlichen Arbeiter erlitten furchtbare Brandwunden. Das Werk ist durch die Explosion stillgelegt. Man rechnet mit einer langen Zeit, bevor die Arbeit wieder aufgenommen werden kann. Der Sachschaden ist sehr erheblich.

20. PRI. K., 27. Februar 1928. Die Staubexplosionskatastrophe auf der H.-Grube ist die schwerste, von der unser Braunkohlenrevier bisher überhaupt betroffen worden ist. Das Unglück hat auf die 1500 Einwohner zählende Bevölkerung niederschmetternd gewirkt. Es hätte noch weit größeren Umfang angenommen, wenn es der Arbeiterschaft nicht im letzten Moment gelungen wäre, die Kesselanlagen abzustellen. Die Zahl der Todesopfer beträgt bis jetzt sechs, doch fürchtet man, daß noch einige der Verletzten ihren schweren Wunden erliegen werden. Die Unglücksstelle selbst bietet ein Bild schrecklichster Zerstörung, die die ungeheure Wucht der Explosion erkennen läßt. Dicke Mauern sind völlig zersprengt und die Stücke weit umhergestreut. Dächer sind abgedeckt, Eisenträger zerknickt. Eine halbe Stunde vor der ersten Explosion hatte man in den Abzugsschloten der Trockenanlage bereits Funkenregen beobachtet. Da jedoch solch kleinere Funkengarben und Verpuffungen nichts Seltenes waren (!), meist durch eine automatische Sicherheitsanlage beseitigt wurden, hatte man auch hier nur die üblichen Maßnahmen getroffen. Vier Mann begaben sich an die Abzugsschlote, um den Brand zu löschen. In diesem Augenblick erfolgte eine furchtbare Detonation. Eine riesige Stichflamme schlug aus dem Ofen nach unten und verbreitete sich in einer Sekunde durch das ganze Gebäude. Da das elektrische Licht versagte, war das ganze Werk in tiefes Dunkel gehüllt. Entsetzliche Schmerzensschreie der Verletzten durchtönten die Luft. Verletzt wurden neben dem Direktor sämtliche Betriebsführer. Die Wucht der Explosion, die die Häuser im Umkreis von 5 Kilometer erschütterte, hatte die gesamte Bevölkerung alarmiert. Da gerade Schichtwechsel war und niemand wußte, wieviel Leute sich zur Zeit des Unglücks in der Fabrikanlage befanden, wurden die Hunderte von Angehörigen, die sich vor den Toren des Werkes angesammelt hatten, von einer furchtbaren Erregung ergriffen. Im ganzen wurden im Krankenhaus 32 Schwerverletzte eingeliefert. Man bezweifelt, ob sich die Ursache des Unglücks feststellen lassen wird. Die Anlage war mit Sicherheitsmaßnahmen ausgerüstet. Die maschinellen Anlagen sind unter Wasser gesetzt. In den Staubmassen befinden sich noch zahlreiche Brandnester, doch scheint weitere Explosionsgefahr beseitigt. Das Maschinenhaus der Fabrik ist vom Erdboden weggefegt. Die Bahnanlage ist mit Trümmerstücken

übersät, so daß der Zugverkehr auf der vorbeifahrenden Eisenbahnstrecke heute vormittag noch ruht.

Die zu vorstehendem PRI.-Bericht gehörenden Abbildungen geben ein anschauliches Bild der Zerstörungen. Man sieht einen Teil der auseinander gerissenen Abzugsschlote, in welchen die Leute in völliger Verkennung der Gefahren einen Brand (Glimmnest) zu löschen versuchten, der, wie es heißt, „nichts seltenes war!“ Sie haben bei ihrem Löschbeginnen den in den Schächten abgelagerten Staub, wie nicht anders zu erwarten war, aufgewirbelt und dadurch erst die Explosion ausgelöst. Ihr folgten dann unmittelbar weitere Zündun-



Abb. 9. Abzugsschlote, in welchen Glimmnester entstanden. (Zu Bericht Nr 20, S. 26.)

gen, da Druckwelle und Stichflamme ihren Weg nach unten nahmen. Es liegt hier wieder der Fall vor, daß nicht die erste Explosion, sondern die durch Betriebsverstaubung verursachten Anschlußexplosionen die Verheerungen anrichteten. Infolge der Geschwindigkeit, mit welcher mehrere Detonationen aufeinander folgen und sich der ganze Vorgang abspielt, bleibt oft der Eindruck einer einzigen Detonation. Das zweite Bild läßt deutlich den weiteren Weg der Druckwelle erkennen. Sie raste aus dem Maschinenraum und durch den kleinen Transmissionsanbau, den sie nach außen sprengte, um dann endlich im Freien sich zu verflüchtigen.

Es sei hier Anlaß genommen, kurz einiges über Kohlenstaubexplosionen ganz allgemein zu sagen.

Sie entstehen einmal ungewollt bei der Gewinnung von Kohle bzw. bei der Brikett Herstellung, dann gewollt bei der Gewinnung von Kohlenstaub, der als Veredelungsprodukt — und zwar ganz besonderen Bedingungen entsprechend — bei den neuzeitlichen Kohlenstaubfeuerungen verwendet wird.

Über Verhütungsmaßnahmen gegen bei Gewinnung von Kohle unter Tag entstehende Staubexplosionsgefahren ist von den Kohlenforschungsinstituten und Versuchsstrecken aller Länder, auch von Bergbehörden, Sicherheitsämtern usw. in den letzten Jahren außerordentlich Wertvolles geleistet worden.

Die zur Auslösung einer Kohlenstaubexplosion notwendige Energie kann durch schlechte Lampen, durch minderwertigen Sicherheits-



Abb. 10. Weg der Druckwelle. (Zu Bericht Nr 20, S. 26.)

sprengstoff erfolgen. Diesem sogenannten Wettersprengstoff muß ebenfalls eine gewisse Menge Gesteinstaub beigefügt sein. Die Mehrzahl der Katastrophen ist aber durch elektrische Energie ausgelöst worden. Hoher Feuchtigkeitsgehalt der Luft hat zwar als guter Leiter die elektrischen Aufladungen des Staubes gemindert. Auch ist angefeuchteter Staub nicht so leicht aufzuwirbeln. Aber Gewähr gegen Auslösung einer elektrischen Zündung ist mit dem Feuchtigkeitsgehalt nicht gegeben.

Kohlenstaub mit elektrischer Aufladung kann bekanntlich wesentlich leichter entzündet werden. Wir wollen auch nicht außer acht lassen, daß der Entflammungsdruck, der hier explosiv wirkt, bereits bei 20 at liegt.

Die Verhütung der Auslösung einer Energiequelle läßt sich unter Tag weit weniger leicht erreichen, als in staubgefährdeten Fabriken.

Hier muß infolgedessen das Beste und Möglichste angewendet werden, die Auswirkung und die Folgen einer Staubexplosion zu verhindern.

Wir wissen, daß heute das bewährteste Mittel zum Schutz vor Kohlenstaubexplosionen unter Tag das Mischen mit Gesteinsstaub ist. Gesteinsstaub verdünnt das gefährliche Kohlenstaubgemisch, setzt dem Fortschreiten einer dennoch entstehenden Explosionswelle einen starken Widerstand entgegen, kühlt die Luft bzw. das Gas herunter. Eine Untermischung von 65% Gesteinsstaub schließt die Weiterentwicklung bzw. Auswirkung einer Explosion aus.

Die Auswirkungen von Kohlenstaubexplosionen in Bergwerken sind schon deshalb verheerender wie in Gebäuden, weil die Druckwelle keinen Ausweg findet, die Druckkraft zusammengehalten wird. Besonders in engen oder sackartig endenden Stollen sind die Explosionen gefährlicher als in langen geraden Stollen. Sämtliche Öffnungen auf diesem Wege wirken auf die herannahende Explosionswelle druckmindernd. Aber sie beschleunigen auch entsprechend die Flammengeschwindigkeit.

Die sicherste Gewähr, die Staubkonzentration in jedem entstehenden Luftgemisch unter $17,2 \text{ g je m}^3$ zu halten, hat sich in Bergwerken vorerst als unerreichbar erwiesen.

Wie sehen nun die Sicherungen bei dem für Feuerungszwecke und für Brikettierung Verwendung findenden Kohlenstaub aus? Die Verwendung des Staubes für Feuerungen hat sich in ungeahntem Maße gesteigert. Die für Kesselfeuerungen erforderliche Kohlenstaubmenge wird heute auf etwa 4,1 Millionen Tonnen jährlich geschätzt! Wie bei anderen Stauben, so ist es auch hier: je feiner, desto gefährlicher. Ungefährlich ist nur der Staub aus Anthrazitkohle. Wenig gefährlich auch Magerkohlenstaube, zumal wenn ihr Gehalt an flüchtigen Bestandteilen 15% nicht übersteigt. Für die Herstellung, die Lagerung, die Beförderung, kurz für den ganzen Umgang mit diesem Staub, wofür Erfahrungen noch nicht vorlagen, mußten in kurzer Frist Richtlinien, Normen geschaffen werden. Es ging dabei ohne mancherlei Explosionsschäden und Unfälle nicht ab. Aber heute kann gesagt werden, daß Dank eines guten Zusammenarbeitens der Industriellen und ihrer Beschäftigten mit dem Kohlenstaubausschuß, mit Reichsarbeitsverwaltung, Preuß. Handelsministerium und anderen Behörden Ersprießliches geleistet wurde. Es ist zusammengefaßt in den von vorgenannten Stellen herausgegebenen bekannten Merkblättern und ich kann mir versagen, dieses Sonderstaubgebiet in meinen Betrachtungen über gefährlichen Industriestaub nochmals zu behandeln.

Wenn, wie gerade in letzter Zeit, heftige Explosionsunfälle besonders in der Braunkohlenindustrie vorkamen, so liegt es unseres Ermessens an der noch nicht ausreichenden Schulung der Leute. Erfassen sie erst einmal richtig die bei Fahrlässigkeit und Betriebsverstaubung unausbleiblichen Gefahrmomente, dann werden sie ihre Gleichgültigkeit ablegen.

21. WTB. N., 25. April 1929. In der M.-Fabrik ereignete sich heute nachmittag im dritten Stockwerk eine schwere Staubexplosion. Sofort nach dem Knall schlugen die Flammen aus allen Fenstern des dritten Stockwerks. Der Feuerwehr

gelang es, nach einstündiger Tätigkeit das Feuer so weit einzudämmen, daß keine Gefahr mehr bestand. Man spricht davon, daß die Explosion in der Lackiererei entstanden sei. Von amtlicher Seite werden bereits 10 Tote und viele Schwer- und Leichtverletzte gemeldet. Es ist jedoch damit zu rechnen, daß sich diese Zahlen noch ändern. Infolge der strengen Abspermaßnahmen ist es schwer, Einzelheiten über das Unglück zu erlangen. Auch über die Ursache der Explosion steht noch nichts fest, da die Firma jede Auskunft verweigert. Farbstaub oder Lack oder Gase sind aber die wahrscheinlichen Ursachen. Die 10 Toten sind bis zur Unkenntlichkeit verkohlt. Es handelt sich meistens um Frauen. Vor der Fabrik hat sich eine große Menschenmenge angesammelt. Die Feststellung der Toten

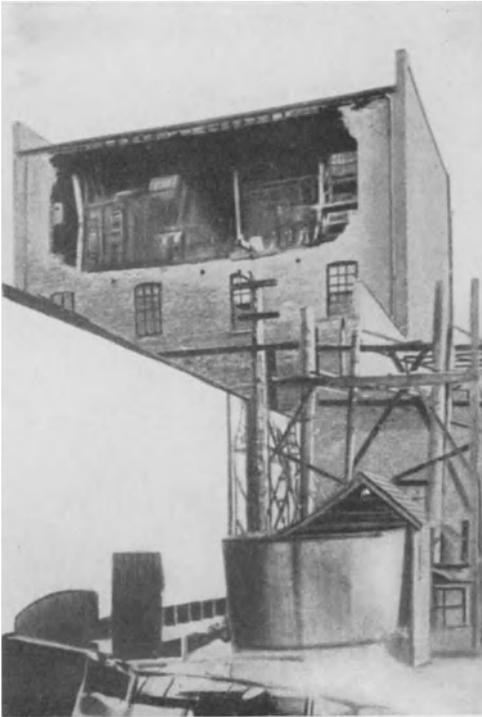


Abb. 11. Staubexplosion in einer Gewürzmühle.
Kaltexplosion bei Feinvermahlung getrockneter
ausländischer Wurzeln.

Der Mehlstaub wurde sofort zur Explosion gebracht und richtete schwere Verwüstungen an. Ein Arbeiter ist inzwischen gestorben. Die beiden schwer verletzten Müller werden, sollten sie mit dem Leben davonkommen, das Augenlicht einbüßen.

24. WTB. P., 27. Juni 1929. In der P. Gummifabrik entstand heute früh eine furchtbare Staubexplosion. Bisher wurden 9 Tote und 15 Schwerverletzte geborgen. Die Unglücksstätte bietet ein furchtbares Bild der Verwüstung. Dicke Eisenträger sind völlig verbogen. Die Umgebung der Fabrik ist mit Trümmern aller Art übersät. Das Unglück brach so schnell herein, daß sich von den in der Fabrik beschäftigten Arbeiterinnen nur wenige unverletzt retten konnten. Die durch das Unglück verursachte Erregung wurde noch dadurch erhöht, daß die Telefonleitungen zerstört waren, Feuerwehr und Rettungsmannschaften erst durch Boten herbeigeholt werden mußten. Nach zweistündigem Bemühen konnte der durch die Explosion entstandene Brand durch die Feuerwehr gelöscht werden.

macht große Schwierigkeiten. Bis jetzt konnten nur zwei Arbeiterinnen erkannt werden.

22. DT. D., 2. Oktober 1929. Gestern nachmittag 14 Uhr entstand in der Schraubmacherei des Bahnbedarfs, in der 50 Arbeiter beschäftigt waren, eine Staubexplosion, wobei in den auftretenden Stichflammen 2 Arbeiter den Tod fanden. Das Feuer, das sich sehr rasch auf den Dachstuhl ausbreitete, wurde durch die städtische Berufsfeuerwehr unter schwierigen Verhältnissen mit 6 Rohren abgelöscht.

2 Feuerwehrleute haben sich erhebliche Brandwunden zugezogen. Es ist dies das zweite Großfeuer an derselben Stelle innerhalb 3 Wochen.

23. PRI. S., 2. Oktober 1929. Die Untersuchung der Mehlstaubexplosion in der B.schen Mühle hat ergeben, daß das folgenschwere Unglück auf die Fahrlässigkeit eines Arbeiters zurückzuführen ist, der bei der Explosion schwer verletzt wurde. Beim Einsteigen in den Silo hat der Mann, als er den Steckkontakt zur Einschaltung der mitgeführten Lampe nicht finden konnte, in unglaublicher Fahrlässigkeit ein Streichholz angezündet.

Es verlautet, daß die seitens der Behörde vorgeschriebene Kontrolle der Sicherheitsmaßnahmen nicht durchgeführt worden sei. Über den Besitzer der Fabrik wurde daher die Präventivhaft verhängt. Der Sachschaden wird auf eine Viertel-million Mark geschätzt.

25. WP. N., 28. Juni 1929. Im Korkmühlenbau der Firma G. konnte gestern eine Staubexplosion noch im letzten Augenblick verhindert werden. Durch Selbstentzündung des Korkstaubes entstand in einem Mahlgang Feuer. Durch die starke Rauchentwicklung war dem Brandherd schwer beizukommen. Schließlich konnte die Weckerlinie den Brand durch ihr rasches Eingreifen mit der Motorspritze nach kurzer Zeit unterdrücken.

26. NZ. R., 2. August 1929. Heute vormittag gegen 6 Uhr ereignete sich in der Bronzefabrik in B. eine schwere Aluminiumstaubexplosion, durch welche ein Neubau völlig zerstört wurde. Die gesamte Anlage wurde verwüstet. Der Schaden ist sehr groß, doch durch Versicherung gedeckt. Der Betrieb mußte eingestellt werden. Zwei Arbeiter, die gerade in dem Raum waren, wurden durch den Luftdruck zu Boden geschleudert, kamen jedoch mit dem Schrecken davon. Die Detonation wurde in weitestem Umkreis wie ein Donnerschlag gehört.

27. Ch. D. Tr. N., 19. Juli 1929. Durch eine schwere Staubexplosion, welche die Anlagen der Aluminium Co. zerstörte, wurden gestern 20 Personen getötet, 27 schwer verletzt. Die Feuerwehr arbeitete fieberhaft, um die gefürchteten Anschlußexplosionen zu verhindern. Es wird angenommen, daß schwebender Staub sich so stark elektrisch auflud, daß er die Explosion auslöste. Die umstürzenden Stahlgerüste und Mauern der Bauten machten das Rettungswerk sehr schwierig. Es ist kaum anzunehmen, daß in Anbetracht der Art und Schnelligkeit, mit der die Explosionswelle im Augenblick durch die Fabrik raste, irgend jemand dem Tode entrinnen konnte.

28. FZ. D., 9. September 1929. Beim Reinigen einer Gaszentrale im Gußstahlwerk F. erfolgte gestern nachmittag eine folgenschwere Staubexplosion. 18 Personen sind schwer verletzt worden, 12 leichter. Ein Arbeiter ist tot, andere schweben in Lebensgefahr. Der Oberstaatsanwalt hat gegen die Werksleitung Untersuchung der Ursachen eingeleitet.

29. WTB. W., 8. Juli 1929. Bei der H.-Mühle brach gestern mittag infolge einer scheinbar belanglosen Mehlstaubexplosion Großfeuer aus. Der gesamte Gebäudekomplex bildete ein einziges Flammenmeer. Ungeheure Mengen Roggen-, Hirse-, Gerstenmehl fielen den Flammen zum Opfer. Die Löscharbeiten gestalteten sich sehr schwierig, da das Wasser durch Motorspritzen aus dem Fluß gezogen werden mußte. 28 Mann der Feuerwehr erlitten durch Stichflammen Brandwunden an Gesicht und Händen. Es gelang, das Benzinlager rechtzeitig zu räumen.

30. PRI. V., 25. Juli 1929. Mittwoch ereignete sich in der Dextrinfabrik W. eine schwere Staubexplosion, der ein Brand folgte, welcher die Fabrik und zwei benachbarte Gehöfte völlig zerstörte. Das Unglück hat 6 Menschenleben gekostet. Die Zahl der Schwerverletzten beträgt 17. Die Stichflammen der Explosion und der Brand waren 15 km weit sichtbar. Bei der Panik und Flucht zogen sich viele Personen Verletzungen zu.

31. TU. W., 30. Juli 1929. Montag abend ereignete sich auf der F.-Grube eine schwere Staubexplosion. 23 Mann konnten nur als Leichen geborgen werden. 12 Schwerverletzte wurden sofort in das Knappschaftslazarett überführt.

32. WTB. B., 28. August 1929. Durch Selbstentzündung von Staub brach in der Zelluloidabteilung der Bleistiftfabrik L. ein Feuer aus, das alsbald große Ausdehnung annahm. Der Brand gestaltete sich deshalb sehr gefahrdrohend, weil auch das Magazin, das zur Einlagerung von Spiritus, Äther und Öl dient, Feuer gefangen hatte. Durch Eingreifen der zahlreichen Feuerwehrmannschaften gelang es schließlich, den Brand einzudämmen. Gegen 10 Personen wurden verletzt, darunter mehrere schwer.

