

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 58 (1967)
Heft: 3

Artikel: Prüfung explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
Autor: Dreier, H. / Gehm, K.H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916218>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 16.05.2025

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Prüfung explosionsgeschützter elektrischer Betriebsmittel in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt

Von H. Dreier und K. H. Gehm, Braunschweig

614.838

In der chemischen Industrie nimmt der Explosionsschutz einen breiten Raum ein. Bei der Festlegung der Schutzmassnahmen müssen Wirtschaftlichkeit und Risiko sorgfältig gegeneinander abgewogen werden. Die Vielzahl elektrischer Betriebsmittel in den verschiedenen Explosionsschutzarten erfordert sehr unterschiedliche Prüfmethoden. In der Bundesrepublik Deutschland ist die Physikalisch-Technische Bundesanstalt für dieses Gebiet der Sicherheitstechnik zuständig. Die beschriebenen Prüfverfahren erläutern die gebräuchlichsten Explosionsschutzarten und geben gleichzeitig wichtige Hinweise sowohl für den Hersteller als auch für den Betreiber explosionsgeschützter Anlagen.

La protection contre les explosions assume dans l'industrie chimique un rôle de premier plan. La détermination des mesures de protection implique une comparaison approfondie des données économiques et des risques. La multitude des moyens de production électriques se rapportant à de types variés de protection antidéflagrante exige des méthodes d'essai très différenciées. Dans la République Fédérale Allemande la compétence en matière des techniques de sécurité incombe à la Physikalisch-Technische Bundesanstalt. Les méthodes d'essai décrites illustrent les types de protection antidéflagrante les plus usuels et fournissent simultanément des indications importantes, tant pour le producteur que pour les entreprises exploitant des installations de protection antidéflagrante.

1. Einleitung

Die steile wirtschaftliche Entwicklung der chemischen Industrie nach dem 2. Weltkrieg hat nicht nur in Deutschland, sondern fast überall auf der Welt einen ausserordentlich hohen Bedarf an modernen explosionsgeschützten Betriebsmitteln hervorgerufen. Verstärkt wurden diese Forderungen durch die Einführung neuartiger chemischer Verfahrenstechniken, die häufig mit Stoffen arbeiten, deren Gas/Luft- oder Dampf/Luft-Gemische explosionsfähig werden können. Die Fortschritte der modernen Produktionstechnik bringen damit leider auch eine teilweise erhöhte Gefährdung des arbeitenden Menschen und der Fabrikationsanlagen mit sich.

In der Bundesrepublik Deutschland (BRD) haben sich die Arbeiten auf dem Gebiet der Sicherheitstechnik zu einem volkswirtschaftlich sehr wichtigen Aufgabengebiet entwickelt. Dabei arbeiten Behörden, Aufsichtsorgane und Industrie eng zusammen zur Schaffung und laufenden Verbesserung von gesetzlichen Regelungen, Vorschriften und Verordnungen, Bau- und Prüfbestimmungen sowie Überwachungs- und Unfallverhütungsverfahren. Für zahlreiche der sich hierdurch ergebenden Aufgaben wird die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) sowohl in beratender Funktion als auch in eigener verantwortlicher Prüf- und Gutachtertätigkeit herangezogen. Gleichzeitig wird die internationale Zusammenarbeit auf diesem Gebiet sehr gefördert.

1.1 Gesetzliche Grundlagen

Als eine der sicherheitstechnischen Aufgaben wurde der PTB die Begutachtung explosionsgeschützter Betriebsmittel gemäss der Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen vom 15. August 1963, Bundesgesetzblatt I, 1963, S. 697 (sog. ExVO), und der Technischen

Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (TVbF), Bundesgesetzblatt I, 1964, S. 717, übertragen. Diese Verordnungen basieren auf § 24 der Deutschen Gewerbeordnung.

Für den Bau, die Prüfung und die Überwachung explosionsgeschützter Betriebsmittel sind weiterhin die einschlägigen VDE-Bestimmungen (insbesondere VDE 0171 und VDE 0165), DIN-Blätter und gegebenenfalls die CEI-Empfehlungen zu beachten.

1.2 Übersicht über die auf dem Gebiet des Explosionsschutzes tätigen Laboratorien der PTB und ihre Prüftätigkeit

Auf dem Gesamtgebiet des Explosionsschutzes sind in der Bundesanstalt folgende Laboratorien unmittelbar tätig:

- Das Laboratorium für sicherheitstechnische Grundlagen (III B/S),
- das Laboratorium für explosionsgeschützte Betriebsmittel (III B/E),
- das Laboratorium für Maschinen und Gerät (II B/M),
- das Laboratorium für Allgemeine Chemie (III B/C), teilweise.

In diesen vier Laboratorien sind etwa 50 Mitarbeiter (davon 15 Wissenschaftler) praktisch ausschliesslich mit sicherheitstechnischen Problemen und Prüfungen beschäftigt.

Von besonderem Vorteil für die Wirtschaftlichkeit dieser «Sicherheitslaboratorien» ist die dank ihres Einbaus in die PTB laufend zur Verfügung stehende Mithilfe und Beratung aus den etwa 80 weiteren Laboratorien der Bundesanstalt mit über 1000 Mitarbeitern. Auf vielen Gebieten der Technik und der Physik finden sie dadurch wertvolle fachliche Unterstützung.

Die vielfältigen und zahlreichen Aufgaben der Bundesanstalt auf dem Gebiet des Explosionsschutzes erhellen am besten aus dem nachstehend aufgeführten Auszug aus den Tätigkeitsberichten der Bundesanstalt:

	1960	1961	1962	1963	1964	1965
Sicherheitstechnische Eignung von Geräten	47	68	48	84	60	89
Sicherheitstechnische Eigenschaften von Stoffen	32	49	42	40	67	67
Gutachtliche Stellungnahmen	131	192	213	211	245	278
Typenprüfungen:						
Motoren (Ex)e	1602	1532	1279	1482	1614	1365
Motoren (Ex)d und (Ex)f	442	334	553	687	1025	1199
Transformatoren	22	22	8	5	18	16
Schaltgeräte	50	41	78	58	76	68
Leuchten und Zubehör	21	58	78	41	84	71
Mess-, Regel- und Fernmeldegeräte	80	63	118	193	206	175
Tränklacke	23	11	12	32	5	34
Sonstige Betriebsmittel	110	175	139	81	201	148

Da die Prüfkapazität der genannten Laboratorien praktisch voll ausgelastet ist, wird ein Teil der Untersuchungen in den Prüffeldern der Industrie vorgenommen, wodurch den Herstellern auch Zeit und Kosten eingespart werden.

Im folgenden werden das allgemeine Prüfverfahren und die Prüftechnik der einzelnen Explosions-Schutzarten näher erläutert.

