

# BAM

## Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

### Amts - und Mitteilungsblatt

Inhaltsverzeichnis	Seite
<b>Amtliche Bekanntmachungen</b>	
Verzeichnis der Durchschnittskostensätze für häufig wiederkehrende Nutzleistungen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)	624
Empfehlungen für Prüfverfahren und Einstufungskriterien für gefährliche Güter der Klassen 4.1, 4.2 und 4.3	648
<i>Folgende Bekanntmachungen werden in den Zusatzbänden des Amts- und Mitteilungsblattes veröffentlicht:</i>	
<i>Zusatzband 1/87</i>	
Zulassungsscheine des Bundesbahn-Zentralamtes Minden (Westfalen)	
<i>Zusatzband 2/87</i>	
Zulassungen, Neufassungen, Änderungen und Nachträge zu Baumustern von kubischen Tankcontainern (KTC) zur Beförderung gefährlicher Güter	
Bekanntmachung von Zulassungsscheinen, Neufassungen und Nachträgen für die Verpackungsbauarten zum Transport gefährlicher Güter	
Bekanntmachungen der Zulassung von Sprengstoffen, Sprengzubehör, pyrotechnischen Gegenständen sowie von Nachträgen zu Sprengstoffen und pyrotechnischen Gegenständen	
Zulassungsscheine des Bundesbahn-Zentralamtes Minden (Westfalen)	
<b>Das sicherheitstechnische Konzept der BAM für Sphärogußbehälter</b>	657
<i>D. Aurich, R. Helms und K. Wieser</i>	
<b>Ziele der Stereologie</b>	663
<i>K. Breitzkreutz</i>	
<b>Magnetische Kernresonanzspektroskopie des Kohlenstoffs (<sup>13</sup>C-NMR) zur Strukturaufklärung organischer Stoffe</b>	667
<i>J. Kelm</i>	
<b>Das Kalibrieren in der BAM zur Absicherung ihrer Meß- und Prüfergebnisse — Neuester Stand der Möglichkeiten und Handhabung</b>	671
<i>H. Schneider</i>	
<b>Untersuchungen der inneren Unschärfe verschiedener Aufnahmefolien für 8 MeV Röntgenstrahlen und <sup>60</sup>Co-γ-Strahlen</b>	679
<i>J. Stade, A. A. Khan und H. Heidt</i>	
<b>Konstruktionsdetails des Stützenprüfstandes des Laboratoriums „Brandschutz, Feuerschutz“ der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung</b>	683
<i>M. Bock und J. König</i>	
<b>Referate wissenschaftlicher Veröffentlichungen aus der BAM, die in anderen Zeitschriften erschienen sind</b>	691
<b>Organisationsplan der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)</b>	696
Auf dem Umschlag	
<b>Aufgaben der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)</b>	II
<b>Erlaß des Bundesministers für Wirtschaft über die Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) vom 1. September 1964, Auszug</b>	III
<b>Gesetz zu dem Europäischen Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) vom 18. August 1969, Auszug</b>	III
<b>Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe vom 13. September 1976, Auszug</b>	III
<b>Waffengesetz vom 19. September 1972, zuletzt geändert durch das Zweite Gesetz zur Änderung des Waffengesetzes vom 14. Juli 1980, Auszug</b>	III
<b>Hydraulische Zerreißmaschine aus dem Jahre 1870, auf der Materialprüfungen an Ketten, Seilen u. ä. durchgeführt wurden.</b>	IV

## Aufgaben der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung ist als Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministers für Wirtschaft das technisch-wissenschaftliche Staatsinstitut der Bundesrepublik Deutschland für Werkstoffwissenschaften, Materialprüfung und Chemische Sicherheitstechnik. Dieser Komplex stellt in allen Industrieländern einen technologischen Schlüsselbereich dar, da Materialien als Konstruktions- und Funktionswerkstoffe die Grundlage der gesamten Technik bilden. Die Materialforschung, die zuverlässige, normgerechte und neutrale Prüfung sowie die sicherheitstechnische Beurteilung von Werkstoffen, Bauteilen und Konstruktionen sind wesentliche Voraussetzungen für eine leistungs- und wettbewerbsfähige Wirtschaft im Hinblick auf die Anforderungen an Qualität und Zuverlässigkeit technischer Produkte, Umweltschutzanforderungen und die Notwendigkeit der sparsamen Verwendung von Rohstoffen und Energie.

Die Ursprünge der BAM reichen bis in das Jahr 1870 zurück, in dem durch Erlass des damaligen Preußischen Ministeriums für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten die Gründung einer Mechanisch-Technischen Versuchsanstalt bei der Gewerbeakademie beschlossen wurde. 1895 erfolgte die Angliederung der im Jahre 1875 eingerichteten Prüfungsstation für Baumaterialien als neue Abteilung der Versuchsanstalt. Im Jahre 1904 kam darüber hinaus zur Zusammenlegung mit der 1877 errichteten Chemisch-Technischen Versuchsanstalt zum Königlichen Materialprüfungsamt. Dessen erster Direktor, Adolf Martens (1850—1914), trat u. a. als Entdecker des nach ihm benannten Martensit-Gefüges von Stahl und als Mitbegründer sowie Vorsitzender (1896—1913) des „Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik“ hervor. Das Königliche Materialprüfungsamt, das im Jahre 1907 eine selbständige Behörde geworden war, wurde nach dem Ersten Weltkrieg dem Preußischen Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung unterstellt. Es bestand als Staatliches Materialprüfungsamt (MPA) — bei ständiger Erweiterung seiner Aufgabengebiete und Angliederung anderer Institutionen, wie z. B. der Reichs-Röntgenstelle — bis 1945.

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde dem MPA die im Jahre 1889 errichtete Chemisch-Technische Reichsanstalt (CTR) angeschlossen. Diese vereinigten Institutionen erhielten im Jahre 1954 den Status einer Bundesanstalt im Geschäftsbereich des Bundesministers für Wirtschaft, die seit 1956 den Namen „Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)“ trägt und ab 1. 1. 1987 „Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)“ heißt.

Die Aufgaben der BAM wurden durch einen Erlass des Bundesministers für Wirtschaft vom 1. September 1964 letztmalig festgelegt. Danach hat die Bundesanstalt die Aufgabe, Werkstoff- und Materialforschung entsprechend ihrer Zweckbestimmung zu betreiben und die Materialprüfung sowie die Chemische Sicherheitstechnik stetig weiter zu entwickeln. Die Ergebnisse ihrer und fremder wissenschaftlicher Arbeiten hat die Bundesanstalt zu sammeln, zu ordnen und der Allgemeinheit zugänglich und nutzbar zu machen. Für das Land Berlin hat die Bundesanstalt die Aufgaben eines staatlichen Materialprüfungsamtes. Auf Antrag steht die BAM

Industriefirmen, Wirtschaftsverbänden, Verbrauchereinigungen sowie privaten Antragstellern zur Verfügung. Außerdem berät sie Bundesministerien und unterstützt Verwaltungsbehörden sowie Gerichte. Mit Institutionen ähnlicher Zielsetzung des In- und Auslandes, insbesondere den nationalen Schwesterinstituten, arbeitet die BAM eng zusammen. Daneben ist sie in die technische Zusammenarbeit mit verschiedenen Entwicklungsländern eingebunden. Die Mitarbeiter der Bundesanstalt wirken in zahlreichen Fachgremien, gesetzgebenden Körperschaften und normensetzenden Institutionen an der Aufstellung von technischen Regeln und Sicherheitsbestimmungen mit und vertreten die Bundesrepublik Deutschland in internationalen und supranationalen Einrichtungen.

Aufgrund des Gesetzes über explosionsgefährliche Stoffe, des Gesetzes über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, des Waffengesetzes sowie einer Reihe weiterer gesetzlicher Regelungen und Verordnungen hat die Bundesanstalt den Status einer Bundesoberbehörde. Damit erhalten die in diesem Zusammenhang erteilten Zulassungen, Richtlinien und Auflagen bundesweit gesetzlichen Charakter. Im Rahmen der genannten Gesetze obliegen der BAM u. a. die Prüfung von Stoffen und Konstruktionen für die Zulassung explosionsgefährlicher Stoffe und Sprengzubehör, die Zulassung der Bauart von Verpackungen und die Genehmigung der Beförderung von gefährlichen Gütern ohne Schutzbehälter. Ferner läßt die Bundesanstalt Raketenmunition und Geschosse mit pyrotechnischer Wirkung im zivilen Bereich zu und prüft die Vielzahl weiterer Produkte und Gegenstände im öffentlichen Interesse.

Mit nahezu 1.200 Mitarbeitern, darunter etwa 300 Wissenschaftlern unterschiedlicher naturwissenschaftlicher und technischer Fachrichtungen, befaßt sich die BAM in mehr als 100 Laboratorien damit, die chemischen, physikalischen und technologischen Eigenschaften von Werkstoffen zu bestimmen und Zusammenhänge zwischen Stoffkennwerten und Materialverhalten beim praktischen Einsatz aufzuklären. Dadurch werden Rohstoffe und Werte erhalten, Schäden vermindert und Unfälle verhütet. Das Arbeitsgebiet schließt alle technischen Materialien ein: Metalle, anorganische nichtmetallische Stoffe, insbesondere Baustoffe und keramische Werkstoffe, organische Stoffe wie Kautschuk, Kunststoffe, Textilien, Leder, Papier, Holz, aber auch Verbundwerkstoffe, technische Fluide und Gase sowie feste, flüssige und gasförmige explosionsfähige Stoffe. Für die Untersuchung von Materialien unter den verschiedensten Beanspruchungen, z. B. mechanischer, thermischer, tribologischer, chemischer, korrosiver oder biologischer Art, werden unterschiedlichste Meß-, Prüf- und Analysetechniken einschließlich zerstörungsfreier Prüfverfahren und Computertechniken eingesetzt. Durch Forschung und Entwicklung, Prüfung und Untersuchung sowie Beratung und Information dient die BAM dem Ziel, die Leistungsfähigkeit der Wirtschaft zu fördern, die technisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse zu erweitern sowie die Lebensbedingungen zu sichern und zu verbessern.

Inhaltsverzeichnis	Seite
<b>Amtliche Bekanntmachungen</b>	
Verzeichnis der Durchschnittskostensätze für häufig wiederkehrende Nutzleistungen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)	624
Empfehlungen für Prüfverfahren und Einstufungskriterien für gefährliche Güter der Klassen 4.1, 4.2 und 4.3	648
<i>Folgende Bekanntmachungen werden in den Zusatzbänden des Amts- und Mitteilungsblattes veröffentlicht:</i>	
<i>Zusatzband 1/87</i>	
Zulassungsscheine des Bundesbahn-Zentralamtes Minden (Westfalen)	
<i>Zusatzband 2/87</i>	
Zulassungen, Neufassungen, Änderungen und Nachträge zu Baumustern von kubischen Tankcontainern (KTC) zur Beförderung gefährlicher Güter	
Bekanntmachung von Zulassungsscheinen, Neufassungen und Nachträgen für die Verpackungsbauarten zum Transport gefährlicher Güter	
Bekanntmachungen der Zulassung von Sprengstoffen, Sprengzubehör, pyrotechnischen Gegenständen sowie von Nachträgen zu Sprengstoffen und pyrotechnischen Gegenständen	
Zulassungsscheine des Bundesbahn-Zentralamtes Minden (Westfalen)	
<b>Das sicherheitstechnische Konzept der BAM für Sphärogußbehälter</b>	657
<i>D. Aurich, R. Helms und K. Wieser</i>	
<b>Ziele der Stereologie</b>	663
<i>K. Breitzkreutz</i>	
<b>Magnetische Kernresonanzspektroskopie des Kohlenstoffs (<sup>13</sup>C-NMR) zur Strukturaufklärung organischer Stoffe</b>	667
<i>J. Kelm</i>	
<b>Das Kalibrieren in der BAM zur Absicherung ihrer Meß- und Prüfergebnisse — Neuester Stand der Möglichkeiten und Handhabung</b>	671
<i>H. Schneider</i>	
<b>Untersuchungen der inneren Unschärfe verschiedener Aufnahmefolien für 8 MeV Röntgenstrahlen und <sup>60</sup>Co-γ-Strahlen</b>	679
<i>J. Stade, A. A. Khan und H. Heidt</i>	
<b>Konstruktionsdetails des Stützenprüfstandes des Laboratoriums „Brandschutz, Feuerschutz“ der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung</b>	683
<i>M. Bock und J. König</i>	
<b>Referate wissenschaftlicher Veröffentlichungen aus der BAM, die in anderen Zeitschriften erschienen sind</b>	691
<b>Organisationsplan der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)</b>	696
Auf dem Umschlag	
<b>Aufgaben der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)</b>	II
<b>Erlaß des Bundesministers für Wirtschaft über die Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) vom 1. September 1964, Auszug</b>	III
<b>Gesetz zu dem Europäischen Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) vom 18. August 1969, Auszug</b>	III
<b>Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe vom 13. September 1976, Auszug</b>	III
<b>Waffengesetz vom 19. September 1972, zuletzt geändert durch das Zweite Gesetz zur Änderung des Waffengesetzes vom 14. Juli 1980, Auszug</b>	III
<b>Hydraulische Zerreißmaschine aus dem Jahre 1870, auf der Materialprüfungen an Ketten, Seilen u. ä. durchgeführt wurden.</b>	IV

<b>Herausgeber und Druck</b>	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
<b>Redaktion</b>	RegDir. Dr. H.-U. Mittmann (Geschäftsführendes Redaktionsmitglied) Dir. u. Prof. Dr. G. Strese und Dir. u. Prof. Dr. H. Terstiege
<b>Anschrift</b>	Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45
<b>Fernsprecher</b>	(030) 8104-1
<b>Fernschreiber</b>	183 261 bamb d
<b>Telefax</b>	(030) 8 112 029
<b>Teletex</b>	2 627-308 372 = bamb
<b>Erscheinungsweise</b>	Viermal jährlich
<b>Bezugspreis</b>	36,— DM für das Jahresabonnement. Bei Bedarf erscheinende Sonderhefte werden zusätzlich berechnet. Einzelheft: 12,— DM In den Preisen sind die Versandkosten enthalten. Bestellungen sind an die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung zu richten.

Nachdruck, fotomechanische Wiedergabe sowie sonstige Vervielfältigungen bedürfen — mit Ausnahme der Zulassungen — der Genehmigung der BAM.

## **Verzeichnis der Durchschnittskostensätze für häufig wiederkehrende Nutzleistungen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)**

Am 24. 12. 1970 ist die aufgrund des § 28 Abs. 2 und 3 des Gesetzes über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz) vom 25. 8. 1969 (BGBl. I, S. 1358) verordnete Kostenordnung für Nutzleistungen der BAM vom 17. 12. 1970 (BGBl. I, S. 1748) in Kraft getreten.

Das Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe vom 25. 8. 1969 (BGBl. I, S. 1358) ist mit dem 30. 6. 1977 außer Kraft getreten. Es wurde durch das Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe vom 13. 9. 1976 (BGBl. I, S. 2737), das am 1. 7. 1977 in Kraft getreten ist, abgelöst.

Obwohl in der Kostenverordnung für Nutzleistungen der BAM keine festen Gebührensätze vorgesehen sind, sondern die Gebühr nach dem jeweiligen Arbeitsaufwand zu berechnen ist, werden die nachstehenden Durchschnittskostensätze für häufig wiederkehrende Nutzleistungen der BAM veröffentlicht, um Antragstellern zu ermöglichen, bereits vor Antragstellung festzustellen, welche Kosten bei den aufgeführten Nutzleistungen in der Regel zu erwarten sind. Diesen Durchschnittskostensätzen liegen die in der Kostenverordnung der BAM festgelegten Gebühren zugrunde. Sie gelten nur für Arbeiten mit durchschnittlichem Aufwand. In allen anderen Fällen werden die Kosten nach dem in jedem Einzelfall entstehenden Arbeits- und Materialaufwand berechnet.

Die nachstehenden Durchschnittskostensätze sind solange anwendbar, wie die für sie maßgeblichen Berechnungsgrundlagen.

Bei einschlägigen Änderungen der Kostenverordnung für Nutzleistungen der BAM, insbesondere mit der Änderung neuer Gebührensätze, treten sie außer Kraft.

Dieses Verzeichnis tritt mit Wirkung vom 1. 8. 1987 an die Stelle des zuletzt im Amts- und Mitteilungsblatt der BAM Bd. 15 Nr. 4/1985 veröffentlichten Verzeichnisses, das zufolge Erhöhung der Stundensätze der Kostenverordnung für Nutzleistungen der BAM (BGBl. I, 1987, Nr. 22) mit dem 31. 7. 1987 außer Kraft getreten ist.

G. W. Becker

# **Kostenverordnung für Nutzleistungen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung**

**Vom 17. Dezember 1970  
in der Fassung vom 10. März 1987**

Auf Grund des § 44 Abs. 2 und 3 des Sprengstoffgesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. April 1986 (BGBl. I S. 577) in Verbindung mit dem 2. Abschnitt des Verwaltungskostengesetzes vom 23. Juni 1970 (BGBl. I S. 821) wird verordnet:

## **§ 1 Anwendungsbereich**

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (Bundesanstalt) erhebt für ihre Nutzleistungen Kosten (Gebühren und Auslagen) nach dieser Kostenverordnung.

## **§ 2 Berechnung der Gebühren**

Die Gebühr wird nach dem Arbeitsaufwand (§ 3) berechnet, in den Fällen der §§ 4 bis 6 zuzüglich einem Entgelt für

1. Sonderaufwendungen (§ 4),
2. die Überlassung von Anlagen und Geräten auf Zeit (§ 5),
3. beschleunigt erbrachte Nutzleistungen (§ 6).

## **§ 3 Gebühr nach Arbeitsaufwand; Reise- und Wartezeiten**

(1) Bei der Berechnung der Gebühr nach dem Arbeitsaufwand sind als Stundensätze zugrunde zu legen:

- |  |          |
|--|----------|
| 1. für Beamte des höheren Dienstes und vergleichbare Angestellte   | 125,- DM |
| 2. für Beamte des gehobenen Dienstes und vergleichbare Angestellte | 106,- DM |
| 3. für sonstige Bedienstete  | 92,- DM. |

Angefangene Viertelstunden sind auf volle Viertelstunden aufzurunden.

(2) Zum Arbeitsaufwand gehören insbesondere folgende Tätigkeiten:

1. vorbereitende Schriftwechsel und Gespräche, Aufbau und Umbau von Prüfanlagen einschließlich der notwendigen Werkstattarbeiten sowie sonstige Vorarbeiten,
2. die unmittelbare Prüfarbeit am Prüfobjekt,
3. Abbau der Prüfanlagen, Auswertung der Protokolle, Anfertigung der Prüfungsurkunden sowie sonstige Abschlußarbeiten,
4. Besprechungen sowie Schreivarbeiten einschließlich Entwurfs-, Diktier- und Registraturarbeiten.

(3) Werden Nutzleistungen außerhalb der Bundesanstalt erbracht, so sind Gebühren nach dem Arbeitsaufwand ferner zu berechnen für

1. Reisezeiten, die innerhalb der üblichen Arbeitszeit liegen oder von der Bundesanstalt besonders abgegolten werden,
2. Wartezeiten, die vom Kostenschuldner verursacht worden sind.

## **§ 4 Sonderaufwendungen**

Erfordert die Nutzleistung außergewöhnliche Aufwendungen für Material, Energie, besondere Prüfanlagen, Meß- und Hilfseinrichtungen oder andere Vorkehrungen oder Hilfsmittel oder verursacht die Nutzleistung sonstige überdurchschnittliche Kosten, so sind diese Sonderaufwendungen entsprechend den Selbstkosten zu berechnen.

## **§ 5 Überlassung von Anlagen und Geräten auf Zeit**

Die Überlassung von Anlagen und Geräten auf Zeit ist entsprechend den Selbstkosten zu berechnen.

## § 6 **Beschleunigt erbrachte Nutzleistungen**

Wird eine Nutzleistung wegen besonderer Dringlichkeit auf Antrag außer der Reihe der laufenden Arbeiten erbracht, so kann ein Zuschlag von höchstens 100 vom Hundert der nach den §§ 3 bis 5 errechneten Gebühr erhoben werden.

## § 7 **Ermäßigung der Gebühr**

Ergibt die Berücksichtigung des wirtschaftlichen Wertes der Nutzleistung für den Antragsteller im Einzelfall, daß die nach den §§ 3 bis 5 errechnete Gebühr unverhältnismäßig hoch ist, so kann sie um einen angemessenen Betrag ermäßigt werden.

## § 8 **Höchstsatz der Gebühr**

Der Höchstsatz der Gebühr beträgt 10 000,- DM. Er kann nach § 28 Abs. 3 Satz 2 des Sprengstoffgesetzes überschritten werden.

## § 9 **Auslagen**

Als Auslagen sind zu erstatten:

1. Reisekosten,
2. Aufwendungen für die Beförderung von Prüfmitteln und Prüfobjekten,
3. bei der Prüfung von Gegenständen, die aus dem Ausland zugesandt werden, die aufgewendeten Eingangsabgaben und die mit ihnen im Zusammenhang stehenden Gebühren,
4. Aufwendungen für Lieferungen und Leistungen Dritter.

## § 10 **Kostenschuldner**

(1) Zur Zahlung der Kosten ist verpflichtet,

1. wer die Nutzleistung beantragt,
2. wer die Kosten durch eine gegenüber der Bundesanstalt abgegebene oder ihr mitgeteilte Erklärung übernommen hat,
3. wer für die Kostenschuld eines anderen kraft Gesetzes haftet.

(2) Mehrere Kostenschuldner haften als Gesamtschuldner.

## § 11 **Festsetzung der Kosten, Fälligkeit und Vorschuß**

(1) Die Kosten werden durch schriftlichen Bescheid festgesetzt. Aus dem Bescheid muß mindestens hervorgehen

1. der Kostenschuldner,
2. die kostenpflichtige Nutzleistung,
3. die Höhe der als Gebühren und Auslagen zu zahlenden Beträge,
4. die Rechtsgrundlage für die Erhebung der Gebühren und Auslagen sowie deren Berechnung,
5. wo, wann und wie die Gebühren und Auslagen zu zahlen sind.

(2) Die Kosten werden mit der Bekanntgabe der Kostenentscheidung an den Kostenschuldner fällig, wenn nicht die Bundesanstalt einen späteren Zeitpunkt bestimmt.

(3) Die Erbringung einer Nutzleistung kann von der Zahlung eines angemessenen Vorschusses oder von einer angemessenen Sicherheitsleistung bis zur Höhe der voraussichtlich entstehenden Kosten abhängig gemacht werden.

(4) Die Aushändigung eines Gutachtens oder die Bekanntgabe der Prüfungsergebnisse kann zurückgestellt werden, bis die durch die Nutzleistung erwachsenen Kosten bezahlt sind.

## § 12 **Stundung, Niederschlagung und Erlaß**

Auf die Stundung, die Niederschlagung und den Erlaß von Forderungen der Bundesanstalt auf Zahlung von Kosten nach dieser Kostenverordnung sind die Vorschriften der Bundeshaushaltsordnung entsprechend anzuwenden.

### § 13 **Verzugszinsen**

Die Kosten sind während des Zahlungsverzuges des Kostenschuldners mit 3 vom Hundert über dem jeweiligen Diskontsatz der Deutschen Bundesbank, mindestens jedoch mit 6 vom Hundert für das Jahr zu verzinsen.

### § 14 **Verjährung**

(1) Der Anspruch auf Zahlung von Kosten verjährt nach drei Jahren, spätestens mit Ablauf des Kalenderjahres, in dem der Anspruch fällig geworden ist. Mit dem Ablauf dieser Frist erlischt der Anspruch.

(2) Die Verjährung ist gehemmt, solange der Anspruch innerhalb der letzten sechs Monate der Frist wegen höherer Gewalt nicht verfolgt werden kann.

(3) Die Verjährung wird unterbrochen durch schriftliche Zahlungsaufforderung, durch Zahlungsaufschub, durch Stundung, durch Aussetzung der Vollziehung, durch Sicherheitsleistung, durch eine Vollstreckungsmaßnahme, durch Vollstreckungsaufschub, durch Anmeldung im Konkurs und durch Ermittlungen der Bundesanstalt über Wohnsitz oder Aufenthalt des Zahlungspflichtigen.

(4) Mit Ablauf des Kalenderjahres, in dem die Unterbrechung endet, beginnt eine neue Verjährung.

(5) Die Verjährung wird nur in Höhe des Betrages unterbrochen, auf den sich die Unterbrechungshandlung bezieht.

(6) Wird eine Kostenentscheidung angefochten, so erlöschen Ansprüche aus ihr nicht vor Ablauf von sechs Monaten, nachdem die Kostenentscheidung unanfechtbar geworden ist oder das Verfahren sich auf andere Weise erledigt hat.

### § 15 **Erstattung**

(1) Überbezahlte oder zu Unrecht erhobene Kosten sind unverzüglich zu erstatten, zu Unrecht erhobene Kosten jedoch nur, soweit eine Kostenentscheidung noch nicht unanfechtbar geworden ist; nach diesem Zeitpunkt können zu Unrecht erhobene Kosten nur aus Billigkeitsgründen erstattet werden.

(2) Der Erstattungsanspruch erlischt durch Verjährung, wenn er nicht bis zum Ablauf des dritten Kalenderjahres geltend gemacht wird, das auf die Entstehung des Anspruchs folgt; die Verjährung beginnt jedoch nicht vor der Unanfechtbarkeit der Kostenentscheidung.

### § 16 **Geltung im Land Berlin**

Diese Verordnung gilt nach § 14 des Dritten Überleitungsgesetzes vom 4. Januar 1952 (Bundesgesetzblatt I, S. 1) in Verbindung mit § 52 des Sprengstoffgesetzes auch im Land Berlin.

### § 17 **Inkrafttreten**

Diese Verordnung tritt am Tage nach ihrer Verkündung in Kraft.

Bonn, den 10. März 1987

*Der Bundesminister für Wirtschaft*

In Vertretung

*Dr. Schlecht*

# Abteilung 1      Metalle und Metallkonstruktionen

## Metallographische Untersuchungen

(ohne jede Nebenleistung)

Pos.-Nr.		DM
1.1	Einzelanfertigung von polierten Anschliffen für die Auflichtmikroskopie	220,—
1.2	Serienanfertigung von polierten Anschliffen mit einer automatischen Vorrichtung. Bei Serien ab 6 gleichartigen Proben je Anschliff	92,—
1.3	Mikro- oder Makroaufnahme einschl. Vorbereitung (6,5 cm x 9 cm bis 13 cm x 18 cm)	62,—
1.4	Abzug 6 cm x 9 cm bis 9 cm x 12 cm	3,75
1.5	Abzug 13 cm x 18 cm	7,50
1.6	Vergrößerung 7,5 cm x 10 cm und 9 cm x 12 cm	5,60
1.7	Vergrößerung 13 x 18 cm	11,25
1.8	Vergrößerung 18 x 25 cm	22,50

## Transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen

(ohne jede Nebenleistung)

Pos.-Nr.		DM
1.9	Elektrolytisches Dünnen nach der Bollmann- bzw. Jet-Methode einschl. der mechanischen Vorarbeiten	337,—
1.10	Oberflächenabdruck bzw. Extraktionsabdruck einschl. der mechanischen Vorarbeiten	270,—
1.11	Aufnahmen mit dem Transmissionselektronenmikroskop	
	– Konventionelle Durchstrahlungsaufnahme (CTEM)	53,—
	– Rastertransmissionsaufnahme (STEM)	53,—
	– Sekundärelektronen-Rasteraufnahme (SEM)	53,—
	– Elektronenbeugungsaufnahme	53,—

## Elektronenstrahl-Mikrosonde

(ohne jede Nebenleistung)

1.12	Halbquantitative Bestimmung der Elemente mit Ordnungszahl $Z \geq 5$ innerhalb eines Mikrobereichs (quantitative Röntgenmikroanalyse nach Aufwand)	118,—
1.13	Rasterbild oder Linienprofil mit einem der zur Verfügung stehenden Signale (Röntgenstrahlen, Elektronen)	40,—

## Festigkeits- und Verformungsuntersuchungen

(ohne jede Nebenleistung)

Pos.-Nr.		Vorbereitung	Einzel-
		je Prüfreihe DM	versuch DM
	Zug- (DIN 50145) und Druckversuch (DIN 50106) bei Raumtemperatur mit genormten Proben		
1.14	ohne Dehnungsmessung während des Versuches	55,—	55,—
1.15	mit Dehnungsmessung ( $\sigma_{0,2}$ ; $\sigma_{0,01}$ )	74,—	74,—
1.16	mit elektrischen Gebern und Diagrammaufnahme (voll instrumentiert)	159,—	85,—
1.17	mit elektrischen Gebern und geregelter Dehn- oder Belastungsgeschwindigkeit	201,—	127,—
1.18	Zugversuche mit üblichen Proben bei höheren Temperaturen mit Instrumentierung	nach Aufwand	nach Aufwand
1.19	Härteprüfung nach Brinell, Vickers oder Rockwell	46,—	7,50
1.20	Kerbschlagbiegeversuch mit Normproben		
	– konstante Temperatur, ohne Instrumentierung	18,—	9,—
	– unterschiedliche Temperatur, ohne Instrumentierung	46,—	18,—
	– unterschiedliche Temperatur, instrumentiert	106,—	53,—

Übliche Dauerschwingprüfungen an Probestäben normaler Abmessungen oder einfachen Bauteilen bei Raumtemperatur und Rüttelprüfungen



Pos.-Nr.		Vorbereitungs- gebühr je Prüfstück	Laufkosten für das Gebiet der	
			Zeit- festigkeit 1)	Dauer- festigkeit 2)
		DM	DM je 10 <sup>6</sup> Schwingspiele	
1.21	Torsionsbeanspruchung bis 60 Nm und Umlaufbiegebeanspruchung bis 100 Nm	46,-	65,-	29,-
1.22	Mechanische Resonanzmaschine $F_{max} = 20$ kN	46,-	93,-	41,-
1.23	Mechanische Resonanzmaschine $F_{max} = 200$ kN	92,-	110,-	53,-
Dauerschwingversuche nach dem Prinzip der Resonanzanregung				
1.24	für Proben bis ca. 1.500 mm <sup>2</sup> Prüfquerschnitt	138,-	79,-	28,-
1.25	für Proben über 1.500 mm <sup>2</sup> Prüfquerschnitt	276,-	134,-	49,-
1.26	für Großbauteile	nach Aufwand	268,-	115,-
Servohydraulische Prüfmaschine			DM je Betriebsstunde	
1.27	$F_{max} = 10$ u. 25 kN	53,-	37,-	19,-
1.28	$F_{max} = 60$ u. 160 kN	53,-	44,-	25,-
1.29	$F_{max} = 400$ u. 600 kN	106,-	94,-	52,-
Servohydraulische Resonanzmaschine $F_{max} = 1.000$ kN			DM je Betriebsstunde	
1.30	Nachfahrbetrieb	106,-	114,-	65,-
1.31	Resonanzbetrieb	106,-	107,-	58,-
Servohydraulische Resonanzmaschine $F_{max} = 20.000$ (13.000) kN				
1.32	Nachfahrbetrieb	nach Aufwand	246,-	165,-
1.33	Resonanzbetrieb	nach Aufwand	214,-	143,-
1.34	Vibrationsprüfungen (Frequenzbereich 5 bis 3.000 Hz, max. Kraftvektor 26 kN)	nach Aufwand	96,-3)	64,-4)

1) weniger als ca. 10<sup>6</sup> Schwingspiele je Einzelversuch

2) mehr als ca. 10<sup>6</sup> Schwingspiele je Einzelversuch

3) weniger als 2 Std. je Einzelversuch

4) mehr als 2 Std. je Einzelversuch

### Analytische Untersuchungen

(ohne jede Nebenleistungen)

Pos.-Nr.		DM
1.35	Bestimmung von Kohlenstoff, Silicium, Mangan, Phosphor und Schwefel	583,-
1.36	Bestimmung von Gesamtkohlenstoff, Graphit, Silicium, Mangan, Phosphor und Schwefel	689,-
1.37	Spektral-Eichproben je Paar/Platte/Probe	215,-
1.38	Spektralproben, reine Metalle (außer Silber) je Elektrode	48,-
1.39	Spektralproben, Silber je Elektrode	66,-
1.40	BAM-eigene Analysenkontrollproben, Leichtmetall-Legierungen je 100 g	94,-
1.41	BAM-eigene Analysenkontrollproben, Kupfer und Kupferlegierungen je 100 g	182,25

## Abteilung 2 Bauwesen

### Baustoffe und Baukonstruktionen

(Die Kosten für die Entnahme von Versuchsmaterial sowie andere Nebenleistungen, wie z. B. Durchführung von Prüfungen auf Baustellen, sind in den angegebenen Beträgen nicht enthalten)

Pos.-Nr.		DM
2.1	Prüfung eines Betonzusatzmittels auf Gehalt an Halogen (außer Fluor)	490,-
2.2	Chemische Analyse einer Festmörtelprobe zur Ermittlung des Mischungsverhältnisses	1.095,-
2.3	Prüfung von schwimmendem Estrich (Bestätigungsprüfung); DIN 18 560 Teil 2; je Platte (drei bis fünf Streifen)	600,-
2.4	Prüfung der Abreißfestigkeit bzw. Oberflächenzugfestigkeit – je 5 Meßstellen	325,-
2.5	Entnahme von Bohrkernen – je 1 cm Bohrvortrieb; Kerndurchmesser $\geq 10$ cm	2,-

2.6	wie Pos. 2.5, jedoch Kerndurchmesser $\leq$ 8 cm	1,—
2.7	Prüfung von Betonkernen auf Druckfestigkeit; drei Bohrkerne im Hoch- und Straßenbau	400,—
2.8	wie Pos. 2.7, jedoch neun Bohrkerne im Hoch- u. Straßenbau	950,—
2.9	Kugelschlagprüfung eines Bauteils (zehn Meßstellen); DIN 1048 Teil 2	500,—
2.10	Ultraschall-Laufzeitmessung am Bauwerk; je Std.	198,—
2.11	Carbonatisierung von Beton; je 10 Probekörper	170,—
2.12	Messung der Betondeckung und Lage der Bewehrung (induktive Messung)	nach Aufwand
2.13	Prüfung von Betonwürfeln auf Druckfestigkeit; DIN 1048 (drei Würfel)	108,—
2.14	Prüfung eines Betonwürfels auf Druckfestigkeit; DIN 1048	62,—
2.15	Prüfung zweier Betonwürfel auf Druckfestigkeit; DIN 1048	85,—
2.16	Probenvorbereitung eines Würfels für die Prüfung auf Druckfestigkeit	20,—
2.17	Prüfung von Betonbalken auf Biegezugfestigkeit; DIN 1048 (drei Balken)	154,—
2.18	Bestimmung des statischen Elastizitätsmoduls an Probekörpern aus Beton; DIN 1048 Teil 1 Prüfung von Mauerziegeln auf Druckfestigkeit; DIN 105	826,50
2.19	– Vollziegel; Lochziegel NF und DF	645,50
2.20	– Lochziegel NF und DF bis 8 DF	553,50
2.21	Prüfung von Mauerziegeln auf Frostwiderstandsfähigkeit nach DIN 52 252 Teil 1	897,75
2.22	wie Pos. 2.21, jedoch ausschließlich Erstellen eines Prüfungszeugnisses	668,50
2.23	Prüfung von Kalksandsteinen (Vollsteinen NF bzw. DF); DIN 106 Teil 1	749,25
2.24	wie Pos. 2.23, jedoch sonstige Voll-, Loch-, Block- und Hohlblocksteine	657,25
2.25	Prüfung von Kalksandsteinen auf Frostwiderstandsfähigkeit (ausschließlich Erstellen eines Prüfungszeugnisses); DIN 106 Teil 2	668,50
2.26	Prüfung von Wandbauplatten aus Gips; DIN 18163	409,75
2.27	Prüfung von keramischen Fliesen auf Frostwiderstandsfähigkeit; DIN EN 202	989,75
2.28	Prüfung von Beton auf Wasserundurchlässigkeit (drei Probekörper, erste Druckstufe); DIN 1048, Teil 1	287,75
2.29	wie Pos. 2.28, jedoch jede weitere Druckstufe	23,—
2.30	Prüfung von Beton auf Wasserundurchlässigkeit; DIN 1048 Teil 1 (drei Probekörper, 1. bis 3. Druckstufe, ausschließlich Erstellen eines Prüfungszeugnisses)	233,50
2.31	Prüfung von Zement; DIN 1164 auf Mahlfinheit einschl. Bestimmung der spezifischen Oberfläche, Erstarren, Raumbeständigkeit u. Festigkeit; (zwei Altersstufen einschl. Herstellen der Probekörper für jede Altersstufe)	1.094,—
2.32	wie Pos. 2.31, jedoch einschl. Glühverlust, Gehalt an Kohlenstoffdioxid (CO <sub>2</sub> ), unlöslichem Rückstand, Gehalt an Sulfat (SO <sub>3</sub> ), Gehalt an Chlorid (Cl <sup>-</sup> )	1.964,25
2.33	Prüfung von Zuschlag für Beton im Rahmen der Überwachung, Kornzusammensetzung; DIN 4226 Teil 1 (Normalzuschlag)	363,75
2.34	wie Pos. 2.33, jedoch Kornzusammensetzung und Abschlämmbares	577,75
2.35	wie Pos. 2.33, jedoch Kornzusammensetzung, Abschlämmbares und Stoffe organischen Ursprungs	650,—
2.36	Prüfung von Schmelzkammerschlackengranulat im Rahmen der Überwachung auf Kornzusammensetzung, Abschlämmbares, Sulfat-, Chlorid-Gehalt, Kornrohichte und Verhalten im Beton	1.845,75
2.37	Prüfung von Weißfeinkalk im Rahmen der Überwachung; DIN 1060 auf Kornfeinheit, Ergiebigkeit, Verarbeitbarkeit, Raumbeständigkeit; Gehalt an CaO + MgO, Gehalt an MgO, Gehalt an CO <sub>2</sub> und Gehalt an SO <sub>3</sub>	1.713,25
2.38	Prüfung von Asbestzement-Rohrverbindungen für Druckrohre; DIN 19 800 Teil 3	367,—
2.39	Prüfung von Asbestzement-Formstücken für Abwasserkanäle; DIN 19 850 Teil 1	367,—
2.40	Prüfung von muffenlosen Faserzement-Rohren, Bezeichnung „VS-Nova“; Prüfbescheid PA-I 3200 (ohne Frostprüfung)	1.021,75
2.41	Prüfung des inneren Rohrschutzes von Faserzement-Rohrabschnitten, etwa 300 mm lang DN 100, nach Prüfbescheid PA-I 3200	902,—

2.42	Prüfung von muffenlosen Faserzement-Bogen, Bezeichnung „VS-Nova“; Prüfbescheid PA-I 3200 (ohne Frostprüfung)	597,—
2.43	wie Pos. 2.42, jedoch Abzweige	620,—
2.44	wie Pos. 2.42, jedoch Doppelabzweige	666,—
2.45	Prüfung von Faserzement-Rohren nach Prüfbescheid PA-I 3200 auf Frostbeständigkeit	461,50
2.46	wie Pos. 2.45, jedoch Formstücke	415,50
2.47	Prüfung von Sonderformstücken aus Faserzement in geklebter Ausführung f. Abwasserleitungen; Prüfbescheid PA-I 3200 – ausschließlich Dichtheit nach Wechselbeanspruchung	735,—
2.48	wie Pos. 2.47, jedoch einschließlich Dichtheit nach Wechselbeanspruchung	3.311,—
2.49	Prüfung von doppelwandigen Formstücken mit Dämmstoffschicht für Schornsteine; Prüfbescheid Z-7.1.102	719,—
2.50	Prüfung von Faserzement-Wellplatten; Zulassungsbescheid Z 31.1-24	2.182,—
2.51	Prüfung von Asbestzementplatten – ebene Dachplatten –; DIN 274 Teil 3	1.589,25
2.52	Prüfung von Asbestzementplatten – ebene Tafeln –; DIN 274 Teil 4	1.704,25
2.53	Prüfung von Asbestzement-Tafeln „Glasal“ und „Eterflex“; Zulassungsbescheid Z 31.1-11	1.704,25
2.54	Prüfung von asbestfreien Faserzement-Tafeln „Colorflex“; Zulassungsbescheid Z 31.1-33	2.113,—
2.55	Prüfung von asbestfreien Faserzement-Tafeln „Isocolor“; Zulassungsbescheid Z 31.1-34	2.113,—
2.56	Prüfung von Betondachsteinen; DIN 1115	864,25
2.57	Prüfung von Entwässerungsgegenständen aus Beton (mit Boden); DIN 4281	485,75
2.58	wie Pos. 2.57, jedoch ohne Boden	657,25
2.59	Prüfung von Gehwegplatten (Form A); DIN 485	979,25
2.60	Prüfung von Bordsteinen aus Beton; DIN 483	611,25
2.61	Prüfung von Kantensteinen; Richtlinien der Berliner Güteschutzgemeinschaft	542,25
2.62	Prüfung von Gartenwegplatten; Richtlinien der Berliner Güteschutzgemeinschaft	910,25
2.63	Prüfung von Betonwerkstein (Fußbodenplatten); DIN 18 500	979,25
2.64	wie Pos. 2.63, jedoch Stufen	1.159,75
2.65	Prüfung von Pflastersteinen aus Beton; DIN 18 501	618,25
2.66	Prüfung von Hartbetonstoff in einer Mörtelmischung auf Biegezug- und Druckfestigkeit sowie auf Verschleißfestigkeit	1.408,—
2.67	Prüfung von drei Stück Mörtelprismen auf Biegezug- und Druckfestigkeit	191,—
2.68	Prüfung von Zement auf Festigkeit nach DIN 1164	474,—

## Grundbau und Bodenmechanik

### Laborversuche

#### an Erdstoffen

2.69	Auspressen und Beurteilen einer ungestörten Bodenprobe (Probenansprache)	62,50
2.70	Beurteilen einer gestörten Bodenprobe	12,50
2.71	Trockensiebung nach DIN 18123 je Sieb	18,—
2.72	Naßsiebung nach DIN 18123 je Sieb	30,—
2.73	Schlämmanalyse nach DIN 18123	138,—
2.74	Kombinierte Analyse (Siebung und Schlämmanalyse)	230,—
2.75	Bestimmung des Wassergehaltes durch Ofentrocknung nach DIN 18121	30,—
2.76	Bestimmung der Fließgrenze nach DIN 128122/1	184,—
2.77	Bestimmung der Ausrollgrenze nach DIN 18122/1	92,—
2.78	Bestimmung der Schrumpfgrenze nach DIN 18122/2	92,—
2.79	Bestimmung der Dichte des Bodens nach DIN 18125/1 durch Tauchwägung	46,—
2.80	durch Ausmessen der Probe	18,—
2.81	Bestimmung der Korndichte mit dem Kapillarpyknometer nach DIN 18124/1	138,—
2.82	Berechnung des Porenanteils, der Porenzahl, des Sättigungsgrades	12,50
2.83	Bestimmung des Glühverlustes	46,—

2.84	Proctorversuch nach DIN 18127 Durchm. d. Versuchszyinders d = 100 mm	322,-
2.85	Durchm. d. Versuchszyinders d = 150 mm	368,-
2.86	Durchm. d. Versuchszyinders d = 250 mm	552,-
2.87	Kompressionsversuch bis 5 Belastungsstufen	339,-
2.88	Kompressionsversuch, jede weitere Belastungsstufe	46,-
2.89	Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach DIN 18136	184,-
2.90	Dreiaxialversuch nach DIN 18127/2 mit je 3 Einzelversuchen (Probendurchmesser 3,6 cm oder 5,0 cm) Konsolidierter, dränierter Versuch (CD-Versuch)	585,-
2.91	Konsolidierter, undränierter Versuch (CU-Versuch)	493,-
2.92	Unkonsolidierter, undränierter Versuch (UU-Versuch)	247,-

#### an Erzkonzentraten

2.93	Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes	30,-
2.94	Bestimmung des Verflüssigungspunktes (Flow Moisture Point) und der Feuchtigkeitsgrenze für die Beförderung (Transportable Moisture Limit)	736,-

#### an Baustoffen für Tennendecken

(Untersuchungen nach DIN 18035/5)

2.95	Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (Wasserschluckwert) bei Baustoffen für Tragschichten und Dynamische Schichten	431,-
2.96	bei Tennenbelagsbaustoffen nach Trockenaufbereitung	615,-
2.97	bei Tennenbelagsbaustoffen nach Strukturaufbereitung	799,-
2.98	Bestimmung der Oberflächenscherfestigkeit bei Baustoffen für Dynamische Schichten und Tennenbeläge	707,-

#### Feldversuche und Baugrunderkundung

2.99	Bestimmung der Dichte nach DIN 18125/2: durch Ausstechzylinder-Verfahren	83,-
2.100	durch Sandersatz-Verfahren	92,-
2.101	durch Ballon-Verfahren (Densitometer)	74,-
2.102	durch Gipsersatz-Verfahren	92,-
2.103	Plattendruckversuch nach DIN 18134 (ohne Gestellung eines Gegengewichtes), Durchmesser der Lastplatte d = 300 mm	552,-
2.104	Entnahme ungestörter Bodenproben mit Entnahmezylinder aus Schürfruben je Probe	46,-
2.105	Sondierung mit der leichten Rammsonde (ohne Baustelleneinrichtung) bei Einsatz der Motorramme	je m 40,-
2.106	bei Handbetrieb	je m 55,-
2.107	Baugrundaufschluß mit der Rammkernsonde (ohne Baustelleneinrichtung) Sondendurchmesser 50 und 60 mm	je m 105,-
2.108	Sondendurchmesser 80 mm	je m 150,-

#### Bituminöse Bindemittel

Pos.-Nr.		DM
2.109	Äußere Beschaffenheit, DIN 52 002	28,-
2.110	Dichte, DIN 52 004	106,-
2.111	Gehalt an Asche, DIN 52 005	84,-
2.112	Nadelpenetration, DIN 52 010	88,-
2.113	Erweichungspunkt Ring und Kugel (bis 80 °C), DIN 52 011	65,-
2.114	Erweichungspunkt Ring und Kugel (über 80 °C), DIN 52 011	75,-
2.115	Brechpunkt nach FRAASS, DIN 52 012	106,-
2.116	Nachweis von Teer in Bitumen (qualitativ) DIN 52 034	47,-

## Mineralstoffe

(als Zuschlagstoffe für bituminöse Massen)

Pos.-Nr.		DM
2.117	Art (visuelle Beurteilung)	28,—
2.118	Rohdichte, DIN 1996, Bl. 7	116,—
2.119	Rütteldichte, DIN 1996, Bl. 7	93,—
2.120	Kornzusammensetzung eines korngestuften Mineralstoffgemischs, DIN 1996, Bl. 14	121,—

## Asphalte

Einzelprüfungen

Pos.-Nr.		DM
2.121	Äußere Beschaffenheit	28,—
2.122	Schichtdicken pro Bohrkern	46,—
2.123	Vorbereitung einer Laboratoriumsprobe, DIN 1996, Bl. 3	46,—
2.124	Rohdichte, DIN 1996, Bl. 7	116,—
2.125	Wassergehalt (Xylolmethode), DIN 1996, Bl. 5	125,—
2.126	Bindemittelgehalt (Extraktion), DIN 1996, Bl. 6	235,—
2.127	Bindemittelrückgewinnung, DIN 1996, Bl. 6, Pos. 9.2.3	110,—
2.128	Herstellung von Gußasphalt-Probekörpern, DIN 1996, Bl. 4, je Probekörper (als Zusatz zur Vorbereitung der Laboratoriumsprobe)	10,—
2.129	Herstellung von MARSHALL-Probekörpern, DIN 1996, Bl. 4, je Probekörper (als Zusatz zur Vorbereitung der Laboratoriumsprobe)	19,—
2.130	Raumdichte, DIN 1996, Bl. 7	51,—
2.131	Wasseraufnahme im Vakuum, DIN 1996, Bl. 8	79,—
2.132	Quellung, DIN 1996, Bl. 9	125,—
2.133	Stempeleindringtiefe, DIN 1996, Bl. 13	79,—
2.134	Druckfestigkeit und Zusammendrückung, DIN 1996, Bl. 12	79,—
2.135	Biegezugfestigkeit (Vorläufiges Merkblatt für die Bestimmung der Biegezugfestigkeit bituminöser Massen vom August 1959)	79,—
2.136	MARSHALL-Stabilität und MARSHALL-Fließwert, DIN 1996, Bl. 11	79,—
2.137	Verdichtungsgrad von Walzasphaltschichten (ohne Entnahme und Schneiden des Ausbaustückes), DIN 1996, Bl. 7	207,—

## Dach- und Dichtungsbahnen

Einzelprüfungen

Pos.-Nr.		DM
2.138	Äußere Beschaffenheit und Durchtränkung, DIN 52123	28,—
2.139	Dicke, DIN 52123	38,—
2.140	Gehalt an Löslichem und Flächengewicht der Einlage, DIN 52123 (bei Glasgewebeeinlage s. Pos. 2.90)	125,—
2.141	Flächengewicht der Glasgewebeeinlage, DIN 18190, Teil 3	170,—
2.142	Wasserundurchlässigkeit (Schlitzdruckprüfung), DIN 52123	185,—
2.143	Bruchwiderstand und Dehnung beim Bruch, DIN 52123	190,—
2.144	Biegsamkeit bei Raumtemperatur, DIN 52123	60,—
2.145	Biegsamkeit bei 0 °C (Kältebeständigkeit), DIN 52123	70,—
2.146	Wärmebeständigkeit, DIN 52123	70,—
2.147	Art und Korngröße der Bestreuung, DIN 52123	88,—
2.148	Füllstoffe für Deckmasse, DIN 18190	428,—

## Brandschutz, Feuerschutz

### Brandverhalten von Baustoffen

(Angaben einschl. Nebenkosten, bei vollständigen Prüfungen mit Prüfungszeugnis; zusätzlich können in Rechnung gestellt werden: Prüfgeräteinstandsetzung bei außergewöhnlicher Verschmutzung, falls erforderlich Herstellung von Proben, Auslagerung zur Freibewitterung)

Pos.-Nr.		DM
2.149	Prüfung von Baustoffen auf Nichtbrennbarkeit nach DIN 4102 Teil 1 im elektrisch beheizten Ofen, vollständige Prüfung	1.371,50
2.150	wie vor, jedoch Teilprüfung (z. B. Vorversuch)	624,50
2.151	Prüfung von Baustoffen auf Schwerentflammbarkeit nach DIN 4102, Teil, vollständige Prüfung	2.753,50
2.152	wie vor, jedoch Teilprüfung (z. B. Vorversuch)	921,50
2.153	Prüfung von Baustoffen auf Normalentflammbarkeit nach DIN 4102 Teil 1, vollständige Prüfung	892,—
2.154	wie vor, jedoch Teilprüfung (z. B. Vorversuch)	438,—
2.155	Prüfung von Bedachungen bei zwei unterschiedlichen Dachneigungen auf Widerstandsfähigkeit gegen Flugfeuer und strahlende Wärme nach DIN 4102 Teil 7	2.880,50
2.156	Prüfung von Fußbodenbelägen auf Schwerentflammbarkeit (RADIANT-PANEL-TEST) für die Einreihung in die Baustoffklasse B 1 (DIN 4102), vollständige Prüfung	1.495,—
2.157	wie vor, jedoch Teilprüfung (z. B. Vorversuch)	940,—
2.158	wie vor, jedoch Regelprüfung (Güteüberwachung)	622,—
2.159	Prüfung im Kleinprüfstand nach DIN 4102 Teil 8 zur Ermittlung der im Brand freiwerdenden Wärmemenge (Die Kosten für die ergänzende Heizwertbestimmung nach DIN 51 900 werden extra berechnet)	974,50
2.160	Blähdruckprüfung von Baustoffen, die im Brandfall aufschäumen (Bei dieser Prüfung werden wegen des unterschiedlichen Aufwandes Herstellung der Proben und Zeitdauer der Versuchsdurchführung gesondert in Rechnung gestellt)	313,50
2.161	Rauchentwicklung von Baustoffen durch Verbrennung bei Flammenbeanspruchung	426,50
2.162	Rauchentwicklung von Baustoffen durch Zersetzung unter Verschmelungsbedingungen (Bei dieser Prüfung wird wegen des unterschiedlichen Aufwandes zusätzlich zum Grundbetrag von DM 80,— je Temperaturstufe das Herstellen der Probekörper gesondert in Rechnung gestellt)	80,—

#### **Brandverhalten von Bauteilen**

(Bei allein Prüfungen werden wegen des unterschiedlichen Aufwandes gesondert in Rechnung gestellt: Probeneingang sowie Herstellung der Proben bzw. deren Überwachung, außerdem Nebenkosten, wie fotografische, reprografische und Zeichenarbeiten sowie Heizöl-Verbrauch)

Pos.-Nr.		DM
2.163	Prüfung eines vertikalen, raumabschließenden Bauteils (Wand, Feuerschutz- oder Fahr-schachtabschluß u. a.) nach DIN 4102 Teil 2 bzw. Teil 3 bzw. Teil 5 (Feuerwiderstandsklasse)	3.989,—
2.164	Prüfung eines horizontal raumabschließenden Bauteils nach DIN 4102 Teil 2 (Feuerwiderstandsklasse)	6.381,—
2.165	Prüfung von Stützen nach DIN 4102 Teil 2 (Feuerwiderstandsklasse)	3.437,—
2.166	Prüfung von Schornsteinformstücken auf Gasdichtheit nach DIN 18 150	932,50
2.167	Kleinbrandversuch (mit oder ohne Gegenheizung) im Kleinprüfstand nach DIN 4102 Teil 8	1.023,—
2.168	Berechnung der Feuerwiderstandsdauer bekleideter Stahlstützen und Stahlträger nach internationalem Standard für eine Bekleidungsart als Funktion von Profilmfaktor und Bekleidungs-dicke (Hinweis: Hierzu muß zumindest für einen Profilmfaktor und eine Bekleidungs-dicke die Stahltemperatur-Zeitkurve aufgrund eines Brandversuches bekannt sein)	1.672,—

#### **Dämmstoffe für dreischalige Schornsteine**

(Kosten für Herstellung der Proben zusätzlich nach Aufwand. Prüfung nach den Richtlinien des IfBt für die „Zulassung und Überwachung von Dämmstoffen zur Herstellung der Dämmstoffschicht für drei-schalige Hausschornsteine“ bzw. nach DIN 18 147 Teil 5)

Pos.-Nr.		DM
2.169	Prüfung der Dauerwirksamkeit bzw. Beständigkeit der Wärmedämmung im Kleinprüfstand, je Material	7.210,—
2.170	Thermische Beanspruchung von Dämmstoffen im Kleinprüfstand zur Ermittlung des Festigkeitsverhaltens (Die Kosten für die vor und nach der thermischen Beanspruchung erfolgten Festigkeitsprüfungen werden extra berechnet)	7.210,—

#### **Wärmeschutz, Feuchtigkeitsschutz**

(In den Kosten sind u.U. notwendige Aufwendungen zur Probenherstellung oder -vorbereitung nicht enthalten)

Pos.-Nr.		DM
2.171	Wärmeleitfähigkeit; Prüfung nach DIN 52 612	1.668,—
2.172	Wärmedurchlaßwiderstand großformatiger Bauteile; Prüfung nach DIN 52 611 bei drei Feuchtigkeitsgehalten	6.856,—
2.173	Wärmedurchgangskoeffizient von Fenstern; Prüfung nach DIN 52 619	3.595,—
2.174	Sonnenstrahlungsdurchlaßzahl	4.894,—
2.175	Sonnenstrahlungstransmission bei Glas als Funktion der Wellenlänge	2.452,—
2.176	Wärmeableitung von Fußböden; Prüfung nach DIN 52 614	535,—
2.177	Fugendurchlässigkeit von Fenstern; Prüfung nach DIN 18 055 (drei Fenster)	1.488,—
2.178	Schlagregensicherheit; Prüfung nach DIN 18 055 (drei Fenster), Prüfung im Fensterprüfstand	1.488,—
2.179	wie vor, Prüfung in der Klimakammer	2.988,—
2.180	Wasserdampfdurchlässigkeit; Prüfung nach DIN 52 615	2.452,—
2.181	Miete für die Inanspruchnahme einer Klimakammer über die erforderliche Vorbereitungs- und Prüfzeit hinaus, sofern die Zeitüberschreitung nicht von der BAM zu vertreten ist	105,—/ Tag

### Schallschutz, Lärmschutz

(Bei allen Bauteilprüfungen werden gesondert in Rechnung gestellt: Auf- und Abbau der Prüfgegenstände in den Prüfständen einschl. Instandsetzung, Überwachung der wahlweise vom Antragsteller selbst ausgeführten Arbeiten, Fahrten des Meßwagens, Fehl- und Wartezeiten bei Außenmessung sowie Ortstermine zur Versuchsvorbereitung)