33. VF. F., 29. Januar 1928. Infolge Explosion der im Dachgeschoß gelegenen Staubkammer ist der ältere Teil der Dextrinfabrik bis auf die Grundmauern niedergebrannt. Es ist ein Wunder, daß trotz der Schnelligkeit der Ausbreitung des Feuers keine Menschenleben zu beklagen sind. Durch die Explosion war ein großer Teil des Daches auf die Straße geschleudert worden. Beim Eintreffen der Feuerwehr stand das Gebäude in hellen Flammen. An einigen Stellen hatte

es bereits auf den neuen Teil der Fabrik übergegriffen. Zur Bekämpfung mußten 14 Schlauchleitungen benutzt werden. Die Löscharbeiten wurden durch mehrfach auftretende Anschlußexplosionen, Stichflammen sowie starke Rauchentwicklung äußerst erschwert. Die Feuerwehrleute hatten einen außerordentlich schweren Stand. Einige von ihnen, von Stichflammen neuer Explosionen aufgewirbelten Staubes förmlich eingehüllt, kamen in Gefahr, vom Rückweg aus dem Brande abgeschnitten zu werden. Nach und nach konnten die Feuerwehrleute durch die vollzählig eingetroffenen Ersatzmannschaften abgelöst und unterstützt werden. Infolge starker Rauchvergiftung mußten 3 Feuerwehrleute ins Krankenhaus eingeliefert werden. Der Brandinspektor erlitt auf der Brandstelle einen Grippe-rückfall und mußte ebenfalls dem Krankenhaus zugeführt werden. Trotz Hand- und Augenverletzungen versahen die Wehrleute ihren Dienst weiter. Nach fünf-stündiger angestrengter Tätigkeit war die Gewalt des Feuers gebrochen. Der entstandene Schaden soll sehr bedeutend sein.

34. DT. A., 8. März 1930. In der Waggonfabrik von G. L. & Co. geriet der Inhalt eines Kohlenbunkers in Brand. Die Feuerwehr bekämpfte das Feuer, während die Arbeiter damit beschäftigt waren, den Bunker umzuwerfen. Bei



Abb. 12. Mehlstaub-Explosion.
Staubgewitter in der Staubfilteranlage.

Da die Ventilation nicht dezentralisiert war, erreichten die Stichflammen sofort alle Maschinen und Stockwerke.

dem Sturz der Kohlenmassen entwickelten sich mächtige Kohlenstaubwolken, die unmittelbar darauf eine große Kohlenstaubexplosion verursachten. Mehrere Sekunden lang waren die weiten Hallen in der ganzen Ausdehnung ein einziges Flammenmeer. Ein Feuerwehrmann erlitt schwere Brandverletzungen, einige andere wurden leichter verletzt. Auch der an der Brandstelle anwesende Bürgermeister und mehrere Zuschauer wurden bei der Explosion verletzt.

35. DZ. St., 15. Februar 1930. Die R.sche Mühle, eine der größten in Süddeutschland, wurde Donnerstag früh durch Großfeuer fast völlig zerstört. Das acht Stockwerke hohe Mittelgebäude, das die wertvollen Maschinenräume enthält, ist bis auf den Grund niedergebrannt. Erst nach vierstündiger Bekämpfung durch die Feuerwehren der benachbarten Städte konnte das Feuer niedergekämpft werden. Als Brandursache wird Mehlstaubexplosion angenommen. Der Schaden ist durch Versicherung gedeckt.

36. NLZ. A., 13. Februar 1930. Auf dem der D. E. A. G. gehörigen Kohlenwerk entstand Dienstag nachmittag eine starke Staubexplosion. Das Feuer, das

in den Öfen ausgekommen war, pflanzte sich durch die Verbindungskanäle fort. Die Gase nahmen mit donnerähnlichem Krachen ihren Weg durch die riesigen Schornsteine. Ungeheure Stichflammen schlugen aus diesen empor. Teilweise suchten die Gase einen Ausweg durch das Ofenhaus. Hierbei wurden 4 Arbeiter durch Stichflammen schwer verletzt. Die Feuerwehr konnte nach mehrstündiger Arbeit weitere Gefahr bannen.

37. DAZ. R., 13. Februar 1930. Die Mehlstaub-Explosionskatastrophe, die sich hier am letzten Sonntag ereignete, hat nach den letzten Feststellungen weit mehr Menschenopfer gefordert, wie angenommen wurde. Bei der Explosion sind insgesamt 28 Personen ums Leben gekommen. Außerdem haben 16 Arbeiter schwere Brandwunden davongetragen.

38. BZ. B., 20. Januar 1930. Eine gefährliche Staubexplosion, bei der fünf Arbeiter teils schwere Brandverletzungen erlitten, ereignete sich heute mittag im Kraftwerk M. Mehrere Arbeiter waren mit dem Anheizen eines großen Kessels beschäftigt, als aus nicht geklärter Ursache die Kohlenstaubzuführung aussetzte, das Feuer in der Brennkammer erlosch. Wahrscheinlich haben die Arbeiter den Kohlenstaub wieder zu entzünden versucht, aber unbeachtet gelassen, daß sich bereits größere Mengen zugeführten Kohlenstaubes in der Kammer und den Kesselöffnungen befanden. Es erfolgte eine gewaltige Detonation, meterhohe Stichflammen drangen hervor. Vor Eintreffen der Feuerwehr hatte man die Verletzten schon in das Krankenhaus überführt.



Abb. 13. Staubexplosion in einer Zuckermühle.

Außer den vorgenannten, den Tageszeitungen willkürlich entnommenen Staubexplosionskatastrophen nennen wir — um ihre Häufigkeit weiterhin nachzuweisen — noch die folgenden. Sie sind in den vom Reichsarbeitsministerium herausgegebenen Jahresberichten der Gewerbeämter 1927—1929 enthalten. Es sind nur solche angeführt, die in der Presse nicht bereits erwähnt wurden¹.

Zuckerpuder, 1928/136. In der Pudermühle einer Zuckerraffinerie ereignete sich eine Staubexplosion, die sich durch Schnecken, Elevatoren und Kanäle bis zu der 35 m entfernt liegenden Knipperei fortpflanzte. Durch die an den dort stehenden Knippmaschinen herausschlagenden Stichflammen erlitten sieben Arbeiterinnen im Gesicht und Armen Brandwunden. Es fehlten Explosionsklappen!

¹ Den Jahresberichten der Berufsgenossenschaften dagegen konnte wesentliches und in den Rahmen unserer Arbeit passendes Material nicht entnommen werden. Einzelne Berufsgenossenschaften haben erfreulicherweise ihre Vorschriften den neuen Erkenntnissen über Staubexplosionsgefahren bereits angepaßt. Die vom Staubausschuß des VDI. in Verbindung mit der Zentralstelle für Unfallverhütung beim Verband deutscher Berufsgenossenschaften bearbeiteten Richtlinien zur Verhütung von Staubexplosionen werden hoffentlich demnächst die ersehnte Vereinfachung bringen.

Staubmühle (Jahresbericht 1926, Seite 93). Eine Staubexplosion an einer mit Kohlentrocknung verbundenen Kohlenstaubmühle in einer Zementfabrik, durch die der Zyklon auseinandergerissen und sein Deckel fortgeschleudert wurde, verlief glücklicherweise ohne Unfall! Die Entzündung des Staublufgemisches ist auf die außerordentlich hohe Temperatur und Trockenheit der Luft zurückzuführen. Es wurden der Sicherheit halber die alten früher benutzten, langsam laufenden Trockentrommeln wieder in Betrieb genommen.

Metallstaub, 7/58. Eine Explosion entstand im Mischraum einer Metallwarenfabrik, welche die Masse für Dauerreibflächen an Taschenfeuerzeugen herstellt. Der betreffende Mann wollte die fertige Staubmischung aus dem Mahlgefäß in eine Blechkanne umschütten, als plötzlich eine Steinkugel beim Herabfallen durch Funkenbildung den Staub entzündete.

Zellhornstaub, 3/192. Ein kleinerer, aber Brandwunden bei einem der Beteiligten verursachender Zellhornbrand brach in einer Zahnbürstenfabrik aus, und zwar bei Fräsarbeiten an Zahnbürstenstielen. Es entflammte plötzlich der um den Fräser schwebende Staub und in weiterer Folge die zunächst am Fräser angehäuften Frässpäne durch einen beim Fräsen auftretenden Funken. Mit blitz-



Abb. 14. Staubexplosion im Vorbereichraum einer Raffinerie.

artiger Geschwindigkeit griff das Feuer auf die Vorräte an noch zu bearbeitendem Zellhorn und alsbald auf den ganzen Fabrikraum über. Sämtliche Arbeiter konnten sofort flüchten bis auf den Vorarbeiter. Dieser versuchte mit Sand, Wasser, Minimax zu löschen, mußte aber bald, leicht verbrannt, auch flüchten. Es wurde beobachtet, wie die Flammen, als sie den Holzfußboden erreicht hatten, an dessen Fugen mit rasender Geschwindigkeit weiter liefen und als hohe Stichflammen aus ihnen hervorschoßen. In den Fugen der Fußböden setzt sich der Staub besonders dicht ab, was zu verheerenden Folgen führen kann.

Zelluloidstaub, 1/450. In einem Betriebe, in welchem Steuerräder aus biegsam gemachten Zelluloidröhren hergestellt wurden, brach durch eine Explosion Feuer aus, das die Anlage völlig zerstörte. Beim Abschmirlen der kalten, harten Röhren entzündete sich der entstehende Staub durch einen hineingetragenen Funken. Eine Arbeiterin erlitt leichtere Brandwunden.

Funkenbildung bei Kreissägen, 1928/137. Eine Zellhornfabrik wurde zweimal von größeren Bränden heimgesucht, wobei 5000 und 8000 kg Zellhorn dem Feuer zum Opfer fielen. In beiden Fällen war der Brand infolge Funkenbildung beim Sägen mittels Kreissäge entstanden. Beim ersten Brande sprang das Feuer von der Entstehungsstelle so schnell auf in der Nähe liegende Rohre über, daß der Bedienungsmann der Säge den vorhandenen Feuerlöschapparat nicht mehr erreichen konnte. Der Brand übertrug sich durch die Fugen einer

geschlossenen Eisentür auf einen benachbarten Kontrollraum. Die hier beschäftigten Arbeiterinnen konnten den Arbeitsraum rechtzeitig verlassen. Der Fabrikfeuerwehr gelang es mittels Motorspritze den Brand auf seinen Herd zu beschränken.

Während noch das abgebrannte Gebäude wieder aufgebaut wurde, und in einem anderen Bau dieselbe Arbeit des Zerschneidens von Zellhorn auf einer Kreissäge, diesmal jedoch bei Wasserbenetzung der Säge und der Abfälle vorgenommen wurde, brach wiederum ein Brand aus. Der Bedienungsmann versuchte den Kasten mit Abfällen aus dem Gebäude zu entfernen. Da die Flammen diese aber schon ergriffen hatten, mußte er von seinem Vorhaben ablassen. Die Stichflamme sprang auf einen größeren Lagervorrat über. Das Gebäude brannte gänzlich nieder. Da es sich in beiden Fällen um Gebäude ohne Stockwerke handelte und die Belegschaft aus den zu ebener Erde gelegenen Arbeitsräumen durch mehrere Ausgänge schnell flüchten konnte, sind Menschen nicht zu Schaden gekommen.

Durch Verwendung von Ritzmaschinen statt Sägen und durch Erdung der Sägen sowie durch reichliche Befeuchtung von Sägen und Abfällen mit Wasser hofft man gefahrlosen Betrieb zu erreichen.

Schellackstaub (Grammophonplattenfabrik), 1/111. Eine Staubexplosion ereignete sich in der Schellackmühle einer Grammophonplattenfabrik, wobei der Wärter der Mühle Brandwunden, ein zweiter Arbeiter einen Nervenschock erlitt. Die Mühle besteht aus der Sichtvorrichtung (magnetisches Feld) und der eigentlichen Schlagmühle. Sie lief zur Zeit der Explosion leer zum Zwecke der Reinigung von Kopal, der zuvor gemahlen war. Die Zündung entstand in der Sichtvorrichtung. Die aufgewirbelten Staubteilchen verpufften mit großer Heftigkeit, wobei eine meterlange Stichflamme aus dem oberen Teil der Mühle herausschlug.

Wollstaub, 1/687. In einer Kunstwollefabrik entzündete sich beim Öffnen der Schiebetür einer Karbonisierkammer vermutlich unter Einwirkung der hinzu tretenden Frischluft explosionsartig der unter der Trommel lagernde Staub. Durch die Stichflamme wurden vier Arbeiter und eine Arbeiterin am Gesicht und Händen mehr oder weniger schwer verbrannt. Die Untersuchung ergab, daß der Raum unter der Karbonisiertrummel nicht regelmäßig und gründlich von dem sich dort ansammelnden Staub gereinigt wurde, so daß sich größere Mengen darin ablagern konnten. Zur Vermeidung ähnlicher Unfälle sind entsprechende Anordnungen, die eine tägliche gründliche Reinigung des Raumes unter der Karbonisiertrummel sichern sollen, getroffen worden.

Aluminiumstaub, 2/134. Bei dem Explosionsbrand einer Aluminiumbronze-fabrik wurden zwei Stampfer tödlich verletzt. Dieses Explosionsunglück gab neben den anderen binnen Jahresfrist in vier, kleinen und großen, Fabriken für Aluminiumbronze eingetretenen verlustreichen Explosionen und Bränden Anlaß, die Chemisch-technische Reichsanstalt Berlin zu ersuchen, an Hand eines gemeinsamen mit dem Technischen Aufsichtsbeamten der Süddeutschen Edel- und Uedelmetall-Berufsgenossenschaft auszuarbeitenden Arbeitsprogrammes die Entstehungsursachen der Explosionen und Brände in diesem Industriezweig wissenschaftlich aufzuklären, nachdem trotz langjähriger Beobachtungen und Untersuchungen hierüber noch keine Gewißheit besteht; die Forschungen sind zur Zeit im Gange.

Braunkohlenstaub, 3/294. Die von der Bergbehörde verlangten Feuer-alarmeinrichtungen in den einzelnen Betriebsräumen der Bikettfabriken wurden auf zwei weiteren Werken neu eingebaut, auf einigen anderen zweckentsprechender ausgestaltet. Auf einem Werke wurde die elektrische Brasenentstaubung in drei weiteren Schloten eingebaut, nachdem sie sich in dem ersten Schlot, allerdings nach verschiedenen Verbesserungen, schließlich sehr gut bewährt hat. Ein größeres, im Entstehen begriffenes Werk, das die elektrische Entstaubung und Gasreinigung in größerem Umfang eingebaut hat, hat bisher jedoch noch nicht die gewünschten Erfolge gehabt. In der für die Stempelentstaubung eingebauten elektrischen Gasreinigung fand im letzten Jahresviertel eine Staubexplosion in der letzten Gasreinigungskammer statt, die umfangreiche Verwüstungen im Gebäude verursachte, ohne daß Personen hierbei verletzt wurden, abgesehen vom Apparatwächter, der infolge des Luftdrucks an die Wand gedrückt wurde, jedoch mit leichten Abschürfungen und einem kleinen Nervenschock davon kam.

Braunkohlenstaub, 11/81. Als besonders Vorkommnis ist eine Kohlenstaubexplosion auf einer Braunkohlenbrikettfabrik zu erwähnen, die sich kurz nach der sonntäglichen Stillsetzung früh 5 Uhr ereignete. Personen sind dabei — nicht zum geringen Teile infolge des umsichtigen Verhaltens der Aufsichtsperson — nicht zu Schaden gekommen. In einem Schlotabzuge eines Tellertrockenofens war versuchsweise eine elektrostatische Entstaubung eingebaut, um den abziehenden Wrasen von Kohlenstaubteilchen zur Verhütung von gemeinschädlichen Einwirkungen zu befreien. Das Elektrofilter wird mit Gleichstrom von 45000 Volt und 25 Milliampere gespeist. Der an den Niederschlagselektroden abgeschiedene Kohlenstaub fällt in zwei Abzugstaschen und von da durch eine Schleuse und ein Fallrohr in einen Wasserkanal. Eine Stunde nach Abschaltung des elektrischen Stromes wurde bemerkt, daß Braunkohle, die sich auf einem Boden um eines der Fallrohre angehäuft hatte, in Brand geraten war. Als die Aufsichtsperson auf der Suche nach dem Brandherde eine Klappe des Filterraumes öffnete, entstand eine Explosion, die sich auch auf die Nachbaröfen fortpflanzte und sämtliche Fenster des Fabrikgebäudes nach außen drückte. Der Brand konnte in kurzer Zeit gelöscht werden. Die Untersuchung ergab, daß nicht die Elektrofilteranlage an sich Veranlassung zur Explosion — etwa durch Funkenübersprung — gegeben hatte, sondern daß in einer der beiden Abzugstaschen eine Verstopfung eingetreten war, die schon mehrere Tage lang sich der Beobachtung entzogen hatte. Hier war Selbstentzündung des Kohlenstaubes eingetreten. Nach Öffnen der Klappe wurde dem Luftsauerstoff der Zutritt gewährt und die Explosion durch eine Schwelgasentzündung eingeleitet.

II. Die Lehren.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß aus diesen 65 innerhalb der letzten drei Jahre den Tageszeitungen entnommenen Explosionskatastrophen nach sorgfältiger Untersuchung folgende hauptsächlichsten Lehren zu ziehen sind:

1. Die Staubexplosionen fanden meist in Betrieben mit ungenügender Sauberkeit und mangelnder Organisation statt. 16 (von 65) beruhten auf Leichtsinne, Gleichgültigkeit oder Unkenntnis.

2. Von 65 Explosionen waren 36 ohne weiteres vermeidbar. Weitere 17 konnten bei entsprechender Umorganisation der Arbeitsweise und insbesondere der Ventilationsanlagen und Transportelemente verhindert werden. Nur bei fünf Staubexplosionen konnte man sagen, daß sie sich infolge unglücklichen Zusammentreffens verschiedenster Umstände nicht hätten vermeiden lassen.

3. Die Mehrzahl der Explosionen (38 von 65) wurde durch staub-eigene oder in den Staub hineingetragene elektrische Energie ausgelöst. Sie konnte nicht zünden, wenn für genügende Leitfähigkeit und für eine stets unter der Gefahrenzone liegende Staubkonzentration gesorgt worden wäre.

4. Gleichmäßige Speisung aller Arbeitsmaschinen und Transportelemente ist der erste Sicherheitsfaktor. Sie bedingt geringste Schwankungen der Staubkonzentration und der Aufladung.

5. Die auf Grund möglichst gleichbleibenden Staubanfalles aufgebaute Berechnung einer Ventilation (mit 50% igen Sicherheitszuschlag), welche die Konzentration des Staubes stets unter der Gefahrenzone hält, ist ein zweiter Sicherheitsfaktor. Er wird erhöht durch durchlaufende, mindestens aber vor Betriebsbeginn anlaufende und nach jeder Stillsetzung einige Zeit weiterlaufende Ventilation. Gesonderter

Motorantrieb und Dezentralisation derselben ist daher notwendig. Nach Möglichkeit soll Doppel- bzw. Nachtschicht in Staubbetrieben vermieden werden.

6. Ableitung der elektrischen Staubauf Ladungen und Einschränkung des Schwebezustandes feinsten trockenen Staubes durch ausreichende und gut kontrollierbare Luftfeuchthaltung. Richtige Erdung aller Arbeitsmaschinen, in welchen Staub aufgewirbelt wird. Angesichts der Wichtigkeit ausreichender Erdung, der Verschiedenartigkeit der örtlichen Verhältnisse, der Bauart von Maschinen und Gebäuden sollte Erdung nur durch erfahrene Fachleute ausgeführt werden dürfen.

7. Wahl der jeweils richtigen Transportelemente ist als dritter Sicherheitsfaktor anzusprechen. Ermittlung der Staubvermehrung in den Transportelementen hat in allen Fällen Überraschung gezeigt. Sie betrug im Minimum 200%, im Maximum über 400%. Es sollte selbstverständliche Pflicht sein, die im zu fördernden Material bereits enthaltenen Staubmengen nicht noch zu erhöhen durch ungeeignete Förderelemente.