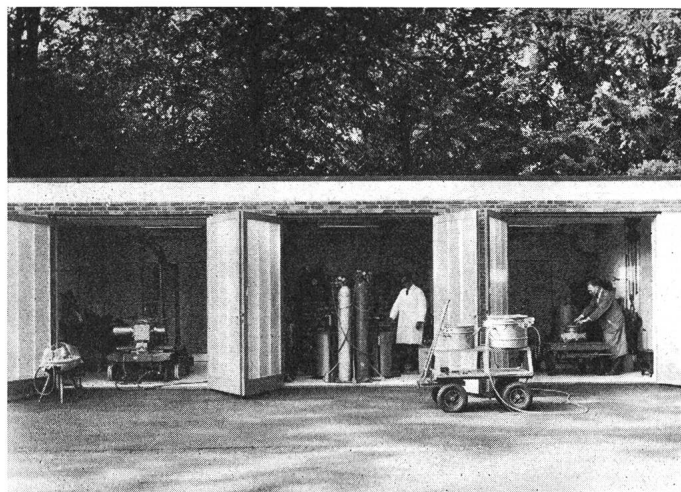


Fig. 1
Explosions-Prüfstand im Freigelände

2. Allgemeines Prüfverfahren

Während in vielen Fällen elektrische Anlagen ausserhalb explosionsgefährdeter Räume installiert werden können, ist das für bestimmte Anlagenteile praktisch nicht möglich. Hierzu gehören in erster Linie die elektrischen Antriebe, Beleuchtungen und zum Teil auch Schalt- und Steuergeräte sowie gewisse Regeleinrichtungen.

Auf dem weiten Gebiet der elektrischen Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen schreibt die Ex-Verordnung vom 15. August 1963 vor, dass elektrische Betriebsmittel in solchen Räumen nur dann in Betrieb genommen werden dürfen, wenn sie im Hinblick auf die in den Räumen vorkommenden Gase, Dämpfe oder Nebel der Bauart nach durch die Zulassungsbehörde eines Bundeslandes zugelassen sind. Der Zulassung geht gemäss § 5 der Verordnung die Bauartprüfung (Gutachten) durch die PTB voraus; hiervon kann abgesehen werden bei Betriebsmitteln, die sowohl schlagwettergeschützt als auch explosionsgeschützt und von der nach Landesrecht

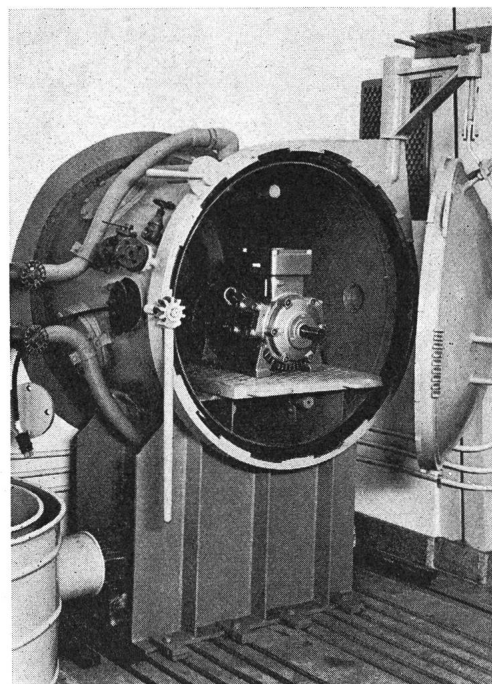


Fig. 2
Explosions-Prüfkammer (Vordruckverfahren)

zuständigen Behörde zur Verwendung in Betrieben des Bergwesens zugelassen sind. Die Zulassung kann beschränkt, befristet, unter Auflagen oder Bedingungen erteilt werden.

Explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel, die vor dem 24. August 1963 auf Grund der Polizeiverordnung vom 13. Oktober 1943 nach VDE 0170/0171 auf Explosionschutz erfolgreich typengeprüft und bescheinigt worden sind, gelten mit Inkrafttreten der neuen Verordnungen als zugelassen.

Zulassungen nach der Ex-Verordnung sind nicht erforderlich für typengeprüfte

- Betriebsmittel, die nicht in der Bundesrepublik Deutschland betrieben werden,
- Betriebsmittel, bei denen nur die mechanische Ausführung festgelegt ist (Rahmenbescheinigungen),
- Bauelemente für explosionsgeschützte Betriebsmittel (z. B. Klemmen),
- Tränk- und Überzugslacke für Wicklungen von elektrischen Betriebsmitteln.

Die nach b) bis d) ausgestellten Prüfungsscheine sind Teilbescheinigungen und werden als Unterlagen für die jeweilige



Fig. 3
Prüfmuster unter Polyäthylenhaube

Typenprüfung verwendet, um nicht jedesmal die mechanische Ausführung, die Bauelemente oder die Tränk- und Überzugslacke erneut bescheinigen zu müssen. Diese Prüfungsscheine, die für unvollständige Betriebsmittel ausgefertigt sind bzw. nur einen Teil der gesamten Typenprüfungen beinhalten, erhalten zur Kennzeichnung ein «U» hinter der Prüfungsscheinnummer.

Betriebsmittel mit eigensicheren Stromkreisen, die selbst jedoch nicht explosionsgeschützt sind, haben ein «S» hinter der Prüfungsscheinnummer; diese Prüfungsscheine gelten als Gutachten für die Zulassungsbehörde.

Betriebsmittel, die nach den CEI-Empfehlungen geprüft sind, aber nicht in allen Punkten den VDE-Vorschriften entsprechen, tragen ein «E» hinter der Prüfungsscheinnummer; sie dürfen z. Z. in der BRD noch nicht in explosionsgefährdeten Räumen betrieben werden.

3. Spezielle Prüfmethode

3.1 Betriebsmittel in Schutzart «Druckfeste Kapselung» (Ex)d

Bei dieser Schutzart, die in den USA mit «explosionproof» und in Grossbritannien mit «flameproof» bezeichnet wird, sind die Teile, die explosive Gemische entzünden können, in einem Gehäuse angeordnet, das dem durch Explosionen dieser Gemische in seinem Innern ausgelösten Druck mit

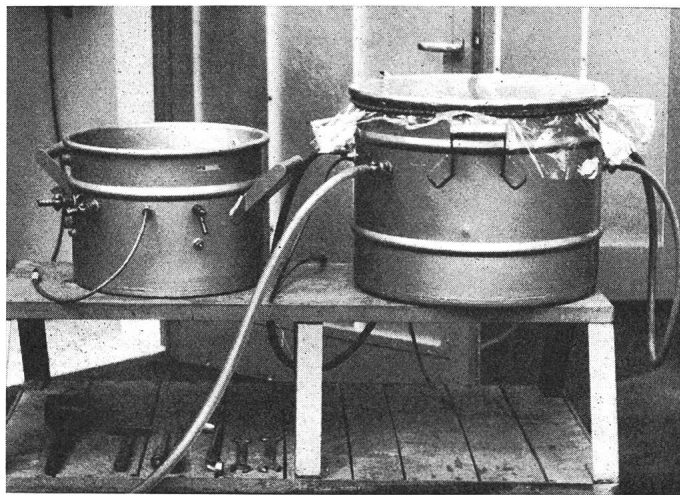


Fig. 4
Prüfmuster im Prüfkessel

Sicherheit standhält und das eine Fortpflanzung der Explosion auf ein das Gehäuse umgebendes explosives Gemisch verhindert.

Betriebsmittel der Schutzart «Druckfeste Kapselung» werden in der PTB auf dem Freigelände vor dem Ex-Prüfstand hinsichtlich der Zünddurchschlagsicherheit und der Drucksicherheit geprüft (Fig. 1). Ferner werden die elektrischen Werte kontrolliert und die Oberflächentemperaturen bei Nennbetrieb festgestellt (z. T. auch im Maschinenlaboratorium).

Für die Prüfung auf Zünddurchschlagsicherheit wird das «Haubenverfahren» oder bei kleineren Geräten das «Vordruckverfahren» angewendet. Hierzu werden im allgemeinen 10 Zünddurchschlagversuche und bei Motoren zusätzlich 10 Versuche bei Leerlauf vorgenommen.

