



**VAMAS**

Technical Working Area 3

## **Round Robin on Recording Hardness**

by

Christian Ullner  
Federal Institute for Materials Research and Testing  
Berlin, Germany

and

George D. Quinn  
National Institute of Standards and Technology  
Gaithersburg, MD 20899, USA

**Report No. 33**

February 1998



The Versailles Project on Advanced Materials and Standards supports trade in high technology products through international collaborative projects aimed at providing the technical basis for drafting codes of practice and specifications for advanced materials. The scope of the collaboration embraces all agreed aspects of enabling science and technology – databases, test methods, design standards, and materials technology – which are required as a precursor to the drafting of standards for advanced materials. VAMAS activity emphasizes collaboration on pre-standards measurement research, intercomparison of test results, and consolidation of existing views on priorities for standardization action. Through this activity, VAMAS fosters the development of internationally acceptable standards for advanced materials by the various existing standards agencies.

#### **Impressum**

Herausgegeben von  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87, D-12205 Berlin  
Postanschrift: D-12200 Berlin  
Telefon (0 30) 81 04-0  
Telefax (0 30) 8 11 20 29

Herstellung und Verlag:  
Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Bürgermeister-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon (04 71) 9 45 44-0  
Telefax (04 71) 9 45 44 77/88

Umschlag-Design: Lutz Mittenzwei  
Layout: BAM, Referat G.3

ISSN 0938-5533  
ISBN 3-89701-163-8



Technical Working Area 3

## Round Robin on Recording Hardness

by

Christian Ullner  
Federal Institute for Materials Research and Testing  
Berlin, Germany

and

George D. Quinn  
National Institute of Standards and Technology  
Gaithersburg, MD 20899, USA

Report No. 33

Februar 1998



## SUMMARY

The recording hardness (depth sensing hardness test or continuous indentation test) was measured by 11 laboratories at 1 N and 10 N on two materials with the quality of reference materials: optical glass BK7 and silicon nitride ceramics. The raw data of force  $F$  and displacement  $h$  were analysed by the organizer. The hardness parameters were calculated for  $F/F_{\max} = 0.1, 0.43, \text{ and } 1$ . While the hardness  $H_U$  based on the penetration depth fluctuates mainly due to the extrapolated zero points, the hardness  $H_{U_s}$  based on the slope of the  $\sqrt{F} - h$  plot is more sensitive to inhomogeneities of material and geometry. Although the repeatability within the laboratories is very good the reproducibility between the laboratories is not satisfactory especially for the 10 N tests. A correlation between the different hardnesses and the different initial unloading slopes can be shown. Therefore some hardness machines up to 10 N must be checked to improve the measurement of the indenter displacement related to the specimen surface.



## **CONTENTS**

	Page
Summary	
Aims and instructions	5
Participants	6
Method of analysis	7
Results	8
Discussion	9
Conclusion	12
References	12
Appendix 1	13
Appendix 2	14
Appendix 3	15



## AIMS AND INSTRUCTIONS

The advantages of the depth sensing hardness test (instrumented indentation test or "recording hardness") are

- to avoid operator errors during the microscopic observation of the small residual indentations,
- to perform a lot of indentations for averaging,
- to study hardness gradients on the surface (coatings).

For this reason, on the one hand the depth sensing hardness measurement is appropriate to measure the hardness of ceramics (problems of visibility of the indentation edges due to cracking, hardness fluctuations due to microstructure). On the other hand, for applying the method on coated surfaces the problems of comparable measurements of different laboratories using different devices must be solved first on nearly homogeneous specimens.

The original aim of the round robin was to test the comparability of depth sensing measurements using highly stiff hardness machines up to 10 N. The high load experiments were chosen

- to avoid the problems appearing in the nanometer range (tip blunting, ISE),
- to focus on volume properties especially on ceramics (problems of conventional hardness measurements due to cracking and microstructure),

- to evaluate an optimal range of force and displacement for a future standard,
- to collect problems which must be taken into consideration for a future standard.

Regarding the fundamental physical data 'force' and 'displacement' measured in the continuous indentation test the participants were asked to send the raw data without any corrections (see the instructions in the appendix).

In reality only 6 laboratories were interested in taking part in the 10 N test. Instead 9 laboratories offered measurements at forces up to 1 N because some commercial devices for this range of force are available. Therefore this force was included in the round robin as well.

Two materials, an optical glass and dense silicon nitride, were used in this study. Further details are given in the instructions (appendix).

In this round robin, hardness is defined as the resistance of the tested material against the penetration of a pyramid of diamond while under load. Because of additional penetration due to elastic deformation of the surface, the hardness defined in such a way is less than the conventional hardness, for instance Vickers hardness. The inherent problems concerning conversion of the differently defined hardness values are not the subject of this round robin.



# PARTICIPANTS

Eleven laboratories from seven countries took part in the round robin and sent about 300 data files.

C. N. R. + Istituto di Metrologia "G. Colonnetti" Reperto Dinamometrico, Strada Delle Cacce, 73, I-10135 Torino, Italy <i>A. Germak</i>	10 N
CSIRO Division of Applied Physics PO Box 218, Lindfield, NWS, Australia 2070 <i>T. Bell</i>	1 N
Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Überlandstr. 129, CH-8600 Dübendorf, Switzerland <i>J. Kübler</i>	1N
Federal Institute for Materials Research and Testing D-12200 Berlin, Germany <i>Ch. Ullner, J. Beckmann</i>	10 N, 1 N
Martin-Luther-Universität, Physics Department Friedmann-Bach-Platz, D-06108 Halle, Germany <i>H. Meinhard, P. Grau</i>	10 N, 1 N
National Industrial Research Institute of Nagoya, 1-1, Hirate-cho, Kita-ku Nagoya 462 Japan <i>S. Sakaguchi</i>	1 N
National Institute of Standards and Technology Ceramics Division, Gaithersburg, MD 20899, USA <i>D. Smith, G. D. Quinn</i>	10 N, 1 N
New York State College of Ceramics 2 Pine St., Alfred, NY 14802, USA <i>J. R. Varner</i>	10 N
Physikalisch-Technische Bundesanstalt Fürstenwalder Damm 388, D-12587 Berlin, Germany K. Herrmann	1 N
Amtliche Materialprüfanstalt für Werkzeuge, Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik D-30167 Hannover, Germany <i>I. Patkovszky, E. Schenuit</i>	1 N
VITO- Materials Department B-2400 MOL, Belgium <i>W. Hendrix, W. Vandermeulen</i>	10 N

# METHOD OF ANALYSIS

One example of the raw data of force  $F$  and displacement  $h$  is shown in Fig. 1 with an artificial scale of displacement. Fig.1 contains 6 ranges discussed in the following paragraphs.

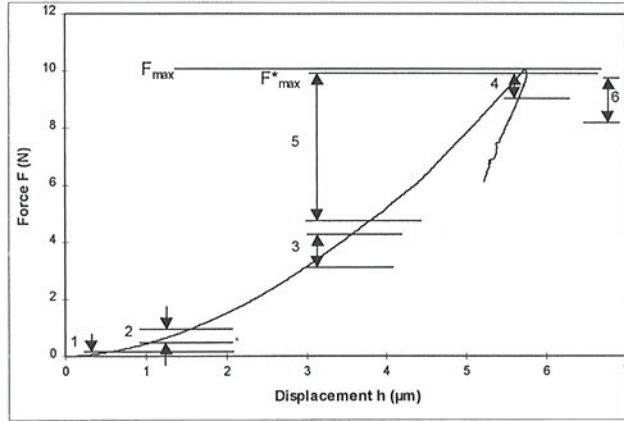


Fig.1: Demonstration of the ranges for analysing by an example of a force-displacement record (laboratory G,  $Si_3N_4$ , 10 N).

## Zero point range 1

The first step was to calculate the contact point (zero point  $h_0$ ) by extrapolating the fitted curve in the range  $0 \leq F_0^* \leq F \leq 0.02 F_{max}$  to  $F = 0$ .  $F_0^*$  is a minimal force illustrated in Fig. 2. In this way we get the penetration depth  $h - h_0$  as demonstrated in Fig. 2. The value  $F_0^*$  was chosen by the organizer in order to take into consideration the specific property of the participant's data files. The curve was fitted by the second order polynomial

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$$

with three different types of extrapolation functions

type 1:  $y = F$ ;  $x = h$  ( $\rightarrow h_{01}$ )

type 2:  $y = h$ ;  $x = \sqrt{F}$  ( $\rightarrow h_{02}$ )

type 3:  $y = h$ ;  $x = F$  ( $\rightarrow h_{03}$ )

The extrapolation according to type 1 is used in this report as standard. To evaluate the effect of the specific extrapolation function the types 2 and 3 were used as demonstrated in Fig. 2. The standard deviations of the three zero points  $h_{01}$ ,  $h_{02}$ ,  $h_{03}$  were calculated from the covariance matrix given by the least square fit [1]. More detailed information is given in [2, 3].

## Loading ranges 2 to 5

The next step was the fit of the loading curve in the 4 ranges of force defined in Fig. 1.

Range 2:  $0.05 < F/F_{max} \leq 0.1$

Range 3:  $0.32 < F/F_{max} \leq 0.43$

Range 4:  $0.82 < F/F_{max} \leq F_{max}^*/F_{max}$

Range 5:  $0.50 < F/F_{max} \leq F_{max}^*/F_{max}$

where  $F_{max}^*$  and  $F_{max}$  are defined in Fig. 3. The ranges 2, 3, and 4 are equidistant and cover the same width of penetration depth. The value  $F_{max}^*$  was chosen by the

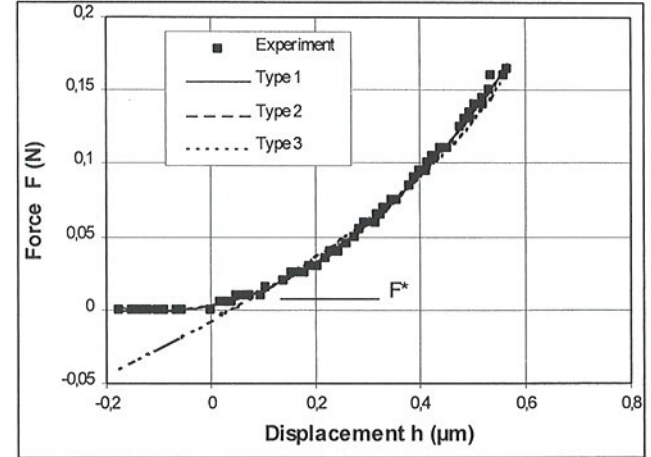


Fig. 2: Fitting in  $0 < F \leq F \leq 0.2 F_{max}$  and extrapolation to  $F = 0$  for the same record as plotted in Fig. 1.

organizer if the peak of the force-depth curve was not sharp (for example Fig. 3).

The fit was performed by linear regression of the plot  $\sqrt{F}$  against  $h$ . In that way the slope  $d\sqrt{F}/dh$  and the displacement  $h$  (at  $F/F_{max} = 0.1$ ;  $0.43, 1$ ) as well as  $HU$  and  $HU_s$  could be calculated [4]:

$$HU = \frac{F}{26.43 (h - h_{01})^2} \quad (1)$$

$$HU_s = \frac{1}{26.43} \left( \frac{d\sqrt{F}}{dh} \right)^2 \quad (2)$$

## Unloading range 6

The last step was to fit the unloading curve as demonstrated in Fig. 3. In the initial range of unloading  $F_{max}'' > F > 0.8 F_{max}$  the data  $F(h)$  were fitted by a second-order polynomial which permits the calculation of slope  $dF/dh$  at  $F_{max}''$  (as well as at  $0.8 F_{max}$  for estimating the variation inside the fitting range). While  $F_{max}''$  equals  $F_{max}$  for machines which work correctly in force control, the value  $F_{max}''$  had to be chosen by an operator if the indentation curve of the machine shows a blunt peak (Fig. 3).