#### Bauakustische Prüfungen

Pos.-Nr.		DM
2.182	Allgemeine Grundmeßreihe für eine akustische Meßgröße in Abhängigkeit von der Frequenz (z. B. Oktavsieb- oder Terzsiebanalyse) als Teil einer übergeordneten bauakustischen Meßaufgabe mit dem Charakter von Reihenuntersuchungen	412,—
2.183	Trittschallschutz einer Decke; Prüfung nach DIN 52 210 und Bewertung nach DIN 4109, Einzelprüfung	824,—
2.184	wie vor, bei Baustellenversuchen für jede weitere Prüfung von Decken gleicher Art an derselben Prüfstelle	412,—
2.185	wie vor, jedoch Teilmessung	198,—
2.186	Luftschallschutz von Bauteilen (Decken, Wände, Türen, Fenster, Lüftungseinrichtungen); Prüfung nach DIN 52 210 und Bewertung nach DIN 4109, Einzelprüfung	1.236,—
2.187	Schachtpegeldifferenz von Lüftungseinrichtungen nach DIN 52 210 Teil 6	824,—
2.188	wie vor, bei Baustellenversuchen für jede weitere Prüfung von Bauteilen gleicher Art an derselben Prüfstelle bzw. bei Laboratoriumsprüfungen bei denselben Bauteilen für weitere Zustandsparameter (z. B. Fenster, Türen, Montagewände mit zusätzlicher Fugendichtung)	824,—
2.189	wie vor, jedoch nur Empfangspegel, ohne zusätzliche Korrektur auf eine Bezugsabsorptionsfläche	412,—
2.190	wie vor, jedoch Teilmessung	198,—
2.191	Gesamtschallschutz (Luftschall und Trittschall) von Bauteilen bei gleichem Empfangsraum; Prüfung nach DIN 52 210 und Bewertung nach DIN 4109, Einzelprüfung	1.648,—
2.192	wie vor, bei Baustellenversuchen für jede weitere Prüfung an Bauteilen gleicher Art an derselben Prüfstelle	1.236,—
2.193	Trittschallminderung von Deckenauflagen; Prüfung nach DIN 52 210 und Bewertung nach DIN 4109, Prüfung im Laboratorium	824,—
2.194	wie vor, Untersuchung auf Baustellen bei gleichzeitiger Prüfung von Leerdecke und Gesamtdecke in gleichen Empfangsräumen	1.236,—
2.195	wie vor, Untersuchung bei nicht gleichzeitiger Prüfung der Decke ohne Auflage und der Decke mit Auflage	1.648,—
2.196	Dynamische Steifigkeit von Dämmstoffen, Prüfung nach DIN 52 214 und Bewertung nach DIN 18 164 bzw. DIN 18 165	744,—

#### Raumakustische Messungen

Pos.-Nr.		DM
2.197	Schallabsorptionsgrad; Prüfung im Hallraum nach DIN 52 212 oder im Impedanzrohr nach DIN 52 215	824,—

2.198	Nachhallzeit von Räumen; Prüfung nach DIN 52 216, je Meßreihe	412,—
-------	---	-------

### Geräuschpegelmessungen

Pos.-Nr.		DM
2.199	Oktavpegel- oder Terzpegeldiagramm bei Luftschall oder Körperschall	412,—
2.200	Luftschall-, Oktavpegel- oder Terzpegeldiagramm mit Korrektur auf eine Bezugsabsorptionsfläche, Einzelprüfung	824,—
2.201	Frequenzbewerteter Schallpegel, Einzelprüfung	145,—
2.202	wie vor, für jede weitere Messung an derselben Prüfstelle	36,—
2.203	Frequenzbewerteter Schallpegel mit Korrektur auf eine Bezugsabsorptionsfläche, Einzelprüfung	198,—
2.204	wie vor, für jede weitere Messung an derselben Prüfstelle	76,—

### Armaturengeräuschpegel (DIN 52 218)

Pos.-Nr.		DM
2.205	Auslaufarmatur mit einem Auslauf (z. B. Druckspüler, Spülkasten, Eckventil als Durchgangsarmatur), Einzelprüfung	412,—
2.206	wie vor, jedoch Typprüfung an drei gleichen Prüfstücken	824,—
2.207	Mischbatterie mit einem Auslauf (z. B. Handwaschbecken, Duscharmatur, Spültischbatterie, Einzelprüfung)	824,—
2.208	wie vor, jedoch Typprüfung an drei gleichen Prüfstücken	1.648,—
2.209	Mischbatterie mit zwei Ausläufen (z. B. Wanneneinlauf und Handbrause), Einzelprüfung	1.008,—
2.210	wie vor, jedoch Typprüfung an drei gleichen Prüfstücken	2.016,—
2.211	Miete für die Inanspruchnahme der jeweiligen bauakustischen Prüfstände für Prüfzeiten über zehn Arbeitstage, sofern die Zeitüberschreitung nicht von der BAM zu vertreten ist	105,— Tag

### Berechnung der Temperatur- und Wärmestromverteilung bei stationären bzw. instationären Randbedingungen auf Großrechner

(Alle Leistungen verstehen sich einschließlich Zeugniserstellung, jedoch ohne fotografische Arbeiten und Zeichenarbeiten, unter der Voraussetzung, daß die technischen Unterlagen und Kennwerte vorliegen sowie für einfachen geometrischen Aufbau und einfache Randbedingungen und Verhältnisse. Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, erfolgt die Berechnung nach Aufwand. Berechnung von Isothermenverteilungen nur als Zusatz zu den nachfolgend aufgeführten Leistungen)

Pos.-Nr.		DM
2.212	Fensterberechnung (Rahmen und Verglasung) bei stationären Randbedingungen, insbesondere Tauwasserberechnung bzw. Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten	3.180,—
2.213	Wärmebrückenberechnung, zwei- und dreidimensional, unter stationären Randbedingungen, insbesondere Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten	3.180,—
2.214	Berechnung von Einfrier- und Auftauvorgängen unter instationären Randbedingungen bei heizbaren Belägen, Eisbahnunterfrierungen etc.	3.125,—
2.215	Sonneneinstrahlungsberechnung bei Wänden und Dächern unter instationären Randbedingungen	4.125,—
2.216	Berechnung von Isothermenverteilungen unter stationären oder instationären Randbedingungen, je Verteilung	848,—
2.217	wie vor, jedoch Erstellung als Farbgrafik	1.166,—

## Abteilung 3 Organische Stoffe

### Mineralöle und deren Erzeugnisse

Pos.-Nr.		DM
3.1	Dichte (Spindel und digitale Messung), DIN 51 757	76,—
3.2	Kinematische Viskosität, DIN 51 366, 51 562 zwischen +15° und 100 °C	195,—
3.3	Siedeverlauf, DIN 51 751	175,—



3.4	Schwefelgehalt, DIN 51 400, Teil 2 und EN41 (mittel- und höhersiedende Substanzen)	186,—
3.5	Chlorgehalt, DIN 51 408, Teil 1 (Verbrennung nach Wickbold)	341,—
3.6	Neutralisationszahl, DIN 51 558, Teil 1	152,—
3.7	Verseifungszahl, DIN 51 559	172,—
3.8	Bestimmung der Octanzahlen, DIN 51 756, Teil 1 und 2 ROZ (Research-Methode), MOZ (Motor-Methode)	318,—
3.9	Quantitative gaschromatographische Analyse von Ottokraftstoffen: Grundpreis	318,—
3.10	Prüfung auf Erfüllung der Mindestanforderungen von:	
3.10A	Ottokraftstoff DIN 51 600, verbleit	1.900,—
3.10B	DIN 51 607, unverbleit	2.140,—
3.10C	Dieselmotorkraftstoff, DIN 51 601	1.700,—
3.10D	Heizöl EL, DIN 51 603, Teil 1	2.510,—
3.11	Vergleichselastomerplatte nach DIN 53 516	76,—
3.12	Prüfeschmirgelbogen nach DIN 53 516	58,—
3.13	Fußring für Ausflußmesser nach Moore	198,—
3.14	Gleitkörper für SRT (Skid Resistance-Test)-Gerät	91,—
3.15	Elastomerplatte nach DIN 53 538, Teil 1: SRE-NBR 1 Teil 2: SRE-NBR 2 Teil 3: SRE-NBR 28 SRE-NBR 34 SRE-NBR 39	49,—
3.16	Elastomerplatte nach DIN 54 345, Teil 2 und 3	42,—

### Zellstoff, Papier und Pappe

Pos.-Nr.		DM
3.17	Fremdkörper im Papier nach DIN 66 223, Teil 1	159,—
3.18	Anwesenheit optischer Aufheller (qualitativ)	26,50
3.19	Faserstoffzusammensetzung (Stoffklasse III)	53,—
3.20	Flächenbezogene Masse	53,—
3.21	Falzwiderstand	69,—
3.22	Rupffestigkeit – mit Probedruckgerät	265,—
3.23	Rupffestigkeit – mit Dennison-Wachsstiften	212,—
3.24	Kugelschreibermine DIN 16 554 Bl. 1	106,—
3.25	Pastentinte, DIN 16 554 Bl. 2	583,—
3.26	dto., ohne Lagerfähigkeitsprüfung	371,—
3.27	Farbband, DIN 2103 Teil 1	742,—

### Sonderprüfungen für organische Stoffe

#### Analyse organischer Stoffe

Pos.-Nr.		DM
3.28	Asche (Oxidasche)	138,—
3.29	Sulfatasche	184,—
3.30	Extrahieren mit Apparaten wie Soxhiet und Perforator	184,—
3.31	Gaschromatographische Untersuchung; Übersichtsfraktogramm	424,—
3.32	Quantitative Untersuchung je Komponente (nicht Spuren)	92,—
3.33	Infrarotspektrometrische Untersuchung; Übersichtsspektrum	184,—
3.34	Absorptionsmessung im Ultraviolett/Sichtbaren; Übersichtsspektrum	138,—

### **Anstrichmittel, Glaserkitte**

Pos.-Nr.		DM
3.35	Trennung von Pigment und Bindemittel quantitativ	230,-
3.36	Gehaltsbestimmung an Verdünnungsmitteln durch Verdunsten	92,-
3.37	Unverseifbares im Bindemittel	276,-

### **Kautschuk und Gummi**

Pos.-Nr.		DM
3.38	Acetonextrakt	184,-
3.39	Aceton/Chloroform-Extrakt	276,-
3.40	Rußgehalt, pyrolytisch	368,-
3.41	Kunststoff-Additiv als Vergleichssubstanz	50,-
3.42	jedes weitere Additiv	7,-

### **Strukturuntersuchungen an organischen Stoffen**

Pos.-Nr.		DM
3.43	Anfertigung von Dünnschichten und Präparaten für Untersuchungen mit dem Lichtmikroskop	69,-
3.44	Makroaufnahmen Format 24 mm x 36 mm je Stück	46,-
3.45	Mikroaufnahmen mit dem Lichtmikroskop je Stück	46,-
3.46	IR (FT)- und NMR-spektrometrische Untersuchungen, Übersichtsspektrum	184,-
3.47	Quantitative Bestimmungen von Mineralölbestandteilen in Wasser- und Bodenproben je Probe	414,-

## **Abteilung 4 Chemische Sicherheitstechnik**

Pos.-Nr.		DM
	Bauartprüfung von Druckminderern (ein- und zweistufige Geräte) nach DIN 8546	
	Kostenberechnung für die Prüfung von drei Geräten	
4.1	Dichtheitsprüfung	228,-
4.2	Prüfung auf Begrenzung des Hinterdruckes	228,-
4.3	Messung des Gasdurchflusses	228,-
4.4	Messung der dynamischen Entspannungskurve	280,-
4.5	Prüfung des Abblaseventils	1.060,-
4.6	Festigkeitsprüfung des Vordruckteiles	160,-
4.7	Festigkeitsprüfung des Hinterdruckteiles (nur Sauerstoff-Druckminderer)	160,-
4.8	Prüfung auf Detonationsfestigkeit nach TRAC 401 (nur Acetylen-Druckminderer)	1.148,-
4.9	Prüfung auf Ausbrennsicherheit (nur Sauerstoff-Druckminderer)	920,-
4.10	Zeichnungsprüfung, Prüfung auf Übereinstimmung mit Vorschriften und DIN-Normen	2.928,-
	Bauartprüfung von trockenen Gebrauchsstellenvorlagen und Einzelflaschensicherungen nach TRAC 401	
	Kostenberechnung für die Prüfung von fünf Geräten	
4.11	Prüfung auf Sicherheit gegen Gasrücktritt (vor und nach Flammenrückschlägen)	1.590,-
4.12	Messung des Gasdurchflusses	636,-
4.13	Ansprechdruck der Nachströmsperre (nur Gebrauchsstellenvorlagen)	371,-
4.14	Nachbrennversuche (nur Gebrauchsstellenvorlagen)	598,-
4.15	Dichtheitsprüfung	265,-
4.16	Prüfung auf Sicherheit gegen Flammendurchschlag	1.748,-
4.17	Festigkeitsprüfung des Gasreinigers (ein Gerät)	138,-
4.18	Prüfung des Explosionsdruck-Entlastungsventils (falls vorhanden)	159,-
4.19	Zeichnungsprüfung, Prüfung auf Übereinstimmung mit Verordnungen und DIN-Normen	1.961,-

Nachprüfung zugelassener trockener Gebrauchsstellenvorlagen und Einzelflaschensicherungen (Kosten für die Prüfung eines Gerätes; bei mehreren Geräten erniedrigen sich die Kosten)

	(1)	(2)
	1 Gerät	jedes weitere Gerät
	DM	DM
4.20	159,—	105,—
4.21	128,—	90,—
4.22	74,—	50,—
4.23	118,—	—
4.24	41,—	26,—
4.25	206,—	136,—
4.26	140,—	30,—
		DM
4.27		1.104,—
4.28		414,—
4.29		1.242,—
4.30		414,—
4.31		138,—
4.32		828,—
4.33		966,—
4.34		966,—
4.35		1.150,—
4.36		5.106,—
4.37		5.290,—
4.38		4.140,—

## Abteilung 5 Sondergebiete der Materialprüfung

### Holzschutz

Pos.-Nr.		DM
5.1	Bestimmung der bekämpfenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber Larven von <i>Hylotrupes bajulus</i> (L.) nach DIN EN 22	2.538,—
5.2	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber Eilarven von <i>Hylotrupes bajulus</i> (L.) nach DIN EN 46	1.418,—
5.3	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber Eilarven von <i>Hylotrupes bajulus</i> (L.) nach DIN EN 46 nach vorangegangener Verdunstungsbeanspruchung gemäß DIN EN 73	2.090,—
5.4	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber Eilarven von <i>Hylotrupes bajulus</i> (L.) nach DIN EN 46 nach vorangegangener Auswaschbeanspruchung gemäß DIN EN 84	1.789,—
5.5	Bestimmung der Wirkungstiefe von Holzschutzmitteln gegenüber Eilarven von <i>Hylotrupes bajulus</i> (L.) nach Abschnitt 5.4 der Prüfgrundsätze (Okt. 1982)	2.814,—
5.6	Bestimmung der Wirkungstiefe von Holzschutzmitteln gegenüber Eilarven von <i>Hylotrupes bajulus</i> (L.) nach vorangegangener Verdunstungsbeanspruchung nach DIN EN 73 und Abschnitt 5.4 der Prüfgrundsätze (Okt. 1982)	3.486,—
5.7	Bestimmung der Giftwerte von Holzschutzmitteln gegenüber Larven von <i>Hylotrupes bajulus</i> (L.) nach DIN EN 47	3.294,—
5.8	Bestimmung der Giftwerte von Holzschutzmitteln gegenüber Larven von <i>Hylotrupes bajulus</i> (L.) nach DIN EN 47 nach vorangegangener Verdunstungsbeanspruchung gemäß DIN EN 73	4.072,—
5.9	Bestimmung der Giftwerte von Holzschutzmitteln gegenüber Larven von <i>Hylotrupes bajulus</i> (L.) nach DIN EN 47 nach vorangegangener Auswaschbeanspruchung gemäß DIN EN 84	3.810,—

5.10	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber <i>Lyctus brunneus</i> (Stephens) nach vorangegangener Verdunstungsbeanspruchung nach DIN EN 73 und Abschnitt 3.2.2 der Güte- und Prüfbestimmungen RAL-GZ 830	2.427,—
5.11	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten nach DIN EN 113	5.560,—
5.12	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten nach DIN EN 113 nach vorangegangener Verdunstungsbeanspruchung gemäß DIN EN 73	6.296,—
5.13	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten nach DIN EN 113 nach vorangegangener Auswaschbeanspruchung gemäß DIN EN 84	6.618,—
5.14	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten nach Abschnitt 5.3 der Prüfgrundsätze (Okt. 1982)	4.180,—
5.15	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten nach vorangegangener Lichtbeanspruchung gemäß Abschnitt 5.1.3 der Prüfgrundsätze (Okt. 1982)	5.652,—
5.16	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten ohne vorangegangene Beanspruchung nach Abschnitt 3.3.2 der Güte- und Prüfbestimmungen RAL-GZ 830	3.260,—
5.17	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten nach vorangegangener Verdunstungsbeanspruchung nach DIN EN 73 und Abschnitt 3.3.2 der Güte- und Prüfbestimmungen RAL-GZ 830	4.180,—
5.18	Bestimmung der vorbeugenden Wirkung von Holzschutzmitteln gegenüber holzerstörenden Basidiomyceten nach vorangegangener Auswaschbeanspruchung nach DIN EN 84 und Abschnitt 3.3.2 der Güte- und Prüfbestimmungen RAL-GZ 830	3.720,—
5.19	Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit einer Schutzbehandlung von verarbeitetem Holz gegen Bläuepilze gemäß Abschnitt 3.3.1 der Güte- und Prüfbestimmungen RAL-GZ 830 nach vorangegangener Freiland-Bewitterung	2.130,—
5.20	Bestimmung der vorbeugenden Wirksamkeit einer Schutzbehandlung von verarbeitetem Holz gegen Bläuepilze gemäß Abschnitt 3.3.1 der Güte- und Prüfbestimmungen RAL-GZ 830 nach vorangegangener künstlicher Bewitterung (Xenotest)	2.498,—
5.21	Bestimmung der Dichte von Holzschutzmitteln	46,—
5.22	Bestimmung der Viskosität von Holzschutzmitteln nach DIN ISO 2431	138,—
5.23	Bestimmung des Flammpunktes von Holzschutzmitteln nach DIN 53 213, Teil 1	205,—
5.24	Bestimmung der Löslichkeit und des pH-Wertes von Holzschutzmitteln	322,—
5.25	Bestimmung des Eindringvermögens von Holzschutzmitteln nach DIN 52 162/1	736,—

#### **Untersuchungen von Proben mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM)**

Pos.-Nr.		DM
5.26	Kosten für die erste Stunde der Benutzung des REM	292,—
5.27	jede weitere Stunde der Benutzung des REM	200,—

#### **Untersuchung von Proben mit energiedispersiver Röntgenmikroanalyse im Rasterelektronenmikroskop**

Pos.-Nr.		DM
5.28	Kosten für die erste Stunde der Benutzung des REM	292,—
5.29	jede weitere Stunde der Benutzung des REM	200,—

#### **Oberflächenanalysen mit Augerelektronenspektroskopie (AES), Elektronenspektroskopie für die chemische Analyse (ESCA) oder Sekundärionen-Massenspektrometrie (SIMS)**

Pos.-Nr.		DM
5.30	Kosten für die erste Stunde	332,—
5.31	Kosten für jede weitere Stunde	240,—
	Mindestuntersuchungszeit pro Auftrag: 4 Stunden	

## Photographische Arbeiten

Für photographische Abbildungen mit Hilfe der Geräte unter Pos. 5.26 bis 5.31 gelten folgende Sätze:

Pos.-Nr.		DM
5.32	Negativ pro Stück	4,75
5.33	Vergrößerung 9 x 13 cm aus Pos. 5.32	6,50
5.34	jede weitere Vergrößerung in diesem Format von demselben Negativ, wenn sie gleichzeitig mit der ersten Vergrößerung in Auftrag gegeben wurde	1,-
5.35	Polaroid-Bilder	jeweils gültiger Materialpreis

## Farbmetrik

Pos.-Nr.		DM
5.36	Farbmaßzahlen nach DIN 5033 ohne Probenvorbereitung oder Sonderaufbau	69,10
5.37	Farbmessung an fluoreszierenden Proben	145,20
5.38	Glanzmessung je Meßpunkt	55,-
5.39	Strahldichtefaktor, Leuchtdichtefaktor, Reflexionsgrad oder Transmissionsgrad	50,70
5.40	Spektrale Strahldichtefaktoren; Reflexionsgrade oder Transmissionsgrade als Tabelle oder Kurve je Spektralbereich (nach DIN 5031, Teil 7)	159,40
5.41	Farbmetrische Auswertung von spektralen Strahldichtefaktoren, Reflexionsgraden oder Transmissionsgraden	65,50
5.42	Sonderzuschlag für Auswertung nach nicht genormten Lichtarten	65,50
5.43	Zahlenmäßige Auswertung und Beurteilung von Farbabweichungen	33,70
5.44	Prüfung von Aufsichtfarben nach DIN 6171 ohne Probenvorbereitung	102,80
5.45	Testfarbensatz nach DIN 6169	996,-
5.46	Farbsehprüfung	62,50
5.47	Farbwiedergabe von Lichtquellen oder Sonnenschutzgläsern nach DIN 6169 mit acht Testfarben ohne Messung der Strahlungsfunktion oder Transmissionsfunktion	337,-
5.48	Farbwiedergabe von Lichtquellen oder Sonnenschutzgläsern nach DIN 6169 mit 17 Testfarben ohne Messung der Strahlungsfunktion oder Transmissionsfunktion	443,-

## Abteilung 6 Stoffartunabhängige Verfahren

### Kostengruppen für die Untersuchung von Materialprüfmaschinen

Maschinenart	Höchstlast	Zahl der Meßbereiche						
		1	2	3	4	5	6*)	
Zug- und Druck-Prüfmaschinen	stehend	bis 600 kN	A	B	C	D	E	E+Z
		über 600—1 000 kN	B	C	D	E	E+Z	E+2Z
		über 1 000—6 000 kN	C	D	E	E+Z	E+2Z	E+3Z
Druck-Prüfmaschinen	liegend	bis 600 kN	B	C	G	E	E+Z	E+2Z
		über 600—1 000 kN	C	D	E	E+Z	E+2Z	E+3Z
		über 1 000—6 000 kN	D	E	E+Z	E+2Z	E+3Z	E+4Z
Verdreh-Prüfmaschinen		bis 50 Nm	A	B	C	D	E	E+Z
		über 50—300 Nm	B	C	D	E	E+Z	E+2Z
		über 300—6 000 Nm	C	D	E	E+Z	E+2Z	E+3Z
Härte-Prüfmaschinen		mit 1—4 Prüfkraftstufen						H <sub>1</sub>
		mit 5—14 Prüfkraftstufen						H <sub>2</sub>
		mit mehr als 14 Prüfkraftstufen						H <sub>3</sub>
Pendel-Schlagwerke		mit 1 Schlagstufe						P <sub>1</sub>
		mit 2 Schlagstufen						P <sub>2</sub>
		mit 3 Schlagstufen						P <sub>3</sub>

\*) Für mehr als sechs Meßbereiche ist die Tabelle sinngemäß fortzusetzen.

**Kostensätze:**

Gruppe	DM	Gruppe	DM
A	624,-	H <sub>1</sub>	490,-
B	835,-	H <sub>2</sub>	653,-
C	1.008,-	H <sub>3</sub>	855,-
D	1.152,-	P <sub>1</sub>	595,-
E	1.267,-	P <sub>2</sub>	720,-
Z	115,-	P <sub>3</sub>	845,-

Für jede Anfahrt des Prüfenieurs werden zusätzlich für Fahrzeitaufwand und Meßgerätetransport pauschal berechnet DM  
106,-

**Durchstrahlungsprüfung von Rundschweißnähten**

(Kosten jeweils pro Rundnaht)

Pos.-Nr.	NW	Anzahl der Nähte pro Prüfeinsatz			
		1 Naht	2 Nähte	3 Nähte	4 Nähte
		DM			
6.1	20 – 90	296,-	180,-	141,-	121,-
6.2	100 – 250	318,-	196,-	155,-	135,-
6.3	300 – 400	349,-	217,-	173,-	151,-
6.4	500 – 700	402,-	275,-	233,-	212,-
6.5	800 – 1.200	487,-	350,-	304,-	281,-
6.6		über 1.200 auf Anfrage			
6.7		Bei mehr als vier Nähten pro Prüfeinsatz Durchschnittskosten auf Anfrage			

**Komplette Prüfkolonne für Durchstrahlungsprüfungen**

Tageweise (acht Stunden) Bereitstellung der Prüfkolonne, bestehend aus Prüfenieur, Werkstoffprüfer, Röntgenwagen mit Dunkelkammer, Röntgengerät oder Gammagerät, der notwendigen Anzahl von Filmen, deren Verarbeitung und Beurteilung und Ausstellung eines Prüfberichtes.

Pos.-Nr.		DM
6.8	Tageseinsatz (einschl. An- und Abfahrt)	1.696,-

**Eine einzelne \*) Röntgenaufnahme im Labor**

Pos.-Nr.		DM
6.9	eine Röntgenaufnahme im Labor	159,-

\*) bei mehreren Röntgenaufnahmen werden die Kosten nach Aufwand berechnet.

**Aktivierungsanalyse**

Pos.-Nr.		DM
	<b>Sauerstoff</b> , Gehalt > 20 µg/g, zerstörungsfrei durch 14 MeV-Neutronenaktivierung (erforderliche Probengröße 26mm ø x 8,5mm, sechs Bestimmungen je Probe)	
6.10	Cu und Cu-Legierungen	auf Anfrage
6.11	übrige Metalle, Stahl und Eisen, Legierungen	auf Anfrage
	<b>Sauerstoff</b> (Photonenaktivierung und chemische Trennung)	
6.12	in Refraktärmetallen	489,-
6.13	in den übrigen Metallen und Halbleitern	288,-
6.14	in sonstigen Materialien, Salzen, Gläsern	377,-
	<b>Stickstoff</b> (Photonenaktivierung und chemische Trennung)	
6.15	in Refraktärmetallen	515,-
6.16	in sonstigen Metallen, Halbleitern etc.	314,-
	<b>Stickstoff und Sauerstoff simultan</b>	
6.17	in Refraktärmetallen	614,-
6.18	in sonstigen Metallen und Halbleitern	418,-

**Kohlenstoff** (Photonenaktivierung und chemische Trennung)

6.19	bei C-Gehalten > 1 µg/g	288,—
6.20	bei C-Gehalten ≤ 1 µg/g	415,—
6.21	Zuschlag für Analyse von stark exotherm oxidierendem Material (Al, Mg, Zr, Si etc.)	27,—
6.22	Zuschlag für Oxidation in Borat-Mennige-Schmelze	26,—
6.23	<b>Multielement-Spurenanalyse</b> (Instrumentelle Photonenaktivierung) z. B. Schadstoffanalyse von Bodenproben, Pflanzen, Staub, Wasser etc. Berechnung nach Aufwand, bei zehn Elementen (Cr, Ni, Zn, As, Br, Mo, Cd, Sb, Tl, Pb; andere Elemente möglich) 1 Serie von 6 Proben	2.131,—
6.24	dgl. Kurzzeit-Photonenaktivierung (Si, Cl, K, Fe) und Photoneutronenaktivierung (Al, V, Mn, I) 1 Serie von 6 Proben	878,—

**Kernbrennstoffanalyse**

Pos.-Nr.		DM
6.25	Isotopenzusammensetzung von Uran in gelösten Proben	258,—
6.26	Isotopenzusammensetzung von Uran in oxidischen Proben	315,—
6.27	Isotopenzusammensetzung von Uran und Plutonium in gelösten eingetrockneten Proben einer Uran-Plutoniummischung	810,—
6.28	Urangehaltsbestimmung in oxidischen Proben (Präzisionstitration)	506,—

**Dekontaminationsuntersuchungen**

Pos.-Nr.		DM
6.29	Prüfung der Dekontaminierbarkeit nach DIN 25 415, Teil 1	1.671,—

**Überprüfen von Dental-Röntgenanlagen**

Pos.-Nr.		DM
6.30	Überprüfung einer Dental-Röntgenanlage gem. § 4 (1) RöV und Ausstellung eines Prüfberichtes und einer Sachverständigen-Bescheinigung, wenn das Prüfergebnis keine oder leichte Mängel vorweist	260,—
6.31	wie Pos.-Nr. 6.30, jedoch als Prüfergebnis mittlere Mängel, bei denen die Sachverständigen-Bescheinigung erst nach schriftlicher Bestätigung der Mängelbeseitigung ausgefertigt wird	290,—
6.32	wie Pos.-Nr. 6.30, jedoch als Prüfergebnis schwere Mängel, bei denen nach angezeigter Mängelbeseitigung eine Nachprüfung erforderlich ist	330,—
6.33	Für im Einzelfall notwendige Messung der Röhrenspannung oder der ges. Al-Filterung als Zusatzprüfung	30,—
6.34	Für im Einzelfall notwendige Messung der Gehäuse-Durchlaßstrahlung nach DIN 6811 als Zusatzprüfung	30,—
6.35	Für Betreiber mit zwei oder mehreren Röntgenanlagen ermäßigt sich die Gebühr nach Pos.-Nr. 6.30, 6.31 oder 6.32 für das zweite und jedes weitere Gerät um	100,—

**Fügetechnische Arbeiten und Untersuchungen**

Herstellen von Probeschweißungen an Blechen aus Stahl (Nahtlänge 1 m, incl. Nahtvorbereitung)

Pos.-Nr.	Verfahren	Nahtform	Blechdicke				
			10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm
6.36	E	V	329,—	902,—	—	—	—
6.37	E	X oder K	—	609,—	1.096,—	1.754,—	2.581,—
6.38	MIG/MAG	V	241,—	777,—	—	—	—
6.39	MIG/MAG	X oder K	—	474,—	888,—	1.379,—	2.317,—
6.40	UP	V	163,—	374,—	—	—	—
6.41	UP	X oder K	—	297,—	449,—	795,—	1.117,—

Zuschlag bei definierter Wärmeführung 100 %

Zuschlag bei Messung der Schweißparameter (U, I, v) 100 %

	Thermisches Schneiden			DM
	Gradschnitte und Formschnitte nach Zeichnungsvorlage			
6.42	Vorbereiten und Einrichten			nach Aufwand
6.43	Brennschneiden			155,—
6.44	Plasmaschmelzschneiden			215,—
	Schnittgüte von Brennschnittflächen nach DIN 2310 Blatt 1 (Entwurf 1972), Bewertung nach Unebenheit und Riefentiefe			
6.45	Vorbereitung für eine bis 18 Messungen			180,—
6.46	Einzelmessung			54,—
	Prüfungen an geschweißten Proben (ohne Probenherstellung)			
		Vorbereitung je Prüfreihe	Einzelversuch	voll instrumentiert
		DM	DM	DM
6.47	Doppelkehlnahtprobe nach DIN 50 129	69,—	119,—	—
6.48	Zylinderprobe nach DIN 50120	69,—	119,—	—
6.49	Varestraintprobe	88,—	136,—	190,—
6.50	Transvarestraintprobe	88,—	136,—	190,—
6.51	Niblink-Probe	127,—	301,—	391,—
6.52	Fallgewichtversuch nach Pellini (Drop-weight-Test)	88,—	63,—	—
				DM
6.53	Prüfen der Verformungseigenschaften (Einschnürung) eines Blechs bei Beanspruchung senkrecht zur Walzebene (Herstellen von fünf Rohlingen, Anfertigung der Proben, Zugversuche, Auswertung, Bericht)			1.910,—
6.54	Schliffreie Walzrichtungsbestimmung mit geschweißter Probe Prüfung von Geräten zum Schweißen und thermischen Schneiden Prüfen von widerstandspunktgeschweißten Proben Scherzugprobe nach DIN 50124, Blechdicke $s \leq 3$ mm Stahl			nach Aufwand
6.55	Vorbereitung je Prüfreihe			46,—
6.56	Einzelprobe			10,—
6.57	Mehrpunktprobe			22,—
	Zuschlag bei zusätzlicher Verformungsmessung 100 %			
6.58	Proben mit Blechdicke $> 3$ mm Kopfzugproben nach DVS-Merkblatt 2916			nach Aufwand
6.59	Vorbereitung je Prüfreihe			46,—
6.60	Einzelprobe			15,—
	Zuschlag bei zusätzlicher Verformungsmessung 100 %			
6.61	Proben mit Blechdicke $> 3$ mm Härteprüfung nach DVS-Merkblatt 2916			nach Aufwand
6.62	Kleinlasthärte nach DIN 50133 Blatt 2			192,—
6.63	Mikrohärte			320,—
6.64	Kaltwasserinnendruckprüfung von Heizkörpern mit vier Meßpunkten zur Ermittlung der Verformung			670,—
6.65	mit mehr Meßpunkten Prüfen von widerstandsgeschweißten Betonstahlproben Zugversuch nach DIN 50145 ohne Dehnungsmessung während des Versuchs			nach Aufwand
6.66	Vorbereitung je Prüfreihe			51,—
6.67	Einzelversuch Biegeversuch nach DIN 1605 Blatt 4			51,—
6.68	Vorbereitung je Prüfreihe			35,—
6.69	Einzelversuch			19,—
644				



## Abteilung 7      Wissenschaftlich-Technische Querschnittsaufgaben

### Fotografische Facharbeiten

Pos.-Nr.	Aufnahmen	Color	Schwarz/Weiß
		DM	DM
7.1	Kategorie A	200,—	200,—
7.2	B	150,—	150,—
7.3	C	100,—	100,—
7.4	D	50,—	50,—
7.5	E	25,—	25,—
	Reproduktionen Color Duplikate, Internegative	Einzel DM	Serie (ab 5 Stück) DM
7.6	Kleinbild	10,—	3,—
7.7	bis 6,5 cm x 9 cm	20,—	6,—
7.8	bis 9 cm x 12 cm/4" x 5"	30,—	20,—
	Reproduktionen Schwarz/Weiß Duplikate, Internegative	Einzel DM	Serie (ab 5 Stück) DM
7.9	Kleinbild	10,—	3,—
7.10	bis 6,5 cm x 9 cm	20,—	6,—
7.11	bis 9 cm x 12 cm/4" x 5"	30,—	20,—
	Dia-Positive	Color DM	Schwarz/Weiß DM
7.12	5 cm x 5 cm Strich	6,—	12,—
7.13	5 cm x 5 cm Halbton	12,—	12,—
	Filmentwicklungen	Color DM	Schwarz/Weiß DM
7.14	Kleinbildfilm	12,—	5,—
7.15	Rollfilm	10,—	5,—
7.16	Planfilm	4,—	3,—
	Kontakkopien	Color DM	Schwarz/Weiß DM
7.17	18 cm x 24 cm	12,—	7,—
7.18	24 cm x 30 cm	24,—	14,—
	Vergrößerungen Color Hand	1 Stück DM	ab 3 Stück DM
7.19	9 cm x 13 cm	24,—	12,—
7.20	13 cm x 18 cm	30,—	15,—
7.21	18 cm x 24 cm	42,—	21,—
7.22	24 cm x 30 cm	60,—	30,—
7.23	30 cm x 40 cm	100,—	50,—
7.24	50 cm x 60 cm	150,—	75,—
	Vergrößerungen Color Printer	DM	
7.25	9 cm x 13 cm	2,50	
7.26	13 cm x 18 cm	4,—	
7.27	18 cm x 24 cm	8,—	
7.28	24 cm x 30 cm	24,—	
7.29	30 cm x 40 cm	42,—	

Vergrößerungen Schwarz/Weiß Hand

		1 Stück	ab 3 Stück	ab 6 Stück
		DM	DM	DM
7.30	9 cm x 13 cm	5,-	4,-	3,-
7.31	13 cm x 18 cm	10,-	7,50	5,-
7.32	18 cm x 24 cm	20,-	15,-	10,-
7.33	24 cm x 30 cm	36,-	27,-	18,-
7.34	30 cm x 40 cm	55,-	40,-	27,-
7.35	50 cm x 60 cm	85,-	65,-	45,-

Vergrößerungen Schwarz/Weiß Printer

		DM
7.36	9 cm x 13 cm	1,50
	Kaschieren	DM
7.37	18 cm x 24 cm	22,-
7.38	30 cm x 40 cm	30,-
7.39	50 cm x 60 cm	50,-

**Zeichenarbeiten**

		DM
7.40	Mindestgebühr für kleine Änderungen	40,-
	Größere Arbeiten werden nach Zeitaufwand berechnet	

**Fotokopien**

		DM
7.41	Fotokopien bis DIN A3	0,25

**Buchbinderarbeiten**

		DM
7.42	Einbinden von Prüfungszeugnissen und Gutachten pro Stück	8,-

**Arbeiten der Versuchswerkstätten**

Pos.-Nr.			DM
	<b>Handwerkerstunden</b>		
7.43	Nach Bearbeitungszeitaufwand anzurechnende Handwerkerstunden	je Stunde	92,-
	<b>Herstellung von Standardproben nach Norm<sup>1)2)</sup> je nach Schwierigkeitsgrad der Bearbeitung (a, b)<sup>3)4)</sup></b>		
		pro Stück DM	
		a	b
7.44	Analysenspäne Stahl	50 g	46,- 59,50
7.45		10 g	23,- 30,-
7.46	Gußeisen und Nichtmetalle	50 g	46,- 59,50
7.47		10 g	23,- 30,-
	<b>Zugproben</b>		
	<b>Rundproben mit Gewindeköpfen (DIN 50125, Form B)</b>		
7.48	Stahl	bis 6 mm Nenn-Dmr	53,50 69,50
		8 bis 12 mm Nenn-Dmr	74,- 96,50
		14 bis 18 mm Nenn-Dmr	84,- 109,-
		<b>Abmessungen nach DIN 50109</b>	
		8 mm Nenn-Dmr	79,- 103,-
7.49	Gußeisen (DIN 50109)	bis 6 mm Nenn-Dmr	50,- 65,50
		8 bis 12 mm Nenn-Dmr	74,- 96,50
		16 bis 20 mm Nenn-Dmr	84,- 109,-
	<b>Rundproben mit Schulterköpfen (DIN 50125, Form C)</b>		
7.50	Stahl	6 bis 10 mm Nenn-Dmr	67,50 88,-
		12 bis 16 mm Nenn-Dmr	74,- 96,50

	Rundproben mit Kegelköpfen (DIN 50125, Form D)			
7.51	Stahl	6 bis 10 mm Nenn-Dmr	106,—	138,—
7.52	Konusproben (in Anlehnung Form D)		5 mm Nenn-Dmr	79,50
		8,5 mm Nenn-Dmr	76,50	99,50
	Flachproben mit Köpfen aus Blechen, Bändern oder Streifen (DIN 50114)			
7.53	Stahl und Nichteisenmetalle	0,2 bis 3 mm dick	66,—	86,—
	Flachproben mit Köpfen für Beißeile (DIN 50125, Form E)			
7.54	Stahl	5 bis 10 mm dick	53,50	69,50
7.55		12 bis 18 mm dick	74,—	96,50
7.56	Nichteisenmetalle	5 bis 10 mm dick	50,—	65,50
7.57		12 bis 18 mm dick	67,50	88,—
	Druckproben (DIN 50106)			
7.58	Stahl und Nichteisenmetalle	10 mm Nenn-Dmr	25,50	33,—
	Biegeproben rund			
7.59	Gußeisen (DIN 50110)	13 mm Nenn-Dmr	104,50	135,50
	Umlaufbiegung (DIN 50113)			
	Stahl			
7.60	glatt und profiliert	6 bis 8 mm Nenn-Dmr	97,50	126,50
7.61	gekerbt (Spitzkerb)	6 bis 8 mm Nenn-Dmr	125,—	162,50
	Biegeproben flach			
	Stahl			
7.62	mit Rechteckquerschnitt (DIN 50111)	10 mm dick	53,50	69,—
	Kerbschlagproben (DIN 50115)			
7.63	Stahl und Nichteisenmetalle		66,—	86,—
	Kunststoffproben			
7.64	Probekörper für Zugversuch (DIN 53455, DIN 53430) und Schlagzugversuch (DIN 53448)		50,50	64,—
7.65	Probekörper für Druckversuch (DIN 53454)		46,—	59,—
7.66	Probekörper für Biegeversuch (DIN 54452, DIN 53423)		33,—	43,—
7.67	Probekörper mit Kerb für Schlagbiegeversuch (DIN 53453)		62,—	81,50
7.68	Probekörper für Dauerschwingversuch im Biegebereich an flachen Proben		41,—	53,50

1) Den Standardproben nach Norm liegt der kurze Proportionalstab zugrunde. Beim langen Proportionalstab werden 30% Mehrkosten berechnet.

2) Bei Entnahme von Probestücken aus Schadensstellen, etwa nach DIN 1605, T 1, Sondernormen, gesetzlicher Vorschrift oder Bestellerangabe, wird der Zeitmehraufwand für Trennarbeiten nach 7.43 zusätzlich berechnet.

3) Wesentliche Merkmale für die Schwierigkeit der spanabhebenden Bearbeitung sind Werkstofffestigkeit und Duktilität (a unlegierte und nicht vergütete Werkstoffe, b niedrig- und hochlegierte und/oder vergütete Werkstoffe).

4) Die genannten Gebühren gelten für die Einzelfertigung von 1 bis 5 Proben.

7.69 Serien ab 6 Stück nach Aufwand

# Empfehlungen für Prüfverfahren und Einstufungskriterien für gefährliche Güter der Klassen 4.1, 4.2 und 4.3

Nachstehend gibt die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) die von den Vereinten Nationen im Dezember 1986 verabschiedeten Empfehlungen für Prüfverfahren und Einstufungskriterien für gefährliche Güter der Klassen 4.1, 4.2 und 4.3 bekannt.

## Chapter 14 — Special recommendations relating to class 4

### 14.1 General notes

14.1.1 Attention is drawn to chapter 1, paragraph 1.21, which describes the three divisions of Class 4.

14.1.1.1 Division 4.1 comprises:

- (a) wetted explosives,
- (b) self-reactive substances,
- (c) readily combustible solids, and solids which may cause or contribute to a fire through friction.

14.1.1.2 Division 4.2 comprises:

- (a) pyrophoric substances,
- (b) self-heating substances.

14.1.1.3 Division 4.3 comprises substances which, in contact with water, emit flammable gases.

14.1.2 Because of the different properties exhibited by dangerous goods within Divisions 4.1 and 4.2, it is impracticable to establish a single criterion for classification in either of these divisions. Tests and criteria for assignment to the three divisions of Class 4 are addressed below.

14.1.3 Reclassification of existing entries should only be done for single substances and only when this is necessary for safety consideration.

### 14.2 Division 4.1 — Flammable solids

.....

#### 14.2.2 Assignment of substances to Division 4.1

14.2.2.1 Wetted explosives are listed in chapter 2 after consideration of all appropriate data to ensure that explosive properties are suppressed.

14.2.2.2 Self-reactive substances are listed in chapter 2 after consideration of the particular properties of the substance on the basis of the data sheet (see Figure 1.1 in chapter 1 of the UN-Recommendations), supplemented as necessary.

14.2.2.3 Readily combustible solids: Powdered, granular, or pasty substances are dangerous if they can be easily ignited by brief contact with an ignition source such as a burning match and if the flame spreads rapidly, the danger may come not only from the fire but possibly also from toxic combustion products. Such solids are classified in Division 4.1 in accordance with the following test methods and the procedure indicated in the flow-chart, Figure 14.1. All metal powders which can be ignited and where the reaction spreads over the whole length of the sample should also be considered as flammable solids, these

## Kapitel 14 — Besondere Empfehlungen für die Klassen 4

### 14.1 Allgemeine Bemerkungen

14.1.1 Die Ausführungen in Kapitel 1, Absatz 1.21, über die drei Unterteilungen der Klasse 4, sind zu beachten.

14.1.1.1 Die Klasse 4.1 umfaßt:

- a) befeuchtete Explosivstoffe
- b) selbstersetzbare Stoffe und
- c) leicht brennbare feste Stoffe und feste Stoffe, die durch Reibung einen Brand verursachen oder unterstützen können.

14.1.1.2 Die Klasse 4.2 umfaßt:

- a) pyrophore Stoffe,
- b) selbsterhitzungsfähige Stoffe.

14.1.1.3 Die Klasse 4.3 umfaßt Stoffe, die in Berührung mit Wasser entzündbare Gase entwickeln.

14.1.2 Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Stoffe in den Klassen 4.1 und 4.2 ist es nicht möglich, für die Einstufung von Gütern in diese Klassen nur ein einziges Kriterium anzuwenden. Nachfolgend werden die Prüfungen und Kriterien für die Zuordnung von gefährlichen Gütern zu den drei Klassen 4.1, 4.2 und 4.3 beschrieben.

14.1.3 Umklassifizierungen von bestehenden Stoffeintragungen sollten nur im Einzelfall vorgenommen werden, und zwar, wenn es aus sicherheitstechnischen Gründen notwendig ist.

### 14.2 Klasse 4.1 Entzündbare feste Stoffe

.....

#### 14.2.2 Zuordnungen von Stoffen zur Klasse 4.1

14.2.2.1 Befeuchtete Explosivstoffe sind im Kapitel 2, Klasse 4.1, aufgelistet unter Berücksichtigung aller geeigneter Daten, die den sicheren Schluß zulassen, daß die explosiven Eigenschaften unterdrückt sind.

14.2.2.2 Selbstersetzbare Stoffe sind in Kapitel 2, Klasse 4.1 aufgelistet unter Berücksichtigung ihrer spezifischen Eigenschaften auf der Grundlage der Angaben in dem Datenblatt (s. Abbildung 1.1 in Kapitel 1 der UN-Empfehlungen).

14.2.2.3 Leicht brennbare feste Stoffe: Pulverförmige, körnige oder pastenförmige Stoffe sind gefährlich, wenn sie sich durch eine kurzzeitige Berührung mit einer Zündquelle leicht entzünden lassen, wie z. B. mit einem brennenden Zündholz, und, wenn die Flamme sich schnell ausbreitet. Die Gefahr ergibt sich dann nicht nur durch das Feuer, sondern auch durch die sich entwickelnden Verbrennungsprodukte. Solche festen Stoffe sind in Übereinstimmung mit den nachfolgenden Prüfverfahren entsprechend dem Fließschema (siehe Abbildung 14.1) in die Klasse 4.1 einzustufen. Alle Metallpulver, die

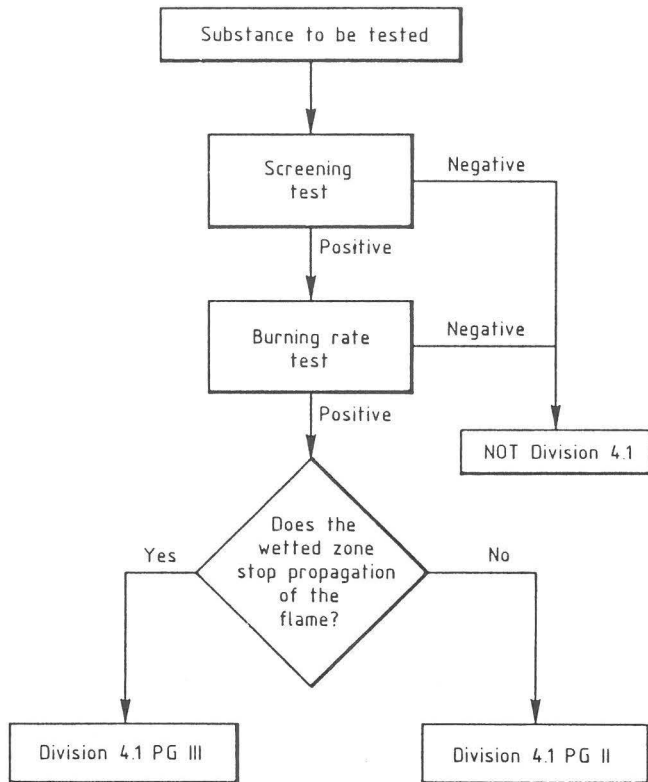


Fig. 14.1  
Flow chart for assigning readily combustible solids to division 4.1 (except metal powder)

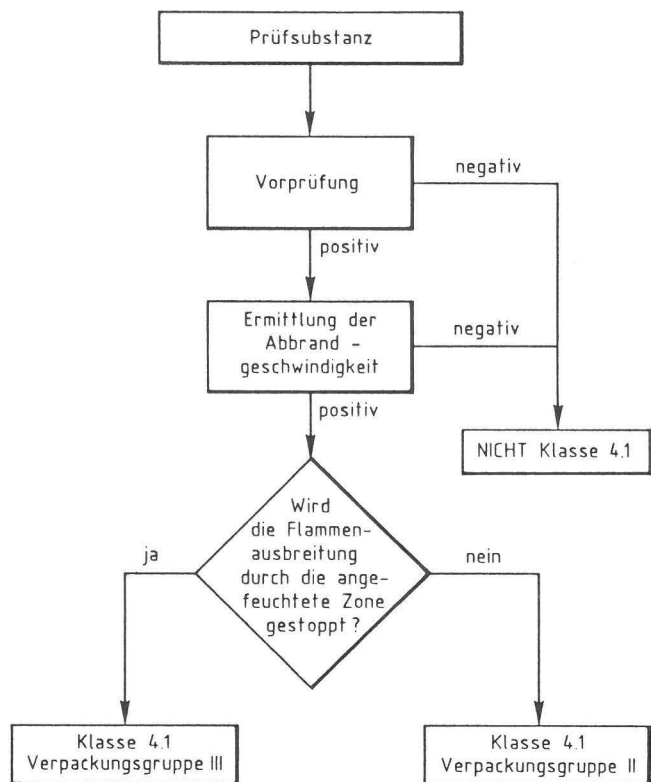


Abb. 14.1  
Fließschema für die Zuordnung von leicht brennbaren Stoffen zur Klasse 4.1 (außer Metallpulver)

powders are especially dangerous because of the difficulty of extinguishing a fire, since normal extinguishing agents such as carbon dioxide or water can increase the hazard. The test methods described below take into account these characteristics.

14.2.2.4 Solids which may cause or contribute to fire through friction are classified in Division 4.1 by analogy with existing entries until definitive criteria are established.

#### 14.2.2.5 Test methods for readily combustible solids

##### 14.2.2.5.1 Preliminary screening test

(a) The substance in its commercial form, is formed into an unbroken strip or powder train about 250 mm long by 20 mm wide by 10 mm high on a cool, impervious, low heat conducting base plate.

(b) A hot flame (minimum temperature 1000°C) from a gas burner (minimum diameter 5 mm) is applied to one end of the powder train until the powder ignites or for a maximum of 2 minutes (5 minutes for powders of metals or metal-alloys). It should be noted whether combustion propagates along 200 mm of the train within the 2 minute test period (or 20 minutes for metal powders).

entzündet werden können und bei denen sich die Reaktion über die ganze Länge der Probe (Schüttung) erstreckt, sind ebenfalls als entzündbare feste Stoffe einzustufen. Glühende Metallpulver sind besonders gefährlich, weil sie schwer zu löschen sind; übliche Löschmittel wie Kohlendioxid oder Wasser können den Brand erheblich verstärken. Das nachfolgend beschriebene Prüfverfahren berücksichtigt diese Besonderheiten.

14.2.2.4 Feste Stoffe, die durch Reibung einen Brand verursachen oder unterstützen können, sind in Analogie zu den bestehenden Stoffeintragungen in Kapitel 2, Klasse 4.1 einzustufen, bis endgültige Einstufungskriterien festgelegt sind.

#### 14.2.2.5 Prüfmethode für leicht brennbare feste Stoffe

##### 14.2.2.5.1 Vorprüfung

a) Der zu prüfende Stoff wird in seiner handelsüblichen Form zu einer ungefähr 250 mm langen, 20 mm breiten und 10 mm hohen durchgehenden Schüttung geformt und auf eine kalte undurchlässige Unterlage mit geringer Wärmeleitfähigkeit gebracht.

b) Eine heiße Flamme (Mindesttemperatur 1000°C) eines Bunsenbrenners (Mindestdurchmesser 5 mm) wird an das eine Ende der Schüttung gehalten, bis diese sich entzündet. Die maximale Beflammungszeit beträgt 2 Minuten, im Falle von Metallpulvern oder Metalllegierungen 5 Minuten. Es wird festgehalten, ob der Abbrand innerhalb von 2 Minuten oder bei Metallpulvern innerhalb von 20 Minuten über eine Länge der Schüttung von 200 mm fortschreitet.

(c) If the substance does not ignite and propagate combustion either by burning with flame or smouldering along 200 mm of the powder train within the 2 minutes (or 20 minutes) test period, then the substance should not be classified as a flammable solid and no further testing is required.

(d) If the substance propagates burning of a 200 mm length of the powder train in less than 2 minutes or less than 20 minutes for metal powders, the full test programme below should be carried out.

#### 14.2.2.5.2 Burning rate test

##### 14.2.2.5.2.1 Principle of the method

In order to differentiate between any substance that can be ignited and those which burn rapidly or whose burning behaviour is particularly dangerous, only substances whose burning rate exceeds a certain limiting value should be classified in Division 4.1. A burning time of less than 45 s measured over a length of 100 mm according to the procedure in 14.2.2.5.2.2 is consistent with these aims. An attempt is made to ignite the substance under the conditions defined below and the burning time is measured. The pile is wetted beyond the zone over which the burning rate is measured and the effect on flame propagation is noted.

##### 14.2.2.5.2.2 Procedure

(a) The powdered or granular substance, in its commercial form, is loosely filled into a mould of 250 mm length with a triangular cross-section of inner height 10 mm and width 20 mm. On both sides of the mould, in the longitudinal direction, two metal sheets are mounted as lateral limitations which extend 2 mm beyond the upper edge of the triangular cross-section (Figure 14.2). The mould is

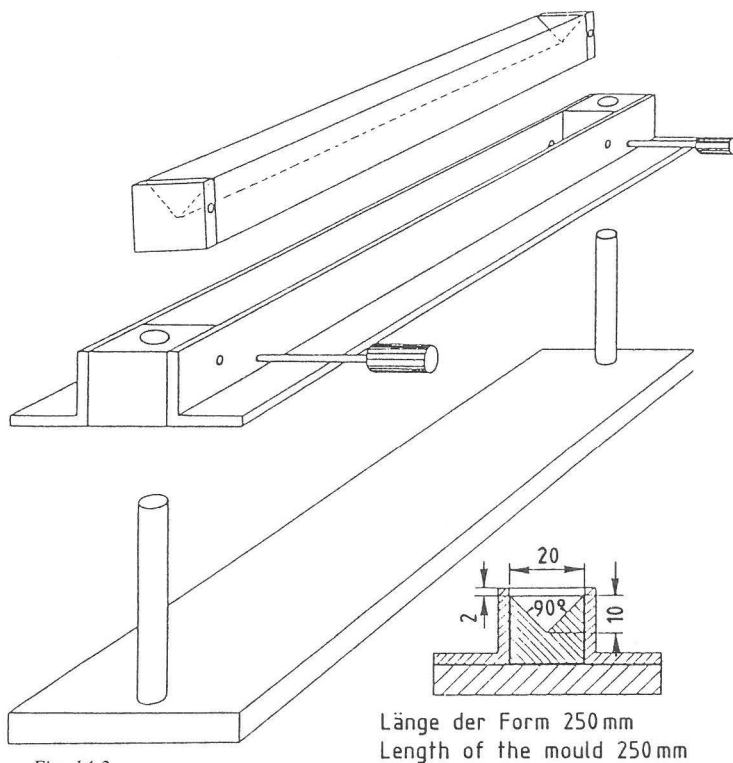


Fig. 14.2  
Mould and accessories for the preparation of the pile  
Abb. 14.2  
Form und Zubehör zur Herstellung der Schüttung

c) Wenn sich der zu prüfende Stoff nicht entzündet oder der Abbrand weder unter Flammeneerscheinung noch unter Glimmen über eine Länge der Schüttung von 200 mm innerhalb einer Versuchszeit von 2 bzw. 20 Minuten fortschreitet, ist der Stoff nicht als entzündbarer fester Stoff zu klassifizieren. Eine weitere Prüfung ist dann nicht erforderlich.

d) Wenn der Abbrand des zu prüfenden Stoffes über eine Länge der Schüttung von 200 mm in weniger als 2 Minuten oder weniger als 20 Minuten für Metallpulver fortschreitet, muß die nachfolgend beschriebene Prüfung durchgeführt werden.

#### 14.2.2.5.2 Ermittlung der Abbrandgeschwindigkeit

##### 14.2.2.5.2.1 Prinzip der Methode

Es ist zwischen Stoffen, die überhaupt entzündet werden können und solchen, die danach noch schnell brennen oder deren Brennverhalten besonders gefährlich ist, zu unterscheiden, und es sollten nur solche Stoffe der Klasse 4.1 zugeordnet werden, deren Abbrandzeit einen bestimmten Grenzwert überschreitet. Eine Abbrandzeit von weniger als 45 Sekunden, gemessen über eine Länge von 100 mm, gemäß dem in Absatz 14.2.2.5.2.2 beschriebenen Verfahren, entspricht dieser Zielsetzung. Es wird versucht, die Schüttung unter den nachstehend definierten Bedingungen zu entzünden. Die Abbrandzeit wird gemessen. Hinter der Meßstrecke wird die Schüttung befeuchtet und die Flammenausbreitung beobachtet.

##### 14.2.2.5.2.2 Durchführung der Prüfung

a) Pulverförmige oder körnige Stoffe werden in ihrer handelsüblichen Form locker in die Form gefüllt. Die Form hat eine Länge von 250 mm und einen dreieckigen Querschnitt mit einer inneren Höhe von 10 mm und einer Breite von 20 mm. Die Form wird an beiden Längsseiten von zwei Metallblechen begrenzt, die die dreieckige Form um 2 mm überragen (s. Abbildung 14.2.). Die gefüllte Form wird dreimal aus einer Höhe von 2 cm auf eine feste Unterlage fallen gelassen. Die seitlichen Begrenzungen werden dann entfernt und die undurchlässige, nicht brennbare, die Wärme schlecht leitende Platte wird auf die freie Oberfläche der Schüttung gelegt, die Apparatur um 180° gedreht und die Form entfernt.