Bei dem «Vordruckverfahren» wird der Prüfling in einer Kammer hermetisch eingeschlossen und das Gemisch sowohl dem Prüfling als auch der Kammer zugeführt (Fig. 2). Durch

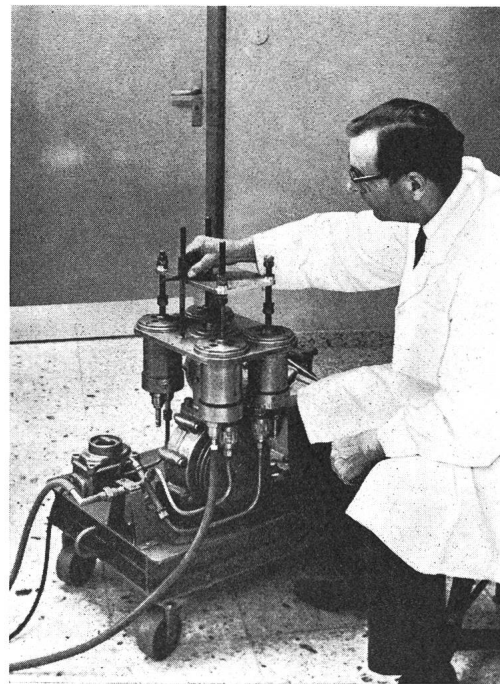


Fig. 5
Gemischpumpe

den Vordruck (Überdruck von etwa 0,5 at) wird der Explosionsdruck erhöht und gleichzeitig die Zündspaltweite des Gemisches herabgesetzt, so dass ein Sicherheitsfaktor von etwa 1,5 bei dieser Prüfmethode erreicht wird. Dieses Verfahren wird für grössere Betriebsmittel der Explosionsklasse 3 nicht angewendet, da bei einer Zerstörung des Prüflings Detonationen auftreten können, die die Prüfkammer durch die hohen Druckwerte zerstören würden.

Ein abgewandeltes Vordruckverfahren wird als «Unterdruckverfahren» zur Prüfung von elektrischen Geräten für Luftfahrzeuge eingesetzt.

Bei dem «Haubenverfahren» werden der Prüfling bzw. Teile desselben mit Hauben aus Polyäthylenfolie (Fig. 3 und 4) umgeben. Diese Hauben können so angebracht werden, dass ein auftretender Zünddurchschlag lokalisiert wird. Zur Gemischerzeugung dient eine Kolbenpumpe, bei der die Kolbenhübe der Zylinder verstellbar sind (Fig. 5). Mit Hilfe dieser Pumpe, die Luft und Gas (aus Flaschen über Gasometer) ansaugt, werden der Prüfling sowie die umgebende

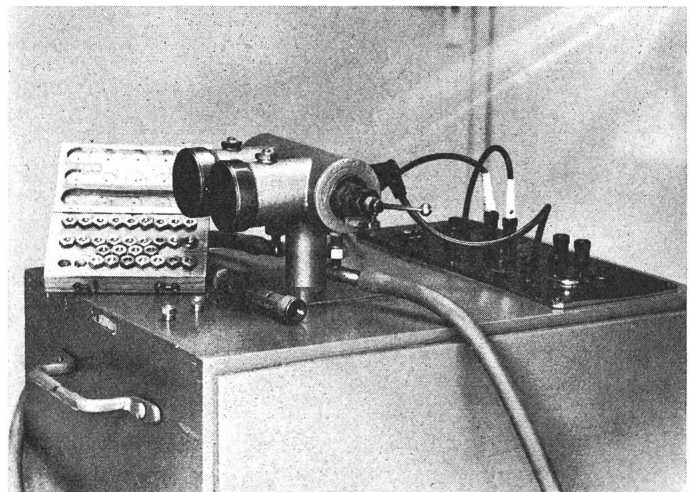


Fig. 6
Prüfgerät für Gemischeinstellung

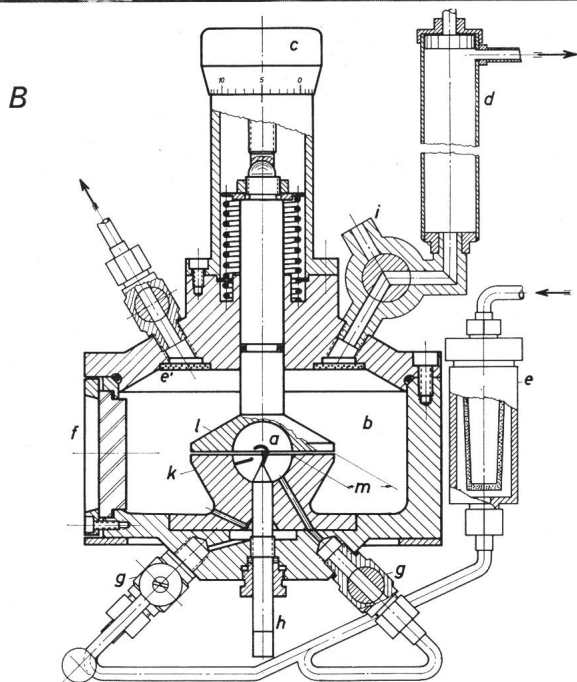
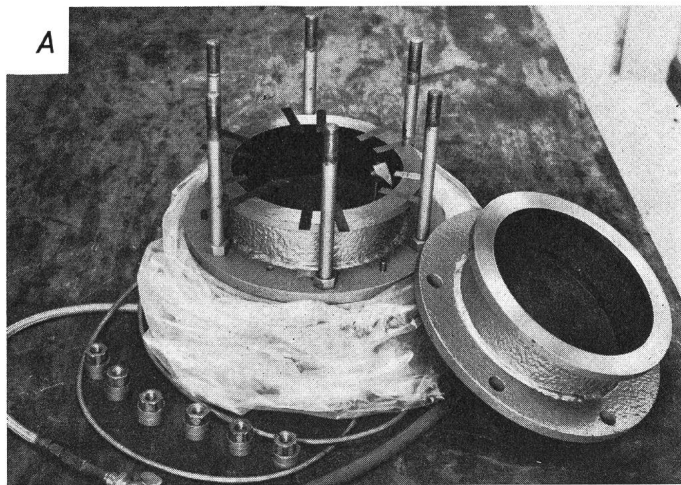


Fig. 7
Spaltweiten-Testgeräte

A Spaltweiten-Vergleichsgerät, bisherige Ausführung; Deckel abgenommen

B PTB-Spaltweitenprüfgerät

a Innenkammer (20 cm³); b Aussenkammer (2000 cm³; c Einstellschraube für Spaltabstand; d Pumpe (Normaldruckeinstellung); e Flammensicherungen; f Fenster; g Kugelabsperrhähne; h Elektrode; i, k Ringspalteinsetze mit Spaltlänge m

Haube mit dem Gemisch gefüllt. Von einer Speicherung explosibler Gemische wird aus sicherheitstechnischen Gründen abgesehen, da besonders bei der Speicherung von Gemischen unter Druck mit einer ungewollten Zündung im Speichergefäß (z. B. durch Flammenrückschlag oder elektrostatische Aufladung) gerechnet werden muss. Mittels eines in die Gas-Abgangsleitung eingebauten Prüfgerätes (Fig. 6) wird vor jeder Zündung festgestellt, ob die gewünschte Gemischkonzentration im Prüfling und in der Haube vorhanden ist.

