

# Szerkezet-integritási vizsgálatok atomerőművi berendezések üzembiztonságának érdekében



Dr. Prodán Miklós János  
c. egyetemi docens

## Anyagok az energetikában (BMEGEMTBEA1)

2021/2022/1. félév

## Mit értünk szerkezet-integritási vizsgálatok alatt?

- A mechanikai vizsgálatok feladata olyan anyagjellemzők meghatározása, amelyek alapul szolgálnak egy szerkezet megengedett igénybevételének számításához a szilárdságtan módszereivel. Ilyen anyagjellemző például a folyáshatár, amely a statikus szilárdságtani méretezés alapja.

9

A szakító vizsgálaton túlmenő mechanikai, törésmechanikai, korróziós, hőterheléses, mikroszkopikus anyagszerkezeti, é.í.t. valamint modell és egész-szerkezetes vizsgálatokat.

Egy nem-nukleáris példa ahol a szerkezet-integritási vizsgálatok fontosak:



## Tartalom:

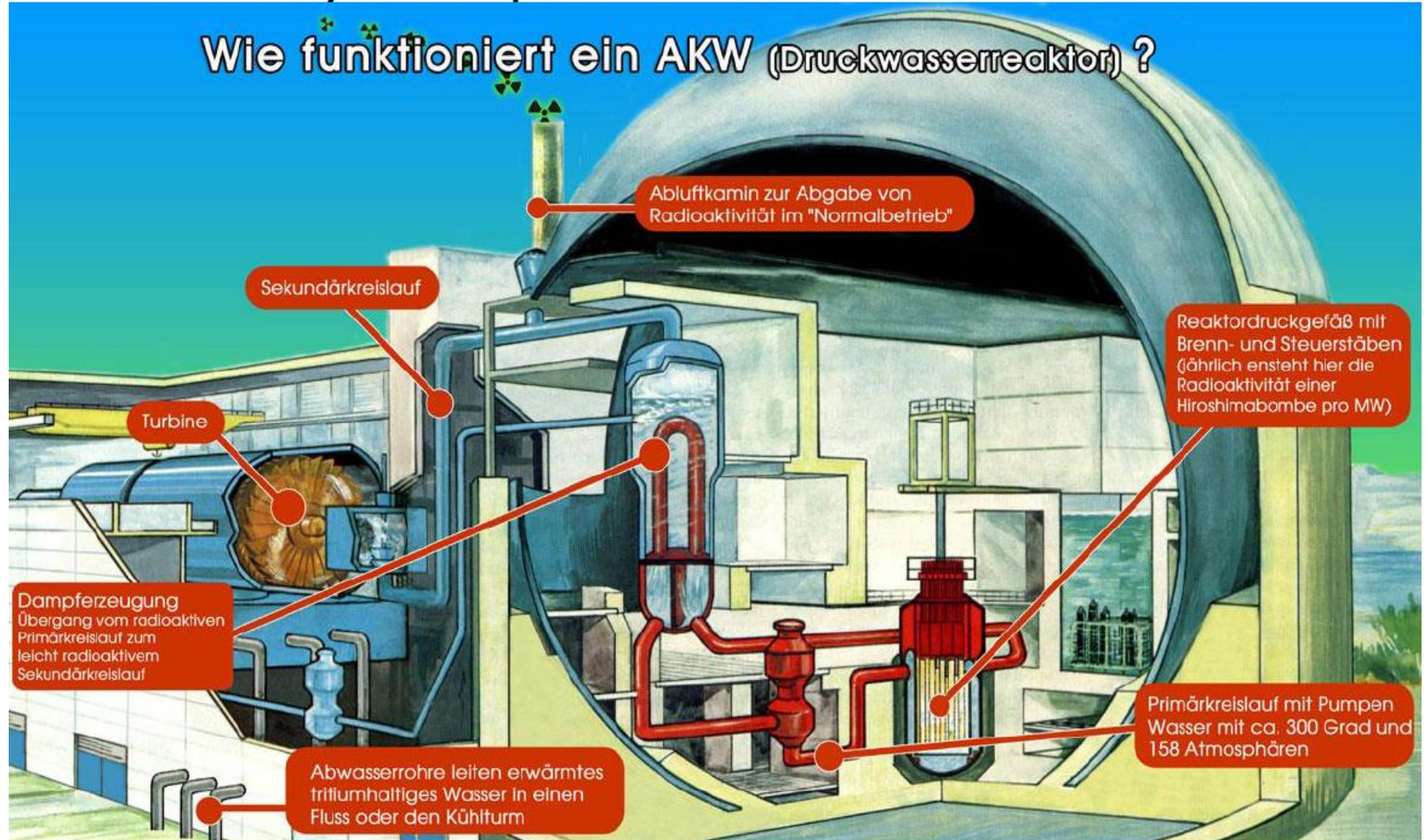
- USA illetve ny.-európai atomerőmű bemutatója
- Az ASME Code
- Ny.-európai és magy. szerk.-int. fejlesztések
- EIR-Ber. 501 & EMPA-Ber. 213 (svájci fejl.)
- EIR+SIN=PSI Paul Scherrer Institut
- 40% nukl. & 60% vízi energia (Svájc 2019)
- CERN Genf

Egy atomerőmű szép környezetben:

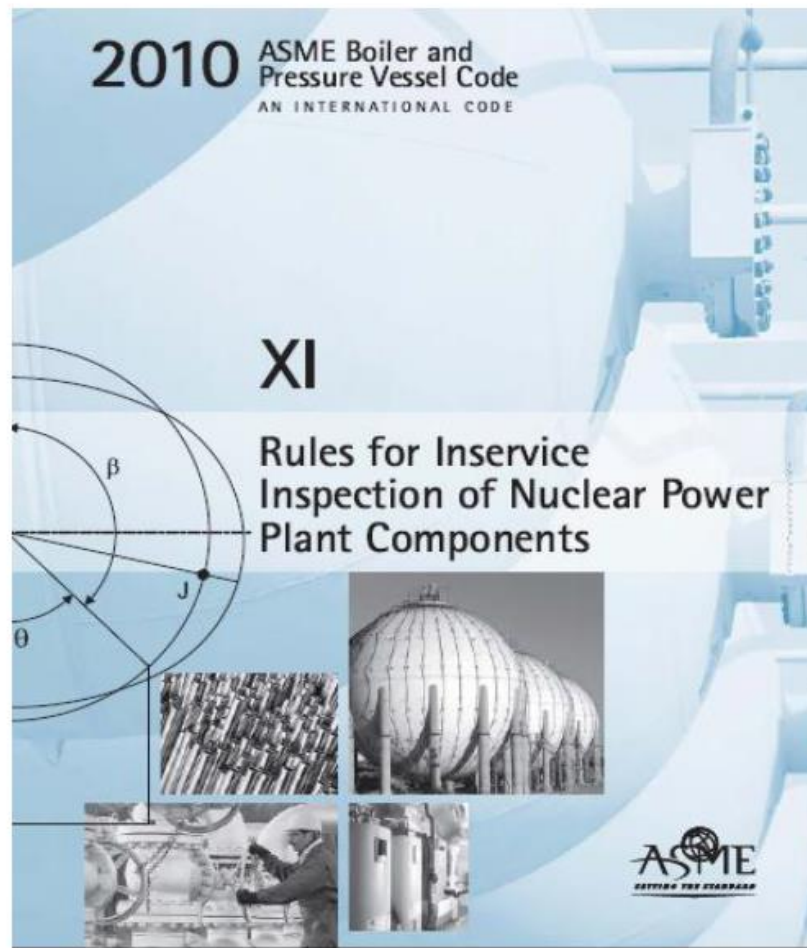


# USA ill. ny.-európai atomerőmű bemutatása:

## Wie funktioniert ein AKW (Druckwasserreaktor) ?



# Az ASME Code:



# Az ASME Code előszava:

## FOREWORD

(10)

The American Society of Mechanical Engineers set up a committee in 1911 for the purpose of formulating standard rules for the construction of steam boilers and other pressure vessels. This committee is now called the Boiler and Pressure Vessel Committee.

The Committee's function is to establish rules of safety, relating only to pressure integrity, governing the construction<sup>1</sup> of boilers, pressure vessels, transport tanks and nuclear components, and inservice inspection for pressure integrity of nuclear components and transport tanks, and to interpret these rules when questions arise regarding their intent. This Code does not address other safety issues relating to the construction of boilers, pressure vessels, transport tanks and nuclear components, and the inservice inspection of nuclear components and transport tanks. The user of the Code should refer to other pertinent codes, standards, laws, regulations, or other relevant documents. In formulating the rules, the Committee considers the needs of users, manufacturers, and inspectors of pressure vessels. The objective of the rules is to afford reasonably certain protection of life and property and to provide a margin for deterioration in service so as to give a reasonably long, safe period of usefulness. Advancements in design and material and the evidence of experience have been recognized.

This Code contains mandatory requirements, specific prohibitions, and nonmandatory guidance for construction,<sup>1</sup> and inservice inspection and testing activities. The Code does not address all aspects of these activities and those aspects which are not specifically addressed should not be considered prohibited. The Code is not a handbook

complying with Code rules and demonstrating compliance with Code equations when such equations are mandatory. The Code neither requires nor prohibits the use of computers for the design or analysis of components constructed to the requirements of the Code. However, designers and engineers using computer programs for design or analysis are cautioned that they are responsible for all technical assumptions inherent in the programs they use and they are responsible for the application of these programs to their design.

The Code does not fully address tolerances. When dimensions, sizes, or other parameters are not specified with tolerances, the values of these parameters are considered nominal and allowable tolerances or local variances may be considered acceptable when based on engineering judgment and standard practice as determined by the engineer.

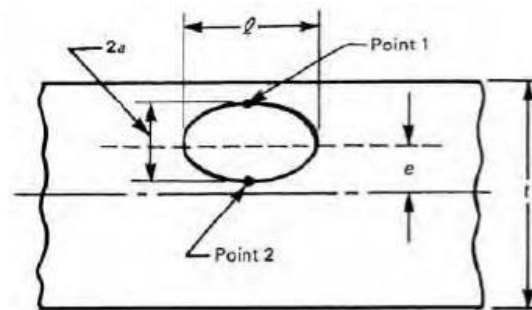
The Boiler and Pressure Vessel Committee deals with the care and inspection of boilers and pressure vessels in service only to the extent of providing suggested rules of good practice as an aid to owners and their inspectors.

The rules established by the Committee are not to be interpreted as approving, recommending, or endorsing any proprietary or specific design or as limiting in any way the manufacturer's freedom to choose any method of design or any form of construction that conforms to the Code rules.