8. Die Sicherheit gegen termische Energiequellen wurde durchweg zu gering geachtet. Der Möglichkeit heißlaufender Lager, zumal der Innenlager in Schnecken, der Bildung pyrophorer Kohle, des zeitweisen Versagens der Elektromagnete, des Hineingeratens von Metall- oder Mineralteilchen in die Arbeitsmaschinen, des Funkenschlagens in Ventilatoren und eisernen Elevatorgehäusen muß unbedingt vorgebeugt werden.

9. Für elektrische Installationen und Armaturen in staubgefährdeten Arbeitsräumen dürfen nur die sogenannten explosions- und staubsicheren Schalter, Stecker, Fassungen und Glocken verwendet werden. Sie werden heute von unseren großen Elektrizitätsfirmen in zweckentsprechender Weise hergestellt.

10. Neben den Verhütungsmaßnahmen gegen Entstehung einer Explosion ist endlich als vierter der unerläßlichen Sicherheitsfaktoren der Schutz vor Auswirkung und Ausdehnung einer Explosion zu nennen. Dieser Schutz ist einmal die Sauberkeit der Räume. Und zwar nicht nur des Bodens, sondern aller Wände, Decken, Vorsprünge usw. Nirgends darf Staub ablagern. Schon weniger als einhalb Millimeter Staubbüschel erzeugt, aufgewirbelt, die verhängnisvollen Anschlußexplosionen. Die erste Explosion ist meist nicht ausschlaggebend. Oft ist es nur eine Verpuffung. Erst der weiter aufgewirbelte Staub ist Förderer, Fortpflanze, Verstärker der Stichflamme und Druckwelle. Zum andern sind neben großen dünnwandigen Fenstern und Oberlichtern mindestens 10% der Wandfläche eines Raumes ganz dünnwandig zu erstellen. Wo die Druckwelle einen raschen Weg ins Freie fand, sind die Schäden gering geblieben. Wo Sauberkeit herrschte, ist ein folgender Brand oft ganz vermieden worden. Schließlich sollen staubgefährdete Bauten freistehen, mindestens aber in sicherer Weise, etwa wie auf S. 57 angeführt, mit Nachbarbauten verbunden werden.

An diese zehn Hauptlehren ist in jedem Betrieb zu denken. Das Vernachlässigen auch nur einer einzigen gibt keine Sicher-

heit. Die im vorstehenden behandelten Schäden sind ein sprechender Beweis hierfür! Jeder Betrieb einer Branche ist in seinem organischen Aufbau anders, hat grundverschiedene Staubgefahrquellen. Auch wenn Rohstoffe und Fertigprodukte die gleichen sind. Allein schon die meteorologischen und geologischen Verhältnisse der Gegend, in welcher der Betrieb steht, können gefahrbringend aber auch sichernd sein. Denn wir entnehmen der Schadenliste mit großem Interesse, daß die Mehrzahl der Explosionen (36) in den sogenannten trockenen Übergangsmonaten (April/Mai und Sept./Okt.) also im Frühjahr und Herbst erfolgte. Wieweit sich das mit den Erfahrungen in anderen Ländern deckt, wäre wohl noch zu erforschen. Auch in jedem Betrieb ist die Einstellung des verantwortlichen Betriebsleiters zum Arbeiter, vom Arbeiter zur Maschine anders. Nur der völlig über den persönlichen und sachlichen Umständen stehende neutrale Sachverständige vermag alle diese Verhältnisse objektiv zu beurteilen. Er soll sowohl Berater wie Freund sein. Denn auch Fahrlässigkeit und Verantwortung müssen ernsthaft, gewissenhaft und häufig geprüft werden, bevor der Schaden eintritt. Gerade wo heute jeder von Staubexplosionen weiß. Aber auch weiß, daß man sie abwenden kann. Möge jeder Betriebsmann bewahrt werden vor diesem Vorwurf. Komme er von seinem Gewissen oder von seinem Richter.

Die über 600 Tote und Verletzte bei der kleinen Zahl Staubexplosionen, die wir aus den letzten drei Jahren herausgegriffen haben, hinterlassen uns ernste Lehren. Sie sollen nicht vergeblich sein. Setzen wir ihnen durch Beherzigung der Lehren ein Dankesdenkmal, sorgen wir dafür, daß die Zahl der Opfer von Jahr zu Jahr sinkt. Denn wir vermögen es.

Der nüchterne Leser der Katastrophenreihe wird gefunden haben, daß die meisten der genannten Staubexplosionen vermeidbar waren. Nur einzelne entstanden durch eine seltsame Verkettung von unglücklichen Zufällen. Fahrlässigkeit, Gleichgültigkeit, geringe Einschätzung der Staubgefahren, Betriebsverstaubung stehen obenan. Untersuchungen der Katastrophen ergaben, daß viele verantwortliche Leiter um die Unsicherheit ihres Betriebsteiles oder um die Möglichkeit einer Explosion wußten. Das fällt um so schwerer ins Gewicht, weil sie auch wußten, daß man bessere Schutzeinrichtungen hätte treffen können. Wenn ich Vorbeugungsmaßnahmen gegen Staubexplosionen kenne und führe sie nicht durch, trage ich große Verantwortung. Denn es handelt sich nicht nur um Schutz der Sachwerte, sondern um Schutz der Arbeiter und Beamten. Man versteht angesichts der vielen Hunderte von Toten und Schwerverletzten allein auf diesem Gebiet sehr wohl die von einigen Arbeitnehmerorganisationen in letzter Zeit energisch betriebenen Bestrebungen, die Verantwortung des Betriebsleiters mit bezug auf solche Fälle im Gesetz noch besonders zu umschreiben. Wobei man vergißt, daß auch Fahrlässigkeit und Gleichgültigkeit von Arbeitern in Staubbetrieben unter Strafe gestellt werden müßte. Diese Fragen gehen uns alle an. Jeden der in Staubindustrien steht.

Wir glauben aber noch eine weitere Lehre aus diesen Katastrophen, von denen wir ja nur einen Teil anführen konnten, ziehen zu müssen:

Es scheinen Ansätze einer einheitlichen Abwehr- bzw. Schutzorganisation nirgends erkennbar zu sein. Die Versicherungsgesellschaften, welche über Vermeidung hoher Sachschäden zu wachen haben, die Aufsichtsbehörden des Reiches und der Länder, welche für die Sicherheit der Beschäftigten zu sorgen haben, die Berufsgenossenschaften, die Industriellen staubgefährdeter Branchen selbst, die doch gerade bei unserer ersten Wirtschaftslage jedem Verlust, jedem Betriebsstillstand vorbeugen müssen: Wo ist ihre Einheitsfront gegen solche Katastrophen?

Der bekannte § 210a der Gewerbeordnung regelt die Verpflichtungen der Arbeitgeber sowohl als auch der Arbeitnehmer. Er sei im Wortlaut wiedergegeben:

Die Gewerbeunternehmer sind verpflichtet, die Arbeitsräume, Betriebsvorrichtungen, Maschinen und Gerätschaften so einzurichten und zu unterhalten und den Betrieb so zu regeln, daß die Arbeiter gegen Gefahren für Leben und Gesundheit soweit geschützt sind, wie es die Natur des Betriebes gestattet.

Insbesondere ist für genügend Licht, ausreichenden Luftraum und Luftwechsel, Beseitigung des bei dem Betrieb entstehenden Staubes, der dabei entwickelten Dünste und Gase sowie der dabei entstehenden Abfälle Sorge zu tragen.

Ebenso sind diejenigen Vorrichtungen herzustellen, welche zum Schutz der Arbeiter gegen gefährliche Berührungen mit Maschinen oder Maschinenteilen oder gegen andere in der Natur der Betriebsstätte oder des Betriebes liegende Gefahren, durch welche Fabrikbrände erwachsen können, erforderlich sind.

Endlich sind diejenigen Vorschriften über die Ordnung des Betriebes und das Verhalten der Arbeiter zu erlassen, welche zur Sicherung eines gefahrlosen Betriebes erforderlich sind.

Neben diesen Bestimmungen der Gewerbeordnung laufen noch die von den Berufsgenossenschaften auf Grund der Reichsversicherung erlassenen Unfallverhütungsvorschriften. Denn wie die Gewerbeordnung den Schutz des Lebens und der Gesundheit regelt, so bezwecken die Vorschriften der Berufsgenossenschaften den Schutz gegen Betriebsunfälle.

Daneben bestehen noch einige gesonderte Bestimmungen der Länder für staubgefährdete Industrien. So z. B. für Aluminiumbronze, Pulvermühlen, Lederindustrie, Linoleumindustrie, Thomasschlackenmühlen und andere.

Schließlich sind noch die Erdungsvorschriften (bei Blitzschutz) eines preußischen Erlasses vom 13. November 1906 zu erwähnen. Sie könnten für unsere Zwecke übernommen werden.

Der größte Teil der deutschen Arbeiterschutzeinrichtungen, die von Leymann¹ in bemerkenswerter Ausführlichkeit und Übersicht zusammengestellt und von der Deutschen Gesellschaft für Gewerbehygiene 1927 herausgegeben wurden, ist jedoch durch das Tempo der Technik in den letzten Jahren weit überholt worden. Vorschriften zum Schutz gegen Staubexplosionen sind überhaupt nicht erlassen worden. Es klafft hier eine auffallende Lücke. Wenn die Arbeit des Verfassers dazu beiträgt, diese Lücke baldigst zu beseitigen, wäre es im Interesse von Unternehmern und Arbeitern, von Industrie und Gesamtwirtschaft sehr zu begrüßen.

¹ Arbeiterschutz-Vorschriften im deutschen Reich. Bearbeitet von Geheimrat Dr. Leymann. Verlag von Reimar Hobbing, Berlin SW 61.

Gewiß ist das Industriestaubgebiet ungewöhnlich schwierig. Wir wollen aber dem Vertrauen Ausdruck verleihen, daß freiwillig und ohne neue Paragraphen oder Zwang von seiten der Aufsichtsbehörden, aber unter freudiger Mitarbeit derselben, bald ein aus den wenigen Sachverständigen für Staubexplosionsschutz, die wir im Reiche haben, zusammengesetztes Schutzamt entstehe, wo Treuhänder gewissenhaft und uneigennützig nur der Staubfrage dienen, ihre Gefahren für jeden Betrieb beseitigen helfen. In den Einrichtungen der Vereinigten Staaten, die von bemerkenswertem Erfolg begleitet sind, besitzen wir bereits ein mustergültiges Vorbild.

Möge die Katastrophenkurve wenigstens auf diesem Gebiet in den kommenden Jahren eine ebenso stark fallende Linie zeigen, wie sie die letzten Jahre als stark steigend aufwiesen.

III. Vorgänge bei Staubexplosionen.

Die erste Staubexplosion, die uns überliefert ist, nennt das Jahr 1785 (Genua, Mehlstaubexplosion).

Deutschland verzeichnet die erste nachgewiesene Staubexplosion 1858 (Stettiner Walzenmühle).

Dann geht es nach dem Krieg 1870/71 und der beginnenden Industrialisierung rasch aufwärts und fast alle Staubsorten sind bei teilweise sehr schweren Explosionen vertreten.

Wenn sich die Staubindustrien in den letzten zehn Jahren sehr vergrößert haben, zahlenmäßig einen ganz außerordentlichen Umfang annahmen, so haben sich naturgemäß auch die Gefahren aus Staub entsprechend vermehrt. Die Aufbereitung größter Mengen billigster und wertvollster Rohstoffe ist eine Zeiterscheinung geworden. Deshalb ist die Bekämpfung der Explosions- und Staubgefahren eine zwingende Notwendigkeit. Hand in Hand damit geht die Rückgewinnung aller (teils sehr wertvoller) Staube. Auch Rechtsverhältnisse, Hygiene, Sozialpolitik usw. sind interessiert daran.

Jeder schwebende Staub — nicht nur der brennbare — bleibt in Luft (also in Sauerstoffverbindung) eine Brand- und Explosionsgefahr. Der feinste, durch elektrische Aufladung selbstentzündlich gewordene Staub ist naturgemäß der gefährlichste. Die Staubexplosionsgefahren, zumal die aus elektrischen Ursachen, sind bisher unterschätzt worden.

Inzwischen haben Technik und Wissenschaft in endlicher Erkenntnis der Wichtigkeit und Dringlichkeit dieses Gebietes Wege einfacher Art erdacht und mit Erfolg zur Anwendung gebracht, Staubexplosionen auszuschließen, die Gefahrquellen aus ihnen zu beseitigen.

Zahlen geben zu denken: Nach Berichten des Nat. Board of Fire-Underwriter — eine entsprechende deutsche Statistik besitzen wir nicht — ist der durchschnittliche jährliche Verlust nur in den Vereinigten Staaten durch industrielle Feuer und Explosionen rund 300 Millionen Dollar. Darunter die vermeidbaren, also durch Staubexplosionen, Funken, elektrischen Ursachen und Selbstentzündung entstandenen Schäden rund 50 Millionen Dollar. Die durch Staubexplosionen allein

verursachten Verluste an Menschenleben betragen im Durchschnitt jährlich 379 Tote, 681 Schwerverletzte! Kommentar würde die Bedeutung solcher Zahlen nur abschwächen. Der in den Vereinigten Staaten von der Regierung mit Unterstützung aller Korporationen inzwischen eingeleitete Feldzug gegen Staubexplosionen hat unerwartete Erfolge gezeitigt.

Haben wir nicht noch viel mehr Veranlassung, unser gemindertes Nationalvermögen — zu dem jedes industrielle Unternehmen gehört — nach jeder Richtung zu schützen, zu sichern? Eine Brandschadenaufstellung nur der in der Arbeitsgemeinschaft privater Feuerversicherungsgesellschaften in Deutschland zusammengeschlossenen Versicherungsgesellschaften nennt für 1929 eine Gesamtschadenssumme von 141 830 955 RM. (gegen 119 122 498 RM. in 1928 und 101 704 682 RM. in 1927). Es handelt sich nur um einen Teil der deutschen Gesellschaften. Und wohlbemerkt meist nur um Mobiliar- bzw. Einrichtungsschäden, also Maschinen, Vorräte usw. Die durch Explosionen verursachte Schadenssumme einschließlich Gebäudeschäden, wird vorsichtig für 1929 auf 18 600 000 RM. geschätzt. Für Deutschland und angesichts seiner ersten Wirtschaftslage eine erschreckende, nicht zu verantwortende Summe. Wie wir oben sahen, steigt sie von Jahr zu Jahr, anstatt durch vorbeugende Einrichtungen, an denen man doch gerade bei den Versicherungsgesellschaften das größte Interesse nehmen sollte, zu fallen. Hinzu kommt die hohe Ziffer von Toten und Schwerverletzten, deren Renten und sonstige Pflichten gegenüber den Hinterbliebenen Staat und Industrie jährlich mit vielen Millionen belasten.

Wir besitzen Einrichtungen zum Schutz gegen Feuersgefahr. Wir sind gegen Feuer und alles mögliche andere weit weniger wichtige versichert. Versicherungen decken nur die Folgen von Schäden, und auch nur die materieller Art. Ein Verlust von Volksvermögen — und auch von Menschen — bleibt aber dennoch jede Explosions- bzw. Brandkatastrophe.

Sich gegen Entstehen von Staubexplosionen — nicht gegen ihre Auswirkungen — zu sichern, darauf kommt es an!

Wir sind überrascht, wieviel Staubsorten explosibel sind. Die Zeit der Vogel-Strauß-Politik: „Es ist bislang in meinem Betrieb nichts Wesentliches passiert“, muß in jedem gut eingerichteten Betrieb vorüber sein. Es konnte jahrzehntelang ohne Katastrophen abgehen. Es kann morgen ein Betrieb von Schaden heimgesucht werden. Ebenso kann übermorgen ein bisher als ganz harmlos angesehener Staub eine Explosion zeitigen, einen Brand zur Folge haben.

Ist es notwendig, daß die traurige Liste der Staubexplosionschäden — ob als solche erkannt oder nicht, ob mit nachfolgendem Brand oder nicht — von Jahr zu Jahr vermehrt wird? Nein! Wir kennen heute wirksame Abwehrmittel gegen Staubgefahr. Wir wissen auch, daß es nicht damit getan ist, hinten einzusetzen, anfallenden Staub zu sammeln, gefahrlos zu machen, fortzuschaffen, zu vernichten. Sondern, daß wir bereits bei der Staubentstehung einsetzen müssen. Was wir

aus stattgehabten Katastrophen zu lernen und wie wir uns zu ihrer Verhütung zu verhalten haben, soll im folgenden dargelegt werden.

1. Entstehung.

Jeder Staub, der an sich oder aus Gründen chemischer Art oder physikalischer Eigenschaften brennbar ist, ist auch explosibel. Prägen wir uns diesen Satz ein. Da wir wissen, daß alle festen Stoffe in Staubform gebracht werden können, müssen wir erstaunt sein, daß nicht noch viel mehr Staubexplosionen vorkommen. Sie kommen vor. Nur haben wir sie als solche bislang zu wenig erkannt. Die grundsätzlichen Verhältnisse liegen heute klar. Sowohl bei gewolltem Staub als auch bei ungewolltem. Gewollter Staub ist Haupt- und Endprodukt einer Fabrikation. Ungewollter Staub ist ein — meist unerwünschtes — Nebenprodukt bei einer Fabrikation.

Der zur Explosion erforderliche Feinheitsgrad des Staubes ist verschieden. Alle Größenordnungen, von Amikronen bis zu Mikronen und darüber sind im Staub vertreten. Also von wenigen Millionstel Millimeter an aufwärts. Das Verhältnis von Teilchengröße und Teilchenabstand kann die Explosionsfähigkeit maßgebend beeinflussen.

Eine Staubexplosion ist bekanntlich ein plötzlicher mit mehr oder minder großer Heftigkeit vor sich gehender Verbrennungsvorgang. Der Verein deutscher Ingenieure hat neuerdings die Begriffsbestimmung einer Staubexplosion wie folgt formuliert: Eine Staubexplosion ist eine mit steigender Geschwindigkeit unter Wärmeentwicklung erfolgende chemische Umsetzung eines Staub-Luftgemisches, die eine plötzliche Druckwirkung vorhandener oder neu gebildeter Gase hervorruft.

Es sind hierzu stets drei Dinge nötig: Staub, Energie, Luft (Sauerstoff). Bei Vorhandensein von nur zwei dieser Dinge ist eine Explosion unmöglich. Staub ist stets vorhanden. Energie kann solche elektrischer oder thermischer Art sein, oder auch in Bewegungsenergie bestehen. Sauerstoff ist stets in der Raumluft. Seine Menge kann entscheidenden Einfluß auf die Brennbarkeit des Staubes ausüben.

Diese drei Faktoren müssen wiederum in einem gewissen Verhältnis zueinander stehen, um die Explosion auszulösen. Es ist also ein ganz bestimmtes und heute für fast jede Staubart bekanntes Mischungsverhältnis notwendig, um eine Explosion zu ermöglichen.

Wir kennen die oberen bzw. unteren Explosionsgrenzen für fast jeden Staub. Nur innerhalb dieser Grenzen kann ein Staubgemisch explodieren. Die zur Auslösung der Explosion erforderliche Energie liegt jeweils im Minimum fest. Bleibt die Energie unter diesem Minimum, ist eine Explosion undenkbar. Nach oben dagegen besteht keine Grenze. Die Mindestenergie für Auslösung einer Explosion ist die sogenannte Entzündungstemperatur.

Bei Kenntnis der drei Faktoren: Mindestenergiebetrag, untere und obere Explosionsgrenze, haben wir schon einen genügenden Begriff der hohen Gefahren, aber auch eine Möglichkeit, die drei Faktoren so im Zaum zu halten, daß sie nicht das gefährliche Produkt: die Explosion, bilden können.

Auch diesen Satz wollen wir uns einprägen.