Für Betriebsmittel der Explosionsklasse 1 bzw. 2, die an einem Muster mit der grössten, in der Zeichnung festgelegten Spaltweite geprüft werden, wird als Prüfgemisch ein Wasserstoff/Luft-Gemisch verwendet, das in der Vergleichsbombe (Fig. 7A) bei einer Spaltweite von 0,5 mm bzw. 0,3 mm durchschlägt bzw. mit dem der CEI vorgeschlagenen Spaltweitenprüfgerät vorgeprüft wurde (Fig. 7B).

Bei Geräten für die Explosionsklasse 3n wird, soweit nicht das Vordruckverfahren Anwendung findet, der Zünddurchschlag mit dem doppelten Wert der nach der Konstruktionszeichnung festgelegten grössten Spaltweite und unter Verwendung sowohl eines 31prozentigen Wasserstoff/Luft- als auch eines Acetylen/Luft-Gemisches geprüft.

Die Drucksicherheit wird entweder nach dem Vordruckverfahren (bei kleinen Geräten) oder mit Hilfe eines Gas/Luft/Sauerstoff-Gemisches geprüft. Der dabei auftretende Druck wird bei laufenden Prüfungen mit statisch kalibrierten Druckmessdosen mit Bleimembranen (Fig. 8) gemessen. Häufig werden auch Piezo-Quarzdruckgeber in Verbindung mit einem Oszillographen und einer Polaroid-Kamera eingesetzt (Fig. 9), um den Druck in Abhängigkeit von der Zeit aufzuzeichnen.

Bei unterteilten Räumen, wie vor allem bei den beiden Wickelkopfräumen in Motoren, können infolge detonationsähnlicher Verbrennungserscheinungen sowohl recht hohe Druckwerte auftreten als auch die Zünddurchschlags-Spaltweite beträchtlich herabgesetzt werden. Eingehende Untersuchungen über den Einfluss der Raumgestaltung auf den Druckverlauf ergeben Hinweise auf geeignete Massnahmen, detonative Verbrennungen zu vermeiden.

3.2 Betriebsmittel in Schutzart «Erhöhte Sicherheit» (Ex)e

Die Schutzart «e» — wie sie international bezeichnet wird — kann nur bei solchen Betriebsmitteln angewendet werden, die in normalem Betrieb weder Lichtbögen, Funken noch unzulässige Temperaturen erzeugen. Durch zusätzliche mechanische, elektrische und thermische Massnahmen wird die Sicherheit der normalen Betriebsmittel so erhöht, dass sie für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen geeignet sind. In dieser Schutzart werden vor allem Motoren, Leuchten, Magnetantriebe, Stromwandler sowie Anschluss-, Abzweig- und Verbindungskästen hergestellt.

Experimentell werden bei diesen Betriebsmitteln die Übertemperaturen ermittelt, die auch unter Berücksichtigung gewisser Störungsfälle auftreten können. Es dürfen hierbei nur solche Temperaturwerte auftreten, die weder zur vorzeitigen Zerstörung der Isolierstoffe noch zur Zündung von explosiblen Gemischen führen können. So wird z. B. bei Leuchten mit Glühlampen — deren Fassungen jedoch in Schutzart «Druckfeste Kapselung» ausgeführt sind — die

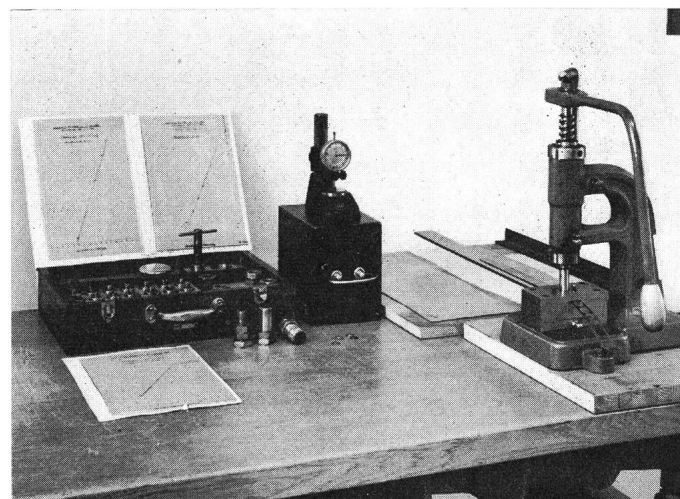


Fig. 8
Bleidruckmessdosen mit Zubehör

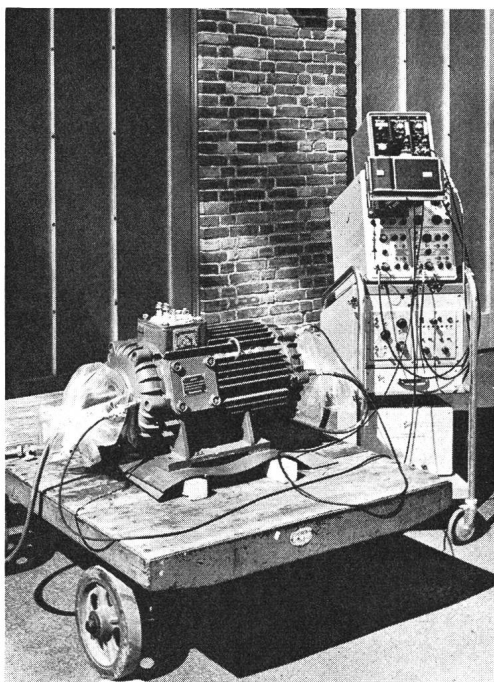


Fig. 9
Druckmessenrichtung mit Piezoquarz-Druckgeber

Übertemperatur an der heissesten Stelle des Lampenkolbens, ferner am Sockelrand und an der Leitungseinführungsstelle überprüft. Zwischen den nichtisolierten, spannungsführenden Teilen untereinander und gegen Masse müssen die Abstände als Luft- und Kriechstrecken hinreichend gross sein, bedeutend grösser als bei Geräten in nichtgeschützter Ausführung.

Ausserdem werden diese Betriebsmittel einer Prüfung auf mechanische Festigkeit (Fig. 10), Temperaturwechselbeständigkeit und auf den Schutz gegen Staub, Feuchtigkeit und Berührung unterzogen. Besondere Anforderungen werden an die Verbindungsstellen von stromführenden Leitern, hierbei in erster Linie an die Anschlussklemmen, gestellt; diese müssen zur Vermeidung von Funken und hohen Übergangswiderständen u. a. gegen Selbstlockern gesichert und gegen Verdrehen geschützt sein.

3.2.1 Motoren in Schutzart (Ex)e

Explosionssgeschützte Motoren nehmen als wichtigste Antriebselemente einen besonderen Platz in der chemischen Industrie ein. In Deutschland und in zunehmendem Masse auch im Ausland haben sich Maschinen der Schutzart «Erhöhte Sicherheit» (Ex)e wegen ihrer besonderen Wirtschaftlichkeit (insbesondere bis zur Zündgruppe G3) und auf Grund guter Betriebserfahrungen in starkem Masse eingeführt. Bei den am häufigsten verwendeten Induktionsmotoren mit Käfigläufern werden heute nahezu alle normalen Typen auch in (Ex)e-Ausführung hergestellt. Die Typenprüfungen an diesen Maschinen nehmen in der Bundesanstalt damit einen besonders grossen Arbeitsaufwand in Anspruch.