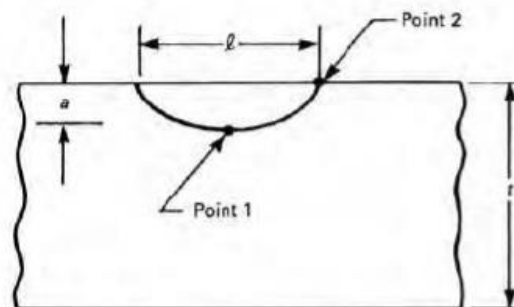
The Boiler and Pressure Vessel Committee meets regularly to consider revisions of the rules, new rules as dictated by technological development, Code Cases, and requests for interpretations. Only the Boiler and Pressure Vessel

# Anyaghibák / repedések az ASME Code szerint:

FIG. A-3300-1 ELLIPTICAL FLAW MODEL



(a) Subsurface Flaw



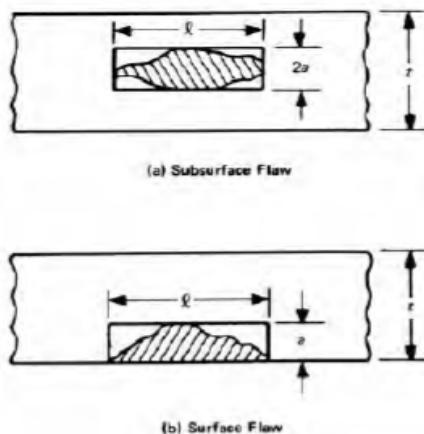
(b) Surface Flaw

# Nem-szabályos határvonalú repedések:

2010 SECTION XI, DIVISION 1

NONMANDATORY APPENDIX C

FIG. C-2200-2 FLAW CHARACTERIZATION — AXIAL FLAWS



where

$p$  = internal pipe pressure

$D$  = pipe outside diameter

$t$  = wall thickness

$I$  = pipe moment of inertia

$M_b$  = the resultant moment for the appropriate primary load combination for each Service Level in accordance with the design

$M_e$  = the resultant secondary moment, including thermal expansion and seismic anchor loads in accordance with the design

The effects of weld shrinkage from a weld overlay repair shall be included.

the critical flaw parameters satisfy the criteria in C-2611 or C-2612.

## C-2611 Flaw Size Criteria

For circumferential and axial flaws, the acceptance criterion on flaw depth shall meet the following:

$$a_f \leq a_{allow}$$

where

$a_f$  = max. depth to which the detected flaw is calculated to grow by the end of the evaluation period

$a_{allow}$  = max. allowable flaw depth corresponding to the flaw length  $\ell_f$  and applied stresses

$\ell_f$  = max. length to which the detected flaw is calculated to grow by the end of the evaluation period

The allowable flaw depth for flawed pipe,  $a_{allow}$ , is a function of pipe stresses, required structural factors, pipe material properties, the end-of-evaluation-period flaw length ( $\ell_f$ ) and depth ( $a_f$ ), flaw orientation, and pipe failure mode.

For axially-oriented flaws, the final length of the flaw shall meet the following:

$$\ell_f \leq \ell_{allow}$$

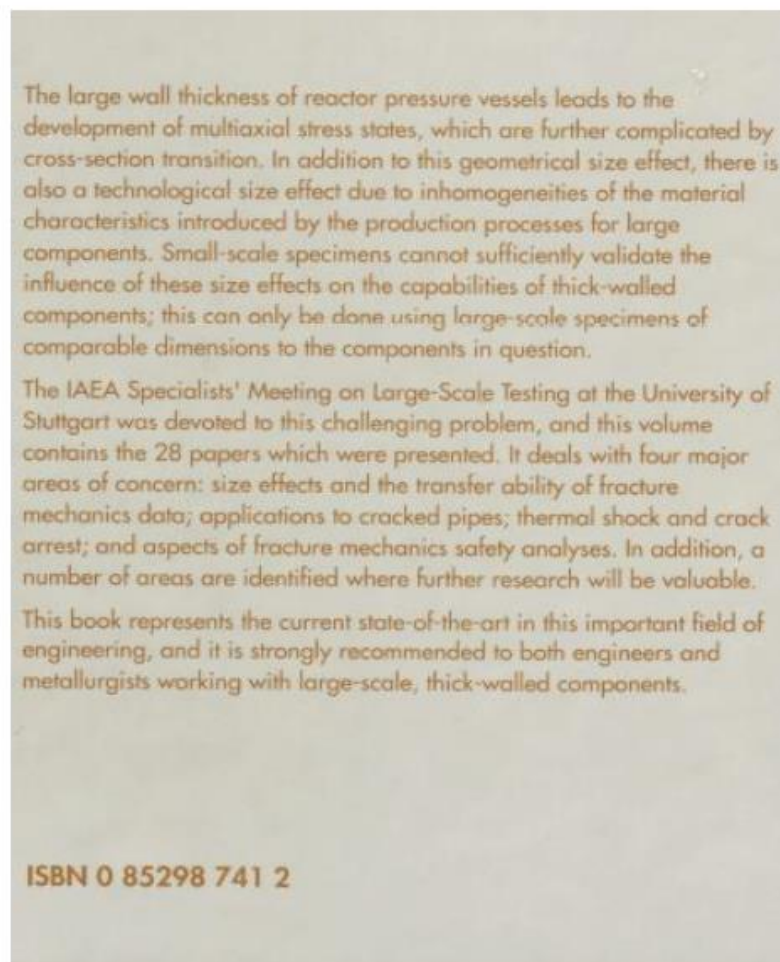
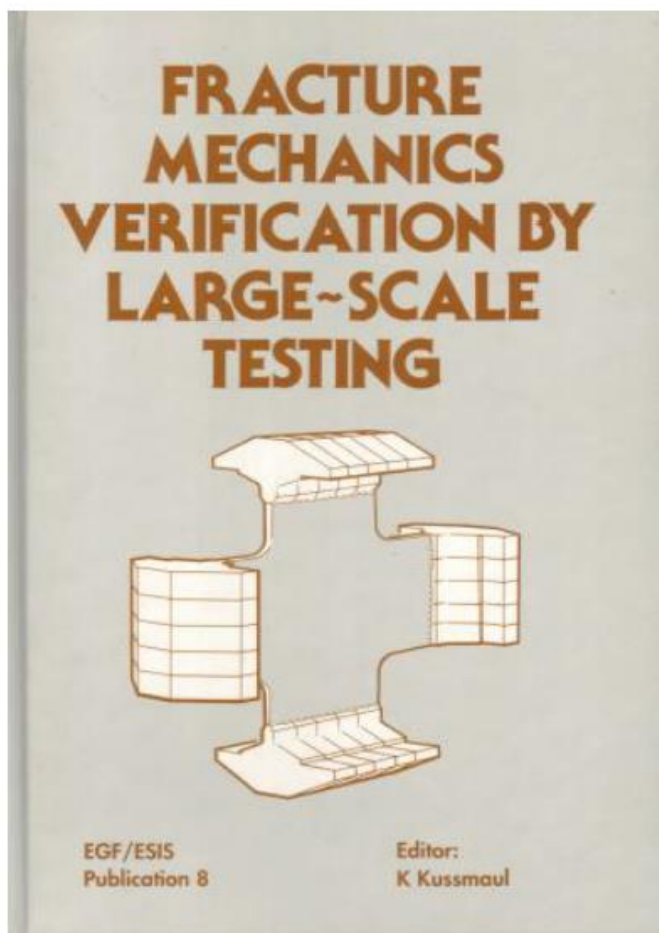
where

$\ell_{allow}$  = allowable length limit for an axial through-wall flaw to remain stable under pressure loading

## C-2612 Applied Stress Criteria

For circumferential and axial flaws, the stresses shall meet the following:

# Ny.-európai és magyar szerk.-int. fejlesztések:



# Svájci fejlesztések: EIR-Ber. 501 & EMPA-Ber. 213



Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt  
 Laboratoire fédéral d'essais des matériaux et Institut de recherches  
 Laboratorio federale di prova dei materiali e Istituto sperimentale  
 Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research

Bericht Nr. 213

## Ein bruchmechanisch abgestütztes Verfahren zur Bestimmung des Ermüdungsverhaltens bauteilähnlicher Scheiben

M. Prodán\*

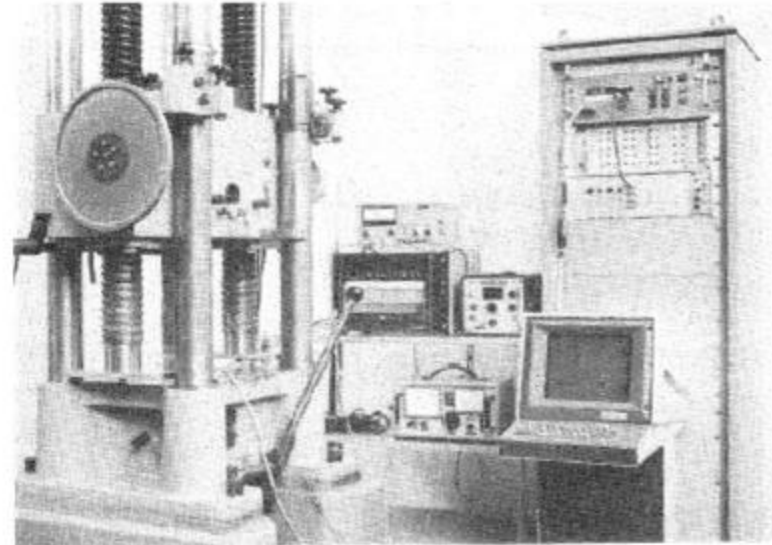
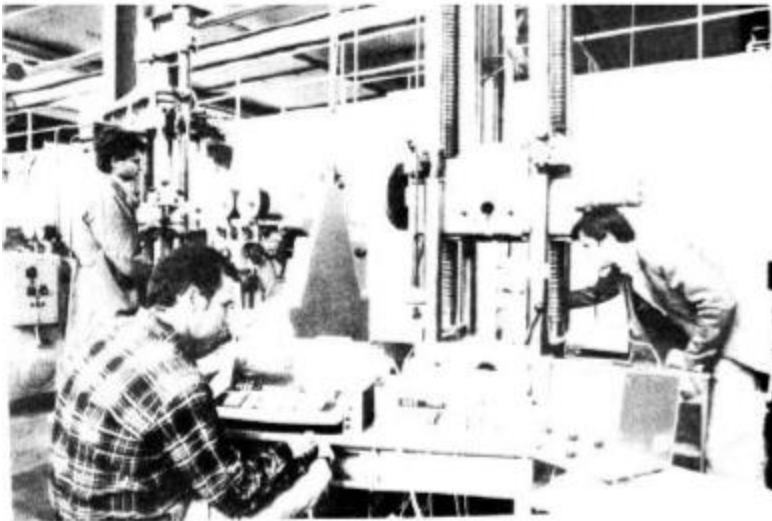
\* Miklós Prodán, dipl. Masch.-Ing.,  
ehemals Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR), Würenlingen.  
Derzeitige Adresse: Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG,  
CH-5401 Baden, Schweiz