Durch die zündende Energie wird Staubverbrennung mit starker Drucksteigerung bewirkt. Durch die Wärmeausdehnung wird gleichzeitig die jeweils benachbarte noch unverbrannte Staubschicht komprimiert. Die Kompression wird nach Gesetzen der Thermodynamik die Temperatur der benachbarten Staubluft ganz wesentlich steigern. Die Reaktionsgeschwindigkeit wächst, Entflammungen erfolgen schneller. Hierdurch wiederum werden die nächsten Staubluftschichten noch stärker komprimiert, die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der Entflammungen dauernd gesteigert. Die Kompression steigt in dem noch unverbrannten Staubluftgemisch bis zu deren Selbstentzündung an. Die Fortpflanzung unter gleichzeitigen Entflammungen erreicht eine außerordentliche Geschwindigkeit, und wir haben die gefährlichste Auswirkung einer Staubexplosion vor uns: die Explosionswelle. Ihre Geschwindigkeit kann bis zum Zehnfachen der Schallgeschwindigkeit anwachsen!

Der Druck von Explosionswellen ist bis zu 100 at gemessen worden. Er kann bei einzelnen Stäuben, deren Explosionstemperaturen bis zu 5000° berechnet wurden, noch über 100 at hinausgehen. Aber nicht nur dieser enorme Druck, sondern auch seine elementare Plötzlichkeit ist Ursache der verheerenden Kräfte einer Explosionswelle.

Wenn wir uns vergegenwärtigen, daß der Druck einer Explosionswelle, eigentlich der durch ihn erzeugten Wärmemenge, genügt, um ein explosives Staubluftgemisch ohne Zutritt fremder Energie zu entzünden, so erfassen wir die Gefahren, in denen sich Staubbetriebe dauernd befinden. Sie werden noch weiter erhöht durch die jeder Explosionswelle eigene Saugwirkung, welche die äußere oder fernere Staubluft in ihren Wirbel hineinreißt, so die explosive Staubluftmenge erhöhend bzw. erweiternd.

Nachdem wir in ganz kurzen Umrissen den Entwicklungsgang einer Staubexplosion verfolgt haben, wollen wir die erwähnten drei Faktoren: Staub, Energie, Sauerstoff, ohne deren Zusammenwirken eine Explosion nicht möglich ist, genauer betrachten.

Staub. Uns interessieren hier nur seine gefährlichen Eigenschaften¹.

Im lagernden Zustand kann man die meisten der Staube nicht zur Explosion bringen. Schwebend in Luft jedoch und in einer Konzentration je m^3 Luft innerhalb der beiden Explosionsgrenzen in jedem einzelnen Fall. Denn es hat sich ergeben, daß der Teilchenabstand suspendierten Staubes stets an irgendeiner Stelle der für die Explosion richtige ist.

Wir wissen, daß die Gefährlichkeit eines Staubes mit seiner Feinheit wächst. Kleine Teilchen sind leichter zu vergasen, zu entzünden. Kleine Teilchen sind leichter aufgewirbelt, weil von geringerem Gewicht. Aus diesem Grunde halten sie sich auch länger in der Schwebelage. Schließlich haben kleine Teilchen relativ mehr Sauerstoff an ihrer Oberfläche verdichtet als große.

¹ Die Einteilung der Staubarten nach Gefahrenklassen durch Wheeler dürfte bekannt sein. Wie Beyersdorfer richtig betont, können sie aber nur bedingt als maßgebend gelten.

Und der Teilchenabstand? Wir sprachen zuvor von den Explosionsgrenzen. Bei höchster Staubkonzentration, also bei kleinstem Teilchenabstand, ist noch keine Explosionsgefahr. Vergrößern wir den Teilchenabstand, so gelangen wir zu einem Punkt, bei dem die Explosion bzw. Entflammung eintreten muß: obere Explosionsgrenze. Vergrößern wir den Teilchenabstand immer mehr, so erreichen wir einen Punkt, bei dessen Überschreitung eine Explosion wiederum unmöglich ist: untere Explosionsgrenze. Also bleibt die Gefahrenzone nur innerhalb dieser beiden Punkte. Wir werden später (in Abschnitt 3, Verhütung) finden, wie wichtig diese Erkenntnis ist, und wie sich auf ihr relativ einfach die Schutzmaßnahmen aufbauen.

Energie. Wir sahen, daß sie in Form von Elektrizität und Wärme Explosionen auslöst. Mangels Erkenntnis nahm man bisher bei den meisten Explosionen thermische Ursachen an. Wir behandeln sie später. Beginnen wollen wir mit der endlichen Erkenntnis, daß die elektrische Eigenladung die weitaus größte Zahl der Staubexplosionen ausgelöst hat (siehe S. 36, 3).

Elektrizität als Ursache. Wir finden statische Elektrizität sowohl innerhalb als außerhalb der Fabrikationsmaschinen. Der Staub kann also auch außer der eigenen elektrischen Ladung solche von fremder Seite beziehen. In der Hauptsache ist letzteres die Riemenelektrizität. Ein Beispiel: In der Mitte eines gewöhnlichen 150 mm Lederriemens bei 3 m Achsenabstand wurde bei einer Steigerung der Umdrehungszahl bis auf 2000 schließlich bis 14000 Volt Spannung gemessen. Beim Anlauf der Maschine, also bei stärkstem Riemenrutsch, stieg die Spannung für einige Zeit auf über 15000 Volt. Genaue Messung war seinerzeit nicht möglich, weil die Skala des geeichten Elektrometers nur bis 15000 ging. Wir kommen in Absatz 3 auf den Zusammenhang der hohen Spannungen bei Betriebsbeginn (höchster Riemenrutsch) und den meisten Explosionen ebenfalls bei Betriebsbeginn noch zurück.

Wir prägen uns ein: Ein Teil der für Staubexplosionen gefährlichen stationären Elektrizität wird durch Riemenrutsch erzeugt, durch Reibung des bewegten Riemens an der Luft noch erhöht.

Lederriemen ist positiv, Eisenteile sind negativ geladen.

Ferner erfolgt in Mahl- bzw. Feinzerkleinerungsmaschinen, dem Herd vieler Explosionen, eine außerordentlich hohe Eigenaufladung des durch Reibung und Umwirbelung entstehenden Staubes. Die Energie, welche zur Staubentzündung erforderlich ist, und die wir aus der Menge, der spezifischen Wärme und der Entzündungstemperatur berechnen können, kann auch allein durch die Eigenaufladung des Staubes aufgebracht werden. Zur Auslösung der Explosion muß die in der Staubwolke enthaltene eigene oder fremde Energie gleich sein der zur Entzündung der Staubwolke notwendigen Wärmeenergie.

Es können also nicht nur von außen hereingebrachte statische Entladungsfunken, sondern auch die eigene elektrische Energie der Staubwolken die Energie auslösen.

Es würde zu weit führen, hier auch die meteorologischen Verhältnisse

als Ursache von „Staubgewittern“ (Beyersdorfer) zu begründen. Das Wissen ihres Einflusses ist — anfänglich bezweifelt — heute Allgemein- gut der Wissenschaft geworden.

Die weitere gefährliche Energieform ist die Wärme.

Wärme als Ursache. Offenes Licht, Streichholz, brennende Zigarre, zerspringende Glühlampe, Lichtbogen bei Einstecken oder Herausnehmen von Steckkontakten usw., also Wärmequellen, deren Temperatur um 500° liegt. Sie seien nur angedeutet. Die Entzündungs- temperatur der meisten Staube liegt ebenfalls um 500° . Starke Wärme kann aber auch durch Reibung bewegter Maschinenteile aneinander erzeugt werden. Also im Mahlprozeß. Bei Walzenstühlen ist diese Gefahr gering, weil zu eng gestellte Walzen im Leerlauf und bei gleicher Um- drehungszahl sich nur sehr langsam auf hohe Temperaturen bringen. Es sind verhältnismäßig große Metallmassen, gute Wärmeleiter von großer Wärmekapazität. (Dagegen ist die Gefahr des Funkenschlagens bei geriffelten Walzen und ungleicher Umdrehungszahl im Leerlauf naturgemäß außerordentlich groß.) Auch heißlaufende Lager sind selten hohe Wärmequellen. Sie müßten sich schon auf über 400° erhitzen, um das Öl in Brand zu setzen. Wenn allerdings auf den Lagern hohe Staubschichten liegen, grobe Fahrlässigkeit zu erkennen ist, dann ist eine Entzündung schon bei wesentlich geringerer Temperatur gegeben. Bei Mahlgängen, Mahlsteinen dagegen, die schlechte Wärmeleiter sind, bleibt die durch Reibung bei Leerlauf erzeugte Wärme auf die Reib- fläche lokalisiert, kann in kürzester Frist hohe Temperatur erreichen. Bei ihnen wie auch bei den Walzenstühlen und ganz besonders bei schnellaufenden Schlagkreuzmühlen ist jedoch die Hauptgefahr in Funken zu suchen, die durch hineingeratene metallische oder minera- lische Fremdkörper erzeugt werden. Sind solche Fremdkörper groß genug, haben sie also eine ausreichende Wärmekapazität, so ist der Gefahrenmoment sofort erreicht. Daß auch Kurzschlußlichtbogen, die ja leider keine Seltenheit sind und viele gewöhnliche Brände verursacht haben, unter geeigneten Bedingungen eine Staubexplosion auslösen, liegt auf der Hand. Eine weitere Wärme- bzw. Gefahrenquelle ist die pyrophore Kohle. Angesammelte Staubschichten, die einer Lampen- wärme, der Wärme eines heißgelaufenen Lagers, Heißluft oder der Leitung bzw. den Heizkörpern einer Raumheizung ausgesetzt sind, er- zeugen jederzeit selbstentzündliche Röstkohle. Es sind Temperaturen von über 120° schon ausreichend. Die Gefahr aus durch Staub ent- standener pyrophorer Kohle wird stets unterschätzt. Pyrophore (griechisch: Luftzünder) Kohle aus organischen Stauben, z. B. Holz, Kork, einigen Mehllarten, entsteht bei lose und warm gelagerten Stauben, die an der Luft so begierig Sauerstoff aufnehmen, daß sie durch die bei dieser Oxydation entwickelte weitere Wärme — unter Umständen schon bei sehr geringen Temperaturen — langsam verkohlen, ins Glühen ge- raten. Festgestampfter Staub, der dem Sauerstoff nur eine geringe Angriffsfläche bietet, kann keine pyrophore Kohle bilden.

Nachdem wir über Staub und Energie uns unterrichtet haben, bleibt der dritte Faktor: der Sauerstoff.

Der Bedarf an Sauerstoff der umgebenden Luft ist bei den Stäuben verschieden. Man kann sagen, daß bei Sauerstoffgehalten unter 6% nicht nur keine Explosion, sondern auch kaum noch eine Verbrennung möglich ist. Selbst bei Temperaturen bis 500°. Mehl oder Dextrinstaub z. B. ist bei weniger als 14%, Zuckerstaub bei weniger als 9% nicht mehr zur Explosion zu bringen. Selbst der gefährliche Schwefelstaub bedurfte mindestens 8,5%, Hartgummistaub 13% Sauerstoff. Inwieweit die Sauerstoffmenge der Mahl- bzw. Staubluft durch Zuführung träger Gase, also Kohlensäure, unter der Gefahrzone gehalten werden kann, finden wir in Absatz 3: Verhütung.

Wir fassen zusammen: Wann ist Staub entzündlich und explosibel? Entgegen der früheren Anschauung, daß nur in der Sprengstoff-, der chemischen, der Mühlenindustrie oder in Bergwerken Staubentzündungen möglich seien, wissen wir heute, daß alle Staube, die aus chemischen Gründen brennbar sind, explodieren können. Alle grundsätzlichen Verhältnisse sind durch die Wissenschaft geklärt.

Physikalische Erscheinungen spielen die Hauptrolle. Sie können nicht auswirken, wenn nicht ein bestimmtes Mindestgewicht an Staub in m³ Luft bzw. Gas schwebt und aus diesem ein Staubgewitter infolge eigener Aufladung entsteht oder aus anderen Ursachen Funken in dieses Staubluftgemisch hineingetragen werden. Je feiner und trockener die Luft und der Staub, desto höher die Gefahr. Die Mindestmenge Staub je m³ Luft bzw. Gas, welche die Gefahrenzone erreicht, ist für die meisten Staubarten bekannt.

Staubexplosionen, deren vorläufige Formulierung durch den Staubausschuß des VDI. auf S. 42 bereits wiedergegeben ist, sind plötzliche Verbrennungsvorgänge, die von starker Volumenvergrößerung des ganzen Systems begleitet sind. Findet der plötzliche Verbrennungsvorgang in einem geschlossenen Raume statt, so ist die Zertrümmerung der Wände (Bauten) oder der Gehäuse (Maschinen) die Folge. Bei brennbarem Staub der anschließende Brand.

Die Zündgeschwindigkeit (Temperaturwelle) ist dabei 1—2 m/s, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit (Druckwelle) kann bis zum zehnfachen der Schallwelle anwachsen. Eine Staubexplosion besteht in der Regel aus einer Reihe durch die Geschwindigkeit oft nicht wahrnehmbarer Teil- bzw. Anschlußexplosionen. Neben durch Eisen oder Stein in den Mahlkörpern erzeugten Funken kann schwebender bzw. aufgewirbelter Staub durch jede gewöhnliche Wärmequelle, die über 500° liegt, der Entzündung bzw. Explosion zugeführt werden. Durch pyrophore Kohle, durch schlecht geschützte Lampen, durch heiße Lager kann auch ruhender Staub zum Glimmen gebracht und die anschließende Explosion ausgelöst werden.

Zur Selbstentzündung von Staub sind besondere Witterungs- und Betriebsverhältnisse notwendig. Meist ist eine plötzliche Oxydation,

also eine Verbindung von Sauerstoff und Staub die Folge, wonach die Gefahr der Selbstentzündung bei lockerer und durchlüfteter Lagerung des Staubes am größten ist. Insbesondere wenn der Staub sehr warm und trocken. Bei Lagerung solchen Staubes in dicht abgeschlossenen Silos mit Innenluft von 60—70% Feuchtigkeit sind Selbstentzündungen nicht beobachtet worden.

2. Auswirkung.

Nachdem wir die Entstehung einer Staubexplosion betrachtet haben, folgen wir in Kürze ihrer Auswirkung.

Wir vergegenwärtigen uns irgendein Zerkleinerungssystem, oft „Mühle“ genannt. Es besteht aus den Grob- und Feinzerkleinerern (Mühlen), Sieben, Sichtern, Förderanlagen verschiedenster Art, Entstaubungs- bzw. Staubsammelanlagen. Gleichgültig, ob letztere durch elektrische Staubbiederschlagung, durch Nassentstaubung, durch Fliehkraft oder durch Filter arbeiten.

Jede der vorgenannten Einheiten einer Feinzerkleinerungsanlage ist schon Ausgangspunkt von Staubexplosionen geworden. Sei es durch Fahrlässigkeit oder durch Zusammentreffen der uns bekannten Faktoren.

Kommt an einer Zerkleinerungsmaschine oder an einer Stelle der Gesamtanlage zu dem aufgewirbelten oder schwebenden Staub die zur Entflammung ausreichende Energie (Elektrizität, Wärme), so entsteht die erste Explosion. Die verpuffende Staubwolke braucht durchaus nicht groß zu sein. Es genügt, daß die von ihr ausgehende Stichflamme oder deren Wärme eine benachbarte Staubwolke (die schon vorhanden war oder erst entstand) gleichfalls entzündet (Anschlußexplosion). Die Verbrennungswärme der ersten Explosion oder der ihr folgenden setzt den stets begrenzten Raum auf immer höhere Temperatur. Zwangsläufig werden immer günstigere Bedingungen für weitere und größere Teilexplosionen geschaffen. Sie folgen aufeinander in denkbar kleinsten Zeiträumen, viele Detonationen nur als eine einzige erkennbar.

Jede Explosion erzeugt Stichflamme und Druckwelle, die den Weg des geringsten Widerstandes einschlagen. Dieser Weg ist vorgezeichnet durch Schloten, Rutschen, Schnecken, Elevatorschächte oder durch das Rohrnetz einer Entstaubung, in welchem zudem noch durch die Ventilatorwirkung ein gewisser Unterdruck herrscht. Wo die Explosionswelle auf ihrem Weg irgendwie ruhenden Staub findet, in und auf Rohren, Krümmern, Böden, Wänden, Vorsprüngen usw. wird sie ihn zum gefährlichsten Staubluftegemisch aufwirbeln, der rasenden Stichflamme neue Nahrung zuführen. Sind die in einem Maschinenaggregat oder im Raum entflammten Staubmassen groß genug, so werden das Maschinengehäuse oder die Raumwände zersprengt, und die Stichflamme — oft mehrere Stichflammen — bahnt sich den Weg in andere Räume, Stockwerke, Gebäude. Sie kommt erst dann zur Ruhe, wenn kein Staub mehr zum Aufwirbeln vorhanden ist. Beachte S. 54.

Es ist aber für die Fortpflanzung der Explosion gar nicht notwendig, daß die Stichflamme weitere Explosionen erzeugt. Denn die erste Druckwelle ist oft in ihrer Geschwindigkeit schon für sich allein in der

Lage, durch Kompression der Staubluft, die sie vor sich herjagt, in dieser die zu ihrer Selbstentzündung ausreichende Wärme zu erzeugen.

Außerdem kann aber noch — und wir erkennen so recht die ungeheuren Gefahren — der Staub durch Aufgewirbeltwerden mit so gewaltiger Geschwindigkeit und Druckentfaltung durch Reibung eine derart starke elektrische Aufladung bekommen, daß durch die elektrische Energie der komprimierten Staubwolke Selbstentzündung erfolgt.

Man versteht, warum bei großen Staubexplosionen im Bruchteil eines Augenblicks alles in Flammen steht, in Trümmern liegt, so viele Menschenleben umkommen.

3. Verhütung.

Die unbedingte Sicherheit eines Staubbetriebes wird durch Innehaltung einer Reihe zusammenhängender Maßnahmen erreicht. Wird auch nur eine einzige dieser Maßnahmen vernachlässigt oder unterlassen, ist die unbedingte Sicherheit nicht mehr gewährleistet.

Die Einprägung dieses Satzes ist von außerordentlicher Wichtigkeit für die Durchführung aller Schutzmaßnahmen. Sie — überhaupt die ganze Frage der Staubexplosionen — scheinen bisher nur empirisch behandelt worden zu sein. Man dilettantierte auf Grund von „Erfahrungen“! Erfahrungen sagen hier nur wenig. Denn an der zerstörten Anlage kann man meist nichts als die Wirkungen sehen. Über den Hergang ist man auf das Ausfragen der zur Zeit der Explosion beschäftigt gewesen Leute angewiesen. Sofern diese bei der Explosion nicht ums Leben gekommen sind. Infolge der Plötzlichkeit und des Schreckens haben die Leute in allen von uns bearbeiteten Fällen in ihrer nur zu begreiflichen Verstortheit Aussagen gemacht, auf die man nichts geben konnte.

Es sagen also in unserem Falle Erfahrungen nicht viel. Wir fußen auf den unantastbaren wissenschaftlichen Ergebnissen, erinnern uns der Worte des Führers der deutschen Industrie, Geheimrat Duisberg: „Nur durch die Wissenschaft können wir zu technischen und wirtschaftlichen Sicherungen und Erfolgen gelangen.“

Wir setzen nun die Reihenfolge fest, in der wir unseren Betrieb durchgehen. In Gedanken an die drei Faktoren nehmen wir zuerst

A. Schutz gegen den Staub.

Es ist der wichtigste Abschnitt. Denn die Faktoren 2 und 3 können wir reduzieren, ganz verhindern, die Entstehung des Staubes, besonders wenn es sich um gewollten Staub handelt, aber nicht. Wo zerkleinert und gefördert wird, da wirbelt Staub. Er ist immer vorhanden, nie völlig zu beseitigen. Wir müssen ihn nur außerhalb der bekannten Gefahrenzone halten. Wir setzen deshalb gleich vorn ein, bei der Entstehung des Staubes, und prüfen:

Gleichmäßigkeit des Anfalles,
 Regelmäßigkeit des Staubes,
 Dichtigkeit und Wirbel beim Anlassen der Maschinen,
 Konzentration,

Brennbarkeit,
Feinheit,
Teilchenabstand,
Trockenheit,
Temperatur,
Entstaubung,
Sauberkeit der Maschinen und Räume.