Neben den bereits erwähnten auswärtigen Prüfungen (insbesondere bei Maschinen grösserer Leistung oder bei grösseren Serien) werden die Typenprüfungen an (Ex)e-Motoren im Maschinenlaboratorium der PTB (Labor II B/M) vorgenommen (Fig. 11). Ausserdem werden hier die druckfest gekapselten Motoren elektrisch/thermisch geprüft.

Da Motoren der Schutzart (Ex)e keine betriebsmässig funkenden Teile, wie Schleifringe, Kommutatoren usw. haben dürfen, kommen hierfür vor allem Käfigläufermotoren

zur Anwendung. (Schleifringläufer- oder Synchronmotoren müssen mindestens ein druckfest gekapseltes oder fremdbelüftetes Schleifringgehäuse haben.)

Durch mechanische und elektrisch/thermische Massnahmen soll die Betriebssicherheit weiter erhöht werden. Hierzu gehören u. a. die Herabsetzung der zulässigen Wicklungstemperaturen um 10 °C gegenüber Normalmaschinen sowie die Forderung auf zweimalige Tränkung der Wicklungen mit besonderen Tränklacken, die von der Bundesanstalt sowohl hinsichtlich ihrer elektrischen Eignung (Isoliervermögen) als auch hinsichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit gegen den Einfluss chemischer Gase und Dämpfe typengeprüft sind und im Abstand von 5 Jahren jeweils neu geprüft werden [1] ¹⁾.

Die mechanische Ausführung der Motoren, meist einer ganzen Baureihe, wird in der Rahmenbescheinigung festgelegt, die auf Grund der Prüfung von Zeichnungen und Beschreibung ausgestellt werden kann. Im Gegensatz zu den druckfest gekapselten Geräten entfallen hierbei experimentelle Untersuchungen. Damit ist die Typenprüfung eines Motors aber noch nicht abgeschlossen. Der elektrisch/thermische Teil muss an jedem Typ gesondert geprüft werden.

Mit Rücksicht auf die Lebensdauer der Wicklungen sowie auf die Zündtemperaturen explosionsfähiger Gemische, die in die fünf Zündgruppen G1 bis G5 eingeteilt sind, dürfen die in VDE 0171 festgelegten Grenztemperaturen weder im Dauerbetrieb noch in betrieblichen Störungsfällen überschritten werden. Die elektrischen und thermischen Prüfungen von (Ex)e-Maschinen erstrecken sich daher sowohl auf den Nennbetrieb als auch auf den festgebremsten Motor, für den die sog. Erwärmungszeit t_E für jede Zündgruppe festgelegt wird. In Verbindung mit dem Verhältnis Anzugstrom zu Nennstrom I_A/I_n ist die Erwärmungszeit eine sehr wichtige Grösse für den praktischen Schutz des Motors gegen zu hohe Temperaturen im Betrieb. Die Erwärmungszeit t_E von Käfigläufermotoren bedeutet hierbei die Zeit, in der die festgebremste Maschine, vom betriebswarmen Zustand ausge-

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

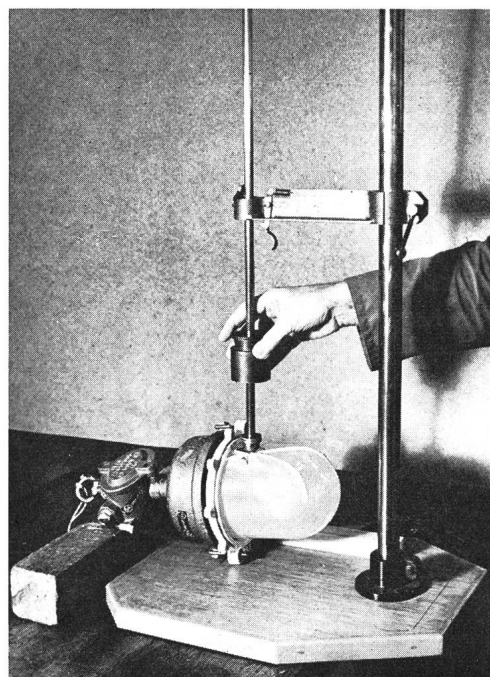


Fig. 10
Schlag-Prüfgerät

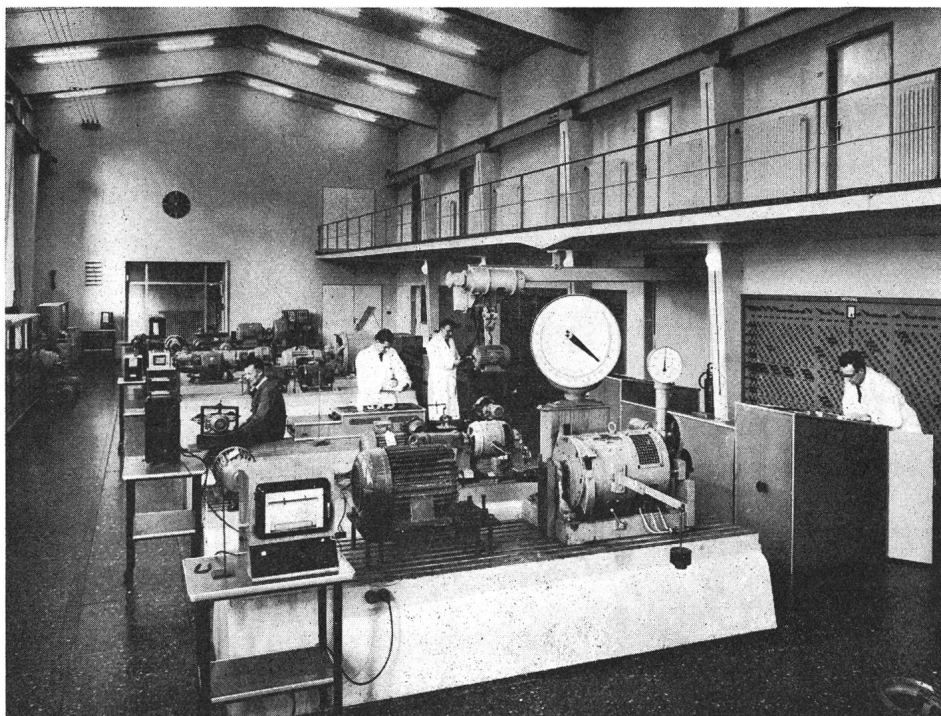


Fig. 11
Maschinenlaboratorium, Teilansicht

unterschritten werden dürfen, wenn für den betreffenden Motortyp spezielle Auslöser nachgewiesen und verwendet werden, die die durch das Verhältnis I_A/I_n und die Zeit t_E gekennzeichnete Abschaltbedingung (aus dem kalten Zustand) auch tatsächlich einhalten.

Seit kurzem können explosionsgeschützte Motoren auch durch Halbleiter-Temperaturfühler, die in die Wickelköpfe eingebettet sind, geschützt werden. Die ersten Temperatur-Überwachungs-Einrichtungen sind hier ausführlich untersucht und für den Schutz einer Reihe von (Ex)-Motoren als geeignet befunden worden. Wenn der volle Schutz jedoch ausschliesslich hiermit erreicht werden

hend, bei Speisung des Ständers mit Nennspannung und Nennfrequenz (in Betriebsschaltung) die jeweilige Grenztemperatur erreicht. Man misst t_E für Ständerwicklung und Läuferkäfig; der kleinere der beiden Werte ist massgebend.