In sum, all of the delivered data files were analysed completely uniquely. But some limits of the ranges,  $F_0^*$ ,  $F_{max}^*$ , and  $F_{max}''$ , had to be selected because the properties of the delivered data files were very different. The selection always was done by the same operator.



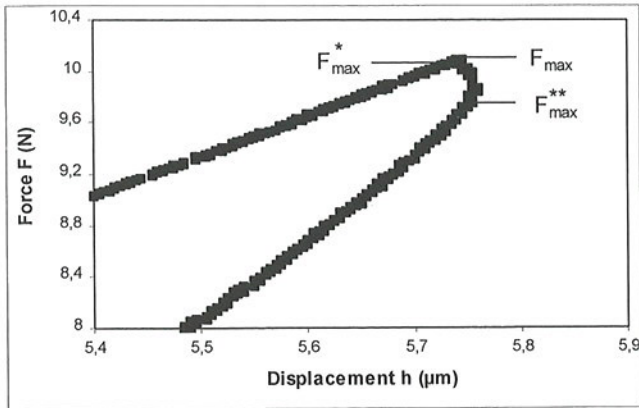


Fig. 3: Illustration of the uncertainties for the determination of the initial unloading slope near the maximal force

## RESULTS

The results are collected in 4 tables given in the appendix for the two materials optical glass BK7 and silicon nitride ceramics at 10 N and 1 N. The data in the tables are structured in 3 parts concerning

- the characteristics of the machines,

- the depth, force, and hardness parameters calculated according to the description before,
- the evaluation of uncertainties.

As the first part of the tables show, the machines were very different. For instance, the machines of the laboratories A, E, and N which based on dead-weight could not perform the small displacements rates of  $0.1 \mu\text{m/s}$  at contact as defined in the instructions. Also the sample rates were partially so small that the mean distance between two data points were  $7 \mu\text{m}$  at contact. On the other extreme, there was a mean distance of  $0.002 \mu\text{m}$  related to an uncertainty of  $0.05 \mu\text{m}$  (such data files covered 180 kByte). With the exception of the data from laboratories B, C, Q, S, W the displacement rates decrease strongly with increasing force.

The results of hardness are collected in the middle part of the tables and demonstrated in Fig. 4 and 5. Obviously, the reproducibility (precision between the laboratories) is not satisfactory although the repeatability (precision within the laboratories) is very good, for the most participants. In some cases the coefficient of variation (COV) drops below 1%. Figures 4 and 5 show both  $H_U$  and  $H_{U_s}$ . The magnitude of the hardnesses

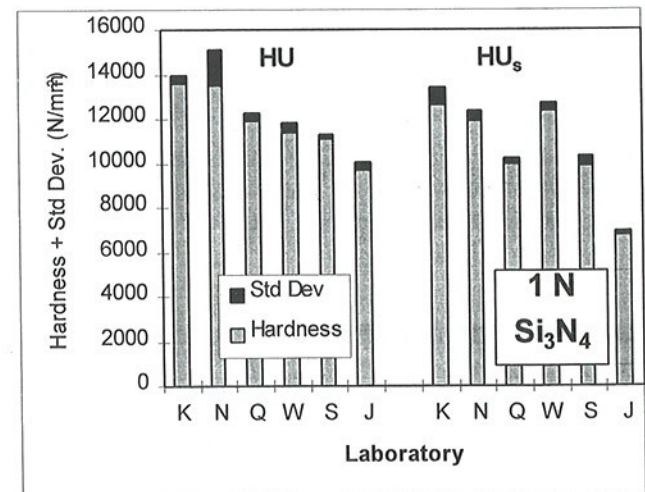
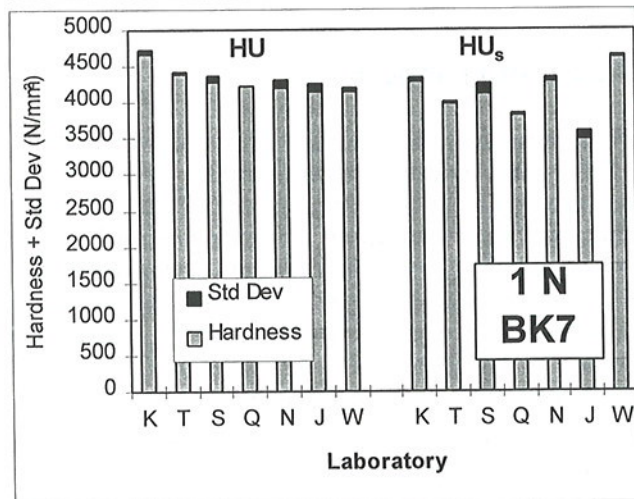
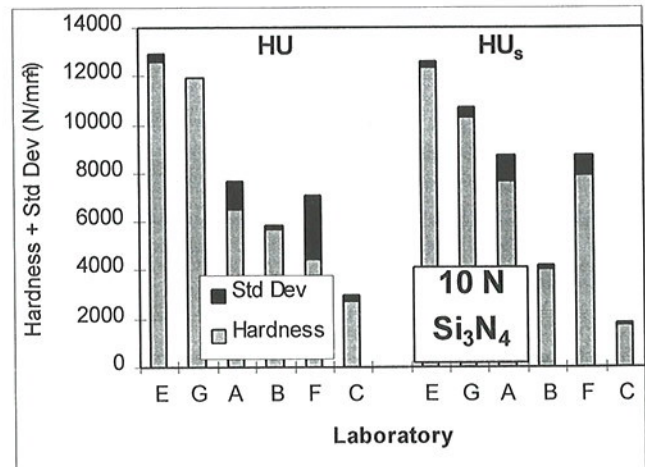
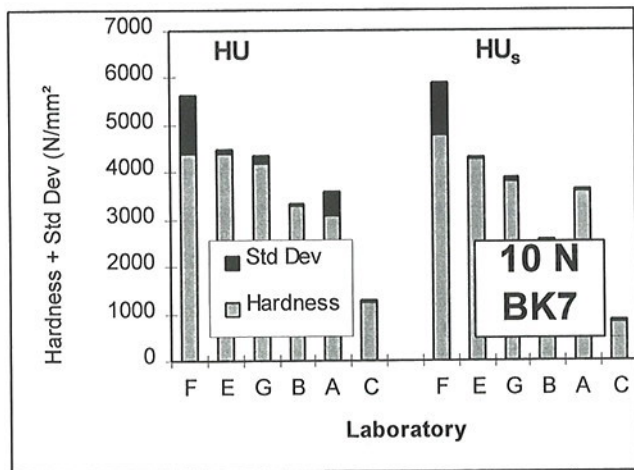


Fig. 4: Averages and standard deviations of the two hardness parameters  $H_U$  (left) and  $H_{U_s}$  (right) at maximal forces 10 N (above) and 1 N (below) on optical glass BK7.

Fig. 5: Averages and standard deviations of the two hardness parameters  $H_U$  (left) and  $H_{U_s}$  (right) at maximal forces 10 N



are similar, but there are slight variations in the laboratory rankings

It is worthwhile to note that the hardness conducted with Berkovich indenter is in good agreement to the data based on Vickers indenter.

The uncertainties given in the last parts of the 4 tables show the following general properties:

- The standard deviation of the displacement  $h$  (for  $HU$ ) or of the slope  $d\sqrt{F}/dh$  (for  $HU_s$ ) is significantly less than the standard deviation for the extrapolated zero point according to the type-1-fitting function.
- The standard deviation of the zero point extrapolated by type 2 and 3 is very small but the averages of those zero points differ substantially from the zero point extrapolated by type 1.
- The coefficient of variation (COV) of  $HU$  and  $HU_s$  are substantially greater than COV caused by the extrapolation of the zero point according to type 1.

## DISCUSSION

It is well known that the indentation force is proportional to the contact area of a pyramidal indenter in the ideal case (rule of geometric similarity). Accordingly, it is sensible to demonstrate the experimental results of the participating laboratories by plotting the square root of force  $\sqrt{F}$  against the displacement  $h$ . In that way deviations from the straight line indicate that the rule of similarity as the ideal case is disturbed. Additionally, the  $\sqrt{F}$ - $h$  plot is independent of the zero-point determination (contact point).

A characteristic deviation from the rule of similarity is observed near the contact point (caused by tip blunting, for instance). The data record demonstrated in Fig. 2 is replotted as  $\sqrt{F}$ - $h$  plot in Fig. 6. It shows the straight line is very good far away enough from the contact point. Near the contact point, a deflection from the straight line is indicated but there are not enough data points (or the force measurement precision is not small enough, respectively) to define the real curve. The fitting functions of types 1 to 3 give different zero points after extrapolating to  $F = 0$  (this is seen more pronounced in Fig. 6 than in Fig. 2). The big differences in this example seem to be caused by the large fitting range. The properties of the delivered data files were so different (including the effect of materials) that we had to make a compromise for the unique determination of the zero points. This will be a problem for standardization but fundamental studies may allow a more definitive characterization of the contact point. The round robin participants may have their own procedure for the determination of the zero point.

We also note that some data records give very high COV of  $HU$  at low forces since force increases only slightly as the indenter begins to make a permanent indentation. The question on the technical origin of that phenomenon can not be answered in this report.

It is interesting to note that the COVs of  $HU$  and  $HU_s$  are of comparable level. While the hardness  $HU$  of repeated indentations fluctuates due to the extrapolated zero points, the hardness  $HU_s$  (calculated from the slope of  $\sqrt{F}$ - $h$  plot) is more sensitive to inhomogeneities of material and the geometry of indenter and surface.

As mentioned above, the reproducibilities of the hardnesses  $HU$  or  $HU_s$  are not satisfactory between the laboratories. It is noteworthy that the data records in the  $\sqrt{F}$ - $h$  plot more or less deflect from the straight line to higher displacements with increasing force. Fig. 7 (page 10) demonstrates such a deviation between the data records of two participating laboratories related to a correct straight line. In no case are the deviations in the opposite way. The occurrence of higher displacements suggests a hypothesis of virtual displacements (caused by finite stiffness of the machine, for instance). Some machines take into account the stiffness of the frame but several machines do not need a correction since the displacement measurement is made between indenter and surface of the specimen. So additional displacements could only occur within the indenter

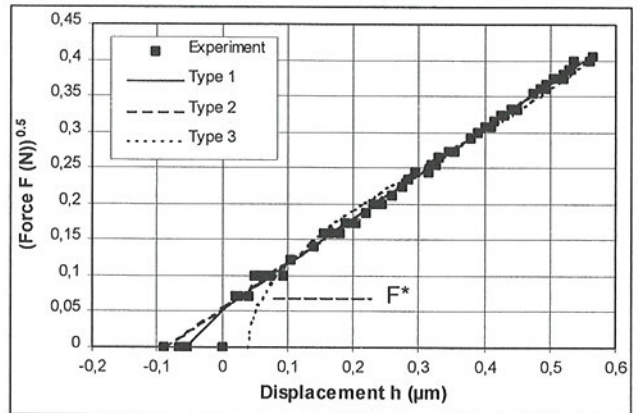


Fig. 6: Detailed demonstration of the different results of extrapolation using  $\sqrt{F}$ - $h$  plot of the same data as plotted in Fig. 2. Three types of fitting functions yield zero points which differ from each other more than the calculated standard deviations.

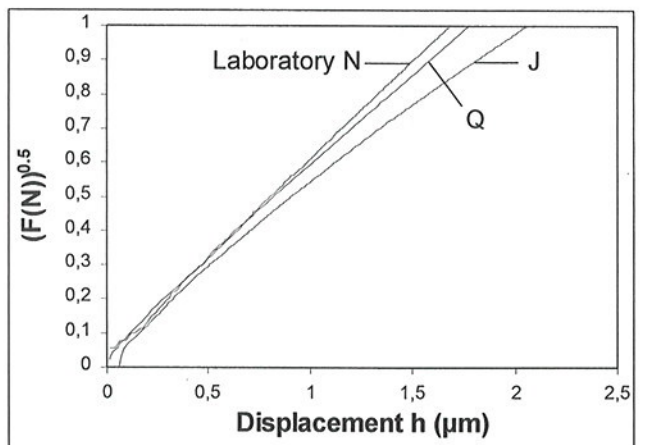


Fig. 7: Comparison of the data records of the participating laboratories J, N, and Q at 1 N on the silicon nitride ceramic



mounting or due to a slight movement of the specimen-indenter system (if the displacement is not measured symmetrically to the force line).