Je regelmäßiger die Beschickung der Mahl- oder Sicht- oder Fördermaschinen durchgeführt werden kann, desto genauer kann die Staubbichte außerhalb der Gefahrzone gehalten werden.

Gleichmäßigkeit in der Beschickung, Gleichmäßigkeit des Rohmaterials sind die Fundamente für das gegen Explosionen zu bauende Sicherheitsgerüst!

Es ist bekannt und durch Messungen wie durch Statistik bewiesen, daß sehr viele Staubexplosionen bei Inbetriebsetzen (nach Pausen, nach Reparaturen, nach Riemenkürzen u. dgl.) erfolgten. Die plötzliche Aufwirbelung bringt Teilchendichte und Teilchenabstand für Momente in die Gefahrzone. Diese Momente genügen aber auch, den in den Rohren, Rutschen, Krümmern oder außen auf Böden, Wänden, Vorsprüngen usw. abgesetzten ruhenden feinsten (also trockensten) Staub durch die Aufwirbelung bzw. durch die im Transmissions- und Riemenlauf wieder erfolgende Raum-Staubluft-Bewegung elektrisch aufzuladen und zur Entladung bzw. Zündung zu bringen. Es ist daher notwendig, das Ventilations- und Entstaubungssystem durch gesonderten Motor zu betreiben, um es in Pausen möglichst durchlaufen zu lassen, mindestens aber es vor Inbetriebsetzen der Gesamtanlage anlaufen und nach Stillstand der Gesamtanlage noch einige Minuten weiterlaufen zu lassen. Es ist auch noch aus einem anderen Grunde notwendig: In vielen Betrieben konnte beobachtet werden, daß beim Anlassen von schweren Mahlmaschinen — gleichgültig welchen Systems — oder von solchen Arbeitsmaschinen der Fabrik, die mit der Feinzerkleinerung oder der Staubabteilung gar nichts zu tun hatten, die Gesamttourenzahl sich — meist unbeachtet — wesentlich minderte. In diesem Augenblick — bis zum erfolgten Kräfteausgleich — bewegt die Ventilation bzw. Entstaubung nicht mehr die notwendige und für die Sicherheit errechnete Luftmenge. Die gefährliche Staubkonzentration kann eintreten.

Es ist aber auch ratsam, in Fällen erkannter Gefahr (bei plötzlicher Rauchentwicklung aus einer Mahlmaschine, bei Entdeckung glimmender Stabnester im Innern einer Maschine z. B. eines Mahlgesetzes usw.) sofort zunächst den Förderer der Explosionswelle, die Ventilation und auch die Gesamtanlage stillzusetzen. Deshalb sollte an verschiedenen Stellen und unmittelbar am Platz der zuverlässigsten Leute ein elektrischer Kontakt zur sofortigen Stillsetzung des Motors oder der Betriebsmaschine vorhanden sein.

Bei dieser Gelegenheit ist zu sagen, daß niemals sogenannte Glimmester, zeigen sie sich innerhalb oder außerhalb der Maschine, mit Wasser behandelt werden dürfen. Sondern: sofort Stillsetzen, aus stets bereitstehenden Kasten mit trockenem feinstem Sand, diesen auf

die Nester legen oder mit Schaumlöscher das Nest zudecken, ersticken. Vor allem aber: Ruhe behalten. Wir haben selbst einen Müller mit der Hand ein Glimmnest aus dem Mahlgangsgehäuse nehmen und es in einen nahestehenden Sandkasten legen und dort mit Sand zudecken sehen¹. Bis die sofort stillgesetzte Maschinenanlage ihre letzte Umdrehung gemacht hatte, war zwar die Hand stark verbrannt, aber eine schwere Staubexplosion verhütet (siehe S. 13).

Selbstverständlich dürfen in einem sauberen Betriebe innen und außen niemals Glimmester vorkommen. Auch nicht, wie wir es kürzlich sahen, auf einer ungeschützten gasgefüllten 150 Watt Glühlampe (Temperatur 170°) eine Staubschicht, unter welcher bereits eine Lage pyrophorer Kohle sich gebildet und lustig am Glühen und Schwelen war. Ein Luftzug, und der staubige Raum wäre ein Flammenmeer gewesen, die Ursache der Katastrophe aber wahrscheinlich auf den berühmten Kurzschluß oder die weggeworfene Zigarette von den Pseudosachverständigen zurückgeführt worden.

Die Ventilation vermag in jedem Fall so berechnet zu werden, daß die bewegte Staub-Luftmenge niemals die gefährliche Mindestkonzentration erreichen kann. Wir haben in den seltensten Fällen die richtige Luftgeschwindigkeit und die richtigen Rohrdurchmesser gefunden. Wird eine neue Staubquelle bzw. Ventilation angeschlossen, so sind unter allen Umständen die Querschnitte der folgenden Rohre entsprechend zu erweitern.

In der Erkenntnis der Wichtigkeit, jedem Staub die für ihn richtige Ventilation und Filter bzw. Sammelart anzupassen, ist dieser Frage ein besonderer Absatz am Schlusse gewidmet.

Auch die Staubtrockenheit ist eine hohe Gefahrquelle. Trockenes Rohmaterial ist leichter in Staubform aufzulösen als feuchtes. Trockener Staub — beim Zerkleinerungsprozeß stets erwärmt — sollte schon wegen seiner Schwebeseigenschaften nach Kräften vermieden werden. Wenn es sich nicht ermöglichen läßt, dem Rohmaterial von vornherein die entsprechende Feuchtigkeit mitzugeben, so sollte wenigstens die Raumluft nie unter 65% Feuchtigkeit sinken. Nicht nur wegen der besseren Leitfähigkeit, worauf wir in Absatz: elektrische Gefahren noch zurückkommen. Sondern um das Niedersinken schwebenden Staubes zu fördern, die durch Triebwerke, Riemen, Förderwerke usw. bewirkte Raumluftbewegung einzuschränken.

Jeder Raum ist mit einer Bündeldüse auszustatten. Sie verwandelt geringste Mengen Wasser zu feinstem Wasserstaub. Der Regulierhahn für die Düse ist neben dem Polymeter angebracht und je nach Außentemperatur und Witterung so zu regulieren, daß mindestens 65% Raumfeuchtigkeit konstant bleibt.

¹ Der Müller handelte gegen die gesetzlichen Vorschriften, machte sich zweifellos strafbar. Es soll keineswegs seine Handlung gutgeheißen oder geduldet werden. Aber in solchen Fällen hoher Gefahr, wo es sich um Bruchteile einer Sekunde handeln kann, denkt ein praktisches Müllerhirn wohl nur an die nächstliegende Maßnahme, und selbst strenge Behördenvertreter werden ihm Nachsicht nicht versagen.

Nun noch ein Wort über das Allerwesentlichste: die Sauberkeit. Sie kann gar nicht groß genug sein! Man präge sich ein, daß bereits der Bruchteil eines Millimeters Staub auf Wänden, Boden, Vorsprüngen usw. aufgewirbelt die verheerendste Anschlußexplosion gebracht hat. Eine Stichflamme aus Rohr, Schnecke, Mahlmaschine oder sonst woher wird wenig Unheil anrichten, wenn sie in der Raumluft keinen Staub aufwirbeln kann. Becherwerk, Schüttler, Schnecken, Förderbänder, Rutschen u. dgl. sind so einzurichten, daß aus ihnen kein Staub nach außen dringen kann. Riemen und Transmissionen sind durch Verwendung möglichst vieler Motore so einzuschränken, daß die Raumluftbewegung auf ein Mindestmaß zurückgeführt wird. Es sei auch nie gestattet, selbst nicht an heißesten Sommertagen, den Betriebsraum unter Zug zu setzen. Stets sind nur nach einer Seite, und zwar der windgeschützten, die Fenster zu öffnen.

Förderbänder möglichst nur aus Stahl. An diesen wurden Spannungen unter 200 Volt gemessen, wogegen einmal ein Gummiförderband Spannung aufwies, die über die Kapazität des benutzten Elektrometers (30000 Volt) ging. Der Umhüllung des Förderbandes oder der Schneckenabdeckung ist besondere Sorgfalt zu widmen. Es gibt Abdeckungen, die kein Stäubchen entweichen lassen und dennoch leichte Kontrolle der Innenlager ermöglichen.

Diese Innenlager sind besonders bei Holzschnecken als Gefahrenquelle zu betrachten. Oft wird warmes oder heißes Material geschneckt. Eine genaue Kontrolle der Innenlager erfolgt in den seltensten Fällen. Der verantwortliche Mann füllt die Staufferbüchse, dreht sie mehrmals und ist zufrieden, wenn sie sich schön drehen läßt. Ob aber das Lagerloch bzw. Röhrchen verstopft, das Fett seitlich herausquillt, sieht er nicht. Viele Lager sind so heiß gelaufen, wozu noch die Gefahr des sich mit dem warmen oder heißen Förderstaub vermischenden flüssigen Fettes kommt. Der Staub wird autoxydabel, noch leichter entzündlich. Ein Beispiel sei genannt: Die Ursache der bekannten schweren Staubexplosion in Peking, wobei 42 Tote zu verzeichnen waren bei einem Sachschaden von 4 Millionen Reichsmark, war das heißgelaufene Innenlager einer zum großen Silo führenden Holzschnecke! (Siehe S. 22.) Die Verwendung von Kugellagern und allerbestem Fett oder Öl sollte bei Schneckeninnenlagern durchgeführt und die noch vorhandenen Holztröge durch eiserne Tröge ersetzt werden. Jedenfalls an den Stellen der Schnecke, wo die Innenlager eingebaut sind.

Das vielfach geübte Naßhalten des Raumfußbodens hat nur problematischen Wert. Ebenso eine transportable Vakuumanlage. Für diese kommt naturgemäß nur ein Vakuumapparat mit gekapseltem Motor in Frage und Wandstecker, die jedes Funken ausschließen. Dagegen haben sich stationäre Vakuumanlagen mit Rohrnetz in alle Staubräume bewährt.

Hilfsmittel, die von Menschen abhängen — der Mensch ist nun einmal unzuverlässig — sollten entbehrt werden können. Die Maschine ist zuverlässig, nie ermüdend, wenn Wartung und Betriebsleitung auf der Höhe. Sind alle Teile einer Anlage gut abgeschlossen, gedichtet

(darunter verstehen wir nicht das Zustoßen von Staubquellen mit Tüchern oder gar alter Putzwolle) und das ist technisch möglich, sind ferner alle Saugleitungen richtig geführt und von richtigem Querschnitt, dann kann kein Staub in die Raumluft dringen bzw. sich im Raum absetzen.

Eiserne Türen zu Nachbarräumen sind dazu da, um geschlossen zu bleiben! Wir fanden sie bei Besichtigungen meist offen! Und Transport von Roh- oder Fertigmateriale durch Mühlenanlagen ist vermeidbar. Denn der Abfüll- oder Absackraum ist in einer sicheren Anlage selbstredend ein abgeschlossener, durch eine eigene kleine Entstaubungsanlage besonders gut ventilierter Raum.

Da eine richtig gebaute Zerkleinerungsanlage, eine Mühle, von der Rohstoffaufgabe bis zum Fertigfabrikat automatisch arbeitet, so sind — außer der Aufsichtführung bzw. den Wächtern — Arbeiter — auch bei Nachtschicht — um die Anlage nicht zu dulden. Der zum täglichen Raum- und Maschinenreinigen verpflichtete zuverlässige Mann hat seine Arbeit nur in Pausen oder nach der Schicht zu verrichten. Sogenannte Mop-Besen und Tücher haben sich dabei bewährt. Gewöhnliche harte Besen sollten vermieden werden. Auch Aufwaschen des Fußbodens mit einer Lösung von Natronwasserglas in Wasser ist empfehlenswert. Nur der verantwortliche Müller hat die Räume zu begehen, hat auf evtl. Stopfungen — die bei gleichmäßiger Speisung des Rohmaterials gar nicht vorkommen — auf evtl. entstehende Staubquellen, auf richtige Riemenspannung, Tourenzahl, auf Brennen der roten Magnetlampen u. dgl. zu achten. Aus diesem Grunde rede ich einer Heizung der Räume nur dann das Wort, wenn sie in einer Weise erfolgt, daß Staubabsetzen auf Rohren und Heizkörpern ganz ausgeschlossen bleibt. Luftheizung und Feuerstellen kommen überhaupt nicht in Frage.

B. Schutz gegen elektrische Gefahren.

Quellen elektrischer Gefahren sind:

- Motorfunken,
- Schlechte oder schadhafte Installation,
- Riemen,
- Förderbänder,
- Staubaufladung im Gehäuse der Mahlmaschinen, Rutschen, Ventilationsrohre, pneumatische Förderung, Staubsammler oder Filter und in der Raumluft,
- Schlechte Erdung.

Motore samt Anlasser gehören nicht in die Arbeits- bzw. Fabrikationsräume von Staubbetrieben. Sie stehen in staubfreiem Nebenraum, die Hauptwelle geht in einem ringsum dicht vermauerten Wandlager durch die Wand zum Fabrikationsraum. Damit keine durch den Motorriemen entstehende Spannung in die Transmission kommt, ist diese am Motorraumende mit Bürstenkontakt ausgiebig zu erden (durch Wellenkranz Ölfreiheit des Wellenendes gewährleisten!). Auf gute Installation ist höchster Wert zu legen. Müssen zuweilen Stecklampen verwendet werden, so kommen nur solche mit geschütztem Kabel, mit staubsicherer Glocke und gutem Drahtkorb ringsum in Frage, ferner ein Stecker, der bei Einstecken und Herausnehmen stromlos ist. Dies

gilt auch zur Sicherung evtl. zu Reparaturzwecken in Arbeitsräumen verwendeter elektrischer Bohrmaschinen.

Es kann überraschen, daß für die in staubgefährdeten Räumen zu benutzenden Steckkontakte, Lampen, Anlasser und Motore noch keine Richtlinien vorliegen. Staubexplosionssichere Armaturen werden von unseren großen Elektrizitätsfirmen in vorzüglicher Ausführung hergestellt. Der Steckkontakt mit zwangsläufiger Steckerriegelung arbeitet unbedingt sicher. Der Stecker kann nicht herausgezogen werden, wenn der Schalter eingeschaltet ist. Der Schalter ist bei abgezogenem Stecker nicht einschaltbar. Der Schalter ist ferner mit einem Schaltwerk versehen, das unabhängig vom Bedienenden den Schalter sicher in die Endlagen bringt. Ebenso sind die Drehschalter in Gußgehäusen, die gekapselten Sicherungen und besonders die gußeisernen Lampenarmaturen, deren Zugänglichkeit nur mit einem besonderen Steckschlüssel möglich ist, ein unbefugtes Erreichen der Glühlampe oder ihres Schutzglases ausschließt u. dgl., in staubgefährdeten Fabrikräumen ausreichende Gewähr für Sicherheit.

Weit mehr als bisher sollten die großen Elektrizitätsfirmen zur Beratung selbst bei kleinsten Installationen in staubgefährdeten Arbeitsräumen herangezogen werden, bevor man die Arbeit dem Fabrik-elektriker oder der Installationsfirma übergibt. Wieviel falsche Sparsamkeit wird bei ungeeigneten elektrischen Armaturen geübt, und wie oft könnte Millionenschäden und Menschenverlusten gerade hier vorgebeugt werden. Es sollte jeder Leiter eines Industrieunternehmens, in welchem irgendwie oder irgendwo Staub anfällt, sich der hohen Verantwortung täglich bewußt bleiben.

In den Arbeitsräumen sind möglichst nur Geweberiemen zu verwenden. Ist ein Lederriemen nicht zu umgehen, so muß er von Zeit zu Zeit mit einer Lösung von 1 Teil Glyzerin und 1 Teil Wasser beidseitig gut getränkt werden, um die Erzeugung statischer Elektrizität zu mindern. Die Riemenbehandlung mit Graphit hat nicht befriedigt. Ebenso wenig Schleifkontakte auf Lederriemen und Spannung von Kupferdrähten längs des Riemenlaufes. Holzriemenscheiben und auch eiserne Riemenverbinder (Funkenschlag auf Riemenscheibe) kommen nicht in Frage.

Transportbänder, wie bereits erwähnt, nur aus Stahl. Schutzvorrichtungen (Eisen, Draht) sollten mindestens 300 mm Abstand vom Riemen haben. Wo dies nicht durchführbar, sind sie zu erden.

Die Erdung aller Feinzerkleinerungsmaschinen, eiserner Siebgehäuse, eiserner Filtergehäuse u. dgl. kann nicht genug betont werden. Hier nutzt kein Provisorium oder eine oberflächliche Erdung. In einer Kunstdüngerfabrik wurde man der bei einem Siebssystem häufig auftretenden Staubexplosionen endlich durch gute Erdung Herr. Nach sieben Jahren wurde eine schwere Explosion ausgelöst. Es ergab sich, daß durch bauliche Veränderungen die Erdung nur seit einem Tag unterbrochen war!

Die Erdung besteht nicht darin, daß man die Maschine auf den Erdboden stellt! Selbst Stein und Beton sind schlechte Leiter, und

sie werden es noch weniger, wenn das Fundament mit Tropföl getränkt ist. Wie häufig sehen wir das. Im besten Kontakt mit der Maschine muß ein Leitungsdraht angebracht und zur Wasserleitung oder Blitzableitung geführt werden. Besser noch direkt zum Grundwasserspiegel. In diesem Falle sind die Schwankungen des Grundwasserspiegels zuvor sorgfältig festzustellen.

Es wird jetzt ein die Staubluft ionisierender Wand- bzw. Maschinenanstrich herausgebracht (Auer). Es handelt sich um kurzwellige, den menschlichen Organismus nicht schädigende Strahlen. Der Anstrich ist teuer. Aber die Sicherheit von Betrieb und Menschen steht weit über den hohen Kosten eines Anstrichs. Die Behandlung von Decken, Wänden, Rohren, Maschinengehäusen mit diesem Anstrich ist Gewähr für die sofortige Vernichtung jeder entstehenden Staubluftaufladung.

Die Versuche, das Innere von schnellaufenden Feinzerkleinerungsmaschinen durch ultraviolettes Licht (Quarzlampe) zu ionisieren, konnten bislang nicht befriedigen.

Die Hauptaufladung und Hauptexplosionsgefahr entsteht unmittelbar am Ort und im Moment der Zerkleinerung. Bei rasch rotierenden Mühlen, solchen mit Schlagkörpern, Kugelmühlen u. dgl. kann man nicht bis unmittelbar an den Zerkleinerungspunkt im Mahlgehäuse gelangen. Anders bei Mahlgängen, Walzenstühlen. Hier haben sich eingebaute sogenannte Elektroden sehr gut bewährt.

Für die Leitendmachung der Raumluft haben wir noch ein Hilfsmittel: die Feuchtigkeit. Bereits im Absatz „Staub“ wurde es erwähnt. Einen hohen relativen Feuchtigkeitsgehalt werden nicht alle Staube zulassen. Aber eine konstante Sättigung der Raumluft von mindestens 65% wird in den meisten Fällen zuträglich sein und zu einem Teil der Sicherheit beitragen.

Mit einem spiegelglatten Emailleanstrich der Wände usw., die das Absetzen von Staub erschweren, hat man beste Erfahrungen gemacht. Zu erwähnen ist, daß der Anstrich eines Raumes, der Maschinen, Rohre usw. in einem der Staubfarbe entgegengesetzten Farbton empfehlenswert ist. In einem schön weißgetünchten Getreidemühlenraum z. B. sind Staubquellen oder der Luftstaubgehalt kaum zu erkennen. Nur wenn die Sonne hineinscheint. Sie scheint nicht immer!