Dübendorf 1983

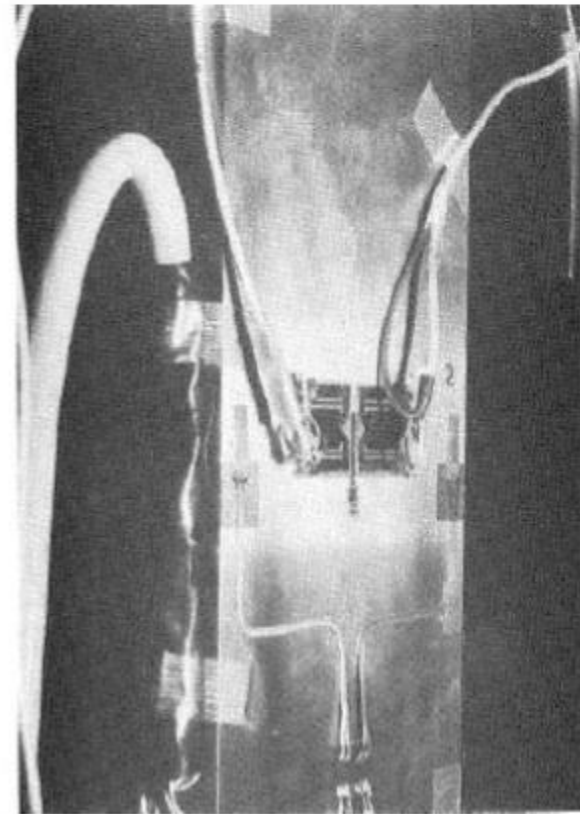
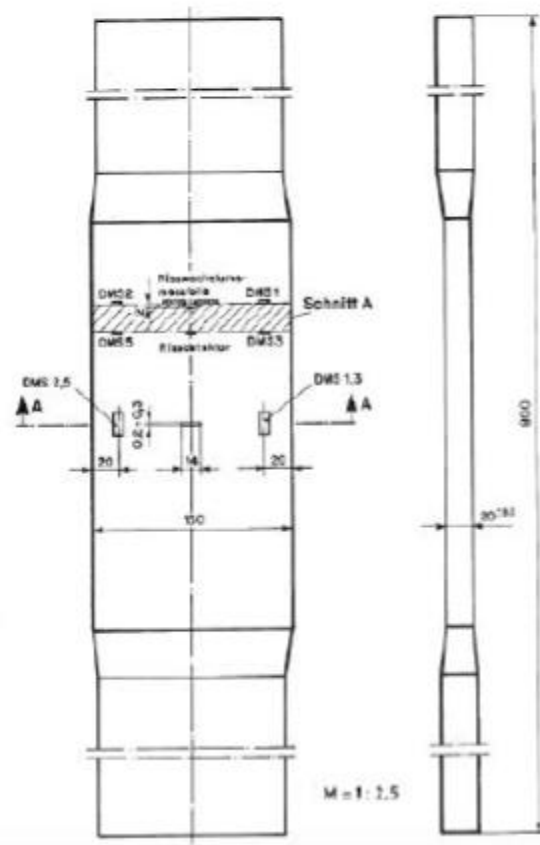
## Contents

- Experiments (fatigue life)
- Computations (fatigue life)
- The result: A semi-empirical /semi-computational procedure

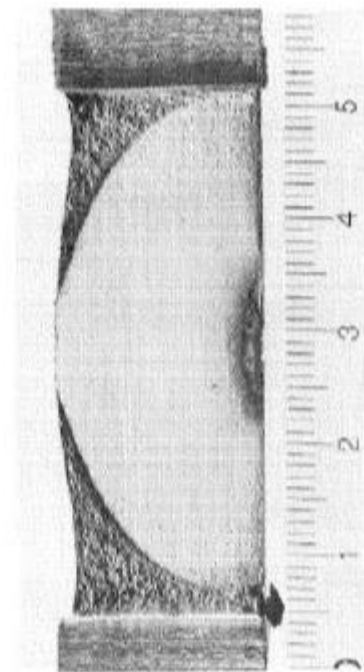
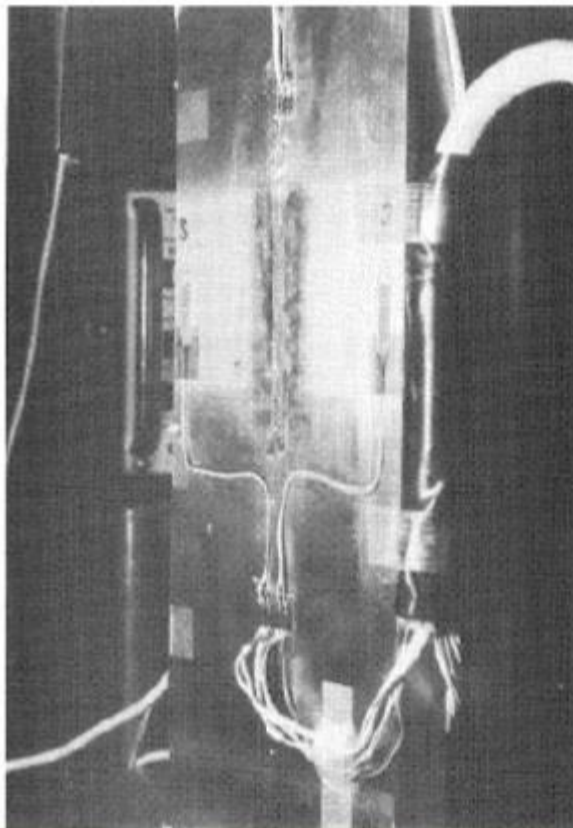
## The experimental setup with tensile plate specimens



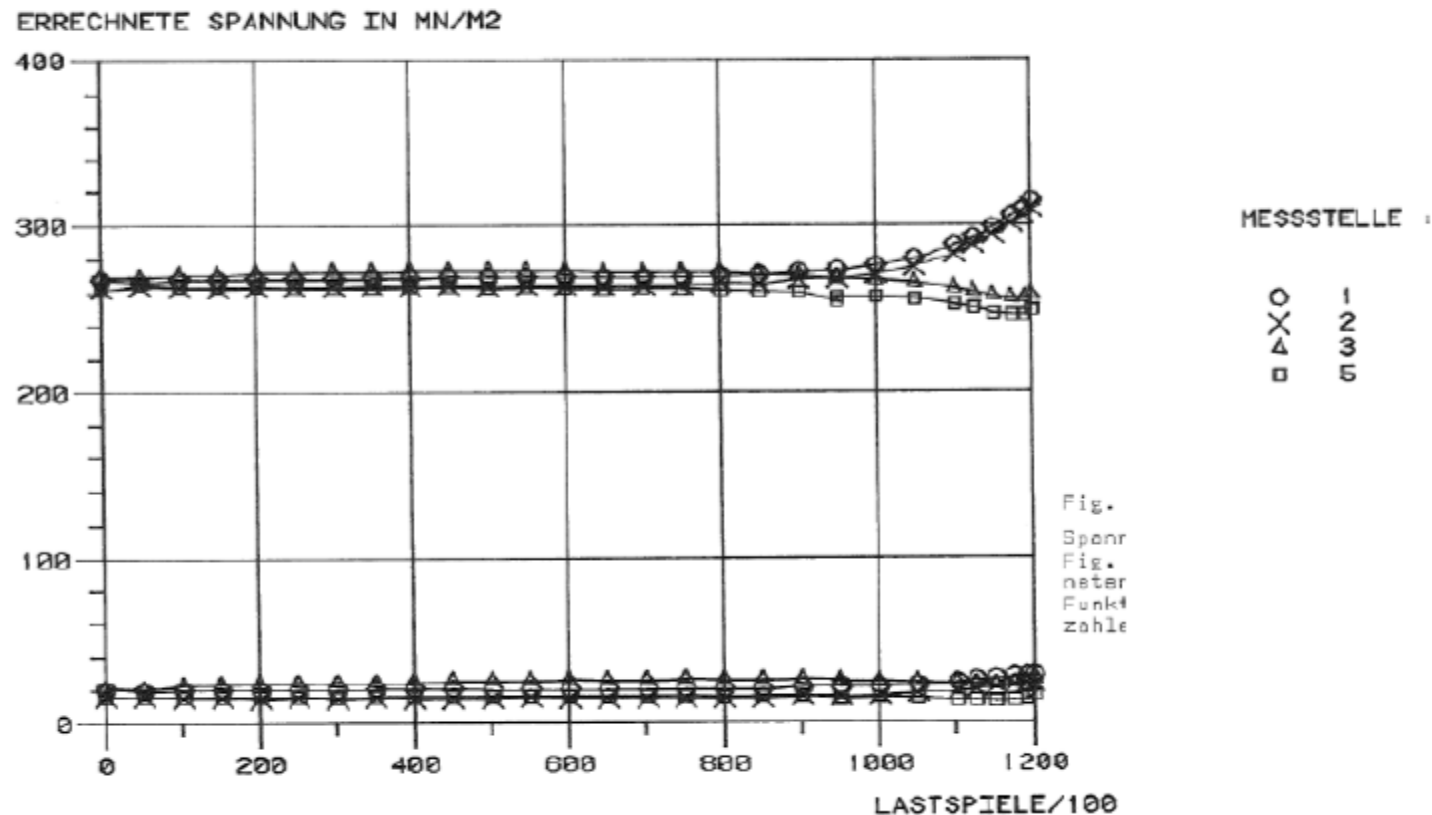
## The technical drawing of the plate and a photo frontwise



The backside and fatigue fracture surfaces after the test  
(leak-before-break in case of a pressure vessel)



Sinusoidal cyclic loading with  $\Delta\sigma=250$  MPa, signals from the four strain-gauges Nr. 1,2 and 3,5 (after 100'000 cycles little bending effects)



A pressure vessel with a flaw – our tensile plate can be looked at as a model for this practical application

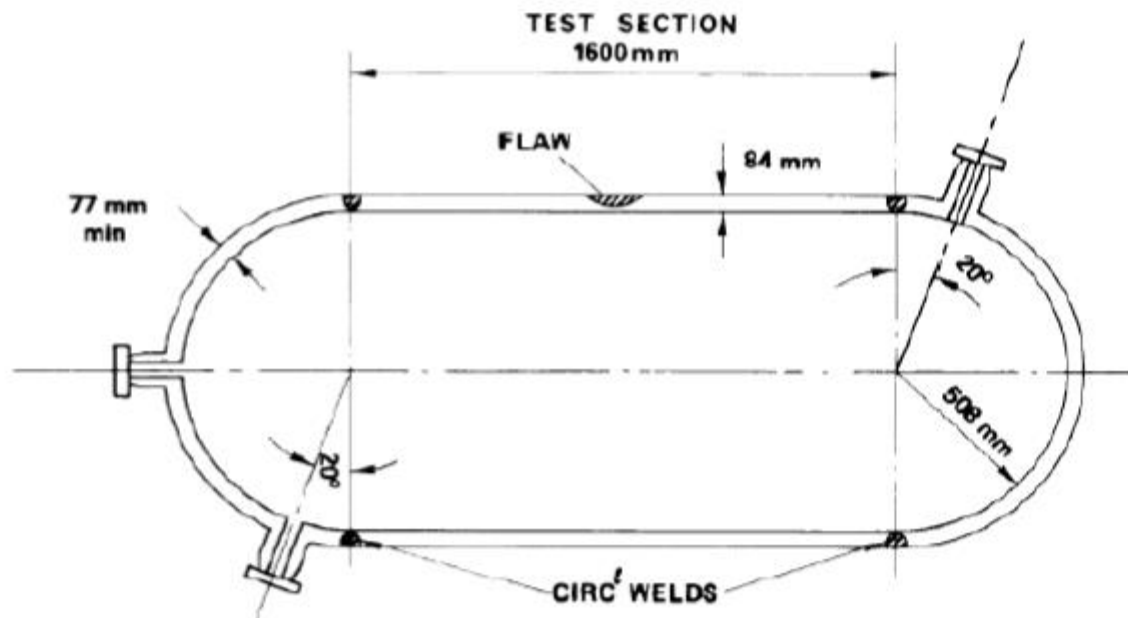


Fig 2 Geometry of CEGB pressure vessel test 1

CEGB= Central Electricity Generating Board, London (U.K.)