The effect of machine stiffness is now checked in detail. According to [5,6] the total penetration depth,  $h - h_0$ , measured is the sum of plastic,  $h_p$ , elastic,  $h_e$ , and machine displacement,  $h_m$ :

$$h - h_0 = h_p + h_e + h_m \quad (3)$$

and

$$h - h_0 = h_p + \frac{0.56\sqrt{2}}{7} \frac{F}{E^* h_p} + \frac{F}{S} \quad (4)$$

$S$  is the stiffness of the machine (or a scale for the precise working of the displacement measurement, respectively) and ranges from 5 to 50 N/ $\mu\text{m}$ . The effective elastic modulus for specimen/indenter,  $E^*$ , reads with the elastic modulus  $E$  and the Poisson's ratio of specimen and indenter.

$$E^* = \frac{1}{\frac{1 - \nu_{\text{specimen}}^2}{E_{\text{specimen}}} + \frac{1 - \nu_{\text{diamond}}^2}{E_{\text{diamond}}}} \quad (5)$$

	BK7	$\text{Si}_3\text{N}_4$	Diamond
$\nu$ (-)	0.23	0.23	0.25
$E$ (Gpa)	82	330	1200

Using equ. (4) the hardness can be simulated according to the equations (1) and (2). The displacement  $h_p$  is given by the Vickers hardness HV determined from the diagonal  $d$  assuming negligible diamond distortion:

HV was measured conventionally at 10 N using an optical microscope. The results were 5830 N/ $\text{mm}^2$  for BK7 and 16820 N/ $\text{mm}^2$  for the silicon nitride.

$$h_p = \frac{d}{7} = \sqrt{\frac{F}{26.43 HV}} \quad (6)$$

The initial unloading slope contains both the elastic distortion of the surface and of the measuring system

$$\left(\frac{dF}{dh}\right)_{F_{\text{max}}} = \frac{1.719 E^* \sqrt{F}}{\sqrt{VH}} \quad (7)$$

First the correlation between hardness and initial unloading slope is taken into consideration. Fig. 8 show the experimental results of  $HU_s$  in the range of 0.5 to 1  $F/F_{\text{max}}$  gathered in the 4 tables in the appendix and additionally the calculated curve according to equ. (4), (6), and (7). Actually, there is a correlation between the

smaller hardness and the smaller unloading slopes of some laboratories, more obviously at 10 N. Because of the observed large fluctuations the hardnesses were not corrected by the unloading slopes in this report. However, for evaluating the meaningfulness of the Fig. 8, it must be taken into account that no fitting procedures were used for calculated curves.

Finally, the force dependence of  $HU_s$  (equivalent to the bent curve in the  $\sqrt{F}$ - $h$  plot) appearing in the data records of some participating laboratories can also be explained by the finite stiffness. The force dependence simulated by equ. (3) and (4) is demonstrated in Fig. 9. While the stiffness of 5 N/ $\mu\text{m}$  is the average for machines which involves a stiffness correction, the stiffness of 50 N/ $\mu\text{m}$  is a representative value for a good system which usually do not need a correction. For illustration some experimental data were involved in Fig. 9. Again it should be noted that no fitting procedure was involved. It is evident that a significant force dependence do not appear in the range below 1 N, neither for experimental hardnesses nor for calculated ones. But at higher forces (above 10 N) a force dependence can be caused by a too small stiffness of the machine.

Taking into account the discussed problems of the delivered datafiles, only the results of 2 laboratories (for the tests at 10 N) and 5 laboratories (for the test at 1 N) can be used for averaging. Although the number of laboratories is small for a serious statistical analysis we otherwise would have no chance to demonstrate the final results. The following table gives the overall hardness parameters and tendencies of coefficients of variation. Reproducibility and repeatability are of the same order and sufficiently small.

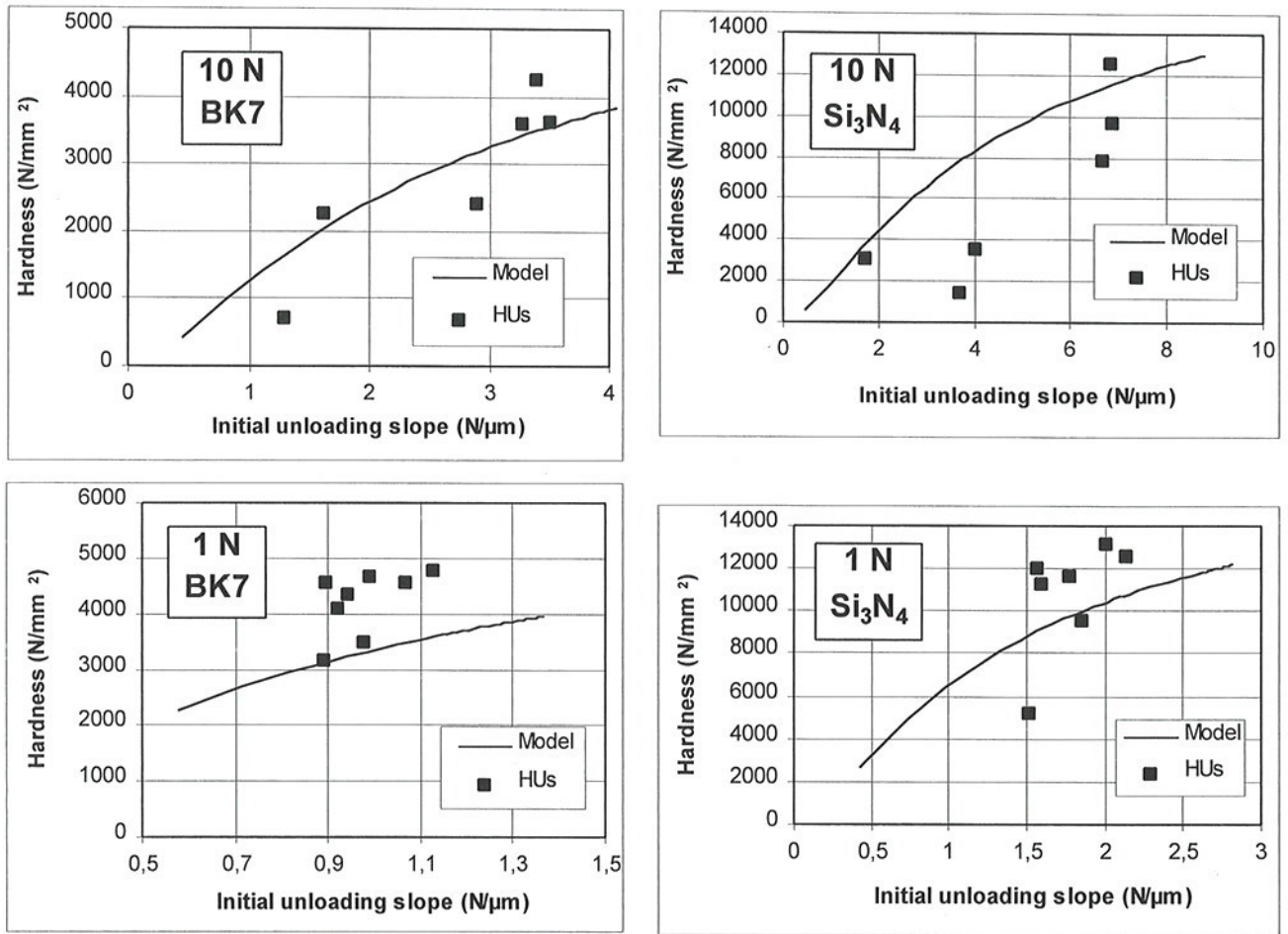


Fig. 8: Correlation between the initial unloading slope and  $HU_s$  determined in the range  $0.82 < F/F_{max} < 1$  with  $F_{max} = 10\text{ N}$  (above) and  $1\text{ N}$  (below) on optical glass BK7 (left) and silicon nitride (right). The solid line is calculated according to equ. (4), (6), and (7).

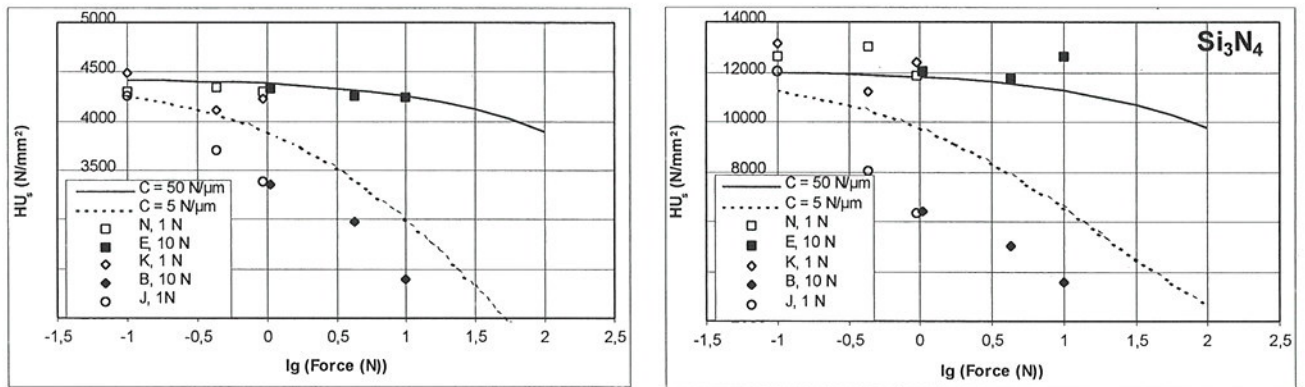


Fig. 9: The force dependence of hardness on optical glass BK7 (above) and silicon nitride ceramic (below) can be an effect of finite system stiffness,  $S$ . The solid and dotted lines are calculated by equ. (4) and (6).



	10N, BK7	10N, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	1N, BK7	1N, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
Number of laboratories	2	2	5	4
HU <sub>s</sub> in 0.05...0.1 F <sub>max</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	4260	12000	4290	12200
COV between laboratories (%)	(2)	(5)	3	7
COV within laboratories (%)	(2)	(5)	3	8
HU <sub>s</sub> in 0.5 ... 1 F <sub>max</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	4020	11300	3990	11100
COV between laboratories (%)	(8)	(3)	8	13
COV within laboratories (%)	(2)	(3)	1	4
HU at F <sub>max</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	4280	12300	4350	12500
COV between laboratories (%)	(4)	(4)	4	10
COV within laboratories (%)	(3)	(1)	1	5
dF/dh (N/μm) at F <sub>max</sub>	3.5	6.9	1.0	1.9
COV between laboratories (%)	(3)	(2)	8	13
COV within laboratories (%)	(3)	(2)	3	2

## Conclusion

1. Both the optical glass BK7 and the silicon nitride ceramics are appropriate for use as reference materials for recording hardness because the repeatability with the laboratories is good at 1 N.

2. An improved quality of the measuring system for the displacement at the indenter-specimen surface is needed for tests up to 10 N on advanced ceramics. The reproducibility between the laboratories is not satisfactory because the stiffness of some machines used in this round robin is too low or fluctuates too much. A criteria for high quality is a sufficiently high and stable value of the initial unloading slope.

3. A precise instruction for extrapolating the contact point shall be required in a standard for HU because both the fitting range as well as the fitting function affect the precision of that hardness parameter. Because of the problems with zero-point determinations the uncertainty of HU is no better than the uncertainty of HU<sub>s</sub> using these prototype reference materials.