Die durchzuführenden Typenprüfungen an (Ex)e-Motoren bringen eine Reihe von messtechnischen Besonderheiten mit sich, die im allgemeinen Elektromaschinenbau nicht üblich sind. Das sind insbesondere Messungen der Läufer-Übertemperaturen nach dem Dauerbetrieb und im Kurzschluss. Nähere Erläuterungen hierzu sind in [2] zu finden. Über das formale Antragsverfahren geben Merkblätter der betreffenden Laboratorien und die Veröffentlichung [4] nähere Hinweise.

Im engeren Sinne ist ein (Ex)e-Motor allein nicht als explosionsgeschützt anzusehen. Erst im Zusammenwirken mit geeigneten Schutzeinrichtungen, die das Auftreten zu hoher Temperaturen auch im praktischen Betrieb verhindern sollen, wird die «Erhöhte Sicherheit» erreicht. Eine besondere Arbeitsgruppe des Laboratoriums befasst sich daher seit Jahren mit der Prüfung geeigneter thermischer Überstromrelais, Auslöser und Motorschalter sowie mit der Beratung der Industrie in einschlägigen Schutzfragen. Motorschutzschalter und ähnliche Anordnungen werden laufend geprüft und zwar sowohl in normaler Ausführung als auch zum vorgesehenen Einbau in explosionsgeschützte druckfest gekapselte Gehäuse. In Zusammenarbeit mit der Industrie ist in den letzten Jahren dabei eine merkliche Verbesserung dieser Schutzeinrichtungen erreicht worden. Über den praktischen Einsatz von (Ex)e-Motoren mit den zugehörigen Überwachungseinrichtungen ist in [3] ausführlich berichtet worden.

Über praktische Motorschutzmassnahmen wurde auch auf der Tagung der Unterkommission SC 31C (Erhöhte Sicherheit) der CEI im Juli 1966 in Hamburg [23] eingehend diskutiert. Um einen sicheren Schutz von (Ex)e-Motoren durch thermische Überstromauslöser zu gewährleisten, ist vorgesehen, Mindestwerte für die Erwärmungszeiten t_E nach Fig. 12 festzulegen. Diese Mindestwerte sollen nur dann

den soll, d. h. unter Verzicht auf die bisher üblichen Motorschutzschalter, ist die Wirksamkeit in einer besonderen Typenprüfung nachzuweisen. Die Besonderheiten derartiger Typenprüfungen wurden in [5] ausgiebig behandelt.

Es ist verständlich, dass bei der Vielzahl der durchzuführenden Prüfungen häufig besondere Probleme auftreten. Als Beispiel sei der Schutz sehr kleiner Asynchronmotoren erwähnt. Im Gegensatz zu grösseren Maschinentypen nimmt der aufgenommene Motorstrom hier mit zunehmender abgegebener Leistung (und damit höheren Verlusten) oftmals nur sehr wenig zu. Eine solche Ständerstrom/Leistungs-Charakteristik ist daher für den Schutz durch Überstromauslöser nur bedingt geeignet. In besonderen Untersuchungen, die in [6; 7 und 24] veröffentlicht wurden, sind Wege aufgezeigt, auch derartige kleine Maschinen noch ausreichend sicher zu dimensionieren und zu schützen.

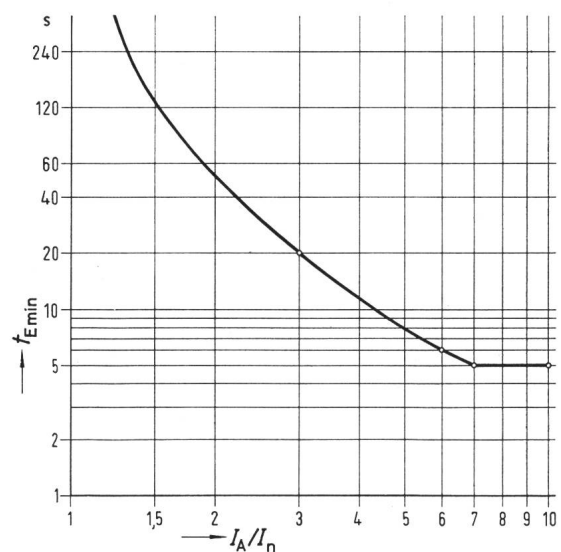


Fig. 12
Mindestwerte für Erwärmungszeiten t_E in Abhängigkeit vom Verhältnis I_A/I_n

3.3 Betriebsmittel in Schutzart «Ölkapselung» (Ex)o

Bei dieser Schutzart wird durch eine Flüssigkeit (Isolieröl oder Clophen) verhütet, dass die explosiblen Gemische mit den unter Öl entstehenden Funken, Lichtbögen oder mit Teilen in Berührung kommen, die unzulässige Temperaturen aufweisen. Auch durch eventuell aufsteigende Gasblasen darf keine Entzündung des explosiblen Gemisches eintreten. — In erster Linie wird die Ölkapselung bei Gross-Transformatoren angewendet und nur noch in geringerem Umfang bei Schaltgeräten. Besonderer Beachtung bedarf die Ölstand-Kontrolle.

Bei der Prüfung von Transformatoren werden deren Verluste — bezogen auf eine Umgebungstemperatur von 40 °C — eingespeist und die Erwärmung der Wicklung nach der Widerstandsmethode und die des Öles mit Hilfe von Thermometern ermittelt.

Bei Schaltgeräten muss zusätzlich eine Prüfung auf Zündsicherheit bei einer Öltemperatur von 100 °C und beim niedrigsten Ölstand durchgeführt werden; hierbei darf ein über dem Öl befindliches explosibles Gemisch durch die aufsteigenden Gasblasen, die sich beim Trennen der Kontakte entwickeln, nicht gezündet werden.

3.4 Betriebsmittel in Schutzart «Fremdbelüftung» (Ex)f

Bei dieser Schutzart werden Teile, die explosive Gemische zünden können, in Gehäuse eingeschlossen, die von Frischluft oder inerten Gasen durchspült und/oder unter Überdruck gehalten werden, so dass während des Betriebes explosive Gemische in die Gehäuse nicht eindringen können. Vor der Inbetriebnahme müssen durch hinreichende Spülung eventuell eingedrungene Gemische entfernt werden. Während des Betriebes ist die Aufrechterhaltung der Fremdbelüftung (z. B. durch Windfahnenrelais an der Luftaustrittsseite) zu überwachen. Ausser der allgemeinen Typenprüfung solcher Betriebsmittel in der PTB ist eine Überprüfung von Einbau und Wirksamkeit der Belüftungseinrichtungen am Verwendungsort durch einen anerkannten Sachverständigen vorzunehmen.

Die Schutzart (Ex)f wird im allgemeinen nur bei grossen Geräten (Grossmaschinen, Messwerke, Schaltschränke u. a.) angewendet, da der Aufwand für die Fremdluftleitungen und Überwachungsgeräte verhältnismässig gross ist. Experimentell wird in erster Linie die Erwärmung an der Aussenseite der Gehäuse ermittelt, deren Dichtheit und die richtige Führung der Fremdluft nachgeprüft und die Mindestluftmenge festgelegt. Fremdbelüftete Messgeräte, denen aus verfahrenstechnischen Gründen gleichzeitig brennbare Stoffe zugeführt werden, erfordern zusätzliche Schutzmassnahmen, um einerseits einen länger anhaltenden Brand im Innern des Gehäuses zu vermeiden und andererseits eine Flammenfortpflanzung in den Zuführungs-Rohrleitungen zu verhüten.