Computations, verified by the experiments shown above. The computational model for the plate with appropriate notations

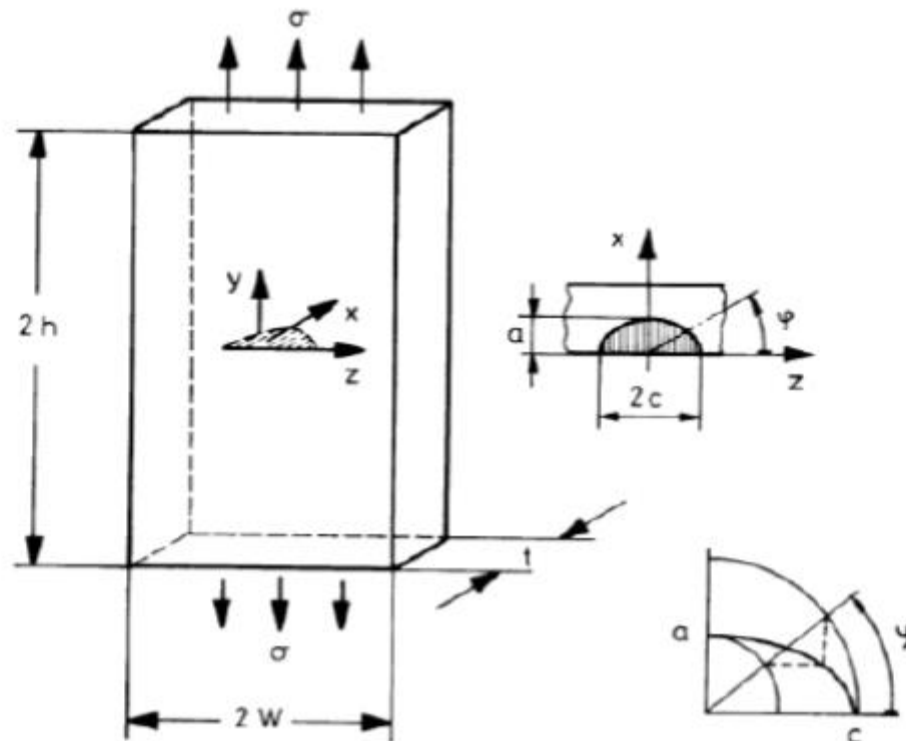


Fig 2 Surface crack in a tensile plate

## Explanations of the stepwise computation of fatigue crack growth – Equation (2), see on this slide

(a) Calculation of the crack half length  $c_i$

$$c_i = c_{i-1} + (a_i - a_{i-1}) \left( \frac{a_{i-1}}{c_{i-1}} \right)^{m/2} \quad (2)$$

from the known crack depth  $a_i$  and the results of the previous step,  $c_{i-1}$  and  $a_{i-1}$ , using a material-dependent exponent  $m/2$  ( $2 < m < 5$ , c.g.,  $m = 3$ ).

According to Raju and Newman, the stress intensity factor,  $K$ , is

$$K = \frac{\sigma \sqrt{\pi a}}{\Phi} F\left(\frac{a}{c}, \varphi, \frac{a}{t}\right) \quad (5)$$

where

$$c/W \leq 0.25$$

and

$$c/h \leq 0.25$$

The correction factors

$$F\left(\frac{a}{c}, \varphi, \frac{a}{t}\right) = \frac{K \cdot \Phi}{\sigma \sqrt{\pi a}} \quad (6)$$

are given in Table 1.

## Finite Element Results of Raju & Newman (NASA) for the Correction Factors in Equation (5) of the previous slide

Table 1 Correction factors  $F(a/c, \varphi, a/t)$  from reference (1)

| a/c  | a/t  | $\varphi$ (degrees) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |      | 0.00                | 11.25 | 22.50 | 33.75 | 45.00 | 56.25 | 67.50 | 78.75 | 90.00 |
| 0.20 | 0.20 | 0.617               | 0.650 | 0.754 | 0.882 | 0.990 | 1.072 | 1.128 | 1.161 | 1.173 |
| 0.40 | 0.20 | 0.767               | 0.781 | 0.842 | 0.923 | 0.998 | 1.058 | 1.103 | 1.129 | 1.138 |
| 0.60 | 0.20 | 0.916               | 0.919 | 0.942 | 0.982 | 1.024 | 1.059 | 1.087 | 1.104 | 1.110 |
| 1.00 | 0.20 | 1.174               | 1.145 | 1.105 | 1.082 | 1.067 | 1.058 | 1.053 | 1.050 | 1.049 |
| 2.00 | 0.20 | 0.821               | 0.749 | 0.740 | 0.692 | 0.646 | 0.599 | 0.552 | 0.512 | 0.495 |
| 0.20 | 0.40 | 0.724               | 0.775 | 0.883 | 1.009 | 1.122 | 1.222 | 1.297 | 1.344 | 1.359 |
| 0.40 | 0.40 | 0.896               | 0.902 | 0.946 | 1.010 | 1.075 | 1.136 | 1.184 | 1.214 | 1.225 |
| 0.60 | 0.40 | 1.015               | 1.004 | 1.009 | 1.033 | 1.062 | 1.093 | 1.121 | 1.139 | 1.145 |
| 1.00 | 0.40 | 1.229               | 1.206 | 1.157 | 1.126 | 1.104 | 1.088 | 1.075 | 1.066 | 1.062 |
| 2.00 | 0.40 | 0.848               | 0.818 | 0.759 | 0.708 | 0.659 | 0.609 | 0.560 | 0.519 | 0.501 |
| 0.20 | 0.60 | 0.899               | 0.953 | 1.080 | 1.237 | 1.384 | 1.501 | 1.581 | 1.627 | 1.642 |
| 0.40 | 0.60 | 1.080               | 1.075 | 1.113 | 1.179 | 1.247 | 1.302 | 1.341 | 1.363 | 1.370 |
| 0.60 | 0.60 | 1.172               | 1.149 | 1.142 | 1.160 | 1.182 | 1.202 | 1.218 | 1.227 | 1.230 |
| 1.00 | 0.60 | 1.355               | 1.321 | 1.256 | 1.214 | 1.181 | 1.153 | 1.129 | 1.113 | 1.107 |
| 2.00 | 0.60 | 0.866               | 0.833 | 0.771 | 0.716 | 0.664 | 0.610 | 0.560 | 0.519 | 0.501 |
| 0.20 | 0.80 | 1.190               | 1.217 | 1.345 | 1.504 | 1.657 | 1.759 | 1.824 | 1.846 | 1.851 |
| 0.40 | 0.80 | 1.318               | 1.285 | 1.297 | 1.327 | 1.374 | 1.408 | 1.437 | 1.446 | 1.447 |
| 0.60 | 0.80 | 1.353               | 1.304 | 1.265 | 1.240 | 1.243 | 1.245 | 1.260 | 1.264 | 1.264 |
| 1.00 | 0.80 | 1.464               | 1.410 | 1.314 | 1.234 | 1.193 | 1.150 | 1.134 | 1.118 | 1.112 |
| 2.00 | 0.80 | 0.876               | 0.839 | 0.775 | 0.717 | 0.661 | 0.607 | 0.554 | 0.513 | 0.496 |

## Some additional ideas to Equation (2) with the Equations (3) and (4) /Irwin/ and (5) /Paris/

16

FRACTURE MECHANICS VERIFICATION BY LARGE-SCALE TESTING

Formula (2) was deduced from equations established by Irwin (4) and Paris (5) in the following way.

Irwin's equation (4) is

$$K = \frac{\sigma \sqrt{(\pi a)}}{\Phi} \left\{ \left( \frac{a^2}{c^2} \right) \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi \right\}^{1/4} \quad (3)$$

where  $\Phi$  is a complete elliptic integral of the second kind

$$\Phi = \int_0^{\pi/2} \left\{ \sin^2 \varphi + \left( \frac{a}{c} \right)^2 \cos^2 \varphi \right\}^{1/2} d\varphi \quad (4)$$

For the crack in  $c$ -direction and  $\varphi = 0$  the  $K$  value is

$$K_0 = \frac{\sigma \sqrt{(\pi a)}}{\Phi} \cdot \left( \frac{a}{c} \right)^{1/2}$$

Similarly, for the crack in the  $a$  direction and  $\varphi = \pi/2$

$$K_{\pi/2} = \frac{\sigma \sqrt{(\pi a)}}{\Phi}$$

Final steps of our deduction of Equation (2), necessary for the procedure firstly proposed in the PhD thesis of the author

Using the Paris equation (5) we obtain

$$\frac{\Delta c}{\Delta N} = C \cdot \Delta K_0^n$$

$$\frac{\Delta a}{\Delta N} = C \cdot \Delta K_{n/2}^n$$

Dividing the above expressions we have

$$\frac{\Delta c}{\Delta a} = \left( \frac{\Delta K_0}{\Delta K_{n/2}} \right)^n$$

and since, from equation (3)

$$\frac{\Delta K_0}{\Delta K_{n/2}} = \left( \frac{a}{c} \right)^{1/2}$$

therefore

$$\frac{\Delta c}{\Delta a} = \left( \frac{a}{c} \right)^{n/2}$$

as shown rearranged in equation (2) with quoted indices.

## SULZER

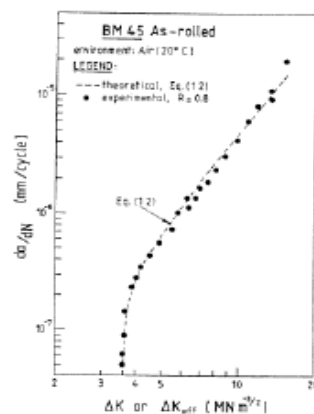


Fig.1  $da/dN$  versus  $\Delta K$  für Ck45 bei  $R = 0,8$  an Luft [1]

Der Verlauf von  $da/dN$  über  $\Delta K$  würde für St 52-3 (wäre das Diagramm verfügbar für uns) nicht viel anderes als von Fig.1 aussehen. (Zitat vom Supervisor und Drittautor von [1]: "I guess that the line for your steel is not much different.")

Somit ist eine vertretbare Abschätzung für St 52-3, abgelesen aus Fig. 1:

$$\Delta K_0 \approx 3,5 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}} = 110 \text{ Nmm}^{-3/2}$$

Man beachte zudem, dass in Ref. [1] auch eine Theorie des "Near-threshold Region"-Ermüdungsrisswachstums skizziert wird. Auf diese Theorie werden wir noch zurückgreifen.