## References

- [1] Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., Flannery, B. P.: Numerical Recipes; University Press Cambridge, 1992
- [2] Grau, P., Berg, G., Fränzel, W., Meinhard, H.: Recording hardness testing: problems of measurement at small indentation depth; Phys. stat. sol. (A) 46 (1994), 537
- [3] Ullner, Ch.: Requirement of a robust method on precise determination of the zero point in depth sensing hardness test, in preparation
- [4] DIN 50 359: Universal hardness testing, 1997
- [5] Weiss, H.-J.: On deriving Vickers hardness from penetration depth; Phys. stat. sol. (a) 99 (1987), S. 491-501
- [6] Ullner, Ch., Höhne, L.: A critical study of various recording microhardnesses; Phys. stat. sol. (a) 129 (1992), pp.167-180

# APPENDIX 1

## Instructions to the Recording Hardness Test on Ceramics

### Preparation

- The test pieces may have some Knoop or Vickers indentations already on the block. Please avoid these regions on the surface and also the outer 1 mm at the rim because there is a slight rounding of the edge.
- Indent into the polished surface only.
- Do not re-polish or alter the surface.
- Set the indentations as a group to identify them by the organizer.
- The distance between two indentations should be

	1 N	10 N
BK7	200 $\mu\text{m}$	600 $\mu\text{m}$
$\text{Si}_3\text{N}_4$	150 $\mu\text{m}$	500 $\mu\text{m}$

- Calibrate force and displacement of the machine.
- Clean the specimen surface using alcohol.
- Clean and check the indenter. To be sure that the indenter has a valid certification (right tip, angles etc.) according to the standard and is free of damage and contamination.
- Vickers indenter according to existing standards should be the preferred type of indenter but Berkovich indenter is also allowed (please report the angle).

### Test

- Start the data acquisition at least 10 couples before indenter contact.
- Set the penetration rate less than 0.1  $\mu\text{m}/\text{s}$  (report deviations caused by your machine).
- Set the data acquisition rate so high that in the range of  $0 < F < 0.1F_{\text{max}}$  the distance between two couples is less than  $0.02 h_{\text{max}}$  ( $h_{\text{max}}$  is the penetration depth at 10 N (or at 1 N respectively)).
- Hold the maximal force for 15 s.
- Finish the data acquisition during unloading not above  $0.8 F_{\text{max}}$ .

### Report

- Send the data time (optionally), force, and displacement on a 3½" floppy disc to the organizer

Dr. Christian Ullner  
BAM, Laboratory V.22: D-12200 Berlin

ASCII is preferred, Excel, Lotus 1-2-3, and QuattroPro are allowed. The data files should be formatted in IBM (or IBM compatible).

- Fill out the enclosed report sheet and send it to the organizer.
- Return the two specimens to the organizer.
- Assign the indentations to the data records.
- Report the reason for rejecting data records of any performed indentations.
- Calculate the recording hardness according to the procedure preferred of your laboratory (optional).
- The Map or Picture which shows where the indents are located should have a reference mark (and a mark on the edge of the round pieces).

## APPENDIX 2

### Information about the material

#### Silicon Nitride

The silicon nitride is Norton Advanced Ceramics grade NBD-200. The disks were made from 22 mm diameter bearing balls. The material has a magnesia sintering aid and is hot-isostatically pressed in a ball shape. The material is fully dense and has grains of approximately 1  $\mu$ m diameter. The elastic modulus is listed by Norton as 320 GPa. The balls were cut, ground, and polished to make disks. The polish was done by a chemomechanical procedure.

These disks were prepared at NIST as part of project to prepare Standard Reference Material #2830, Certified Hardness blocks for conventional Knoop Indentation Hardness. The disks used in this round robin are prototype Standard Reference Material test pieces. The disks are isotropic and uniform and do not have a detectable hardness variation across the surface (by Knoop hardness testing at 19.6 N).

For more information on these blocks, see

*R. Gettings, G. Quinn, A. Ruff, and L. Ives: Hardness Standard Reference Materials (SRM's) for Advanced Ceramics, VDI Berichte Nr. 1194 (1995) pp. 255-264*

#### Optical Glass BK 7

BK 7 is a borosilicate crown glass that is used for optical applications. The glass specimens in this round robin were produced and prepared by the Schott-Glaswerke, Mainz. The elastic modulus for BK 7 is listed as 82 GPa and the conventional Knoop hardness as 610 HK0.1/20 in the Schott optical glass catalog.

The glass BK 7 seems to be appropriate for using in reference studies. The glass was used in an earlier round robin organized by the International Commission on Glass, Technical Committee 6. The recording Vickers hardness of BK 7 was about 4200 N mm<sup>-2</sup> at 2 N.

For more information, see

*Ch. Ullner and J. R. Varner: Recording microhardness of glasses-results of a round robin, Proc. of XVII International Congress on Glass (ed. By Gong Fangtun), Vol. 3, pp. 602-607.*



# APPENDIX 3

Results of the VAMAS Round Robin on Recording Hardness:					BK7, $F_{max} = 10\text{ N}$		
Code of laboratory	A	B	C	E	F	G	
Machine	home-made <sup>1</sup>	ext. MTS <sup>6</sup>	home-made <sup>3</sup>	ext. Tukon <sup>4</sup>	ext. Instron <sup>5</sup>	HMO 100R <sup>6</sup>	
Indenter	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	
Data sets analysed	5	10	3	14	9	9	
Sample rate at contact ( $s^{-1}$ )	3	50	2.5	10	1	6	
Displacement rates ( $\mu\text{m s}^{-1}$ )							
at contact	21	0.1	0.13	0.44	0.1	0.13	
at $F_{max}/10$	1	0.08	0.1	0.09	0.01	0.05	
at $F_{max}$	0.03	0.08	0.07	0.02	0.003	0.02	
after $F_{max}$	-0.03	-0.08	-0.05	-0.015	-0.003	-0.01	
Calibration of force	weight	load cell	weight	weight	load cell	load cell	
Calibration of displacement	interferom.	LVDT	micrometer	encoder-controlled translation stage	LVDT	piezotrans.	
Uncertainty of force [N]	0.02	0.0035	0.01	1%	0.02	1%	
Uncertainty of displ. [ $\mu\text{m}$ ]	0.01	0.0035	0.03	1%	0.001	1%	
Correction of the raw data	no corr.	no corr.	no corr.	no corr.	no corr.	no corr.	
Depth ( $\mu\text{m}$ ) at 1 N	4.131	2.850	4.406	2.864	4.328	2.796	
Depth ( $\mu\text{m}$ ) at 4.3 N	7.664	6.558	10.255	6.047	6.532	6.087	
Depth ( $\mu\text{m}$ ) at $F_{max}$	11.145	10.744	17.480	9.275	9.239	9.531	
$F_{max}$ (N)	9.98	10.01	9.88	9.96	9.40	9.99	
HU ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at 1 N	2479	4665	1956	4628	2356	4910	
Standard deviation	989	240	162	326	1235	641	
HU ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at 4.3 N	2870	3784	1550	4454	4184	4403	
Standard deviation	674	91	100	152	1523	271	
<b>HU (<math>\text{N mm}^{-2}</math>) at <math>F_{max}</math></b>	<b>3092</b>	<b>3282</b>	<b>1225</b>	<b>4383</b>	<b>4396</b>	<b>4167</b>	
Standard deviation	502	57	73	100	1220	174	
HU <sub>s</sub> ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at 5...10 N	3267	3356	1608	4331	2022	4185	
Standard deviation	304	273	189	36	1561	164	
HU <sub>s</sub> ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at 3.2...4.3 N	3606	2979	1064	4252	3902	3814	
Standard deviation	81	267	89	82	732	89	
HU <sub>s</sub> ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at 8.2...10 N	3602	2399	722	4242	2272	3621	
Standard deviation	145	137	38	94	688	76	
<b>HU<sub>s</sub> (<math>\text{N mm}^{-2}</math>) at 5...10 N</b>	<b>3580</b>	<b>2477</b>	<b>800</b>	<b>4260</b>	<b>4771</b>	<b>3786</b>	
Standard deviation	47	86	54	57	1102	112	
<b>dF/dh (<math>\text{N }\mu\text{m}^{-1}</math>) at <math>F_{max}</math></b>	<b>3.27</b>	<b>2.89</b>	<b>1.29</b>	<b>3.39</b>	<b>1.62</b>	<b>3.50</b>	
Standard deviation	0.05	0.07	0.03	0.05	0.22	0.15	
dF/dh ( $\text{N}/\mu\text{m}$ ) at 0.8 $F_{max}$	2.99	2.62	1.18	3.09	1.49	3.24	
Var. coeff. (%) zero point	16.03	0.09	0.59	1.21	3.60	0.31	
Rel.dev. HU (%) Type 1->2	-124.99	-1.37	0.05	-1.90	-15.91	-3.82	
Rel.dev. HU (%) Type 1->3	-46.65	0.77	1.68	2.06	-0.37	-0.91	
<b>Var. coeff. (%) HU at 10 N</b>	<b>16.23</b>	<b>1.75</b>	<b>5.93</b>	<b>2.29</b>	<b>27.75</b>	<b>4.17</b>	
Var. coeff. (%) HU <sub>s</sub> at 10 N	1.31	3.46	6.76	1.34	23.09	2.97	
<sup>1</sup> Optical interferometry in indenter axis, related to specimen desk, $F_{max}=1840\text{ N}$							
<sup>2</sup> No information							
<sup>3</sup> LVDT between indenter and basic frame							
<sup>4</sup> Two capacitive transducers mounted symmetrically on opposite sides of indenter							
<sup>5</sup> LVDT between indenter and support of specimen (load cell)							
<sup>6</sup> LVDT between indenter and specimen surface							

Results of the VAMAS Round Robin on Recording Hardness:				Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , F <sub>max</sub> = 10 N		
Code of laboratory	A	B	C	E	F	G
Machine	home-made <sup>1</sup>	ext. MTS <sup>6</sup>	home-made <sup>3</sup>	ext. Tukon <sup>4</sup>	ext. Instron <sup>5</sup>	HMO 100R <sup>6</sup>
Indenter	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers
Data sets analysed	4	3	10	11	2	6
Sample rate at contact (s <sup>-1</sup> )	3	50	2.5	10	1	6
Displacement rates (µm s <sup>-1</sup> )						
at contact	21	0.1	0.13	0.44	0.07	0.08
at F <sub>max</sub> /10	0.2	0.08	0.09	0.09	0.01	0.03
at F <sub>max</sub>	0.02	0.08	0.06	0.02	0.003	0.01
after F <sub>max</sub>	-0.01	-0.08	-0.01	-0.015	-0.003	-0.005
Calibration of force	weight	load cell	weight	weight	load cell	load cell
Calibration of displacement	interferom.	LVDT	micrometer	encoder-controlled translation stage	LVDT	piezotrans.
Uncertainty of force [N]	0.02	0.0035	0.01	1%	0.02	1%
Uncertainty of displ. [µm]	0.01	0.0035	0.03	1%	0.001	1%
Correction of the raw data	no corr.	no corr.	no corr.	no corr.	no corr.	no corr.
Depth (µm) at 1 N	2.947	2.049	2.696	1.640	6.757	1.524
Depth (µm) at 4.3 N	5.323	4.886	6.801	3.559	8.463	3.503
Depth (µm) at F <sub>max</sub>	7.699	8.147	11.643	5.459	10.505	5.629
F <sub>max</sub> (N)	9.98	10.01	9.82	9.95	9.60	9.99
HU (N mm <sup>-2</sup> ) at 1 N	5031	9022	5856	14110	1516	16299
Standard deviation	2623	417	2928	1047	1161	477
HU (N mm <sup>-2</sup> ) at 4.3 N	5933	6821	3555	12858	3388	13256
Standard deviation	1378	280	517	487	2184	143
<b>HU (N mm<sup>-2</sup>) at F<sub>max</sub></b>	<b>6494</b>	<b>5708</b>	<b>2748</b>	<b>12639</b>	<b>4444</b>	<b>11925</b>
Standard deviation	1195	152	192	298	2617	22
HU <sub>s</sub> (N mm <sup>-2</sup> ) at 5...10 N	7474	6405	4264	12045	2734	11990
Standard deviation	2442	496	898	465	1569	836
HU <sub>s</sub> (N mm <sup>-2</sup> ) at 3.2...4.3 N	7917	4986	1883	11749	3940	10417
Standard deviation	828	511	260	290	790	576
HU <sub>s</sub> (N mm <sup>-2</sup> ) at 8.2...10 N	7857	3545	1395	12590	3086	9674
Standard deviation	1234	298	252	346	512	385
<b>HU<sub>s</sub> (N mm<sup>-2</sup>) at 5...10 N</b>	<b>7694</b>	<b>4047</b>	<b>1718</b>	<b>12371</b>	<b>7893</b>	<b>10326</b>
Standard deviation	1034	112	80	255	815	370
dF/dh (N µm <sup>-1</sup> ) at F <sub>max</sub>	6.66	4.01	3.67	6.82	1.70	6.88
Standard deviation	0.57	0.36	1.29	0.06	0.16	0.20
dF/dh (N/µm) at 0.8 F <sub>max</sub>	6.14	3.65	3.45	6.29	1.60	6.57
Var. coeff. (%) zero point	45.50	0.16	0.36	0.76	2.51	0.08
Rel.dev. HU (%) Type 1->2	-179.17	-0.82	1.18	-1.17	7.72	-4.19
Rel.dev. HU (%) Type 1->3	-48.16	0.34	0.67	1.32	3.89	-0.80
<b>Var. coeff. (%) HU at 10 N</b>	<b>18.40</b>	<b>2.66</b>	<b>6.98</b>	<b>2.36</b>	<b>58.88</b>	<b>0.18</b>
Var. coeff. (%) HU <sub>s</sub> at 10 N	13.44	2.77	4.64	2.06	10.33	3.58
<sup>1</sup> Optical interferometry in indenter axis, related to specimen desk, F <sub>max</sub> =1840 N						
<sup>2</sup> No information						
<sup>3</sup> LVDT between indenter and basic frame						
<sup>4</sup> Two capacitative transducers mounted symmetrically on opposite sides of indenter						
<sup>5</sup> LVDT between indenter and support of specimen (load cell)						
<sup>6</sup> LVDT between indenter and specimen surface						