Es seien noch die meist zu leicht genommenen meteorologischen luftelektrischen, radioaktiven Einflüsse bzw. Elektrizitätsquellen kurz gestreift. Die Atmosphäre ist positiv, die Erdoberfläche negativ geladen. Nach außen, also für den Weltraum, heben sich die Ladungen auf. Vermöge der bestehenden elektrischen Spannungen zwischen Luft und Erde wandern bzw. fließen dauernd zwischen ihnen elektrische Ströme. Andere physikalische Erscheinungen innerhalb der Luft, also vornehmlich Witterungsvorgänge, wirken auf die luftelektrischen Bedingungen ein. Sie erleichtern oder erschweren den Schwebезustand des Staubes in der Luft.

Neben dieser fließenden haben wir noch die ruhende Elektrizität, die wir als statische bereits kennen. Diese Elektrizität ist angesammelt, sie bewegt sich nicht weit von ihrem Sitz, dem Lederriemen, dem Innern

einer Mahlmaschine, der Oberfläche der Staubteilchen usw. fort. Es besteht aber eine stete Bereitschaft zum Strom, eine elektrische Spannung, eine potentielle Energie, welche sich bis zu ganz gewaltigen Spannungen aufspeichert. Haben diese ein Maximum erreicht, so finden Entladungen statt, welche die Form von Funken annehmen können. Hat die Luft einen hohen Feuchtigkeitsgehalt, dann fließt die Ladung ununterbrochen ab, es kommt nicht zu den gefährlichen Maximas der Ladung. Ein Leiter ist aber auch die entgegengesetzte Aufladung, z. B. die bei der Zerkleinerung, Förderung oder Reibung erworbene Aufladung auf den Staubteilchen. Der Funke wird nun in Strom und damit in kinetische Energie umgesetzt, wir haben die besonders gefährbringende Auslösung.

C. Schutz gegen thermische Gefahren.

Dieser Schutz ist der leichtere. Jedenfalls weiß man gefährliche Wärmebildung einzuschränken. Schon durch

Langsamlaufende, sich gering erwärmende Arbeitsmaschinen,
Gleichmäßige Beschickung derselben,
Elektromagnete,
Alarmapparate bei heißlaufenden Lagern,
Sauberkeit.

Gefährliche Wärmequellen sind:

Beleuchtung,	Funkenbildung durch Fremdkörper,
Heizung,	Pyrophore Kohle.
Heißlaufende Lager,	

Daß nicht nur das Hereinbringen von offenem Licht oder Feuer in die Arbeitsräume, sondern auch das Mitbringen von Feuerzeug, Rauchzeug (Tabak) aufs strengste untersagt ist, betrachte ich als selbstverständlich. Zur Beleuchtung sollten nur die sogenannten Vakuumlampen verwendet werden. Ihre Temperatur ist gering. Die staubdichte Schutzglocke darf nirgends fehlen. Einmal weil sich Staub niemals direkt auf der Glühlampenschale ablagern kann. Zum anderen Mal aber aus folgender Erwägung: Es ist beobachtet worden, daß starke statische Elektrizität in der Raumluft bei älteren Lampen den Faden im Innern der Birne an die Außenwand zieht, diese zerspringen läßt. Bei der neuen Lampenbauart dürfte derartige nicht zu befürchten sein. Lampen sollen immer senkrecht hängen, weil bei Wandarmen und waagerechter oder schräger Stellung das Ablagern von Staub auf dem Lampenglas begünstigt wird.

Heizung von Feinzerkleinerungs- und Siebräumen sollte vermieden werden. Bei gutem und automatischem Betrieb haben sich Leute darin höchstens bei Aufgabe des Rohmaterials aufzuhalten. Der gesonderte Raum für Abfüllung und Absackung dagegen kann geheizt sein, wenn Rohre und Heizkörper so angebracht sind, daß sich Staub darauf nicht ablagert. Luftheizung ist, wie bereits früher erwähnt, wegen Luftwirbelung und der Begünstigung schwebenden Staubes zu verwerfen.

Daß Schnecken und Elevatoren eiserne Explosionsrohre haben müssen, wurde bereits erwähnt. Ihr Durchmesser soll mindestens dem-

jenigen der Schnecke bzw. der Summe beider Elevatorschächte zuzüglich 25% entsprechen (siehe S. 3).

Das Gespenst heißlaufender Lager wird zu Unrecht in den Vordergrund gestellt. Das Oel muß sich schon auf über 400° erhitzen, um sich zu entzünden. Wenn aber Brand oder Staubexplosion durch heißes Lager wirklich erfolgt ist, dann ist es nach unseren langen Erfahrungen meist größte Fahrlässigkeit gewesen und weniger das Lager! Denn wenn in schlecht geleiteten Betrieben auch nur die geringste Staubschicht auf dem Lagerdeckel liegt, so kann sich unter ihr bereits bei einer Lagertemperatur von nur 120° pyrophore Kohle bilden, welche die dünnste sie deckende Staubschicht zum Glimmen bringt.

Entspricht die Ventilation den Anforderungen, herrscht Ordnung, so sind solche Gefahren nicht zu erwarten. Immerhin sind die bekannten Alarmsignale empfehlenswert. Diese bestehen darin, daß ein Quecksilberthermometer am Lagerdeckel angebracht wird, in dessen Kapillare bei etwa 60° zwei Platindrähte eingeschmolzen sind. Sobald die Quecksilbersäule bis 60° steigt, wird der Stromkreis geschlossen und durch Schall oder Licht das Warnungssignal ausgelöst.

Die Elektromagnetanlage — Magnete sollten an mehreren Stellen eingeschaltet sein — ist ein wichtiger Bestandteil. Ihr Funktionieren bzw. ihr Unterstromstehen muß an einer weithin sichtbaren nachgeschalteten roten Lampe erkannt werden können. Daß nichtmagnetische Fremdkörper, Steinchen u. dgl. den Mahlmaschinen ferngehalten werden, kann nur durch vorgeschaltete Siebe, Schüttler und vor allem durch größte Sorgfalt erreicht werden.

Wir erwähnten bereits mehrfach die Bildung pyrophorer Kohle. Ihre Gefahr ist immer unterschätzt worden. Dampfrohre, auch Flanschen, kann man gut isolieren. Ventile aber nicht. Sie müssen stets besonders sauber gehalten werden. Es gilt das auch von dem Innern der Mahlmaschinen. Häufig sind ganze Krusten pyrophorer Kohle in Mahlgangszargen gefunden worden. Meist, nachdem die Explosion erfolgt war. Es ist durchaus nicht wahrscheinlich, daß der berühmte zwischen die Steine bzw. die Mahlkörper geratene Fremdkörper immer die Explosionen auslösen muß! In die Zargen sieht der Müller leider nur, wenn er Steine auswechselt. Das Innere des Mahlganges ist bei gewissen Mahlprodukten und bei Überlastung sehr heiß. Besonders bei ungenügender Ventilation bzw. Absaugung des heißen Brüdens.

Wie bei den Innenlagern der Schnecken, so ist auch bei Elevatoren auf die untere Gurtrolle größtes Augenmerk zu richten (siehe S. 3). Wenn irgend möglich, sollten Gurte durch Ketten ersetzt werden.

Daß die Beschickung der Zerkleinerungsmaschinen gleichmäßig erfolgen muß, kann gar nicht oft genug erwähnt werden. Auch die Zerkleinerung durch weniger gefährliche langsamlaufende Maschinen ist durchführbar. Besonders wenn man die Feinstzerkleinerung erst etappenweise erreicht.

Selbst Löt- und Schweißapparate — auch die oft benutzten elektrischen Bohrmaschinen — können gefahrbringend sein. Muß in Pausen bzw. bei Betriebsstillstand damit hantiert werden, so ist zuvor nicht

nur der betreffende Maschinenteil, sondern der ganze Arbeitsraum gut zu reinigen.

Ein Schutz bei auftretenden Wärmequellen sind auch die Sprinkler-Anlagen. Die wesentliche Prämienermäßigung bei Sprinkleranlagen durch die Versicherungsgesellschaften zeigt ihre Bedeutung. Sie haben sich zum Schutz gewöhnlicher Brände bewährt. Nicht aber bei Explosionen. Denn eigene Erfahrungen bestätigen die Ansicht Hennes, des bedeutendsten Versicherungsmannes: Eine plötzliche Staubexplosion hat in den meisten Fällen die Leitungen der Sprinkler im Bruchteil einer Sekunde zerstört und deren Wirksamkeit illusorisch gemacht. Daß solche Schutz-einrichtungen auch nicht das Entstehen einer Staubexplosion verhüten — hierauf kommt es uns aber an — sondern ihre Auswirkungen und Schäden günstigstenfalls abschwächen, das wollen wir nicht aus dem Auge verlieren (siehe S. 21).

Auch die Bauten können helfen, Auswirkungen abzuschwächen. Daß man bei Neubauten auf möglichst quadratische Form der Räume, große Fenster, leichtes Dach Rücksicht nimmt, ist als selbstverständlich anzusprechen. Je größer der Rauminhalt, desto mehr verliert sich die Gewalt einer Druckwelle. Aber auch in bestehenden älteren Bauten läßt sich noch weit mehr für die Sicherheit tun als es leider geschieht. Eine, besser noch zwei gegenüberliegende Wände mit zahlreichen großen dünn Glasigen Fenstern zu versehen, ist überall möglich. Ebenso kann jede Verbindung eines Stockwerkes mit dem anderen vermieden werden. Nur Ventilationsrohre, die nach dem vorteilhaft im obersten Stockwerk oder auf dem Dach stehenden Staubfilter führen, seien gestattet, auch die hochgehenden Schächte des Elevators. Jede andere Deckenöffnung, auch solche für Riemendurchlässe, ist unzulässig.

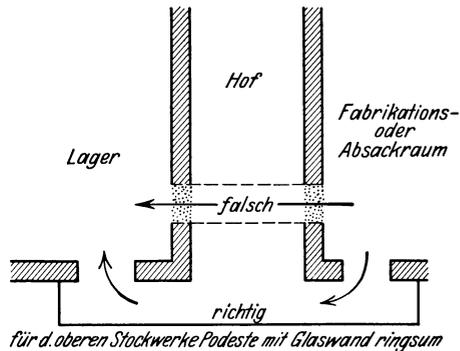


Abb. 15. Druckwellenableiter. (Schwere eisenarmierte Schutzwand.)

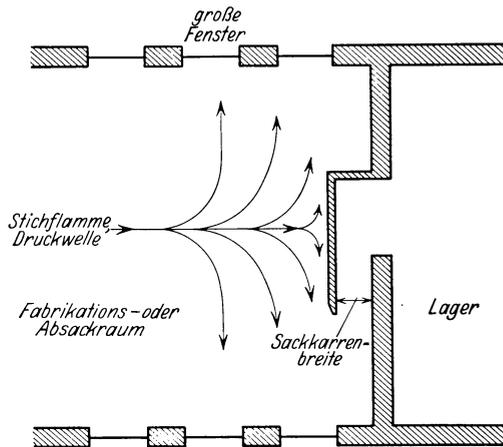


Abb. 16. Zweckmäßige Verbindung gleicher Stockwerke benachbarter Bauten.

Die Treppenverbindung, zu welcher zufallende starke eiserne Türen führen, ist nur außerhalb der Arbeitsräume gestattet. Ebenso Aufzüge. Aufzugschächte als Verbinder mehrerer Stockwerke sind bislang in jedem Schadensfall verhängnisvoll gewesen.

Auch die Verbindung zweier Bauten durch geschlossene Gänge, wie sie zwischen Fabrikationsraum, Absackraum und Lager bzw. Magazin oft anzutreffen sind, ist stets die Ursache der Verbreitung von Stichflammen, Druckwellen und Bränden gewesen (siehe S. 22). Im Magazin bzw. Lager sind große Werte aufgestapelt. Gerade sie sollen geschützt werden. Eine einfache bewährte Art, die Verbindung zweier Bauten zu bewirken, sei vorstehend angeführt (Abb. 15).

In Fällen, wo direkt aus dem Absack- oder Fabrikationsraum in oder aus dem Lager gearbeitet wird, nutzen die eisernen, zudem tagsüber meist offenen Verbindungstüren gar nichts. Die Stichflamme oder Druckwelle findet den bequemen Weg zum Lager! Ein Stichflammen- und Druckwellenableiter, der sich bewährt hat, ist in Abb. 16 skizziert.

D. Schutz durch Minderung des Sauerstoffgehaltes.

Wertvolle organische Stoffe, die in kleineren (Kugel- usw.) Mühlen fein vermahlen werden und deren Staub stark explosibel ist, können in einfacher Weise und ohne große Kosten durch Einleiten entsprechender Mengen inerten Gases — Kohlensäure, Stickstoff — in die Mahlkörper gefahrlos verarbeitet werden.

Aber auch bei weniger wertvollen Produkten und Großherstellung derselben kann Sicherheit durch das Rauchgasschutzverfahren heute als gelöst angesehen werden. Die großen Anfangsschwierigkeiten — Zerstörung der Innenwände, Undichtigkeiten in den Mühlen, starke Verschmutzung von Rohrleitungen, Gebläsen usw. — sind behoben. Es hat sich gezeigt, daß besonders in den Mühlen die erforderlichen Mengen Rauchgas sehr gering sind, um die Luft unter der Gefahrzone von z. B. 6% Sauerstoff zu halten. Sorgfältig ausgebildete Meßinstrumente geben Kontrolle und auch Sicherheit für die Betriebsräume. Denn es muß jede Gefahr für die Bedienung der Anlagen beseitigt sein. Auch bei der Staubförderung und Staubbunkerung wird das Rauchgasschutzverfahren heute erfolgreich angewendet. Allerdings kommt das Rauchgasschutzverfahren nur bei Stauben in Frage, die technische Verwendung finden, und die mit der Kohlensäure möglichst wenig reagieren. Bei Mahlprodukten, welche für menschliche Ernährung bestimmt sind und leicht Geruch annehmen, hat eine Verwendung selbst bestgereinigten Rauchgases als Sicherheit gegen Staubexplosion bis heute noch nicht stattfinden können.

Die sicherste Verhütung des Entstehens von Staubexplosionen bleibt einzig und allein: Ordnung und Sauberkeit des Betriebes, Innehaltung aller erwähnten Vorbeugungsmaßnahmen, Kontrolle derselben von Zeit zu Zeit nicht durch Betriebsbeamte, sondern durch einen neutralen erfahrenen Spezialisten bzw. Treuhänder. Und zwar unabhängig von der Tätigkeit der Betriebsleiter, Meister, Betriebsräte, Unfallvertrauens-

männer u. a. Nur so bleibt Erhaltung von Sachwerten und Menschenleben gewährleistet.

Mit der Einprägung dieses Satzes wollen wir unsere Ausführungen abschließen.

Anhang.

Neuzeitliche Entstaubungsanlagen.

Es sei gestattet, offenherzig und rücksichtslos zu sagen: Bei Berücksichtigung und Begutachtung so mancher Fabrik hat Verfasser als alter Industrieller sich geschämt über die noch in deutschen Unternehmen vorgefundenen veralteten oder ganz unweckmäßigen Entstaubungs- oder Staubsammelanlagen! Wie oft hat er vergebens zu Neuordnung des ganzen Betriebes geraten. Aber erst Verlust an Sachwerten und Menschenleben mußte ihm recht geben. Mit kleinen Verbesserungen oder Provisorien ist's da nicht getan. Gerade kürzlich hielt man Verfasser in einem großen, ein bestimmtes Fabrikat beherrschenden Betrieb — wir scheuen uns nicht, zu sagen, daß monopolartige Betriebe, die gut verdienen, oft betrieblich rückständig sind — vor: Wenn wir dies und jenes ändern (dazu gehörte auch die Entstaubungsart), dann könnten wir vielleicht die Güte unseres Fabrikates gefährden. Wir haben noch nicht gefunden, daß solche Bedenken bei dem heutigen Stand der Technik irgendwie sich als berechtigt erwiesen haben. Im Gegenteil ist fast stets das Zusammenarbeiten von Betriebsleiter und Entstaubungsfachmann nicht nur von technologischen und organisatorischen Betriebsverbesserungen begleitet gewesen, sondern es hat auch nachweisbar geldliche Vorteile eingebracht¹.

Wir wollen die Entstaubung der Arbeitsmaschinen und Räume nur aus dem Gesichtswinkel der Explosionssicherung betrachten.

Der Raum muß frei sein, Licht muß bis in den kleinsten Winkel der Arbeitsmaschine dringen. Deshalb gehören die Hauben bzw. Sauganschlüsse der Arbeitsmaschinen nach unten. Der gewissenhafte Betriebsleiter wird nur solche Maschinen kaufen, deren Hersteller bereits die fertigen Absaugorgane mit eingebaut haben. Sind die Arbeitsmaschinen einmal montiert, so ist ihre Zugänglichkeit nach unten meist aufgehoben.

Eine unsachgemäße Absaugung, deren ständige Nachprüfung in Betracht ihrer Bedeutung für die Sicherheit nicht den Arbeitern, sondern Sachverständigen überlassen werden sollte, kann zuviel aber auch zu wenig Staub mitnehmen. Fälle, in den möglichst viel Staub aus dem verarbeiteten Gut herausgezogen werden soll, oder in denen leichte und schwere (feuchte) Staubluft gefördert oder schließlich die entfernte Staubluft dauernd beobachtet werden soll, liegen trotz gleicher Luftmengen und gleicher Rohrquerschnitte naturgemäß grundverschieden.

Eine Unterdruckzone (sogenannte Fehlluft) kann man nur vor ein Saugloch legen, wenn das spezifische Gewicht der Staubluft mit dem der Fehlluft ziemlich übereinstimmt. Das ist nur in den wenigsten Fällen

¹ Auf Mode, Ventilatoranlagen, Verlag Walter de Gruyter & Co., sei verwiesen.

möglich. Mit sogenannter Fehlluft, also durch ein frei vor dem Saugloch endigendes Rohr, zu arbeiten, läßt wohl die abgezogene Staubluft gut sichtbar werden. Aber aus einer Mahlmaschine, die stark erwärmt ist, deren Innenluft bei 95% Feuchtigkeit und 50° als schwerer Brüden anzusprechen ist, zusammen mit viel leichter Fehlluft abzusaugen, ist unzweckmäßig. Die Saugleitung wird sich die leichtere Fehlluft holen, den schweren Staubluftbrüden zum größten Teil liegen lassen. Besonders bei Mahlgangentstaubung findet sich in vielen sonst gut eingerichteten Fabriken diese vermeintlich richtige, aber in Wirklichkeit unzweckmäßige Absaugungsart.

Die Rohre der Entstaubungsanlagen sollen keine starken Krümmer haben. Haupt- und Nebenrohre münden zweckmäßig unter möglichst spitzem Winkel ineinander. Die Verengung des Rohrquerschnittes nach solchen Einmündungen auf ein kurzes Stück ist oft wertvoll, erzielt Injektorwirkung. Je leichter die Kondensation, um so größer soll die Luftgeschwindigkeit sein. Bei Förderung feuchter Staubluft ist guter Wärmeschutz der Rohre notwendig, besonders bei der Rohrführung im Freien. Das Rohrnetz muß stets gut zugänglich sein, Reinigungs- und Explosionsklappen haben. Wegen Brand oder Explosionsgefahr ist, wie bereits früher erwähnt, Dezentralisation und gesonderter Antrieb der Entstaubungsanlage ratsam.

Die Entstaubungsrohre, deren Querschnitt hier nur so berechnet werden darf, daß die abgesaugte Menge Staub bei geringer Luftgeschwindigkeit niemals die gefährliche Konzentration, also die untere Explosionsgrenze, erreicht, gehen senkrecht entweder nach unten oder nach oben, zum Aspirationskanal. Die Rohre dürfen nirgends eine Stelle haben, wo sich Staub absetzen kann. Die Art des Staubes, ob trocken oder feucht, gibt den Ausschlag, ob der in jedem zu entstaubenden Arbeitsraum längslaufende Aspirationskanal aus Holz oder Eisen sein kann.