Fig.2 zeigt ein Referenzdiagramm nach J.R. Yates und K.J. Miller für einen 3,5% NiCrMoV-Stahl (Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct., Vol. 12, 1989, No. 3, p. 262). Dieser Fall ist jedoch - obwohl der Schwellwert  $\Delta K_0$  nach diesem bedeutend (Faktor 2!) besser wäre - weniger vergleichbar mit unserem Fall, u.a. war mit  $R = 0,1$  ein ganz anderes Belastungsverhältnis, und  $\Delta K_0$  ist ja auch von  $R$  abhängig.

-4-

## SULZER

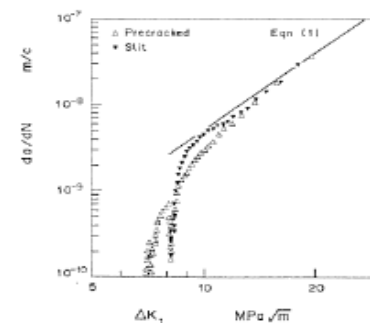


Fig.2  $da/dN$  versus  $\Delta K$  für Stahl 3,5% NiCrMoV bei  $R = 0,1$  an Luft.

### 3. Berechnungsmöglichkeiten für $\Delta K_0$ und $da/dN$

Nach [5] ist das Gesetz für Risswachstum vereinfacht das folgende:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot \Delta K^m \quad (1)$$

für  $\Delta K > \Delta K_0$  und

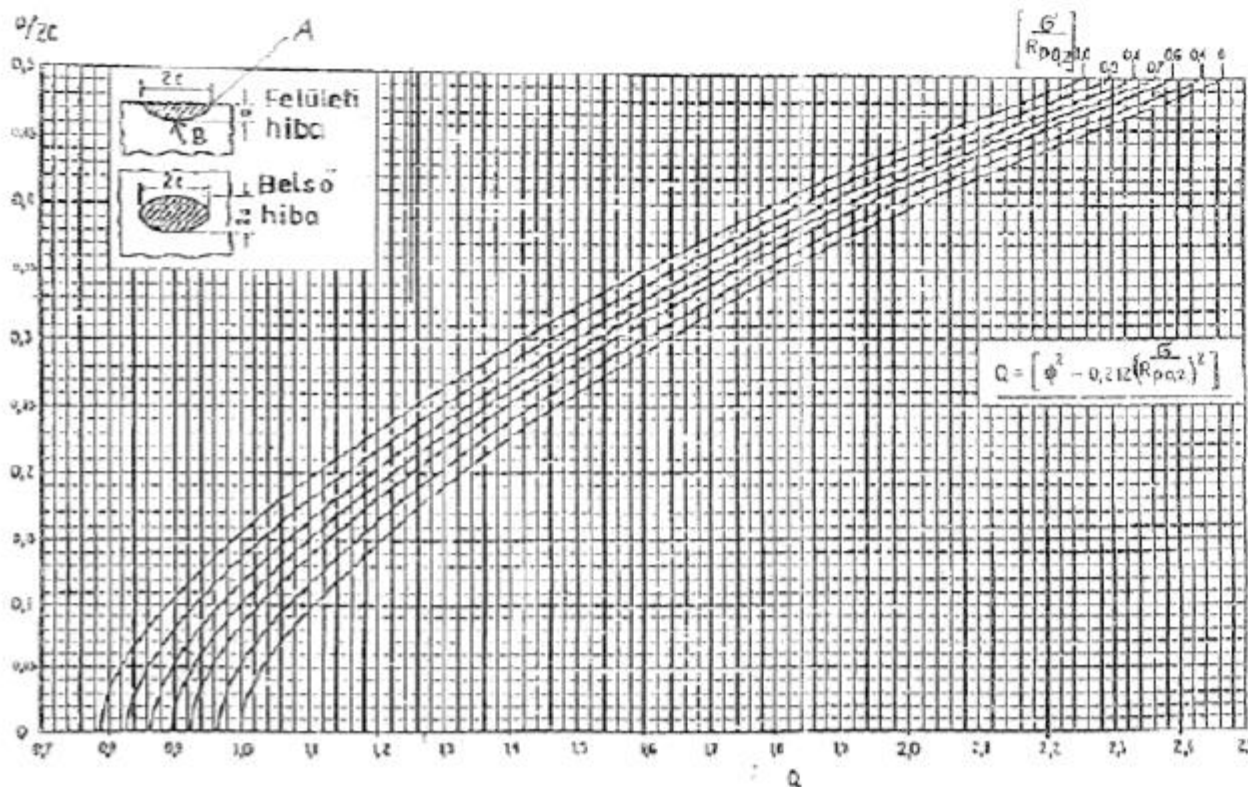
$$\frac{da}{dN} = 0 \quad (2)$$

für  $\Delta K < \Delta K_0$ .

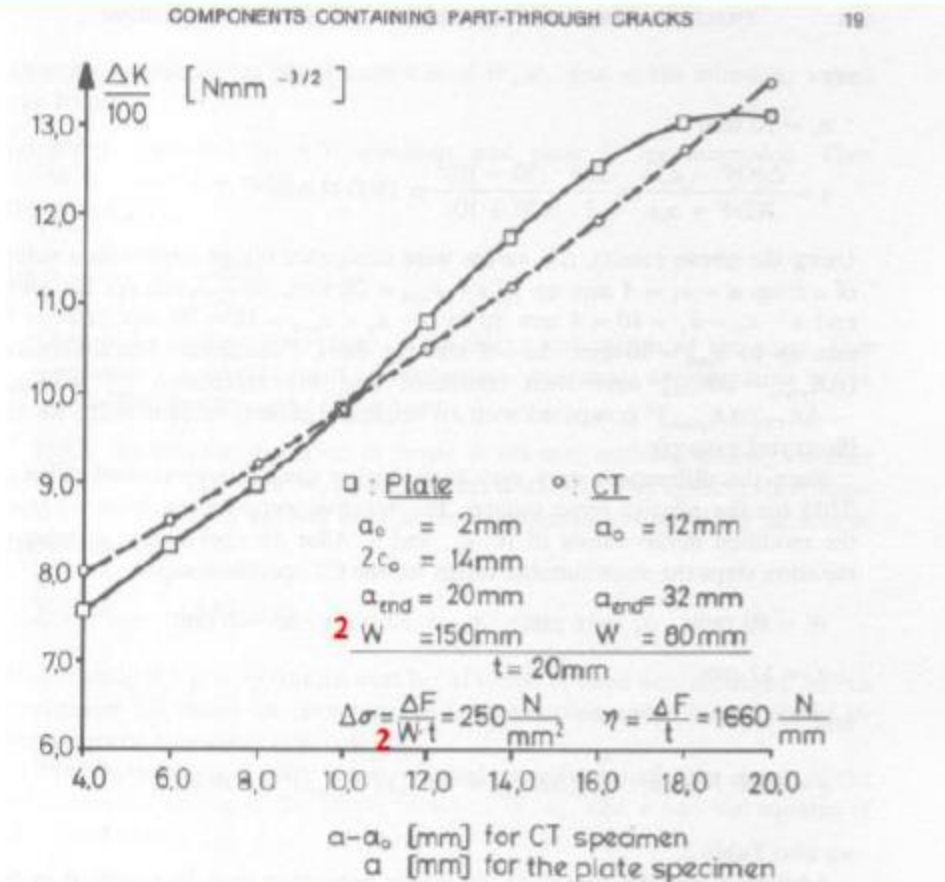
Ref. [1] gibt zusätzlich noch eine von Gl. (1) abweichende, kompliziertere Gleichung für das "Near-threshold Region" - Risswachstum an.

-5-

# A graphical illustration of the elliptic integral $\Phi$ of the second kind and of the crack shape factor $Q$



A numerical example: A tensile plate and a corresponding CT specimen with a growing crack (fatigue) from  $a_0$  till  $a_{end}$



## Comments to the numerical computations

for a plate 150 mm wide, 20 mm thick and 800 mm long. The crack growth was divided into nine steps from  $a_1 = 4$  mm to  $a_{\text{end}} = 20$  mm when the crack reached the other side of the plate. All the steps are plotted in Fig. 3 as a full line.

Rapson minimization scheme were used in the following way. The growing crack shapes and the respective  $K$  values can be computed for the plate using equations (2) and (5). A typical example is shown in Fig. 3 (full line curve). Here the crack starter (spark eroded notch) was as follows

$$a_0 = 2 \text{ mm}$$

$$2c_0 = 14 \text{ mm}$$

## Computation of Point $P_3(a_3; \Delta K_3)$ , i.e. $P_3(8 \text{ mm}; \approx 900 \text{ Nmm}^{-3/2})$ of the earlier slide for the plate

1. Berechnung von  $c_3$

$$c_1 = 7,305 \text{ mm} ; \quad c_2 = 8,12 \text{ mm} ; \quad c_3 = c_2 + (a_3 - a_2) \left( \frac{a_2^2}{c_2^2} \right)^{1,5} = 9,4 \text{ mm}$$

2. Berechnung von  $F_3 \left( \frac{a_3^3}{c_3^3}, 90^\circ, \frac{a_3^3}{t} \right)$

$$\frac{a_3^3}{c_3^3} = \frac{8}{9,4} = 0,85 \quad \frac{a_3^3}{t} = \frac{8}{20} = 0,4 \quad F_3 = 1,093 \text{ interpoliert aus Tab. 1}$$

3. Berechnung von  $\Phi$  (elliptisches Integral 2. Art)

$$\frac{a_3^3}{2c_3^3} = \frac{8}{18,8} = 0,426$$

$$\text{Ablesewert: } Q = 2,14 \rightarrow \Phi = \sqrt{Q} = \sqrt{2,14} = 1,462$$

Computation of Point  $P_2(a_2; \Delta K_2)$ , i.e.  $P_2(8 \text{ mm}; \approx 900 \text{ Nmm}^{-3/2})$  of the earlier slide for the plate  
Computation continued

#### 4. Berechnung von $\Delta K_3$

$$\Delta K_3 = \frac{250 \cdot \sqrt{\pi \cdot 8}}{1,462} \cdot 1,093 = 937 \text{ Nmm}^{-3/2}$$

$$\text{Fehler} = \frac{937 - 900}{900} \approx 4 \%$$

Fehler, verglichen mit dem Wert in EMPA Bericht Nr. 213 , S. 41

$$\text{Fehler} = \frac{937 - 923}{923} \approx 1,5 \%$$

All numerical values illustrated in the earlier slide

# FRACTURE MECHANICS VERIFICATION BY LARGE-SCALE TESTING

Table 2 Tabulated results illustrated in Fig. 3

| $a - a_0$ (mm) CT specimen | $\Delta K$ ( $N\ mm^{-3/2}$ ) |             |
|----------------------------|-------------------------------|-------------|
| $a$ (mm) plate             | plate                         | CT specimen |
| 4                          | 752                           | 797         |
| 6                          | 833                           | 857         |
| 8                          | 898                           | 919         |
| 10                         | 982                           | 983         |
| 12                         | 1079                          | 1050        |
| 14                         | 1174                          | 1120        |
| 16                         | 1254                          | 1195        |
| 18                         | 1304                          | 1275        |
| 20                         | 1308                          | 1362        |