Results of the VAMAS Round Robin on Recording Hardness:					BK7, $F_{max} = 1\text{ N}$				
Code of laboratory	J	K	N	Q	R	S	T	U	W
Machine	DUH-202 <sup>1</sup>	HMO 10R <sup>2</sup>	ext. Tukon <sup>3</sup>	H 100 <sup>4</sup>	DUH-202 <sup>1</sup>	UMIS 2000 <sup>5</sup>	H 100 <sup>4</sup>	UMIS 2000 <sup>5</sup>	Nano Indenter II <sup>1</sup>
Indenter	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	Berkovich	Berkovich
Data sets analysed	13	9	4	10	4	11	10	5	13
Sample rate at contact ( $s^{-1}$ )	17	6	10	90		4	90	4	10
Displacement rates ( $\mu\text{m s}^{-1}$ )									
at contact		0.2	0.3						0.03
at $F_{max}/10$		0.04	0.15	0.07		0.1	0.07	0.1	0.05
at $F_{max}$	0.06	0.01	0.06	0.08		0.1	0.08	0.1	0.05
after $F_{max}$		-0.006	-0.05	-0.03		-0.1	-0.03	-0.1	-0.05
Calibration of force	load cell	load cell				balance			balance
Calibration of displacement	interferom.	LVHT				interferom.			interferom.
Uncertainty of force [N]	1%	0.0005	1%	1%		1%	1%	0.00001	1%
Uncertainty of displ. [ $\mu\text{m}$ ]	2%	0.0025	1%	0.03		3%	0.03	0.001	0.001
Correction of the raw data	no corr.	no corr.	no corr.	no corr.	no corr.	stiffness	no corr.	no corr.	stiffness
Depth ( $\mu\text{m}$ ) at 0.1 N	0.831	0.823	0.993	0.863	1.023	0.897	0.844	0.637	1.013
Depth ( $\mu\text{m}$ ) at 0.43 N	1.892	1.825	1.983	1.907	2.268	1.925	1.868	1.605	2.028
Depth ( $\mu\text{m}$ ) at $F_{max}$	3.018	2.847	2.991	2.989	3.529	2.974	2.931	0.000	3.026
$F_{max}$ (N)	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00
HU ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at 0.1 N	5478	5595	3858	5081	3619	4702	5306	9322	3693
Standard deviation	168	190	367	19	92	66	83	214	175
HU ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at 0.43 N	4546	4885	4141	4475	3166	4389	4663	6314	3956
Standard deviation	94	89	189	13	117	66	54	98	93
HU ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at $F_{max}$	4147	4667	4188	4231	3044	4281	4403		4145
Standard deviation	96	56	126	8	152	81	22		65
HU <sub>s</sub> ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at 0.05...0.1N	4255	4496	4304	4198	2815	4248	4182	6726	4306
Standard deviation	155	82	281	67	87	33	82	152	56
HU <sub>s</sub> ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at 0.32..0.43 N	3706	4113	4342	3930	2807	4076	4159	4238	4188
Standard deviation	154	236	103	63	201	110	290	358	153
HU <sub>s</sub> ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at 0.82...1 N	3379	4222	4303	3732	2797	3888	3881		4735
Standard deviation	156	89	41	54	188	328	245		89
HU <sub>s</sub> ( $\text{N mm}^{-2}$ ) at 0.5...1 N	3491	4277	4281	3805	2829	4130	3975		4607
Standard deviation	112	72	43	26	231	111	40		47
$dF/dh$ ( $\text{N } \mu\text{m}^{-1}$ ) at $F_{max}$	0.90	1.13	1.07	0.94	0.89	0.92	0.99	1.03	1.04
Standard deviation	0.04	0.03	0.04	0.02	0.02	0.01	0.04	0.03	0.00
$dF/dh$ ( $\text{N}/\mu\text{m}$ ) at $0.8 F_{max}$	0.86	0.87	0.98	0.86	1.09	0.88	0.89	0.68	0.90
Var. coeff. (%) zero point	0.32	0.29	40.96	9.13	5.38	14.15	0.20		0.04
Rel.dev. HU (%) Type 1->2	0.32	-1.31	6.37	-1.96	-0.03	-4.76	-0.04		3.10
Rel.dev. HU (%) Type 1->3	0.84	4.48	37.02	4.54	1.82	1.42	0.22		5.05
Var. coeff. (%) HU at 1 N	2.32	1.20	3.00	0.19	4.98	1.89	0.51		1.56
Var. coeff. (%) HU <sub>s</sub> at 1 N	3.21	1.67	1.01	0.69	8.17	2.70	0.99		1.02
<sup>1</sup> No information									
<sup>2</sup> LVDT between indenter and specimen surface									
<sup>3</sup> Two capacitive transducers mounted symmetrically on opposite sides of indenter									
<sup>4</sup> LVDT between indenter and specimen surface, in indenter axis									
<sup>5</sup> LVDT between indenter and frame, in indenter axis									

Results of the VAMAS Round Robin on Recording Hardness:				Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> , F <sub>max</sub> = 1 N				
Code of laboratory	J	K	N	Q	R	S	U	W
Machine	DUH-202 <sup>1</sup>	HMO 10R <sup>2</sup>	ext. Tukon <sup>3</sup>	H 100 <sup>4</sup>	DUH-202 <sup>1</sup>	UMIS 2000 <sup>5</sup>	UMIS 2000 <sup>5</sup>	Nano Indenter II <sup>1</sup>
Indenter	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	Vickers	Berkovich	Berkovich
Data sets analysed	13	9	4	10	3	10	5	10
Sample rate at contact (s <sup>-1</sup> )	17	6	10	67		4	4	10
Displacement rates (µm s <sup>-1</sup> )								
at contact		0.2	0.3					0.03
at F <sub>max</sub> /10		0.04	0.1	0.05		0.1	0.1	0.05
at F <sub>max</sub>	0.04	0.006	0.04	0.05		0.1	0.1	0.05
after F <sub>max</sub>		-0.003	-0.03	-0.03		-0.1	-0.1	-0.05
Calibration of force	load cell	load cell				balance		balance
Calibration of displacement	interferom.					interferom.		interferom.
Uncertainty of force [N]	1%	0.0005	1%	1%		1%	0.00001	1%
Uncertainty of displ. [µm]	2%	0.0025	1%	0.03		3%	0.001	0.001
Correction of the raw data						stiffness	no corr.	stiffness
Depth (µm) at 0.1 N	0.480	0.461	0.446	0.487	0.650	0.519	0.355	0.589
Depth (µm) at 0.43 N	1.176	1.077	1.023	1.114	1.477	1.166	0.856	1.213
Depth (µm) at F <sub>max</sub>	1.978	1.668	1.626	1.784	2.326	1.846		1.828
F <sub>max</sub> (N)	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.50	1.01
HU (N mm <sup>-2</sup> ) at 0.1 N	16418	17852	41978	15971	8988	14076	30120	10992
Standard deviation	968	974	51694	1004	883	371	2705	1218
HU (N mm <sup>-2</sup> ) at 0.43 N	11780	14040	17200	13132	7490	11966	22256	11077
Standard deviation	568	321	7105	467	725	223	1218	588
HU (N mm <sup>-2</sup> ) at F <sub>max</sub>	<b>9665</b>	<b>13610</b>	<b>14702</b>	<b>11909</b>	<b>7014</b>	<b>11105</b>		<b>11404</b>
Standard deviation	336	348	3654	319	513	198		434
HU <sub>s</sub> (N mm <sup>-2</sup> ) at 0.05...0.1 N	12048	13137	12508	11664	5182	11220	23656	11699
Standard deviation	730	1715	852	573	972	774	602	1264
HU <sub>s</sub> (N mm <sup>-2</sup> ) at 0.32...0.43 N	8001	11223	12990	10634	6805	10281	13343	10904
Standard deviation	622	1499	764	598	730	551	560	249
HU <sub>s</sub> (N mm <sup>-2</sup> ) at 0.82...1 N	6333	12385	11788	9907	5770	9403		12474
Standard deviation	240	570	549	400	425	601		693
HU <sub>s</sub> (N mm <sup>-2</sup> ) at 0.5...1 N	<b>6753</b>	<b>12641</b>	<b>11911</b>	<b>9948</b>	<b>6095</b>	<b>9854</b>		<b>12338</b>
Standard deviation	138	792	424	263	176	458		386
dF/dh (N µm <sup>-1</sup> ) at F <sub>max</sub>	<b>1.56</b>	<b>2.00</b>	<b>2.11</b>	<b>1.77</b>	<b>1.51</b>	<b>1.59</b>	<b>2.16</b>	<b>1.89</b>
Standard deviation	0.06	0.09	0.06	0.09	0.06	0.03	0.07	0.05
dF/dh (N/µm) at 0.8 F <sub>max</sub>	1.45	1.80	1.88	1.62	1.83	1.51	1.20	1.57
Var. coeff. (%) zero point	0.24	0.49	75.09	5.84	4.24	5.37		0.02
Rel.dev. HU (%) Type 1->2	0.15	-1.91	-18.60	-1.09	-0.13	-11.72		2.34
Rel.dev. HU (%) Type 1->3	0.37	2.60	-14.55	1.71	0.74	-7.71		4.54
Var. coeff. (%) HU at 1 N	<b>3.47</b>	<b>2.56</b>	<b>24.86</b>	<b>2.67</b>	<b>7.31</b>	<b>1.79</b>		<b>3.81</b>
Var. coeff. (%) HU <sub>s</sub> at 1 N	2.04	6.27	3.56	2.64	2.89	4.65		3.13
<sup>1</sup> No information								
<sup>2</sup> LVDT between indenter and specimen surface								
<sup>3</sup> Two capacitive transducers mounted symmetrically on opposite sides of indenter								
<sup>4</sup> LVDT between indenter and specimen surface, in indenter axis								
<sup>5</sup> LVDT between indenter and frame, in indenter axis								



# Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

Nr. 1/1968

**Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)**  
Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft

Nr. 2/1970 (vergriffen)