Der Querschnitt des Aspirationskanals muß mindestens 50% größer sein als die Summe aller in ihn mündenden Ventilationsrohre. Er muß ferner an seinem Auslauf, also da wo die Schnecke entleert, einen eisernen Explosionsschlot haben, dessen Querschnitt größer sein soll wie der des Aspirationskanals. Eine gußeiserne Explosionsklappe auf dem Schlot mit Gegengewicht gut ausbalanciert, schließt den Schlot gegen Regen u. dgl.

Es sei gleich hier bemerkt, daß das Auslaufrohr der Aspirations-schnecke stets ins Freie führen und der im Aspirationskanal bereits niedergeschlagene Staub im Freien abgesackt werden sollte. Das Rückführen des abgesetzten Schneckenstaubes im automatischen Weg zur Mahl- und Siebanlage ist zu verwerfen. Hier muß eine scharfe Trennung von den Arbeitsmaschinen erfolgen, damit eine evtl. Druckwelle, die durch den Aspirationskanal jagt, zündet und trotz des Explosionsrohres und des Saugrohres zum Ventilator bzw. Filter ihren Weg noch durch das Ablaufrohr des Aspirationskanals nehmen sollte, gefahrlos im Freien oder in einem ungefährdeten Raum verpufft.

Das Hauptsaugrohr aus dem Aspirationskanal — dieser ist absolut luftdicht zu halten — muß den Querschnitt aller zum Aspirationskanal führenden Ventilationsrohre haben. Es wurde bereits früher erwähnt,

daß jeder später erfolgende neue Rohranschluß an den Kanal eine Erweiterung dieses Hauptrohres zeitigen muß. Hierin wird viel gesündigt.

Wir wollen voraussetzen, daß wir wertvolle Staube — heute hat tatsächlich jeder Staub seinen Wertfaktor — zurückzugewinnen bzw. Maschinen und Raumluft von ihnen zu säubern haben. Dementsprechend haben wir uns die Ventilation und die Filter anzusehen.

Ventilatoren aus Aluminium, mindestens aber mit Aluminiumflügeln, bei denen ein Funken beim Berühren mit Fremdkörpern oder der Seitenwände kaum möglich ist, haben sich gut bewährt. Warum die gesamte Entstaubungsanlage durch gesonderten Motor zu betreiben ist, haben wir früher schon gesehen. Ebenso auch warum die Tourenzahl des Ventilators, auf der sich alle Luftberechnungen der Rohre aufbauen, gleichmäßig bleiben muß. Diese Berechnungen müssen die Gewähr geben, daß die Staubkonzentration im ganzen Entstaubungssystem konstant unter der Explosionsgrenze bleibt.

Auch sonst ist die Art des Ventilators den jeweiligen Betriebsverhältnissen anzupassen. Man soll nur Saugventilatoren verwenden, bei denen, weil sie am Schluß des ganzen Systems stehen, eine Lagerverstaubung und aus ihr erwachsende Gefahren nicht zu befürchten sind.

Ich möchte bei dieser Gelegenheit noch einmal der Dezentralisation der Entstaubung das Wort reden. Es ist gut, wenn die durch die Entstaubungsanlage geförderte Explosion auf einen kleinen Bereich beschränkt bleibt. Dann wird sie auch im Filter bzw. der Staubsammelanlage nur eine geringe Staubmenge zum Aufwirbeln und evtl. Zünden vorfinden. Jedenfalls hat in allen Fällen, die mir vorgekommen sind, die Dezentralisation die Wirkung einer stattgehabten Explosion eingeschränkt.

Obwohl ich annehmen kann, daß die verschiedenen Staubsammler bzw. Staubfilter (trockener Niederschlag) bekannt sind, will ich sie dennoch kurz, und zwar der Reihenfolge ihres Entstehens nach, nennen. Sogenannte Gasreiniger, die oft Filter genannt werden, sollen von unseren Betrachtungen ausgeschlossen bleiben.

1. System der Staubrückgewinnung in den Staubkammern durch Geschwindigkeitsverringerung, teilweise mit zwischengeschalteten Filtertüchern.

2. Der auf dem System der Fliehkraft beruhende Zyklon.

3. Schlauchfilter.

4. Luftfilter mit viszingenetzten Füllkörpern.

5. Elektrofilter mit hochgespanntem Gleichstrom arbeitend.

6. Wanderschicht Schüttfilter.

7. Gliederband Viszinfiler.

8. Luftfilter mit Spezialfüllkörpern.

Ihre Vorteile und Nachteile hängen nur von der zu bearbeitenden Staubart ab.

Es ist nicht richtig, wenn man, wie das bisher meist empirisch gehandhabt wurde, einfach einen Zyklon oder einen Schlauchfilter aufstellt, wenn man Staub zu sammeln hat. Nicht nur muß gut erwogen

werden, ob Trocken- oder Naßfilter in Frage kommen, sondern auch welches System der verschiedenen Sammelarten.

Ergebnisse von Laboratoriumsversuchen über Staube sind von geringem Wert. Selbst in vorbildlich eingerichteten Laboratorien, selbst wenn man dort mit den gleichen Betriebsmaschinen arbeiten wollte, können niemals die Betriebsverhältnisse berücksichtigt werden. Nicht einmal die stets variable Speisung, der Feuchtigkeitsgehalt, die Temperaturen, Spannungen und Luftgeschwindigkeiten außerhalb und innerhalb der Anlage, der Rohre und noch vieler anderer Umstände, wie sie der praktische Betrieb nun einmal mit sich bringt. Ich warne eindringlichst davor, Betriebsschutzmaßnahmen gegen Staub auf Laboratoriumsversuchen aufzubauen.

Wir vergegenwärtigen uns kurz die vorerwähnten Staubsammelsysteme, denen wir noch am Schluß die in weit mehr Fällen als es geschieht anwendbare Naßentstaubung, anfügen und können dann die für jede Staubart zweckmäßige Sammel- bzw. Filterart wählen.

1. Staubkammer. Ihre Arbeitsweise ist bekannt. Ihren Vorteilen — keine Wartung, kein Mechanismus — stehen doch so große Nachteile gegenüber, daß sie von Aufsichtsämtern, Berufsgenossenschaften, Versicherungen usw. abgelehnt werden sollten. Die Aufwirbelung des Staubes, die Unmöglichkeit gerade den feinsten Staub, der mit der Luft entweicht, zu bannen, das Ablagern großer Mengen Staub in den Kammern, das besonders bei feuchter Staubluft lästige Verschmieren und Beeinträchtigen des Absetzens, das noch lästigere Reinigen der Kammer evtl. auch der Tücher, der erforderliche beträchtliche Raum stehen weiterer Verwendung entgegen. Die Auswirkungen von Staubexplosionen sind in Staubkammern stets am heftigsten gewesen.

2. Zyklon. Bei Stauben hohen spezifischen Gewichtes sind sie bewährt. Bei Stauben von geringerem spezifischen Gewicht sind sie nur als Vorabschneider anzusprechen. Eine völlige Bannung von schwebendem leichtem Staub nur durch Fliehkraft ist nicht möglich. Die Mengen des mit der Abluft entweichenden allerfeinsten Staubes sind so beträchtlich, daß ihre Ermittlung — wenn sie öfter erfolgen würde — überraschte. Kein Staub ist heute ganz wertlos. Die Staubverluste werden durch die Vorteile der sich erübrigenden Wartung, des fehlenden Mechanismus, nicht ausgeglichen. Wegen der meist guten Erdung sind Aufladungen in Zyklonen nicht zu befürchten. Eine evtl. Stichflamme würde aber nicht nur den Zyklon, sondern auch den Druckventilator, der hier verwendet werden muß, zerstören.

3. Schlauchfilter. Sie haben sich vor Erfindung der Elektrofilter und der Luftfilter mit Füllkörpern bestens eingeführt. Sie arbeiten mit Saugventilatoren, haben geringen Raumbedarf, gewinnen den Staub unter kontinuierlicher Austragung. Als vollkommen sicher sind sie nicht anzusprechen. Viele Schadenfälle sind im Filter entstanden, und hineingetragene Explosionsgemische oder Stichflammen haben den Filter in allen Fällen zerstört. Der Verbrauch an Schläuchen ist bei ordentlicher Wartung zwar unbeträchtlich. Der Abklopfmehanismus aber bedingt Antriebsvorrichtungen, ihre Aufstellung ist abhängig von

Transmissionen. Kraftbedarf von Schlauchfiltern und ihr Strömungswiderstand ist nur theoretisch gering. Besonders bei feuchter Staubluft ist trotz des Klopf- bzw. Abstreichmechanismus die Reinhaltung der Schläuche nicht immer möglich. Eine allgemein gültige Formel für den Luftwiderstand aufzustellen, ist nicht möglich. Denn selbst die Filterstoffe, ihre Aufrauung, ihre evtl. Imprägnierung sind zu ungleichmäßig. Versuche von Rietschel, Möller, Sell u. a. haben auch den Unterschied zwischen Filtern bzw. Schläuchen aus Stoff und Metallgewebe gezeigt. Jedenfalls sind die Rückwirkungen auf die Saugkräftigkeit des Ventilators bei abgenutztem Stoff, bei teilweise oder ganz mit Staub zugelegten Maschen der Gewebe ganz beträchtliche. Es sollten daher des öfteren die Widerstandsschwankungen in den Schläuchen bzw. Filtern geprüft werden, denn wenn die Berechnung und Dimensionierung der Zuleitungsrohre, die doch den Zweck haben, das Staubgemisch unter der gefährlichen Konzentration zu halten, sich dauernd verschieben, eine wirklich gefahrlose Ventilation nicht erreicht werden kann, so nutzen auch die anderen Sicherheitsfaktoren eines Betriebes nicht viel. Hierauf kommt es aber an! Die Feuergefährlichkeit bzw. Brennbarkeit der Schläuche, ihre Beeinflussung durch die oft hohe Temperatur von Staub- bzw. Brüdenluft aus den verschiedenen Mahlssystemen, ihr Verschleiß, läßt es m. E. empfehlenswert erscheinen, sie durch Filter aus unbrennbaren Stoffen (Metall), ohne Mechanismus und stets gleichbleibenden Widerstandsverhältnissen, zu ersetzen.

4. Luftfilter mit Füllkörpern. Diese während des Krieges aus der Zwangslage (Mangel an Filtertüchern, Geweben) erdachten Filter haben einen Grad der Vollkommenheit erreicht, der bei vielen Staubarten die dominierende Stellung der Schlauch- (Tuch-) Filter bereits bedroht. Der Viszinluftfilter ist unbrennbar, hat keinen Mechanismus, braucht geringen Raum, seine Anschaffungskosten scheinen niedriger wie die des Schlauchfilters. Das Wesentliche ist aber in der Unmöglichkeit, im Filter selbst irgendwelche Explosionen oder Brände zu erzeugen, zu sehen, wie auch in den Filter gelangende Explosionsgemische zwangsläufig ersticken müssen, keinen Raum zur Aufwirbelung oder Expansion finden. Es kann ungünstigenfalls die Wände einer Filterzelle auseinandertreiben. Da aber alle Teile aus Metall, ist die Wiederverwendbarkeit gesichert.

Die Arbeitsweise des Viszinluftfilters ist folgende: Die zu reinigende Luft durchströmt zwangsläufig in stetem Richtungswechsel, pulsierend eine Filterschicht, die aus zweckmäßig geformten Widerstandskörpern (Metall) besteht, und deren große leicht zugängliche Oberfläche mit einer nicht verdunstenden staubbindenden, nicht brennbaren Flüssigkeit benetzt ist. Das Füllgut besteht aus Metallringen gleicher oder verschiedener Größe. Es vereinigt ein Maximum von Oberfläche, Labyrinthik und freiem Querschnitt der Luftwege. An Sicherheit und Einfachheit übertrifft es bei weitem die unter 1—3 erwähnten Filter. Aber es kann nur da in Frage kommen, wo der Staubgehalt der abgesaugten Luft sehr gering ist, bzw. wo die untere Explosionsgrenze nur wenige Gramm je m^3 beträgt. Denn die Speicherfähigkeit dieses Filters

ist gering (je m² Filter etwa 6 Liter). Die Reinigung, die allerdings während des Betriebes durch Auswechslung der Zellen bewirkt werden kann, erfordert Wartung. Automatische Austragung ist nicht möglich.

5. Elektrofilter. Die diese Großfilter bauenden Firmen, ob sie nach dem Cottrell- oder nach eigenen Verfahren bauen, und die ihre Erfolge anfangs mehr auf dem Gebiete der Reinigung von Rauchgasen, von unbrennbaren Stäuben: Zementstaub, Metallstaub usw. buchten, haben sich nun auch auf brennbare Stäube geworfen. Sie arbeiten mit Sprühelektroden und mit Niederschlags- (Sammel-) Elektroden. Es bleibt für unsere Erörterungen gegenstandslos, ob die Elektroden aus weitmaschigen Streckmetallen, glatten Drähten, Messing oder Nickelkettchen bestehen. Die Staubluft wird durch ein elektrisches Feld bis zu 80000 Volt geleitet. Aus der Ausströmelektrode sprüht die hochgespannte Elektrizität gegen die umgebende Rohrwand mit dem Erfolg, daß die mitgeführten Schwebeteilchen mit der Polarität der Elektrode aufgeladen und in Richtung gegen die gegenpolige Niederschlagslektrode geschleudert werden, an der sie sich absetzen und ihre Ladung abgeben. Der auf diese Weise an der Sammelelektrode entstehende Niederschlag fällt oder fließt in einen Sammelbehälter, die Luft zieht rein ab. Ein kleiner Teil des Staubes geht auch zur Sprühelektrode, bleibt an ihr hängen. Die Entfernung dieses Staubes geschieht teilweise von selbst nach dem Gesetz der Schwerkraft, teils durch künstliche Erschütterung, Klopfen u. dgl. Man hat das motorisch zu bewirken versucht.

Das Ganze ist stehend oder liegend in einer Kammer aus Eisenblech angeordnet. Zur Umformung des in den meisten Werken vorhandenen Wechselstroms bis zu 80000 Volt sind außerdem Transformator, Gleichrichter, Schaltpult erforderlich. Wir haben also den eigentlichen Hochspannungsraum mit seiner Apparatur und den Elektrofilter nötig. Eine durchaus nicht einfache und immerhin sachkundig zu bedienende Apparatur, deren Erstellungskosten beträchtlich sind. Aus diesen Gründen allein schon ist die Wirtschaftlichkeit bei kleinen Luftmengen (z. B. 10000 m³/h) zu bezweifeln. Elektrofilter sind nur Großfilter, verarbeiten bis zu 300000 m³/h und mehr.

Wir wollen nun die uns interessierenden Gefahrmomente, die aus dem Elektrofilter selbst entstehen können, betrachten. Wie Ehring, Fischer, Steinbrecher u. a. bestätigen, hat es anfangs bei Innenentstaubungen häufig Brände, Verpuffungen und Explosionen gegeben, die zum Teil Stillsetzungen nötig machten. Es scheinen jedoch bei vielen Staubarten und insbesondere bei sogenannter Brändenstaubung diese Gefahren behoben zu sein, obwohl die noch zu kurzen Erfahrungsjahre keineswegs ein abschließendes Urteil gestatten. Wir halten uns an die Ermittlungen des bekannten Geheimen Bergrat Dr. e. h. Franke, da sich dieselben im großen mit dem Ergebnis eigener Studien decken. Franke sagt wörtlich:

Die Abstände der Niederschlagslektroden mußten bei fast allen Systemen vergrößert werden. Die Funkenüberschläge glaubt man damit beseitigt. Man hat ferner die Drahtstärke der Sprühelektroden von 2 auf 1,5 in einzelnen Fällen sogar

auf 1 mm geändert, ein Vorteil, der durch die Verminderung der Haltbarkeit der Drähte fragwürdig erscheint. Es sind auch Überschläge veranlaßt worden durch Haarrisse in den Betonplatten, die sich voll Staub setzten. Man hat andere Platten konstruiert. Man hat auch Nullspannungs- und Maximalauslöser eingeschaltet, die das etwaige Entstehen oder Herannahen von gefahrdrohenden Zuständen selbsttätig verhüten oder rechtzeitig warnend anzeigen sollen. Es wurde beobachtet, daß bei Verminderung des Wassergehaltes im Brüden (bei drei Mahleinheiten z. B. ist es anders als bei fünf oder sieben und wieder anders bei ungleicher Beschickung) bis zu einer bestimmten Grenze Überschläge eintraten, die Staubverpuffungen auslösten.

Da man nie wissen kann, wann dieses „kritische Gebiet“ erreicht ist, ist allein schon dieser Umstand als bedenklich zu erachten. In einem großen Werk wurde durch einen Filter eine Explosion ausgelöst, deren Ursache in einem Montagefehler des Elektrikers ermittelt werden konnte! Schließlich wird noch als Schutz gegen Überschläge der Einbau eines sogenannten „Fritters“ empfohlen. Bei seinem Ansprechen ertönt Signallupe. Gleichzeitig erfolgt ein selbsttätiges Stillsetzen der Zellenradschleusen sowie der Transportelemente, des Ventilators.

Wenn nun schon die im vorstehenden kurz erwähnten Vorrichtungen empfohlen werden, dann scheint es mit der 100% igen Sicherheit dieser Großfilter, wenigstens bei den unserer Betrachtung zugrunde liegenden Zwecken, nicht voll befriedigend bestellt zu sein. Erhärtet wird diese Annahme noch durch anscheinend sehr notwendige Sicherheitsmaßnahmen bei In- und Außerbetriebsetzung des Elektrofilters. Franke faßt seine großen Erfahrungen darin wie folgt zusammen:

Das Inbetriebsetzen der Elektrofilter am Montag oder vor der Schicht erfolgt vorsichtigerweise erst nach Anwärmen der Filter, damit Kondensatbildung und Überschläge vermieden werden. Bei jedem Stillsetzen der Mahl- bzw. Zerkleinerungsmaschinen ist die Filterspannung im Verhältnis zurückzuregeln.

Wenn nun alle diese Dinge eingebaut, beobachtet, reguliert werden sollen, dann ist eine geschulte Hilfskraft notwendig. Die absolute Sicherheit vor einer Gefahr steht also auf Menschengedanken, Menschenhirnen. Das ist aber eine problematische Sicherheit. Eins wird man aber auch mit den zuverlässigsten Wärtern nicht erreichen: Die physikalischen Verhältnisse der Staubluft werden durch Anlassen oder Stillsetzen einer oder mehrerer Mahl- oder Maschineneinheiten, durch vermehrten oder verminderten Luftzutritt stets verändert, ebenso die elektrische Aufladung oder Leitfähigkeit. Das wiederum erfordert jeweils veränderte Einstellung des elektrischen Feldes, rechtzeitiges Anzeigen, Abhelfen, Außerbetriebsetzen usw. Wir können uns nicht verhehlen, daß ein derartiger Betrieb schwierig und kostspielig ist. Eine Ansicht, die durch einen Fachmann wie Zeuner, Dresden (in Heft 26 1929 der „Braunkohle“) bestätigt wird. Er schreibt dort wörtlich:

Die eingebauten elektrischen Entstaubungen wurden entfernt und an deren Stelle Zyklontrocken-Naßentstaubung bekannter Art eingebaut. Zum Einspritzen wird dabei das aus den Umluftkühlern der Mühlen anfallende Wasser benutzt. Die Staubabscheidung in dieser ist nur um wenig schlechter als in den elektrischen Anlagen. Verschiedene Verpuffungen, die in den elektrischen Entstaubungen der Briquetfabrik des Werkes aufgetreten waren, ließen erkennen, daß nicht alle

Kohlenarten ungefährlich gereinigt werden können. Auch in der Brikettfabrik wurden die Elektrofilter durch das Naß-Trocken-Zyklonverfahren ersetzt.