# Tensile plates experimental results with four plates

## FRACTURE MECHANICS VERIFICATION BY LARGE SCALE TESTING

Table 3 Tensile plates experimental results

| a (mm)               | N      | c (mm) | a (mm)               | N       | c (mm) |
|----------------------|--------|--------|----------------------|---------|--------|
| Plate specimen No. 1 |        |        | Plate specimen No. 3 |         |        |
| 1.79                 | 0      | 7.00   | 1.61                 | 0       | 7.00   |
| 2.24                 | 10 000 | 7.00   | 1.73                 | 3000    | 7.00   |
| 2.64                 | 20 000 | 7.00   | 2.01                 | 10 000  | 7.00   |
| 3.57                 | 30 000 | 7.15   | 2.43                 | 20 000  | 7.00   |
| 4.49                 | 40 000 | 7.50   | 2.91                 | 30 000  | 7.00   |
| 4.93                 | 45 000 | 7.70   | 3.33                 | 40 000  | 7.00   |
| 6.79                 | 60 000 | 9.10   | 3.52                 | 50 000  | 7.00   |
| 7.48                 | 65 000 | 9.85   | 3.92                 | 60 000  | 7.05   |
| 8.68                 | 70 000 | 10.55  | 4.35                 | 70 000  | 7.20   |
| 10.03                | 75 000 | 11.95  | 5.20                 | 80 000  | 7.45   |
| 11.62                | 80 000 | 13.35  | 6.86                 | 90 000  | 8.25   |
| 13.50                | 85 000 | 15.20  | 9.51                 | 100 000 | 9.90   |
| 14.18                | 87 000 | 16.60  | 13.48                | 110 000 | 13.10  |
| 14.58                | 88 000 | 17.80  | 16.21                | 115 000 | 16.20  |
| 15.53                | 90 000 | 18.80  | 17.49                | 117 000 | 17.15  |
| 16.36                | 91 400 | 19.45  | 18.85                | 119 000 | 19.60  |
| 17.07                | 92 500 | 20.80  | 19.56                | 120 000 | 20.95  |
| 18.82                | 94 300 | 22.70  |                      |         |        |
| Plate specimen No. 2 |        |        | Plate specimen No. 4 |         |        |
| 2.13                 | 0      | 7.00   | 1.95                 | 0       | 7.00   |
| 2.31                 | 10 000 | 7.00   | 2.14                 | 10 000  | 7.00   |
| 2.83                 | 20 000 | 7.00   | 2.58                 | 20 000  | 7.00   |
| 3.68                 | 30 000 | 7.00   | 3.28                 | 30 000  | 7.00   |
| 4.74                 | 40 000 | 7.03   | 4.34                 | 40 000  | 7.00   |
| 6.33                 | 50 000 | 7.47   | 5.10                 | 50 000  | 7.20   |
| 8.33                 | 60 000 | 8.70   | 6.20                 | 60 000  | 7.60   |
| 10.99                | 70 000 | 10.63  | 8.04                 | 70 000  | 9.20   |
| 14.87                | 80 000 | 14.23  | 10.68                | 80 000  | 11.40  |
| 16.89                | 84 000 | 16.93  | 13.28                | 90 000  | 15.50  |
| 17.80                | 86 000 | 17.73  | 15.65                | 95 500  | 16.80  |
| 18.78                | 87 500 | 18.89  | 16.70                | 97 500  | 17.60  |
| 20.08                | 89 500 | 20.95  | 18.42                | 94 000  | 18.40  |
|                      |        |        | 18.34                | 95 000  | 18.95  |
|                      |        |        | 18.48                | 96 000  | 19.60  |
|                      |        |        | 18.79                | 97 000  | 20.40  |
|                      |        |        | 18.94                | 97 500  | 20.80  |
|                      |        |        | 19.23                | 98 500  | 21.30  |

Graphical illustration of the tabulated results (see the Tables on the previous and on the following slide)

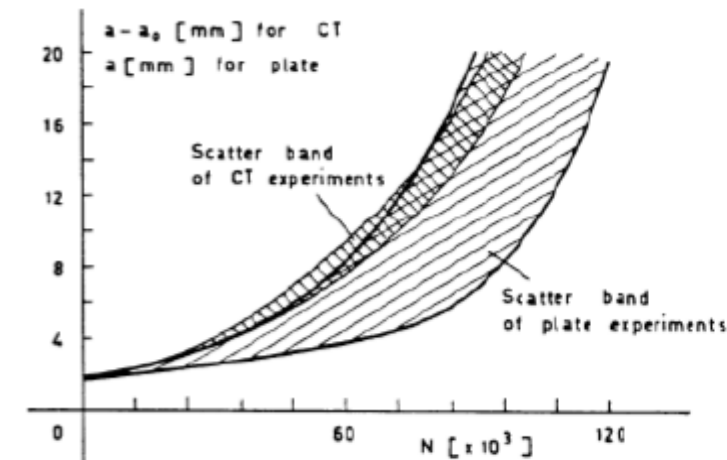


FIG. 4a—Crack propagation in tension plates and optimally adjusted C(T) specimens.

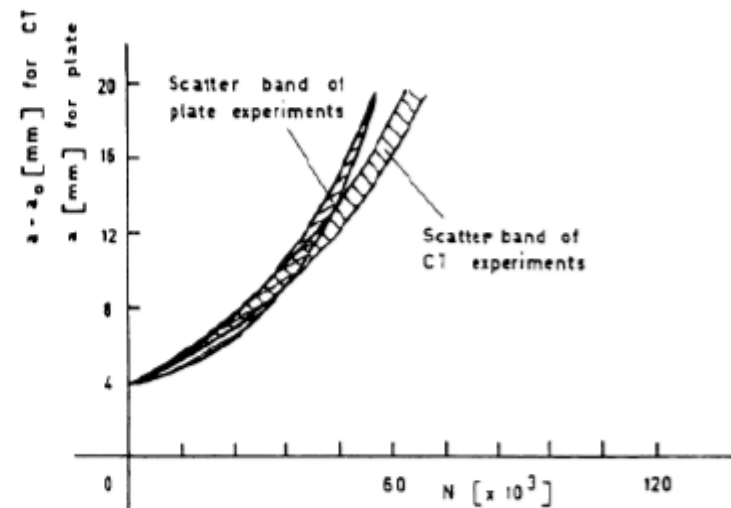


FIG. 4b—Transformations of crack growth curves (see Fig. 4a) to the origin at  $N = 0$  and crack depth of 4 mm.

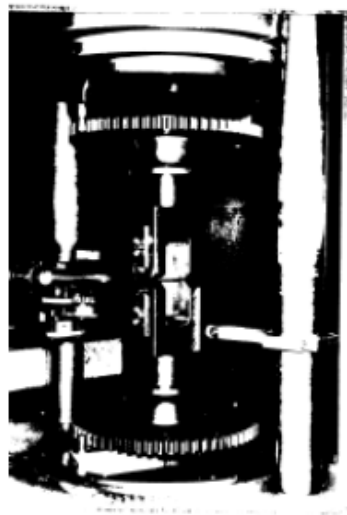
## Experimental results with three adjusted CT specimens

TABLE 4—Experimental results for three adjusted CT specimens (see also Figs. 3 and 4a).

| $(a - a_0)$ , mm | N      |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|
|                  | No. 1  | No. 2  | No. 3  |
| 3.0              | 24 000 | 24 000 | 24 000 |
| 3.5              | 28 470 | 30 575 | 30 475 |
| 4.0              | 29 510 | 35 550 | 35 175 |
| 4.5              | 31 950 | 40 300 | 39 250 |
| 5.0              | 35 640 | 43 825 | 43 175 |
| 5.5              | 40 775 | 47 275 | 46 775 |
| 6.0              | 42 050 | 50 375 | 50 150 |
| 6.5              | 45 020 | 53 500 | 53 550 |
| 7.0              | 47 500 | 56 700 | 56 175 |
| 7.5              | 51 955 | 59 150 | 59 025 |
| 8.0              | 53 235 | 61 875 | 61 825 |
| 8.5              | 56 705 | 64 275 | 64 475 |
| 9.0              | 57 875 | 66 875 | 66 975 |
| 9.5              | 60 390 | 69 150 | 69 450 |
| 10.0             | 61 855 | 71 225 | 71 675 |
| 10.5             | 65 045 | 73 625 | 73 725 |
| 11.0             | 66 150 | 75 575 | 75 850 |
| 11.5             | 68 790 | 77 600 | 77 700 |
| 12.0             | 70 200 | 79 500 | 79 200 |
| 12.5             | 72 755 | 81 275 | 81 225 |
| 13.0             | 73 830 | 82 950 | 82 800 |
| 13.5             | 76 085 | 84 800 | 84 625 |
| 14.0             | 77 670 | 86 275 | 86 300 |
| 14.5             | 79 205 | 87 800 | 87 725 |
| 15.0             | 79 935 | 89 350 | 89 175 |
| 15.5             | 81 230 | 90 900 | 90 625 |
| 16.0             | 82 175 | 92 275 | 91 925 |
| 16.5             | 84 010 | 93 575 | 93 300 |
| 17.0             | 84 800 | 94 850 | 94 625 |
| 17.5             | 86 240 | 96 000 | 95 800 |
| 18.0             | 87 320 | ...    | 96 900 |
| 18.5             | 88 370 | ...    | 98 025 |
| 19.0             | 89 305 | ...    | ...    |

Tafel 1

Nr. 69'901/10a



Anschwingen der Kompaktzugprobe  
im Hochfrequenzpulsator

Nr. 69'912/24



Bruchmechanik-Versuch, eingerichtet mit der Kompaktzugprobe.

Tafel 2

Nr. 69'912/32



Nr. 69'912/40

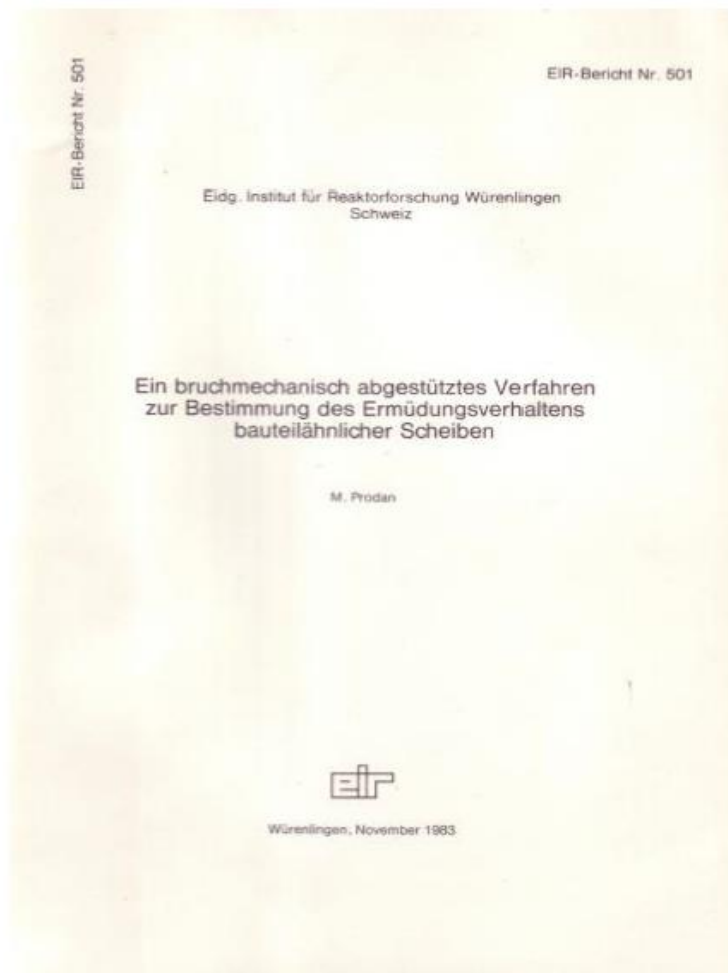


Nr. 69'912/1



Die Kompaktzugprobe (Detail zur Uebersichtsaufnahme der Tafel 1,  
Photo Nr. 69'912/24) vor und nach dem Versuch (beachte den Geber  
für die Verlängerungsmessung am Rand der Kerbe).