G. Andreas  
**Zum Problem des Feuchtigkeitsschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern**

Nr. 3/1970

J. Ziebs  
**Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungsseilen als Beispiel für Verbundbauteile**

Nr. 4/1970 (vergriffen)

A. Burmester  
**Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit — Grundlagen und Vergütungsverfahren**

Nr. 5/1971

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

Nr. 6/1971

P. Schneider  
**Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen**

Nr. 7/1971

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

Nr. 8/1971

H. Veith  
**Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung**

Nr. 9/1971

K.-H. Möller  
**Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen**

Nr. 10/1972

D. Aurich, E. Martin  
**Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode**

Nr. 11/1972

H.-J. Krause  
**Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden**

Nr. 12/1972

H. Feuerberg  
**Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren**

Nr. 13/1972

K.-H. Habig, K. Kirschke, W.-W. Maennig, H. Tischer  
**Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und  $2 \cdot 10^{-7}$  Torr**

Nr. 14/1972

E. Fischer  
**Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz**

Nr. 15/1972

H. Pohl  
**Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse**

Nr. 16/1972

E. Knublauch  
**Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102 Blatt 2 im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadenfeuer**

Nr. 17/1972

P. Reimers  
**Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen**

Nr. 18/1973

W. Struck  
**Das Spröbruchverhalten des Baustahles RSt 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**

Nr. 19/1973

K. Kaffanke, H. Czichos  
**Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen**

Nr. 20/1973

R. Rudolphi  
**Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden**

Nr. 21/1973

D. Klaffke, W. Maennig  
**Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung**

Nr. 22/1973

R. Rudolphi, E. Knublauch  
**Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen**

Nr. 23/1973

W. Ruske  
**Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin. Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen**

Nr. 24/1973

J. Stanke, E. Klement, R. Rudolphi  
**Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung**

Nr. 25/1973

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

Nr. 26/1974

P. Jost, P. Reimers, P. Weise  
**Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM — Eigenschaften und erste Anwendungen**

Nr. 27/1974

H. Wüstenberg  
**Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall**

Nr. 28/1974

H. Heinrich  
**Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern**

Nr. 29/1974

P. Schneider  
**Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem Idealisotropen porösen Material mit starrem Skelett für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall**

Nr. 30/1974 (vergriffen)

H. Czichos, G. Salomon  
**The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology**

Nr. 31/1975

G. Fuhrmann  
**Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung**

Nr. 32/1975

R. Rudolphi, B. Böttcher  
**Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärme-stromverteilungen mit Anwendungsbeispielen**

Nr. 33/1975

A. Wagner, G. Kieper, R. Rudolphi  
**Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens**

Nr. 34/1976 (vergriffen)

H.-J. Deppe  
**Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoff**

Nr. 35/1976

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

Nr. 36/1976 (vergriffen)

J. Hundt  
**Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles**

Nr. 37/1976

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

Nr. 38/1976

K.-H. Habig  
**Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionitriertem Stahl 42 CrMo 4**

Nr. 39/1976

K. Kirschke, G. Kempf  
**Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit Nicht-Newtonschem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Schwerbeanspruchung**

Nr. 40/1976

H. Hantsche  
**Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren**

Nr. 41/1976

B. Böttcher  
**Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten**

Nr. 42/1976

S. Dietten  
**Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft**

Nr. 43/1976

W. Struck  
**Das Spröbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**

Nr. 44/1976

W. Matthees  
**Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms "Stab-Werk"**

Nr. 45/1976

W. Paatsch  
**Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten**

Nr. 46/1977 (vergriffen)

G. Schickert, H. Winkler  
**Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung (Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses)**



- Nr. 47/1977  
A. Plank  
Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen
- Nr. 48/1977  
U. Holzlöhner  
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn
- Nr. 49/1977  
G. Wittig  
Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung
- Nr. 50/1978 (vergriffen)  
N. Czaika, N. Mayer, C. Amberg, G. Magiera, G. Andraea, W. Markowski  
Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und Überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern
- Nr. 51/1978  
J. Sickfeld  
Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen
- Nr. 52/1978  
A. Tomov  
Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung
- Nr. 53/1978  
R.-G. Rohrmann, R. Rudolphi  
Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge
- Nr. 54/1978  
H. Sander  
Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung
- Nr. 55/1978  
D. Klaffke  
Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristalle polykristalliner 99,999% -Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung
- Nr. 56/1979  
W. Brünner, C. Langlie  
Stabilität von Sandwichbauteilen
- Nr. 57/1979  
M. Stadthaus  
Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpulverprüfung (Investigations on Inspection-Media for Magnetic Particle-Testing)
- Nr. 58/1979  
W. Struck  
Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau
- Nr. 59/1979  
G. Plauk  
Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl
- Nr. 60/1979  
H. Spreckelmeyer, R. Helms, J. Ziebs  
Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken
- Nr. 61/1979  
K. Richter  
Beschreibung von Problemen der höheren Farbmetrik mit Hilfe des Gegenfarbensystems
- Nr. 62/1979  
W. Gerisch, G. Becker  
Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle
- Nr. 63/1979  
E. Behrend, J. Ludwig  
Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase
- Nr. 64/1980  
W. Rücker  
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
- Nr. 65/1980  
P. Schmidt, D. Aurich, R. Helms, H. Veith, J. Ziebs  
Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte
- Nr. 66/1980  
M. Hattwig  
Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung
- Nr. 67/1980  
W. Matthees  
Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung
- Nr. 68/1980  
D. Petersohn  
Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik — Entwicklung eines volleuzentrischen Präzisions-Goniometers
- Nr. 69/1980  
F. Buchhardt, P. Brandl  
Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitshüllen (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise
- Nr. 70/1980 (vergriffen)  
G. Schickert  
Schwellenwerte beim Betondruckversuch
- Nr. 71/1980  
W. Matthees, G. Magiera  
Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen
- Nr. 72/1980  
R. Rudolphi  
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen
- Nr. 73/1980  
P. Wegener  
Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen
- Nr. 74/1980  
R. Rudolphi, R. Müller  
ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz
- Nr. 75/1980  
H.-J. Heinrich  
Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen
- Nr. 76/1980  
D. Klaffke, W.-W. Maennig  
Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop
- Nr. 77/1981  
M. Gierloff, M. Maultzsch  
Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen
- Nr. 78/1981  
W. Rücker  
Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Swellensystems mit dem Untergrund
- Nr. 79/1981  
V. Neumann  
Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflussten Kaltrißneigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch
- Nr. 80/1981  
A. Plank, W. Struck, M. Tzschätzsch  
Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten
- Nr. 81/1981  
J. Schmidt  
Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik
- Nr. 82/1982  
R. Helms, H.-J. Kühn, S. Ledworuski  
Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches (Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test)
- Nr. 83/1982  
H. Czichos, P. Feinle  
Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen — Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen
- Nr. 84/1982  
R. Müller, R. Rudolphi  
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)
- Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/1982  
H. Czichos  
Technische Materialforschung und -prüfung — Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm "Basic Technological Research"
- Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/1982  
K. Niesel, P. Schimmelwitz  
Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügemerkmale
- Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/1982  
B. Isecke, W. Stichel  
Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren
- Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/1983  
A. Erhard  
Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall
- Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/1983  
D. Conrad, S. Diellen  
Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid
- Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/1983  
K. Brandes, E. Limberger, J. Herter  
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen (Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members)
- Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/1983  
M. Weber  
Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz
- Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/1983  
L. Auersch  
Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden



- Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/1983  
P. Studt  
Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen
- Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/1983  
Xian-Quan Dong  
Untersuchungen der Störschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen
- Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/1983  
M. Römer  
Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten
- Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/1983  
H. Eifler  
Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken
- Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/1983  
G. Fuhrmann, W. Schwarz  
Typische Bruchflächenbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung
- Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/1983  
E. Schnabel  
Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschinenwaren — Stretch- und Erholungsvermögen
- Nr. 99/ISBN 3-88314-317-0/1983  
K. Brandes, E. Limberger, J. Herter  
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen (Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members)
- Nr. 100/ISBN 3-88314-298-0/1984  
G. Klamrowski, P. Neustupny  
Untersuchungen zur Prüfung von Beton auf Frostwiderstand
- Nr. 101/ISBN 3-88314-327-8/1984  
P. Reimers, J. Goebels, H. Heidt, P. Weise, K. Wilding  
Röntgen- und Gammastrahlen-Computer-Tomographie
- Nr. 102/ISBN 3-88314-335-9/1984  
G. Magiera  
Weiterentwicklung des hydraulischen Kompensationsverfahrens auf Druckspannungsmessung in Beton
- Nr. 103/ISBN 3-88314-328-6/1984  
D. Schnitger  
Radiographie mit Elektronen aus Metallverstärkerfolien
- Nr. 104/ISBN 3-88314-339-1/1984  
M. Gierloff  
Beeinflussung von Betoneigenschaften durch Zusatz von Kunststoffdispersionen
- Nr. 105/ISBN 3-88314-345-6/1984  
B. Schulz-Forberg  
Beitrag zum Bremsverhalten energieumwandelnder Aufsetzpuffer in Aufzugsanlagen
- Nr. 106/ISBN 3-88314-360-X/1984  
J. Lehnert  
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last
- Nr. 107/ISBN 3-88314-361-8/1984  
W. Stichel, J. Ehreke  
Korrosion von Stahlradiatoren
- Nr. 108/ISBN 3-88314-363-4/1984  
L. Auersch  
Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen — Ergebnisse von Modellrechnungen
- Nr. 109/ISBN 3-88314-381-2/1985  
M. Omar  
Zur Wirkung der Schrumpfbegrenzung auf den Schweißspannungszustand und das Sprödbruchverhalten von unterpulvergeschweißten Blechen aus St E 460 N
- Nr. 110/ISBN 3-88314-382-0/1985  
H. Walde, B. Kropp  
Wasserstoff als Energieträger
- Nr. 111/ISBN 3-88314-383-9/1985  
K. Ziegler  
Über den Einfluß der Initiierung auf die detonative Umsetzung von Andex-Sprengstoffen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte
- Nr. 112/ISBN 3-88314-409-6/1985  
W. Lützwow  
Zeitstandverhalten und strukturelle Veränderungen von vielfach wiederverarbeiteten Polyethylenen
- Nr. 113/ISBN 3-88314-410-X/1985  
R. Helms, H. Henke, G. Oelrich, T. Saito  
Untersuchungen zum Frequenzeinfluß auf die Schwingungskorrosion von Offshore-Konstruktionen
- Nr. 114/ISBN 3-88314-419-3/1985  
P. Rose, P. Raabe, W. Daum, A. Szameit  
Neue Verfahren für die Prüfung von Reaktorkomponenten mittels Röntgen- und Gammastrahlen
- Nr. 115/ISBN 3-88314-420-7/1985  
K. Richter  
Farbempfindungsmerkmal Elementarblau und Buntheitsabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld
- Nr. 116/ISBN 3-88314-460-6/1985  
F.-J. Kasper, R. Müller, R. Rudolphi, A. Wagner  
Theoretische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Rahmenproblematik
- Nr. 117/ISBN 3-88314-468-1/1985  
H. Czichos, G. Sievers  
Materials Technologies and Techno-Economic Development — A Study for the German Foundation for International Development (Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung)
- Nr. 118/ISBN 3-88314-469-X/1985  
H. Treumann, H. Andre, E. Blossfeld, N. Pfeil, M.-M. Zindler  
Brand- und Explosionsgefahren explosionsgefährlicher Stoffe bei Herstellung und Lagerung — Modellversuche mit pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen
- Nr. 119/ISBN 3-88314-472-X/1985  
J. Herter, K. Brandes, E. Limberger  
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 1)
- Nr. 120/ISBN 3-88314-514-9/1986  
A. Hecht  
Zerstörungsfreie Korngrößenbestimmung an austenitischen Feinblechen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung
- Nr. 121/ISBN 3-88314-530-0/1986  
P. Feinle, K.-H. Habig  
Versagenskriterien von Stahlgleitpaarungen unter Mischreibungsbedingungen; Einflüsse von Stahlzusammensetzung und Wärmebehandlung
- Nr. 122/ISBN 3-88314-521-1/1986  
J. Mischke  
Entsorgung kerntechnischer Anlagen  
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 3-88314-531-9/1986  
D. Rennoch  
Physikalisch-chemische Analyse sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organisch-chemischer Baustoffe entstehenden Brandgase
- Nr. 124/ISBN 3-88314-538-6/1986  
H.-M. Thomas  
Zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens in der zerstörungsfreien Materialprüfung
- Nr. 125/ISBN 3-88314-540-8/1986 (vergriffen)  
B. Droste, U. Probst  
Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssiggas-Lagertanks
- Nr. 126/ISBN 3-88314-547-5/1986  
W. Stichel  
Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmhallen
- Nr. 127/ISBN 3-88314-564-5/1986 (vergriffen)  
E. Limberger, K. Brandes, J. Herter, K. Berner  
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen — Versuche an Stahlbetonbalken, Teil I (Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members — Tests on Reinforced Concrete Beams, Part I)
- Nr. 128/ISBN 3-88314-568-8/1986 (vergriffen)  
E. Limberger, K. Brandes, J. Herter, K. Berner  
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen — Versuche an Stahlbetonbalken, Teil II (Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members — Tests on Reinforced Concrete Beams, Part II)
- Nr. 129/ISBN 3-88314-569-6/1986 (vergriffen)  
K. Brandes, E. Limberger, J. Herter, K. Berner  
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen — Zugversuche an Betonstahl mit erhöhter Dehngeschwindigkeit (Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load — Reinforcing Steel Tension Tests with high strain rates)
- Nr. 130/ISBN 3-88314-570-X/1986  
W. Struck  
Einfache Abschätzung der Durchbiegung und der Energieaufnahme von Trägern aus duktilem Material
- Nr. 131/ISBN 3-88314-585-8/1986  
E. Limberger, K. Brandes, J. Herter  
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen — Versuche an Stahlbetonplatten, Teil II (Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load — Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part II)
- Nr. 132/ISBN 3-88314-595-5/1987  
Chr. Herold, F.-U. Vogdt  
Ermittlung der Ursachen von Schäden an bituminösen Dachabdichtungen unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Beanspruchungen
- Nr. 133/ISBN 3-88314-609-9/1987 (vergriffen)  
M. Woydt, K.-H. Habig  
Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe
- Nr. 134/ISBN 3-88314-615-3/1987  
G. Andrae, G. Niessen  
Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen
- Nr. 135/ISBN 3-88314-618-8/1987  
J. Ludwig, W.-D. Mischke, A. Ulrich  
Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen
- Nr. 136/ISBN 3-88314-636-6/1987  
H.-J. Deppe, K. Schmidt  
Untersuchung zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen für den Holzbau