Pastenförmige Stoffe werden in Form eines Stranges von 250 mm Länge und einem Querschnitt von etwa 1 cm<sup>2</sup> auf eine nicht brennbare Platte aufgebracht.

Um die Schüttung an einem Ende zu entzünden, kann jede geeignete Zündquelle, wie z. B. eine Gassparflamme oder ein heißer Draht mit einer Mindesttemperatur von 1000 °C verwendet werden. Bei hygroskopischen Prüfsubstanzen muß die Prüfung so schnell wie möglich nach der Entnahme aus dem Versuchsbehälter ausgeführt werden.

b) Die Schüttung wird in einem Abzug quer zur Zugrichtung angeordnet. Die Absauggeschwindigkeit muß ausreichend sein, daß Rauch nicht in das Labor dringen kann; sie soll während des Versuchs nicht verändert werden. Ein Windschutz sollte um die Versuchsanordnung herum aufgestellt werden.

then dropped three times from a height of 2 cm onto a solid surface. The lateral limitations are then removed and the impervious, non-combustible, low heat conducting plate is placed on top of the mould, the apparatus inverted and the mould removed. Pasty substances are spread on a non-combustible surface in the form of a rope 250 mm in length with a cross-section of about 1 cm<sup>2</sup>. Any suitable ignition source such as a small flame or a hot wire of minimum temperature 1000 °C is used to ignite the pile at one end. In the case of a moisture sensitive substance, the test should be carried out as quickly as possible, after its removal from the container.

(b) Arrange the pile across the draught in a fume cupboard. The air speed should be sufficient to prevent fumes escaping into the laboratory and should not be varied during the test. A draught screen may be erected around the apparatus.

(c) Add 1 ml of a wetting solution\*) to the pile 30-40 mm beyond the 100 mm timing zone. Apply the wetting solution to the ridge drop by drop, ensuring the whole cross-section of the pile is wetted without loss of liquid from the sides. The liquid should be applied over the shortest possible length of the pile consistent with avoiding loss from the sides. This portion of the test is not applicable to metal powders.

(d) Ignite one end of the pile. When the pile has burned a distance of 80 mm, measure the rate of burning over the next 100 mm. Note whether or not the wetted zone stops propagation of the flame. The test is performed six times using a clean cool plate each time, unless a positive result is observed earlier.

#### 14.2.2.6 Criteria for classification

Powdered, granular or pasty substances are classified in Division 4.1 when the time of burning of one or more of the test runs, according to the test method described in 14.2.2.5.2, is less than 45 s or the rate of burning is more than 2.2 mm/s. Powders of metals or metal alloys are classified when they can be ignited by the flame and the reaction spreads over the whole length of the sample in 10 minutes or less.

#### 14.2.2.7 Assignment of Packing Groups

(a) Packing Group I is assigned to any solid, normally wetted, which if in a dry state would be classified as an explosive.

(b) Packing Group II is assigned to self-reactive substances.

(c) For combustible solids (other than metal powders) which are tested in accordance with the test methods in 14.2.2.5, Packing Group II is assigned if the burning time is less than 45 s and the flame passes the wetted zone. Packing Group III is

c) Man gibt 1 ml der Befeuchtungslösung\*) im Abstand von 30 bis 40 mm hinter der 100 mm langen Meßstrecke Tropfen für Tropfen auf die Oberkante der Schüttung, so daß der ganze Querschnitt der Schüttung befeuchtet ist und so, daß die Flüssigkeit nicht weglieft. Die Flüssigkeit sollte auf die kürzest mögliche Strecke der Schüttung gegeben werden, ohne seitlich wegzuliefern. Dieser Teil des Prüfverfahrens ist nicht anzuwenden bei Metallpulvern.

d) Man entzündet ein Ende der Schüttung. Nach dem Abbrand der Schüttung über eine Länge von 80 mm mißt man die Abbrandzeit des Stoffes über die folgenden 100 mm. Danach ist zu beobachten, ob die angefeuchtete Zone die Flammenausbreitung stoppt oder nicht. Die Versuche müssen sechsmal ausgeführt werden, es sei denn, ein positives Ergebnis wird schon vorher beobachtet. Bei jedem Versuch ist eine saubere, kalte Platte zu verwenden.

#### 14.2.2.6 Kriterium für die Klassifizierung

Pulverförmige, körnige oder pastenförmige Stoffe sind in die Klasse 4.1 einzustufen, wenn die Abbrandzeit bei einem oder mehreren Versuchen entsprechend dem in 14.2.2.5.2 beschriebenen Prüfverfahren weniger als 45 Sekunden beträgt bzw. die Abbrandgeschwindigkeit größer als 2,2 mm/s ist. Pulver von Metallen oder Metallegierungen sind zu klassifizieren, wenn sie mit einer Flamme entzündet werden können und die Reaktion sich in 10 Minuten oder weniger über die ganze Länge der Probe ausbreitet.

#### 14.2.2.7. Zuordnung zu den Verpackungsgruppen

a) Alle festen Stoffe, gewöhnlich befeuchtet, die in trockenem Zustand als explosive Stoffe einzustufen sind, sind der Verpackungsgruppe I zuzuordnen.

b) Selbstzersetzliche Stoffe sind der Verpackungsgruppe II zuzuordnen.

c) Brennbare feste Stoffe, mit Ausnahme von Metallpulvern, die nach dem unter Abschnitt 14.2.2.5 beschriebenen Verfahren geprüft worden sind, sind der Verpackungsgruppe II zuzuordnen, wenn ihre Abbrandzeit kürzer als 45 Sekunden ist und die Flamme die befeuchtete Zone durchläuft; sie sind der Verpackungsgruppe III zuzuordnen, wenn die Abbrandzeit kürzer als 45 Sekunden ist und die befeuchtete Zone die Flamme zum Erlöschen bringt. Eine Zuordnung zur Verpackungsgruppe II gilt auch für alle Pulver von Metallen und Metallegierungen, wenn sich die Reaktion innerhalb von 5 Minuten über die ganze Länge der Probe ausbreitet. Metallpulver sind der Verpackungsgruppe III zuzuordnen, wenn sich die Reaktion über die gesamte Länge der Probe in mehr als 5 Minuten ausbreitet.

\*) With many substances, plain water rolls off the sides of the pile, so the addition of wetting agents may be necessary. Wetting agents used should be free from combustible diluents and the total active matter in the wetting solution should not exceed 1%. This liquid may be added to a hollow up to 3 mm deep and 5 mm in diameter in the top of the pile.

\*) Bei vielen Stoffen fließt reines Wasser seitlich von der Schüttung ab. In diesen Fällen ist der Zusatz von Benetzungsmitteln notwendig. Die Benetzungsmittel sollen frei sein von brennbaren Lösemitteln, und der gesamte aktive Teil in der Befeuchtungslösung soll 1% nicht übersteigen. Das Befeuchtungsmittel wird in ein 3 mm tiefes und 5 mm weites Loch auf der Oberkante der Schüttung getropft.

assigned if the burning time is less than 45 s and the wetted zone stops the flame. Packing Group II is assigned to powders of metal or metal alloys if the zone of reaction spreads over the whole sample in 5 minutes, Packing Group III is assigned to the metal powders if the reaction spreads over the whole length of the sample in more than 5 minutes.

(d) For solids which may cause or contribute to a fire through friction the Packing Group is assigned by analogy with existing classifications or in accordance with any appropriate special provision.

#### 14.3 Division 4.2 — Substances liable to spontaneous combustion

14.3.1 Self-heating of substances, leading to spontaneous combustion is caused by reaction of the substance with oxygen (in the air) if the heat developed is not conducted away rapidly enough to the surroundings. Spontaneous combustion occurs when the rate of heat production exceeds the rate of heat-loss and the auto-ignition temperature is reached. Two types of substances can be distinguished with spontaneous combustion properties:

(a) Substances, including mixtures and solutions (liquid or solid), which even in small quantities ignite within 5 minutes of coming in contact with air. These substances are the most liable to spontaneous combustion and are called pyrophoric substances.

(b) Other substances, in contact with air without energy supply are liable to self-heating. These substances will ignite only when in large amounts (kilograms) and after long periods of time (hours or days) and are called self-heating substances.

#### 14.3.2 Test method for solid pyrophoric substances

##### 14.3.2.1 Principle of the method and procedure

1 to 2 cm<sup>3</sup> of the powdery substance to be tested is poured from about 1 m height onto a non-combustible surface and it is observed whether the substance ignites during dropping or within 5 minutes of settling. This procedure is repeated six times unless a positive result is obtained earlier.

#### 14.3.3 Test methods for liquid pyrophoric substances

##### 14.3.3.1 Principle of the method

Liquid substances are tested in two stages; the first determines if the substance ignites when added to an inert carrier and exposed to air, the second is performed if a negative result is obtained in Part 1. The second part determines if the substance chars or ignites a filter paper.

##### 14.3.3.2 Procedure

(a) For Part 1 — A porcelain cup of about 10 cm diameter is filled with diatomaceous earth or silica gel at room temperature to a height of about 5 mm. Approximately 5 ml of the liquid to be tested is poured into the prepared porcelain cup and it is

d) Für feste Stoffe, die durch Reibung einen Brand verursachen oder unterstützen, ist die Verpackungsgruppe in Analogie zu bereits klassifizierten Stoffen oder in Übereinstimmung mit einer geeigneten „Special provision“ (Sonderbestimmung) festzulegen.

#### 14.3 Klasse 4.2 — Selbstentzündliche Stoffe

14.3.1 Selbsterhitzung von Stoffen, die zur Selbstentzündung führt, wird verursacht durch eine Reaktion des Stoffes mit Sauerstoff (Luft), wenn die entwickelte Wärme nicht schnell genug an die Umgebung abgeleitet wird. Selbstentzündung tritt ein, wenn die Wärmeentwicklung größer ist als die Wärmeabgabe und die Selbstentzündungstemperatur erreicht wird. Zwei Gruppen von Stoffen sind hinsichtlich ihres Selbstentzündungsverhaltens zu unterscheiden:

a) Stoffe, einschließlich der Gemische und Lösungen (flüssig oder fest), die sich schon in kleinen Mengen innerhalb von 5 Minuten bei Berührung mit Luft entzünden. Diese Stoffe sind die reaktionsfähigsten selbstentzündlichen Stoffe, sie werden als pyrophore Stoffe bezeichnet.

b) Andere Stoffe, die an der Luft ohne Energiezufuhr selbsterhitzungsfähig sind. Diese Stoffe entzünden sich erst in größeren Mengen (Kilogramm) und nach längerer Zeit (Stunden oder Tage) und werden selbsterhitzungsfähige Stoffe genannt.

#### 14.3.2 Prüfmethode für feste pyrophore Stoffe

##### 14.3.2.1 Prinzip und Durchführung der Methode

1 bis 2 cm<sup>3</sup> der zu prüfenden pulverförmigen Substanz werden aus etwa 1 m Höhe auf eine nicht brennbare Unterlage geschüttet; es wird beobachtet, ob sich die Substanz beim Fallen oder nach Liegenlassen innerhalb von 5 Minuten entzündet. Sofern man nicht vorher zu einem positiven Ergebnis kommt, wird dieser Test sechsmal wiederholt.

#### 14.3.3 Prüfmethode für flüssige pyrophore Stoffe

##### 14.3.3.1 Prinzip der Methode

Die Prüfung von flüssigen Stoffen besteht aus zwei Teilen: Im Teil 1 wird festgestellt, ob sich der Stoff entzündet, wenn er an der Luft auf ein inertes Trägermaterial gegeben wird. Teil 2 wird nur durchgeführt, wenn nach Teil 1 ein negatives Ergebnis erhalten wurde. Im Teil 2 wird geprüft, ob der Stoff ein Filterpapier verkohlt oder entzündet.

##### 14.3.3.2 Durchführung der Prüfung

###### a) Teil 1

Eine Porzellanschale von ca. 10 cm Durchmesser wird bei Raumtemperatur mit Diatomeenerde oder Kieselgur bis zu einer Höhe von ca. 5 mm gefüllt. Ungefähr 5 ml der zu prüfenden Flüssigkeit werden in die so vorbereitete Porzellanschale gegossen; es wird beobachtet, ob sich der Stoff innerhalb von 5 Minuten entzündet.

Dieses Verfahren wird sechsmal wiederholt, wenn nicht früher ein positives Ergebnis erhalten wird.

###### b) Teil 2

0,5 ml des zu prüfenden Stoffes werden mit einer Spritze



observed if the substance ignites within 5 minutes. This procedure is repeated six times unless a positive result is obtained earlier.

(b) Fort Part 2 — A 0.5 ml test sample is delivered from a syringe to an indented dry No. 3 Whatman filter paper. The test is conducted at  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  and a relative humidity of  $50 \pm 5\%$ . Observations are made to see if ignition or charring occurs on the filter paper within five minutes after the liquid to be tested is introduced. This procedure is repeated three times using fresh filter paper each time unless a positive result is obtained earlier.

#### 14.3.3.3 Criterion for classification of a solid

If the sample ignites in one of the tests, the substance is considered pyrophoric and should be classified in Division 4.2.

#### 14.3.3.4 Criteria for classification of a liquid

If the liquid ignites in Part 1 of the test, or if it ignites or chars the filter paper in Part 2 of the test, it is considered to be pyrophoric and should be classified in Division 4.2.

#### 14.3.3.5 Assignment of Packing Group

Packing Group I is assigned to all pyrophoric solids and liquids.

#### 14.3.4 Test method for self-heating substances

##### 14.3.4.1 Principle of the method

Samples in 2.5 cm and 10 cm cubes are kept at a constant temperature for 24 hours and observations are made whether the temperature of the sample exceeds  $200^\circ\text{C}$ . (The test method is a modified version of the Bowes-Cameron cage test which is a self-heating test method for carbon.)

##### 14.3.4.2 Procedure

(a) A hot air circulating type of oven with an inner volume of more than 9 litres and capable of controlling the internal temperature at  $140 \pm 2^\circ\text{C}$  is used.

(b) Cubic sample containers of 2.5 cm and 10 cm side, made of stainless steel net with a mesh opening of  $0,053\text{ mm}^*$ , with their top surface open, are used. Each container is housed in a cubic container cover made from a stainless steel net with a mesh opening of  $0,595\text{ mm}^*$  and slightly larger than the sample container, so that the container fits in this cover. In order to avoid the effect of air circulation, another stainless steel cage, made from a net with a mesh opening of  $0,595\text{ mm}^*$  and  $15 \times 15 \times 25\text{ cm}$  in size, is further installed to house the cover.

(c) Chromel-Alumel thermocouples of 0.3 mm diameter are used for temperature measurement. One is placed in the centre of the sample and another between the sample container and the oven wall. The temperatures are measured continuously.

\*) This mesh size is based on Tyler sieves, where the mesh size is in  $\sqrt{2}$ -progression with respect to the linear distance between the wires.

auf ein eingerissenes trockenes Whatman-Filterpapier Nr. 3 gegeben. Der Test wird bei Umgebungstemperaturen von  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchtigkeit von  $50 \pm 5\%$  ausgeführt. Es wird beobachtet, ob Entzündung oder Verkohlung des Filterpapiers innerhalb von 5 Minuten nach Aufgabe der Flüssigkeit eintritt. Der Test wird dreimal wiederholt mit jeweils neuem Filterpapier, wenn nicht früher ein positives Ergebnis beobachtet wird.

#### 14.3.3.3 Kriterium für die Klassifizierung eines festen Stoffes

Wenn die Probe sich bei einem der Tests entzündet, wird der Stoff als pyrophor beurteilt und muß in die Klasse 4.2 eingestuft werden.

#### 14.3.3.4 Kriterien für die Klassifizierung einer Flüssigkeit

Wenn sich die Flüssigkeit nach Teil 1 der Methode entzündet oder, wenn sich die Flüssigkeit nach Teil 2 der Methode entzündet oder das Filterpapier verkohlt, wird der Stoff als pyrophor beurteilt und muß in die Klasse 4.2 eingestuft werden.

#### 14.3.3.5 Zuordnung zu den Verpackungsgruppen

Alle pyrophoren festen und flüssigen Stoffe müssen der Verpackungsgruppe I zugeordnet werden.

#### 14.3.4 Prüfmethode für selbsterhitzungsfähige Stoffe

##### 14.3.4.1 Prinzip der Methode

Proben werden in Drahtnetzwürfeln von 2,5 cm oder 10 cm Kantenlänge bei einer konstanten Temperatur 24 Stunden lang gelagert; es wird beobachtet, ob die Temperatur in der Probe  $200^\circ\text{C}$  übersteigt. Die Prüfmethode basiert auf dem Bowes-Cameron-Korb-Test, der eine Selbsterhitzungs-Prüfmethode für „carbon“ (Aktivkohle) ist.

##### 14.3.4.2 Durchführung der Prüfung

###### a) Ofen

Ein Ofen mit Warmluft-Zirkulation mit einem inneren Volumen von mindestens 9 l und einer Einrichtung für die Kontrolle der Innentemperatur von  $140 \pm 2^\circ\text{C}$ .

###### b) Probenbehälter

Es werden würfelförmige Probenbehälter von 2,5 cm und 10 cm Kantenlänge aus nicht rostendem Stahldrahtnetz mit einer Maschenweite von 0,053 mm und einer offenen Fläche (oben), verwendet. Jeder Behälter wird eingesetzt in einen würfelförmigen Schutzbehälter aus nicht rostendem Stahldrahtnetz mit einer Maschenweite von 0,595 mm, der geringfügig größer ist als der Probenbehälter, so daß der Probenbehälter in den Schutzbehälter paßt. Um eine Beeinflussung durch Luftzirkulation zu vermeiden, werden diese beiden Behälter in einen weiteren Korb aus Drahtnetz mit einer Maschenweite von 0,595 mm und  $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 25\text{ cm}$  Größe eingesetzt.

###### c) Temperaturmessung

Nickel/Chrom-Nickel-Thermoelemente von 0,3 mm Durchmesser werden für die Temperaturmessung verwendet. Eines wird in der Mitte der Probe und ein anderes

\*) Diese Maschenweite basiert auf der Tyler-Siebreihe, wobei die Maschenweite in  $\sqrt{2}$ -Schritten unter Berücksichtigung der linearen Entfernung zwischen den Drähten verändert wird.

(d) The sample, powder or granular, in its commercial form, is filled to the brim of the sample container and the container tapped several times. If the sample settles, more is added. If the sample is heaped it is levelled to the brim. The container is housed in the cover and hung at the centre of the oven.

(e) The oven temperature is raised to 140°C and kept there for 24 hours. The temperature of the sample is recorded. The first test is conducted with a 10 cm cube sample. Observations are made to determine if spontaneous ignition occurs or if the temperature of the sample exceeds 200°C. If negative results are obtained no further test is necessary. If positive results are obtained a second test is conducted with a 2.5 cm cube sample to determine the data for packing group assignment.

#### 14.3.4.3 Criteria for classification

A substance should be classified in Division 4.2 if in the first test using 10 cm cube sample, spontaneous ignition occurs or the temperature of the sample exceeds 200°C during the 24 hours testing time.

#### 14.3.4.4 Assignment of Packing Groups

(a) Packing Group II is assigned to substances which give positive results when tested with the 2.5 cm cube sample.

(b) Packing Group III is assigned to substances which give positive results when tested with the 10 cm cube sample but which give a negative result with a 2.5 cm cube sample.

#### 14.4 Division 4.3 — Substances which, in contact with water, emit flammable gases

14.4.1 Certain substances on contact with water may emit flammable gases that can form explosive mixtures with air. Such mixtures are easily ignited by all ordinary sources of ignition, for example naked lights, sparking handtools or unprotected light bulbs. The resulting blast wave and flames may endanger people and the environment. The following test method is used to determine whether the reaction of a substance with water leads to the development of a dangerous amount of gases which may be flammable. The test method can be applied to solid and liquid substances. It is not applicable to pyrophoric substances.

#### 14.4.2 Test method

##### 14.4.2.1 Principle of the method

The substances should be tested in its commercial form at ambient temperature (20°C) by bringing it into contact

zwischen Probenbehälter und Ofenwand angeordnet. Die Temperaturen werden kontinuierlich gemessen.

#### d) Probenvorbereitung

Die pulverförmige oder körnige Probe wird in der handelsüblichen Form in den Probenbehälter bis zum Rand eingefüllt. Der Behälter wird mehrere Male leicht aufgestoßen. Wenn sich die Probe abgesetzt hat, wird wieder bis zum Rand aufgefüllt. Das überstehende Material wird auf der Höhe des Randes abgestreift. Der Behälter wird in den Schutzkorb eingesetzt und in der Mitte des Ofens aufgehängt.

#### e) Ofentemperatur

Die Ofentemperatur wird auf 140°C eingestellt und für 24 Stunden aufrechterhalten. Die Temperatur in der Probe wird registriert. Der erste Versuch wird ausgeführt mit einem Würfel von 10 cm Kantenlänge. Es wird beobachtet, ob Selbstentzündung eintritt oder ob die Temperatur in der Probe 200°C übersteigt. Wenn ein negatives Ergebnis erhalten wird, ist ein weiterer Test nicht erforderlich.

Wenn ein positives Ergebnis erhalten wird, wird ein zweiter Test ausgeführt mit einem Würfel von 2,5 cm Kantenlänge, um die Zuordnung zu den Verpackungsgruppen zu ermöglichen.

#### 14.3.4.3 Kriterien für die Klassifizierung

Ein Stoff muß in die Klasse 4.2 eingestuft werden, wenn bei dem ersten Test mit dem Würfel von 10 cm Kantenlänge Selbstentzündung eintritt oder während der Versuchsdauer von 24 Stunden die Temperatur in der Probe 200°C übersteigt.

#### 14.3.4.4 Zuordnung zu den Verpackungsgruppen

a) Stoffe, die bei der Prüfung mit dem Würfel von 2,5 cm Kantenlänge ein positives Ergebnis geben, werden der Verpackungsgruppe II zugeordnet.

b) Stoffe, die bei der Prüfung mit dem Würfel von 10 cm Kantenlänge ein positives Ergebnis geben, aber mit dem Würfel von 2,5 cm Kantenlänge ein negatives, werden der Verpackungsgruppe III zugeordnet.

#### 14.4 Klasse 4.3 — Stoffe, die in Berührung mit Wasser entzündbare Gase entwickeln.

14.4.1 Einige Stoffe können bei der Berührung mit Wasser entzündbare Gase entwickeln; diese können mit Luft explosionsfähige Gemische bilden. Solche Gemische können leicht durch übliche Zündquellen entzündet werden, z. B. durch offenes Licht, funkenerzeugende Werkzeuge und ungeschützte Glühlampen. Die entstehende Druckwelle und die Flammen können Menschen und die Umwelt gefährden. Die folgende Prüfmethode kann zur Feststellung benutzt werden, ob die Reaktion eines Stoffes mit Wasser zur Entwicklung gefährlicher Mengen entzündbarer Gase führt. Die Prüfmethode kann sowohl für feste wie auch für flüssige Stoffe angewandt werden. Sie ist nicht anzuwenden bei Stoffen, die sich bei Berührung mit Luft selbst entzünden (pyrophore Stoffe).

#### 14.4.2 Prüfmethode

##### 14.4.2.1 Prinzip der Methode

Die Stoffe sollen in ihrer handelsüblichen Form, bei einer Raumtemperatur von 20°C geprüft werden, indem man

with water. If spontaneous ignition of the gas occurs at any step, no further testing is necessary.

#### 14.4.2.2 Procedure

14.4.2.2.1 A small quantity (approximately 2 mm diameter) of the test substance is placed in a trough of distilled water at 20 °C. It is noted (i) whether any gas is evolved and (ii) if spontaneous ignition of the gas occurs.

14.4.2.2.2 A small quantity of the test substance (approximately 2 mm diameter) is placed on the centre of a filter paper which is floated flat on the surface of distilled water at 20 °C in a suitable vessel, i.e. a 100 mm diameter evaporating dish. The filter paper is to keep the substance in one place, under which condition the likelihood of spontaneous ignition of any gas is greatest. It is noted (i) whether any gas is evolved and (ii) if spontaneous ignition of the gas occurs.

14.4.2.2.3 The test substance is made into a pile approximately 2 cm high and 3 cm diameter with an indentation in the top. A few drops of water are added to the hollow. It is noted whether (i) any gas is evolved and (ii) if spontaneous ignition occurs.

14.4.2.2.4 In the case of a solid substance, the package should be inspected for any powder of  $< 500 \mu\text{m}$ . If that powder constitutes more than 1 % (mass) of the total, or if the substance is friable, than the whole of the sample should be ground to a powder before testing to allow for a reduction in particle size during handling and transport, otherwise as for liquids the substance should be tested in its commercial state. The test should be performed at ambient temperature (20 °C) and atmospheric pressure, and repeated three times.

Water is put into the dropping funnel and enough of the substance (up to a maximum weight of 25 g) to produce between 100 cm<sup>3</sup> and 250 cm<sup>3</sup> of gas is weighed and placed in a conical flask. The tap of the dropping funnel is opened to let the water into the conical flask and a stop watch is started. The volume of gas evolved is measured by any suitable means. The time taken for all the gas to be evolved is noted and where possible, intermediate readings are taken. The rate of evolution of gas is calculated over 7 hours at 1 hour intervals. If the rate of evolution is erratic or is increasing after 7 hours, the measuring time should be extended to a maximum time of 5 days. The five day test may be stopped if the rate of evolution becomes steady or continually decreases and sufficient data has been established to assign a packing group to the substance or to determine that the substance should not be classified in Division 4.3. If the chemical identity of the gas is unknown the gas should be tested for flammability.

sie mit Wasser in Berührung bringt. Sollte bei irgendeiner Stufe eine Selbstentzündung des Gases eintreten, sind keine weiteren Versuche notwendig.

#### 14.4.2.2 Durchführung der Prüfung

14.4.2.2.1 Eine kleine Menge des zu prüfenden Stoffes (ungefähr 2 mm Durchmesser) wird in eine Schale mit destilliertem Wasser von 20 °C gegeben. Es wird festgestellt, ob (1) sich Gas entwickelt und (2) ob sich das hierbei entwickelte Gas von selbst entzündet.

14.4.2.2.2 Eine kleine Menge des zu prüfenden Stoffes (ungefähr 2 mm Durchmesser) wird auf die Mitte eines Filterpapiers gegeben, das auf der Oberfläche des Wassers einer mit destilliertem Wasser von 20 °C gefüllten Schale schwimmt, z. B. einer Porzellanschale von 100 mm Durchmesser. Das Filterpapier dient dazu, die Substanz an einer Stelle zu halten, wodurch die Wahrscheinlichkeit einer Selbstentzündung am größten ist. Es wird festgestellt, ob (1) sich Gas entwickelt und (2) ob sich das hierbei entwickelte Gas von selbst entzündet.

14.4.2.2.3 Mit der zu prüfenden Substanz wird eine kleine Schüttung von etwa 2 cm Höhe und 3 cm Durchmesser hergestellt, mit einer kleinen Vertiefung auf der Spitze. Es werden einige Tropfen Wasser auf diese Schüttung gegeben und es wird festgestellt, ob (1) sich Gas entwickelt und (2) ob sich das hierbei entwickelte Gas von selbst entzündet.

14.4.2.2.4 Bei der Prüfung von festen Stoffen sollte vorher festgestellt werden, ob sich in der Verpackung Pulver mit einer Korngröße  $< 0,5 \text{ mm}$  befindet. Falls dieses Pulver mehr als 1 % der Gesamtmasse ausmacht oder falls der Stoff zerreibbar ist, soll die ganze Probe vor der Prüfung zu Pulver zerkleinert werden. Damit soll gewährleistet werden, daß der zu prüfende Stoff dem Abrieb entspricht, der bei der Handhabung bzw. dem Transport entstehen kann. Anderenfalls wird der Stoff, wie auch Flüssigkeiten, in der handelsüblichen Form geprüft. Ist die Prüfung ist bei Raumtemperatur (20 °C) und Atmosphärendruck durchzuführen und dreimal zu wiederholen.

In einen Tropftrichter wird Wasser gegeben. Anschließend wird eine kleine Menge (höchstens 25 g) des zu prüfenden Stoffes abgewogen und in einen Erlenmeyerkolben gegeben. Die Menge wird so bemessen, daß die zu erwartende Menge des entwickelten Gases zwischen 100 cm<sup>3</sup> und 250 cm<sup>3</sup> liegt.

Anschließend wird der Hahn des Tropftrichters geöffnet und das Wasser in den Erlenmeyerkolben getropft. Gleichzeitig wird eine Stoppuhr gestartet. Das Volumen des sich entwickelnden Gases wird gemessen. Die zur Entwicklung des Gesamtgasvolumens benötigte Zeit wird festgestellt (zwischenzeitliches Ablesen). Die sich entwickelnde Gasmenge wird über eine Zeit von 7 Stunden in Abständen von je 1 Stunde gemessen. Ist die Geschwindigkeit der Gasentwicklung ungleichmäßig oder nimmt sie nach 7 Stunden noch zu, ist die Dauer des Versuchs auf höchstens 5 Tage zu verlängern. Der fünftägige Versuch kann abgebrochen werden, wenn die Geschwindigkeit der Gasentwicklung sich nicht mehr verändert oder gleichmäßig abnimmt und genügend Daten gesammelt worden sind, um eine Verpackungsgruppenzuordnung vornehmen zu können, oder wenn ausgeschlossen werden kann, daß der Stoff in die Klasse 4.3 fällt. Sollte die chemische Identität des Gases nicht bekannt sein, muß das Gas auf Brennbarkeit geprüft werden.

#### 14.4.2.3 Criteria for classification

A substance should be classified in Division 4.3 if:

- (a) spontaneous ignition takes place in any step of the test procedure, or
- (b) there is an evolution of a flammable gas at a rate greater than 1 litre per kilogram of the substance per hour.

#### 14.4.2.4 Assignment of Packing Groups

- (a) Packing Group I is assigned to any substance which reacts vigorously with water at ambient temperatures and demonstrates generally a tendency for the gas produced to ignite spontaneously, or which reacts readily with water at ambient temperatures such that the rate of evolution of flammable gas is equal to or greater than 10 litres per kilogram of substance over any one minute.
- (b) Packing Group II is assigned to any substance which reacts readily with water at ambient temperatures such that the maximum rate of evolution of flammable gas is equal to or greater than 20 litres per kilogram of substance per hour, and which does not meet the criteria for Packing Group I.
- (c) Packing Group III is assigned to any substance which reacts slowly with water at ambient temperatures such that the maximum rate of evolution of flammable gas is greater than 1 litre per kilogram of substance per hour, and which does not meet the criteria for Packing Groups I or II.

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  
Abteilung 4 „Chemische Sicherheitstechnik“

Berlin 45, den 22. Okt. 1987

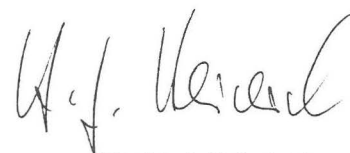
#### 14.4.2.3 Kriterien für die Klassifizierung

Ein Stoff muß als Stoff der Klasse 4.3 klassifiziert werden, wenn

- a) während irgendeiner Stufe der Versuchsdurchführung das entwickelte Gas sich selbst entzündet oder
- b) die Geschwindigkeit der Entwicklung entzündbaren Gases größer als 1 l pro kg des zu prüfenden Stoffes je Stunde ist.

#### 14.4.2.4 Zuordnung zu den Verpackungsgruppen

- a) Der Stoff ist der Verpackungsgruppe I zuzuordnen, wenn er bei Raumtemperatur heftig mit Wasser reagiert und sich das entwickelte Gas selbst entzündet, oder, wenn er bei Raumtemperatur leicht mit Wasser reagiert und die Geschwindigkeit der Entwicklung des entzündbaren Gases größer oder gleich 10 l pro kg des zu prüfenden Stoffes innerhalb einer Minute ist.
- b) Der Stoff ist der Verpackungsgruppe II zuzuordnen, wenn er bei Raumtemperatur leicht mit Wasser reagiert und die größte Geschwindigkeit der Entwicklung des entzündbaren Gases größer oder gleich 20 l pro kg des zu prüfenden Stoffes je Stunde ist und er nicht die Kriterien der Verpackungsgruppe I erfüllt.
- c) Der Stoff ist der Verpackungsgruppe III zuzuordnen, wenn er bei Raumtemperatur langsam mit Wasser reagiert und die größte Geschwindigkeit der Entwicklung des entzündbaren Gases größer oder gleich 1 l pro kg des zu prüfenden Stoffes je Stunde ist und er nicht die Kriterien der Verpackungsgruppen I oder II erfüllt.



(Dr. H.-J. Heinrich)  
Direktor und Professor

# Das sicherheitstechnische Konzept der BAM für Sphärogußbehälter \*

Von **Dr.-Ing. Dietmar Aurich, Dr.-Ing. Rolf Helms und Dipl.-Ing. Karol Wieser**,  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

DK 621.039.584 : 621.798.134 : 669.131.7

Amts- und Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) 17 (1987) Nr. 4 S. 657/663

Manuskript-Eingang 3. Juli 1987

## Inhaltsangabe

Es werden zunächst Gründe für die Bevorzugung eines auf Versuchen mit Behälter-Prototypen basierenden Sicherheitskonzeptes als Alternative zu einem analytischen Vorgehen dargelegt. Sodann werden die für die praktische Anwendung dieses Konzeptes notwendigen Schritte erläutert. Dazu gehören die Überprüfung der maximalen Nennspannung beim 9m-Fall, der Nachweis ausreichender Werkstoffeigenschaften, der Nachweis des Fehlens von Fehlern kritischer Größe durch zerstörungsfreie Prüfungen und die Sicherstellung einer Fertigungstechnologie, die zu Serienbehältern gleicher Güte wie der Prototyp führen.

*Sicherheitskonzept — Prototyp — Serienbehälter — mechanische Eigenschaften — Gefügeausbildung — Bruchmechanik - Kennwerte — zerstörungsfreie Prüfung*

## Summary

Firstly considerations are given which led to a preference of a safety concept based on tests with cask prototypes as an alternative to an analytical approach. Then necessary steps for a practical application of the concept are explained. Necessary are the check of the max. nominal stresses at a 9m drop test, the proof of sufficient material properties as well as the absence of defects of critical size by nondestructive testing. Besides that the manufacturing technology has to assure same quality of series casks like that of the prototype.

*Safety concept — prototype — series cask — mechanical properties — microstructure — fracture mechanics properties — nondestructive testing*

## 1. Einführung

Für die Zwischenlagerung abgebrannter Brennelemente und radioaktiver Abfälle sind von zwei Firmen in der Bundesrepublik Deutschland Behälter aus Gußeisen mit Kugelgraphit entwickelt worden, die gleichzeitig auch als Transportbehälter ausgelegt sind.

Der BAM fielen in diesem Zusammenhang zwei Aufgaben zu:

1. Begutachtung der Behälter als Lagerbehälter nach Atomrecht hinsichtlich der Sicherheit bei langzeitiger Zwischenlagerung
2. Begutachtung dieser Behälter als Transportbehälter nach Verkehrsrecht

Geprägt wird die Konstruktion dieser Behälter durch die Auslegungsbestimmungen des Verkehrsrechts, die auch Sicherheit gegen spezifizierte Unfallbelastungen fordern. Weitergehende Anforderungen ergeben sich aus der angestrebten Langzeiteignung, der permanenten Überwachbarkeit der Dichtheit und aus postulierten Störfällen bei der Lagerung.

Unsere nationalen verkehrsrechtlichen Vorschriften, wie z. B. die der Gefahrgut-Verordnung Straße (GGVS), sind deckungsgleich mit den denjenigen unserer europäischen Nachbarn durch ADR und RID, da sie gemeinsam aus den IAEA-Transportempfehlungen hergeleitet sind. Über die Entwicklung dieser Empfehlungen wurde von Collin [1] berichtet, das vorgeschriebene Zulassungsverfahren hat Schulz-Forberg [2] erläutert. Aus dem Bericht von Wieser und Droste [3] geht hervor, daß die BAM im Rahmen des Zulassungsverfahrens die Behälterkonstruktion im Hinblick auf das mechanische und thermische Verhalten und die Maßnahmen zur Sicherung und Überwachung der Qualität zu überprüfen hat (Abb. 1). Dabei kommen die werkstoffspezifischen Fragen bei der Festlegung

der qualitätssichernden Maßnahmen zum Tragen, die gewährleisten sollen, daß die Serienbehälter in der gleichen Qualität hergestellt werden wie der Prototyp-Behälter.

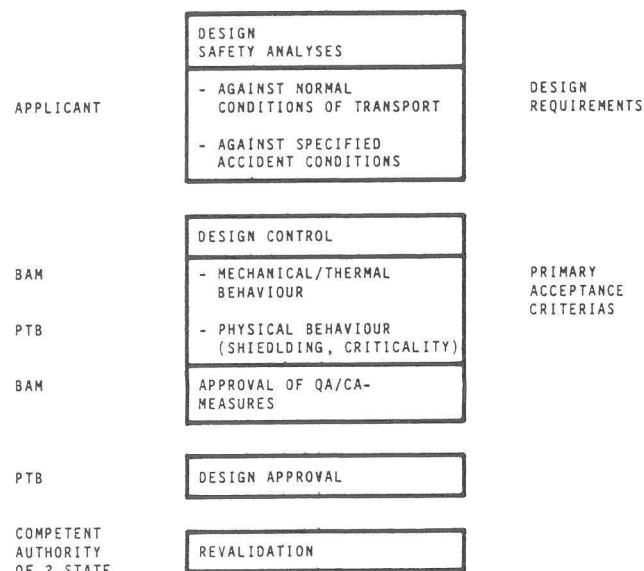


Abb. 1

Rollenverteilung im verkehrsrechtlichen Zulassungsverfahren

## 2. Prüfung und Begutachtung von Sphärogußbehältern

Von Wieser und Droste [3] wurde dargelegt, daß nach den IAEA-Empfehlungen vier Methoden oder Kombinationen aus diesen zur Auswahl zur Verfügung stehen (Abb. 2), um die Übereinstimmung der Behälterbauart mit den IAEA-Empfehlungen nachzuweisen. Sie haben auch die Gründe genannt, aus denen sich die BAM im vorliegenden Fall für die Prototyp-Prüfung entschieden hat.

Insgesamt wurden von der BAM

\* Vortrag anlässlich des BAM-Seminars „Behälter aus Sphäroguß für radioaktive Stoffe“ am 9. und 10. Juni 1987 in Berlin

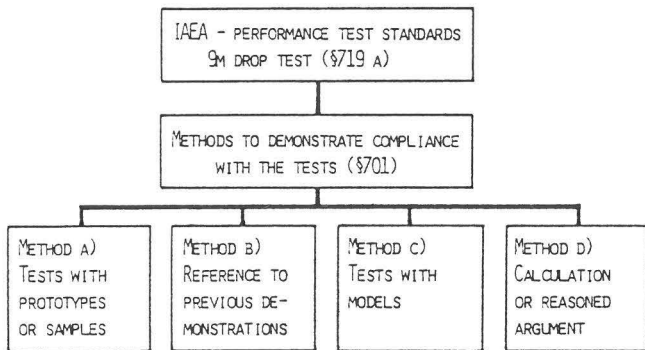


Abb. 2  
Verfahren der IAEA zum Nachweis der Einhaltung der Bestehenskriterien

- 38 Fallversuche mit Prototyp-Behältern, davon 8 mit Druckwasser- bzw. Siedewasserreaktor-Brennelement-Transportbehältern aus 9 m Höhe auf das unnachgiebige Fundament sowie
- 18 Fallversuche mit Modell-Behältern

aus Sphäroguß durchgeführt. Für 13 Bauarten konnte von der BAM bislang eine positive Wertung abgegeben werden. Kein einziger dieser im Zulassungsverfahren geprüften Behälter hat in den Fallversuchen versagt.

Aus der Entscheidung für Prototypversuche folgt eine Reihe weiterer Maßnahmen (Abb. 3), die der Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes und eines Qualitätssicherungssystems dienen und ebenfalls von Wieser und Droste [3] dargestellt wurden. Hierzu gehört die experimentelle Spannungsanalyse, die Analyse der versagensrelevanten Werkstoffeigenschaften im Versuchsbehälter, worüber Helms und Ziebs [4] berichtet haben, die Festlegung von Prüfkriterien für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung (ZfP), über die von Wüstenberg, Schulz und Erhard [5] vorgetragen wurde, sowie die Analyse der Fertigungsparameter des Versuchsbehälters, die Gegenstand des Berichtes von Droste und Rödel [6] war.

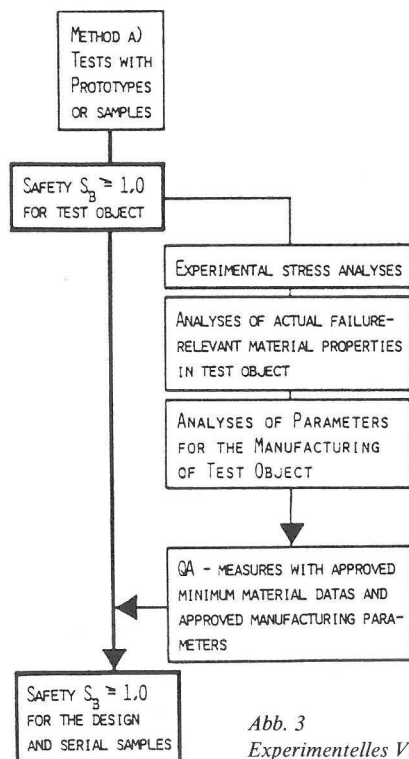


Abb. 3  
Experimentelles Verfahren zum Nachweis der Einhaltung der Bestehenskriterien

### 3. Sicherheitstechnisches Konzept

Im folgenden werden die wesentlichen, sicherheitsrelevanten Gesichtspunkte zusammengefaßt, die in Beziehung zur Eignung des Sphäroguß-Behälterkörpers stehen. Diese Eignung ist dann gegeben, wenn die Schutzziele

- Wahrung der Dichtheit
- Wahrung der Abschirmung
- Wahrung der Unterkritikalität (bei spaltbaren Stoffen)

auch unter den spezifizierten Unfallbedingungen gewährleistet werden.

Bezogen auf den Behälterkörper werden die Schutzziele durch

- unzulässige plastische Verformung im Dichtungsbereich oder durch
- Bruch

gefährdet.

Auf den Eignungsnachweis des Deckel-Dichtsystems oder die Eignung der die Unterkritikalität sichernden Bauteile geht dieses Seminar nicht ein.

Der von der BAM bevorzugte experimentelle Sicherheitsnachweis bietet die Möglichkeit einer zwar nicht zu beziffernden, jedoch hinreichenden und zuverlässigen Aussage zur Bauteilsicherheit bei tiefster Einsatztemperatur ( $-40^{\circ}\text{C}$ ) unter direkter Anwendung der primären Bestehenskriterien (Abb. 4). Abgesehen von der Tatsache, daß in anderen Bereichen der Technik Unfallbelastungen im allgemeinen nicht spezifiziert beziffert und auch nicht als Auslegungsfall vorgeschrieben sind, ist der experimentelle Nachweis am Bauteil nur in Ausnahmefällen möglich. Sofern Unfallbelastungen nicht inhärent durch günstiges Werkstoffverhalten empirisch abgedeckt sind, zwingt der analytische Sicherheitsnachweis zur Berechnung des Bauteilverhaltens, was die genaue Kenntnis der relevanten Einflußgrößen voraussetzt. Da jede der Einflußgrößen, insbesondere bei neuen Werkstoffen, mit ernsthaften Fragen und Verifikationsproblemen verknüpft ist, wie im vorliegenden Fall

PRIMARY IAEA - ACCEPTANCE CRITERIA FOR SHIPPING CONTAINERS			
	AFTER TYPE A - PERFORMANCE TESTS	AFTER TYPE B - PERFORMANCE TESTS	
		FOR TYPE B(U)	FOR TYPE B(M)
LEAKTIGHTNESS	NO ACTIVITY RELEASE $> 10^{-6} \text{ A}_2/\text{h}$	NO ACTIVITY RELEASES $> 10^{-3} \text{ A}_2/\text{WEEK}$	$> \text{A}_2/\text{WEEK}$
SHIELDING	NO INCREASE OF THE MAXIMUM RADIATION LEVEL	RETENTION OF SHIELDING TO ENSURE SURFACE RADIATION LEVEL $< 1 \text{ rem/h}$	

Abb. 4  
Primäre Bestehenskriterien der IAEA

- der Größe der statischen und dynamischen Lasten und insbesondere der Lasteinleitung
- der Verfügbarkeit und nachgewiesenen Zuverlässigkeit von Rechencodes für eine dynamische Spannungsanalyse, eventuell mit Berücksichtigung der Ausbreitung elastischer Wellen,
- der Gültigkeit von Versagenskriterien für dickwandige Bauteile mit Eigenschaftsgradienten sowie
- der Übertragbarkeit von Werkstoffkennwerten aus Zug-, Kerbschlag- oder Bruchmechanikproben auf Bauteile,

führt das analytische Verfahren zwar zu bezifferten Ergebnissen für die Sicherheitsabstände gegen unzulässige plastische Verformung oder Bruch, jedoch sind diese Sicherheitsabstände aus oben genannten Gründen mit Unsicherheiten behaftet, die auch durch Kalibrierversuche schwer auszuräumen sind.

Dem experimentellen Sicherheitsnachweis am Prototyp haftet dieser Nachteil nicht an, jedoch muß die Identität der Serienmuster mit dem Prototyp gewährleistet werden. Hierzu sind die das potentielle Versagen kennzeichnenden Werkstoffkennwerte zu identifizieren, deren Zahlenwerte sich an denen des Prototyps zu orientieren haben.

Beim analytischen Verfahren gehen die Werkstoffeigenschaften darüber hinaus auch in den Sicherheitsnachweis ein.

Um das experimentell gewonnene Ergebnis von einer Bauart gegebenenfalls auf andere Bauarten übertragen zu können, sieht die BAM weitere Elemente in ihrer Begutachtung vor: Die Spannungsanalyse beim 9 m-Fall, die umfassende zerstörende Prüfung von Prototypen und die Anwendung anspruchsvoller und durch bruchmechanische Abschätzung abgesicherter zerstörungsfreier Prüfungen sowie die Analyse der Fertigungsparameter.

### 3.1 Spannungsanalyse

Bei Transportbehältern für bestrahlte Brennelemente dominieren die Abschirmeigenschaften die konstruktive Auslegung (Wanddicke); die Spannungen haben beim bestimmungsgemäßen Betrieb kein technisch relevantes Niveau. Die Sicherheit gegen unzulässige plastische Verformung, z. B. im Bereich von Schraubverbindungen, kann mit Standard-Rechenverfahren bewältigt werden. Hierzu liefert der Zugversuch die erforderlichen Kennwerte (Streckgrenze).

Die im 9 m-Fall an einem Prototyp experimentell gewonnene Aussage zur Bauteilsicherheit ist werkstoffmechanisch als Vergleich von Beanspruchungs- und Eigenschaftskenngrößen zu verstehen, der bei hinreichender Kenntnis beider Größen allgemeine Gültigkeit, also auch für ähnliche Bauarten hat. Bei den experimentellen Untersuchungen der BAM werden deshalb die Prototypbehälter mit Dehnmeßstreifen und Beschleunigungsaufnehmern instrumentiert. Teilweise werden sie durch FE-Analysen ergänzt. Die Kombination aus Meßwerten und analytischer Abschätzung vermittelt ein für eine vergleichende Betrachtung zwischen zwei Bauarten hinreichendes Bild des Beanspruchungszustandes. Wie Wieser und Droste [3] berichtet haben, haben die experimentellen Spannungsanalysen, die bei 9 m-Fall-Versuchen durchgeführt wurden, im ungünstigsten Fall Biegerandspannungen von 120 MPa bei einem Behälterwerkstoff mit einer 0,2%-Dehngrenze von 240 MPa ergeben. Daraufhin wurde eine maximale Nennspannung von 50 % der garantierten 0,2% Dehngrenze für die Beanspruchung beim 9 m-Fallversuch als Auslegungskriterium festgeschrieben.

### 3.2 Werkstoffgrenzen

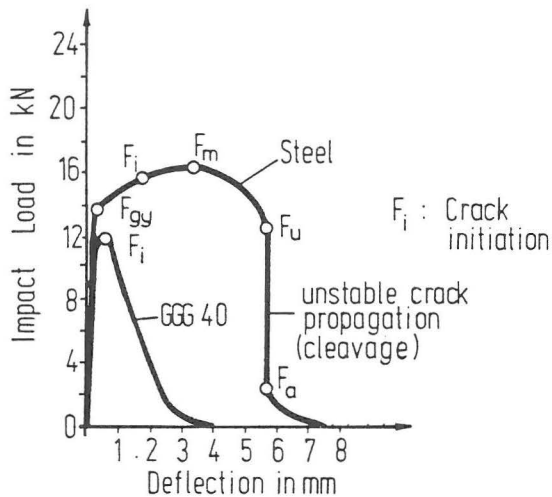
Der Werkstoff GGG 40 ist in der Bundesrepublik Deutschland in der DIN 1693, Bl. 1 und Teil 2, genormt. Die Norm reicht jedoch nur bis 200 mm Wanddicke. Für diese Wanddicke gelten nach DIN 1693, Teil 2, folgende Kennwerte für angegossene Probestücke:

$$\begin{aligned} R_{p0,2} &\geq 240 \text{ MPa} \\ R_m &\geq 370 \text{ MPa} \\ A_5 &\geq 12 \% \end{aligned}$$

GGG 40.3 kennzeichnet eine Sorte mit gewährleister Kerbschlagarbeit von 12 J, gemessen an DVM-Proben (mit Rundkerb). Diese Werte sind an Angußproben zu ermitteln.

Gemäß üblicher Vorgehensweise nach Regelwerk sollte für die Qualitätssicherung der Serienbehälter die Ermittlung dieser Kennwerte ausreichend sein. Die Beträge wären entsprechend den teilweise größeren Wanddicken der Transport- und Lagerbehälter festzulegen. Da diese Kennwerte jedoch nicht nur für die generelle Werkstoffcharakterisierung erforderlich sind, sondern auch die Übertragbarkeit der Ergebnisse der Prototypversuche auf Serienbehälter zu gewährleisten haben, sind weitergehende Ansprüche zu erfüllen.

Die Sicherheit gegen Bruch wird in den meisten technischen Regeln durch eine zu gewährleistende Kerbschlagarbeit und die Begrenzung zulässiger Fehlergrößen garantiert. Wegen des niedrigen Niveaus der Kerbschlagarbeit bei GGG 40 ist die praktische Relevanz dieses Weges bei diesem Werkstoff gering. Wie in dem Bericht von Helms und Ziebs [4] dargestellt wurde (Abb. 5), ist dieses niedrige Niveau der Kerbschlagarbeit von GGG 40 bei relativ guten  $K_{Ic}$ - oder  $K_{IJ}$ -Werten darauf zurückzuführen, daß bei diesem Werkstoff der Widerstand gegen Reißinitiierung noch relativ hoch, der Widerstand gegen stabiles Reißwachstum dagegen sehr gering ist. Da die Kerbschlagarbeit-Hochlage im wesentlichen den Widerstand des Werkstoffs gegen stabiles Reißwachstum kennzeichnet, bleiben die Kerbschlagarbeitswerte von GGG 40 auch in der Hochlage niedrig. Die Hochlagenwerte enthalten im wesentlichen nur die Arbeit bis zur Initiierung von rd. 8 J. Dies sind rd. 50 % der Hochlage. Im Vergleich dazu beträgt die Initiierungsarbeit von Stählen nur rd. 10 % der Hochlage.



Charpy Test  
Comparison of Steel and GGG 40;

Abb. 5

Vergleich der Kerbschlagarbeit von GGG 40 und Stahl anhand der Last-Verchiebungs-Diagramme von ISO-V-Proben

Ein anderer Weg wäre die Gewährleistung von  $K_{Ic}$  oder  $J_{Ic}$ -Werten für die Serienbehälter. Dies ist jedoch mit einem hohen Kostenaufwand für Probenherstellung und Prüfung verbunden. Bevor man sich zu einem solchen Schritt entschließt, ist zu untersuchen, ob die Sicherheit mit weniger aufwendigen Methoden ebenso gut garantiert werden kann.

Vor der Ausbreitung weiterer Details zu diesem Punkt wird zunächst die Frage der Prüfung großer Gußstücke aus genereller Sicht behandelt. Aufgrund von Seigerungen sind

Gußstücke stets mehr oder weniger inhomogen (Abb. 6). Die Werkstückeigenschaften werden in der Regel aufgrund von Angußproben beurteilt.

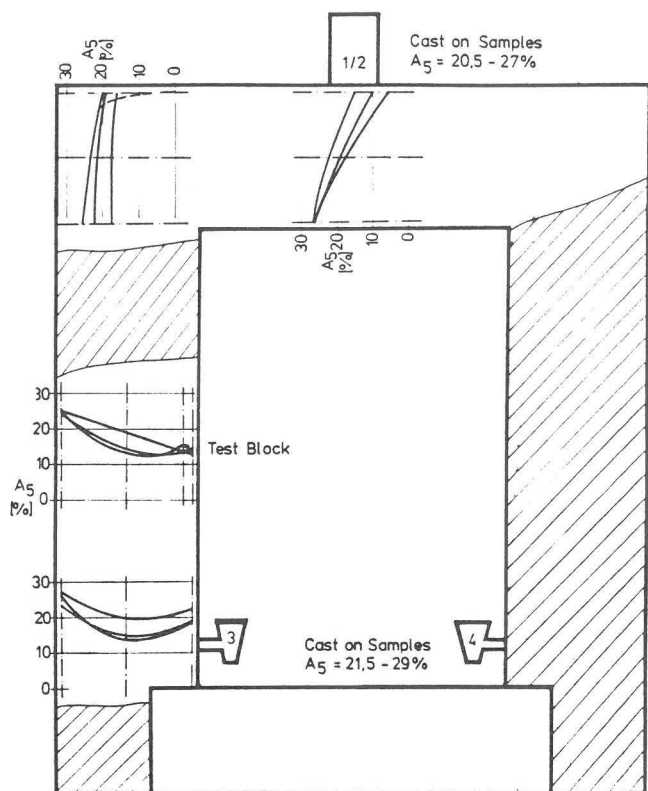


Abb. 6 Werkstoffleistungsgradienten in Gußstücken aufgrund von Seigerungen

Im allgemeinen mußte festgestellt werden, daß ein systematischer Zusammenhang zwischen den Werkstückeigenschaften und den Eigenschaften der Angußproben nicht besteht. Ein solcher Zusammenhang kann nur dann unterstellt werden, wie von Helms und Ziebs [4] an 40 Abfallbehältern gezeigt wurde, wenn stets das gleiche Einsatzmaterial verwendet und konstante Abkühlbedingungen eingehalten werden. In der Regel sind jedoch die Werkstückeigenschaften ungünstiger als die der Angußproben. Diese Aussage gilt vorzugsweise für die Werkstückeigenschaften in der Nähe des thermischen Zentrums, d. h. für die Volumenbereiche der Restschmelze.

Wegen der hohen Sicherheitsrelevanz der mechanischen Eigenschaften von GGG 40 bei Verwendung für Transportbehälter wurde aus den oben genannten Gründen entschieden, abweichend von der üblichen Praxis technischer Regeln, die Proben für die Werkstoffprüfung dickwandiger Behälter grundsätzlich aus der Behälterwand in der Nähe des thermischen Zentrums und nicht aus Angüssen zu entnehmen. Dadurch wird das Risiko größerer örtlicher Qualitätsmängel stark eingeschränkt. In begründeten Ausnahmefällen wird davon abgewichen, wenn die Entnahme aus der Wand nicht möglich ist.

Um zu klären, durch welche Werkstoffkennwerte die Sicherheit der Serienbehälter gegen Bruchversagen gewährleistet werden kann, wurden Ergebnisse aus der Literatur durch eigene Untersuchungen ergänzt. Dabei haben Helms und Ziebs [4] folgende Ergebnisse erhalten:

—  $K_{Ic}$ ,  $K_{Q}$ - und  $K_{IJ}$ -Werte (Abb. 7), dargestellt in Abhängigkeit von der Temperatur, liegen in einem Streuband, das

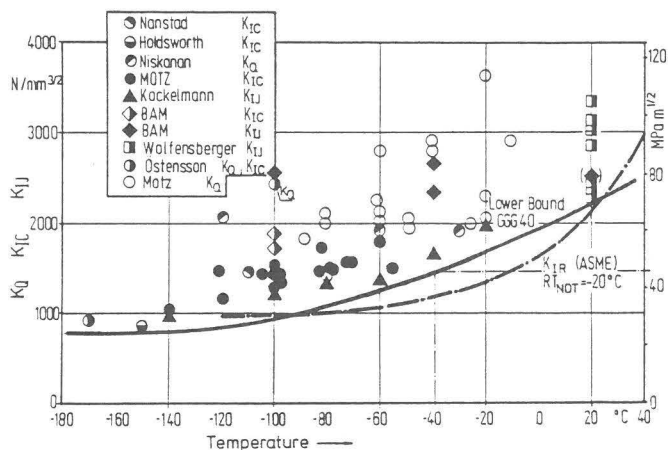


Abb. 7 Bruchzähigkeitswerte von GGG 40-Proben in Abhängigkeit von der Temperatur

durch eine untere Grenzkurve limitiert wird. In dieses Streuband fallen alle Werte von Proben aus Kugelgraphitguß mit überwiegend ferritischer Matrix.