3.5 Betriebsmittel in Schutzart «Eigensicherheit» (Ex)i

Mit «eigensicher» werden Kleinspannungs-Stromkreise bezeichnet, in denen sowohl auf Grund der geringen Leistung (unter 1 W) als auch der geringen magnetischen oder elektrischen Energie (unter 20 μ Ws) zündfähige Funken nicht auftreten können. Stromkreise dieser Art werden hauptsächlich in der Mess- und Fernmeldetechnik angewendet. Diese Schutzart bietet den grossen Vorteil, dass als passive Bauteile (z. B. Messwertgeber, Messwertwandler, Messgeräte)

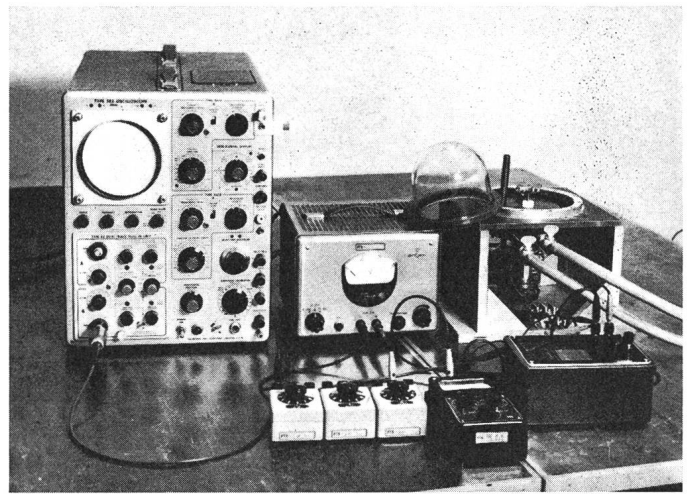


Fig. 13
Prüfanordnung für eigensichere Stromkreise

häufig Geräte in nichtexplosionsschutzter Ausführung eingesetzt und bei den aktiven Bauteilen (Spannungsquellen, Netzanschlussgeräten u. a.) Massnahmen für den Explosionsschutz ohne grossen Aufwand getroffen werden können.

Für die Prüfung der eigensicheren Stromkreise (Fig. 13) dient das in VDE 0171 d/2.65 festgelegte Testgerät. Als Prüfspannung oder als Prüfstrom wird das 1,5fache der jeweiligen Grenzwerte eingestellt. Mögliche Fehler durch Bauelemente, mit deren Ausfall zu rechnen ist, müssen berücksichtigt werden. Das Prüfgas (21 Vol.-% Wasserstoff/Luft-Gemisch) darf sich auch bei einer grossen Funkenserie (etwa 1000 Funken) nicht entzünden.

Eingehend ist auch die Isolation von eigensicheren Stromkreisen zu überprüfen, um mit Sicherheit — d. h. auch unter Berücksichtigung von Störungen — das Übertragen fremder Spannungen auf die eigensicheren Stromkreise zu verhindern.

Durch den hohen Sicherheitsgrad dieser Schutzart können Betriebsmittel mit eigensicheren Stromkreisen auch in Bereichen, in denen mit häufigem Vorhandensein explosibler Gemische zu rechnen ist (z. B. im Inneren von Lagertanks), eingesetzt werden. Der Einsatz dieser Geräte bedarf nach der TVbF einer besonderen Zulassung.

3.6 Betriebsmittel in Schutzart «Sonderschutzart» (Ex)s

Schutzmethoden, die sich nicht direkt auf die erwähnten Schutzarten zurückführen lassen, werden mit «Sonderschutzart» bezeichnet. Hierzu gehören u. a. die «Sandkapselung», die z. B. in Frankreich für Transformatoren mittlerer Leistung angewendet wird, und die «Giessharzkapselung», die sich jedoch im allgemeinen nur für Geräte mit geringer Leistungsaufnahme anwenden lässt.

3.7 Betriebsmittel in Schutzart «Operationssicherheit» Op

Elektromedizinische Geräte für explosionsgefährdete Bereiche in Operationstrakten dürfen im Betrieb unter den bei bestimmungsgemäsem Gebrauch zu erwartenden Beanspruchungen explosive Gemische von Narkosegasen mit Luft bzw. Sauerstoff nicht entzünden.

Bei der Prüfung dieser Op-sicheren Betriebsmittel wird der spezielle Anwendungszweck berücksichtigt. Einerseits müssen einige Gerätetypen auch nach ihrer Sterilisation zündsicher sein gegenüber explosiblen Narkosegas/Sauerstoff-Gemischen, andererseits sind gewisse Erleichterungen hinsichtlich der mechanischen Ausführung möglich.

4. Sonderprobleme und allgemeine Schlussbetrachtung

Bei der Vielzahl elektrischer Betriebsmittel in explosionsgeschützter Ausführung ist es kaum möglich, für alle Geräte spezielle Anforderungen in Form von Vorschriften oder genauen Konstruktions- und Anwendungshinweisen festzulegen. So kann auch die vorliegende Arbeit nur einen allgemeinen Überblick über die Prüfungstätigkeit der PTB auf diesem Spezialgebiet geben. Oftmals werden die Sachbearbeiter der Bundesanstalt vor Ermessensentscheidungen gestellt. Durch Bearbeitung in einer zentralen Behörde wird jedoch gewährleistet, dass solche Fragen nach einheitlichen Gesichtspunkten entschieden werden.

Grundsätzlich wird gefordert, mit ausreichender Sicherheit die Ansammlung explosibler Gemische in gefahrdrohender Menge weitgehend zu vermeiden. Diese Forderung kann in der Praxis jedoch nicht immer erfüllt werden. In diesen Fällen ist man also auf den Einsatz explosionsgeschützter Betriebsmittel angewiesen. Diese Betriebsmittel müssen so beschaffen sein, dass mit hinreichender Wahrscheinlichkeit Zündgefahren vermieden werden — eine absolute Sicherheit lässt sich jedoch auch hier in der Regel nicht erreichen. Somit übernimmt die Bundesanstalt mit der Durchführung der Typenprüfungen und mit einschlägigen Untersuchungen einen grossen Teil der Verantwortung für die Betriebs- und Explosionssicherheit der chemischen Industrie.

Die fortschreitende technische Entwicklung bedingt, dass die genannten Prüfungsaufgaben nicht nur laufend und sozusagen routinemässig gelöst werden, sondern sie erfordert ständig das Erkennen und Lösen neuer technischer und wissenschaftlicher Entwicklungsaufgaben. Hierzu findet ein häufiger Erfahrungsaustausch mit Industrie und Aufsichtsbehörden statt. Die herstellende und die anwendende Industrie werden unter Wahrung voller Neutralität und Objektivität laufend beraten, um die Wirtschaftlichkeit sowohl der Arbeit der Laboratorien der PTB als auch der Industrie selbst zu sichern. Messtechnische, konstruktive und anwendungstechnische Fragen werden am häufigsten behandelt und dienen u. a. der optimalen Ausnutzung der bei den Typenprüfungen festgestellten Eigenschaften der Betriebsmittel.

Modellversuche und Berechnungen sind vor allem für solche Betriebsmittel erforderlich, die wegen ihrer Grösse einer direkten Messung nicht mehr zugänglich sind. Zu den vielfältigen auftretenden Problemen gehören ferner spezielle Anlaufverhältnisse von Motoren (z. B. Schweranlauf, Schaltbetrieb, Erwärmungsberechnungen) und entsprechende Schutzprobleme.