Nr. 137/ISBN 3-88314-637-4/1987

D. Aurich

**Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiete der Komponentensicherheit**

Nr. 138/ISBN 3-88314-635-8/1987

M. Dogunke, F. Buchhardt

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

Nr. 139/ISBN 3-88314-658-7/1987

J. Olschewski, S.-P. Scholz

**Numerische Untersuchung zum Verhalten des Hochtemperaturwerkstoffes Nimonic PE 16 unter monotoner und zyklischer Belastung bei Verwendung verschiedener plastischer und viskoplastischer Materialmodelle**

Nr. 140/ISBN 3-88314-643-9/1987

K. Brandes, E. Limberger, J. Herter

**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen (Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members)**

Nr. 141/ISBN 3-88314-694-3/1987

F. Buchhardt, W. Matthees, G. Magiera, F. Mathiak  
**Zum Einfluß des Sicherheits- und Auslegungserdbebens auf die Bemessung von Kernkraftwerken**

Nr. 142/ISBN 3-88314-695-1/1987

H. Treumann, G. Krüger, N. Pfeil, S. von Zahn-Ullmann  
**Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrdzahlen binärer Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen**

Nr. 143/ISBN 3-88314-701-X/1987

K. Brandes, E. Limberger, J. Herter

**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen — Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen bei Stoßbelastung (Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members — Experimental and numerical Investigations concerning Load Bearing Behaviour of Reinforced Concrete Members under Impact Load)**

Nr. 144/ISBN 3-88314-702-8/1987

F. Buchhardt, G. Magiera, W. Matthees, M. Weber, J. Altes

**Nichtlineare dynamische Berechnungen zum Penetrationsverhalten des AVR- Reaktorgebäudes**

Nr. 145/ISBN 3-88314-711-7/1987

U. Holzlöhner

**Untersuchung selbstständiger Systeme zur Bestimmung von Materialeigenschaften von Reibungsböden**

Nr. 146/ISBN 3-88314-714-1/1987

W. Schon, M. Mallon

**Untersuchungen zur Wirksamkeit von Wasserberieselungseinrichtungen als Brandschutzmaßnahme für Flüssiggas-Lagertanks**

Nr. 147/ISBN 3-88314-720-6/1987

H.-D. Kleinschrodt

**Lösung dynamischer Biege- und Torsionsprobleme von Stabsystemen aus dünnwandigen elastischen Stäben mit offenem Querschnitt mittels frequenzabhängiger Ansatzfunktionen**

Nr. 148/ISBN 3-88314-774-5/1988

W. Müller

**Theoretische Untersuchung von Variationsprinzipien für elastoplastisches Materialverhalten sowie Entwicklung und numerische Erprobung von Finite-Element-Verfahren für den ebenen Spannungszustand**

Nr. 149/ISBN 3-88314-775-3/1988

U. Holzlöhner

**Bestimmung baugrunderdynamischer Kenngrößen aus der Untersuchung von Bodenproben**

Nr. 150/ISBN 3-88314-776-1/1988

M. Weber

**VG3D — Zeichenprogramm für vektographische Darstellung dreidimensionaler Strukturen**

Nr. 151/ISBN 3-88314-785-0/1988

L. Auersch-Saworski

**Wechselwirkung starrer und flexibler Strukturen mit dem Baugrund, insbesondere bei Anregung durch Bodenerschütterungen**

Nr. 152/ISBN 3-88314-796-6/1988

G. Plauk, G. Kretschmann, R.-G. Rohmann

**Untersuchung des baulichen Zustandes und der Tragfähigkeit vorgespannter Riegel von Verkehrszeichenbrücken der Berliner Stadtautobahn**

Nr. 153/ISBN 3-88314-797-4/1988

H. Sander, W.-W. Maennig

**Magnetisches Verhalten von Eisenproben bei mechanischer Wechselbeanspruchung**

Nr. 154/ISBN 3-88314-822-9/1988

K. Breikreutz, P.-J. Uttech, K. Haedecke

**Druckgesinterte Stähle als zertifiziertes Referenzmaterial für die Spektrometrie**

Nr. 155/ISBN 3-88314-825-3/1988

L. Auersch

**Zur Entstehung und Ausbreitung von Schienenverkehrserschütterungen: Theoretische Untersuchungen und Messungen am Hochgeschwindigkeitszug Intercity Experimental**

Nr. 156/ISBN 3-88314-887-3/1989

G. Klamrowski, P. Neustupny, H.-J. Deppe,

K. Schmidt, J. Hundt

**Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von Faserzementen**

Nr. 157/ISBN 3-88314-888-1/1989

E. Limberger, K. Brandes

**Versuche zum Verhalten von Stahlbetonbalken mit Übergreifungsstößen der Zugbewehrung unter stoßartiger Belastung**

Nr. 158/ISBN 3-88314-889-X/1989

R. Wäsche, K.-H. Habig

**Physikalisch-chemische Grundlagen der Feststoffschmierung — Literaturübersicht**

Nr. 159/ISBN 3-88314-890-3/1989

R. Müller, R. Rudolphi

**Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes und der Temperaturverteilung im Querschnitt von Hausschornsteinen nach DIN 18160 Teil 6**

Nr. 160/ISBN 3-88314-917-9/1989

W. Matthees

**Entwicklung eines Makroelementes durch Kondensation am Beispiel der Lastfälle Flugzeugabsturz und Erdbeben bei Boden-Bauwerk-Wechselwirkung mit biegeweichen Fundamenten**

Nr. 161/ISBN 3-88314-920-9/1989

G. Mellmann, M. Maultzsch

**Untersuchung zur Ermittlung der Biegefestigkeit von Flachglas für bauliche Anlagen**

Nr. 162/ISBN 3-88314-921-7/1989

W. Brünner

**Untersuchungen zur Tragfähigkeit großer Glasscheiben**

Nr. 163/ISBN 3-88314-922-5/1989

W. Brünner, G. Mellmann, W. Struck

**Biegefestigkeit und Tragfähigkeit von Scheiben aus Flachglas für bauliche Anlagen**

Nr. 164/ISBN 3-88314-934-9/1989

R. Helms, B. Jaenicke, H. Wolter, C.-P. Bork

**Zur Schwingfestigkeit großer geschweißter Stahlträger**

Nr. 165/ISBN 3-88314-935-7/1989

P. Göbel, L. Meckel, W. Schiller

**Untersuchung zur Erarbeitung von Kennwerten bei Einrichtungsmaterialien (Holzwerkstoffen, Möbeln und Textilien) hinsichtlich der Formaldehyd-Emission — Teil B: Textilien**

Nr. 166/ISBN 3-88314-936-5/1989

K. Breikreutz

**Modelle für Stereologische Analysen**

Nr. 167/ISBN 3-88314-937-3/1989

A. Mitakidis, W. Rücker

**Erschütterungsausbreitung im elastischen Halbraum bei transienten Belastungsvorgängen**

Nr. 168/ISBN 3-88314-958-6/1990

F.-J. Kasper, R. Müller, R. Rudolphi

**Numerische Untersuchung geometriebedingter Wärmebrücken (Winkel und Ecken) unter Einsatz hochauflösender Farbgraphik bei Berücksichtigung der Tauwasserproblematik und des Mindestluftwechsels**

Nr. 169/ISBN 3-88314-959-4/1990

Chr. Kohl, W. Rucker

**Integration der Untergrunddynamik in das Programmsystem MEDYNA, dargestellt am Beispiel des Intercity Experimental (ICE)**

Nr. 170/ISBN 3-88314-960-8/1990

P. Studt, W. Kerner, Tin Win

**Untersuchung der mikrobiologischen Schädigung wassergemischter Kühlschmierstoffe mit dem Ziel der Verbesserung der Arbeitshygiene, der Minderung der Geruchsbelastung und der Menge zu entsorgender Emulsionen**

Nr. 171/ISBN 3-88314-997-7/1990

F. Buchhardt

**Ein Operator zur Koppelung beliebig benachbarter dynamischer Systeme am Beispiel der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung**

Nr. 172/ISBN 3-88314-998-5/1990

J. Vielhaber, G. Plauk

**Grenztragfähigkeit großer Verbundprofilstützen**

Nr. 173/ISBN 3-88314-999-3/1990

B. Droste, J. Ludwig, B. Schulz-Forberg

**Höherwertige Transporttechnik und ihre Konsequenzen für die Beförderung gefährlicher Güter**

Nr. 174/ISBN 3-88429-021-8/1990

D. Aurich

**Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte**

Nr. 175/ISBN 3-88429-022-6/1990

W. Brocks, D. Klingbeil, J. Olschewski

**Lösung der HRR-Feld-Gleichungen der elastisch-plastischen Bruchmechanik**

Nr. 176/ISBN 3-88429-035-6/1990

W. Matthees, G. Magiera

**Iterative Dekonvolution der seismischen Basiserregung für den Zeitraum**

Nr. 177/ISBN 3-89429-090-0/1991

G. Schickert, M. Krause, H. Wiggenhauser

**Studie zur Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren bei Ingenieurbauwerken**

Nr. 178/ISBN 3-89429-429-9/1991

G. Andraea, J. Knapp, G. Niessen

**Entwicklung und Untersuchung eines kapazitiven Hochtemperatur-Dehnungsaufnehmers für Einsatztemperaturen bis ca. 1000 °C**

Nr. 179/ISBN 3-89429-100-1/1991

H. Eifler

**Die Drehfähigkeit plastischer Gelenke in Stahlbeton-Plattenbalken, bewehrt mit naturhartem Betonstahl BSt 500 S im Bereich negativer Biegemomente**