- $K_{Ic}$  oder  $K_{IJ}$  nehmen mit zunehmendem Abstand der Graphitkugeln bis zu einem Wert von rd.  $400 \mu\text{m}$  leicht zu [4, 7]. Darüber hinaus liegen bisher keine Informationen vor, jedoch wird vermutet, daß jenseits dieser Grenze ein nennenswerter Anstieg dieser Werte nicht mehr erfolgt. Die Ursache des Abfalls der Bruchzähigkeit zu kleineren Graphitkugelabständen hin ist nicht völlig klar, steht aber möglicherweise in Zusammenhang mit dem Siliziumgehalt.
- Die Bruchzähigkeit hängt stark vom Ferrit- bzw. Perlitgehalt (Abb. 8) ab [7]. Ursache ist die Verschiebung der Übergangstemperatur mit zunehmendem Perlitgehalt zu höheren Werten.

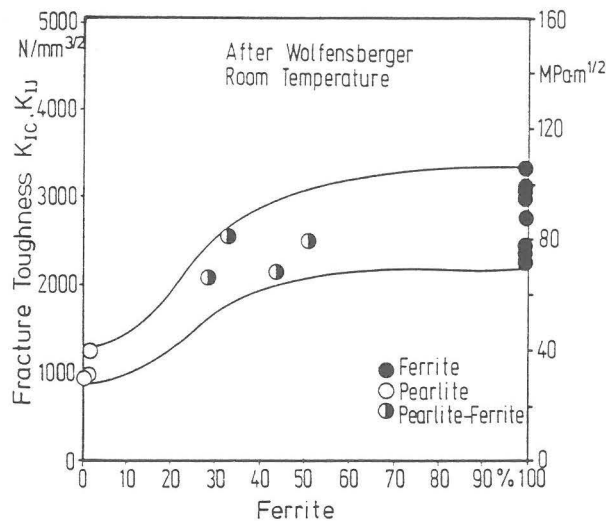


Abb. 8 Einfluß des Ferrit- bzw. Perlitgehaltes auf die Bruchzähigkeit

- Der Perlitgehalt beeinflusst auch die Bruchdehnung bei Raumtemperatur (Abb. 9) [4] und den Spaltbruchanteil in den Bruchflächen der entsprechenden Zugproben (Abb. 10) [4]. Er ist offensichtlich ein für das Bruchversagen wichtiger Einflußparameter.
- Die Bruchdehnung nimmt mit abnehmendem Graphitkugelabstand stark zu (Abb. 11) [4].



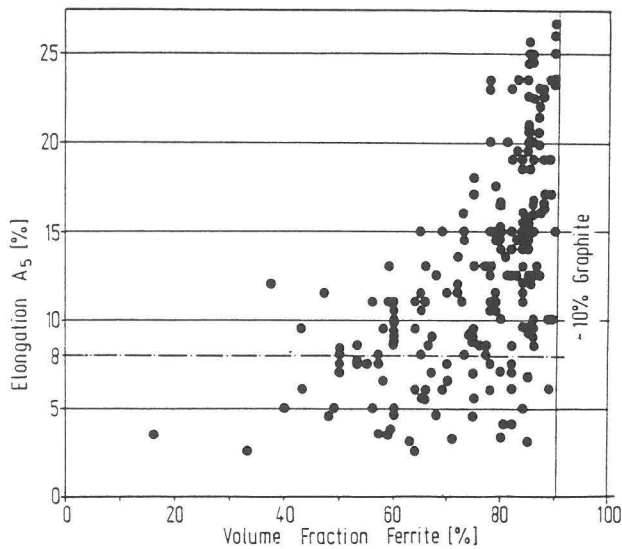


Abb. 9  
Einfluß des Perlitgehaltes auf die Bruchdehnung

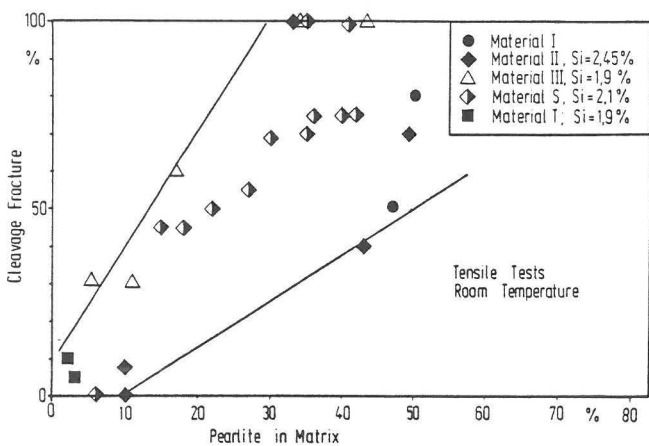


Abb. 10  
Einfluß des Perlitgehaltes auf den Spaltbruchanteil in Bruchflächen von Zugproben, die bei Raumtemperatur geprüft wurden

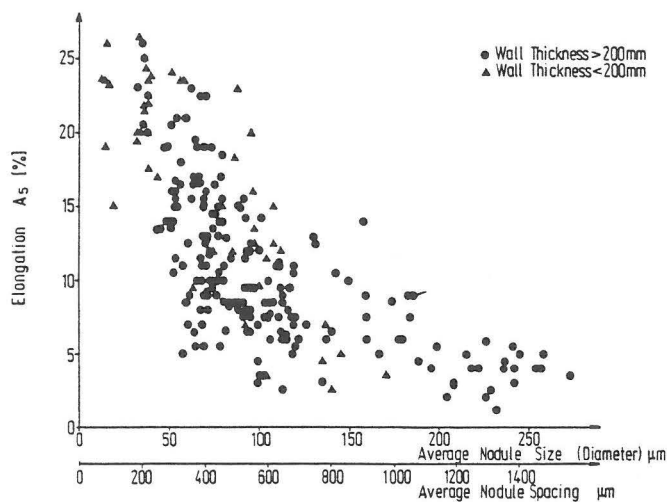


Abb. 11  
Einfluß des Graphitkugelabstandes auf die Bruchdehnung

Bezüglich des Bruchversagens von GGG 40 kann zusammenfassend festgestellt werden, daß GGG 40 ein Werkstoff mit beträchtlicher Bruchzähigkeit ist. Seine Bruchzähigkeit bewegt sich im Rahmen jener von Stählen. Sein Widerstand gegen stabiles Rißwachstum ist dagegen gering. Die Bruchflächen von einachsig beanspruchten Proben können bereits bei Raum-

temperatur Spaltbruchanteile aufweisen, die eine Tendenz zum Abfall der Bruchdehnung bewirken. Trotzdem werden bei einem Spaltbruchanteil von beispielsweise 50% noch Bruchdehnungen von 15% beobachtet. Anders als bei Stählen treten diese Spaltbruchanteile auch auf den Bruchflächen von Kerbschlag- und Bruchmechanikproben im Übergangsgebiet nicht als zusammenhängende kristalline Flecken, sondern in kleinen, inselförmigen Bereichen in regelloser Verteilung auf. Der Spaltbruchanteil in Zugproben wächst mit zunehmendem Perlitanteil. Da zunehmender Perlitgehalt auch die Übergangstemperatur von ISO-V-Proben zu höheren Werten verschiebt, ist diese Wirkung des Perlitgehaltes vermutlich auch die Ursache für die Zunahme des Spaltbruchanteils. Die Bruchzähigkeit wird zwar auch noch durch den Graphitkugelabstand beeinflusst, jedoch sind bisher Werte kleiner etwa  $50 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  in Abhängigkeit vom Graphitkugelabstand nicht beobachtet worden.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden die 0,2% Dehngrenze  $R_{p0,2}$ , die Zugfestigkeit  $R_m$ , die Bruchdehnung  $A_5$ , die Bruchzähigkeit  $K_{IC}$ , der Perlitgehalt und die Graphitart als sicherheitsrelevante Werkstoffeigenschaften von Sphäroguß bei der Verwendung für Transportbehälter identifiziert. Die Eigenschaftswerte werden aufgrund der Ergebnisse der Werkstoffprüfungen an Proben aus der Behälterwand der geprüften Prototypen spezifiziert, jedoch

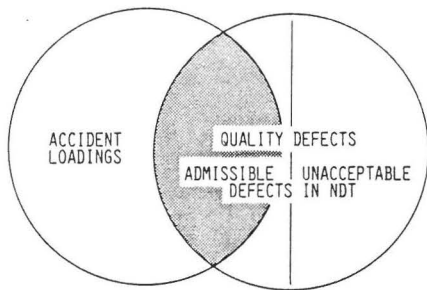
- $R_{p0,2}$  nicht kleiner als 180 MPa
- $R_m$  nicht kleiner als 250 MPa
- $A_5$  nicht kleiner als 6 bzw. 8 % als kleinster Einzelwert
- $K_{IC}$  nicht kleiner als  $50 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  bei  $-40^\circ \text{C}$
- Perlitgehalt nicht höher als 20 %
- Chunky-Graphit ist nicht zugelassen.

Der Nachweis der Bruchzähigkeit ist bei der Prototypprüfung und bei der Qualitätssicherung nicht erforderlich, wenn alle übrigen Werkstoffspezifikationen erfüllt sind. Die Festlegung der Kennwerte in Werkstoffblättern erfolgt derzeit individuell entsprechend dem Modul und dem Gießverfahren, wobei auch das Prinzip der fertigungsgerechten Kennwerte beachtet wird.

### 3.3 Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP)

Obwohl in der Druckbehältertechnologie in der Vergangenheit die Prüfkriterien für die ZfP nur als generelle Qualitätskriterien aufgefaßt und entwickelt wurden, ohne konkreten Bezug zu den Bauteilbeanspruchungen und potentiellen Versagensmechanismen, ist man heute aufgrund der Fortschritte im Bereich der Reaktorsicherheitsforschung in der Lage, solche Kriterien auch aufgrund der Bauteilbeanspruchung und der Bauteileigenschaften festzulegen. Von dieser Möglichkeit wurde bei der Entwicklung von ZfP-Prüfkriterien für die Sphäroguß-Behälter Gebrauch gemacht. In Anbetracht der vorgesehenen Qualitätskontrollen wurde die Kombination von Unfallbelastungen und nicht entdeckten, unzulässigen Fehlern außer Betracht gelassen (Abb. 12). Die Abmessungen der zulässigen Fehler wurden unter Berücksichtigung der entwickelten Leistungsfähigkeit der zerstörungsfreien Prüfungen mit Hilfe einer bruchmechanischen Abschätzung auf der Grundlage des ASME-Codes [8] bei üblicher Häufung von Konservatismen, wie zweidimensionaler Fehler in der ungünstigsten Orientierung im höchstbeanspruchten Bereich mit der ungünstigsten Bruchzähigkeit, ermittelt (Abb. 13). Dieser Abschätzung wurde die in einem Prototyp-9 m-Fallversuch ermittelte maximale Randspannung von 120 MPa und die zugehörigen geometrischen Behälterdaten (380 mm Wanddicke) zugrundegelegt. Abb. 13 links vermittelt, daß bei einer Bruchzähigkeit von  $47 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  halbelliptische Oberflächenfehler erst mit einer Fläche  $> 130 \text{ cm}^2$  bzw. einer

PRINCIPLE:  
NO COMBINATION OF ACCIDENT LOADINGS AND UNDETECTED,  
UNACCEPTABLE Q-DEFECTS



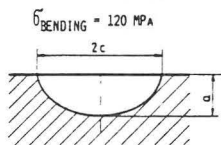
↑  
DETERMINATION OF LIMIT

FRACTURE MECHANICS  
APPRAISAL

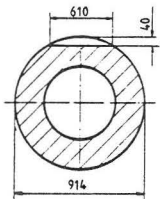
CRITICAL FLAW SIZES

Abb. 12  
Relevanz bruchmechanischer Fehlerbewertungen

APPRAISAL BY ASME  
BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE  
SECTION IX, A-3200-1



FEM-ANALYSIS OF A MODEL SCALE 1 : 2,5



$K_I$ MPa·m <sup>1/2</sup>	$a/2c=0.1$		$a/2c=0.25$	MODEL FULL SIZE CONTAINER	$d$ m·s <sup>2</sup>	$a$ mm	$K_I$ MPa·m <sup>1/2</sup>	POINT LOADING	CIRCUMFERENTIAL LINE LOADING
	$a$ mm	$a$ mm	$a$ mm						
47	44	65		3000	40	39	26		
63	74	116		1200	100	62	41		

Abb. 13  
Abschätzung kritischer Fehlergrößen

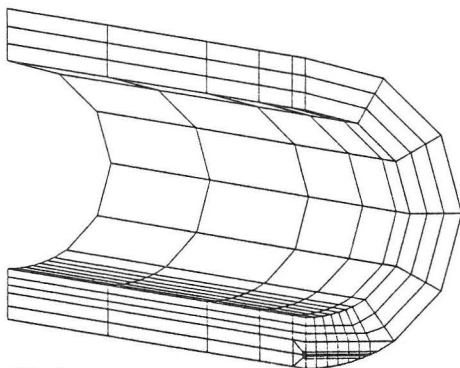


Abb. 14  
Netz für die FE-Analyse eines Modellbehälters mit den Abmessungen gemäß Abb. 13

Tiefe von 44 mm zum Bruch führen würden. Eine Finite-Elemente-Analyse [9], die für einen Modellbehälter durchgeführt wurde, lieferte für diesen und übertragen auf einen Originalbehälter mit einer Wanddicke von 380 mm die in Abb. 13 rechts zusammengefaßten Werte. Aus dieser Zusammenstellung folgt, daß bei  $K_I = 50 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  Fehlertiefen ab rd. 65 mm bei unbegrenzter Fehlerlänge und der vorgegebenen zulässigen Nennspannung zum Versagen durch Bruch führen. Abb. 14 zeigt das für die FE-Analyse verwendete Netz.

Da die ZfP-Fehlerregistrierengrenze in der Größenordnung von 10 mm Fehlerdurchmesser liegt, sind Fehler von der Hälfte jener

Abmessungen, die zu einem  $K_I$ -Wert von  $50 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  führen, zuverlässig nachweisbar. Bei der Ultraschallprüfung wird jedes Volumenelement in allen drei Achsen erfaßt. Neben der Ultraschallprüfung sind Sichtprüfung der gesamten Gußkörperoberflächen sowie Farbeindringprüfung an den bearbeiteten Flächen vorgeschrieben. Details zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung wurden von *Wüstenberg, Schulz und Erhard* [5] vorgestellt. Abb. 15 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Prüfkriterien.

Position and orientation of an indication area	Evaluation
parallel to the surface	acceptable: single reflectors $\leq 50 \text{ cm}^2$ sum of single refl. $\leq 250 \text{ cm}^2$ or areas with backwall-drop $> 20 \text{ dB}$
perpendicular to the surface	acceptable: max. 1/10 of the wallthickness
connection areas (trunnion settings, sealing surfaces)	recordable indications not acceptable
Evaluation of indications	

Abb. 15  
ZfP-Prüfkriterien

### 3.4 Fertigungsparameter

Die Fertigungsschritte können in zwei wesentliche Gruppen aufgeteilt werden:

- Herstellung des Gußkörpers
- diverse Schritte der spanenden Bearbeitung und der Oberflächenbehandlung.

Die zweite Gruppe weist wenig werkstoffspezifische Aspekte auf und bewegt sich im Bereich konventioneller Technologien. Die Verfahrensschritte bei der Herstellung des Gußkörpers sind jedoch maßgebend für das Gefüge, das wiederum die mechanischen Eigenschaften im Bauteil bestimmt. Für Gußteile, deren Eigenschaften durch nachfolgende Fertigungsschritte nicht mehr nennenswert beeinflußt werden können, gilt in besonderem Maße, daß Qualität produziert werden muß und nicht erprüft werden kann. Nur durch Festlegung und Kontrolle der genannten Gußtechnologie kann gewährleistet werden, daß die Serienbehälter den Prototypbehältern entsprechen. Aus diesem Grund werden für jeden Hersteller und für jede Bauart genaue Anweisungen für alle qualitätsrelevanten Maßnahmen, wie den Formaufbau, die Erzeugung der Schmelze und deren Behandlung, die Schmelzeanalyse, die Gießtemperatur, die Gießzeit usw., dokumentiert. Soweit erforderlich, sind Überwachungen und Prüfungen, d. h. nicht nur Audits des QS-Systems durch Sachverständige im Auftrag der zuständigen Behörde, vorgesehen.

Die Fertigungs- und Prüffolgepläne geben für jeden Arbeits- und Prüfschritt die Beteiligten und Verantwortlichkeiten für die Durchführung einer Maßnahme an. Sie legen die Belegung der Eigenschaften sowie Art und Umfang der Dokumentation fest. Ebenso wie die Fertigungs- und Prüffolgepläne selbst unterliegen alle dort zitierten Arbeits- und Prüfanweisungen der Kontrolle bzw. Freigabe durch die BAM [8].

#### 4. Zusammenfassung

Die wesentlichen Punkte des Sicherheitskonzeptes können wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Beim 9 m-Fallversuch bei  $-40^{\circ}\text{C}$  darf kein Versagen durch Bruch auftreten.
2. Die Spannungen infolge der Beanspruchung beim 9 m-Fallversuch dürfen 50 % der 0,2 %-Dehngrenze an keiner Stelle des Behälters überschreiten.
3. Als sicherheitsrelevante Werkstoffeigenschaften wurden die 0,2 %-Dehngrenze, die Zugfestigkeit, die Bruchdehnung, die Bruchzähigkeit, der Perlitgehalt und die Graphitart identifiziert.
4. Die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung muß in der Lage sein, Fehlergrößen zuverlässig nachzuweisen, die kleiner sind als einem  $K_{\text{T}}$ -Wert von  $50 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  bei der o. a. Spannung in der Behälterwand entspricht.
5. Alle qualitätsrelevanten Maßnahmen der Gußtechnologie werden aufgrund der Prototypfertigung festgelegt und kontrolliert.

#### Literatur

- [1] Collin, F.-W.:  
Die Entwicklung der IAEA-Transportempfehlungen und ihre Umsetzung in Europa.  
Beitrag in: ● „Behälter aus Sphäroguß für radioaktive Stoffe“. DVM-Berichtsband über das gleichnamige BAM-Seminar am 9. und 10. Juni 1987.  
DVM: Berlin 1987
- [2] Schulz-Forberg, B.:  
Das Zulassungsverfahren für Transportbehälter radioaktiver Stoffe.  
Beitrag in: ● „Behälter aus Sphäroguß für radioaktive Stoffe“. DVM-Berichtsband über das gleichnamige BAM-Seminar am 9. und 10. Juni 1987.  
DVM: Berlin 1987
- [3] Wieser, K. E. u. B. Droste:  
Die Prüfung und Begutachtung von Behältern aus Sphäroguß.  
Beitrag in: ● „Behälter aus Sphäroguß für radioaktive Stoffe“. DVM-Berichtsband über das gleichnamige BAM-Seminar am 9. und 10. Juni 1987.  
DVM: Berlin 1987
- [4] Helms, R. u. J. Ziebs:  
Ergebnisse der Werkstoffprüfung an Behältern aus Sphäroguß in den Jahren 1981 bis 1987.  
Beitrag in: ● „Behälter aus Sphäroguß für radioaktive Stoffe“. DVM-Berichtsband über das gleichnamige BAM-Seminar am 9. und 10. Juni 1987.  
DVM: Berlin 1987
- [5] Wüstenberg, H., E. Schulz u. A. Erhard:  
Die zerstörungsfreie Prüfung von Behältern aus Sphäroguß.  
Beitrag in: ● „Behälter aus Sphäroguß für radioaktive Stoffe“. DVM-Berichtsband über das gleichnamige BAM-Seminar am 9. und 10. Juni 1987.  
DVM: Berlin 1987
- [6] Droste, B. u. R. Rödel:  
Qualitätssichernde Maßnahmen für Brennelement-Transport- und Lagerbehälter.  
Beitrag in: ● „Behälter aus Sphäroguß für radioaktive Stoffe“. DVM-Berichtsband über das gleichnamige BAM-Seminar am 9. und 10. Juni 1987.  
DVM: Berlin 1987
- [7] Wolfensberger, S.:  
Bruchzähigkeit von Gußeisen.  
● Dissertation ETH Zürich 1986
- [8] Wieser, K. E., B. Droste, R. Helms, J. Ziebs u. J. Hempenmacher:  
Gußeisen mit Kugelgraphit als Werkstoff für Transport- und Lagerbehälter bestrahlter Brennelemente.  
Amts- u. Mitteilungsbl. BAM 15 (1985) Nr. 1, S. 4 - 18
- [9] Noack, H.-D.:  
Unveröffentlichte Ergebnisse aus dem BAM-Referat „Rechnerische Werkstoff- und Bauteilanalyse“

## Ziele der Stereologie

Von **ORR Dr. rer. nat. Konrad Breitzkreutz**, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

DK 620.18

Amts- und Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) 17 (1987) Nr. 4 S. 663/667

Manuskript-Eingang 1. September 1987

#### Inhaltsangabe

Die Fachdisziplin Stereologie wird beschrieben, ihre Stellung im Gesamtprozeß der Erkenntnisgewinnung vom elementaren physikalischen Prozeß der Wechselwirkung Probe — Sonde bis hin zu der auf wenige Zahlen kondensierte Aussage der vollständigen Analyse.

*Zylinderschliffe — Metallographie — Stereologie — Mikroskopie*

#### Summary

In this paper the special field of stereology will be described as well as its importance for the complete process of scientific findings from the elemental physical process of the interaction „specimen — probe“ to the complete analysis, which represents a summarized statement of only a few relevant figures.

*Cylindrical sections — metallography — stereology — microscopy*

Seit zwei Jahren steht im Organisationsplan der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) für das Referat 1.02 „Stereologie der Werkstoffe“. Wenn auch in den Jahresberichten über einige Arbeiten kurz berichtet wurde, dürfte eine etwas ausführlichere Erläuterung des Begriffs „Stereologie“ sowie der speziellen Zielsetzung des Referates wünschenswert sein. Das Wort Stereologie selbst weckt Assoziationen über räumliche Darstellungen, räumliches Sehen u. ä.. Über die Fachrichtung selbst ist Unkenntnis die Regel. Das mag durch die kurze Zeitspanne bedingt sein (ca. 20 Jahre), in der dieser Ausdruck dafür verwendet wird.

Die Stereologie interpretiert vorverarbeitete Bilder bildgebender physikalischer Verfahren mit mathematischen Methoden hinsichtlich ganz bestimmter Fragestellungen, und zwar nach den Zahlen, die den untersuchten Stoff insgesamt kennzeichnen, wie Gehalt an unterschiedlichen Phasen, Verteilungsfunktionen von Partikeln, spezifische Grenzflächen von Phasen und vieles andere mehr aus zweidimensionalen Bildern von Schnittebenen. Sie gehört zur Vielzahl der bildanalytischen Verfahren. Häufig ist die stereologische Fragestellung Anlaß für Entwicklung und Einsatz bildgebender physikalischer Verfahren überhaupt.

Seit vielen Jahren bestimmen Geologen den Anteil werthaltiger Mineralien in Gesteinen aus Schliffen, zählen Biologen Bakterien in Kulturen aus, werden von Metallographen Körner im Gefüge bestimmt und entscheiden Pathologen mit der Anzahl bestimmter Zellkerne pro Meßflächeneinheit über die Diagnose Krebs.

Erst vor etwa 20 Jahren hat sich die Erkenntnis, daß hier Vertreter unterschiedlichster Fachrichtungen das gleiche tun, durchgesetzt, und unter dem Dach namens „Stereologie“ arbeiten seitdem praktisch alle zusammen, die Probleme mit heterogenen Stoffen haben. Die Bezeichnung „interdisziplinär“ ist hier kein Modewort.

Die gängigste Definition des Begriffs Stereologie lautet jetzt:

Es ist die Lehre von der quantitativen Beschreibung und Erfassung dreidimensionaler Größen und der damit verbundenen Funktionen aus zweidimensionalen Schnittbildern heterogener Stoffe.

Andere Bezeichnungen, wie quantitative Mikroskopie oder quantitative Metallographie, kommen allmählich aus dem Gebrauch.

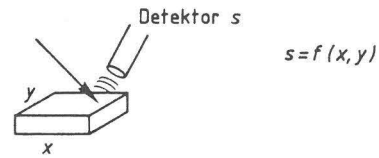
Die Stellung der stereologischen Analyse wird in *Abb. 1* verdeutlicht.

Die primäre physikalische Ebene beruht auf irgendeinem physikalischen Effekt. Von der Lichtabsorption über die Ausbreitung elastischer Wellen bis hin zum Tunneleffekt wird so ziemlich alles Erdenkliche ausgenutzt. Die Reaktion der Probe wird simultan über die ganze Fläche oder punktwise registriert und als Zahl oder analoges Signal als Funktion des Ortes gespeichert. Gewohnt sind wir die Darstellung durch graue oder farbige Punkte oder Punktgruppen, dem analogen Bild.

Das primär gewonnene Bild enthält neben der gesuchten Information in der Regel eine Menge unerwünschter Informationen, die die Interpretation hinsichtlich bestimmter Eigenschaften erschweren. Die Kennlinie eines Detektors z. B. stellt so eine unerwünschte Information dar und muß eliminiert werden.

Eine Auswertung durch Menschen ist durch Bildstörungen weniger behindert: Sollen z. B. auf einem Schriff Korngrenzen gezählt werden, erkennt der Beobachter sofort den Unterschied

Physikalische Ebene

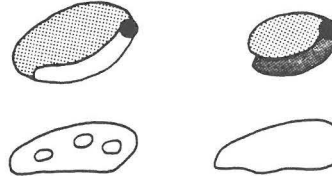


digitales Bild

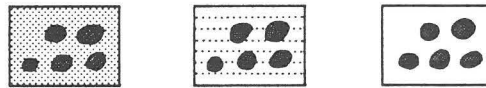
analoges Bild

Bildanalytische Aufarbeitung

- Grauwertmanipulation
- Filter
- Histogramme
- Binär - Bild
- Erosion - Dilatation



Stereolog. Grundgrößen



Punkt

Linie

Fläche

*Abb. 1*  
Stellung der Stereologie in der Abfolge der Arbeitsschritte

zwischen Korngrenze und etwaigen Kratzern im Schriff oder Fehlern der Photoemulsion. Stark begrenzt wird der Einsatz des Menschen zur quantitativen Bildauswertung durch begrenzte Arbeitsgeschwindigkeit, Ermüdbarkeit und Anfälligkeit für eine Vielzahl von optischen Täuschungsmöglichkeiten. Der menschliche Beobachter trifft schnell sehr komplexe Entscheidungen, die, bewußt oder unbewußt, auf sehr individuellem Wissen und Erfahrungen beruhen.

Für die apparative Bildauswertung muß man auf stark formalisierte und mathematisierte Verfahren der Bildanalyse, speziell der morphologischen Methoden, zurückgreifen.

Aus der Fülle der verwendeten Methoden seien nur zwei Beispiele herausgegriffen.

Histogramm-Manipulationen:

Jeder Photoamateur kennt den unangenehmen Effekt, daß Personen in einem Tor einer hellen Mauer praktisch bis auf die Spitzen heller Schuhe u. ä. verschwunden sind: Der Belichtungsmesser hat über das gesamte Bild integriert und damit den eigentlichen Gegenstand des Interesses, die Personen, unterbelichtet, d. h. die einzelnen Bildpunkte unterscheiden sich in ihren Grauwerten so wenig, daß für das Auge keine Konturen mehr erkennbar sind. Werden die Grauwerte der Punkte durch Multiplikation oder andere Manipulationen auseinandergezogen, werden Konturen wieder erkennbar, man kann sozusagen in einen Tunnel hineinschauen.

Für die eigentliche Auswertung des Bildes sind Grauwerte uninteressant, ja störend: Wichtige morphologische Verfahren können nur auf „binär“-Bilder angewendet werden, d. h. Bilder, die nur noch weiße und schwarze Bildpunkte haben und keine Zwischentöne mehr.

Erosion und Dilatation; das sind wesentliche Grundoperationen: Man umfährt die Kontur eines Teilchens mit dem Mittelpunkt eines Elementes (z. B. einem Kreis) und streicht alle sich überlappenden Bildpunkte der Figur; bei der Dilatation fügt man der Figur die des Elementes hinzu.

Beispiel: Man will Teilchenflächen vermessen, bei denen Bildpunkte durch Meßfehler fehlen. Man dilateriert zuerst, schließt damit die Lücken und erodiert anschließend zur Wiederherstellung der alten Kontur (diese Abfolge von Grundoperationen wird Fermenture bezeichnet).

Diese Dinge werden hier erwähnt, obwohl sie nicht zur eigentlichen Stereologie gehören. Sie sind der „Flaschenhals“, der Engpaß bei der Anwendung der Stereologie und Vorbedingung für deren breiten, praktischen Einsatz. Liegt endlich ein einfaches Schwarz-Weiß-Bild vor, auf dem nur noch die interessierenden Gegenstände sind, beginnt mit der Erfassung von Grundgrößen und anderen zählbaren Dingen die eigentliche stereologische Analyse.

Ein Anwendungsfall aus der Elektronenmikroskopie (Abb. 2):

Die Häufigkeit von Versetzungen soll als Funktion der Richtung aus einer elektronenmikroskopischen Aufnahme ermittelt werden. Das Bild verfügt über eine Fülle von uninteressanten Informationen, die durch Filterungen, Kantendetektion und Diskriminierung bestimmter Grauwerte schrittweise entfernt werden. Zum Schluß werden Schnittpunkte entfernt, und der eigentliche Zählvorgang für die stereologische Analyse kann erfolgen. Die Aussage selbst ist das Diagramm einer Richtungsabhängigkeit, generell auch als „Rose“ bezeichnet.

Grundgrößen der stereologischen Messung sind Punktanteile der Flächen, Linienanteile und Flächen selbst bezüglich Zahl,

Größe und Form. Historisch war die Notwendigkeit, Volumenanteile zu bestimmen, der Anstoß der Entwicklung der Stereologie (die Geologen Delesse, Rosival). Wird solch ein Bild mit angeschnittenen Körnern jemandem vorgelegt (Abb. 3) und nach dem prozentualen Volumenanteil gefragt, reagieren fast alle Unvorbelasteten mit einer Vermutung, daß eine Potenz-Beziehung, verbunden mit der Verteilung der Flächen, diese Größe wohl angebe. Die Wirklichkeit ist unter der Voraussetzung der zufälligen Verteilung der Teilchen, hinreichender Anzahl und Isotropie, sehr viel einfacher: Der prozentuale Volumenanteil ist gleich dem prozentualen Flächenanteil!

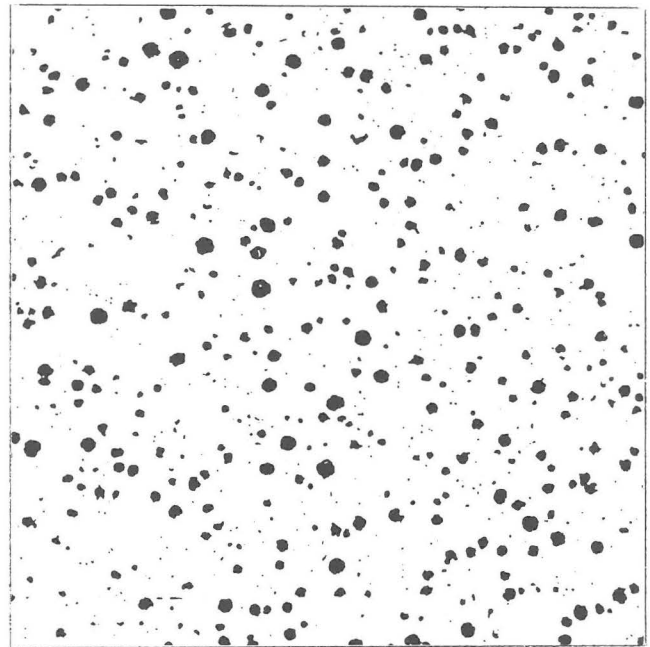
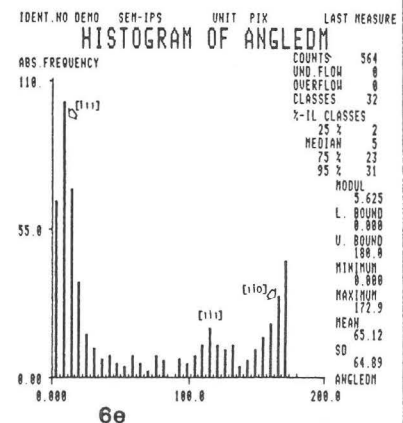
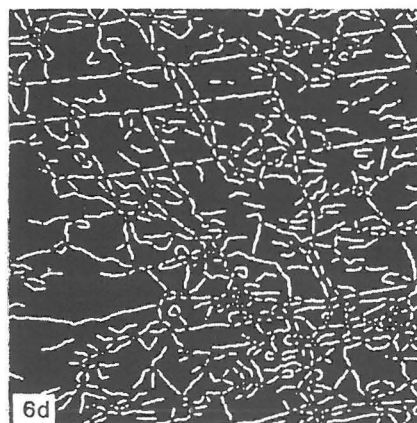
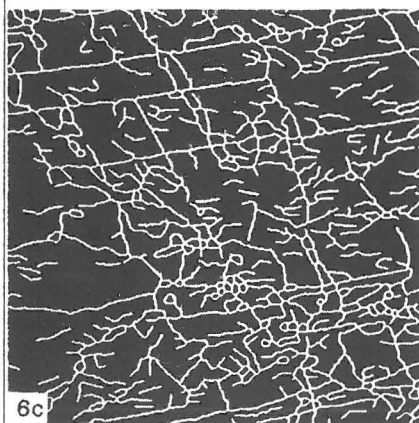
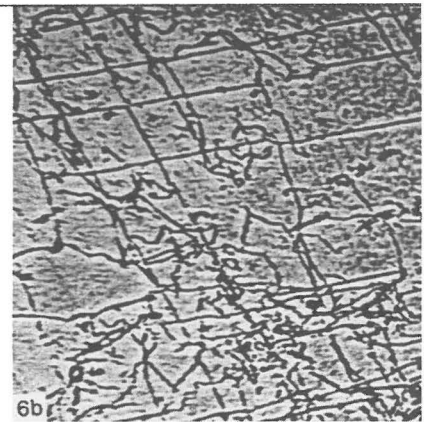
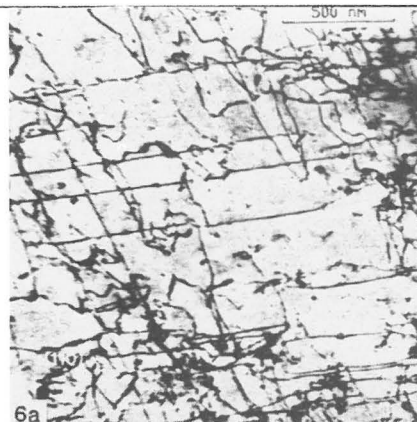


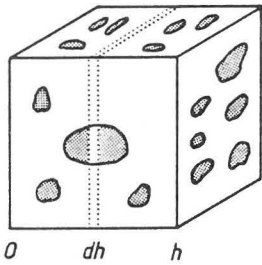
Abb. 3  
Schliffbild eines Graugusses mit Kugelgraphit

Abb. 2  
Elektronenmikroskopische Aufnahme von Versetzungen in Stahl nach verschiedenen Bearbeitungsschritten

Our recent attempt to describe the dislocation configurations in the as-hot-rolled dual-phase steels involves use of the SEM-IPS image analyzer (Kontron, West Germany), connected on-line to JEM 200CX TEM (JEOL, Japan). With the aid of SEM-IPS the images of dislocation configurations are to be quantified as regards their overall density and amounts of the dislocations in selected characteristic directions.

- Fig. 6 Processing of dislocation image:
- original TEM BF image;
  - image recorded and enhanced by SEM-IPS;
  - two-level discriminated image;
  - divided dislocation lines for counting;
  - indication of directions of higher density.





$A$  = Fläche

$A_x$  = Fläche der Einschlüsse

$$d V_x = A_x \cdot dh$$

$$\int \frac{d V_x}{V} = \frac{A_x}{A \cdot h} \int dh$$

$$\frac{V_x}{V} = \frac{A_x}{A}$$

$$\frac{V_x}{V} = \frac{a \cdot n_s \cdot EF}{a \cdot n_g \cdot EF}$$

Abb. 4

Zur Ableitung einer Beziehung zwischen Flächenanteil einer Phase und deren Volumenanteil

Folgende kurze Ableitung in Abb. 4 zeigt den Sachverhalt:

$A$  ist die Querschnittsfläche der Probe,  
 $h$  die Höhe der Probe,  
 $A_x$  der Flächenanteil der Einschlüsse,  
 $V$  das Volumen der Probe,

dann ist

$$d V_x = A_x \cdot dh$$

$A_x$  ist in jedem Abschnitt gleich groß. Damit gilt

$$\frac{dV_x}{V} = \frac{A_x}{A \cdot h} dh$$

$$\frac{V_x}{V} = \frac{A_x}{A}$$

und somit ist der Flächenanteil gleich dem Volumenanteil. Für die Aussage, daß der Punktanteil und der Linienanteil auch dem Volumenanteil gleich sind, existieren entsprechende Ableitungen, die jedoch trivial sind:

Ein Bildpunkt ist im Gegensatz zum Punkt der Euklidischen Geometrie dimensionsbehaftet: Er ist die kleinste Flächeneinheit. Damit kann die Gleichung auch geschrieben werden

$$\frac{a \cdot n_s \cdot EF}{a \cdot n_g \cdot EF} = \frac{V_x}{V}$$

wobei  $a$  ein Faktor  $< 1$  ist,  $n_s$  die Zahl der schwarzen Bildpunkte,  $n_g$  die Zahl aller Bildpunkte.  $EF$  ist die Fläche eines Bildpunktes, d. h. die Relation gilt auch für einen Bruchteil der Punkte, solange dieser Bruchteil repräsentativ ist. Es ist also völlig unerheblich, ob Teilflächen, einzelne Punkte oder Linien beliebiger Form gemessen werden.

Mit der Bestimmung des Volumenanteils sind die Möglichkeiten der Punktanalyse bereits erschöpft. Eine außerordentlich wichtige Größe liefert die Linearanalyse: Die Zahl der Grenzpunkte zwischen zwei Phasen entlang einer Meßlinie ist

direkt proportional der spezifischen Oberfläche der Phase. Diese Größe ist von entscheidender Bedeutung für die Funktion stoffaustauschender Apparate sowie in der heterogenen Katalyse: In der Biologie, z. B. Nieren- und Lungengewebe, in der Abgasreinigungstechnik und eine Vielzahl von Synthesen.

Mit der Linear- und Flächenanalyse werden eine große Zahl von Kennzeichen heterogener Gefüge erfaßt und quantifiziert. Allein die Bestimmung der „Form“ von Teilchen und deren dadurch bedingte Funktion ist Gegenstand einer ganzen Reihe von Monographien [1]. Größenverteilungen der Flächen und der geschnittenen Partikelvolumina, Orientierung von Grenzflächensystemen u. a. sind gefragte Größen.

Gelegentlich sind stereologische Merkmale proportional zu mechanischen Größen: Die Brinell-Härte von Messing und einigen anderen Legierungen ist direkt proportional zur Gesamtfläche der Korngrenzen. Die Korngrößenverteilung steht in einem Zusammenhang mit der Streckgrenze beim Stahl.

Nun wird keiner auf die Idee kommen, eine einfache Härtemessung durch eine aufwendige stereologische Analyse zu ersetzen: Der Wert solcher Korrelationen liegt im Bestätigen oder Verwerfen von Modellvorstellungen, z. B. beim Messing über die Entstehung der einzelnen Härteanteile aufgrund unterschiedlicher Mechanismen. Eine solche Bestätigung von Modellvorstellungen durch stereologische Analysen wurde in der BAM [2] beim Kugelgraphit im Grauguß durchgeführt. Die Berechnung der räumlichen Kugelverteilung aus ebenen Schnittkreisdurchmessern zeigt zwei deutlich unterschiedliche Kollektive von Graphitteilchen, was Vorstellungen über die Ausscheidung des Kohlenstoffs beim Gießen aus Schmelze und im erstarrten Zustand bestätigen.

Zur Stellung der Stereologie in der BAM kommen und darüber, was in Zukunft von einer Beschäftigung damit zu erhoffen ist, kann folgendes gesagt werden. Stereologische Methoden waren bis vor einigen Jahren noch extrem arbeitsintensiv. Für bestimmte Serienaufgaben gibt es zwar seit Jahren Automaten, in einem Institut wie der BAM ließen sie sich wegen der sehr unterschiedlichen Aufgaben kaum nutzen, denn punktuell wurden immer wieder Teilautomaten eingesetzt, so zur Bestimmung von Korngrößen und einfachen Kenngrößen. Für eine schwerpunktmäßige Behandlung war die Personaldecke in Relation zum erwarteten Nutzen zu dünn.

Durch die enorme Entwicklung der Kleincomputer hat sich die Situation jedoch erheblich verbessert. Es wird z. B. auf einem Schreibtisch ein PC, der mit Peripherie wie Kamera, Festplatte, Plotter usw. 20000 DM gekostet hat und, besonders nach Lieferung eines Compilers, verwendet, der ein voll befriedigendes Handwerkzeug für die stereologische Analyse ist. Der „Flaschenhals“, der Engpaß, der im Augenblick einer breiten serienmäßigen Anwendung noch entgegensteht, ist das Fehlen eines speziellen Gerätes zur morphologischen Bildaufbereitung als Vorstufe der Stereologie. Dieses Problem wird in nicht allzu ferner Zukunft überwunden sein, bis dahin muß diese Aufgabe auch der Tischcomputer mit übernehmen, was die Kapazität natürlich gewaltig einschränkt.

Neben „Screening“-mäßigem Überprüfen von Werkstoffen auf verwendbare Merkmale dürfte der Einsatz der Stereologie in der Schadensfallanalyse lohnend sein: Der Vergleich zwischen „guten“ und „schlechten“ Bauteilen liefert oft den entscheidenden Hinweis auf die Schadensursache. Objektive quantitative Merkmale versprechen da eine sichere Aussage als die Augenscheinprüfung. So liefert z. B. allein die Aussage zur Form von Graphitlamellen im Gußeisen entscheidende

Hinweise auf dessen Verformbarkeit und weist im Schadensfall die Richtung für weitere Untersuchungen.

Nun möchten wir die Stereologie nicht nur anwenden, sondern auch einen Beitrag zur Weiterentwicklung leisten, es bietet sich da folgendes Problemfeld an:

Viele stereologische Verfahren basieren auf Idealisierungen, die nicht unmittelbar gerechtfertigt erscheinen oder sind. Das mindert das Vertrauen der Praktiker, und geringe Anwendungsbereitschaft in der Industrie ist die Folge. Ein Witz charakterisiert die Situation: Die uralte Menschheitsfrage, wer war eher da, das Ei oder die Henne, ließe sich stereologisch ohne weiteres lösen, wenn es ideal kugelförmige Eier und ideal würfelförmige Hühner gäbe.

Die Frage ist also immer, ob hinreichend vernünftige Voraussetzungen und halbwegs realistische Randbedingungen erfüllt sind und ob die Fehler infolge der Idealisierung zu entweder völlig abwegigen oder brauchbaren Näherungen führen. Beispielsweise werden zur Berechnung der Verteilung polyedrischer Körner Methoden verwendet, die für Kugeln abgeleitet worden waren.

Überprüfung mit Testbildern genau definierter Modellkörper könnte über die Zulässigkeit derartiger Methoden entscheiden, in diesem Falle Schnittbilder von gepreßten verkupferten Bleikugeln bekannten Volumens, die zu Polyedern verformt sind.

Sehr viele stereologische Verfahren gelten nur für isotrope Strukturen, was teilweise überprüft werden muß durch Anfertigen mehrerer Schriffe in unterschiedlichen Lagen und Messung der Richtungsabhängigkeit und deren Darstellung in einer „Rose“. Hier ist eine erhebliche Verbesserungsmöglichkeit durch Einführung von Zylinderschliffen zu sehen, wodurch mit zwei Schriffen praktisch alle Richtungen erfaßt werden. Man

kann dann in einem Teilbereich wie bei einem Planschliff verfahren, aber die Darstellung einer Rose dürfte unübersichtlich werden, andere Darstellungen könnten da attraktiver sein.

Bisher wurden Zylinderschliffe nicht verwendet, weil optische Mikroskope wegen geringer Tiefenschärfe nur einen sehr schmalen Bereich scharf aufnehmen können. Das ist jetzt kein Hinderungsgrund mehr, mit einem Rechner und einem Tisch mit entsprechenden Schrittmotoren können automatisch durch Scharfstellen, Bildeinziehen, Anheften ans vorherige Teilbild, Weiterdrehen usw. Panoramabilder hergestellt werden [3].

In der BAM werden zur Zeit prägnante Anwendungsfälle gesucht, und es soll dann, vielleicht über Drittmittel, ein Prototyp eines solchen Gerätes hergestellt werden.

Jeder, der mit der quantitativen Interpretation von Bildern konfrontiert ist, ist eingeladen, seine Probleme mit dem Referat 1.02 der BAM zu diskutieren. Die Stereologie als tatsächliche interdisziplinäre Aufgabe ist geeignet, von zunächst getrennt erscheinenden Problemfeldern das Verbindende herauszuarbeiten und gegenseitig Lösungsmethoden zu vermitteln.

### Literatur

- [1] Schwarz, H.:  
Quantitative Kennzeichnung der Anordnung und Form von Bild- und Gefügebestandteilen.  
● Dissertation an der Universität Stuttgart
- [2] Breitzkreutz, K. u. Ch. Zaminer:  
Größenverteilung von Graphitpärolithen in GGG-40.  
Prakt. Met. Sonderband 15
- [3] Breitzkreutz, K., W. Vorwald, O. Ball u. D. Meyer:  
Zylinderschliffe in der Metallographie?  
Prakt. Met. 23 (1986) S. 590-585

## Magnetische Kernresonanzspektroskopie des Kohlenstoffs ( $^{13}\text{C}$ -NMR) zur Strukturaufklärung organischer Stoffe \*)

Von **ORR Dr. rer.nat. Jürgen Kelm**, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin DK 543.422.25 : 546.26.02.13 : 547.022

Amts- und Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) 17 (1987) Nr. 4 S. 667/670

Manuskript-Eingang 23. März 1987

### Inhaltsangabe

Wenn es um die Strukturaufklärung organischer Stoffe geht, ist die NMR-Spektroskopie des Kohlenstoffs an erster Stelle zu nennen. Mit der Einführung besonderer experimenteller Techniken erhält man auch bei Festkörpern hochaufgelöste Spektren. Bei Elastomeren beispielsweise werden bei erhöhter Meßtemperatur Auflösung und Empfindlichkeit so erheblich gesteigert, daß die Qualität entsprechender Lösungsspektren nahezu erreicht wird. Im Vergleich mit eingeführten Standardmethoden ist die Festkörper-NMR-Spektroskopie als konkurrenzlos anzusehen.

*$^{13}\text{C}$ -NMR-Spektroskopie – Mikrostruktur von Polymeren – Bestimmung von Elastomeren – Festkörper-NMR-Spektroskopie – „Magische Rotation“*

### Summary

Carbon-NMR-spectroscopy is extremely useful for structure elucidation of organic compounds. Techniques like magic angle spinning, high power proton decoupling and cross polarization have become valuable tools by providing essentially liquid-like spectra from solid materials. The line broadening in spectra of solid elastomers, e. g., can be further reduced by raising the temperature of the experiment. Comparing with other methods solid state  $^{13}\text{C}$ -NMR appears to be exceedingly advantageous for structure analysis or identification of elastomeric materials.

*$^{13}\text{C}$ -NMR spectroscopy – microstructure of polymers – determination of elastomers – solid state NMR spectroscopy – magic angle spinning*

\*) Kurzfassung eines Kolloquium-Vortrags in der BAM am 24. 9. 1986

## Einleitung

Atomkerne, die eine ungerade Anzahl Protonen und/oder Neutronen enthalten, können mit Hilfe des NMR-Effektes (Nuclear Magnetic Resonance) beobachtet werden, weil sie ein magnetisches Moment  $\mu$  besitzen, während Kerne wie  $^{12}\text{C}$  oder  $^{16}\text{O}$ , sogenannte gg-Kerne, nicht erfaßt werden. Werden Atome mit einem Kernmoment  $\mu \neq 0$  in ein statisches homogenes Magnetfeld  $H_0$  gebracht, so werden sie in Richtung des angelegten Feldes ausgerichtet. Da das magnetische Moment mit dem Spin verknüpft ist, kommt es zu einer Präzessionsbewegung der Atomkerne um  $H_0$  mit einer Frequenz  $\nu$ , die linear von  $H_0$  abhängt:

$$\omega = 2 \pi \nu = \gamma H_0$$

( $\gamma$  = gyromagnetisches Verhältnis)

Das Experiment zeigt, daß bei Einstrahlung eines hochfrequenten magnetischen Wechselfeldes geeigneter Frequenz, nämlich genau der Präzessionsfrequenz, Energie aus dem Strahlungsfeld absorbiert wird. Aus der Resonanzbedingung ergeben sich für ein Magnetfeld von 4.7 T z. B. folgende Resonanzfrequenzen:

$$^1\text{H} : 200 \text{ MHz}, \quad ^{19}\text{F} : 188 \text{ MHz}, \quad ^{13}\text{C} : 50 \text{ MHz}$$

Die Resonanzfrequenz eines Atomkerns ist jedoch keine Konstante, sondern von der speziellen chemischen Bindung des Atoms abhängig. Die Kernresonanz zeigt eine Feinstruktur. Diese Abhängigkeit, die als „chemische Verschiebung“ bezeichnet wird, kommt dadurch zustande, daß das Magnetfeld am Kernort vom angelegten Feld  $H_0$  je nach Einfluß der abschirmenden Elektronenhülle abweicht.

## $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektroskopie

Es hat sich gezeigt, daß die NMR-Spektren des Kohlenstoffs besonders geeignet sind, die Struktur organischer Stoffe aufzuklären. Anders als bei den bisher in der BAM schon meßbaren Elementen Wasserstoff und Fluor erlauben sie eine direkte Beobachtung des Molekülgerüsts. Von den stabilen Kohlenstoffisotopen ist jedoch nur das Isotop  $^{13}\text{C}$  mit einer natürlichen Häufigkeit von etwa 1% der Messung zugänglich. Das relativ geringe magnetische Moment führt ebenfalls zu einer Verschlechterung der Voraussetzungen. Der Empfindlichkeitsverlust – ein Faktor von etwa 5000 gegenüber dem Wasserstoff – wird durch längere Meßzeiten kompensiert, wobei das Verfahren des „Time Averaging“ (Spektrenakkumulation) angewandt wird. Akzeptable Meßzeiten wurden jedoch erst mit der Einführung des Puls-Fourier-Experimentes erhalten, das an die Stelle der sequentiellen Registrierung die Simultananregung setzte [1]. Damit war der Weg frei, die Messung des Kohlenstoffs zu einer Routinemethode zu entwickeln.

Ein besonderes Anwendungsgebiet der NMR-Spektroskopie betrifft die Strukturaufklärung von Polymeren. Dabei geht es nicht nur um die bloße Identifizierung oder Ermittlung der Zusammensetzung, sondern auch um Fragen der Mikrostruktur. Die  $^1\text{H}$ -NMR-Spektroskopie hat auf diesem Gebiet zu beachtlichen Ergebnissen geführt. Wesentlich Nachteile sind jedoch die relativ geringen chemischen Verschiebungen und die breiten Resonanzlinien, was in der Regel zu starken Überlagerungen führt. In diesen Fällen kann mit Erfolg die  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektroskopie eingesetzt werden. Beim Polyethylen (PE-HD, PE-LD) beispielsweise lassen sich detaillierte Aus-

sagen über die Art und Konzentration von Verzweigungen treffen [2, 3]. Das gleiche gilt für die Bestimmung der Stereoregularität oder Taktizität von Vinylpolymeren. Diese Messung ist z. B. für Polypropylen (PP) von Wichtigkeit, das als hoch isotaktische Formmasse mit hohem Kristallinitätsgrad hergestellt wird [4]. Bei Dien-Polymeren wie Polybutadien, Polyisopren oder Polychloropren unterscheidet die  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektroskopie zwischen verschiedenen Verknüpfungsarten der Monomerbausteine sowie zwischen der cis- und der trans-Form [5]. Bei Copolymeren schließlich spielt die Verteilung der Struktureinheiten längs der Kette eine entscheidende Rolle. Bei blockartig aufgebauten Copolymeren ergeben sich andere Eigenschaften als bei statistischer Verteilung. Auch hier hat sich die  $^{13}\text{C}$ -NMR-Spektroskopie als vorteilhaft erwiesen, als Beispiele seien Ethylen-Propylen-Terpolymer (EPDM) und Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) genannt [6, 7].

## Festkörper-NMR-Spektroskopie

Die Messung chemischer Verschiebungen (Hochauflösung) war lange Zeit auf die flüssige Phase beschränkt. Im Festkörper sorgen beispielsweise interne Magnetfelder für eine starke Verbreiterung der Resonanzlinien, so daß sie zu einer breiten Hüllkurve verschmelzen. Um auch von festen Stoffen hochaufgelöste Spektren zu erhalten, sind besondere experimentelle Anforderungen zu erfüllen [8, 9, 10, 11]. Typisch für derartige Messungen sind

- eine Rotation der Probe ( $\geq 3$  kHz), wobei die Rotationsachse gegen die Magnetfeldrichtung um  $54^\circ 44'$  gekippt ist (MAS: Magic Angle Spinning)
- ein Entkopplungssender mit hoher Leistung, im Pulsbetrieb arbeitend (GHPD: Gated High Power Decoupling), zur Ausmittlung der internen, lokalen Magnetfelder
- die Anwendung eines speziellen Puls-Experimentes, wodurch Wasserstoff- und Kohlenstoff-Atomkerne in „thermischen Kontakt“ gebracht werden (CP: Cross Polarization).

Durch MAS und GHPD werden die für die breiten NMR-Resonanzen im Festkörper verantwortlichen Effekte so weit unterdrückt, daß hochaufgelöste Signale erscheinen. In manchen Fällen stehen die so erhaltenen Spektren den Lösungsspektren kaum nach. Durch Anwendung der CP-Pulsfolge kann die Empfindlichkeit (Signal/Rausch-Verhältnis) des NMR-Experimentes gesteigert werden.

Bei Kunststoffen werden die linienverbreiternden Effekte jedoch nur zum Teil ausgemittelt, so daß Spektren mit breiten Resonanzlinien resultieren. Für eine Untersuchung der Mikrostruktur kommt die NMR-Festkörpermethode deshalb bei Kunststoffen nicht in Betracht. Einsatzgebiete sind z. B. die Bestimmung von unlöslichen Polymeren und Copolymeren sowie die Untersuchung von Festkörperreaktionen wie Vernetzung und Vulkanisation [12]. Bei Stoffen wie Elastomeren mit hoher Molekularbewegung bei Raumtemperatur ( $T_g \ll T_{RT}$ ) bringt die CP-Pulsfolge keinen Vorteil. In diesem Fall ist es günstiger, ein normales  $^{13}\text{C}$ -NMR-Experiment (MAS-GHPD) durchzuführen. Die Molekularbewegung ist auch der Grund dafür, daß bei vielen Elastomeren Spektren mit relativ schmalen Linien erhalten werden. Die Qualität der Spektren kann erheblich verbessert werden, wenn bei erhöhter Temperatur gemessen wird – eine Möglichkeit, die erst seit kurzem zur Verfügung steht [13]. Die Ergebnisse werden deshalb im folgenden ausführlich behandelt.



## Festkörper-NMR-Spektroskopie an Elastomeren

SBR-Vulkanisate liefern schon bei Normaltemperatur brauchbare Festkörper-NMR-Spektren (Abb. 1). Die Auflösung ist jedoch deutlich schlechter als die der Lösungsspektren von Rohkautschuken. Durch Erhöhung der Meßtemperatur auf 90 °C läßt sich die Auflösung so erheblich steigern, daß die Qualität des entsprechenden Rohkautschuk-Spektrums in Lösung nahezu erreicht wird. Details der Ketten-Mikrostruktur werden jetzt deutlich sichtbar. Die Signale lassen sich wie beim Lösungsspektrum auf der Basis von Diaden-Sequenzen der Styrol-Struktureinheit und der verschiedenen Butadien-Einheiten (cis-1,4-, trans-1,4- und 1,2-Butadien) zuordnen [7].