Die vorstehend dargelegten Arbeiten der PTB erfahren nun eine wesentliche Ergänzung und Fundierung durch ausgedehntere wissenschaftliche Untersuchungen und Messungen, durch welche zugleich die Grundlagen zur Lösung für viele der angedeuteten Probleme erst geschaffen werden. In diesem Zusammenhang seien erwähnt z. B. die Ermittlung sicherheitstechnischer Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe [8] und die Untersuchung und Klärung einer Reihe von technischen Problemen [25] — meist aus der Praxis genommen und manchmal auf Grund von Unglücksfällen begonnen (vgl. Literatur am Schluss der Arbeit).

Die in langjähriger Tätigkeit gesammelten Erfahrungen der Sicherheitslaboratorien der Bundesanstalt finden auch ihren Niederschlag bei der Mitarbeit an Vorschriften und

Empfehlungen (z. B. in VDE-Kommissionen). Die fortschreitende internationale Zusammenarbeit auf diesem Gebiet wird intensiv verfolgt, u. a. bei der nunmehr vorgesehenen internationalen Einführung der Schutzart «Erhöhte Sicherheit» durch die CEI [23]. In zunehmendem Umfang werden in der Bundesanstalt auch ausländische Betriebsmittel sowie deutsche Geräte, die für den Export bestimmt sind (z. B. in 60-Hz-Ausführung), geprüft.

Im Rahmen des hier gegebenen Überblicks versuchen die Mitarbeiter der Bundesanstalt, ihre Arbeiten unter Beachten der notwendigen Exaktheit den Erfordernissen der Praxis anzupassen. Dass dieses Ziel weitgehend erreicht wird, zeigen die gute Zusammenarbeit mit der Industrie und die nahezu reibungslose und sichere Produktion der chemischen Betriebe, die ihre Anlagen auf der ganzen Welt laufend beträchtlich erweitern.

Literatur

- [1] E. Wiegel: Zur Prüfung von Tränklacken für explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel. PTB-Mitt. 74(1964)4, S. 341.
- [2] H. Dreier: Über Erwärmungsmessungen an explosionsgeschützten Drehstrom-Kurzschlussläufer-Motoren der Schutzart «Erhöhte Sicherheit» (Ex)e. Amtsbl. der Phys.-Techn. Bundesanst. 68(1958)2, S. 184...188.
- [3] H. Dreier: Schutzmassnahmen gegen zu hohe Erwärmungen von explosionsgeschützten Drehstrommotoren der Schutzart «Erhöhte Sicherheit» (Ex)e. Amtsbl. Phys.-Techn. Bundesanst. 69(1959)3, S. 191...194.
- [4] H. Dreier: Typenprüfungen explosionsgeschützter Maschinen der Schutzart «Erhöhte Sicherheit» (Ex)e. PTB-Mitt. 75(1965)5, S. 462...463.
- [5] H. Dreier und H.-J. Schrader: Typenprüfungen explosionsgeschützter Motoren mit Temperaturüberwachung durch Halbleiter, PTB-Mitt. 75(1965)2, S. 109...116.
- [6] H. Stadler: Probleme des Überlastungsschutzes bei kleinen Drehstrommotoren, insbesondere der Schutzart «Erhöhte Sicherheit» (Ex)e. ETZ-A 85(1964)13, S. 411...413.
- [7] H. Stadler: Typenprüfung kleiner Asynchronmotoren der Schutzart «Erhöhte Sicherheit» (Ex)e. PTB-Mitt. 75(1965)2, S. 127...128.
- [8] K. Nabert und G. Schön: Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe. 2. Auflage, Deutscher Eichverlag Berlin 1963.
- [9] H.-J. Schrader: Beitrag zur Berechnung des Stromverdrängungsfaktors von Hochstäben. ETZ-A 83(1962)2, S. 38...39.
- [10] H.-J. Schrader: Eine direkt anzeigende Schlupf-Messeinrichtung. Z. Instrum.-Kde. 67(1959)2, S. 38...41.
- [11] J. Weyer: Sicherheitsanforderungen an explosionsgeschützte Zentrifugen für Aussetzschaltbetrieb. Bundesarbeitsblatt Fachteil Arbeitsschutz — (1958) —, S. 226...229.
- [12] K. H. Gehm: Messung der Oberflächentemperatur von Glühlampen. Lichttechnik 8(1956)7, S. 301...303.
- [13] K. H. Gehm: Elektrische Heizgeräte in explosionsgefährdeten Betriebsstätten. Berufsgenossenschaft — (1956)12, S. 510...511.
- [14] K. H. Gehm: Über die Verwendung von Leuchten in explosionsgefährdeten Räumen. Berufsgenossenschaft — (1956)6, S. 232...233.
- [15] K. H. Gehm: Über den Bau und die Verwendung von explosionsgeschützten Mess- und Regelgeräten. Regelungstechnik 5(1957)11, S. 421...424.
- [16] K. H. Gehm: Untersuchungen über die Zündmöglichkeit explosibler Gemische durch explosionsgeschützte Leuchten mit Glühlampen. Berufsgenossenschaft — (1958)9, S. 356...358.
- [17] K. H. Gehm: Sonderschutzarten für den Explosionsschutz von elektrischen Betriebsmitteln. Elektro-Welt B 4(1959)10, S. 187...187.
- [18] K. H. Gehm: Untersuchungen über den mechanischen Schutz der Glühlampe in Kleinspannungsleuchten. Berufsgenossenschaft — (1960)1, S. 10...13.
- [19] K. H. Gehm, K. Nabert und G. Schön: Probleme des Explosionsschutzes. Chemie-Ingenieur-Technik 34(1962)10, S. 674...681.
- [20] K. H. Gehm: Elektrische Heizeinrichtungen in explosionsgefährdeten Betriebsstätten. Vortrag, veröffentlicht in der Broschüre: Tagung der Sicherheitsingenieure der chemischen Industrie am 12. und 13. Juni 1963 in Goslar/Harz, hg. von der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg 1963.
- [21] K. H. Gehm: Schaltfunken — Eigensicherheit — Hochfrequenzfunken. In: Handbuch der Raumexplosionen, hg. von H. H. Freytag, Verlag Chemie Weinheim/Bergstrasse 1965, S. 292...301.
- [22] K. H. Gehm und R. Wotschke: Zündung explosibler Gemische durch hochfrequente Energie. PTB-Mitt. 76(1966)1, S. 12...18. Berichtigung und Ergänzung zu dieser Arbeit siehe PTB-Mitt. 76(1966)6, S. 524...526.
- [23] H. Dreier: Internationale Einführung der Explosionsschutzart «Erhöhte Sicherheit». PTB-Mitt. 76(1966)5, S. 475...476.
- [24] H. Dreier und H. Stadler: Sonderprobleme bei explosionsgeschützten Einphasenmotoren. PTB-Mitt. 76(1966)5, S. 421...423.
- [25] G. Schön: Übersicht über die Untersuchungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt auf dem Gebiete des Explosionsschutzes. Sonderheft Nr. 3 der Vereinigung zur Förderung des deutschen Brandschutzes, Kohlhammer Stuttgart 1960.

Adresse der Autoren:

Regierungsrat Dr.-Ing. H. Dreier und Oberregierungsrat Dr.-Ing. K. H. Gehm, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, D - 33 Braunschweig.