# Svájci fejlesztések: EIR-Ber. 501 & EMPA-Ber. 213



Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt  
Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et Institut de recherches  
Laboratorio federale di prova dei materiali ed Istituto sperimentale  
Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research

Bericht Nr. 213

## Ein bruchmechanisch abgestütztes Verfahren zur Bestimmung des Ermüdungsverhaltens bauteilähnlicher Scheiben

M. Prodan\*

\* Miklós Prodan, dipl. Masch.-Ing.,  
ehemals Eidg. Institut für Reaktorforschung (EIR), Würenlingen.  
Derzeitige Adresse: Motor Columbus Ingenieurunternehmung AG,  
CH-5401 Baden, Schweiz

Dübendorf 1983

# Előszó EMPA-Ber. 213

# Dissertation ETHZ 7374

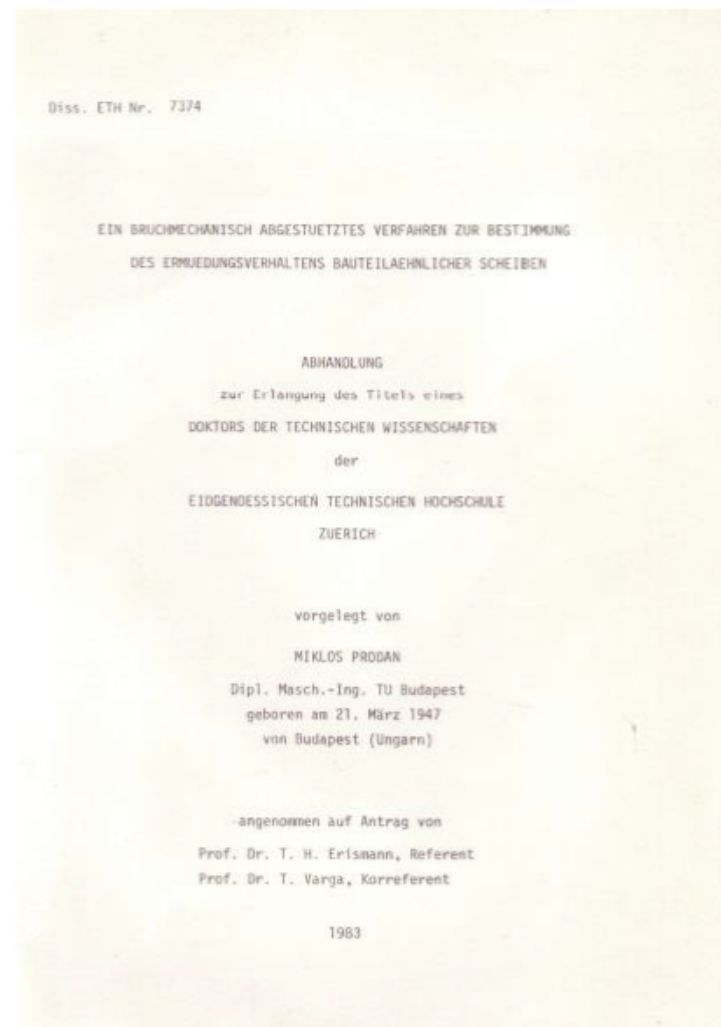
## Vorwort

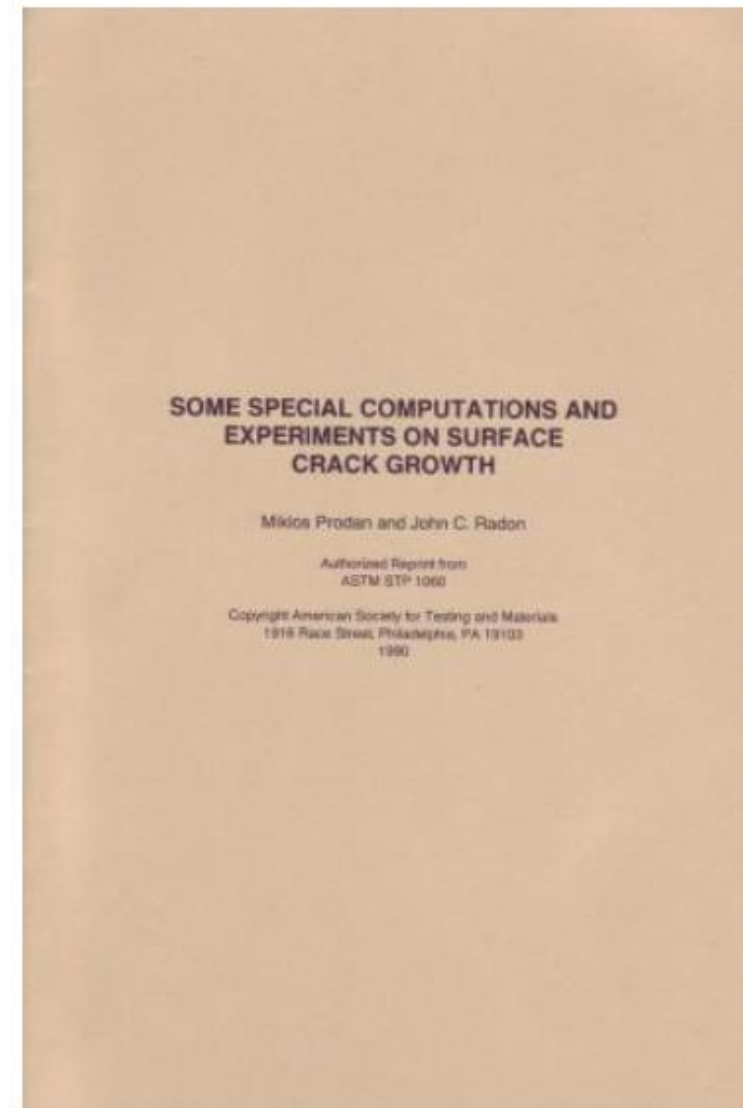
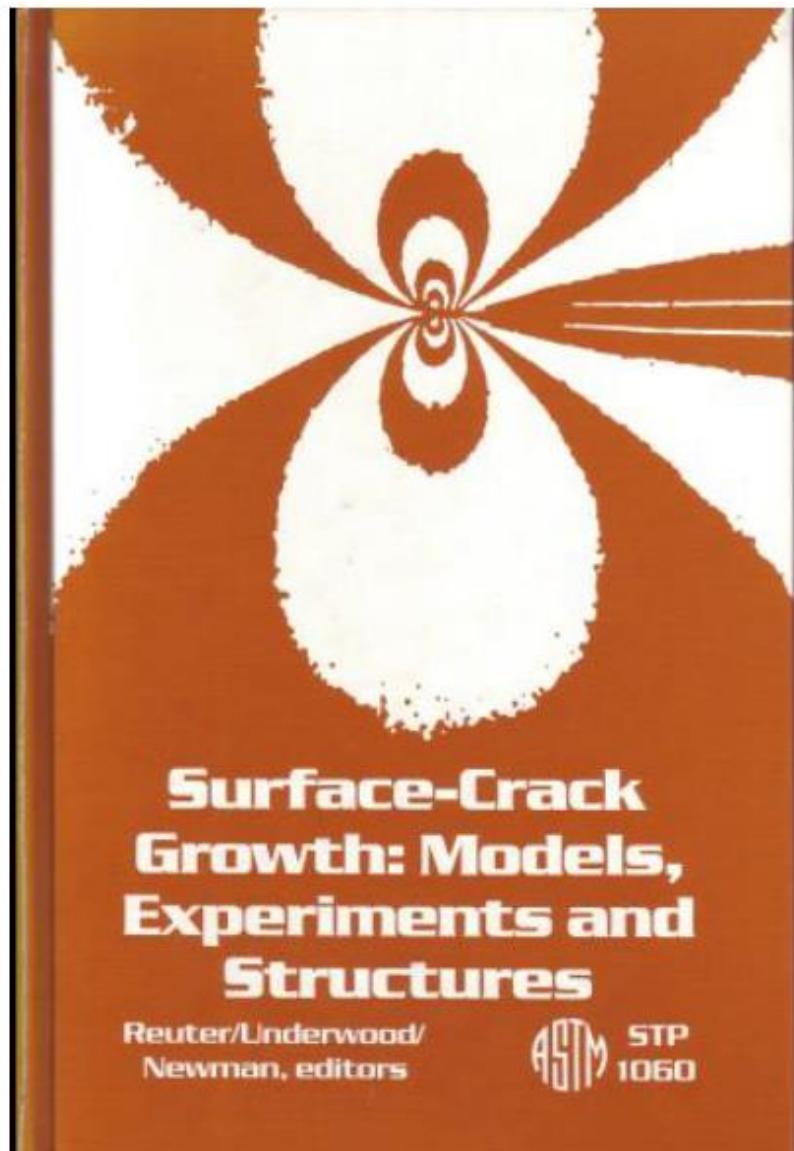
Je mehr die Bruchmechanik für die Beurteilung des Verhaltens von Bauteilen unter Beanspruchung an Boden gewinnt, desto häufiger stösst man an die Grenzen dessen, was beim heutigen Wissensstand möglich ist. Diese Grenzen sind zur Hauptsache durch ein Auseinanderklaffen zwischen Theorie und Praxis bestimmt: Einerseits sind die Ansätze für eine mathematische Behandlung verfeinerter Probleme heute derart komplex, dass sie dem praktisch arbeitenden Ingenieur nicht mehr ohne weiteres zugänglich sind; andererseits sind die Grundlagen der üblichen Arbeitsweise zu primitiv, um die Umsetzung vom genormten Versuch auf das komplizierter geforderte Bauteil problemlos zu gestatten. Insbesondere ist die Erfassung der praktisch häufigen halbelliptischen Risse problematisch, wie sie im Behälterbau als Regel zu betrachten sind.

Der Autor hat sich die Aufgabe gestellt, einen Teilaspekt dieses Problemkomplexes einer brauchbaren Lösung zuzuführen. Zu diesem Zweck entwickelte er ein Verfahren, bei dem ein genormter Probekörper derart dimensioniert wird, dass sein Risswachstum unter schwingender Beanspruchung demjenigen einer Scheibe mit halbelliptischen Riss optimal angeglichen wird. Neben der Formulierung der erforderlichen Beziehungen für den Uebergang von der Scheibe zur Normprobe erfolgte eine experimentelle Ueberprüfung und Ergänzung der rechnerischen Resultate im Rahmen einer umfassenden Versuchsreihe.