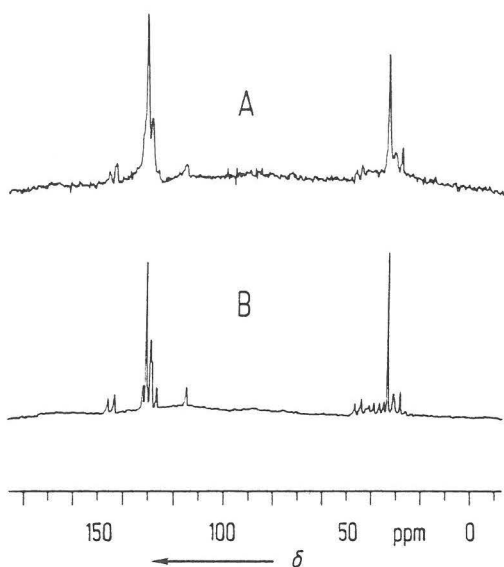


Abb. 1  
Festkörper-NMR-Spektren von SBR  
A) bei Normaltemperatur  
B) bei 90 °C

Bei Fluorkautschuk (FPM) und Nitrilkautschuk (NBR) sind die Heteroelemente Fluor und Stickstoff für die schlechte Auflösung bei Normaltemperatur verantwortlich. Auch hier führt die Temperaturerhöhung dazu, daß die zusätzlichen Dipol- und Quadrupoleffekte weitgehend ausgemittelt werden. Das Ergebnis sind Spektren mit relativ schmalen Resonanzlinien. Ein Vergleich, repräsentativ für NBR 18 durchgeführt, zeigt, daß sich Vulkanisat- und Lösungsspektrum ebenfalls nur wenig unterscheiden (Abb. 2). Aus dem typischen Spektrenmuster kann auf die Zusammensetzung des Copolymeren geschlossen werden [14].

Wie bereits erwähnt, spiegeln die <sup>13</sup>C-NMR-Spektren von EPDM-Kautschuken sehr detailliert die Sequenzverteilung der Ethylen- und Propylen-Struktureinheiten wider. An Polymerlösungen wurde gezeigt, daß das Spektrum ebenfalls Auskunft darüber gibt, welches Dien vorliegt [15]. Technisch eingesetzt werden 2-Ethyliden-5-norbornen, Dicyclopentadien und 1,4-Hexadien in relativ geringer Konzentration. Aus Abb. 3 geht hervor, daß die Empfindlichkeit des Festkörper-NMR-Experiments bei erhöhter Temperatur groß genug ist, um auch bei Vulkanisaten diesen Nachweis zu führen.

Die Möglichkeiten bei der Bestimmung von Vulkanisatgemischen (Blends) werden ebenfalls verbessert, wenn bei höherer Temperatur gemessen wird (Abb. 4). Die Nachweisgrenze wird gesenkt, die Sicherheit erhöht. Im allgemeinen sind 10 % eines Kautschuks im Gemisch noch zu erkennen. In diesem Zusam-

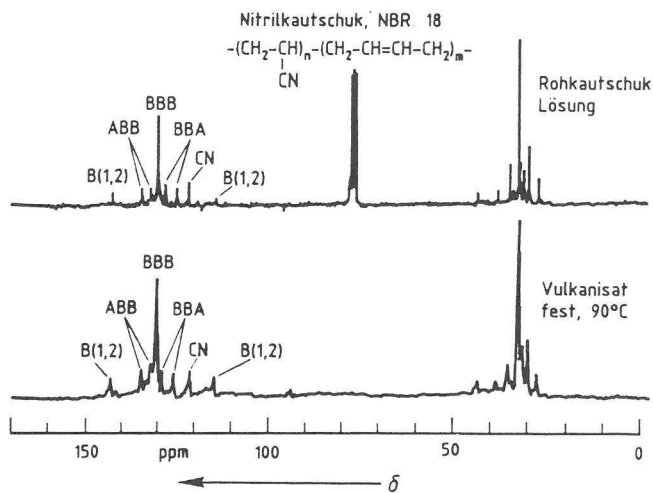


Abb. 2  
Lösungs- und Festkörper-NMR-Spektrum von NBR 18

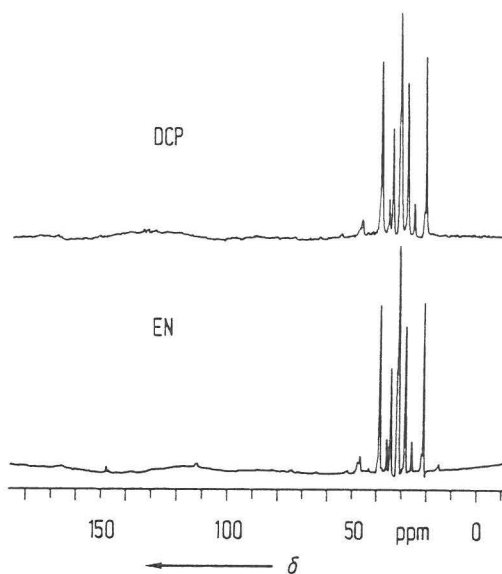


Abb. 3  
Festkörper-NMR-Spektren von EPDM  
DCP: EPDM mit Dicyclopentadien, Konzentration 7 %  
(Dien-Signale bei 132 ppm und 133 ppm)  
EN: EPDM mit Ethylidennorbornen, Konzentration 11 %  
(Dien-Signale bei 112 ppm und 147 ppm)

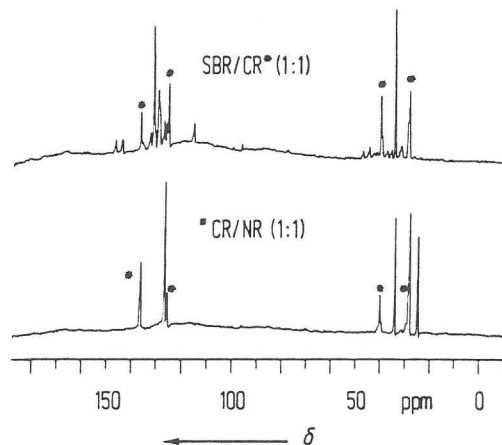


Abb. 4  
Festkörper-NMR-Spektren von Blends aus Chloropren-Kautschuk (CR) mit Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) oder Naturkautschuk (NR)  
\*: Kennzeichnung der CR-Resonanzen (Überlagerung von CR- und NR-Signalen bei 28 ppm und 137 ppm)

menhang muß besonders betont werden, daß die Elastomerproben bei der Messung unzersetzt vorliegen. Die Methode ist deshalb frei von Nachteilen, die sich bei einem pyrolytischen Aufschluß ergäben. Aus diesem Grunde führt beispielsweise das gebräuchlichste Verfahren, die infrarotspektroskopische Identifizierung, häufig zu unbefriedigenden Ergebnissen [16].

Thermoplastische Elastomere vereinigen elastische und thermoplastische Eigenschaften. Sie enthalten weiche, flexible Anteile und harte, relativ unbewegliche Segmente, die in reversibler Weise chemisch oder physikalisch vernetzt sind. Thermoplastische Elastomere stellen für die hochauflösende Festkörper-NMR-Spektroskopie ein interessantes Arbeitsfeld dar. Je nach Meßparametern können die weichen oder die harten Bestandteile stärker betont werden. CP-Messungen spielen dabei eine wichtige Rolle (Abb. 5). Das Beispiel gehört in die Klasse mit olefinischen Ausgangsstoffen; es handelt sich um ein Gemisch aus Polypropylen und EPDM. Durch unterschiedliche Anregung – mit und ohne CP – lassen sich die Bestandteile spektroskopisch isolieren.

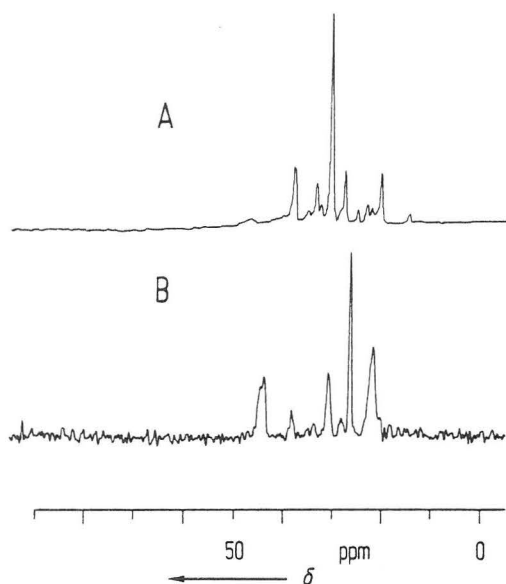


Abb. 5  
Festkörper-NMR-Spektren eines thermoplastischen Elastomers:  
PP/EPDM

A) normale Anregung (ohne CP) bei 90°C → EPDM  
B) CP-Spektrum bei Normaltemperatur → PP  
(Resonanzen bei 22 ppm, 27 ppm und 44 ppm)

### Zusammenfassung

Für die Untersuchung der chemischen Struktur organischer Stoffe sind die NMR-Spektren des Kohlenstoffs von großer Bedeutung. Von den stabilen Kohlenstoffisotopen ist jedoch nur das Isotop  $^{13}\text{C}$  im NMR-Experiment beobachtbar. Das Empfindlichkeitsproblem wird befriedigend mit Fouriertechnik und Spektrenakkumulation gelöst. Die NMR-Spektroskopie war lange Zeit auf den flüssigen Aggregatzustand beschränkt. Um auch von festen Stoffen hochaufgelöste Spektren zu erhalten, sind besondere experimentelle Voraussetzungen zu erfüllen, beispielsweise die „magische Rotation“ der Probe. Bei Kunststoffen läßt die Auflösung der Festkörper-Spektren zu wünschen übrig, so daß – anders als bei Lösungen – Strukturdetails der Polymerkette nicht untersucht werden können. Bei Stoffen wie Elastomeren mit hoher Molekularbewegung je-

doch werden Spektren mit relativ schmalen Resonanzlinien erhalten. Die Auflösung kann durch Erhöhung der Meßtemperatur so weit verbessert werden, daß die Qualität von Lösungsspektren nahezu erreicht wird. Da die Proben bei der Messung unzersetzt vorliegen, ist die Festkörper-NMR-Spektroskopie gegenüber Verfahren, die wie die Infrarotspektroskopie einen Aufschluß erfordern, bei der Strukturuntersuchung oder Identifizierung von Elastomeren im Vorteil.

### Literatur

- [1 a] Lowe, I. J. u. R. E. Norberg:  
Phys. Rev. 107 (1957) S. 46
- [1 b] Ernst, R. R. u. W. E. Anderson:  
Rev. Sci. Instr. 37 (1966) S. 93
- [2] Spevacek, J.:  
Polymer 19 (1978) S. 1149
- [3] Usami, T. u. S. Takayama:  
Macromolecules 17 (1984) S. 1756
- [4] Bothe, L. u. W. Dietz:  
Kunststoffe 74 (1984) S. 225
- [5] Coleman, M. M., D. L. Tabb u. E. G. Brame:  
Rubber Chem. Technol. 50 (1977) S. 49
- [6] Carman, C. J. u. K. C. Baranwal:  
Rubber Chem. Technol. 48 (1975) S. 705
- [7] Katritzky, A. R. u. D. E. Weiss:  
J. Chem. Soc. Perkin II (1975) S. 21
- [8] Andrew, E. R., A. Bradbury u. R. G. Eades:  
Nature 182 (1958) S. 1659
- [9] Bloch, F.:  
Phys. Rev. 111 (1958) S. 841
- [10] Hartmann, S. R. u. E. L. Hahn:  
Phys. Rev. 128 (1962) S. 2042
- [11] Pines, A., M. G. Gibby u. J. S. Waugh:  
J. Chem. Phys. 59 (1973) S. 569
- [12] Havens, J. R. u. J. L. Koenig:  
Applied Spectroscopy 37 (1983) S. 226
- [13] Groß, D. u. J. Kelm:  
Kautschuk + Gummi, Kunststoffe 40 (1987) S. 13
- [14] Katritzky, A. R. u. D. E. Weiss:  
J. Chem. Soc. Perkin II (1974) S. 1542
- [15] v. d. Velden, G.:  
Macromolecules 16 (1983) S. 85
- [16] Groß, D.:  
Kautschuk + Gummi, Kunststoffe 27 (1974) S. 225

# Das Kalibrieren in der BAM zur Absicherung ihrer Meß- und Prüfergebnisse — Neuester Stand der Möglichkeiten und Handhabung

Von **ORR Dipl.-Ing. Harald Schneider**, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

DK 620.1.05.089.6

Amts- und Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) 17 (1987) Nr. 4 S. 671/679

Manuskript-Eingang 10. August 1987

## Inhaltsangabe

Zunächst werden einige grundlegende Begriffe des Messens und Kalibrierens definiert und erläutert. Der neueste Stand der Realisierung und Definition der Basiseinheiten wird vorgestellt, ebenso Änderungen des Gesetzes über Einheiten im Meßwesen.

Die Kalibriermöglichkeiten innerhalb der BAM bei zentraler und dezentraler Verfahrensweise werden geschildert, ebenso die Möglichkeit der Inanspruchnahme diesbezüglicher Institutionen außerhalb der BAM, wie z. B. des Deutschen Kalibrierdienstes.

Weitere Themen des Artikels sind die Zusammenarbeit zwischen der BAM und den Materialprüfanstalten der Länder im Rahmen des VMPA, Maßnahmen der Gerätehersteller zur rationellen Kalibrierung und rechnergestütztes Kalibrieren mit automatisierter Zeugniserstellung in der Fachgruppe 6.1. Der Artikel schließt mit einem Ausblick auf die zukünftige Entwicklung.

*Kalibrierung — Normal — Unsicherheit — Einheiten — Spezifikation — Eichen — Deutscher Kalibrierdienst — Kalibrieraufkleber — Prüfungszeugnis*

## Summary

First of all some basic terms used in measuring techniques and calibration will be defined and explained. The latest state of the realization and definition of basic units will be presented as well as alterations in the law on units in measuring techniques.

The calibration services offered by the BAM for central and decentralized methods will be described as well as the consultation facilities provided by other institutions (apart from the BAM), e. g., the Deutscher Kalibrierdienst (German Calibration Service).

Further subjects to be discussed in the article are the cooperation between the BAM and the Materials Testing Institutes of the Länder organized in the Verband der Materialprüfungsämter e. V. (VMPA) (Association of the Materials Testing Authorities), measures of the manufacturers of calibration equipment aiming at a more efficient calibration, and computer-aided calibration with automated certificate issue in Sub-Department 6.1. The article concludes with prospects for future developments.

*calibration — standard device — measuring uncertainty — units — specification — standardization — Deutscher Kalibrierdienst (German Calibration Service) — calibration sticker — test certificate*

*Herrn Prof. Dr. rer. nat. G. W. Becker  
zu seinem 60. Geburtstag gewidmet*

In der Materialprüfung stützen sich die Erkenntnisse zum überwiegenden Teil auf Messungen ab, es gibt nur wenige Dinge, die rein theoretisch betrachtet werden können. Die unmittelbare und zwingende Voraussetzung aller Meßtechnik ist die vorangehende und auch die Messung begleitende Kalibrierung der Meßgeräte. Gelegentlich ist auch heute noch die Einstellung anzutreffen, daß regelmäßige Kalibrierung der Meßgeräte nicht notwendig sei.

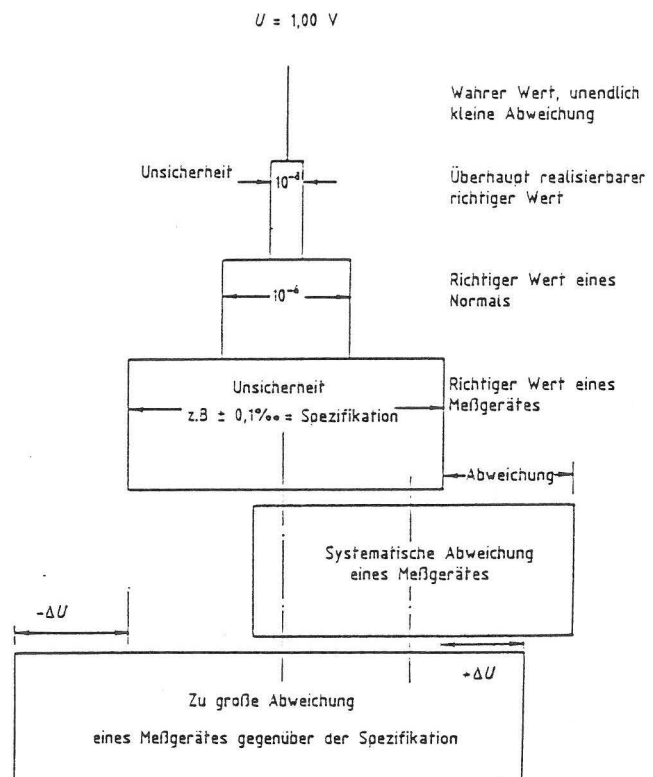
Ich hoffe, daß der vorliegende Artikel die Überzeugung vermitteln kann, welche zentrale Bedeutung der Kalibrierung zukommt.

## 1. Allgemeines

Über das Thema Kalibrierung wurden in der BAM zwei Kolloquien abgehalten, am 04.12.1979 und am 15.10.1986. Kurzfassungen darüber erschienen in der BAM-Information [1] [2].

Die in diesem Abschnitt genannten Definitionen stammen teilweise aus DIN 1319, Teil 1, Ausgabe Juni 1985. Die Begriffe bezüglich des Wertes einer Meßgröße und ihrer Abweichungen werden anhand der *Abb. 1* erläutert:

Der Wert einer Größe wird durch das Produkt aus Zahlenwert und Einheit ausgedrückt.



*Abb. 1  
Wert und Abweichungen einer Meßgröße*

Der wahre Wert einer zu messenden Größe ist ein gedanklicher Begriff. Er ist nicht exakt bestimmbar, sondern nur durch oft wiederholtes Messen statistisch approximierbar.

Der richtige Wert einer Meßgröße liegt in einem Umgebungsbereich des wahren Wertes, dessen kleinste Breite durch die Meßbarkeit der Größe nach dem Stand der Technik in den nationalen Instituten gegeben ist.

Die Anzeige eines Meßgerätes weicht im allgemeinen vom richtigen Wert um einen Betrag ab. Diese Meßabweichung wird mit Hilfe eines Vorganges festgestellt, der die Bezeichnung „Kalibrieren“ trägt.

Kalibrieren ist die Festlegung des Zusammenhanges zwischen einer Anzeige und dem am Eingang des Meßgerätes anliegenden richtigen oder als richtig geltenden Wert der Meßgröße. Bei Maßverkörperungen ist es die Abweichung der meßbaren Größen von der Aufschrift.

Das Kalibrieren eines Meßgerätes durch Vergleich mit Normalgeräten höherer Genauigkeit oder mit entsprechend festgelegten physikalischen Fixpunkten wird auch „Anschließen“ genannt.

Die Meßabweichung ist die Differenz zwischen dem Meßwert und einem Bezugswert. In der Meßtechnik ist der Bezugswert der wahre Wert der Meßgröße (reine Theorie) oder der darstellbare richtige Wert der Meßgröße.

Die Meßabweichung kann zufällige und systematische Abweichungen enthalten. Die bestimmbar systematische Meßabweichung, die man durch Berechnung oder Experiment erhält, ist durch eine entsprechende Korrektur zu berichtigen. Die Korrektur ist dabei gleich der Absolutabweichung des unkorrigierten Meßergebnisses mit umgekehrtem Vorzeichen.

Früher wurde die Meßabweichung mit „Fehler“ bezeichnet. Der Begriff Fehler kann irreführend sein. Man spricht z. B. von einem Fehler, wenn eine Apparatur überhaupt nicht funktioniert.

Der Bereich, in welchem bei konstanter Eingangsspannung die Meßwerte eines Gerätes liegen, wird mit Unsicherheit bezeichnet. Engl. uncertainty, Unbestimmtheit. Der Begriff Unsicherheit erzeugt die Vorstellung eines Toleranzfeldes. Er ist in die 1985 neu überarbeitete DIN 1319 aufgenommen worden und seit langem in der PTB üblich.

Da haben wir zunächst die zulässige Unsicherheit. Die Anzeige eines Gerätes hat eine Unsicherheit von  $\pm 1\%$ . Das bedeutet z. B. für ein Voltmeter, daß die Anzeige für 10 V zwischen 9,9 V und 10,1 V liegen kann.

Liegt die Unsicherheit innerhalb der Spezifikation, so hat das Gerät in dieser Hinsicht eine ordnungsgemäße Funktion.

Sind die durch Kalibrierung festgestellten Abweichungen nach der einen oder anderen Seite oder sogar insgesamt zu groß gegenüber der Spezifikation, so gibt es die Möglichkeiten

- Justierung, evtl. durch den Hersteller,
- Ersatz von Bauteilen und/oder Baugruppen,
- weiterer Einsatz nur noch für entsprechend ungenauere Messungen
- oder Ersatz des Gerätes durch ein neues.

Noch etwas zum Sprachgebrauch:

Leider liest man, selbst in Veröffentlichungen, immer noch: Das Gerät besitzt eine Genauigkeit von 1%. Wörtlich genommen,

hat das Gerät dann einen Fehler von 99%. Gemeint war natürlich ein Fehler von 1%.

Zum Begriff Justieren ist zu sagen, daß das Kalibrieren das Justieren nicht beinhaltet.

Am Anfang wurde gesagt, daß der Wert einer Meßgröße aus dem Produkt Zahlenwert und Einheit besteht. Die Wahl der Einheit ist im „Gesetz über Einheiten im Meßwesen“ vom 2. Juli 1969 vorgeschrieben, das für den geschäftlichen und amtlichen Verkehr gilt.

Hier soll nur auf inzwischen vollzogene Änderungen der Definitionen bei den Basiseinheiten und auf Änderungen des Einheitengesetzes selbst eingegangen werden (s. Abb. 2).

### Die sieben Basis-Einheiten des SI-Systems

Bedeutung	Name	Definition	rel. Unsicherheit bei der Realisierung
Länge	Meter	1 m ist die Strecke, die das Licht im Vakuum während $\frac{1}{299792458}$ s durchläuft.	$10^{-9}$
Zeit	Sekunde	1 s ist das 9192631770fache der Periodendauer der Strahlung, die beim Übergang von Cäsium-133-Atomen zwischen den beiden Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustands entsteht.	$10^{-14}$
Masse	Kilogramm	1 kg ist die Masse des Internationalen Kilogramm-Prototyps.	$10^{-8}$
Stromstärke	Ampere	1 A ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen Stromes, der – durch zwei im Vakuum parallel im Abstand von 1 m angeordnete geradlinige und unendlich lange Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt fließend – zwischen diesen Leitern eine elektromagnetische Kraft von $2 \cdot 10^{-7}$ N pro 1 m Leiterlänge hervorrufen würde.	$6 \cdot 10^{-6}$
Temperatur	Kelvin	1 K ist der 273,16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes von Wasser.	$10^{-6}$
Stoffmenge	mol	1 mol ist die Menge eines Stoffes, die aus ebensoviel Atomen beziehungsweise Molekülen besteht wie 0,012 kg Kohlenstoff-12 ( $^{12}\text{C}$ ). Bei Verwendung dieser Einheit muß angegeben werden, auf welche Einzelteilchen (Atome, Moleküle oder auch Ionen, Elektronen etc.) man sich bezieht.	$10^{-6}$
Lichtstärke	Candela	1 cd ist die Lichtstärke einer Strahlungsquelle, welche monochromatische Strahlung der Frequenz 540 THz in eine bestimmte Richtung aussendet, in der die Strahlstärke $\frac{1}{4\pi r^2} \text{ W sr}^{-1}$ beträgt.	$5 \cdot 10^{-3}$

Abb. 2  
Basiseinheiten

Neu hinzugekommen zu den ursprünglichen sechs Basiseinheiten ist die Stoffmenge, das mol.

Im Herbst 1985 wurde eine Neudefinition der Einheit Meter beschlossen. Zunächst war das Meter als Bruchteil des Erdumfanges definiert worden, dann als Vielfaches der Wellenlänge von Krypton. Jetzt wird die Längeneinheit als Laufzeit des Lichtes im Vakuum definiert, nachdem man für die Lichtgeschwindigkeit einen bestimmten endlichen Wert festgelegt hatte.

Bezüglich der Einheit Sekunde gab es bisher drei Definitionen: Bis 1956 war sie der 86400. Teil eines mittleren Sonnentages. Zwischen 1956 und 1967 wurde die sog. Ephemeridensekunde als Bruchteil des tropischen Jahres zugrunde gelegt, wobei das Jahr 1900 als Bezugszeitraum gewählt worden war. Diese Festlegung enthielt jedoch Ungereimtheiten und stieß vor allem bei der Realisierung auf prinzipielle Schwierigkeiten.

So kam es bereits 1967 zu der auch heute noch gültigen Definition der Sekunde als das 9192631770fache der Periodendauer der Strahlung des Cäsium-133-Atoms beim Übergang zwischen zwei bestimmten Hyperfeinstruktur-niveaus des Grundzustandes.

Zur neuesten Form des Einheitengesetzes ist zu bemerken: Mit einem Gesetz vom 21. Februar 1983 ist das Gesetz über die Einheiten im Meßwesen geändert worden. Die neue Gesetzesform soll helfen, künftige Anpassungen zu erleichtern, da weitere Änderungen der Definitionen der Basiseinheiten zu erwarten sind. So wurden die Festlegungen über Einheiten aus dem Gesetz herausgenommen. Sie wurden in der Ausführungsverordnung festgelegt. Die Änderungen des Gesetzes traten am 1. Januar 1986 in Kraft.

## 2. Zur Realisierung der Einheiten und ihrer Weitergabe

In der Bundesrepublik Deutschland liegt die Aufgabe der Realisierung der Einheiten bei der PTB in Braunschweig. Dort befinden sich für die verschiedenen Meßgrößen die nationalen Normale. In anderen Ländern sind es die Institutionen NBS (National Bureau of Standards) in den USA, NPL (National Physical Laboratory) in England oder das LNE (Laboratoire National d'Essais) in Frankreich.

Die Weitergabe der Einheiten, z. B. seitens der PTB, geschieht mit Hilfe von Sekundärnormalen, um bleibende Rückwirkungen, die bei jedem Meßvorgang entstehen können, von den empfindlichen primären Normalen fernzuhalten.

Mit diesen Sekundärnormalen werden die sogenannten „Transferrnormale“, z. B. der BAM, kalibriert, die dann ihrerseits als Hauptnormale in der BAM dienen.

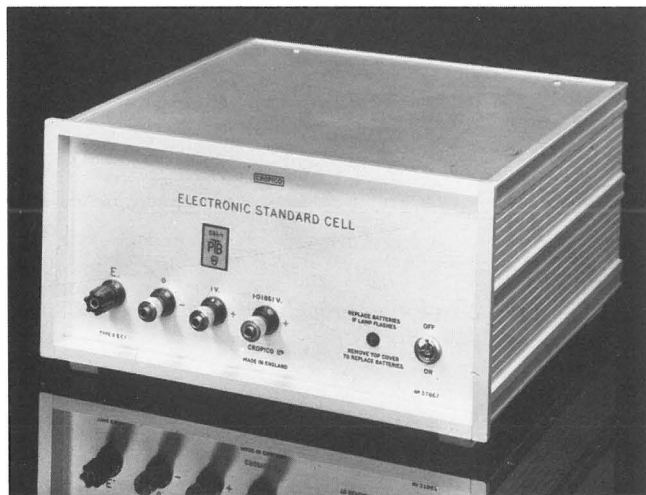


Abb. 3  
Gleichspannungsnormale

Die Abb. 3 zeigt das elektronische Gleichspannungsnormalelement der BAM, ein Gerät der englischen Firma Cropico, das die Normalspannungen 1,00000 V und 1,01861 V abgibt. Letztere ist die Spannung, die dem bisher benutzten Weston-Normalelement entspricht.

In Abb. 4 ist ein Wechselspannungsnormalelement der Firma Fluke zur genauen Messung von Wechselspannungen zu sehen. Dabei wird der echte Effektivwert gemessen. Das geschieht so, daß die Wechselspannung mit einem Thermokreuz erfaßt wird.

Abb. 5 zeigt das Normal BN 100 der Firma Hottinger für die Größe Relative Widerstandsänderung  $\Delta R/R$  und die digitale Präzisionsreferenzbrücke DMP 39 derselben Firma.

Um unsererseits diese Hauptnormale zu schonen, werden unsere Betriebsnormale an diese Hauptnormale angeschlossen. Die Betriebsnormale sind dann die Kalibriergeräte, mit denen die Geräte aus den verschiedenen Laboratorien kalibriert werden. Man nennt eine solche Kette von Normalen zur Weitergabe einer Einheit eine Normalienhierarchie.



Abb. 4  
Wechselspannungsnormale

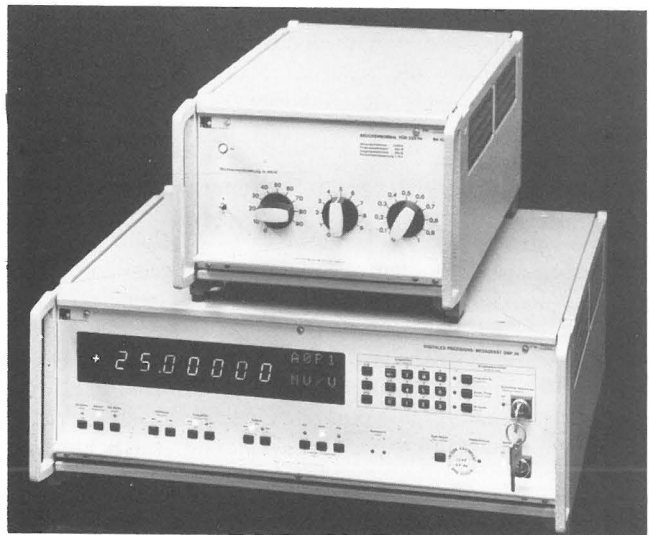


Abb. 5  
Normal und Präzisionsmeßgerät für die Meßgröße Relative Widerstandsänderung

## 3. Zentrale bzw. dezentrale Kalibrierung; Kalibrierung außer Haus

Für die Kalibrierung vieler Geräte ein und derselben Gerätefamilie empfiehlt sich für große Institutionen eine zentrale Kalibrierstelle. In der BAM wird diese wahrgenommen durch die Fachgruppe 6.1, Meßwesen und Grundlagen der Versuchstechnik. Die Normale und Betriebsnormale brauchen dann nur einmal, eben für die Zentrale, angeschafft zu werden. Derartige Gerätefamilien sind z. B. Registriergeräte, Verstärker, Digitalmultimeter, Universalzähler, Kraftmeßgeräte, Druckmeßgeräte, Temperaturmeßgeräte etc.

Befinden sich in einer Fachgruppe besonders viele Geräte ein und derselben Gerätefamilie, so hat es sich als hilfreich erwiesen, daß sich die Fachgruppe selbst ein Betriebsnormal für diese Geräte zulegt. Das ist z. B. in der Fachgruppe 2.2 (Tragfähigkeit von Baukonstruktionen) der Fall, welche eine in BAM-6.1 entwickelte Präzisionsreferenzbrücke für die Meßgröße  $\Delta R/R$  und auch Normale des Fabrikats Hottinger besitzt.  $\Delta R/R$  ist die relative Widerstandsänderung zur Kalibrierung von Dehnungsmeßgeräten.

Neben diesen üblichen Laborgeräten gibt es Meß- und Prüfgeräte für spezielle Meßgrößen. Als Beispiele seien genannt: Farbmeßgeräte, Reflektometerwert - bzw. Glanzmeßgeräte,

akustische, Rauheits- und Kernstrahlungsmeßgeräte und solche für magnetische Größen.

Diese sehr speziellen und oft nur in einem Exemplar in der BAM vorhandenen Geräte müssen vom Betreiber zwecks Kalibrierung zur PTB, zum Eichamt oder zu einer DKD-Stelle gebracht werden. Hier wäre die zentrale Vorhaltung spezieller Kalibriernormale zu teuer.

Zur Kalibrierung von Meßketten ist zu sagen: Bei der klassischen Meßkette, bestehend aus Aufnehmer, Anpasser und Ausgeber, ist der Gesamtübertragungsfaktor gleich dem Produkt der Einzelübertragungsfaktoren. Dementsprechend ist die relative Meßunsicherheit der Meßkette bei Gesamtkalibrierung kleiner als bei Einzelkalibrierung, bei der sie gleich der Summe der relativen Meßunsicherheiten ist. Trotzdem werden in der BAM überwiegend die Einzelgeräte kalibriert. Sie sind dann frei kombinierbar, das im Einzelfall tatsächlich verstimmt Einzelgerät kann justiert werden, die Meßkette insgesamt kann besser in ihrer Zuverlässigkeit beurteilt werden. Einzelkalibrierung kann vor allem dann vorteilhaft sein, wenn für die Einzelgeräte die relativen Meßunsicherheiten, der Kalibrieraufwand und die Kalibriergültigkeitsdauer sehr unterschiedlich sind.

#### 4. Maßnahmen der Meßgerätehersteller zur rationellen Kalibrierung

Was haben die Hersteller von Meßgeräten getan, um die Funktion der Geräte sicherer zu machen, die Genauigkeit zu erhöhen und die Kalibrierfreundlichkeit zu verbessern?

Stufenweise Fortschritte in dieser Richtung waren technologisch die gedruckte Schaltung, die Transistorisierung, die integrierte Schaltung und konzeptionell die Digitalisierung und die mannigfaltigen elektrischen und mechanischen Vorkehrungen, die aus den Erfahrungen der Luft- und Raumfahrttechnik Eingang in die Meßgeräteentwicklung gefunden haben. Hier sind als jüngste Verbesserungen zu nennen:

- Geräteinterne Referenzelemente, wie Zenerdioden,
- Digitale Nullpunktkorrektur, die sog. „Offset-Taste“,
- Digitale Kalibrierung, Ablegen der Korrekturwerte in einem Speicher
- Rechnergestütztes Messen und Kalibrieren über Bussysteme. Das Meßgerät nimmt die Funktion des Listeners und/oder Talkers an. Man spricht von Computer Aided Calibration, CAC (s. Abb. 6).

#### Rechnergestütztes Kalibrieren

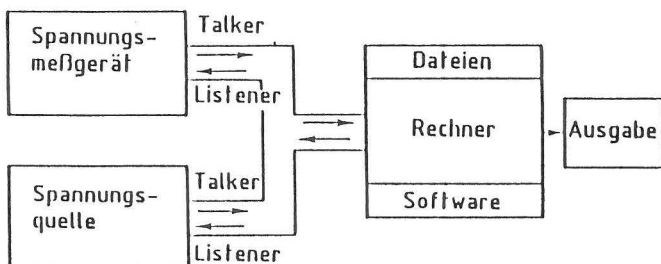


Abb. 6  
Prinzip des rechnergestützten Kalibrierens

Grundlage für die Beurteilung von Meßgeräten sind, soweit keine allgemeinen Richtlinien existieren, die vom Hersteller in der Bedienungsanleitung angegebenen Spezifikationen. Sie

gelten für festgelegte Zeiträume, es gibt den 24-Std.-Zeitraum, die 30-Tage-Frist, die 90-Tage-Frist, 6-Monate-Frist und die Jahresfrist.

Um das Langzeitverhalten zu testen und Aussagen über die Gültigkeitsdauer einer Kalibrierung machen zu können, sind Typprüfungen erforderlich. Diese werden üblicherweise bisher nur vom Hersteller vorgenommen. Dabei wird auch das Verhalten gegenüber Netzspannungs-, Temperatur- sowie Feuchteänderungen untersucht. Diese Untersuchungen sind sicher kritisch zu sehen, jedenfalls sind sie nicht neutral.

#### 5. Kalibriermöglichkeiten außerhalb der BAM

Kalibrierung bei der **Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB)**

Die PTB sorgt in erster Linie für den Anschluß von sogenannten Transfergeräten an ihre nationalen Normale.

Über die Anschlußmessung stellt die PTB dann einen Prüfbericht als Zertifikat aus.

Abb. 7 zeigt einen solchen Bericht über das im Abschnitt 2 genannte Gleichspannungs-TransfERNormal der BAM. Auf Seite 2 ist zu sehen, daß die Messungen an zehn aufeinanderfolgenden Tagen vorgenommen wurden. Damit gewinnt man eine Aussage über die Stabilität des Spannungsnormals.

Das **Eichamt** nimmt grundsätzlich Kalibrierungen nur im Rahmen von Eichungen vor. Eichpflicht besteht nur bei gleichzeitiger Erfüllung der drei Bedingungen

1. Die Meßgröße muß im Eichgesetz erfaßt sein.
2. Das Meßgerät muß eichfähig sein.
3. Die Verwendung des Meßgerätes muß Eichpflicht bedingen.

### Physikalisch-Technische Bundesanstalt





Prüf-Bericht<sup>\*)</sup>

über die Messung der Ausgangs-Gleichspannungen  
einer transportablen Gleichspannungs-Referenzquelle  
in der Zeit vom 19.06.84 bis 02.07.1984

Antragsteller: Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)  
Berlin

PTB-Gesch.-Nr.: 2.13 - 14513/84

Amtliches Zeichen: 0864  

Am 18.06.84 wurde eine transportable Gleichspannungs-Referenzquelle (Electronic standard Cell), Hersteller: Croyco Ltd., Croydon England, Bauform ESC 1, Gerätenummer 37 867, zur Prüfung eingereicht. Das Gerät ist für internen Batteriebetrieb ausgelegt und liefert die Ausgangs-Gleichspannungen 1 V und 1,018 61 V. Die Ausgangsspannungen wurden jeweils nach einer Einschaltdauer von  $\geq 45$  min bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C ermittelt. Die in der Zahlentafel aufgeführten Meßwerte beziehen sich auf die Realisation der Spannungseinheit in der PTB und gelten mit einer Unsicherheit von  $\pm 1 \mu\text{V}$ .

- 2 -

<sup>\*)</sup> Der vorliegende Bericht enthält den Prüfbefund ohne Aussagen über die Einhaltung von Fehlergrenzen oder die Eignung für einen bestimmten Verwendungszweck.

- 2 -

Zahlentafel

Klemmen	- und + 1 V	- und + 1,01861 V
Datum	Ermittelte Ausgangs-Gleichspannungen in V	
19.6.84	1,000 001	1,018 612
20.	001	611
21.	001	611
22.	001	611
25.	001	611
26.	001	611
27.	001	611
28.	001	612
29.	000	611
2.7.	001	611

Das Gehäuse des Gerätes trägt das eingangs aufgeführte amtliche Zeichen.

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Abteilung 2

Braunschweig den 02.07.1984

Im Auftrag



(Ausbüttel)  
Techn. Regierungsamtsrat

Abb. 7

Prüfbericht der PTB

Eine weitere Möglichkeit der Kalibrierung bietet der DKD, der Deutsche Kalibrierdienst. Er wurde im August 1977 gegründet. Seine Aufgabe ist die Überwachung von Meßeinrichtungen, die bei der Herstellung technischer Erzeugnisse verwendet werden, sowie die Qualitätssicherung bei Erzeugnissen. Der DKD ist ein Zusammenschluß von Firmen und Institutionen, die auf der Grundlage vertraglicher Vereinbarungen mit der PTB Kalibrierstellen für Meßgeräte errichten. Die PTB ermöglicht diesen Prüfstellen den Anschluß an ihre Normale und überwacht die Voraussetzungen für einwandfreie Kalibrierung. Die technische Zusammenarbeit erfolgt in Fachausschüssen; Führungs- und Koordinierungsaufgaben liegen bei der PTB und einem Beirat.

Bisher haben 62 Kalibrierstellen ihre Zulassungen durch die PTB bekommen. In Berlin gibt es eine einzige Kalibrierstelle, und zwar für die Meßgröße Überdruck in Fluiden bei der Firma Borsig.

#### Die Zusammenarbeit im Verband der Materialprüfungsanstalten (VMPA) auf dem Gebiet der Kalibrierung

Zwischen den Anschlußmessungen an die PTB möchte man sicher sein, daß die Kalibriergeräte möglichst unverändert bleiben, bzw., man möchte die Änderungen der Eigenschaften nachweisen. Das kann man am besten im Rahmen von Vergleichsmessungen tun. Solche Vergleichsmessungen werden seit einiger Zeit zwischen der BAM und den Materialprüfungsanstalten der Länder der Bundesrepublik Deutschland vorgenommen.

Diese Zusammenarbeit wird im Rahmen eines besonderen VMPA-Arbeitskreises „Interne Kalibrierung“ praktiziert, der sich 1983 konstituierte. Seine Zielsetzungen sind:

- Gemeinsame Nutzung aufwendiger Kalibriereinrichtungen incl. PTB-Anschluß mit dem Ziel der Verminderung des Aufwandes.

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. H. Schneider  
Tel.: 030 - 81 04 6141  
6109

#### Kalibriermöglichkeiten

Meßgröße/Meß- bzw. Prüfgerät	Meßbereich	Meßbedingungen/ Geräteart	Meßunsicherheit	Bemerkungen
Gleichspannung	1 nV ... 1 V 1 V 1,018 V 10 V 1 V ... 10 V 10 V ... 1000 V		7 x 10 <sup>-5</sup> + 2 dig 1 x 10 <sup>-6</sup> 6 x 10 <sup>-6</sup> 3 x 10 <sup>-6</sup> 5 x 10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-4</sup>	6 1/2-stellig Transfer-Normal
Hochspannung	0 ... 12 kV		10 <sup>-3</sup>	Hochspannungsteiler
Gleichstrom	5 nA ... 100 mA 0,1 A ... 50 A		5 x 10 <sup>-4</sup> ... 1 x 10 <sup>-3</sup>	
Widerstand	0,1 mΩ ... 10 MΩ 10 mΩ ... 1 Ω 1 Ω ... 100 kΩ 100 kΩ ... 10 MΩ 10 MΩ ... 100 MΩ		3 x 10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-4</sup> 10 <sup>-5</sup> 5 x 10 <sup>-4</sup> 5 x 10 <sup>-3</sup>	
Rel. Widerstandsänderung ΔR/R	2x10 <sup>-6</sup> mV/V bis 250 mV/V	Digitales Präzisions-Meßgerät	10 <sup>-5</sup>	7-stellige Anzeige
Wechselspannung	0,2 ... 1 V ... 100 V 0,2 ... 1 V ... 100 V 0,2 ... 1 V ... 100 V 1 ... 100 V 0,2 ... 1 V	10 Hz ... 30 Hz 30 Hz ... 20 kHz 20 kHz ... 100 kHz 0,1 MHz ... 1,2 MHz	10 <sup>-3</sup> + 10 μV 10 <sup>-3</sup> + 3x10 <sup>-3</sup> v.E. 2 x 10 <sup>-4</sup> + 10 μV 2x10 <sup>-4</sup> +2x10 <sup>-5</sup> v.E. 5x10 <sup>-4</sup> + 20 μV 5x10 <sup>-4</sup> +5x10 <sup>-5</sup> v.E. 3x10 <sup>-3</sup> + 30 μV	
Wechselspannung	0,5 ... 1000 V	Thermischer AC/DC-Wandler	2 x 10 <sup>-3</sup> ... 1 x 10 <sup>-4</sup>	
HF-Spannung	0,5 V ... 50 V	1 MHz ... 50 MHz	3x10 <sup>-3</sup> +3x10 <sup>-4</sup> v.E.	
Wechselstrom	0,1 mA ... 20 A		10 <sup>-3</sup>	
Kapazität	0 ... 16 μF 16 μF ... 100 mF		2 x 10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-2</sup>	
Induktivität	0 ... 16 kH		2 x 10 <sup>-3</sup>	
Temperatur	RT ... 400 °C 0 ... 600(800) °C RT ... 1100 °C	Glasthermometer Mantelthermopaare Micro-Ni geeicht Thermopaar Pt-Rh-Pt	1 K 2 K	geeicht Prüfschein PTB
Zeitintervall	1 μs ... beliebig lange		10 <sup>-2</sup> ... 10 <sup>-7</sup>	
Frequenz	100 kHz 1 MHz ... 10 MHz 10 kHz ... 125 MHz 10 Hz ... 125 MHz 1 MHz ... 480 MHz		10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-7</sup> 10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-2</sup>	Vergleich mit Dreiwert-Meßgerät Meßsender

Bundesanstalt für Materialprüfung  
Fachgruppe 6.1: Messwesen und Grundlagen der Versuchstechnik  
Unter den Eichen 87  
1000 Berlin 45

BAM - B  
Blatt 2-3  
07/1986

Ansprechpartner: Dipl.-Ing. H. Schneider  
Tel.: 030 - 81 04 6141  
6109

#### Kalibriergeräte

Kalibriergerät	Herat./Typ	Meßgröße/ Meßbereich	Baujahr	Bemerkungen
Hochspannungs-Tastkopf	Fluke 80 K-40	Hochspannung/ 0 ... 80 kV	1983	Kal. DKD, 1984
Transconductanz-Verstärker	Fluke 5220 A	U/I-Wandlung/ 0 ... 20 A	1980	
Strom-Shunt 10 mA	Fluke/Y 5022	I/U-Wandlung/ 0 ... 20 A	1980	Kal. PTB, 1984
1 Stck. Digital-Systemmulti- meter	Fluke 8840	Gleichspannung/ 200 mV ... 1000 V; Wechselspannung/ 200 mV ... 1000 V Widerstand/ 200 Ω ... 20 MΩ Gleich- und Wechselstrom/ 2 A	1985	Kal. Fluke/NBS, 1985 IEC-Bus-Schnittstelle
Digitalmultimeter	Dana/5900	Gleichspannung/ 0,1 V ... 1000 V Wechselspannung/ 0,1 V ... 1000 V Widerstand/ 10 Ω ... 100 MΩ	1974	Auflösung 1 μV Auflösung 10 μV Auflösung 100 μΩ
Nanovoltmeter	Keithley 181	Gleichspannung/ 1 nV ... 1000 V	1985	IEC-Bus-Schnittstelle
Nullvoltmeter	Hewlett Packard Hp 419 A	Gleichspannung/ 23 μV ... 21000 V	1975	Schreiber Ausgang
6stell. DVM	Keithley/192 Pr	Gleichspannung/ 200 mV, Aufl. 1 μV	1981	
Normalwiderstände 15 Stück	Wolff/N 100	Gleichstrom- widerstand/ 0,1 mΩ 1 mΩ ... 1 kΩ 1 MΩ ... 2 TΩ	1967 und später	Kal. PTB, 1985
Hochohmwiderstände	BAM-Aufbau	Gleichstrom- widerstand/ 0,01 mΩ ... 1 MΩ	1984	PTB, 1985
Wheatstone- und Thomson-Meßbrücke	Wolff/KFTW 4	Gleichstrom- widerstand/ 0,01 mΩ ... 1 MΩ	1965	
Stromquelle, programmierbar	Keithley 224	Gleichstrom/ 5 nV ... 100 mA	1985	IEC-Bus-Schnittstelle
Gleichstromquelle	Hewlett Packard Hp 6289 B	Gleichstrom/ 0 ... 50 A	1976	Für Messungen nach Thomson
Digitales Präzisions-Meßgerät	Hottinger/DMP 39	Relative Widerstandsänderung ΔR/R / 2 x 10 <sup>-6</sup> mV/V bis 250 mV/V	1985	7-stellige Anzeige IEC-Bus-Schnittstelle V 24-Schnittstelle
Brückennormal	Hottinger/BN 100	ΔR/R / -100 mV/V bis + 100 mV/V	1985	Induktiver Teiler. Normal für DMP 39

Abb. 8

Kalibriermöglichkeiten und Kalibriergeräte in Mitgliedsanstalten des VMPA

- Vereinheitlichung der Vorgehensweise beim Kalibrieren einschließlich Vereinheitlichung der Kalibriergeräte und -hilfsmittel.
- Erfahrungsaustausch und gegenseitige Hilfe.

Um alle Mitarbeiter jedes VMPA-Instituts über die Kalibriermöglichkeiten des jeweils eigenen Instituts und der anderen Institute zu informieren, wurde eine 40seitige Broschüre zusammengestellt. Sie ist nur für den internen Gebrauch im Rahmen des VMPA gedacht. Die Broschüre wurde an alle Fachgruppen und Dienststellen der BAM verteilt.

Die erste Kategorie von Listen gibt die Kalibriermöglichkeiten der Institutionen mit Meßbereichen und Meßeinrichtungen an (s. Abb. 8).

Ein weiterer Listenansatz gibt Auskunft über die vorhandenen Kalibriergeräte mit ihren Eigenschaften.

## 6. Kalibriermöglichkeiten in der BAM

Seit Februar des Jahres 1986 existiert ein klimatisierter Kalibrierraum. Abb. 9 zeigt eine Teilansicht des Raumes. Der Raum 081/083 mit einer Nutzfläche von 25 m<sup>2</sup> liegt im Untergeschoß des Hauses 50. Die Klimaanlage, aus Schall-



Abb. 9  
Klimatisierter Kalibrierraum der BAM

schutz- und Platzgründen im Nebenraum untergebracht, sorgt für eine Temperatur von  $22^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ K}$  und eine Feuchte von etwa  $(45 \pm 3) \%$ . Durch die Klimaanlage ist auch der Staubanteil gering, da Filter in den Luftstrom eingebaut sind.

In den letzten Jahren wurde der Kalibriergerätepark der BAM erheblich erweitert. Das war im Rahmen eines Größtgeräteantrages möglich. Die Geräte wurden zu Meßplätzen für die einzelnen Meßgrößen zusammengestellt. Das Zusammenwirken der Geräte zur Erzeugung bzw. Bereitstellen und Messung der Größe Gleichspannung zum Zweck der Kalibrierung soll anhand der Abb. 10 beispielhaft erläutert werden.

Der Anschluß des Gleichspannungsnormals ESC 1 an die PTB bzw. der Anschluß des Betriebsnormals Fluke 335 D an das NBS beim Kauf des Gerätes ist durch die gepunkteten Verbindungslinien gekennzeichnet. In Abständen von einigen Monaten empfiehlt sich die Überprüfung des Betriebsnormals 335 D, was auf folgende Weise geschieht. Es wird z. B. der Spannungswert 100,00 V am 335 D eingestellt und diese Spannung mit dem sehr genauen Teiler 752 A um den Faktor 100 heruntergeteilt. Dieser Spannungswert von 1,000 V kann nun mit der Normalspannung von genau 1,000000 V des Normals ESC 1 verglichen werden, indem die beiden Spannungen über das Nullvoltmeter Hp 419 A gegeneinander geschaltet werden. Bei einer Empfindlichkeit von  $0,1 \mu\text{V/Skt.}$  am Nullvoltmeter kann das Betriebsnormal 335 D so justiert werden, daß die Differenzspannung Null wird. Dieselbe Prozedur wird für den Spannungswert 10 V beim Teilerverhältnis 1 : 10 und für 1 V ohne Teilung vorgenommen.

Auf die gleiche Art und Weise wird das justierbare Spannungsnormal 732 A mit dem ESC 1 verglichen.

Diese Vergleichsmessungen mit Justage, die im Kalibrierlabor von 6.1 vorgenommen werden, sind in Abb. 10 gestrichelt dargestellt.

Die durchgezogenen Wirkungspfeile verdeutlichen die Kalibrierung der Geräte aus den verschiedenen Laboratorien der BAM mit Hilfe der Betriebsnormale von 6.1, hier mit dem Betriebsnormal 335 D, welches Gleichspannungen bis zu 1100 V in Stufen zu 1  $\mu\text{V}$  liefert.

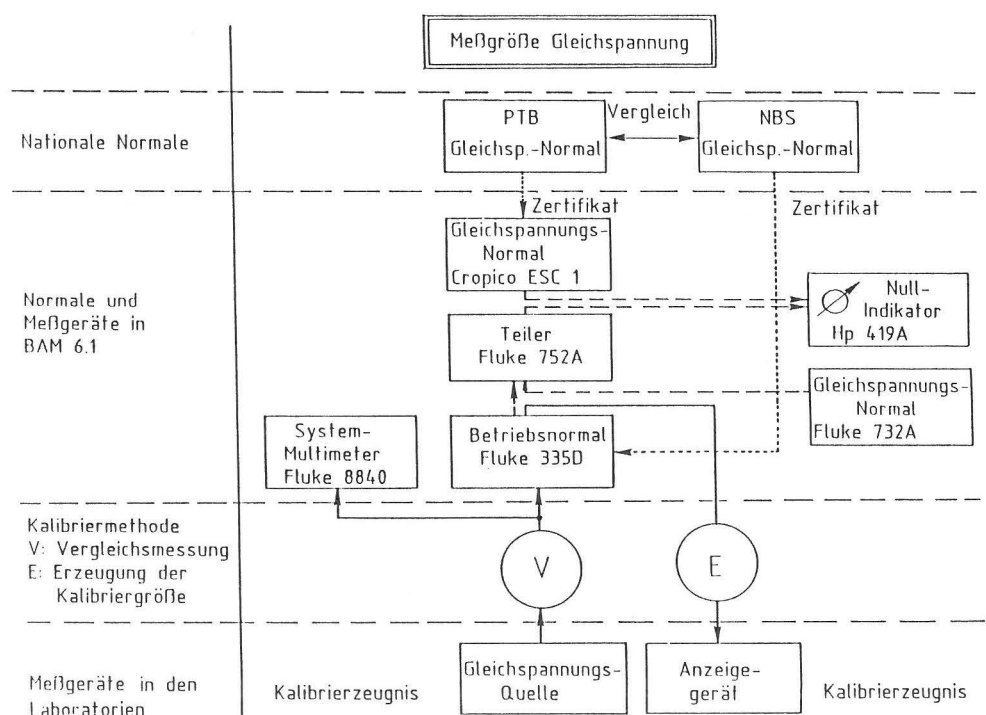


Abb. 10  
Erläuterung der Weitergabe einer Meßgröße am Beispiel der Gleichspannung



Für jede Meßgröße gibt es zwei prinzipiell unterscheidbare Arten von Meßgeräten:

- a) Anzeigergeräte, die zur Kalibrierung bekannte Werte der Meßgröße am Eingang benötigen (z. B. Voltmeter),
- b) Geräte zur Bereitstellung von Größen (z. B. eine Gleichspannungsquelle), deren Kalibrierung entweder mit einem bereits kalibrierten Anzeigergerät oder durch Kompensation gegen eine bekannte, einstellbare Größe gleicher Art mittels Nullmethode durchgeführt wird.

In Abb. 11 sind die Kalibriergeräte zu sehen, deren Funktion soeben beschrieben wurde.

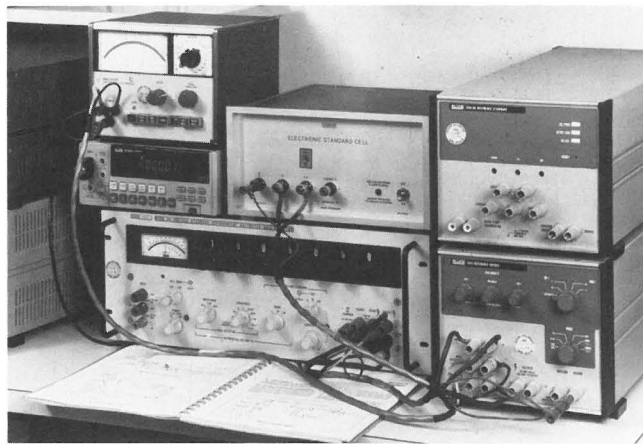


Abb. 11  
Gleichspannungs-Kalibriergeräte

Eine Zusammenfassung der Kalibriermöglichkeiten in der Fachgruppe 6.1 mit Meß- und Realisierungsbereichen und der jeweiligen Meßunsicherheit bietet die Tabelle in Abb. 12.

An dieser Stelle soll bereits darauf hingewiesen werden, daß im Laufe des Jahres 1987 eine Drehmoment-Meßeinrichtung aufgebaut wird, deren Meßbereich zwischen 5 Nm und 5 kNm

Labor	Meßgröße	Meßbereich Realisierungsbereich	Meßunsicherheit
6.11	Länge	0 ... 500 mm	$2 \cdot 10^{-6} + 1 \mu\text{m}$
	Weg statisch	0 ... 80 m	$1 \cdot 10^{-7} + 0,01 \mu\text{m}$
6.12	Weg dynamisch	10 Hz ... 10 kHz	$10^{-2}$
6.11	Druck statisch	1 ... 2000 bar	$10^{-3}$ (Öl)
	Druck "	0,02 ... 35 bar	$2 \cdot 10^{-4}$ (Luft)
6.12	Druck dynamisch	... 60 bar über Mitteldruck	$10^{-2}$
6.11	Temperatur	0 ... 400 °C	1 K
		400 ... 1200 °C	2 K
6.12	Dehnung	$\pm 2000 \mu\text{m/m}$	$1 \cdot 10^{-5}$ m/m
6.14	Beschleunigung statisch	0 ... 300 g	$10^{-2}$
6.12	Beschleunigung dynamisch	10 Hz ... 10 kHz Masse $\leq 5$ kg	$10^{-2}$
6.14	Kraft	0,5 N ... 5 MN	$5 \cdot 10^{-4}$
6.14	Elektr. Gleichspannung	100 $\mu\text{V}$ ... 1000 V	$10^{-4}$ ... $10^{-6}$
	Elektr. Widerstand	0,1 m $\Omega$ ... $10^{12} \Omega$	$10^{-5}$ ... $10^{-2}$
	Relat. Widerstands- änderung	$2 \cdot 10^{-6}$ mV/V ... 250 mV/V	$5 \cdot 10^{-6}$
	Elektr. Gleichstrom	50 nA ... 50 A	$10^{-3}$
6.14	Wechselspannung	1 mV ... 100 V 10 Hz ... 1,2 MHz	$10^{-2}$ ... $10^{-4}$
	Wechselstrom	0,1 mA ... 20 A	$10^{-2}$ ... $10^{-3}$
6.14	Frequenz	10 Hz ... 480 MHz	$10^{-2}$ ... $10^{-7}$ ( $10^{-8}$ )
	Zeitintervalle	1 $\mu\text{s}$ ... beliebig lang	$10^{-5}$ ... $10^{-6}$
6.14	Kapazität	1 pF ... 100 mF	$10^{-3}$
	Induktivität	0,1 $\mu\text{H}$ ... 16 kH	$10^{-2}$

Abb. 12  
Kalibriermöglichkeiten in der Fachgruppe 6.1 der BAM

liegt. Das entspricht Massen von 500 g bis 500 kg, die im Schwerfeld der Erde jeweils an einem Hebelarm von 1 Meter Länge wirksam werden.