Nr. 180/ISBN 3-89429-101-X/1991

E. Klement, G. Wieser

**Zur numerischen Übertragbarkeit von Prüfungsergebnissen an Hausschornsteinen auf Schornsteine mit anderen lichten Querschnitten**

Nr. 181/ISBN 3-89429-105-2/1991

H. Czichos, R. Helms, J. Lexow

**Industrial and Materials Technologies Research and Development Trends and Needs**



- Nr. 182/ISBN 3-89429-145-1/1992  
M. Weber  
**Bestimmung von Wärmeübergangskoeffizienten im Bereich geometriebedingter Wärmebrücken**
- Nr. 183/ISBN 3-89429-163-X/1992  
F. Buchardt  
**Zur Dekonvolution im Zeitbereich**
- Nr. 184/ISBN 3-89429-164-8/1992  
M. Maultzsch, W. Stichel, E.-M. Vater  
**Feldversuche zur Einwirkung von Aufbaumitteln auf Verkehrsbauwerke (im Rahmen des Großversuchs "Umweltfreundlicheres Streusalz")**
- Nr. 185/ISBN 3-89429-165-6/1992  
Renate Müller  
**Ein numerisches Verfahren zur simultanen Bestimmung thermischer Stoffeigenschaften oder Größen aus Versuchen — Anwendung auf das Heißdraht-Parallelverfahren und auf Versuche an Hausschornsteinen**
- Nr. 186/ISBN 3-89429-211-3/1992  
B. Löffelbein, M. Woydt, K.-H. Habig  
**Reibungs- und Verschleißuntersuchungen an Gleitpaarungen aus Ingenieurkeramischen Werkstoffen in wässrigen Lösungen**
- Nr. 187/ISBN 3-89429-216-4/1992  
Th. Schneider, E. Santner  
**Mikrotribologie: Stand der Forschung und Anwendungsmöglichkeiten — Literaturübersicht**
- Nr. 188/ISBN 3-89429-243-1/1992  
K. Mallwitz  
**Verfahren zur Vorausermittlung der Setzung von Fundamenten auf geständerten Strecken infolge zyklischer Beanspruchung**
- Nr. 189/ISBN 3-89429-244-X/1992  
W. Matthees, G. Magiera  
**Impedanzeigenschaften von Finiten-Elemente-Modellen bei Integration im Zeitraum**
- Nr. 190/ISBN 3-89429-245-8/1992  
G. Zachariev  
**Untersuchung des Versagens thermoplastischer Kunststoffe im Kurzzeit-Zugversuch und Retardations-Zugversuch**
- Nr. 191/ISBN 3-89429-246-6/1992  
H.-M. Bock, S. Erbay, J. With  
**Kritische Stahltemperatur als charakteristischer Kennwert für die Feuerwiderstandsdauer von Bauwerkssystemen aus Stahl**
- Nr. 192/ISBN 3-89429-329-2/1993  
D. Aurich  
**Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte — Lokales Rißwachstum, Ermittlung des Rißwiderstandsverhaltens aus der Kerbschlagarbeit**
- Nr. 193/3-89429-291-1/1993  
W. Gerisch, Th. Fritz, S. Steinborn  
**Statistical Consulting in the Frame of VAMAS. The Role of the Technical Working Arfea/Advisory Group. Statistical Techniques for Interlaboratory Studies and Related Projects (VAMAS Report No. 13)**
- Nr. 194/ISBN 3-89429-330-6/1993  
U. Krause  
**Ein Beitrag zur mathematischen Modellierung des Ablaufs von Explosionen**
- Nr. 195/ISBN 3-89429-331-4/1993  
U. Schmidtchen, G. Würsig  
**Lagerung und Seetransport großer Mengen flüssigen Wasserstoffs am Beispiel des "Euro-Québec Hydro-Hydrogen Pilot Projekts. Überblick über die in Deutschland anzuwendenden Gesetze, Verordnungen und technischen Regeln**
- Nr. 196/ISBN 3-89429-362-4/1993  
D. Lietze  
**Untersuchungen über das Anlaufen von Detonationen im Innern geschlossener Systeme**
- Nr. 197/ISBN 3-89429-400-0/1993  
A. Skopp  
**Tribologisches Verhalten von Siliziumnitridwerkstoffen bei Festkörpergleitreibung zwischen 22 °C und 1000 °C**
- Nr. 198/ISBN 3-89429-421-3/1994  
St. Meretz  
**Ein Beitrag zur Mikromechanik der Interphase in polymeren Faserverbundwerkstoffen**
- Nr. 199/ISBN 3-89429-422-1/1994  
W. F. Rücker, S. Said  
**Erschütterungsübertragung zwischen U-Bahntunneln und dicht benachbarten Gebäuden**
- Nr. 200/ISBN 3-89429-423-X/1994  
D. Arndt, K. Borchardt, P. Croy, E. Geyer, J. Henschen, C. Maierhofer, M. Niedack-Nad, M. Rudolph, D. Schaurich, F. Weise, H. Wiggenhauser  
**Anwendung und Kombination zerstörungsfreier Prüfverfahren zur Bestimmung der Mauerwerksfeuchte im Deutschen Dom**
- Nr. 201/ISBN 3-89429-475-2/1994  
U. Holzöhner, H. August, T. Meggyes, M. Brune  
**Deponieabdichtungssysteme — Statusbericht**
- Nr. 202/ISBN 3-89429-481-7/1994  
J. Schmidt  
**Über eine Verteilungsfunktion mit Parametern für Median, Spannweite, Schiefe und Wölbung — Konzept und Anwendung**
- Nr. 203/ISBN 3-89429-483-3/1994  
B. Schulz-Forberg, J. Ludwig  
**Sicherheitsniveaus von Transporttanks für Gefahrgut**
- Nr. 204/ISBN 3-89429-484-1/1994  
W. Struck, E. Limberger  
**Der Glaskugelsack als Prüfkörper für Beanspruchungen durch weichen Stoß — eine erweiterte Modellvorstellung**
- Nr. 205/ISBN 3-89429-516-3/1995  
P. Rose  
**Bestimmung charakteristischer Fehlermerkmale zur rechnergestützten Bildauswertung von Schweißnahtradiographien**
- Nr. 206/ISBN 3-89429-517-1/1995  
D. Lietze  
**Grenze der Flammendurchschlagsicherheit von Sperrschichten aus Bandsicherungen bei Defflagrationen und bei einem Nachbrand**
- Nr. 207/ISBN 3-89429-593-7/1997  
W. Daum  
**Zur objektiven Beurteilung der Bildqualität industrieller Radioskopiesysteme**
- Nr. 208/ISBN 3-89429-557-0/1995  
G. Kalinka  
**Ein Beitrag zur Kristallisation gefüllter und ungefüllter Thermoplaste**
- Nr. 209/ISBN 3-89429-594-5/1995  
D. Hoffmann, K. Niesel  
**Zur Quantifizierung des Effekts von Luftverreinigungen auf Putzmörtel**
- Nr. 210/ISBN 3-89429-595-3/1995  
F. Buchardt, W. Matthees, G. Magiera  
**Zur Erfassung der hysteretischen Dämpfung im Zeitraum**
- Nr. 211/ISBN 3-89429-973-8/1997  
G. Meier zu Köcker, K.-H. Habig  
**Steigerung der Lebensdauer und der Prozeßsicherheit durch beschichtungsgerechte Fertigung von Werkzeugen und Bauteilen**
- Nr. 212/ISBN 3-89429-974-6/1996  
S. Dähne  
**Analytische Grundlagenuntersuchungen zur Laserimpulsfluorometrie im ultravioletten Spektralbereich**
- Nr. 213/ISBN 3-89429-975-4/1995  
J. Kelm  
**High Resolution NMR Spectroscopy for the Determination of Elastomers, Blends and Thermoplastic Elastomers — Carbon and Proton NMR Spectra Catalogue**
- Nr. 214/ISBN 3-89429-976-2/1995  
J. Moll  
**Exciton-Dynamics in J-Aggregates of an Organic Dye**
- Nr. 215/ISBN 3-89429-950-9/1995  
W. Müller u. a.  
**Modellhafte Untersuchungen zu Umweltschädigungen in Innenräumen anhand des Grünen Gebäudes**
- Nr. 216/ISBN 3-89429-774-3/1997  
C.-P. Bork, J. Hünecke, M. Golmann  
**Neue Stähle mit hoher statischer, dynamischer und Dauerfestigkeit für den Automobilbau**
- Nr. 217/ISBN 3-89429-775-1/1997  
W. Müller, M. Torge, D. Kruschke, K. Adam  
**Sicherung, Konservierung und Restaurierung historischer Glasmalereien**
- Nr. 218/ISBN 3-89429-776-X/1997  
S. Steinborn  
**Analyse von Verformung und Rißbildung bei Straßenbelägen durch Finite-Elemente-Methoden**
- Nr. 219/ISBN 3-89429-777-8/1997  
G. Fuhrmann, J. Bohse, H.-V. Rudolph  
**Schwingfestigkeit von Thermoplasten und Verbundwerkstoffen bei Umlaufbiegung**
- Nr. 220/ISBN 3-89429-778-6/1997  
D. Lietze  
**Grenze der Flammendurchschlagsicherheit von Sperrschichten aus Sintermetall**
- Nr. 221/ISBN 3-89701-036-4/1997  
R. Wäsche, F. Köse  
**Einfluß der Verfahrensparameter beim Gelcasting auf die Entstehung bruchauslösender Gefügefehler in hochreinen Aluminiumoxidkeramiken**
- Nr. 222/ISBN 3-89701-037-2/1997  
H. Frenz  
**Gesetzmäßigkeiten für die werkstoffmechanische Beschreibung der einkristallinen Nickelbasislegierung SC 16 unter ein- und mehrachsiger Beanspruchung**
- Nr. 223/ISBN 3-89701-038-0/1998  
K. Rurack, U. Resch-Genger  
**Design, Synthese und Charakterisierung von Fluoreszenzstandards und Fluoreszenzmarkern für die zeitaufgelöste Fluorometrie**





Guideline of the Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM):

## **Safety and reliability in chemical and materials technologies**

The task of the Federal Institute (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, BAM) is to promote the development of German economy. Its responsibilities in the interacting fields of Materials – Chemistry – Environment – Safety are in particular:

- statutory functions for technical safety in the public domain, especially relating to dangerous goods and substances
- collaboration in developing legal regulations like on safety standards and threshold values
- consulting on safety aspects of materials technology and chemistry for the Federal Government and industry
- development and supply of reference materials and reference methods, especially for chemical analysis and materials testing
- assistance in developing standards and technical rules for the evaluation of substances materials, structures and processes with reference to damage prevention, life time prediction, protection of the environment and conservation of economical values.

### **Activities**

BAM is engaged in the interdependent and complementary activities:

- research and development
- testing, analysis, approvals
- consultation and information

### **National and international cooperation**

The tasks of BAM for technology, science, economy and society require interdisciplinary cooperation. BAM collaborates closely with technological institutions in Germany and abroad, especially with national institutes. It gives advice to Federal Ministries, economy associations, industrial enterprises and consumer organizations. It provides expertise to administrative authorities and law-courts. In the area of measurement, standardization, testing and quality assurance BAM is the competent national authority for testing techniques. BAM is cooperating with numerous technical, legislative and standardization bodies in order to develop technical rules and safety regulations and represents the Federal Republic of Germany both on the national and international level.

### **Status**

BAM is a technical and scientific Superior Federal Institution under the authority of the Federal Ministry of economic affairs. It is the successor of the "Staatliches Materialprüfungsamt" (Public Materials Testing Office) founded in 1870 and of the "Chemisch-Technische Reichsanstalt" (Chemical-Technical State Institute) set up in 1920. BAM has a staff of about 1700, including over 800 scientists and engineers working at the main grounds of Berlin-Lichterfelde and at the extensions at Berlin-Steglitz and Berlin-Adlershof.

ISSN 0938-5533  
ISBN 3-89701-163-8