Zweifellos werden im Laufe der Jahre alle derartigen Schwierigkeiten des Elektrofilters, dem eine große Zukunft gehört, behoben¹.

6. Wanderschicht-Schüttelfilter. Die in den Filter gelangende Staubluft wird zwangsweise durch eine in steter Bewegung befindliche Kiesschicht geführt, gibt den Staub ab, läßt die Reinluft durch den Saugventilator entweichen. Der im Kies hängengebliebene Staub wird kontinuierlich abgesiebt und abgeschneckt oder direkt dem Silo zugeführt. Ein größerer, allerdings einfacher Mechanismus (Motorantrieb) bewirkt automatische Arbeitsweise. Wartung erübrigt sich. Aufstellung kann innerhalb der Arbeitsräume unbedenklich erfolgen, weil dieser Filter gefahrlos arbeitet. Da sich der in den Filter gelangende Staub unter die bewegliche Kiesfüllung mischt, schwebender oder ruhender Staub nicht existiert, die Staubeilchen durch die Füllung voneinander getrennt werden, ist eine Explosionsmöglichkeit im Filter ausgeschlossen. Und ein in den Filter gelangendes Explosionsgemisch oder eine Stichflamme muß in der Kiesschicht ersticken, kann irgendwelchen Schaden nicht anrichten. Bei Staubmengen von $25,2 \text{ g/m}^3$ wurde ein Wirkungsgrad von 99,2% erzielt.

Als Nachteil ist der relativ hohe Widerstand mit etwa 40 mm WS zu nennen. Durch entsprechende Bauart des Saugventilators hat man diesen Widerstand, der im übrigen stets gleich bleibt, erfolgreich überwunden. Auch der hohe Kraftbedarf dieses Ventilators und der des kleinen Motors für die Kiesbewegung ist zu berücksichtigen. Unter den bis jetzt erwähnten Filtern hat sich bei trockener Staubgewinnung der Wanderschichtfilter als der sicherste und wirtschaftlichste erwiesen.

7. Gliederbandfilter. Die Staubluft prallt gegen ein von oben nach unten laufendes Band in staubdichtem Gehäuse. Das Band wird durch Nebeldüsen so feucht gehalten, daß der Staub hängen bleibt, beim Abwärtsgleiten des Bandes abgebürstet und der Austragschnecke zugeleitet wird. Die Reinluft entweicht nach oben. Er ist ein völlig unbrennbarer Filter von hoher Leistung. Nachteilig sind der Mechanismus und die sich ergebende Benetzung des Staubes. Da jedoch die Benetzung nur geringen Umfang hat und sich auf die Oberfläche nicht löslicher Staubeilchen beschränkt, hat sich Abtrocknung an der Luft als ausführbar erwiesen. Raum und Kraftbedarf dieses Filters sind gering.

8. Luftfilter mit Spiralfüllkörpern. Dieses Filtersystem verdient größte Beachtung. Seine Arbeitsweise ist die denkbar einfachste, ohne Mechanismus, ohne Wartung. Seine Aufstellung innerhalb des

¹ Bei Drucklegung waren mehrjährige Erfahrungen aus der Braunkohlenindustrie mit Elektroentstaubungen zu übersehen. Unter anderm von 11 Fabriken mit 120 Filteranlagen. Wenn auch ganz wesentliche Fortschritte zu verzeichnen sind, kann doch gesagt werden, daß hier ein Gebiet der Technik vorliegt, auf dem technisch und wissenschaftlich noch sehr viel zu leisten sein wird.

Arbeitsraumes kann als unbedenklich angesprochen werden. Alle Teile sind aus Metall. Abnutzung und Unterhaltung sind die geringsten aller Filter. Der Filter arbeitet mit Saugventilator, sein Widerstand bleibt stets der gleiche. Die Füllkörper bestehen aus Spiralen. Diese sind auf einer Anzahl übereinanderliegender Roste aufgeschüttet. Ganghöhe und Windungszahl der Füllkörper sind in ein bestimmtes Verhältnis gebracht. Es wurde die Aufgabe, mit den Füllkörpern die denkbar größte Oberfläche in einem geringsten Volumen auf billigste Art zu erreichen, in vorbildlicher Weise gelöst. Auch hier sind aus dem Filter Explosionen nicht möglich, in den Filter hineingetragene Explosionsgemische müssen ersticken. Als nachteilig ist die Reinigung der Roste zu nennen. Sie muß bei Schichtende mit Ausblasen durch Dampf oder Düsen bewirkt werden. Obwohl das Ausblasen nur einen Moment dauert, so ist doch damit eine Anfeuchtung des Staubes verbunden. Auch eine evtl. Trocknung, kurz die Aufwendung von Arbeitslöhnen.

9. Düsennaßfilter. Dieser Filter hat sich nicht nur bei löslichen Stäuben bewährt. Ein Druckventilator bläst die Staubluft in ein mit Wasser halbgefülltes Bassin kleinsten Ausmaßes. Aus diesem führen Rohre des mehrfachen Querschnittes wie der des Einblasrohres. Mit ganz wesentlich geminderter Geschwindigkeit passiert die Luft in diesen Rohren eine Anzahl horizontaler, durch besonders konstruierte Düsen erzeugte Wasserschleiben, welche den Rest des Staubes, sofern er nicht bereits im Bassin geblieben ist, herausfiltern. Schließlich zieht der inzwischen ganz langsam gewordene Luftstrom noch durch Jalousien und entweicht staubfrei. Da das Bassinwasser zur Speisung der Düsen verwendet wird und eine sehr hohe Sättigung verträgt, ist der Wasserverbrauch ein ganz unbedeutender. Auch bei Niederschlag nichtlöslicher Staube ist die je Schicht erforderliche Wassermenge nur wenige Kubikmeter. Es erübrigt sich, zu sagen, daß eine evtl. Stichflamme, selbst wenn das Wasser und die Düsenschleiben sie nicht löschen, gar keine Zerstörungsgelegenheit hat, weil in dem Filter kein schwebender bzw. zur Explosion zu bringender Staub vorhanden ist.

Wir haben die verschiedenen Filterarten nur unter dem Gesichtspunkt der Sicherheit betrachtet. Für jede Staubart ist die entsprechende Filterart vorhanden. Es sollte mehr als das bisher üblich ist, hierauf Rücksicht genommen werden.

Literatur.

- Beyersdorfer, P.: Die Zuckerstaubexplosionen. Z. Ver. dtsh. Zuckerind. 1922, 475—533. — Derselbe: Staubexplosionen. Dresden, Theodor Steinkopff 1925.
 Meldau, R.: Der Industriestaub. Berlin NW 7, VDI-Verlag 1926.
 Jahresberichte der Gewerbeaufsichtsbeamten, Jahrg. 1927—29.
 Gibbs: The Dust Hazard in Industry, London 1925.
 Jaeckel, G.: Z. techn. Physik 5, (1924).
 Price und Brown: Dust Explosions, Boston USA.
 Geck, W. H.: Die gefahrlose Zuckermüllerei, Worms 1923.
 Der einschlägigen Arbeiten von Prandtl, Sell, Allner, Ritter sei hier besonders gedacht.

Schriften aus dem Gesamtgebiet der Gewerbehygiene. Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Gewerbehygiene in Frankfurt a. M., Platz der Republik 49.

- Heft 6: **Die Meldepflicht der Berufskrankheiten.** Eine Umfrage, bearbeitet von Dr. **E. Francke**, Frankfurt a. M., und Sanitätsrat Dr. **Bachfeld**, Offenbach. 52 Seiten. 1921. RM 1.60
- Heft 7, I. Teil: **Bleivergiftung und Bleiaufnahme.** Ihre Symptomatologie, Pathologie und Verhütung mit besonderer Berücksichtigung ihrer gewerblichen Entstehung und Darstellung der wichtigsten gefahrbringenden Verrichtungen. Von **Thomas M. Legge** und **Kenneth W. Goadby**. Übersetzt von Dr. **Hans Katz†**. Herausgegeben und mit Anmerkungen versehen von Dr. **Ludwig Teleky**. Mit 6 Textabbildungen und 2 Tafeln. Nebst einem Anhang: Die deutschen und deutschösterreichischen Verordnungen zur Verhütung gewerblicher Bleivergiftung. Zusammengestellt im Institut für Gewerbehygiene von Elise Blänsdorf, Bibliothekarin. VIII, 372 Seiten. 1921. RM 13.—
- II. Teil: **Bleiliteratur.** Veröffentlichungen über Bleivergiftung, Spezialarbeiten und Merkblätter, Textangabe der Bleiverordnungen für das Deutsche Reich, Deutschösterreich und außerdeutsche Staaten. Zusammengestellt im Institut für Gewerbehygiene von Elise Blänsdorf, Bibliothekarin. IV, 108 Seiten. 1922. RM 6.60
- Heft 8 bis 10: **Internationale Übersicht über Gewerbekrankheiten** nach den Berichten der Gewerbeinspektionen der Kulturländer. Mit Unterstützung von Dr. **Ludwig Teleky** bearbeitet von Professor Dr. **Ernst Brezina**, Wien.
- Übersicht über das Jahr 1913. VIII, 143 Seiten. 1921. RM 4.80
 Übersicht über die Jahre 1914—1918. XII, 270 Seiten. 1921. RM 10.—
 Übersicht über das Jahr 1919. VII, 118 Seiten. 1922. RM 4.20
- Heft 11: **Die deutsche Bleifarbenindustrie vom Standpunkt der Hygiene.** Nach eigenen Untersuchungen 1921—1922. Von Geh. Hofrat Professor Dr. **K. B. Lehmann**, Direktor des Hyg. Inst. Würzburg. VI, 95 Seiten. 1925. RM 3.90
- Heft 12: **Theophrastus von Hohenheim, genannt Paracelsus: Von der Bergsucht und anderen Bergkrankheiten.** Bearbeitet von Professor Dr. **Franz Koelsch**, Ministerialrat, München. Mit 1 Bildnis. VI, 70 Seiten. 1925. RM 4.80
- Heft 13: **Über die Gesundheitsgefährdung bei der Verarbeitung von metallischem Blei** mit besonderer Berücksichtigung der Bleilöterei. Von Dr. med. **Hans Engel**, Berlin. IV, 40 Seiten. 1925. RM 2.70
- Heft 14: **Was muß der Arzt von der neuen Verordnung über die Einbeziehung der Berufskrankheiten in die Unfallversicherung wissen und welche Pflichten ergeben sich für ihn daraus?** Versicherungrechtliche und ärztliche Hinweise. Unter Mitarbeit von Professor Dr. Hayo Bruns, Gelsenkirchen, Geh. Sanitätsrat Dr. Cramer, Cottbus, Dr. Martius, Berlin, Ministerialrat Professor Dr. Thiele, Dresden herausgegeben von den **Fabrikärzten der chem. Industrie**. Mit 6 Abbildungen im Text und 1 Spektraltafel. IV, 72 Seiten. 1925. RM 4.50
- Heft 15: **Die deutsche Fabrikpflegerin.** Von Dr. **Ludwig Schmidt-Kehl**, Assistent am Hygienischen Institut der Universität Würzburg. 31 Seiten. 1926. RM 1.80
- Heft 16: **Gewerbestaub und Lungentuberkulose (Stahl-, Porzellan-, Kohle-, Kalktaub und Ruß).** Eine literarische und experimentelle Studie von Professor Dr. med. **K. W. Jötten**, Münster i. W., und Dr. med. **W. Arnoldi**, Münster i. W. Mit 105 Abbildungen. VI, 256 Seiten. 1927. RM 27.—
- Heft 17: **Die Staublungerkrankung (Pneumonokoniose) der Sandsteinarbeiter.** Von Professor Dr. **A. Thiele**, Ministerialrat, Dresden, u. Stadtmedizinalrat Dr. **E. Saupé**, Dresden. Mit 22 Abbildungen. III, 69 Seiten. 1927. RM 6.90
- Heft 18: **Die Beseitigung der beim Tauch- u. Spritzlackieren entstehenden Dämpfe.** Im Auftrag des Technischen Ausschusses der Deutschen Gesellschaft für Gewerbehygiene bearbeitet von Oberregierungs- und -gewerberat **Wenzel**, Obergeringieur **Aivensleben**, Techn. Aufsichtsbeamter der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik und Gewerberat a. D. Dr. **Witt**, Techn. Aufsichtsbeamter der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie in Berlin. Zweite, neubearbeitete und ergänzte Auflage. Mit 36 Abbildungen. V, 47 Seiten. 1930. RM 3.90
- Heft 19: **Ergographische Studien über die Funktion der Handstrecker bei Arbeitern verschiedener Bleigefährdung.** Zugleich ein Beitrag zur Frage der Vergleichsmöglichkeit ergographischer Untersuchungen symmetrischer Muskelgruppen. Von Dr. med. **Carl E. Albrecht**, Bremen. Mit 20 Abbildungen. III, 62 Seiten. 1928. RM 6.—
- Heft 20: **Gewerbliche Augenschädigungen und ihre Verhütung.** Von Dr. med. **O. Thies**, Augenarzt in Dessau. Mit 35 Abb. IV, 43 Seiten. 1928. RM 4.80
- Heft 21: **Das Sandstrahlgebläse** unter besonderer Berücksichtigung der Maßnahmen zur Vermeidung von Schädigungen bei seiner Verwendung. Im Auftrag des Technischen Ausschusses der Deutschen Gesellschaft für Gewerbehygiene, unter Mitwirkung von Reichsbahnrat E. Lehmann, Nied a. Main, Gewerberat W. Vogel, Halberstadt, bearbeitet von Oberregierungs-gewerberat a. D. **K. R. Maukisch**, Leipzig, und Obergeringieur **H. Sperk**, Leipzig. Mit 44 Abbildungen. V, 46 Seiten. 1928. RM 5.70

(Schriften aus dem Gesamtgebiet der Gewerbehygiene.)

- Heft 22: **Die Aschebeseltung in Großkesselanlagen.** Im Auftrag des Technischen Ausschusses der Deutschen Gesellschaft für Gewerbehygiene unter Mitwirkung von Regierungs- und Gewerberat A. Pasch, Gumbinnen, Gewerberat D. Andresen, Berlin, Obergeringieur M. Schimpf, Essen, nebst Beiträgen von Gewerberat F. Budde, Bitterfeld, und Gewerberat Dr. A. Rosebrock, Köln, bearbeitet von **A. Rühl**, Ministerialrat, und **R. Schulte**, Direktor, Essen. Mit 23 Abbildungen. V, 46 Seiten. 1928. RM 4.80
- Heft 23: **Das Tiefdruckverfahren** unter besonderer Berücksichtigung der Maßnahmen zur Vermeidung von Schädigungen bei seiner Verwendung. Im Auftrag des Technischen Ausschusses der Deutschen Gesellschaft für Gewerbehygiene bearbeitet von Dr. **R. Krug**, Halle-Amendorf, Dipl.-Ing. **Fr. Rothe**, Direktor der Deutschen Buchdrucker-Berufsgenossenschaft, Leipzig, und **J. Wenzel**, Oberregierungs- und -gewerberat, Berlin. Zweite, neubearbeitete und ergänzte Auflage. Mit 21 Abbildungen. VI, 35 Seiten. 1930. RM 3.60
- Heft 24: **Internationale Übersicht über Gewerbekrankheiten** nach den Berichten der Gewerbeaufsichtsbehörden der Kulturländer über die Jahre 1920—1926. Bearbeitet von Professor Dr. **Ernst Brezina**, Wien. VI, 205 Seiten. 1929. RM 12.—
- Heft 25: **Über die Gesundheitsverhältnisse der Arbeiter in der deutschen keramischen**, insbesondere der Porzellan-Industrie mit besonderer Berücksichtigung der Tuberkulosefrage. Von Professor Dr. **K. B. Lehmann**, Geheimrat, Direktor des Hygienischen Instituts, Würzburg. 55 Seiten. 1929. RM 3.60
- Heft 26: **Gewerbestaub und Lungentuberkulose.** Zweiter Teil. (Zement-, Tabak- und Tonschiefer-Staub.) Von Professor Dr. med. **K. W. Jötten**, Münster i. Westf., und Dr. **Thea Kortmann**, Münster i. Westf. Mit einem Beitrag: Übt das Staubstreuungsverfahren in den Kohlenbergwerken einenschädigenden Einfluß auf die Gesundheit der Bergleute aus? Von Dr. G. Schulte, Leiter der Röntgenabteilung des Knappschaftskrankenhauses Recklinghausen. Mit 56 Abbildungen. IV, 125 Seiten. 1929. RM 21.—
- Heft 27: **Die soziale Hygiene in der badischen Bürstenindustrie.** Von Dr. **Artur Brandt**, Mülhausen i. Thür. 59 Seiten. 1930. RM 7.80
- Heft 28: **Ärztliche Merkblätter über berufliche Erkrankungen** unter besonderer Berücksichtigung der Verordnung des Reichsarbeitsministers vom 11. Februar 1929 über Ausdehnung der Unfallversicherung auf Berufskrankheiten. Dritte Auflage. Unter Mitarbeit von Professor Dr. Beck, Heidelberg; Gewerbe-medizinalrat Dr. Beintker, Münster i. W.; Professor Dr. Best, Dresden; Professor Dr. Böhme, Bochum; Professor Dr. Bruns, Gelsenkirchen; Professor Dr. Chajes, Berlin; Professor Dr. Holtzmann, Karlsruhe; Direktor Dr. Martius, Berlin; Dr. Ruge, Hamburg; Dr. Schultz, Charlottenburg; Professor Dr. Schwarz, Hamburg; Geheimrat Professor Dr. Thiele, Dresden, herausgegeben von den **Fabrikärzten der chemischen Industrie.** Mit 12 Abbildungen im Text und 2 Tafeln. IV, 130 Seiten. 1930. RM 10.50
- Heft 29: **Toxikologie und Hygiene des Kraftfahrwesens.** (Auspuffgase und Benzine.) Von Professor Dr. med. **E. Keesor**, Direktor des Pharmakologischen Instituts der Universität Rostock, früherem Regierungsrat, Dr. phil. **V. Froboese**, Regierungsrat, Dr. phil. **R. Turnau**, Regierungsrat (im Reichsgesundheitsamt) und Professor Dr. med. **E. Groß**, Dr. phil. **E. Kuß**, Dr. phil. **G. Ritter**, Professor Dr.-Ing. **W. Wilke** (von der I. G. Farbenindustrie A.-G. Oppau und Ludwigshafen a. Rh.). Mit 23 Textabbildungen und 1 Tafel. VIII, 106 Seiten. 1930. RM 10.50
- Heft 30: **Das Gewerbeekzem.** Pathogenese, Diagnose. Versicherungsrechtliche Stellung. Von Dr. **Rudolf L. Mayer**, Privatdozent für Dermatologie an der Universität Breslau. IV, 89 Seiten. 1930. RM 7.50
- Heft 31: **Das Augenzittern der Bergleute.** Seine soziale Bedeutung, Ursache, Häufigkeit und die durch das Zittern bedingten Beschwerden. Von Professor Dr. **M. Bartels**, Chefarzt der Städtischen Augenklinik Dortmund und Dr. med. **W. Knepper**, Essen-Bredene. Mit 19 Abbildungen. V, 49 Seiten. 1930. RM 6.90
- Heft 32: **Die Unfall- und Gesundheitsgefahren der Kältemaschinen.** Im Auftrag des Technischen Ausschusses der Deutschen Gesellschaft für Gewerbehygiene unter Mitwirkung von Gewerberat Blatter-Berlin bearbeitet von **J. Wenzel**, Oberregierungs- und -gewerberat, Berlin. Mit 25 Abbildungen. IV, 74 Seiten. 1930. RM 6.90
- Heft 33: **Der Verlauf der Staublungenkrankung bei den Gesteinshauern des Ruhrkohlengebietes.** Von Prof. Dr. **A. Böhme**, Bochum, und Dr. med. **C. Lucanus**, Wanne-Eickel. Mit 49 Abbildungen. III, 147 Seiten. 1930. RM 18.—