## 7. Verfahrensweise bei der Kalibrierung innerhalb der BAM

### Kalibrieren mit automatischer Zeugniserstellung

Ein Commodore-Rechner PC 10 mit 20 MByte-Festplatte und zwei Floppy-Disks wurde mit dbase III programmiert.

Über eine Eingabemaske auf dem Bildschirm werden in Menütechnik Daten und Text eingegeben (s. Abb. 13).

```

Satz Nr. 24
CURSOR : <-->      Auf  Ab      Löschen      Einfügemodus: Ins
Zeich. : + +      Feld : ↑  ↓      Zeich. : Del   Ende : ^End
Wort : Home End   Seite: PgUp PgDn  Feld : ^Y     Abbruch : ^Esc
Hilfe: F1         Hilfe: F1         Satz : ^U     MEMO: ^Home
ANTRAG_NR KI0256A
MOJA 01-87
ANTR_STEL BAM, Labor 1.44
AUFTR_DAT 22.01.87
AUFTRAG_NR
AUFTRAGGEB Rlich
TELEFON 9443
STANDORT Haus 10, Raum 323
GER_ART Tragbares digitales Meßgerät
GER_BEZ Digitalmultimeter
HERSTELL Kontron
TYP 4030
FABNR 206309 GP
BAUJAHR
INUNR c 17 143
    
```

```

Satz Nr. 31 KI0256A
CURSOR : <-->      Satz : ↑  ↓      Löschen      Einfügemodus: Ins
Zeich. : + +      Seite: PgUp PgDn  Zeich. : Del   Ende : ^End
Feld : Home End   HILFE: F1        Feld : ^Y     Abbruch : ^Esc
Spalte: ^+ ^+    HILFE: F1        Satz : ^U     Optionen : ^Home

T SPALTE_1 DIM1 SPALTE_2 DIM2 SPALTE_3 DIM3 SPALTE_4 DIM4 BEMERKUNG
1 20.0 mV 0.000 mV 0.010 mV 0.010 mV Wechselsp. 1 kHz
1 10.000 mV 10.078 mV 0.7800 %
1 19.000 mV 19.075 mV 0.3947 %
1 200.0 mV 0.00 mV 0.02 mV 0.02 mV
1 100.00 mV 100.02 mV 0.0200 %
1 190.00 mV 189.95 mV -0.0263 %
1 2.0 V 0.0000 V 0.0002 V 0.0002 V
1 1.0000 V 1.0002 V 0.0200 %
1 1.9000 V 1.9001 V 0.0053 %
1 20.0 V 0.000 V 0.010 V 0.010 V
1 10.000 V 9.987 V -0.1300 %
    
```

Abb. 13  
Eingabemaske für Gerätedaten und Meßwerte

Bei Meßgeräten mit IEC-Bus können die Meßwerte automatisch abgefragt werden. Bisher sind erst einige dieser neuen Meßgeräte vorhanden.

Das Prüfungszeugnis mit Tabellen wird über einen hochauflösenden Nadeldrucker ausgegeben. Durch Wahl zweier verschiedener Schriften für Formulartext und Eingabetext wird das Zeugnis leichter lesbar (s. Abb. 14).

Mit Hilfe des Rechnersystems können Dateien angelegt und automatische Datenvergleiche angestellt werden. Z. B. läßt sich dann feststellen, welche Geräte wann und mit welchem Ergebnis kalibriert wurden. Durch Eingabe von Suchwörtern oder Kennnummern kann gezielt gesucht oder es können Statistiken angefertigt werden.

Aufrufe zur Durchführung bestimmter Kalibrieraktionen werden in den meisten Fällen, wie auch in der Vergangenheit, nach Gerätegruppen erfolgen, damit der Kalibrierplatz nur einmal aufgebaut werden muß.

Fachgruppe 6.1: Meßwesen und Grundlagen der Versuchstechnik  
Labor 6.14: Materialprüfmaschinen und elektrische Meßgeräte

**PRÜFUNGSZEUGNIS**

Über die Kalibrierung eines Meßgerätes

161 0256A
01-87

Antragsteller ..... : BAM, Labor 1.44  
Name ..... : Kluch  
Telefon / Datum .... : 9443 / 22.01.87  
Standort der Gerätes : Haus 10, Raum 323  
Geräteart ..... : Tragbares digitales Meßgerät  
Gerätebezeichnung .. : Digitalmultimeter  
Hersteller ..... : Kontron  
Typ ..... : 4030  
Baujahr/Fabr./Inv.Nr.: / c 17 143  
Kennwert/Meßbereiche : VDC, VAC, IDC, IAC, Widerstand

Grundlage der Kalibrierung

- Einheitengesetz vom 02.07.1969.
- Anschluß der benutzten Normale und Kalibriergeräte der BAM an die nationalen Normale der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) Braunschweig.

Zusammenfassendes Ergebnis der Kalibrierung

Die gemessenen Werte liegen innerhalb der Spezifikation. Die maximalen Abweichungen betragen in den Bereichen VDC 0,1%, VAC 0,7%, IDC 0,1%, und IAC 0,5%. Abweichungen im Widerstandsbereich vor der Justage 0,7%, nach der Justage 0,02%.

Einzelergebnisse siehe folgende Seiten.  
Das Gerät wurde mit einem Kalibrieraufkleber versehen.  
1000 Berlin 45, den 22.01.87

*Markowski*            *H. Schneider*  
RegDir. Dipl.-Ing. W. Markowski (Laborleiter)      ORegRat. Dipl.-Ing. H. Schneider (Sachbearbeiter)

Das Prüfungszeugnis besteht aus den Seiten 1 bis 5

161 0256A
01-87

3.3 Kenngrößen der Meßwertanzeige

Zusammenhang zwischen der Anzeige des kalibrierten Gerätes und der Anzeige des Bezugsnormals

Tabelle 3.3.1 Gleichspannung, Wechselspannung

1 Nennwert- einstellung/ Meßbereich	2 Bezugswert (Normal)	3 Angezeigter Wert/ Aufschrift	4 Abweichung	5 Bemerkungen
20.0 mV	0.000 mV	0.000 mV	0.000 mV	Gleichspannung
	10.000 mV	9.999 mV	-0.0100 ‰	
	19.000 mV	18.999 mV	-0.0053 ‰	
200.0 mV	0.00 mV	0.00 mV	0.00 mV	
	100.00 mV	100.01 mV	0.0100 ‰	
	190.00 mV	190.03 mV	0.0158 ‰	
2.0 V	0.0000 V	0.0000 V	0.0000 V	
	1.0000 V	0.9999 V	-0.0100 ‰	
	1.9000 V	1.8999 V	-0.0053 ‰	
20.0 V	0.000 V	0.001 V	0.001 V	
	10.000 V	10.001 V	0.0100 ‰	
	19.000 V	19.002 V	0.0105 ‰	
200.0 V	0.00 V	0.01 V	0.01 V	
	100.00 V	100.00 V	0.0000 ‰	
	190.00 V	190.00 V	0.0000 ‰	
1000.0 V	0.0 V	0.1 V	0.1 V	
	100.0 V	100.1 V	0.1000 ‰	
	500.0 V	500.1 V	0.0200 ‰	
	1000.0 V	1000.1 V	0.0100 ‰	
20.0 mV	0.000 mV	0.010 mV	0.010 mV	Wechselspann. 1 kHz
	10.000 mV	10.078 mV	0.7800 ‰	
	19.000 mV	19.075 mV	0.3947 ‰	
200.0 mV	0.00 mV	0.02 mV	0.02 mV	
	100.00 mV	100.02 mV	0.0200 ‰	
	190.00 mV	189.95 mV	-0.0263 ‰	
2.0 V	0.0000 V	0.0002 V	0.0002 V	
	1.0000 V	1.0002 V	0.0200 ‰	
	1.9000 V	1.9001 V	0.0053 ‰	
20.0 V	0.000 V	0.010 V	0.010 V	
	10.000 V	9.987 V	-0.1300 ‰	
	19.000 V	18.981 V	-0.1000 ‰	
200.0 V	0.00 V	0.02 V	0.02 V	
	100.00 V	99.99 V	-0.0100 ‰	
	1000.0 V	0.1 V	0.1 V	
1000.0 V	100.0 V	100.0 V	0.0000 ‰	

Abb. 14  
Prüfungszeugnis der BAM über die Kalibrierung eines Meßgerätes

- Die Kalibrierung einzelner Geräte wird in dringenden Fällen nach Möglichkeit auch zwischenzeitlich durchgeführt.

Mitarbeiter aus anderen Bereichen der BAM sind vielfach in der Lage, die jeweiligen Kalibrierplätze von 6.1 zu handhaben. In diesen Fällen soll ihnen die Kalibrierung ihrer Geräte im Kalibrierraum nach angemessener Anweisung selbst übertragen werden.

- Bei der Kalibrierung ist es wünschenswert, den Anlieferungszustand der zu kalibrierenden Geräte zu dokumentieren, um Aussagen über die Konstanz der Geräteeigenschaften über längere Zeiträume zu gewinnen. Danach wäre es sinnvoll, die Reihenfolge Kalibrieren — Justieren — Kalibrieren einzuhalten. Aus Zeitgründen wird in den meisten Fällen eine schnelle Übersichtskalibrierung durchgeführt; liegen die Werte innerhalb der Spezifikation, wird ohne Justieren kalibriert. Ergeben sich größere Abweichungen, so wird gleich justiert und anschließend werden die Kalibrierwerte aufgenommen. Vorgenommene Justierungen werden im Zeugnis dokumentiert, nur so sind Beurteilungen des Langzeitverhaltens der Geräte möglich.

Am Gerät wird als sichtbares Zeichen ein Kalibrieraufkleber angebracht (s. Abb. 15).



Abb. 15  
Kalibrieraufkleber

Die Verschlußschrauben von Geräteabdeckungen und Trennfugen werden versiegelt. Damit sollen eventuelle unbefugte Eingriffe in den Justageeteil des Gerätes erkennbar gemacht werden.

- Um Aussagen machen zu können, nach welcher Zeit ein Gerät erneut zur Kalibrierung gegeben werden muß, wären Untersuchungen über die Kalibrierfähigkeit jeder einzelnen Gerätegruppe notwendig. Das ist sehr zeitaufwendig und kann vorläufig nicht durchgeführt werden. Selbst der DKD muß in dieser Hinsicht noch Erfahrungen sammeln, so daß es bisher nur für ganz wenige Geräte Aussagen über Kalibrierfristen gibt.

Ersatzweise soll versucht werden, aus den oben erwähnten statistischen Erhebungen eine gewisse Aussage zu folgern.

**8. Ausblick**

Die Geräte sind in den letzten Jahren in ihren Eigenschaften sicherer und bezüglich ihrer Meßwertanzeige und -ausgabe stabiler geworden. Das Toleranzfeld ihrer angezeigten oder abgegebenen Meßgrößen ist kleiner geworden. Es ist zu erwarten, daß sich dieser Trend aufgrund besserer Baugruppen und neuer Technologien weiter fortsetzt.

Das programmierte Messen und Kalibrieren wird noch stärker ausgeweitet werden.

Bei der Gerätebeschaffung sollte in Zukunft stärker darauf geachtet werden, daß ein Busanschluß vorhanden ist; viele Geräte besitzen ihn bereits in ihrer Grundkonfiguration, sonst ist er als Option erhältlich, und diese Ausgabe sollte man nicht einsparen.

Eine rechnergesteuerte Kalibrierung verringert die Kalibrierzeit erheblich. Die entsprechende Software stellt allerdings einen nicht unerheblichen Aufwand dar.

Mit dieser Abhandlung über die Kalibrierung sollten einige Grundlagen vermittelt, die Situation in der BAM dargestellt und das Kalibrierbewußtsein gestärkt werden.

## Literatur

- [ 1 ] Schneider, H.:  
Über das Kalibrieren von Meßgeräten und seine Handhabung in der BAM.  
BAM-Information (1980) Nr. 7., S. 118 - 120
- [ 2 ] Schneider, H.:  
Das Kalibrieren in der BAM zur Absicherung ihrer Meß- und Prüfergebnisse. — Neuester Stand der Möglichkeiten und Handhabung.  
BAM-Information (1987) Nr. 2, S. 14 - 15
- [ 3 ] Bayer-Helms, F., M. Kochsiek, G. Becker, F. Melchert, R. Weiß, P. Draht u. K. Bischoff:  
Die SI-Basiseinheiten, Definition, Entwicklung, Realisierung.  
PTB-Sonderdruck, 1984, 35 Seiten
- [ 4 ] PTB-Bericht Me-23  
12. und 17. PTB-Seminar Zeit und Frequenz.  
— Vorträge — Band 1, 1979, 253 Seiten
- [ 5 ] Bayer-Helms, F.:  
The International Definition of the Metre and its Realization.  
Metrologia 22 (1986) No. 3, S. 201 - 203
- [ 6 ] Dorenwendt, K.:  
Realization and Dissemination of the Second.  
Metrologia 22 (1986) Nr. 3, S. 186 - 189
- [ 7 ] Kose, V. u. W. Wögner:  
Fundamental Constants and the Units of Physics.  
Metrologia 22 (1986) No. 3, S. 177 - 185
- [ 8 ] Seiler, E.:  
Grundbegriffe des Meß- und Eichwesens.  
Verlag Vieweg, 1983, 129 Seiten
- [ 9 ] Firmenschrift von Fluke  
Kalibrieren, Theorie und Praxis.  
83 Seiten
- [10] Fluke Deutschland GmbH  
Beiträge zur Kalibrierung elektrischer Meßgeräte 1986.  
Sammelmappe, wird laufend ergänzt
- [11] Fa. Keithley  
Low Level Measurements.  
1984, 127 Seiten
- [12] Maschke, R.:  
dBase III, Anwendungen.  
Von der Konzeption zum Programm.  
1985, 371 Seiten
- [13] Schneider, P.:  
Kalibrierung, eine kurzgefaßte Übersicht.  
12 Seiten
- [14] PTB-Sonderdruck  
Deutscher Kalibrierdienst.  
Eine Informationsschrift für potentielle Träger von Kalibrierstellen.  
1984, 11 Seiten
- [15] N. N.  
Richtlinien des deutschen Kalibrierdienstes.  
PTB-Mitteilungen 91, 3/81, S. 198  
PTB-Mitteilungen 92, 4/82, S. 270 - 273

## Untersuchungen der inneren Unschärfe verschiedener Aufnahmefolien für 8 MeV Röntgenstrahlen und $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlen

Von Dr.-Ing. Jürgen Stade, A. A. Khan\* und Dr.-Ing. Heinrich Heidt, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

DK 620.179.152 : 771.531.341 : 778.333

Amts- und Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) 17 (1987) Nr. 4 S. 679/682

Manuskript-Eingang 23. März 1987

### Inhaltsangabe

Zum zuverlässigen Nachweis von Materialfehlern mit Röntgenstrahlen müssen optimale Aufnahmebedingungen gewährleistet sein. Die innere Unschärfe als eine der Größen, die die radiographische Bildqualität bestimmen, wurde für Aufnahmefolien aus Blei, Stahl, Tantal und Polyäthylen mit Dicken zwischen 0,02 mm und 2 mm (soweit erhältlich) bestimmt. Die verwendeten Strahlenqualitäten waren  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlen und die Strahlung eines 8 MeV Linearbeschleunigers. Erwartungsgemäß nimmt die innere Unschärfe mit der Foliendicke zu und hängt von der Strahlungsenergie ab. Bei beiden Energien wiesen Stahl- und Tantalfolien bei vergleichbaren und gebräuchlichen Foliendicken die geringsten Unschärfen auf. Wenn ein Stahlfilter zwischen die  $^{60}\text{Co}$ -Quelle und den Film gebracht wird, verdoppelt sich der gemessene Unschärfenwert nahezu und hängt von der Position des Filters ab. Dieser Effekt beruht auf der Überlagerung einer geometrischen Unschärfe, die durch die aus dem Stahlfilter stammenden, stark vorwärtsgerichteten Streustrahlen verursacht wird.

*Innere Unschärfe – Aufnahmefolien –  $^{60}\text{Co}$  – Beschleuniger – Foliendicke – Streustrahlen*

### Summary

For reliable flaw detection with radiography the optimal conditions have to be chosen. One factor which governs the image quality in radiography namely the inherent unsharpness, has been investigated for screens of lead, steel, tantalum, and polyethylene with thicknesses between 0.02 mm (as available). The energies used were  $^{60}\text{Co}$  gamma rays and 8 MeV X-rays from a LINAC. According to expectation the inherent unsharpness increases with screen thickness and depends on energy, of course. For both energies the steel and tantalum screens depict the lowest unsharpness values at usual and comparable screen thicknesses. When a steel filter is placed between the  $^{60}\text{Co}$  source and film the width of the measured unsharpness curve is nearly doubled. This is due to the superimposition of a geometric unsharpness caused by the scattered radiation originating from the steel filter.

*Inherent unsharpness – screens –  $^{60}\text{Co}$  – Linac – thickness of screens – scattered radiation*

\* PINSTECH, Islamabad, Pakistan

## 1. Einleitung

Viele Prüfprobleme an dickwandigen Stahlobjekten können nur mit  $^{60}\text{Co}$ -Quellen oder Linearbeschleunigern gelöst werden. Zum Verbessern der Bildqualität durch Filterung der Streustrahlen und zum Verbessern des Verstärkungseffektes werden spezielle Aufnahmefolien verwendet, deren Auswahl passend für eine gegebene Energie und Objektstärke einige Erfahrungen erfordert. Die für Aufnahmefolien in der Hochenergie-Radiographie verwendeten Materialien sind Blei, Wolfram, Tantal, Silber, Kupfer und Stahl [1, 2], wobei Stahl und Tantal die für Linearbeschleuniger gebräuchlichsten Folien-Materialien sind. Die Literatur bezüglich der jeweils geeignetsten Folien weist unvollständige und widersprüchliche Ergebnisse auf, und wie Halmshaw [3] betonte, besteht auf diesem Gebiet weiterhin ein Bedarf an weiteren experimentellen Daten. Daher wurde speziell die innere Unschärfe als ein wichtiger Faktor an Aufnahmefolien aus Blei, Stahl, Tantal und Polyäthylen mit Dicken zwischen 0,02 mm und 2 mm untersucht. Die verwendeten Energien waren  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlen und 8 MeV Röntgenstrahlen.

## 2. Experimentelle Einzelheiten

Die innere Unschärfe wurde durch die Abbildung einer 5 mm dicken Platin-Kante mit Hilfe der jeweils in Frage kommenden Strahlung auf einem D4-Film bestimmt. Um jeglichen verfälschenden Einfluß eines schrägen Einstrahlwinkels zu vermeiden, wurden Quelle und Kante sorgfältig mit Hilfe eines Laserstrahls ausgerichtet. Der Film wurde durch ein Stahlgehäuse mit einer starken Blei-Rückwand gegen rückgestreute Strahlung abgeschirmt (Abb. 1). Eine Vakuum-Kassette stellte einen guten Kontakt zwischen dem Film und den Folien sicher. Die Strahlung des Beschleunigers wurde durch 100 mm Stahl gefiltert, der sich in einer Entfernung von 163 cm vom Brennfleck befand. Der Film-Fokus-Abstand betrug 430 cm. Im Fall des  $^{60}\text{Co}$  wurden die Messungen auf zwei verschiedene Weisen durchgeführt. Zunächst wurde ein Film-Fokus-Abstand von 3 m gewählt und ohne Stahlfilter gearbeitet (Abb. 2 und Tabelle 2 (a)). In einer zweiten Anordnung befand sich ein 60 mm dickes Stahlfilter in einem Abstand von 10 cm von der Strahlenquelle und der Film-Fokus-Abstand betrug 60 cm (Abb. 3 und Tabelle 2 (b)). Für jede Belichtung wurde ein Paar von Aufnahmefolien der verschiedenen Materialien und

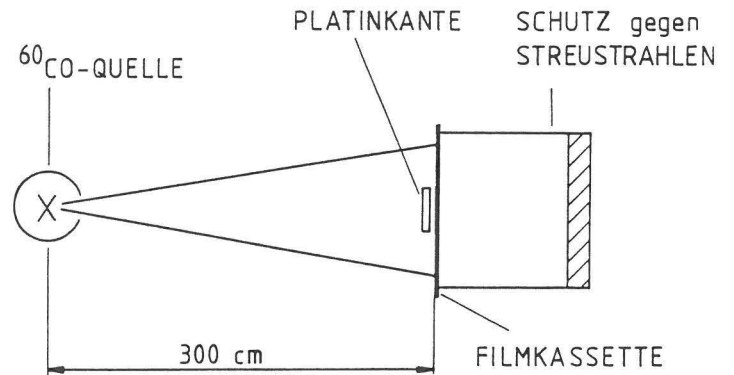


Abb. 2  
Experimentelle Anordnung für Unschärfe-Messungen mit einer  $^{60}\text{Co}$ -Quelle (kein Stahlfilter)

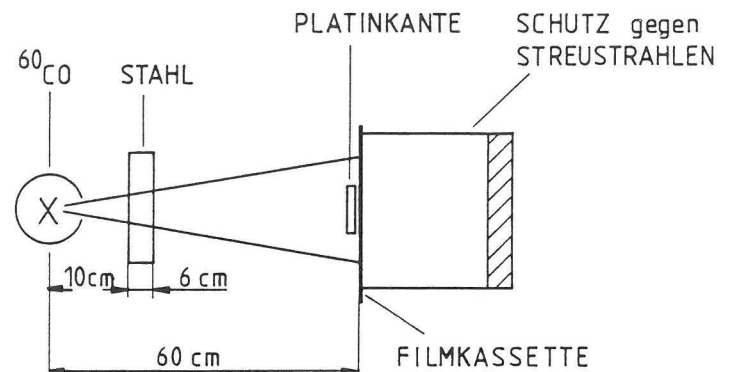


Abb. 3  
Experimentelle Anordnung für Unschärfe-Messungen mit einer  $^{60}\text{Co}$ -Quelle und ein zusätzliches Stahlfilter von 60 mm

Dicken in einer evakuierten Kassette verwendet. Alle Filme wurden auf eine Schärzung  $D \approx 1$  belichtet.

## 3. Messungen

Um die Kantenverwaschungsfunktionen als Basis der Unschärfe-Messungen zu erhalten, wurden die Aufnahmen durch ein rechnergesteuertes Mikrophotometer in Schritten von  $20 \mu\text{m}$  abgetastet. Das Kantenbild wurde zur Rauschminderung an drei verschiedenen Stellen abgetastet und der Mittelwert aus diesen drei unabhängigen Meßreihen für die weitere Auswertung verwendet.

Es gibt verschiedene Methoden, die Unschärfe aus dieser Meßkurve zu bestimmen, wie z. B. die Methode von Klasens [8] oder die von Weeber angegebene [4]. Es ist insbesondere schwierig, über die absolute Richtigkeit einer dieser oder anderer Methoden zu entscheiden, jedoch ist jede für sich zum Vergleich der Unschärfe-Werte der in Art und Dicke variierenden Folien geeignet. Gewöhnlich bereitet das Eintragen der Tangenten in die für die Auswertung wesentlichen Kurvenabschnitte hinsichtlich Lage und Verlauf Schwierigkeiten. Es wurde mit einer speziellen Vorgehensweise versucht, diese Schwierigkeiten zu vermindern. Die Prozedur besteht aus einem zusätzlichen vorsichtigen Glätten der Kurve durch Tiefpaß-Filterung (Abb. 4). Danach wird die Kurve differenziert, um Wert und Ort der maximalen Steigung zu erhalten. In diesen Wendepunkt wird die entsprechende Tangente der Kantenverwaschungsfunktion eingezeichnet. Da trotz des digitalen Glättens insbesondere die horizontalen Abschnitte der Kurve noch einige Schwankungen enthalten, werden die horizontalen Tangenten erschweren, werden die hori-

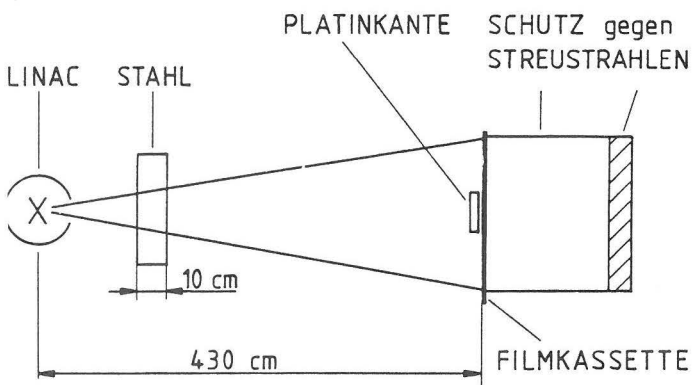


Abb. 1  
Experimentelle Anordnung für die Unschärfe-Messungen mit einem Linearbeschleuniger (Stahlfilter 10 cm)

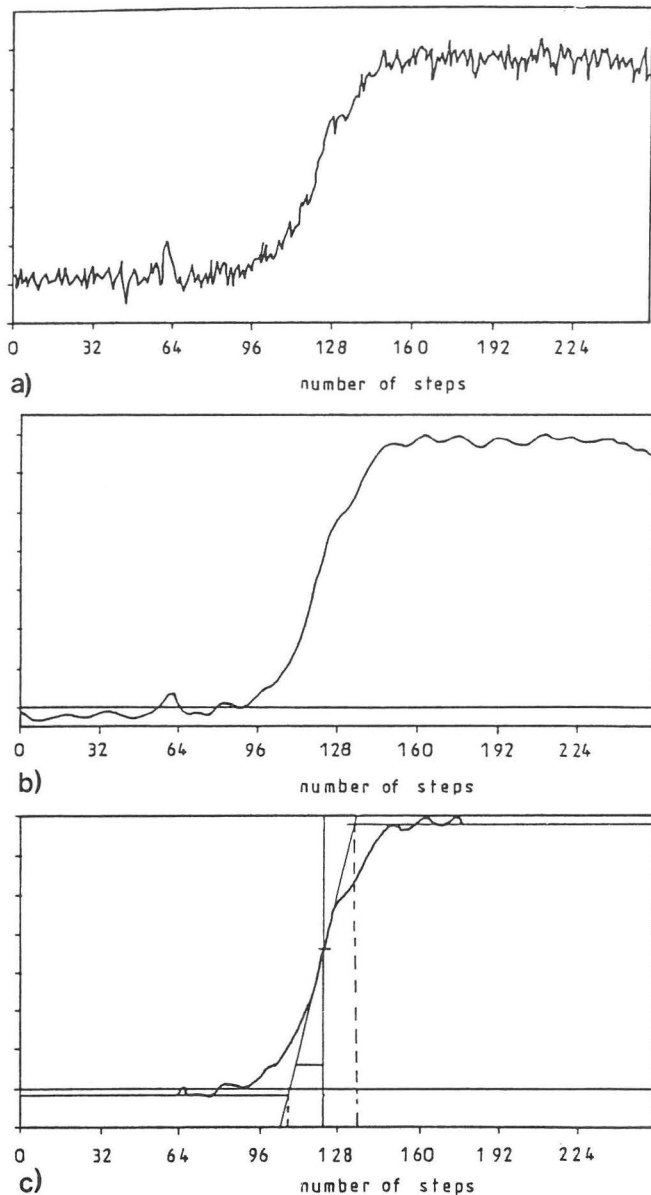


Abb. 4  
Beispiel einer gemessenen Unschärfekurve  
(a) ungeglättet  
(b) nach einer Tiefpaß-Filterung  
(c) mit Tangenten

Folien	Foliendicke (mm)	Unschärfe ( $\mu\text{m}$ )
Blei	0.02	380
	0.1	510
	0.5	620
Stahl	0.3	450
	0.5	450
	0.8	600
	1.0	610
	2.0	680
Tantal	0.3	450
	0.5	540
	0.8	490
	1.1	550
Polyäthylen	1.0	650
	2.0	660

Tabelle 1  
Gemessene Unschärfewerte für 8 MeV Röntgenstrahlen eines Linear-Beschleunigers

zontalen Abschnitte der Kurve durch ihren Mittelwert, d. h. Geraden parallel zur x-Achse ersetzt. Der horizontale Abstand der Schnittpunkte dieser Geraden mit der Wendepunkt-Tangente wird als Unschärfewert angesehen. In Tabelle 1 sind die gemessenen Unschärfewerte verschiedener Aufnahmefolien für 8 MeV-Röntgenstrahlen angegeben, während Tabelle 2 diese Werte für  $^{60}\text{Co}$  zusammenfaßt. Zwischen diesen Unschärfewerten  $u$  und Weebers  $u_e$ -Werten gilt nach [4] die Beziehung  $u = 2 u_e$ . Die Werte für den Fall b von  $^{60}\text{Co}$  können natürlich keiner reinen inneren Unschärfe zugeordnet werden (siehe Abschnitt 4).

Folien	Foliendicke (mm)	Unschärfe ( $\mu\text{m}$ )	
		(a)	(b) siehe Abschnitt 4
Blei	0.02	360	470
	0.1	360	580
	0.5	420	770
Stahl	0.3	320	530
	0.5	320	530
	0.8	320	590
	1.0	320	590
	2.0	350	600
Tantal	0.3	330	650
	0.5	340	710
	0.8	380	690
	1.1	380	640
	1.3	380	-
Polyäthylen	1.0	610	630
	2.0	640	840

Tabelle 2  
Gemessene Unschärfewerte für  $^{60}\text{Co}$  Gammastrahlen  
(a) kein Filter, Abstand Quelle - Film 3 m  
(b) 60 mm Stahlfilter, Abstand Quelle - Film 60 cm

#### 4. Schlußfolgerungen

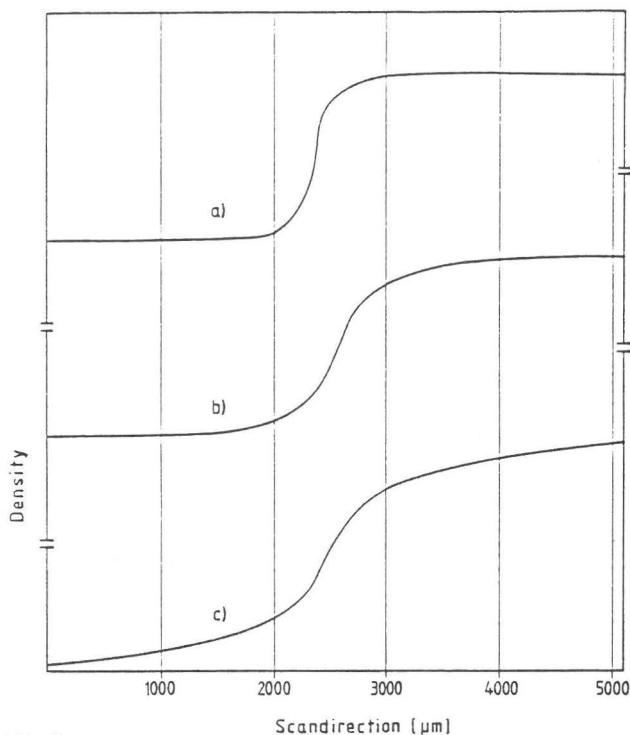
Wie den Tabellen 1 und 2 entnommen werden kann, nehmen die gemessenen Unschärfewerte unabhängig von der Folienart und der Strahlungsenergie mit der Foliendicke zu. Für 8 MeV Röntgenstrahlung stimmen die gefundenen Werte recht gut mit dem in [7] angegebenen Wert von  $580 \mu\text{m}$  für gefilterte 7,5 MeV Röntgenstrahlen und Bleifolien überein. Mit Ausnahme der ungünstigen 0,02 mm dicken Bleifolie (schlechter Kontrast aufgrund der Streustrahlen-Verstärkung) weisen Stahl- und Tantalfolien für Foliendicken größer als 0,3 mm die geringsten Unschärfen auf, wenn alle Aufnahmefolien gleicher Dicke, aber unterschiedlichen Materials verglichen werden. Für Folien dicker als 0,8 mm zeigt Tantal sogar geringere Unschärfen als Stahl.

Wenn die Unschärfewerte derselben Folienmaterialien für  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlung verglichen werden (Tabelle 2, Spalte (a)), zeigen auch hier Stahl- und Tantalfolien Unschärfewerte unter denen der anderen Materialien, wobei Stahlfolien etwas bessere Werte als entsprechende aus Tantal aufweisen. Das stimmt mit dem Ergebnis von Weeber et al [5, 6] überein. Im Hinblick auf die Bildschärfe stellen daher Stahl- und Tantalfolien für den Energiebereich 8 MeV-Röntgen- und  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlung eine gute Wahl dar.

In der Tabelle 2 werden zwei Spalten von Unschärfewerten angegeben. Bedenkt man die verschiedenen Bedingungen (a und b, siehe Abb. 2 und 3) während der Messung, so können die größeren Werte im Fall b nur dem Einfluß der Streustrahlung zugeschrieben werden. Diese Werte beruhen natürlich

nicht auf einer reinen inneren Unschärfe, sondern auf einer zusätzlichen Überlagerung einer geometrischen Unschärfe, die von der aus dem Stahlfilter stammenden Streustrahlung verursacht wird. Um das zu prüfen, wurde die Position des Stahlfilters von einer quellennahen bis zu einer filmnahen Lage variiert. Mit abnehmendem Abstand zwischen Filter und Film wuchs der gemessene Unschärfewert stetig an bis zu  $780\ \mu\text{m}$  für einen Abstand von  $46,5\ \text{cm}$  zwischen Quelle und Filter,  $0,5\ \text{mm}$  Stahlfolien und einen konstanten Film-Fokus-Abstand von  $60\ \text{cm}$ . Ein zusätzlicher Abstand zwischen der Blei-Kante und dem Film, gegeben durch eine  $1\ \text{cm}$  starke Stahlplatte, bewirkte wieder eine verminderte Unschärfe ( $500 - 600\ \mu\text{m}$ , es hing von der Lage des Stahlfilters ab), aber es sind immer noch deutlich größere Unschärfewerte als sie ohne Stahlfilter gemessen wurden.

Es könnte eingewendet werden, daß diese Ergebnisse mit einer stark absorbierenden Platinkante erzielt wurden und daß es noch offen ist, wie weit sie für die kontrastarme Abbildung von kleinen Fehlern und Rissen auf dem Film von Bedeutung sind. Wie jedoch *Abb. 5* zeigt, werden die nahezu verdoppelten Unschärfewerte für mit  $60\ \text{mm}$  Stahl (oder durch ein entsprechendes Objekt) gefilterte  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$ -Strahlung durch den deut-



*Abb. 5*  
Kantenverwaschungsfunktion für  $^{60}\text{Co}$ -Strahlung  
(a) Quelle - Film-Abstand  $3\ \text{m}$ , kein Filter  
(b) Quelle - Film-Abstand  $60\ \text{cm}$ ,  $60\ \text{mm}$  Stahlfilter,  
Abstand Quelle - Filter  $30\ \text{cm}$   
(c) Quelle - Film-Abstand  $60\ \text{cm}$ ,  $60\ \text{mm}$  Stahlfilter,  
Abstand Quelle - Filter  $46,5\ \text{cm}$

lich breiteren Mittelteil der Kantenverwaschungsfunktion verursacht und nicht durch die flachen Rampen zu beiden Seiten. Aber gerade der Mittelteil der Kantenverwaschungsfunktion ist entscheidend für die Erkennbarkeit von kleinen, kontrastarmen Details.

In [5, 7] wurde bereits ein Unschärfe-Effekt der Streustrahlung erwähnt, konnte jedoch nicht mit den in [5] verwendeten Platin-Doppeldrahtstegen nachgewiesen werden. Entsprechend einer privaten Mitteilung wurden in [5] die Platin-Drähte ebenso wie in [7] die Kante auf eine dicke Stahlplatte gelegt, d. h. weit entfernt vom Film, wohingegen in unserem Fall sich die Platin-Kante in Kontakt mit bzw. nahe dem Film befand und das dicke Stahlfilter in verschiedenen Entfernungen von der Quelle eingebracht wurde. Offensichtlich bedingen die beiden verschiedenen experimentellen Anordnungen verschiedene Effekte. In dem für unsere Messungen verwendeten Aufbau wird die Streustrahlung von der Quelle her gesehen vor der Platin-Kante erzeugt und bewirkt eine zusätzliche geometrische Unschärfe auf dem Film. Die Bedingungen sind ähnlich wie bei einem filmnahen Fehler in einem dicken Objekt oder der Prüfung eines Rohres (Doppelwand). Der hier nachgewiesene Unschärfe-Effekt muß daher auch in der Praxis von Bedeutung sein.

#### Literatur

- [1] Ratcliffe, B. J.:  
Brit. J. NDT 13 (2) 1971, p. 66
- [2] Wheeler, G. C.:  
Proc. 7th Internat. Conf. on NDT, Warsaw, 1973, Paper B. 41
- [3] Halmshaw, R.:  
Brit. J. NDT 25 (4) 1983, p. 195
- [4] Möller, H. u. H. Weeber:  
Arch. Eisenhüttenwes. 35 1964, p. 891
- [5] Weeber, H. et al.:  
Eighth World Conf. on NDT, Cannes 1976, Section 3D 11
- [6] Thiele, H. u. H. Proegler:  
Materialprüf. 16 (1974), p. 322
- [7] Halmshaw, R.:  
Physics of Industrial Radiology, London, Heywood Books, 1966
- [8] Klasens, H. A.:  
Philips Res. Rep. 1 1946, p. 241

# Konstruktionsdetails des Stützenprüfstandes des Laboratoriums „Brandschutz, Feuerschutz“ der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Von **RR Dr.-Ing. Michael Bock und Joachim König**, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

DK 620.173.05 : 624.075.2 : 699.81

Amts- und Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) 17 (1987) Nr. 4 S. 683/690

Manuskript-Eingang 19. Oktober 1987

## Inhaltsangabe

Im Stützenprüfstand der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) werden Normbrandprüfungen an Bekleidungen in Verbindung mit Stahlstützen nach Abschnitt 7.3 der DIN 4102 Teil 2 durchgeführt. Im folgenden Beitrag werden der Aufbau des Prüfofens und der Belastungskonstruktion sowie die erforderlichen Meß- und Regeleinrichtungen beschrieben und am Beispiel einer Normbrandprüfung näher erläutert.

*Normbrandprüfung — Brandprüfstand — Stützenofen — DIN 4102*

## Summary

The fire tests of claddings combined with steel columns according section 7.3 of DIN 4102 part 2 are carried out in the furnace for columns of the Federal Institute of Materials Research and Testing. In the following contribution the construction of the test furnace and the loading frame as well as the required measuring devices and the regulation equipment are described.

*Standard fire test — test furnace — column furnace — DIN 4102*

## 1. Einleitung

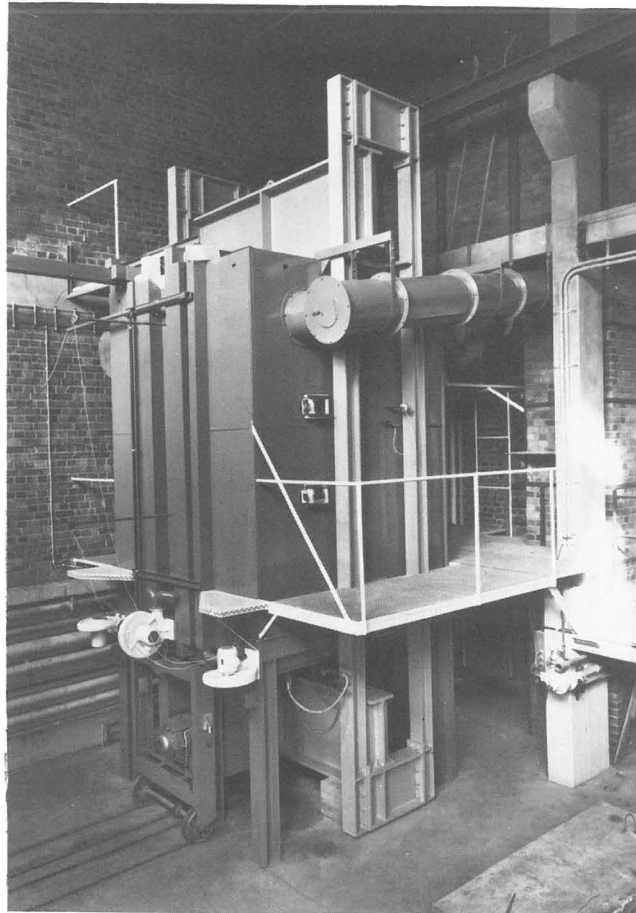
Es ist das Nahziel der Europäischen Gemeinschaft auch auf dem Sektor der Materialforschung und -prüfung bestehende Grenzen bzw. Einschränkungen zu überwinden. Für den Brandschutz ist dies besonders schwierig, da die Versuchsergebnisse in vielfältiger Weise von den jeweiligen Randbedingungen der Versuchsdurchführung und hierbei insbesondere von den Besonderheiten der Prüfeinrichtungen abhängen. Notwendig für Vergleiche und Vereinheitlichungen innerhalb der EG ist daher zunächst eine eingehende Kenntnis bzw. Dokumentation der Prüfstände einerseits und des Ziels der Untersuchungen andererseits. Der nachfolgende Beitrag beschreibt hierzu den Stützenprüfstand der BAM, dem in Europa wohl ältesten und damit am meisten erprobten Prüfstand für den baulichen Brandschutz.\*)

In den Länderbauordnungen der Bundesrepublik Deutschland ist vorgeschrieben, daß alle in statischer Hinsicht wesentlichen Elemente eines Bauwerkes, wie Wände, Decken, Unterzüge und Stützen in feuerhemmender oder feuerbeständiger Bauweise herzustellen sind — [1]. Das bedeutet, daß diese Bauteile mindestens 30 Minuten (= feuerhemmend) bzw. mindestens 90 Minuten (= feuerbeständig) einer Normbrandbeanspruchung nach DIN 4102 Teil 2 [2] standhalten müssen. Die Zeit, die die Bauteile dieser Brandbeanspruchungen widerstehen, ist die Feuerwiderstandsdauer. Dabei wird der Normbrand von der auch international genormten Einheits-Temperaturzeitkurve beschrieben, durch die ein unter idealisierten Verhältnissen ablaufender Vollbrand nachgebildet werden soll. Aus der festgestellten Feuerwiderstandsdauer bestimmt sich in Sprüngen von 30, 60, 90, 120 und 180 Minuten die Feuerwiderstandsklasse, aus der sich für das entsprechende Bauteil die bauaufsichtliche Benennung nach der jeweiligen Landesbauordnung und den dazu erlassenen Verordnungen und Richtlinien ergibt. Die entsprechenden Brandprüfungen werden nach DIN 4102 Teil 2 durchgeführt.

\*) In gleicher Weise wurde bereits 1975 von R. Rudolphi über die „Entwicklung eines vielseitigen für Balken, Decken und Modellversuche einsetzbaren Deckenprüfstandes“ der BAM berichtet. Siehe: Amts- u. Mitteilungsbl. BAM 5 (1975) Nr. 4, S. 150-156

## 2. Stützenprüfstand

Der Stützenprüfstand (*Abb. 1*) besteht im wesentlichen aus zwei Komponenten: dem Ofen und der Belastungskonstruktion. Eine schematische Darstellung zeigt *Abb. 2*.



*Abb. 1*  
Stützenprüfstand der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

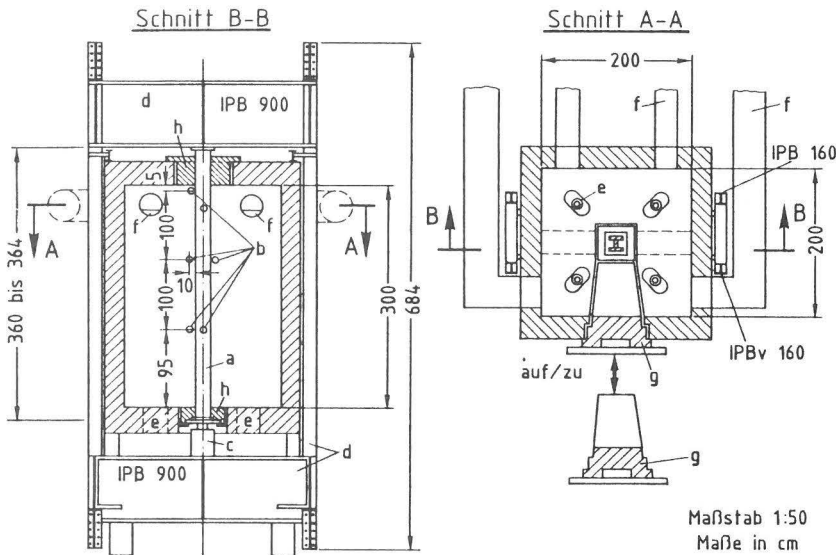


Abb. 2  
Stützenprüfstand der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (Horizontal- und Vertikalschnitt)

- a) Probekörper
- b) Thermoelemente
- c) Druckzylinder
- d) Belastungsrahmen
- e) Ölgebläsebrenner
- f) Rauchabzüge
- g) Ausfahrbare Tür
- h) Abdichtung

### 2.1 Der Ofen

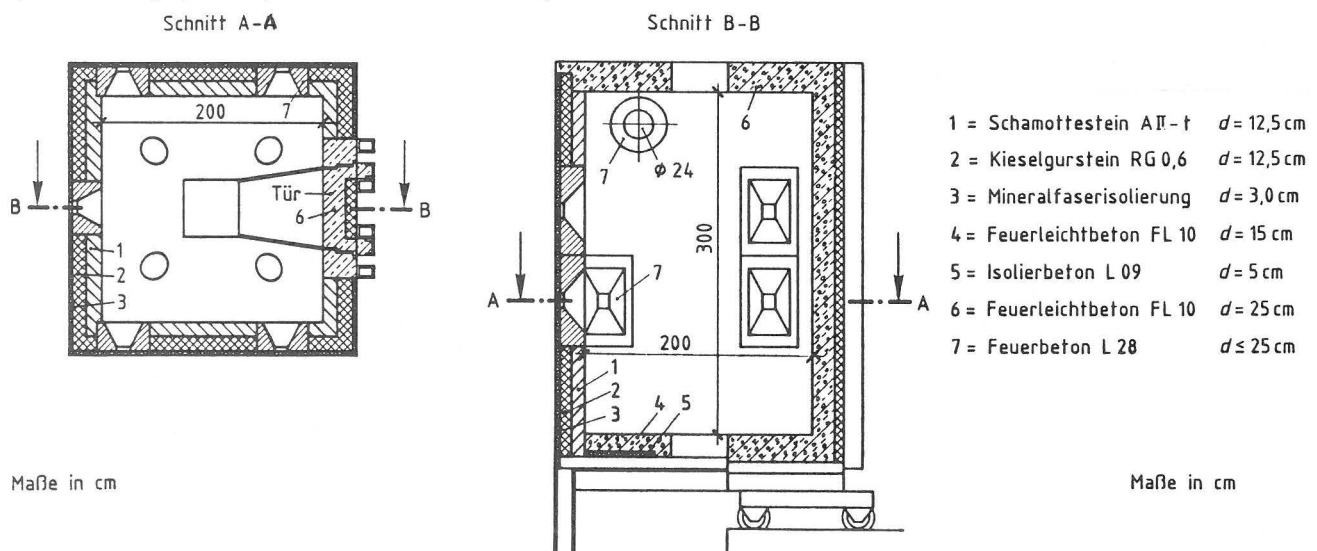
Der Ofen (Abb. 3) ist ein Kubus mit den Außenabmessungen von  $2,56 \cdot 2,56 \cdot 3,56 \text{ m}^3$ , der einen Brandraum von  $2,0 \cdot 2,0 \cdot 3,0 \text{ m}^3$  umschließt, in dem sich der Probekörper befindet. Im Brandraumboden befinden sich  $0,5 \cdot 0,5 \text{ m}^2$  große Öffnungen, durch die der Fuß bzw. der Kopf der Probestütze kraftschlüssig mit der Belastungskonstruktion in Verbindung stehen. Die Außenhaut besteht aus einem 4,0 mm dicken Mantel aus Stahlblech, der auf der Innenseite mit L-Profilen verstärkt ist. Es folgen dann von außen nach innen eine 3,0 cm dicke Mineralfasermatte und eine 12,5 cm dicke Dämmung aus Kieselgursteinen RG 0,6 ( $\rho_R = 0,6 \text{ kg/dm}^3$ ). Den inneren Abschluß bilden 12,5 cm dicke Hartschamotte-Steine (Qualität AII-t,  $\rho_R = 2,1 \text{ kg/dm}^3$ ). Die Brandraumdecke besteht aus einer 25 cm dicken Schicht aus bewehrtem Feuerleichtbeton FL 10 ( $\rho_R = 1,2 \text{ kg/dm}^3$ ), während bei der Sohle die Feuerleichtbetonschicht nur 15 cm dick ist, da sie auf eine 5 cm dicke Isolierbetonschicht (L 09,  $\rho_R = 0,95 \text{ kg/dm}^3$ ) aufgebracht ist. Die Bewehrung erfolgte durch Rundstahlbügel, die auf dem Blechmantel festgeschweißt sind.

In den Diagonalen des Brandraumbodens befinden sich vier ovale Brenneröffnungen, durch die die Beflammung des Brandraumes mit vier Ölgebläsebrennern erfolgt.

Die Ofentür ist ein C-förmiges Segment, das sich aus jeweils einem Decken-, Wand- und Bodenbestandteil zusammensetzt. Aus Stabilitätsgründen ist bei der Ofentür auch der Wandbereich mit Feuerleichtbeton ausgekleidet. Die Ofenwand wurde im Bereich der Türöffnung ebenfalls mit einer Randleiste aus Feuerleichtbeton FL 10 versehen, um sie gegen mechanische Beanspruchungen wie Anprallstöße beim Ein- und Ausbau des Probekörpers u.ä. zu schützen. Auf den Blechmantel der Tür und des Ofens im Bereich der Türöffnung sind Hohlprofile aufgeschweißt. Diese Hohlprofile werden für die Wasserkühlung benutzt, die verhindert, daß sich Tür und Ofen durch die thermisch bedingte Ausdehnung des Stahlblechmantels so verklemmen, daß sich unmittelbar nach dem Brandversuch die Tür des Prüfstandes nicht mehr öffnen läßt.

In den oberen Bereichen der Seitenwände und der Rückwand des Ofens befinden sich insgesamt vier Öffnungen für die Rauchgaskanäle mit einem lichten Durchmesser von 0,25 m.

Abb. 3  
Ofen des Stützenprüfstandes (Horizontal- und Vertikalschnitt)





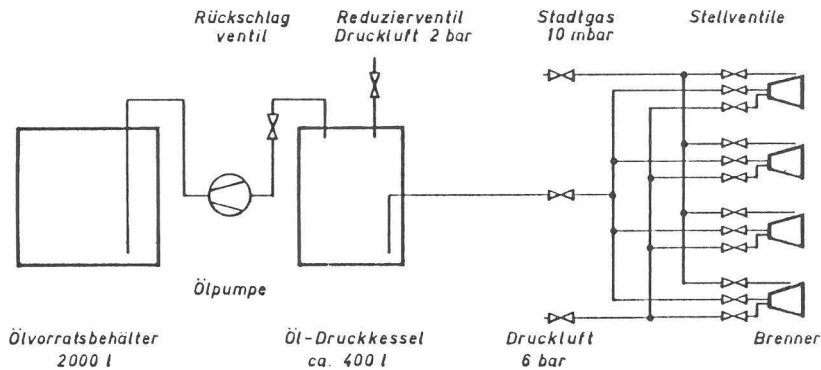


Abb. 4  
Prinzip der Beflammungseinrichtung  
(für vier Ölgebläsebrenner)

Die Ölgebläsebrenner werden durch Gaszündbrenner gezündet, die während der gesamten Versuchsdauer in Betrieb sind, um die Brenner gegebenenfalls nachzünden zu können. Die Vordrucke von Druckluft und Öl betragen ca. 6 bzw. 2 bar. Jeder Brenner verbraucht pro Stunde ca. 40 l Öl und ca. 650 l Druckluft. Die Druckluftversorgung der Brenner erfolgt direkt aus dem Betriebsnetz der BAM. Das Heizöl wird aus einem Vorratsbehälter zuerst in einen Windkessel gepumpt, dort mit Hilfe zusätzlicher Druckluft auf einen Arbeitsdruck von ca. 2 bar gebracht und anschließend zu den Stellventilen der Ölgebläsebrenner geleitet. Zur Inbetriebnahme des ersten Ölgebläsebrenners wird das Druckluftventil geöffnet, das Öl-Luftgemisch gezündet und das Ölventil solange verstellt, bis die Brennerflamme stabil brennt. In gleicher Weise erfolgt die Zündung der übrigen drei Brenner. Die Brenner werden anschließend solange einreguliert, bis Flammenlänge und Flammenfarbe gleich sind (Abb. 4).

## 2.2 Die Belastungskonstruktion

Als Belastungskonstruktion (Abb. 5) dient ein geschlossener Lastrahmen aus Stahlprofilträgern, über den die Prüflast mit Hilfe eines auf der unteren Traverse stehenden Hydraulikzylinders in den Probekörper eingeleitet wird. Die Stütze verspannt sich dabei zwischen Hydraulikzylinder und oberem Querhaupt. Es wird angenommen, daß, bezogen auf die Hauptebene des Lastrahmens, am Kopfpunkt eine Einspannung vorliegt während die Fußplatte gelenkig auf dem Kolben des Hydraulikzylinders gelagert ist. Über das statische

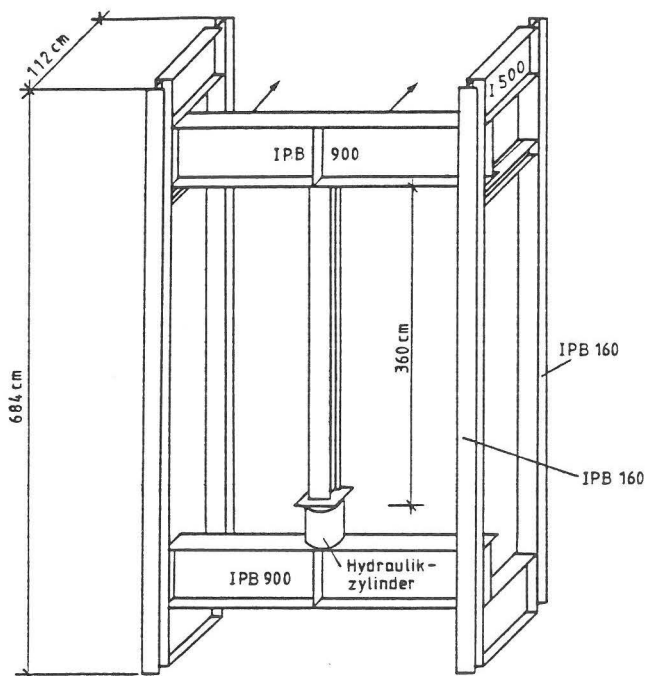


Abb. 5  
Belastungskonstruktion des Stützenprüfstandes

System des Probekörpers in der hierzu senkrechten Ebene können keine Aussagen gemacht werden. Die Stütze wird daher so in den Prüfstand eingebaut, daß das Versagen in der Rahmenebene erfolgen muß. Die Prüfkraft wird von dem oberen Querhaupt über Zugstangen wieder zurück in die untere Traverse geleitet — der Kraftkreislauf ist damit geschlossen. Die beiden biegebeanspruchten Querhäupter sind aus IPB 900 Profilen hergestellt und damit außerordentlich biegesteif. Um die Stütze leichter in die Belastungskonstruktion einbauen zu können, ist das obere Querhaupt horizontal verschiebbar. Die seitlichen Zugstangen sind daher als Rahmentragwerk ausgeführt, wobei die Zugglieder entsprechend ihrer Belastung aus IPB-Profilen mit unterschiedlichen Querschnittsabmessungen gebildet werden (Abb. 2). Das obere Querhaupt, das verschieblich auf einem Querträger (IPB 100) liegt, wird während des Versuches von unten gegen den 80 cm langen oberen Querriegel (I 500) der Zugstangenkonstruktion gedrückt. Der Hydraulikzylinder hat eine maximale Prüfkraft von 2000 kN. Je nach Bedarf können auch Prüfzylinder mit geringerer Prüfkraft verwendet werden.

## 3. Meß- und Regeleinrichtungen

### 3.1 Messen und Steuern der Brandraumtemperaturen

Die Temperaturen im Brandraum sind mit Thermopaaren nach DIN IEC 584 Teil 1 + 2 Ausgabe 85 [3] zu messen, wobei für jeden Meter der Länge des Probekörpers ein Thermoelement, im ganzen aber mindestens fünf Thermoelemente gleichmäßig verteilt anzuordnen sind. Im vorliegenden Fall werden sechs handelsübliche 1,3 m lange Mantelthermoelemente in wassergekühlten Schutzrohren verwendet (Abb. 6).

Die Brandraumelemente werden durch die Ofenwand gesteckt und kragen ca. 1,0 m frei in den Brandraum aus. Da dort Temperaturen bis zu maximal 1133 °C auftreten, müssen sie mit Wasser gekühlt werden, um zu große Verformungen zu vermeiden. Erfahrungsgemäß behalten die Brandraumelemente ihre Form, wenn die Kühlung mit einem Wasserdurchfluß von 2,0 bis 4,0 l/min betrieben wird. Die Wasserkühlung der Thermoelemente beginnt ca. 130 mm hinter den Meßstellen der Mantelthermoelemente, die einen Außendurchmesser von 3,2 mm haben und aus Thermomaterial NiCr/Ni bestehen.

Die Meßstellen der Thermoelemente sind vom Mantel isoliert ausgeführt. Vom Anschlußkopf der Brandraumelemente werden Ausgleichsleitungen zu den Vergleichsmeßstellen geführt. Als Vergleichsmeßstellen dienen Meßpunkte in Thermoflaschen, die mit Eiswasser gefüllt sind und somit über mehrere Stunden eine Temperatur von 0 °C behalten. Die Aufzeichnung der Themospannungen (EMKs) erfolgt z. B. im einfachsten Fall mit einem mehrkanaligen Kompensationspunktendrucker (Abb. 7).

Die Themospannungen werden sowohl als Einzelwerte auf einem Schreiber (mV-Meßbereich mit kalibriertem Schreib-

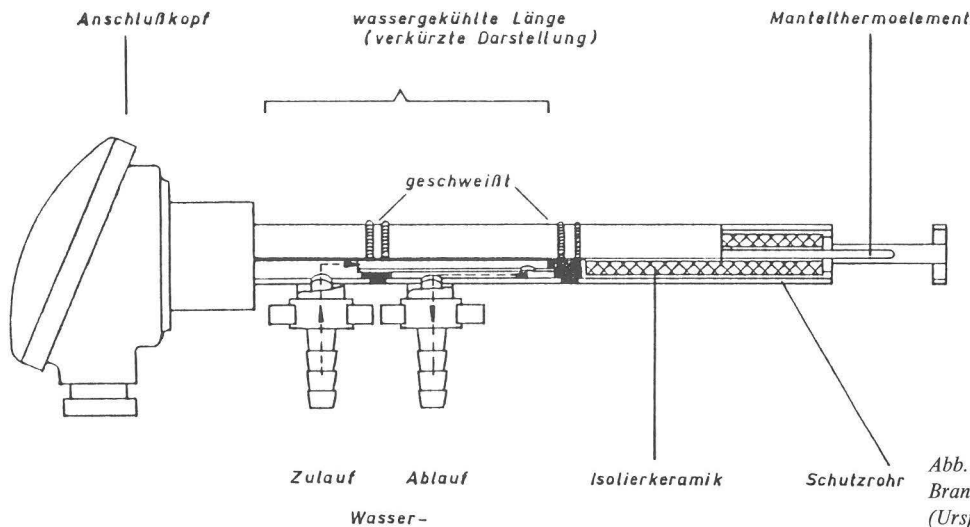


Abb. 6  
Brandraumthermoelement mit Wasserkühlung  
(Ursprung: HERAEUS-Werkszeichnung)

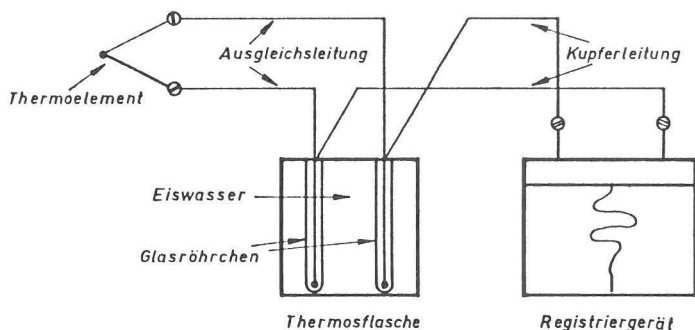


Abb. 7  
Prinzip der Messung und Aufzeichnung von Temperaturen

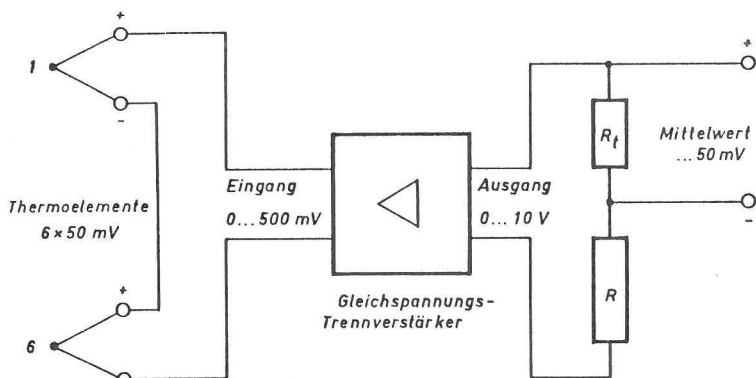


Abb. 8  
Schaltbeispiel der Mittelwertbildung  
(für 6 Thermolemente)

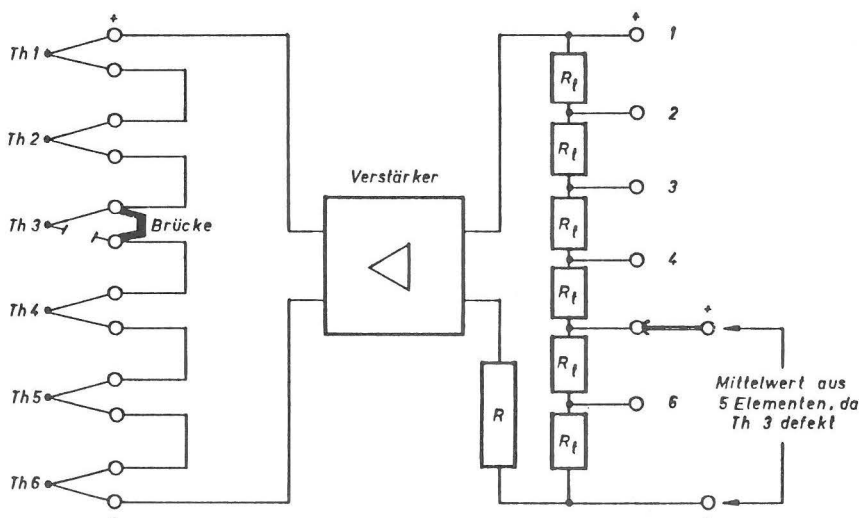


Abb. 9  
Schaltbeispiel der Mittelwertbildung  
(bei Ausfall eines Elementes)

papier) registriert als auch als Summenspannung einem Meßverstärker zugeführt. Der Ausgang des Meßverstärkers ist mit einem Widerstand abgeschlossen, so daß über einem Teilwiderstand der Mittelwert abgegriffen werden kann. (Beispiel in Abb. 8 mit 6 Thermolementen, Verstärkereingang 0... 500 mV, Verstärkerausgang 0... 10 V)

Diese einfache und betriebssichere „Mittelwertbildungsvorrichtung“ ist zusätzlich mit einem umschaltbaren Spannungsteiler ausgerüstet, so daß sie sich — und dies ist für eine störungsfreie Versuchsdurchführung sehr wichtig — bei Ausfall eines oder mehrerer Brandraumelemente leicht der neuen Situation anpassen läßt. Abb. 9 zeigt hierzu ein Beispiel mit 6 Thermolementen im Einsatz und einem Defekt bei Thermolement Nr. 3.

Dem Mittelwert (Istwert) der Brandraumtemperatur wird der Sollwert eines Programmgebers gegenübergestellt und die sich daraus ergebende Abweichung auf einem Großanzeiger sichtbar gemacht. Der Programmgeber besteht aus einem Potentiometer, das optisch-elektrisch gesteuert einen Stellwert von einer mit einer Kunststoffolie bespannten Trommel erhält. Auf dieser Folie ist die Einheit-Temperaturzeitkurve (ETK) aufgetragen. Die am Potentiometer zeitlich veränderliche Spannung (Sollwert) wird dem elektrischen Signal des Mittelwertes (Istwert) entgegengeschaltet und dem Verstärker des Großanzeigers zugeleitet. Dieser für alle am Versuch Beteiligten gut sichtbare Großanzeiger hat das Aussehen einer Uhr (Abb. 10).

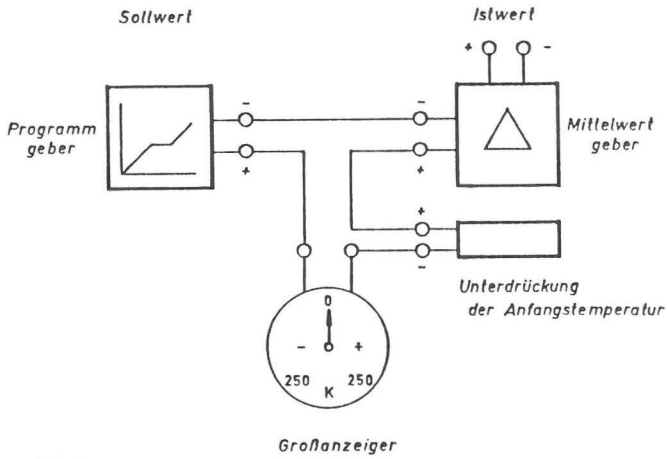


Abb. 10  
Prinzipschaltung des Soll-Istwertvergleichs der Brandraumtemperatur

Der Mitarbeiter, der die Brenner bedient, kann so jederzeit aus der Abweichung vom Idealwert „Null“ den Verlauf der Brandraumtemperaturkurve beurteilen und gegebenenfalls sofort beeinflussen. Die Temperaturverteilung im Brandraum, ein ebenso wichtiges Kriterium, wird ihm außerdem über Kopfhörer von der Meßwarte durch Ansage mitgeteilt, so daß ebenfalls sofort eine Korrektur der Brenner erfolgen kann.

### 3.2 Steuerung der Belastung

Die Belastung der zu prüfenden Stützen wird mit Hilfe eines Hydraulikzylinders aufgebracht, der auf dem unteren Querhaupt des Belastungsrahmen steht. Die maximale Prüfkraft von 2000 kN erzeugt ein Ölhydraulikaggregat mit Ölrückkühlung. Eine Radialkolbenpumpe fördert aus einem Tank ständig Öl. Durch Öffnen des Vorlaufventils gelangt der Ölstrom in die Druckkammer des Zylinders, in der sich durch ein federbelastetes Regelventil ein vorher eingestellter Öldruck aufbaut. Durch Verstellung dieses Ventils kann ein Öldruck von 50 bar bis 450 bar und damit eine Kraft zwischen 200 und 2000 kN stufenlos eingestellt werden. Ein einmal eingestellter Wert bleibt während des Versuches mit großer Genauigkeit konstant. Da sich bei Dauerbetrieb das Hydrauliköl erwärmt, wobei sich dann seine hydraulischen Eigenschaften wie Viskosität und Kompressibilität verändern, führt man es über einen Wasserkühler, bevor es in den Tank zurückfließt. Der Verbrauch des Kühlwassers ist optimiert; d. h. ein im Tank befindlicher Thermostat öffnet das Kühlwasserventil erst bei Erreichen einer Öltemperatur von ca. 35 °C. Zur Kühlung werden dann ca. 12 l Wasser pro Minute benötigt (Abb. 11).

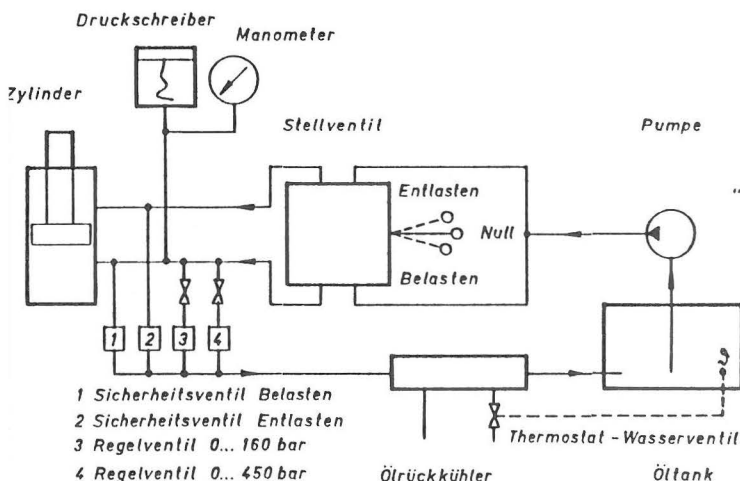


Abb. 11  
Schematische Darstellung der Belastungshydraulik

### 3.3 Messung und Steuerung des Brandraumdruckes

Zur Messung des Druckes im Brandraum wird durch die Ofenwand ein Rohr geschoben, das einen Außendurchmesser von 22 mm und eine Wanddicke von 2 mm hat. Auf das außenliegende Rohrende dieser Sonde ist ein wärmebeständiger Schlauch gesteckt, der mit der Eingangsseite eines Tauchglocken-Meßwerkes verbunden ist. Die Tauchglocke ist mit einem Verlagerungsaufnehmer ausgerüstet, dessen elektrisches Ausgangssignal ein Maß für den im Brandraum herrschenden Druck ist.

Zur Steuerung des Druckes im Brandraum — die Brandversuche sollen nach Abschnitt 6.2.5 der Prüfnorm [2] mit einem Überdruck von  $10 \pm 2$  Pa gefahren werden — dient eine in den Schornstein eingebaute Strahl-Saugzug-Anlage. Hierbei handelt es sich um einen einseitig ansaugenden Radialventilator, der Luft aus der freien Umgebung ansaugt und sie über ein Blasrohr mit einer speziellen Düse in den an dieser Stelle als Venturirohr ausgebildeten Kamin in Richtung Schornsteinkopf einbläst. Es entsteht dadurch in der übrigen Abzugsanlage ein Sog, der die Rauchgase aus dem Brandraum abziehen läßt. Die maximale Förderleistung beträgt 1,7 m<sup>3</sup> Luft in der Sekunde bei einer Gebläsedrehzahl von 1460 U/min.

### 3.4 Messen der Verformungen der Probestütze

#### 3.4.1 Verformungen in vertikaler Richtung

Die Probestütze, eingespannt in die Belastungskonstruktion zwischen Hydraulikzylinder und oberem Querhaupt (siehe Abschnitt 2.2), dehnt sich infolge der Erwärmung in ihrer Längsrichtung aus. Dies führt zu einem Druckanstieg im Hydrauliksystem und damit zu einem Anstieg der Belastung der Probestütze über den eingestellten Wert hinaus, der jedoch durch Ansprechen des eingebauten Regelventils wieder abgebaut wird. Der Kolben des Hydraulikzylinders wird also in den Zylinder hineingeschoben, solange sich die Probestütze im elastischen Bereich befindet und länger wird. Diese Bewegungsrichtung kehrt sich jedoch kurz vor dem Tragfähigkeitsverlust der Probestütze um, weil plastische Verformungen auftreten, durch die die thermisch bedingte Verlängerung der Stahlstütze mehr als kompensiert wird. Die Stütze wird gestaucht und meist auch zusätzlich verbogen, so daß sie sich dadurch weiterer Lastaufnahme entzieht. Am Kolben des Zylinders und an der Druckplatte sind daher Wegaufnehmer installiert worden, die den Verformungsvorgang registrieren (siehe Abb. 12).

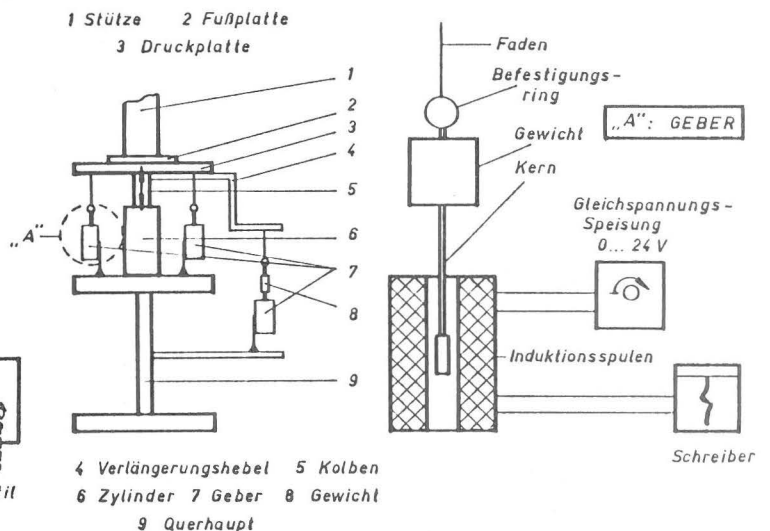


Abb. 12  
Prinzip der Verformungsmessung für die Vertikalverschiebung

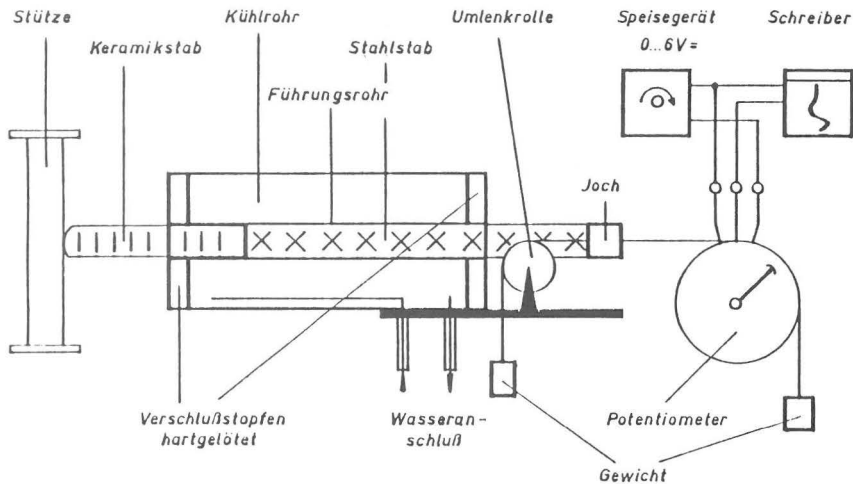


Abb. 13  
Prinzip der Verformungsmessung für die Horizontalverschiebung

### 3.4.2 Verformungen in horizontaler Richtung

Die Größe der Ausbiegung wird mit Hilfe von Keramikastern erfaßt. Hierzu wird ein mit Wasser gekühltes Führungsrohr durch die Ofenwand gesteckt. Im Führungsrohr liegt ein Stahlstab, vor dem sich ein Keramikstab befindet, der in seinem vorderen Bereich direkt der heißen Ofenatmosphäre ausgesetzt werden kann, ohne sich allzu sehr auszudehnen und ohne seine hier maßgebende Festigkeit zu verlieren. Dieser Keramikstab, der mit dem nachgeordneten Stahlstab ständig in Berührung bleibt, wird durch Gewichte gegen die Stützenoberfläche gedrückt. Am freien Ende des Stahlstabes ist ein gewichtsbelasteter Faden befestigt, der über die Seilscheibe eines Ringpotentiometers gelegt worden ist. Bei einer Ausbiegung der Stütze wird der Schleifer des Ringpotentiometers verstellt. Dadurch wird von dem Potentiometer ein wegproportionales Signal erzeugt, das von einem Linienschreiber aufgezeichnet werden kann — siehe Abb. 13.

### 3.5 Messung der Stahltemperaturen

In den Prüfvorschriften sind die Punkte festgelegt, an denen die Temperaturen auf der Oberfläche der Stahlstütze zu messen sind. Sind sie kleiner als 500 °C genügen Thermodrähte. Werden höhere Stahltemperaturen erwartet, werden Mantelthermoelemente verwendet, die einen Außendurchmesser von 1,6 mm haben. Die elektrischen Signale werden mit Registriergeräten, die in der Regel Linearisierungsmodule besitzen, aufgezeichnet.

## 4. Die Normbrandprüfung im Stützenprüfstand

Im Stützenprüfstand der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung werden in der Mehrzahl der Fälle Normbrandprüfungen an Brandschutzbekleidungen in Verbindung mit Stahlstützen durchgeführt. Abschnitt 7.3 der DIN 4102 Teil 2 enthält Normkonstruktionen für derartige Brandprüfungen. Danach werden die brandschutztechnischen Eigenschaften der Bekleidung geprüft, indem man die Auswirkungen der thermischen Beanspruchung auf das Tragverhalten des Stahlbauteiles untersucht. Die Stahlstütze ist somit der Prüfkörper, an dem sich die Wirksamkeit der Bekleidung ablesen läßt. Die Prüfung der Bekleidungen in Verbindung mit Stahlstützen erfolgt bei jeweils vierseitiger Brandbeanspruchung unter einfachen, experimentell verhältnismäßig leicht zu realisierenden und reproduzierbaren Randbedingungen. Die bekleidete 3,6 m lange Stütze befindet sich bis auf die Lasteinleitungsbereiche am Stützenkopf (ca. 45 cm) und Stützenfuß (ca. 15 cm) im Brandraum des Ofens. Die beflammete Länge beträgt damit 3,0 m. Die thermisch bedingte Dehnung der Stahlstütze wird nicht behindert. Die Temperatur im

Brandraum wird entsprechend der in DIN 4102 Teil 2 festgelegten Einheits-Temperaturzeitkurve (Abb. 14) gesteuert:

$$\vartheta_{Br} - \vartheta_o = 345 \cdot \lg(8t+1)$$

$\vartheta_{Br}$  = Brandraumtemperatur in K

$\vartheta_o$  = Temperatur des Probekörpers bei Versuchsbeginn in K

t = Zeit in Minuten

Abb. 15 zeigt ein Meßprotokoll mit den Brandraumtemperaturverläufen während eines Normbrandversuches. Der Verbrauch an leichtem Heizöl EL nach DIN 51603 Teil 1 [4] liegt während eines Normbrandversuches immer in der gleichen Größenordnung und beträgt je nach Bekleidungsmaterial zwischen 1,8 und 2,4 l/min.

Die Prüfrichtlinien verlangen, daß die Probestütze während des Brandversuches mit der rechnerisch zulässigen Last nach DIN 1050 [5] und DIN 4114 [6] zentrisch belastet wird. Die Knicklänge ist entsprechend dem dritten Eulerfall anzunehmen, und die Knickrichtung ist so vorzugeben, daß die Knickung um die schwache Achse erfolgt. Abb. 16 zeigt verschiedene Stahlstützen nach dem Brandversuch im entkleideten Zustand. Als Feuerwiderstandsdauer wird, unabhängig vom Versagen, die Zeitdauer bis zum Erreichen einer mittleren Stahltemperatur von 500 °C definiert. Diese Temperatur wird aus drei Meßwerten gebildet, die an den Querschnitten 1, 2 und 3 gemessen werden (Abb. 17). Die Meßquerschnitte liegen, bezogen auf den Brandraum, in den Viertelpunkten und in halber Höhe. Darüber hinaus zeigt Abb. 17 das zum Zeitpunkt des Tragfähigkeitsverlustes für den Stützenprüfstand der BAM charakteristische Temperaturprofil in Längsrichtung der Stahlstütze mit dem Maximalwert im oberen Drittel. Es wurde aus 10 Versuchen gemittelt und für die Meßstelle 1 auf 500 °C normiert. Dabei wurden in den einzelnen Querschnittsebenen keine über die Meßsicherheit hinausgehenden Temperaturgradienten festgestellt. In Abb. 18 sind beispielhaft die Temperaturverläufe an den 3 Meßquerschnitten einer Stahlstütze während eines Normbrandversuches aufgetragen.

Abb. 19 zeigt die thermisch bedingte Längenänderung einer Stahlstütze während eines Normbrandversuches. Erwartungsgemäß wird der Probekörper mit steigender Temperatur länger. Erst gegen Versuchsende, wenn die Streckgrenze des Stahlprofils in den Bereich der Bemessungsspannungen abgesunken ist (Abb. 20), wird die thermisch bedingte Verlängerung der Stütze, wie bereits erläutert, durch die plastischen Verformungen im Stahlprofil kompensiert. Die Stahlstütze wird kürzer, sie entzieht sich weiterer Lastaufnahme, der Probekörper versagt. Die Prüfpraxis hat gezeigt, daß die Mehrzahl der Stützen erst bei einer mittleren Stahltemperatur zwischen 500 °C und 525 °C ihre Tragfähigkeit verlieren.

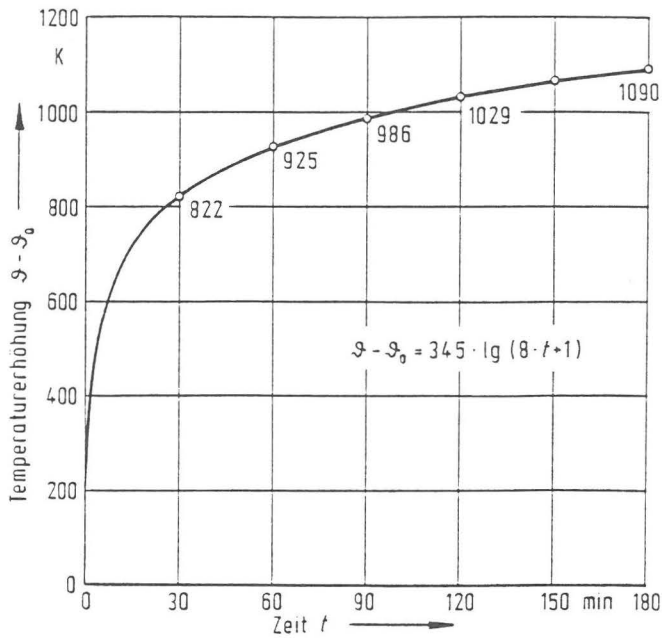


Abb. 14  
Einheits-Temperaturzeitkurve nach DIN 4102 Teil 2

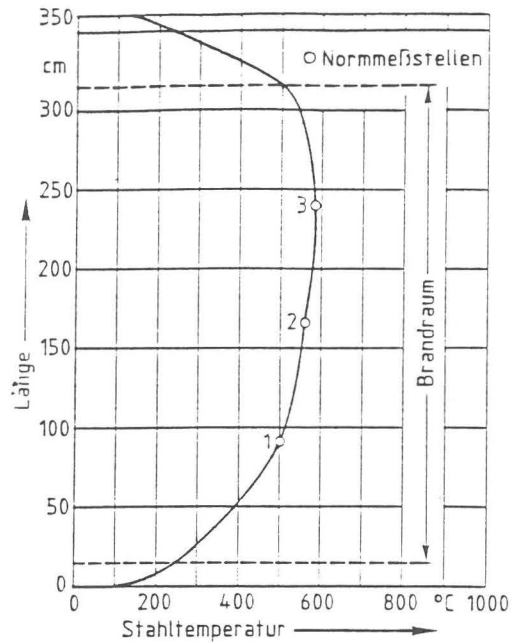


Abb. 17  
Qualitativer Verlauf der Stahltemperatur als Funktion von der Stützenlänge

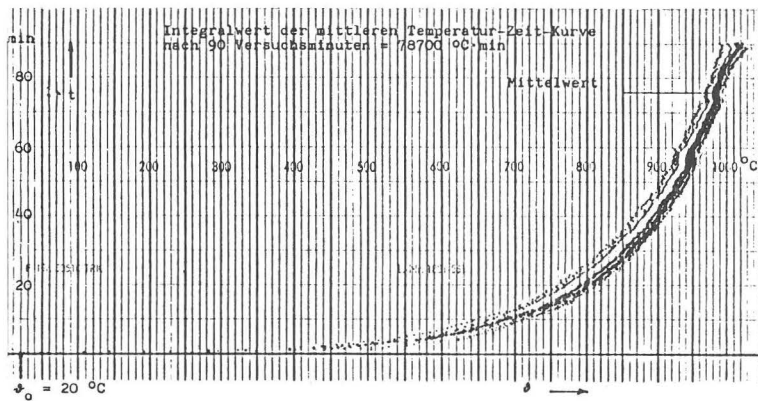


Abb. 15  
Brandraumtemperatur  $\vartheta_{Br}$  in Abhängigkeit von der Zeitdauer  $t$  des Normbrandversuches

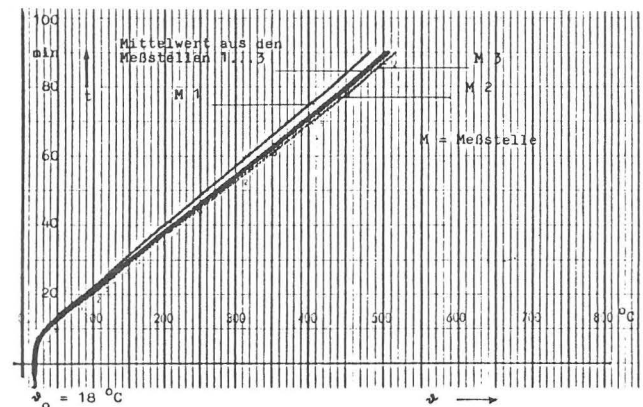


Abb. 18  
Stahltemperatur  $\vartheta_S$  in Abhängigkeit von der Zeitdauer  $t$  des Normbrandversuches

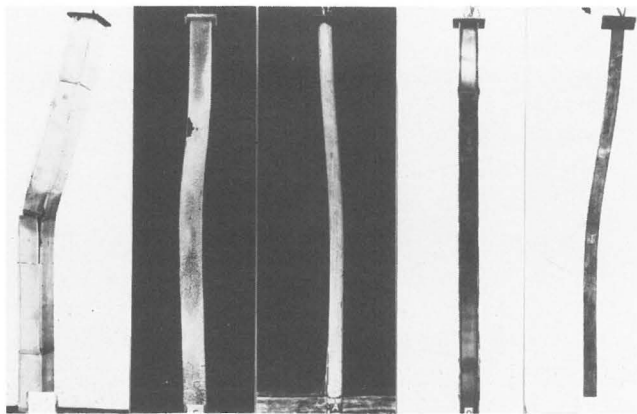


Abb. 16  
Diverse Stahlstützen nach dem Brandversuch im entkleideten Zustand

Hinsichtlich der statischen Randbedingungen des Probekörpers in der Belastungskonstruktion wurde früher von der Biegelinie der Stahlstütze ausgegangen, die sich zum Zeitpunkt des Versagens ausbildet. Hierbei zeigte sich, daß die Form der Biegelinie Ähnlichkeiten mit der Knickfigur des dritten Eulerfalles aufweist. Dies ließ den Schluß zu, daß die Stütze oben eingespannt und unten gelenkig gelagert ist. Diese allein auf experimentellen Daten fuende Einschätzung, wurde in der

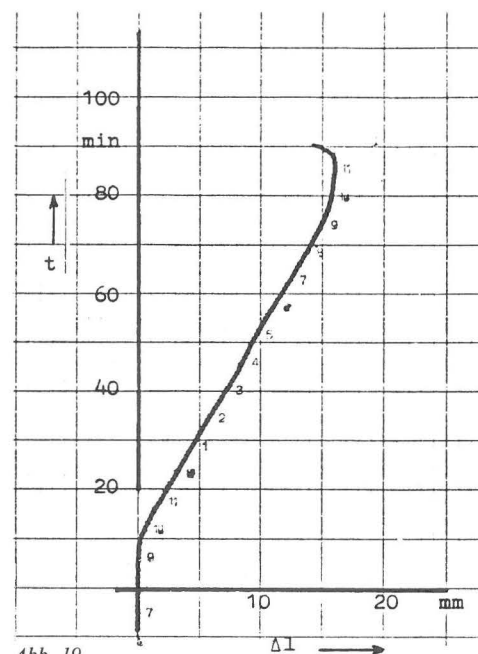


Abb. 19  
Thermisch bedingte Längenänderung des Probekörpers in Abhängigkeit von der Zeitdauer des Normbrandversuches

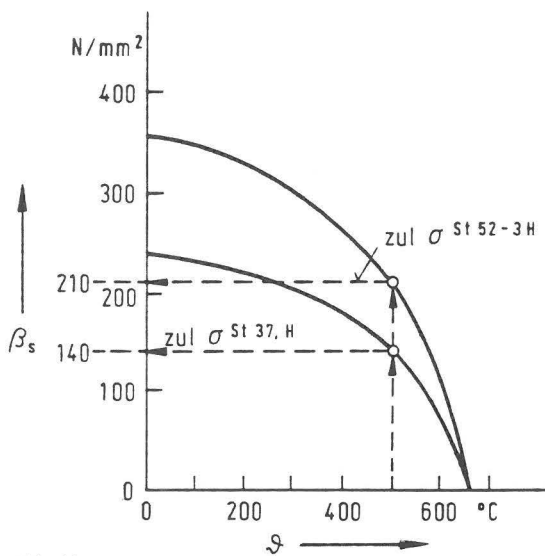


Abb. 20  
Abfall der Streckgrenze von Baustahl bei höheren Temperaturen

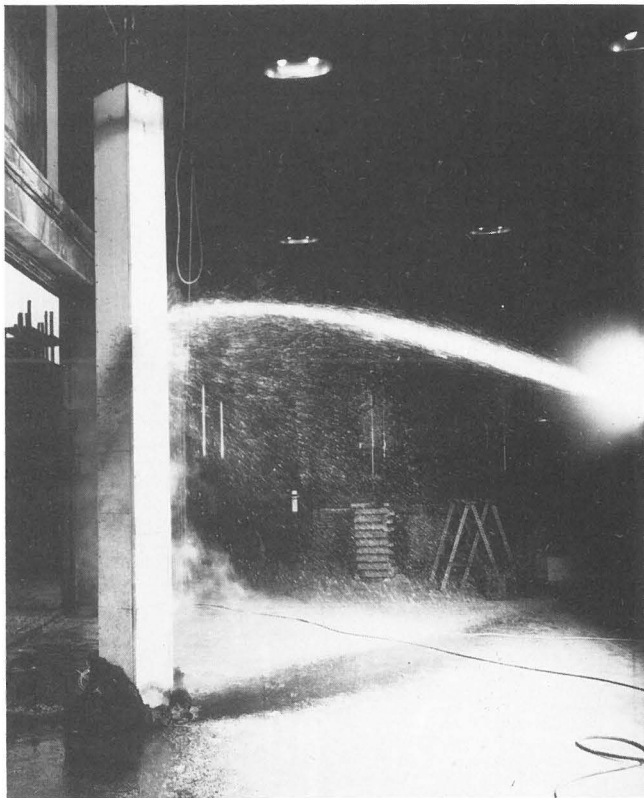


Abb. 21  
Der Löschwasserversuch nach DIN 4102 Teil 2

Zwischenzeit durch systematische rechnerische Analysen bestätigt. Hierbei wurde mit einem rechnerischen Verfahren das Tragverhalten von Stahlstützen während der Normbrandversuche rechnerisch simuliert — siehe [7], [8].

Soll die Bekleidung der Stützen in die Feuerwiderstandsklassen F90 und höher eingereiht werden, also feuerbeständig sein, so muß ein Probekörper zusätzlich noch unmittelbar nach dem Brandversuch der Löschwasserbeanspruchung nach Abschnitt 6.2.10 der DIN 4102 Teil 2 standhalten (Abb. 21). Dabei dürfen die tragenden Stahlteile nicht in „gefährdender“ Weise freigelegt werden.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Stützenprüfstand der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) werden vornehmlich Normbrandprüfungen an Bekleidungen in Verbindung mit Stahlstützen nach Abschnitt 7.3 der DIN 4102 Teil 2 durchgeführt. Die Belastungskonstruktion des Prüfstandes ist so konzipiert, daß die Stütze entsprechend dem dritten Eulerfall gelagert und belastet ist und daß ihr Versagen über die schwache Achse erfolgt. Der Prüfstand hat sich über die 22 Jahre, die er im Einsatz steht, als ein zuverlässiges Prüfgerät erwiesen. Die Prüfungsergebnisse sind sehr gut reproduzierbar [8]. Der Bedienungsaufwand ist verhältnismäßig gering mit nur einem Versuchsleiter sowie zwei Meßtechnikern zur Vorbereitung und Durchführung eines Normbrandversuches.

Ergebnisse aus Normprüfungen sind notwendig. Mit ihnen läßt sich allerdings verhältnismäßig wenig über das Tragverhalten von Stützen aussagen, die sich im Verbund in einem brandbeanspruchten Bauwerk befinden, da der Einfluß der Anschlußbauteile nicht erfaßt wird. In der brandbeanspruchten Gesamtkonstruktion wird die Einzelstütze Lastumlagerungen unterworfen, Stützenkopf und -fuß werden verschoben und verdreht, die statischen Randbedingungen verändern sich. Die zusätzlich eingepprägten Kraft- und Verschiebungsgrößen sind abhängig von Art, Größe und Ort des Schadenfeuers, so daß sie fortwährenden Veränderungen unterworfen sind. Es liegen also Beanspruchungen vor, die während des Normbrandversuches überhaupt nicht simuliert wurden. Um auch solche Einflüsse auf das Tragverhalten von Stützen zu untersuchen, wird zur Zeit in der BAM ein Universal-Stützenprüfstand errichtet, bei dem Stützen in Längen bis zu 5,6 m geprüft werden können.

## Literatur

- [1] Bauordnung für Berlin (BauO Bln) in der Fassung vom 1. Juli 1979 (GVBl S. 898)
- [2] DIN 4102 Teil 2: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen — September 1977
- [3] DIN IEC 584 Teil 1: Thermopaare: Grundwerte der Thermospannungen  
Teil 2: Thermopaare: Grenzabweichungen der Thermospannungen  
Ausgabe 1985
- [4] DIN 51603 Teil 1: Flüssige Brennstoffe; Heizöle, Heizöl EL, Mindestanforderungen — Dezember 1981
- [5] DIN 1050: Stahl im Hochbau; Berechnung und bauliche Durchbildung — Juni 1968
- [6] DIN 4114 Teil 1 und Teil 2: Stahlbau; Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung) — Juli 1952 bzw. Februar 1953
- [7] Bock, H. M.: Brandschutz im Stahlbau — Ein Forschungsschwerpunkt im Laboratorium „Brandschutz, Feuerschutz“. Amts- u. Mitteilungsbl. BAM 16 (1986) Nr. 2, S. 167-177
- [8] Bock, H. M.: Über das Tragverhalten von Stahlstützen während eines Brandversuches nach Abschnitt 7.3 der DIN 4102 Teil 2. Stahlbau 56 (1987) H. 6, S. 161-168

# Referate wissenschaftlicher Veröffentlichungen aus der BAM, die in anderen Zeitschriften erschienen sind

## Inhaltsverzeichnis

	Seite		
Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Komponentensicherheit, Teilvorhaben: Werkstoffmechanik <i>Projektleiter: D. Aurich</i>	691	Estimation of maximum pressures resulting from the deflagration of black power in vented rooms <i>N. Pfeil</i>	692
Zertifizierte Referenzmaterialien (Euronorm-ZRM) für die Bestimmung von Sauerstoff in Stahl — neuere Entwicklungen. <i>R. Oberhauser</i>	691	Probleme und Aussichten bei Holzwerkstoffen in Europa <i>H.-J. Deppe</i>	693
Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen <i>J. Ludwig, W.-D. Mischke und A. Ulrich</i>	691	Untersuchungen zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen für den Holzleimbau <i>H.-J. Deppe und K. Schmidt</i>	693
Zur geowissenschaftlichen Einordnung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland und einer sicheren Auslegung technischer Systeme gegen den Lastfall Erdbeben <i>M. Dogunke und F. Buchhardt</i>	692	Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe — Literaturübersicht— <i>M. Woydt und K.-H. Habig</i>	694
Prüfung und Bewertung persönlicher Schutzausrüstungen <i>A. Rook</i>	692	Threedimensional thresholds of color-difference perceptibility in painted samples: variability of observers in 4 CIE color regions. <i>K. Witt</i>	694
Waschgeräte heute <i>U. Sommer</i>	692	Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen <i>G. Andreae und G. Niessen</i>	694
Unterscheidung von EPM und EPDM in Elastomeren <i>H.-J. Kretzschmar, K. Tobisch und D. Groß</i>	692	Prüfverfahren zur Bestimmung der Scherfestigkeit bei Verbindungsproblemen <i>J. Munschau</i>	695
		Das dynamische Verhalten von Schweißpunkten in höherfesten Feinblechen. <i>H.-J. Krause, H. Preß und G. Simon</i>	695

## Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Komponentensicherheit, Teilvorhaben: Werkstoffmechanik

*Projektleiter: D. Aurich*

● Forschungsbericht der BAM Nr. 137, Mai 1987, 187 Seiten

Dem Vorhaben lag die Aufgabe zugrunde, Daten und Ergebnisse der Reaktorsicherheitsforschung auf dem Gebiet der Komponentensicherheit zu erfassen und zu ergänzen, um die Versagensanalysen von Komponenten im elastisch-plastischen Bereich auf eine wissenschaftlich hinreichend gesicherte Grundlage stellen zu können. Dabei wurden die Verfahren der Bruchmechanik im weitesten Sinne unter Beachtung makroskopischer und mikroskopischer Festigkeitshypothesen und unter Berücksichtigung des temperatur- bzw. beanspruchungsgeschwindigkeitsbedingten duktil-spröden Bruchübergangs der ferritischen Stähle analysiert, auf ihre Schlüssigkeit untersucht, ihre Anwendungsgrenzen ausgelotet und damit die Übertragbarkeit der Ergebnisse von Proben auf Bauteile überprüft. Dies schloß auch die Weiterentwicklung der Methodik der Ermittlung und Darstellung des Beanspruchungszustandes, der Versuchsdurchführung und der Bauteilbewertung ein. Zu einer Reihe aktueller Einzelprobleme wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen: Einfluß von Belastungsart, Größe, Geometrie und Beanspruchungsgeschwindigkeit und Eigenschaftsgradienten bei Schweißverbindungen auf das J-Integral, die Rißspitzenverschiebung und auf das Spannungs- und Verzerrungsfeld in der Umgebung der Rißspitze, Versagensverhalten unter dynamischer Beanspruchung, Zusammenhang zwischen Kerbschlagarbeit und Rißwiderstand und Übertragbarkeit von Werkstoffkennwerten, insbesondere von Rißwiderstandskurven, zwischen verschiedenen Probenarten sowie von Proben auf Bauteile.

## Zertifizierte Referenzmaterialien (Euronorm-ZRM) für die Bestimmung von Sauerstoff in Stahl — neuere Entwicklungen

*R. Oberhauser*

Stahl und Eisen 107 (1987) S. 550

Es werden zwei Typen von ZRM für die Sauerstoffbestimmung in Stahl beschrieben, die auf unterschiedliche Weise gegen den Angriff von Luftsauerstoff geschützt sind.

Es sind dies Stahlspäne aus hochlegiertem, nichtrostendem Stahl, sowie goldbeschichtete Kugeln aus niedriglegiertem Stahl. Die Vorteile gegenüber dem bislang eingesetzten Material aus unlegiertem Stahl werden dargestellt.

Darüber hinaus erweitert sich das Angebot um eine Probe mit sehr niedrigem Sauerstoffgehalt.

## Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen

*J. Ludwig, W.-D. Mischke, A. Ulrich*

● Forschungsbericht der BAM Nr. 135, Februar 1987, 27 Seiten

In einer den Stückgutumschlag von gefährlichen Gütern im Hafen von Rotterdam betreffenden Studie wurde die Frage aufgeworfen, ob Tanks von Tankcontainern für verflüssigte Gase bei einem Unfall während des Be- und Entladens von Schiffen — etwa dem Sturz aus einem Krangeschirr — total oder partiell versagen werden. Zur Beantwortung dieser Frage waren Versuche mit einem Tankcontainer erforderlich, um die bestehende Informationslücke wenigstens näherungsweise schließen zu können. Hierbei sollte insbesondere der für

Risikobetrachtungen besonders relevante Fall des Verhaltens von Chlorgastanks betrachtet werden. Durchgeführt wurden insgesamt vier Fallversuche mit einem Tankcontainer (drei Fall- und ein Penetrationsversuch). Über die Durchführung und Ergebnisse dieser Versuche sowie die daraus resultierenden ersten Empfehlungen für den sicheren Tankumschlag verflüssigter Gase in Hafengebieten wird berichtet.

### Zur geowissenschaftlichen Einordnung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland und einer sicheren Auslegung technischer Systeme gegen den Lastfall Erdbeben

M. Dogunke und F. Buchhardt

● Forschungsbericht der BAM Nr. 138, Mai 1987, 42 Seiten

Der Bericht beschreibt den derzeitigen Wissensstand über die potentielle Erdbebengefährdung in der Bundesrepublik Deutschland und befaßt sich weiterhin mit unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten hinsichtlich einer erdbebensicheren Bauwerksauslegung.

Die Untersuchung ist in 5 Abschnitte aufgeteilt:

- Schilderung der globaldynamischen Prozesse im Erdinnern nach dem Modell der Plattentektonik sowie Betrachtung der damit zusammenhängenden geologischen Kräfteeinwirkungen
- Erklärung der Erdbebenterminologie und -problematik
- Einordnung der Bundesrepublik Deutschland aus seismologischer Sicht
- Darstellung der geowissenschaftlichen Aufgaben hinsichtlich einer erdbebensicheren Bauwerksauslegung
- Darlegung der ingenieurwissenschaftlichen Aufgaben hinsichtlich einer erdbebensicheren Bauwerksauslegung.

Ferner werden einige Problemkreise künftiger Forschungsthemen angesprochen.

### Prüfung und Bewertung persönlicher Schutzausrüstungen

A. Rook

Melliand Textilberichte 6 (1987) S. 396-401

Der Beitrag beschäftigt sich speziell mit der Frage der Prüfung und Bewertung persönlicher Schutzausrüstungen für den Bereich Hitzeschutz, Flammenschutz und Schutz vor heißen Metallschmelzen. Durch die Verwendungseinschränkungen von Asbesttextilien für derartige Schutzkleidung und den Einsatz weitgehend organischer Austauschwerkstoffe ist es national und international erforderlich geworden, geeignete Prüfverfahren zu entwickeln und deren Ergebnisse sicherheitstechnisch zu beurteilen. Neben einem Überblick über die im Bereich der oben genannten persönlichen Schutzausrüstungen eingesetzten Asbestaustauschwerkstoffe wird eine Übersicht über die derzeit im DIN bzw. in der ISO vorhandenen Normen oder Normungsaktivitäten auf dem Schutzkleidungssektor gegeben.

### Waschgeräte heute

U. Sommer

Seifen-Öle-Fette-Wachse 113 (1987) S. 206-214

Waschgeräte sind langlebige Konsumgüter, die einer ständigen Weiterentwicklung unterliegen. Ein Entwicklungsschwerpunkt

war ab 1978 die Optimierung der Verbrauchswerte. Die Auswertung der Ergebnisse aus der Untersuchung von über 100 Waschmaschinen-Typen aus den Jahren 1979-85 ergibt, daß der Strom- und Wasserbedarf für die Haushaltswäsche im Vergleich zu einem längeren Zeitraum vor 1978 deutlich erniedrigt worden ist. So werden für ein Kochwaschprogramm 1986 z. T. nur noch 2,4 kWh statt bisher über 3 kWh und etwas mehr als 100l statt bisher etwa 150l Wasser benötigt. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse zu den Gebrauchseigenschaften der 4 wichtigsten Waschprogramme, daß gegenüber 1978 weitere Verbesserungen festzustellen sind. Die Leistungsmöglichkeiten sind überwiegend sehr gut bis gut. Die angegebenen Daten wurden mit Hilfe eines Maschinen-Prüfstands ermittelt, dessen Möglichkeiten erläutert werden.

Durch die Novellierung des Waschmittelgesetzes (Maschinen-Regelung) sind bereits begonnene Entwicklungen zur Verringerung des Waschmittelbedarfs beim Waschen intensiviert worden. Dazu sind insbesondere verschiedenartige technische Vorrichtungen zur Verhinderung des sog. mechanischen Waschmittelverlustes zu nennen, die z.T. in der BAM untersucht wurden und die zu einer Waschmittel-Einsparung von 20-30% führen sollen. Auf andere neuartige geräte-technische Konzepte zur Minimierung des Waschmittelverbrauchs bzw. des Verbrauchs einzelner Inhaltsstoffe von Waschmitteln wird hingewiesen. Sie gewinnen an Bedeutung und erreichen wegen der verstärkten Beachtung ökologischer Fragestellungen zum Waschprozess starkes öffentliches Interesse. Dazu gehört z. B. das Waschen mit enthärtetem Wasser oder das Komponentenwaschverfahren. Es ist aber nicht zu erwarten, daß bei langlebigen Konsumgütern aus ökologischen Gründen kurzfristig sichere neuartige Waschtechnologien eingeführt werden können.

### Unterscheidung von EPM und EPDM in Elastomeren

H.-J. Kretzschmar, K. Tobisch und D. Groß

Kautschuk + Gummi, Kunststoffe (1987) H. 5, S. 447-450

Eine Unterscheidung von Ethylen-propylen-Copolymeren und Ethylen-propylen-dien-terpolymeren (EPM- und EPDM-Elastomeren) war bisher nur in Ausnahmefällen möglich. Als neue Methode wird die Nachvernetzung mit Chlorschwefel ( $S_2Cl_2$ ) vorgestellt, eine Methode, die auch für vernetzte Polymere einsetzbar ist. Durch die entstandene höhere Netzwerkdicke steigt der Spannungswert in EPDM-Elastomeren deutlich an, während der Quellungsgrad abnimmt, allerdings weniger eindeutig. Diese Methode gibt bei einem Vergleich von EPDM-Typen mit gleicher Terkomponente einen Hinweis auf die Anzahl der Doppelbindungen. Die Art der Terkomponente läßt sich dagegen nur mit Hilfe der Gaschromatographie nach vorausgehender Pyrolyse erkennen. Es entstehen bei Ethylen-norbornen-haltigen EPDM-Elastomeren drei charakteristische isomere Bruchstücke  $C_7H_{10}$ , bei Dicyclopentadien-haltigen ein Fragment mit der Formel  $C_5H_8$ , jeweils aus vernetzbaren Seitengruppen der Terkomponente. Die Terkomponente in hexadien-haltigen EPDM-Elastomeren ist auf diese Weise nicht nachweisbar.

### Estimation of maximum pressure resulting from the deflagration of black powder in vented rooms

N. Pfeil

3rd Intern. Conf. of the „Group de Travail de Pyrotechnic Spatiale“ 8.-12.6.1987, Juan les Pines/Frankreich, S. 335-339

In case a heap of black powder is ignited from the bottom, the core of the heap deflagrates under self-confinement until the



outer layers of black powder are dispersed by the increasing interior pressure.

The deflagration under self-confinement results in a distinct pressure event and this effect was already discussed on the 16th International Conference of ICT 1985 combined with the 10th International Pyrotechnic Seminar at Karlsruhe.

That paper reported experiments to ensure the model mentioned above. An empirical function describing the maximum pressure in the corresponding blast wave in dependence on mass and distance was given and explained theoretically.

The deflagration of the dispersed outer layers of the heap of black powder leads to a further pressure event, which seems to be the pressure effect especially important under the usual conditions of the black powder producing and processing industry.

This pressure effect was observed in free field experiments as well as in experiments in vented rooms of a testing building, in a 1 m<sup>3</sup> steel box model and in a vented blasting bunker. The maximum pressure was found to be strongly influenced by the volume of the room and the venting area.

First results on the influence of the venting area were obtained in the 1 m<sup>3</sup> steel box and have been reported on the 11th International Annual Conference of ICT 1980. The better understanding of the distinct events, i. e. the reaction with and without self-confinement, makes it possible to derive empirically a function describing the dependence of the maximum pressure  $p_{\max}$  resulting from the deflagration of the dispersed black powder (without self-confinement) on the mass  $m$  of black powder, the volume  $V$  of the vented room and the venting area  $F$ .

For that the function  $p_{\max} = a \cdot m^b$  was fitted to the results of every series of experiments with given volume and venting area. From the four functions  $p_{\max} = f(m)$  for the 1 m<sup>3</sup> steel box ( $V = \text{constant}$ ) with venting areas from 0.05 m<sup>2</sup> up to 0.98 m<sup>2</sup> it was calculated in which way the parameters  $a$  and  $b$  depend on the venting area. These results were used to evaluate in a second step the dependence of the parameters  $a$  and  $b$  on the volume, employing the figures obtained for the different rooms investigated. For both  $a$  and  $b$  the exponent of the volume was obtained to be the negative of the exponent of the venting area. Due to the volume of 1 m<sup>3</sup> of the steel box the term  $F$  could directly be substituted by the term  $F/V$  in the relations previously found for that series of experiments. The term  $F/V$  is known from calculations on the venting of pressurized vessels.

The paper submitted describes in detail the derivation of the function  $p_{\max} = f(m, V, F)$  for the black powder investigated and discusses its applicability for purposes of safety engineering, i. e. for the estimation of maximum pressure loads on building elements in vented rooms especially in the pyrotechnic industry.

### **Probleme und Aussichten bei Holzwerkstoffen in Europa**

*H.-J. Deppe*

Holz als Roh- und Werkstoff 1987, H. 10, 16 Seiten

Die Marktentwicklung und der Substitutionswettbewerb haben bei der Erzeugung und beim Verbrauch von Holzwerkstoffen zu einem relativ stabilen Gleichgewichtszustand geführt. Kennzeichnend für diesen Sektor ist die Zunahme in der Entwicklung von Spezialplatten, was als Kennzeichen für Marktege beziehungsweise Marktsättigung gedeutet wird. Die zukünftigen Anforderungen an die Erzeugnisse resultieren aus Veränderun-

gen in der Rohstofflage (verstärkter Schwachholzeinsatz, Zunahme der Recyclingprozesse), Entwicklungen auf dem Klebstoffgebiet und einer laufenden Anpassung der Fertigungen an die Erfordernisse aus der Umweltschutzgesetzgebung. Beim Rohstoffeinsatz tritt besonders das sogenannte „Starkholzproblem“ in den Vordergrund. Durch Veränderungen in der Nachfrage kommt es zu einer Reduzierung in der Nachfrage nach Starkholz, wodurch die Wirtschaftlichkeit der einheimischen Forstwirtschaft in Frage gestellt wird. Hieraus resultiert für die Marktentwicklung, daß der Substitutionsprozeß für Massivholz noch nicht zum Abschluß gekommen ist.

### **Untersuchungen zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen für den Holzleimbau**

*H.-J. Deppe und K. Schmidt*

● Forschungsbericht der BAM Nr. 136, April 1987, 53 Seiten

Der Holzleimbau hat sich zu einem bedeutenden Zweig der holzindustriellen Fertigung entwickelt. Besonders vorteilhaft an dieser Technik ist die Möglichkeit zur wirtschaftlichen Verarbeitung von astreichem Schwachholz. Durch Lamellenverleimung unter Zuhilfenahme von Stumpf- oder Keilzinkenverleimung können Brettschichtthölzer in größeren Abmessungen mit relativ gleichmäßiger Struktur hergestellt werden. Die Verformbarkeit des Holzes erlaubt zahlreiche konstruktive Ausformungen.

Mitentscheidend für die Qualität und die Sicherheit eines Holzleimbauelementes ist die Güte der Verleimung. Mehrere Schadensfälle (Delaminierungen) waren Anlaß für gezielte Untersuchungen zur Bestimmung der Verleimungsqualität bei Brettschichtverleimungen. Allgemein läßt sich feststellen, daß Kurzprüfungen (Bestimmung der Festigkeit im Wege des Zugscher- oder Druckscherversuches) nur begrenzte Aussagen hinsichtlich der Verleimungsqualität erlauben. Differenzierungen innerhalb einer Leimgruppe sind mit diesen Versuchen kaum möglich. Vorgeschaltete Lagerungsfolgen (Kochwasser-, Trocknungsfolgen u. a. m.) haben den Nachteil, daß sie in der Regel auf besondere Leimtypen abgestimmt sind. So werden durch Kochwasserlagerungen Phenoplaste infolge Nachhärtungen begünstigt. Aminoplastmischharzverleimungen hingegen benachteiligt. Entscheidend ist jedoch, daß zwischen den Ergebnissen aus derartigen Kurzzeitprüfungen und dem Langzeitverhalten unter Freilandbedingungen keine oder nur unbefriedigende Übereinstimmungen bestehen.

Freibewitterungen sind als Grundlagenversuche unabdingbar. Infolge ihres hohen Zeitaufwandes sollte man sich bei diesen Versuchen auf Standardverleimungen beschränken. Einschränkend ist bei diesem Versuch anzuführen, daß noch keine Standardisierung vorliegt, so daß die Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen nur bedingt verglichen werden können. Trotzdem kann auf diesen Versuch als Basis nicht verzichtet werden. Vom Freibewitterungsversuch sind Laborverfahren abzuleiten.

Aufgrund von Erfahrungen bei der Untersuchung von Holzwerkstoffen wurde bei Versuchen in der BAM ein XENOTEST-Kurzzeitbewitterungsverfahren zur Alterung eingesetzt. Bei diesem Verfahren liegen inzwischen ausreichende Erfahrungen hinsichtlich einer Übereinstimmung zwischen Freiland- und Kurzzeitbewitterung vor. Maßgebend bei diesem Verfahren ist, daß die Belastungsparameter (Regen, hohe Luftfeuchte, Frost, Solarstrahlung) den Freilandbedingungen angepaßt sind.

Versuche mit Brettschichtverleimungen unterschiedlicher Qualität ergaben bei Versuchen mit Phenoplast-, Aminoplastmisch-

harz- und modifizierter PVAc-Verleimung<sup>1)</sup> eine eindeutige Überlegenheit der PF/RF-Verleimung<sup>2)</sup>. Um weitergehende Differenzierungen innerhalb der Leimgruppen zu erzielen, wurden Dauerstandversuche im Wechselklima (20 °C/34 % r. L. — 85 % r. L.) an besonderen Kreuzscherproben vorgenommen. Dabei ergaben sich übereinstimmend sowohl an Fichten- als auch an Buchenbrettschichtverleimungen bei PF-Harzen<sup>3)</sup> Differenzierungen dahingehend, daß zwischen sogenannten „guten“ und „schlechten“ Verleimungen unterschieden werden konnte. Bei Verarbeitung der PF-Leime nach Vorschrift erwiesen sich von 19 handelsüblichen Leimen 6 Leime als „nicht ausreichend“ (= rund 30 %!). Als „nicht ausreichend“ wurden Verleimungen eingestuft, die nach spätestens 60 % der Versuchszeit (10 Wochen) zu jeweils 100 % oder nach 50 % der Versuchszeit zu 90 % zerstört waren.

Untersuchungen an imprägnierten Lamellen, die ohne und mit Schutzsalzprägnierungen hergestellt wurden (CKB- und CKA-Salze)<sup>4)</sup> jeweils mit und ohne vorhergehende Nadelperforation ergaben sowohl im XENOTEST- als auch im Dauerstandversuch, daß durch die Perforation keine Schwächung der Verleimung auftritt. Hinsichtlich der Einwirkungen der Schutzsalze konnten übereinstimmende Aussagen festgestellt werden. So wiesen die Brettschichtverleimungen aus PF-Harzen bei CKB-Salzimprägnierung aufgrund der Borkomponente Festigkeitsverluste auf. Bei Aminoplastmischharzverleimungen störten offenbar die Chrombestandteile.

In weitergehenden Versuchen soll geklärt werden, ob durch eine Kombinierung von XENOTEST- und Dauerstandversuch mit Wechselklimalagerung in vertretbaren Zeiträumen genauere Aussagen über die Qualität von Brettschichtverleimungen möglich sind, die eine sichere Abschätzung des zu erwartenden Langzeitverhaltens erlauben und damit den Sicherheitsbestrebungen der obersten Bauaufsichtsbehörden besser gerecht werden.

- 1) PVAc = Polyvinylacetat
- 2) PF/RF = Phenol-Formaldehyd-/Resorcin-Formaldehyd-Harz
- 3) PF = Phenol-Formaldehyd-Harz
- 4) CKB = Chrom-Kupfer-Bor
- CKA = Chrom-Kupfer-Arsen

### Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe

— Literaturübersicht —

*M. Woydt und K.-H. Habig*

● Forschungsbericht der BAM Nr. 133, Januar 1987, 92 Seiten

Der Bericht stellt derzeitige Anwendungen und Zukunftsperspektiven keramischer Werkstoffe zur Reibungs- und Verschleißminderung dar und beschreibt die Beweggründe für den Einsatz von Keramik im High-Tec-Bereich sowie deren Wandel mit fortschreitendem Entwicklungsstand.

Daran anschließend werden Arbeiten zusammengefaßt, die sich mit der Reaktion keramischer Oberflächen auf statische und tribologische Gleitbeanspruchungen befassen.

Die aus der Literatur bekannt gewordenen experimentellen Arbeiten werden unter den zuvor gewonnenen Erkenntnissen mathematisch und systematisch miteinander verbunden, um zwischen tribologischem und mechanischem Verhalten mögliche Korrelationen aufzuzeigen.

Die Arbeit gibt sowohl dem Anwender als auch dem Forscher insgesamt eine weitreichende Systematik, die erkennen läßt, inwieweit sich das tribologische Verhalten keramischer Werk-

stoffe von dem metallischer Werkstoffe unterscheidet und welche Werkstoff- und Beanspruchungskennwerte von Bedeutung sind.

### Threedimensional thresholds of color-difference perceptibility in painted samples: variability of observers in 4 CIE color regions.

*K. Witt*

Color Res. of Application (1987) S. 128-134

In vier der fünf CIE-Farbbereiche wurden Lackfarbmuster mit sehr kleinen Farbunterschieden hergestellt, die zu Farbpaaren mit Farbunterschieden zwischen 0 und gerade deutlich sichtbar in den drei Dimensionen des Farbenraums kombiniert werden konnten. Das visuelle Urteil, ob ein Farbunterschied wahrnehmbar sei, wurde mit farbmtrischen Differenzen korreliert und in Form von Ellipsoiden des Schwellenwertes der Farbunterschiedswahrnehmung dargestellt.

Die Variabilität von Einzelbeobachtern und von Beobachtergruppen zeigt den Effekt strenger und weniger strenger Urteile, wobei die Irrtumswahrscheinlichkeit bei farbgleichen Probenpaaren durchaus hohe Werte erreichen und die Auswertung stark beeinflussen kann. Mit Hilfe einer Monte-Carlo-Variation der Basisdaten wurde der Schwankungsbereich der Ergebnisse abgesteckt. Danach waren die meisten Ellipsoide im Rahmen zufallsbedingter Einflüsse als ähnlich anzusehen, obwohl sich im Basismaterial heterogene Effekte nachweisen ließen. Für eine feinere Analyse systematischer Einflußgrößen sollte eine Reduktion der Zufallsschwankungen angestrebt werden.

Die gefundenen Schwellenwert-Ellipsoide zeigten gute Ähnlichkeit mit Literaturdaten, insbesondere auch mit Mac-Adam-Ellipsen, die aus einem anderen Versuchsansatz gewonnen waren.

### Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen

*G. Andreae und G. Niessen*

● Forschungsbericht der BAM Nr. 134, Februar 1987, 14 Seiten

Der Einfluß von Kernstrahlung auf Dehnungsmeßstreifen wird seit über 30 Jahren untersucht, ohne daß bisher eine allgemeingültige und erst damit dem Anwender nützliche Aussage gewonnen werden konnte. In dem Forschungsbericht wird dieses Ziel erstmalig erreicht.

Der Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen besteht aus einer Überlagerung eines Primäreffektes (Erzeugung von Gitterdefekten, daraus folgend eine Widerstandserhöhung), eines Sekundäreffektes (Auswirkung der strahlungsinduzierten Diffusion, die — je nach Material und thermodynamischem Ausgangszustand — zu einer Widerstandserhöhung oder Widerstandserniedrigung führt) und einer Nachwirkung (Widerstandsänderung nach Beendigung der Bestrahlung bzw. in Bestrahlungspausen). Die Auswirkungen dieser Effekte hängen von verschiedenen Parametern ab und sind nicht voneinander unabhängig. Schlußfolgerung:

Unter Kernstrahlung ist die Verwendung von Einzel-Dehnungsmeßstreifen nicht sinnvoll, da eine allgemeingültige Vorhersage über den Strahlungseinfluß wegen der Vielfalt der — oft nicht genau bekannten — Einflußparameter praktisch nicht möglich ist. Insbesondere ist es nicht möglich, durch Wahl eines besonderen Materials oder durch eine besondere Vorbehandlung in technisch praktikabler Weise zu einem Dehnungsmeßstreifen zu gelangen, der unter Strahlung auch bis zu hohen Dosen verwendbar ist. Halbbrücken-Dehnungsmeß-

streifen bilden die im Optimalfall kleine Differenz zweier großer, schwer überschaubarer Störungen, so daß eine Prognose des Verhaltens unter Strahlung zweifelhaft bleibt.

### **Prüfverfahren zur Bestimmung der Scherfestigkeit bei Verbindungsproblemen**

*J. Munschau*

VDI-Bericht Nr. 631 (1987) S. 245-258

Die Verwendung neuer Werkstoffe erfordert zumeist auch die Anwendung unkonventioneller Konstruktionstechniken. So werden bei den Verbindungen von Leichtbauwerkstoffen, Keramiken und faserverstärkten Kunststoffen in zunehmendem Maße Löt- und Klebverbindungen angewandt. Damit gewinnt die Bestimmung der Scherfestigkeit derartiger Verbindungen zunehmend an Bedeutung. Zwar sind bereits Prüfverfahren zur Bestimmung der Scherfestigkeit von Löt- und Klebverbindungen bekannt (z. B. DIN 8525/2, 8526, 53283, 53294, 54451), jedoch sind diese Prüfverfahren einerseits sehr umständlich zu handhaben, andererseits ist der Schubspannungszustand in erheblichem Maße durch Normalspannungen überlagert, so daß eine eindeutige Bestimmung der Scherfestigkeit nicht möglich ist.

Für die Prüfung von Klebverbindungen wurde daher eine Druckscherprüfeinrichtung entwickelt, die bei einfachster Probengeometrie und Handhabung eine hinreichend exakte Bestimmung der Scherfestigkeit ermöglicht. Durch spannungsoptische Modellversuche konnte gezeigt werden, daß im Verbindungsquerschnitt ein nahezu gleichmäßiger Schubspannungszustand herrscht. Diese Prüfeinrichtung ist damit auch für die Bestimmung der Scherfestigkeit von Löt- und Klebverbindungen beliebiger Werkstoffe, wie z. B. Keramik/Metall-Verbindungen, gut geeignet. Darüber hinaus ermöglicht dieses Verfahren auch die Bestimmung des Schubspannungs-Gleitungs-Diagramms derartiger Verbindungen.

Die für die Entwicklung der Druckscherprüfeinrichtung maßgeblichen spannungsoptischen Untersuchungen und die daraus resultierende technische Ausführung der Prüfeinrichtung werden im Bericht erläutert.

### **Das dynamische Verhalten von Schweißpunkten in höherfesten Feinblechen.**

*H.-J. Krause, H. Preß und G. Simon*

Stahl u. Eisen 107 (1987) Nr. 16, S. 719-725

Während die statischen Scherzugkräfte der Punktschweißverbindungen durch die besseren mechanischen Eigenschaften der Grundwerkstoffe bei den höherfesten Werkstoffen gleicher Blechdicke höher sind als beim St 14, ist dies bei den in Schwingversuchen ermittelten Werten nicht der Fall. Ein Vergleich der Verläufe der Wöhler-Kurven für die 4 artgleichen Verbindungen zeigte, daß sowohl im Zeit- als auch im Dauerfestigkeitsbereich der St 14 die günstigeren Werte besitzt. Die niedrigsten Werte ergaben sich im Zeitfestigkeitsbereich für FeE 275 HF, weil sich bei diesem Werkstoff die geringere Blechdicke ungünstig auswirkt. Die Werte für die beiden Werkstoffe P 275 und FeE 355 HF liegen im Zeitfestigkeitsbereich bis etwa  $10^6$  Schwingspiele zwischen denen von St 14 und FeE 275 HF. Während die Kurven für die Überlebenswahrscheinlichkeit von 50 % der Werkstoffe St 14 und P 275 im Zeitfestigkeitsbereich etwa parallel verlaufen, zeigen die entsprechenden Kurven für FeE 355 HF und insbesondere für FeE 275 HF einen flacheren Verlauf. Die geringste Dauerfestigkeit ist mit 0,75 kN für P 275, die größte für St 14 mit 1,20 kN ermittelt worden. Obwohl der Werkstoff FeE 275 HF nur 0,80 mm dick ist, übertrifft seine Dauerfestigkeit mit 0,90 kN sogar noch knapp den Wert von 0,85 kN für den FeE 355 HF.

Bei den nicht artgleichen Verbindungen befinden sich die Werte der Kombination St 14/FeE 275 HF im Zeitfestigkeitsbereich zwischen den Werten für die artgleichen Proben von St 14 und P 275. Die Werte der nicht artgleichen Proben der Kombination St 14/FeE 275 HF liegen im Zeitfestigkeitsbereich zwischen den Werten der artgleichen Proben. Die Dauerfestigkeit der nicht artgleichen Proben gleicher Kombination ist dagegen mit 0,75 kN niedriger als diejenige für FeE 275 HF von 0,90 kN. Die Versuchsergebnisse sind statistisch abgesichert (40 bis 60 Proben pro Wöhlerlinie).

Die Versuchsergebnisse werden anhand der Ergebnisse aus den statischen Versuchen und von Schliffauswertungen diskutiert und mit den in der Literatur angegebenen Werten verglichen.

# Organisationsplan der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

Präsident  
Prof. Dr. G. W. Becker

Präsidentreferat, Planung

Dienststelle 0.1  
Verwaltung und Rechts-  
angelegenheiten

0.11  
Rechts-  
angelegenheiten

0.12  
Haushalt

0.13  
Personal

0.14  
Beschaffungswesen

0.15  
Innere Dienst

Vizepräsident  
Prof. Dr.-Ing. H. Czichos

Abteilung 1 Metalle und Metallkonstruktionen	Abteilung 2 Bauwesen	Abteilung 3 Organische Stoffe	Abteilung 4 Chemische Sicherheitstechnik	Abteilung 5 Sondergebiete der Materialprüfung	Abteilung 6 Stoffartunabhängige Verfahren	Abteilung 7 Wissenschaftlich- Technische Quer- schnittsaufgaben
1.01 Rechnerische Werkstoff- und Bauteilanalyse	2.01 Konstruktionstechnische Reaktorsicherheit	3.01 Klimabbeanspruchungen	4.01 Transport gefährlicher Güter	5.01 Technologie der Holz- werkstoffe		
1.02 Stereologie der Werkstoffe	2.02 Sekretariat für UEAtc-Fragen	3.02 Faserverstärkte Kunst- stoffkonstruktionen	4.02 Bewertung gefährlicher Stoffe	5.02 Technisch-wissenschaftliche Sonderprobleme		
Fachgruppe 1.1 Metallkunde und Metalltechnologie	Fachgruppe 2.1 Mineralische Baustoffe	Fachgruppe 3.1 Polymerwerkstoffe	Fachgruppe 4.1 Heterogene Verbrennungs- reaktionen; Sondergebiete	Fachgruppe 5.1 Biologische Materialprüfung	Fachgruppe 6.1 Meßwesen und Grundlagen der Versuchstechnik	Fachgruppe 7.1 Information und Öffentlichkeitsarbeit
1.11 Gefüge von Metallen	2.11 Chemische und physikalische Untersuchungen	3.11 Elastomere	4.11 Reaktionen mit Sauerstoff; Kalorimetrie	5.11 Zoologie und Material- beständigkeit	6.11 Mechanische und fluideische Verfahren	7.11 Schrifttum
1.12 Röntgenbeugung und Mikroanalyse in der Metallkunde	2.12 Festigkeitsuntersuchungen am Bauwerk	3.12 Physik und Technologie der Kunststoffe	4.12 Staubbrände und Staub- explosionen	5.12 Mikrobiologie und Material- beständigkeit	6.12 Elektrische Verfahren	7.12 Informationsvermittlung, Bibliothek
1.13 Werkstoffzustand und mechanische Eigenschaften	2.13 Festigkeit von Baustoffen	3.13 Kunststoffzeugnisse	4.13 Explosionsdynamik	5.13 Chemie und Technologie des Holzschutzes; Holzchemie	6.13 Experimentelle Spannungs- analyse; optische Verfahren	7.13 Kommunikationswesen; Kongresse und Messen
	2.14 Sonderprobleme und Güteschutz	3.14 Beschichtungs- und Klebstoffe		5.14 Physik und Technologie des Holzes	6.14 Materialprüfmaschinen und elektrische Meßgeräte	
	2.15 Technologie der Baustoffe					
Fachgruppe 1.2 Werkstoffmechanik und Verhalten von Konstruktionen	Fachgruppe 2.2 Tragfähigkeit der Baukonstruktionen	Fachgruppe 3.2 Textilien und Leder	Fachgruppe 4.2 Technische Gase	Fachgruppe 5.2 Rheologie, Tribologie, Verschleißschutz	Fachgruppe 6.2 Zerstörungsfreie Prüfung	Fachgruppe 7.2 Mathematik und Daten- verarbeitung
1.21 Festigkeit bei statischer Beanspruchung, Umformung	2.21 Baukonstruktionen des Massivbaues	3.21 Physik und Technologie von Textilien	4.21 Chemische Eigenschaften; Gasanalyse	5.21 Rheologie der Flüssigkeiten; Viskosimetrie	6.21 Mechanische und thermische Prüfverfahren	7.21 Mathematik und theoretische Grundlagen
1.22 Festigkeit bei periodischer Beanspruchung	2.22 Baukonstruktionen aus Metall	3.22 Textilchemie	4.22 Sicherheitstechnische Kenn- größen; Zündvorgänge	5.22 Festkörperreibung und Schwingungsverleiß	6.22 Elektrische und magnetische Prüfverfahren	7.22 EDV-Koordinierung
1.23 Mechanik der Maschinen- elemente; Getriebe	2.23 Baukonstruktionen aus Holz, Kunststoffen und Sonder- baustoffen	3.23 Waschmittel, Wäscherei- technik, Chemischreinigung	4.23 Gasschutz; Überwachung von Arbeitsvorgängen	5.23 Schmierstoffe und Schmierung; Tribochemie	6.23 Strahlenverfahren und Strahlenschutz	7.23 Rechenzentrum; Programmsysteme
	2.24 Grundlagen und Sonderprobleme	3.24 Leder, Kunstleder, Rauchwaren	4.24 Sicherheitstechnische Beurteilung von Anlagen und Verfahren	5.24 Reibungs- und Verschleißprüftechnik; Tribophysik	6.24 Verfahren zur zerstörungs- freien Untersuchung von Werkstoffeigenschaften	
Fachgruppe 1.3 Korrosion und Korrosionsschutz	Fachgruppe 2.3 Tiefbau und Abdichtungstechnik	Fachgruppe 3.3 Papier, Druck, Verpackungs- materialien	Fachgruppe 4.3 Explosionsfähige feste und flüssige Stoffe	Fachgruppe 5.3 Oberflächentechnologien	Fachgruppe 6.3 Kerntechnik in der Material- prüfung und Strahlenschutz	Fachgruppe 7.3 Versuchstechnische Entwicklung; Bauten
1.31 Elektrochemische Unter- suchungs- und Schutz- verfahren	2.31 Grundbau und Bodenmechanik	3.31 Zellstoff- und Papierchemie	4.31 Systematik und Prüfmetho- dik	5.31 Physikalische Oberflächen- technologien; Vakuumbeschichtungstechnik	6.31 Physikalische und meß- technische Grundlagen	7.31 Berufliche Ausbildung
1.32 Korrosion von Stählen in Bauten	2.32 Baugrunderdynamik; Erschütterungsschutz	3.32 Physikalische Untersuchungen an Papier, Pappe und Verpackungsmaterialien	4.32 Explosive Stoffe	5.32 Chemische Oberflächen- technologien und Galvano- technik; Schadstoffanalytik	6.32 Strahlenschutz	7.32 Entwicklung und Versuchswerkstätten
1.33 Korrosion technischer Anlagen und Geräte	2.33 Asphaltstraßen und Abdichtungstechnik	3.33 Druck- und Kopiertechnik, Schreibmittel	4.33 Stoffe mit geringer chemischer Beständigkeit	5.33 Mikroanalyse und Morphologie von Oberflächen	6.33 Anwendung von Radio- nukliden	7.33 Bauten und Technischer Betrieb
1.34 Klimatische Beanspruchung metallischer Werkstoffe und Schutzsysteme			4.34 Pyrotechnische Sätze und Gegenstände		6.34 Prüfung radioaktiver Stoffe	
Fachgruppe 1.4 Anorganisch-chemische Untersuchungen; Referenzmaterialien	Fachgruppe 2.4 Bauphysik, Bautenschutz	Fachgruppe 3.4 Sonderprüfungen für organische Stoffe	Fachgruppe 4.4 Gasgeräte und Acetylen- anlagen	Fachgruppe 5.4 Optische Materialeigenschaften und Farbmetrik	Fachgruppe 6.4 Fügetechnik	Fachgruppe 7.4 Wissens- und Technologietransfer
1.41 Analyse von Eisen und Stahl	2.41 Brandschutz, Feuerschutz	3.41 Analyse organischer Stoffe	4.41 Explosive Reaktionen der Acetylene	5.41 Strahlungsphysikalische Eigenschaften; Farbmessung	6.41 Schmelzschweißen	7.41 Internationale Zusammenarbeit
1.42 Analyse von Nichteisen- metallen	2.42 Wärmeschutz, Feuchtigkeitschutz	3.42 Struktur organischer Stoffe	4.42 Speicherung der Acetylene; Beurteilung von Verfahren	5.42 Lichttechnische Eigenschaften; Glanzmessung	6.42 Preßschweißen	7.42 Technologietransfer
1.43 Analyse nichtmetallischer anorganischer Stoffe	2.43 Schallschutz, Lärmschutz	3.43 Physikalische und technische Untersuchungen	4.43 Sicherheitseinrichtungen für technische Gase	5.43 Farbtechnik	6.43 Fügeeinfluß auf Bauteile; Prüftechnik	7.43 Umweltschutz- technologien
1.44 Spektralanalyse	2.44 Numerische Methoden der Bauphysik	3.44 Erdöl- und Kohleerzeugnisse	4.44 Apparaturen für technische Gase	5.44 Farbwiedergabe	6.44 Grundlagen der Fügetechnik; Prozeßkontrolle	
Fachgruppe 1.5 Gefährgutumschließungen aus Metallen						
1.51 Transportbehälter für Gefährgut						
1.52 Transportbehälter für radioaktive Stoffe						
1.53 Umschließungen zur Lagerung von Gefährgut						
1.54 Verpackungen						

## Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

Nr. 1/September 1968

### **Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)**

Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft

Nr. 2/Juli 1970 (vergriffen)

### **Zum Problem des Feuchtigkeitschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern**

von Dr.-Ing. Götz Andreae

Nr. 3/September 1970 (vergriffen)

### **Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungsseilen als Beispiel für Verbundbauteile**

von Dr.-Ing. Josef Ziebs

Nr. 4/Dezember 1970 (vergriffen)

### **Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit — Grundlagen und Vergütungsverfahren**

von Dr. rer. nat. Arno Burmester

Nr. 5/März 1971

### **Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkkettendichte für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken**

von Dr. rer. nat. Norbert Steiner

Nr. 6/April 1971

### **Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen**

von Prof. Dr.-Ing. Paul Schneider

Nr. 7/Juli 1971

### **Chromatographie und chemische Konstitution — Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie**

von Dr.-Ing. Hans-Joachim Petrowitz

Nr. 8/November 1971

### **Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung**

von Dr.-Ing. Helmut Veith

Nr. 9/November 1971

### **Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen**

von Dr.-Ing. Karl-Heinz Möller

Nr. 10/Januar 1972 (vergriffen)

### **Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode**

von Dr.-Ing. Dietmar Aurich und Prof. Dr. phil. Erich Martin

Nr. 11/Februar 1972

### **Beitrag zur Kenntnis der Schnitttiefbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden**

von Dr.-Ing. Hans-Joachim Krause

Nr. 12/Mai 1972

### **Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren**

von Dir. u. Prof. Dr. rer. nat. Hubert Feuerberg

Nr. 13/Juni 1972

### **Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und $2 \cdot 10^{-7}$ Torr**

von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig (Berichter), Prof. Dr.-Ing. Kurt Kirschke, Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig und Dipl.-Phys. Harald Tischler

Nr. 14/Juli 1972

### **Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz**

von Eberhard Fischer

Nr. 15/August 1972

### **Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse**

von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Heinz Pohl

Nr. 16/August 1972

### **Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer**

von Dr.-Ing. Erwin Knublauch

Nr. 17/August 1972

### **Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen**

von Dr.-Ing. Peter Reimers

Nr. 18/Januar 1973

### **Das Sprödbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**

von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 19/Januar 1973

### **Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen**

Literaturrecherche von Dipl.-Phys. K. Kaffanke und Dr.-Ing. H. Czichos

Nr. 20/April 1973

### **Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden**

von Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 21/Juli 1973

### **Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung**

Literaturrecherche von Dipl.-Phys. D. Klaffke und Dr.-Ing. W. Maennig

Nr. 22/Juli 1973

### **Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen**

von Dipl.-Ing. R. Rudolphi und Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 23/November 1973

### **Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin**

Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen von Prof. Dr. rer. nat. habil. Walter Ruske

Nr. 24/November 1973

### **Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung**

von Dipl.-Ing. J. Stanke, Ing. grad. E. Klement und Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 25/Dezember 1973

### **Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen**

von Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 26/August 1974

### **Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM — Eigenschaften und erste Anwendungen —**

von Dipl.-Ing. P. Jost, Dr.-Ing. P. Reimers und Dr.-Ing. P. Weise

Nr. 27/August 1974

### **Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall**

von Dr.-Ing. Hermann Wüstenberg

Nr. 28/August 1974

### **Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern**

von Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Heinrich

Nr. 29/August 1974

### **Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem idealisotropen porösen Material mit starrem Skelett für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall**

von Prof. Dr.-Ing. P. Schneider

Nr. 30/September 1974 (vergriffen)

### **The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology**

von Dr. Horst Czichos und Dr. Geert Salomon

Nr. 31/August 1975

### **Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung**

von Dr.-Ing. Gerhard Fuhrmann

Nr. 32/September 1975

### **Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen**

von Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Bernhard Böttcher

Nr. 33/November 1975

### **Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens**

von Dipl.-Ing. Armin Wagner, Dipl.-Phys. Gerhard Kieper und Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 34/Januar 1976 (vergriffen)

### **Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoffen**

von Dipl.-Forsting. Dr. rer. sylv. Hans-Joachim Deppe

Nr. 35/Januar 1976

### **Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper — Vorschlag für ein Prüfverfahren —**

von Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Nr. 36/Januar 1976 (vergriffen)

### **Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles**

von Dipl.-Ing. Jürgen Hundt

Nr. 37/Februar 1976

### **Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen — Vorschlag für ein Prüfverfahren —**

von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 38/Juni 1976

### **Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionisiertem Stahl 42 CrMo 4**

von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 39/Juni 1976

### **Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newton'schem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung**

von Prof. Dr.-Ing. K. Kirschke und Dipl.-Phys. G. Kempf

- Nr. 40/Juni 1976  
**Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren**  
von Dr. rer. nat. H. Hantsche
- Nr. 41/Okttober 1976  
**Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten**  
von Dr. rer. nat. Bernhard Böttcher
- Nr. 42/Okttober 1976  
**Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft**  
von Dr.-Ing. Siegmund Dietlen
- Nr. 43/Okttober 1976  
**Das Spröbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**  
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 44/November 1976  
**Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“**  
von Dipl.-Ing. W. Matthees
- Nr. 45/Dezember 1976  
**Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten**  
von Dr.-Ing. W. Paatsch
- Nr. 46/Mai 1977 (vergriffen)  
**Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung**  
**Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses**  
von Dipl.-Ing. Gerald Schickert und Dipl.-Ing. Helmut Winkler
- Nr. 47/Juni 1977  
**Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen**  
von Dr.-Ing. Arno Plank
- Nr. 48/Okttober 1977  
**Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn**  
von Dr.-Ing. U. Holzlöhner
- Nr. 49/Dezember 1977  
**Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung**  
von Dr.-Ing. Günther Wittig
- Nr. 50/Juni 1978 (vergriffen)  
**Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern**  
von Prof. Dipl.-Phys. Norbert Czaika, Dipl.-Phys. Norbert Mayer, Dipl.-Ing. Claus Amberg, Dipl.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Götz Andreae und Dipl.-Ing. Winfried Markowski
- Nr. 51/Juni 1978  
**Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen**  
von Dr. rer. nat. J. Sickfeld
- Nr. 52/August 1978  
**Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung**  
von Dr.-Ing. Aleksandar Tomov
- Nr. 53/Okttober 1978  
**Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge**  
von Rolf Günter Rohrmann und Reinald Rudolphi
- Nr. 54/Okttober 1978  
**Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung**  
von Dr.-Ing. Harro Sander
- Nr. 55/November 1978  
**Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung**  
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke
- Nr. 56/Januar 1979  
**Stabilität von Sandwichbauteilen**  
von Dipl.-Ing. W. Brünner und Prof. Dr.-Ing. C. Langlie
- Nr. 57/März 1979  
**Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpulverprüfung**  
**Investigations on Inspection-Media for Magnetic-Particle-Testing**  
von Dipl.-Ing. Meinhard Stadthaus
- Nr. 58/März 1979  
**Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau**  
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 59/Juli 1979  
**Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl**  
von Dr.-Ing. Günther Plauk
- Nr. 60/August 1979  
**Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken**  
von Dr.-Ing. H. Spreckelmeyer, Dr.-Ing. R. Helms und Dr.-Ing. J. Ziebs
- Nr. 61/Dezember 1979  
**Beschreibung von Problemen der höheren Farbmeterik mit Hilfe des Gegenfarbensystems**  
von Dr. Klaus Richter
- Nr. 62/Dezember 1979  
**Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle**  
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gerisch und Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Günther Becker
- Nr. 63/Dezember 1979  
**Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase**  
von Dipl.-Ing. E. Behrend und Dipl.-Ing. J. Ludwig
- Nr. 64/Februar 1980  
**Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung**  
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 65/Februar 1980  
**Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte**  
von Dr.-Ing. Peter Schmidt, Dr.-Ing. Dietmar Aurich, Dr.-Ing. Rolf Helms, Dr.-Ing. Helmut Veith und Dr.-Ing. Josef Ziebs
- Nr. 66/Mai 1980  
**Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung**  
von Dr. rer. nat. Martin Hattwig
- Nr. 67/Mai 1980  
**Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees
- Nr. 68/Mai 1980  
**Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik.**  
**Entwicklung eines vollezentrischen Präzisions-Goniometers**  
von Dr. rer. nat. Dieter Petersohn
- Nr. 69/Juni 1980  
**Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitschillen (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise**  
von Dr.-Ing. Frank Buchardt und Dipl.-Ing. Peter Brandl
- Nr. 70/August 1980 (vergriffen)  
**Schwellenwerte beim Betondruckversuch**  
von Dr.-Ing. Gerald Schickert
- Nr. 71/August 1980  
**Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees und Dipl.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 72/September 1980  
**Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen**  
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 73/November 1980  
**Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen**  
von Dipl.-Ing. Peter Wegener
- Nr. 74/November 1980  
**ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz**  
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dipl.-Inform. Renate Müller
- Nr. 75/November 1980  
**Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen**  
von Dir. u. Prof. Dr. Hans-Jürgen Heinrich
- Nr. 76/November 1980  
**Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop**  
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig
- Nr. 77/April 1981  
**Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen**  
von Dipl.-Ing. Michael Gierloff und Dr.-Ing. Matthias Maultzsch
- Nr. 78/September 1981  
**Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwellensystems mit dem Untergrund**  
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 79/Dezember 1981  
**Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflussten Kaltrißneigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch**  
von Dr.-Ing. Volker Neumann

Nr. 80/Dezember 1981

**Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten**  
von Dr.-Ing. Arno Plank, Dr.-Ing. Werner Struck und Dr.-Ing. Manfred Tzschätzsch

Nr. 81/Dezember 1981

**Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik**  
von Dipl.-Ing. Jürgen Schmidt

Nr. 82/April 1982

**Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches**  
**Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test**  
von Rolf Helms, Hans-Joachim Kühn und Siegmund Ledworuski

Nr. 83/Juli 1982

**Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen — Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen —**  
von Prof. Dr.-Ing. Horst Czichos und Dr.-Ing. Paul Feinle

Nr. 84/Juli 1982

**Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)**  
von Dipl.-Inform. Renate Müller und Dr.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/Okttober 1982

**Technische Materialforschung und -prüfung — Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm „Basic Technological Research“ — Materials Research and Testing — Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme „Basic Technological Research“ —**  
von Prof. Dr. Horst Czichos

Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/November 1982

**Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügemerkmale**  
von Dr.-Ing. Konrad Niesel und Dr. rer. nat. Peter Schimmelwitz

Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/Dezember 1982

**Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren**  
von Dr.-Ing. Bernd Isecke und Dr.-Ing. Wolfgang Stichel

Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/Februar 1983

**Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall**  
von Dr.-Ing. Anton Erhard

Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/April 1983

**Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid**  
von Dr. rer. nat. Dietrich Conrad und Dr.-Ing. Siegmund Dietlen

Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/April 1983

**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonteilen**  
**Konzeption für geregelte Versuche**  
**Versuchseinrichtung**  
**Vorversuche an Stahlbetonbalken**  
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter

Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/April 1983

**Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz**  
von Dr.-Ing. Michael Weber

Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/August 1983

**Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden**  
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch

Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/August 1983

**Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen**  
von Dr. rer. nat. Peter Studt

Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/August 1983

**Untersuchungen der Störschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen**  
von Dr.-Ing. Xian-Quan Dong

Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/August 1983

**Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten**  
von Dr.-Ing. Manfred Römer

Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/Okttober 1983

**Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken**  
von Dr.-Ing. Heinz Eifler

Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/November 1983

**Typische Bruchflächenausbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung**  
von Dipl.-Ing. Gerhard Fuhrmann und Prof. Dr. rer. nat. Wolfram Schwarz

Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/Dezember 1983

**Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschenwaren — Stretch- und Erholungsvermögen —**  
von Dr. rer. nat. Edmund Schnabel

Nr. 99/ISBN 3-88314-317-0/Dezember 1983

**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**

**Versuche an Stahlbetonbalken mit Biegebewehrung aus Betonstahl BSt 420/500 RK und BSt 1080/1320**

von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter

Nr. 100/ISBN 3-88314-298-0/Januar 1984

**Untersuchungen zur Prüfung von Beton auf Frostwiderstand**  
von Günter Klamrowski und Paul Neustupny

Nr. 101/ISBN 3-88314-327-8/Februar 1984

**Röntgen- und Gammastrahlen Computer-Tomographie**  
von Dr.-Ing. Peter Reimers, Dr. rer. nat. Jürgen Goebels, Dr.-Ing. Heinrich Heidt, Dr.-Ing. Hans-Peter Weise und Dipl.-Phys. Kay Wilding

Nr. 102/ISBN 3-88314-335-9/März 1984

**Weiterentwicklung des hydraulischen Kompensationsverfahrens zur Druckspannungsmessung in Beton**  
von Dr.-Ing. Götz Magiera

Nr. 103/ISBN 3-88314-328-6/März 1984

**Radiographie mit Elektronen aus Metallverstärkerfolien**  
von Dr.-Ing. Dierk Schnitger

Nr. 104/ISBN 3-88314-339-1/April 1984

**Beeinflussung von Betoneigenschaften durch Zusatz von Kunststoffdispersionen**  
von Dr.-Ing. Michael Gierloff

Nr. 105/ISBN 3-88314-345-6/Juni 1984

**Beitrag zum Bremsverhalten energieumwandelnder Aufsetzpuffer in Aufzugsanlagen**  
von Dr.-Ing. Bernd Schulz-Förberg

Nr. 106/ISBN 3-88314-360-X/Okttober 1984

**Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last**  
von Dr.-Ing. Jan Lehnert

Nr. 107/ISBN 3-88314-361-8/Okttober 1984

**Korrosion von Stahlradiatoren**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel und Jörg Ehreke

Nr. 108/ISBN 3-88314-363-4/Okttober 1984

**Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen — Ergebnisse von Modellrechnungen**  
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch

Nr. 109/ISBN 3-88314-381-2/Februar 1985

**Zur Wirkung der Schrumpfbegrenzung auf den Schweißspannungszustand und das Spröbruchverhalten von unterpulvergeschweißten Blechen aus St E 460 N**  
von Dr.-Ing. Mohamed Omar

Nr. 110/ISBN 3-88314-382-0/Februar 1985

**Wasserstoff als Energieträger**  
von Dr. Hermann Walde (Mitglied des Kuratoriums der BAM i. R.) und Dr. Bernhard Kropp

Nr. 111/ISBN 3-88314-383-9/Februar 1985

**Über den Einfluß der Initiierung auf die detonative Umsetzung von Analex-Sprengstoffen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte**  
von Dr.-Ing. Kurt Ziegler

Nr. 112/ISBN 3-88314-409-6/Juli 1985

**Zeitstandverhalten und strukturelle Veränderungen von vielfach wiederverarbeiteten Polyethylenen**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Lützw

Nr. 113/ISBN 3-88314-410-X/Juli 1985

**Untersuchungen zum Frequenzeinfluß auf die Schwingungsrißkorrosion von Offshore-Konstruktionen**  
von Rolf Helms, Horst Henke, Gerhard Oelrich (BAM, Berlin) und Tetsuya Saito (NRIM, Japan)

Nr. 114/ISBN 3-88314-419-3/Juli 1985

**Neue Verfahren für die Prüfung von Reaktorkomponenten mittels Röntgen- und Gammastrahlen**  
von Dipl.-Ing. Peter Rose, Dipl.-Ing. Peter Raabe, Dipl.-Ing. Werner Daum und Andreas Szameit

Nr. 115/ISBN 3-88314-420-7/Juli 1985

**Farbempfindungsmerkmal Elementarbutnton und Buntheitsabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld**  
von Privatdozent Dr. Klaus Richter

Nr. 116/ISBN 3-88314-460-6/Okttober 1985

**Theoretische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Rahmenproblematik**  
von Dr. rer. nat. Franz-Josef Kasper, Dipl.-Inform. Renate Müller, Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Armin Wagner

Nr. 117/ISBN 3-88314-468-1/Okttober 1985

**Materials Technologies and Techno-Economic Development**  
**A study for the German Foundation for International Development (Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung)**  
by Prof. Dr. H. Czichos in cooperation with Dr. G. Sievers, Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Bonn

- Nr. 118/ISBN 3-88314-469-X/Oktober 1985  
**Brand- und Explosionsgefahren explosionsgefährlicher Stoffe bei Herstellung und Lagerung**  
**Modellversuche mit pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen**  
 von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann, Dipl.-Ing. Hilmar Andre, Dr. rer. nat. Eduard Blossfeld, Dr. rer. nat. Norbert Pfeil und Ing. grad. Matthias-Michael Zindler
- Nr. 119/ISBN 3-88314-472-X/November 1985  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Versuche an Stahlbetonplatten, Teil I**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
**Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part I**  
 von Dipl.-Ing. Jürgen Herter, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Ernst Limberger
- Nr. 120/ISBN 3-88314-514-9/April 1986  
**Zerstörungsfreie Korngrößenbestimmung an austenitischen Feinblechen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung**  
 von Dr.-Ing. Andreas Hecht
- Nr. 121/ISBN 3-88 314-530-0/Juni 1986  
**Versagenskriterien von Stahlgleitpaarungen unter Mischreibungsbedingungen: Einflüsse von Stahlzusammensetzung und Wärmebehandlung**  
 von Dr.-Ing. Paul Feinle und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig
- Nr. 122/ISBN 3-88 314-521-1/Juli 1986  
**Entsorgung kerntechnischer Anlagen**  
 von J. Mischke  
 Sonderkolloquium der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) am 10. 12. 1985 mit Beiträgen von B. Schulz-Forberg, K. E. Wieser und B. Droste
- Nr. 123/ISBN 3-88 314-531-9/Juli 1986  
**Physikalisch-chemische Analyse sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organisch-chemischer Baustoffe entstehenden Brandgase**  
 von Dr. rer. nat. Detlef Rennoch
- Nr. 124/ISBN 3-88 314-538-6/Juli 1986  
**Zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens in der zerstörungsfreien Materialprüfung**  
 von Dr.-Ing. Hans-Martin Thomas
- Nr. 125/ISBN 3-88 314-540-8/Juli 1986  
**Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssiggas-Lagertanks**  
 von Dr.-Ing. Bernhard Droste und Dipl.-Ing. Ulrich Probst
- Nr. 126/ISBN 3-88 314-547-5/August 1986  
**Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmhallen**  
 von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel
- Nr. 127/ISBN 3-88 314-564-5/November 1986  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
**Versuche an Stahlbetonbalken, Teil I**  
**Tests on Reinforced Concrete Beams, Part I**  
 von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner
- Nr. 128/ISBN 3-88 314-568-8/November 1986  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
**Versuche an Stahlbetonbalken, Teil II**  
**Tests on Reinforced Concrete Beams, Part II**  
 von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner
- Nr. 129/ISBN 3-88 314-569-6/November 1986  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load**  
**Zugversuche an Betonstahl mit erhöhter Dehngeschwindigkeit**  
**Reinforcing Steel Tension Tests with high strain rates**  
 von / by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner
- Nr. 130/ISBN 3-88 314-570-X /November 1986  
**Einfache Abschätzung der Durchbiegung und der Energieaufnahme von Trägern aus duktilem Material bei Belastung durch eine Einzelkraft**  
 von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 131/ISBN 3-88-314-585-8/November 1986  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load**  
**Versuche an Stahlbetonplatten, Teil II**  
**Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part II**  
 von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 132/ISBN 3-88-314-595-5/Januar 1987  
**Ermittlung der Ursachen von Schäden an bituminösen Dachabdichtungen unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Beanspruchungen**  
 von Dipl.-Ing. Christian Herold und Dipl.-Ing. Frank-Ulrich Vogdt
- Nr. 133/ISBN 3-88 314-609-9/Januar 1987  
**Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe**  
 von Dipl.-Ing. Mathias Woydt und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig
- Nr. 134/ISBN 3-88 314-615-3/Februar 1987  
**Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen**  
 von Dr. Götz Andreae und Gottfried Niessen
- Nr. 135/ISBN 3-88 314-618-8/Februar 1987  
**Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen**  
 von Dipl.-Ing. Jörg Ludwig, Dipl.-Ing. Wolf-Dietrich Mischke und Dipl.-Ing. Armin Ulrich
- Nr. 136/ISBN 3-88314-636-6/April 1987  
**Untersuchung zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen für den Holzbau**  
 von Prof. Dr. rer. silv. Hans-Joachim Deppe und Klaus Schmidt
- Nr. 137/ISBN 3-88314-637-4/Mai 1987  
**Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Komponentensicherheit**  
 Projektleiter: Dr. Dietmar Aurich
- Nr. 138/ISBN 3-88314-635-8/Mai 1987  
**Zur geowissenschaftlichen Einordnung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland und einer sicheren Auslegung technischer Systeme gegen den Lastfall Erdbeben.**  
 von Dipl.-Geol. Michael Dogunke und Dr.-Ing. Frank Buchhardt
- Nr.139/ISBN 3-88314-658-7/Juni 1987  
**Numerische Untersuchung zum Verhalten des Hochtemperaturwerkstoffes Nimonic PE 16 unter monotoner und zyklischer Belastung bei Verwendung verschiedener plastischer und viskoplastischer Materialmodelle.**  
 von Dipl.-Ing. Jürgen Olschewski und Sven-Peter Scholz
- Nr. 140/ISBN 3-88314-643-9/Juni 1987  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
 von / by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 141/ISBN 3-88314-694-3/Oktober 1987  
**Zum Einfluß des Sicherheits- und Auslegungserdbebens auf die Bemessung von Kernkraftwerken**  
 von Dr.-Ing. Frank Buchhardt, Dr.-Ing. Wolfgang Matthees, Dr.-Ing. Götz Magiera und Dr.-Ing. Friedrich Mathiak
- Nr. 142/ISBN 3-88314-695-1/Oktober 1987  
**Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrzahlen binärer Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen**  
 von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann, Ing. Günter Krüger, Dr. rer. nat. Norbert Pfeil und Dr. rer. nat. Sigrid von Zahn-Ullmann
- Nr. 143/ISBN 3-88314-701-X/November 1987  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**  
**Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen bei Stoßbelastung**  
**Experimental and numerical Investigations concerning Load Bearing Behaviour of Reinforced Concrete Members under Impact Load**  
 von/by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 144/ISBN 3-88314-702-8/November 1987  
**Nichtlineare dynamische Berechnungen zum Penetrationsverhalten des AVR-Reaktorgebäudes**  
 von Dr.-Ing. Frank Buchhardt, Dr.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Wolfgang Matthees, Dr.-Ing. Michael Weber,  
 Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)  
 Dr.-Ing. Jürgen Altes,  
 Kernforschungsanlage Jülich GmbH (KFA)
- Nr. 145/ISBN 3-88314-711-7/November 1987  
**Untersuchung selbstähnlicher Systeme zur Bestimmung von Materialeigenschaften**  
 von Dr.-Ing. Ulrich Holzlöhner
- Nr. 146/ISBN 3-88314-714-1/November 1987  
**Untersuchungen zur Wirksamkeit von Wasserberieselungseinrichtungen als Brandschutzmaßnahme für Flüssiggas-Lagertanks**  
 von Dipl.-Ing. Wolfgang Schön und Dipl.-Ing. Michael Mallon
- Nr. 147/ISBN 3-88314-720-6/Dezember 1987  
**Lösung dynamischer Biege- und Torsionsprobleme von Stabsystemen aus dünnwandigen elastischen Stäben mit offenem Querschnitt mittels frequenzabhängiger Ansatzfunktionen**  
 von Dr.-Ing. Hans-Dieter Kleinschrodt



# Rechtliche Grundlagen für die Tätigkeit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

## Erlaß des Bundesministers für Wirtschaft über die Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)\* vom 1. September 1964

(Auszug aus: Bundesanzeiger Nr. 162 vom 2. 9. 1964, S. 1)

### § 1 Zweck

Die Bundesanstalt für Materialprüfung soll die Entwicklung der deutschen Wirtschaft fördern, indem sie Bundesaufgaben nach den §§ 2 bis 6 und Aufgaben im Lande Berlin nach § 7 erfüllt.

### § 2 Aufgabe

(1) Die Bundesanstalt hat die Aufgabe, Werkstoff- und Materialforschung entsprechend ihrer Zweckbestimmung zu betreiben und die Materialprüfung sowie die chemische Sicherheitstechnik stetig weiterzuentwickeln.

(2) Ihre Forschung ist nicht an die Person gebunden. Jedes Ergebnis ihrer Arbeit soll auf der Erkenntnis aller von ihr gepflegten, fachlich beteiligten Wissensgebiete beruhen.

(3) Die Ergebnisse ihrer und fremder wissenschaftlicher Arbeiten hat die Bundesanstalt zu sammeln, zu ordnen und der Allgemeinheit zugänglich und nutzbar zu machen.

### § 4 Aufgaben innerhalb der Verwaltung

(1) Die Bundesanstalt berät die Bundesministerien.

(2) Sie führt die Aufgaben durch, die ihr vom Bundesminister für Wirtschaft oder im Einvernehmen mit ihm von anderen Bundesministern übertragen werden.

(3) Ersuchen von Verwaltungsbehörden und von Gerichten soll sie in den Grenzen ihrer Aufgaben entsprechen.

### § 5 Aufträge

Die Bundesanstalt übernimmt Aufträge aus der Wirtschaft oder von Einrichtungen der Verbraucher und der Verbraucherberatung, soweit sie die Voraussetzungen der §§ 2 und 3 erfüllen. Sie kann Aufträge ablehnen, deren Ausführung nach ihrer Auffassung keine wissenschaftlich wertvollen Erkenntnisse erwarten läßt oder deren Ergebnisse weder volkswirtschaftlich noch für die Schaden- und Unfallverhütung von Belang sind.

### § 6 Zusammenarbeit

(1) Zur Erfüllung ihrer Aufgaben hält die Bundesanstalt Verbindung zum Bundesminister für Wirtschaft und wirkt mit in den technischen Ausschüssen der

Bundesministerien, dem Deutschen Normenausschuß (DNA) \*\*, der Internationalen Normenorganisation (ISO) und anderen nationalen, internationalen oder supranationalen Stellen, die für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung von Bedeutung sind.

(2) Sie hält ferner Verbindung zu den wissenschaftlichen Hochschulen und Instituten, den staatlichen Materialprüfämtern und den Verbänden für Materialprüfung.

### § 7 Aufgaben im Land Berlin

Für das Gebiet des Landes Berlin hat die Bundesanstalt die Aufgaben eines staatlichen Materialprüfungsamtes.

### § 8 Gebühren

Die Bundesanstalt erhebt für die Bearbeitung von Aufträgen Gebühren nach einer Gebührenordnung, welche der Zustimmung des Bundesministers für Wirtschaft bedarf.

### § 9 Leitung und Vertretung

(1) Die Bundesanstalt wird vom Präsidenten und im Falle seiner Verhinderung von dem Vizepräsidenten geleitet. Der Präsident bestimmt die Arbeitsprogramme.

(2) Der Präsident — und im Falle seiner Verhinderung der Vizepräsident — vertritt die Bundesrepublik Deutschland gerichtlich und außergerichtlich in allen Angelegenheiten, welche die Bundesanstalt betreffen.

### § 12 Inkrafttreten

Dieser Erlaß tritt am 1. September 1964 in Kraft; gleichzeitig treten der Erlaß vom 20. August 1954 (Bundesanzeiger Nr. 165 vom 28. August 1954, BWV BI 1954 S. 367) und die zu seiner Änderung ergangenen Erlasse vom 10. Februar 1956 (Bundesanzeiger Nr. 36 vom 21. Februar 1956, BWV BI 1956 S. 114) und vom 6. November 1962 (Bundesanzeiger Nr. 220 vom 20. November 1962, BWV BI 1962 S. 241) außer Kraft.

Bonn, den 1. September 1964

Z 4 — 44 02 19 —

Der Bundesminister für Wirtschaft Schmücker

\* Seit 1. 1. 1987 Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

\*\* Seit 1. 7. 1975 DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

## Gesetz zu dem Europäischen Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) vom 18. August 1969

(Auszug aus: Bundesgesetzblatt 1969, Teil II, S. 1489)

### Artikel 1

Dem in Genf am 13. Dezember 1957 von der Bundesrepublik Deutschland unterzeichneten Europäischen Übereinkommen vom 30. September 1957 über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße (ADR) einschließlich der Anlagen in ihrer am 29. Juli 1968 geänderten Fassung wird zugestimmt. Das Übereinkommen wird nachstehend, die Anlagen A und B werden in einem Anlagenband veröffentlicht.

### Artikel 4

(1) Zuständig für die Ausführung des Übereinkommens sind

3. die Bundesanstalt für Materialprüfung für die Zulassung der Bauart von Verpackungen und für die Genehmigung der Beförderung ohne Schutzbehälter;

Das vorstehende Gesetz wird hiermit verkündet.

Bonn, den 18. August 1969

Der Bundespräsident Heinemann

Der Bundeskanzler Kiesinger

Für den Bundesminister für Verkehr

Der Bundesminister für das Post- und Fernmeldewesen Dollinger

Der Bundesminister des Auswärtigen Brandt

## Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe vom 13. September 1976

(Auszug aus: Bundesgesetzblatt 1976, Teil I, S. 2737)

### § 44 Rechtsstellung der Bundesanstalt für Materialprüfung

(1) Die Bundesanstalt für Materialprüfung ist eine bundesunmittelbare, nicht rechtsfähige Anstalt des öffentlichen Rechts im Geschäftsbereich des Bundesministers für Wirtschaft; sie ist eine Bundesoberbehörde.

### § 45 Aufgaben der Bundesanstalt für Materialprüfung

Die Bundesanstalt für Materialprüfung ist zuständig für die Durchführung und Auswertung physikalischer und chemischer Prüfungen von Stoffen und Konstruktionen sowie für die ihr durch dieses Gesetz zugewiesenen Aufgaben.

### § 53 Inkrafttreten

(1) Dieses Gesetz tritt am 1. Juli 1977 in Kraft. Die Vorschriften, die zum Erlaß von Rechtsverordnungen und allgemeinen Verwaltungsvorschriften ermächtigen, treten am Tage nach der Verkündung in Kraft.

(2) Mit dem Inkrafttreten dieses Gesetzes tritt das Sprengstoffgesetz vom 25. August 1969 außer Kraft.

Das vorstehende Gesetz wird hiermit verkündet.

Bonn, den 13. September 1976

Der Bundespräsident Scheel

Der Bundeskanzler Schmidt

Der Bundesminister des Innern Maihofer

## Waffengesetz vom 19. September 1972, zuletzt geändert durch das Zweite Gesetz zur Änderung des Waffengesetzes vom 14. Juli 1980

(Auszug aus: Bundesgesetzblatt 1980, Teil I, S. 956)

### § 23 Zulassung von pyrotechnischer Munition

(1) Pyrotechnische Munition einschließlich der mit ihr fest verbundenen Antriebsvorrichtung darf nur eingeführt, sonst in den Geltungsbereich dieses Gesetzes verbracht oder gewerbsmäßig hergestellt werden, wenn sie ihrer Beschaffenheit, Zusammensetzung und Bezeichnung nach von der Bundesanstalt für Materialprüfung zugelassen ist.

(2) Die Zulassung ist zu versagen,

1. soweit der Schutz von Leben, Gesundheit oder Sachgütern des Benutzers oder Dritter bei bestimmungsgemäßer Verwendung nicht gewährleistet ist,
2. wenn die Munition den Anforderungen an die Zusammensetzung, Beschaffenheit, Maße, den höchstzulässigen normalen oder überhöhten Gebrauchsgasdruck und die Bezeichnung (§ 26 Abs. 1) nicht entspricht,
3. soweit die Munition in ihrer Wirkungsweise, Brauchbarkeit und Beständigkeit dem jeweiligen Stand der Technik nicht entspricht.

(3) Absatz 1 ist nicht anzuwenden auf pyrotechnische Munition, die für die Bundeswehr, den Bundesgrenzschutz, die Bundeszollverwaltung oder die Polizeien der Länder hergestellt und ihnen überlassen wird.

(4) Die Bundesanstalt für Materialprüfung kann im Einzelfall Ausnahmen von dem Erfordernis der Zulassung nach Absatz 1 bewilligen, wenn öffentliche Interessen nicht entgegenstehen, insbesondere wenn die in Absatz 1 bezeichneten Gegenstände zur Ausfuhr oder zum sonstigen Verbringen aus dem Geltungsbereich dieses Gesetzes bestimmt sind.

(5) § 21 Abs. 5 ist entsprechend anzuwenden.

Bonn, den 14. Juli 1980

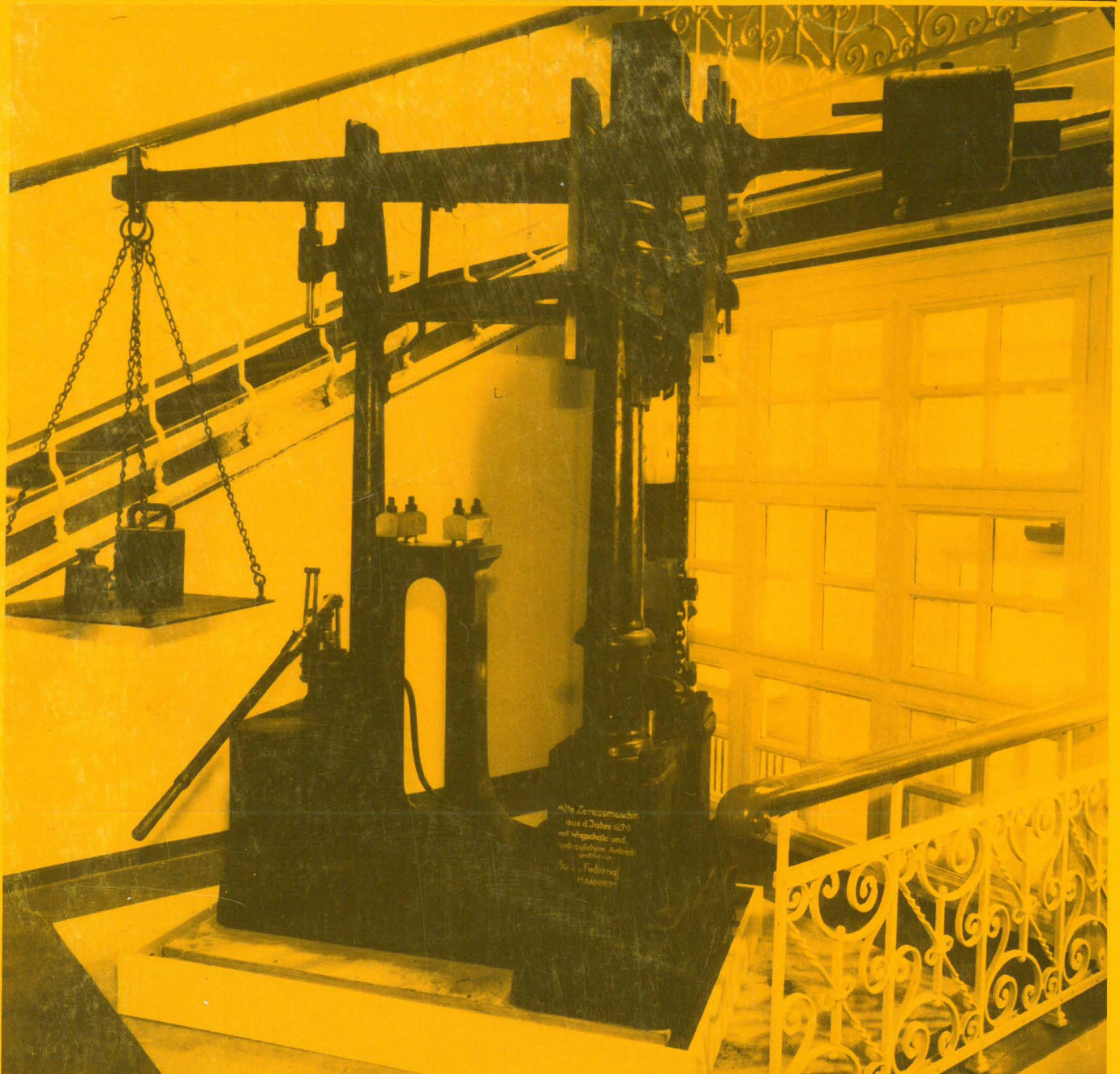
Der Bundespräsident Carstens

Der Bundeskanzler Schmidt

Der Bundesminister des Innern Baum

## Änderung des Namens der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM):

Bundesanzeiger Nr. 122 vom 09.07.1986, S. 8733



Hydraulische Zerreißmaschine aus dem Jahre 1870, auf der Materialprüfungen an Ketten, Seilen u.ä. durchgeführt wurden.

(Eine Leihgabe des Deutschen Museums München zur BAM-Ausstellung „Materialforschung und Materialprüfung“, 13.8.1987 - 25.10.1987)