Mit dem neuen Verfahren wird es möglich sein, die Lebensdauer rissbehafteter Behälter bei vertretbarem Versuchsaufwand (Normproben) zuverlässiger abzuschätzen, als dies bisher möglich war.

Prof. Dr. T.H. Erismann





## Some additional results from the research work „dealing with semielliptical surface cracks“

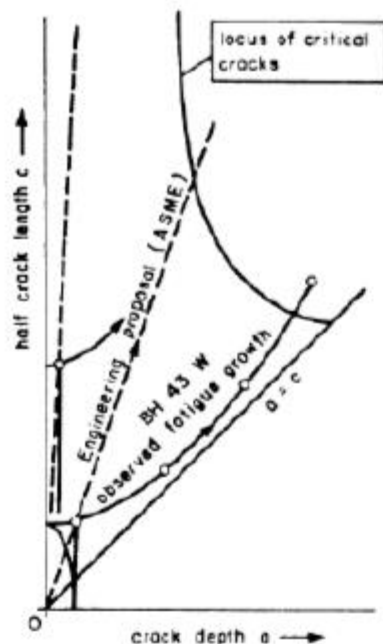


FIG. 5—Fatigue growth of surface cracks towards critical size. Comparison of experimental results with ASME Code, Section XI.

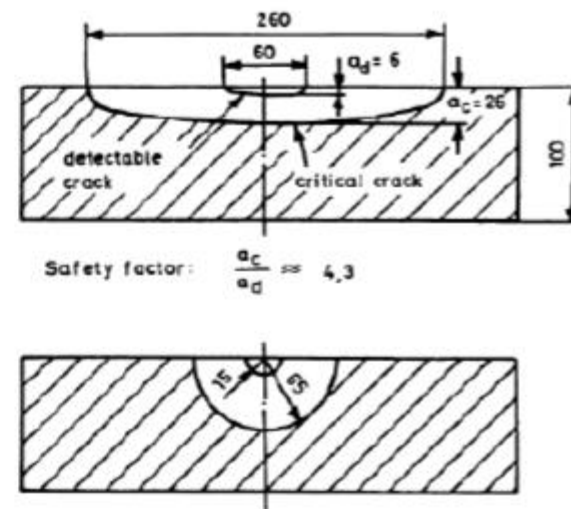


FIG. 6—Two examples of critical and detectable crack sizes: (a) semi-elliptical and (b) semicircular cracks.

## Conclusions of Part I: Semielliptical surface cracks

- Our research work verified the hypothesis that two-dimensional surface crack growth in a vessel wall is controlled by  $\Delta K$  in the same way as a quasi one-dimensional straight-fronted crack growth in a CT specimen (plane strain, plane stress or intermediate conditions)
- Optimally corresponding CT specimens to a vessel (or CCT: center-cracked tensile plate) application – adjusted with the new proposal – can be better used for fatigue life time predictions than earlier experiments without this adjustment or optimization

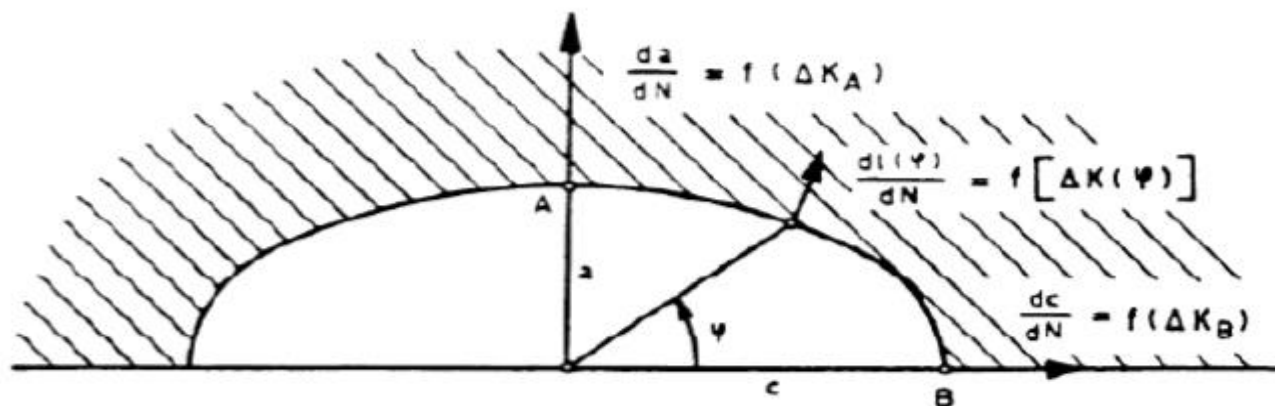


FIG. 1—Fatigue crack growth of a surface crack in isotropic material (resistance to crack propagation is considered to be independent of direction).

## Two actualities in Swiss nuclear power plants (Beznau and Leibstadt) in Juni 2014 and October 2015

### Bericht zu Leck im AKW Beznau

(sda) · Wegen Reparaturarbeiten musste der Block 1 des AKW Beznau im Kanton Aargau Ende Juni während zweier Wochen abgeschaltet werden. Bei einem Rundgang war im Rücklauf des primären Nebenkühlwassersystems eine geringfügige Leckage festgestellt worden. Die Aufsichtsbehörde Ensi hat nun einen Bericht dazu vorgelegt. Sie kommt zum Schluss, dass das Vorkommen eine geringe Bedeutung für die nukleare Sicherheit gehabt habe. Die Hauptursache für die Rissbildung bei einer Rücklaufleitung seien hochfrequente Schwingungen gewesen. Als Konsequenz forderte die Aufsichtsbehörde weitere Analysen in Hinblick auf ähnlich positionierte Leitungen im primären Nebenkühlwasserkreislauf.



Neue Zürcher Zeitung

Defekt im Kühlkreislauf

### AKW Leibstadt abgeschaltet

Das Atomkraftwerk Leibstadt im Kanton Aargau ist am Samstag vom Netz genommen worden. Grund dafür ist ein Defekt im Kühlwasserkreislauf des Generator-Stators. Wie lange das AKW abgeschaltet bleibt, ist zunächst unklar.

17.10.2015, 12:27 Uhr - 4 MINUTENLESEZEIT

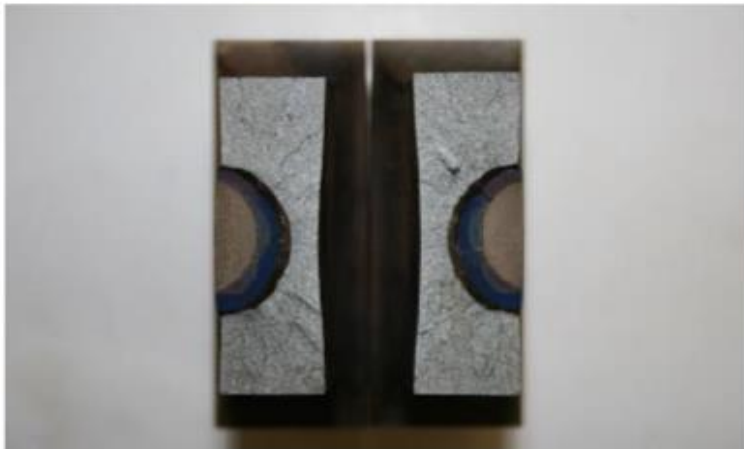
(cckz) Das AKW wurde kurz nach 11 Uhr vom Netz getrennt, wie die Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) am Samstag mitteilte. Das sei notwendig gewesen, um die Inspektion am Generator vornehmen und den Defekt lokalisieren zu können.

Der Generator verfügt über zwei Kühlkreisläufe, einer für den sogenannten Stator und einer für den Rotor. Während der Rotor mit Wasserstoff gekühlt wird, benötigt der Stator eine konventionelle Wasserkühlung. Dieser Teil der Anlage hat keinen Zusammenhang zum nuklearen Teil.

# Magyar fejlesztések / kutatások:

Experiments with part-through cracks of today (2015) - Project  
STYLE of the Bay Zoltán Nonprofit Ltd. for Appl. Research,  
Miskolc-Tapolca

STYLE= Structural integrity for lifetime  
management – non-RPV



Thanks for these photos to Mr. Péter Rózsahegyi, Head  
of Laboratory – Bay Zoltán Institute, Miskolc-Tapolca



Left: Research at the Institute of Structural Integrity, Director: Prof. Dr. LUKÁCS János, Miskolc University; Cover: Pipe Rupture



# EIR+SIN=PSI Paul Scherrer Institut, Villigen- Würenlingen (Kanton Aargau / Svájc)

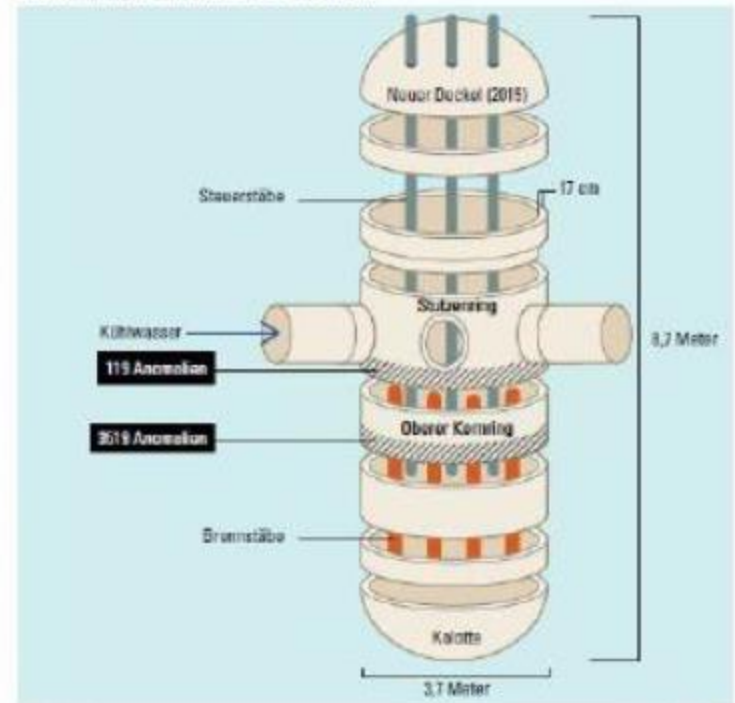




*Kein «Schwimreaktor», urteilt das Enst über den Reaktorblock 1 des Atomkraftwerks Beznau.*

ERDSTREICHUNG FNZ

Der Reaktordruckbehälter von Beznau 1



NZZ Fotografin/ka

# Beznau 1 geht in die Verlängerung

*Die Axpo will den ältesten Reaktor der Schweiz nach der Bewilligung zum Wiederanfahren bis 2030 betreiben*

AKW Beznau 1 darf wieder Strom produzieren

# Ein 150 Tonnen schweres Lehrstück



HELMUT STALTER

Jetzt ist es amtlich: Nach drei Jahren Stillstand darf Beznau 1 zurück ans Netz. Wegen mehrerer tausend kleiner Einschlüsse im Stahl des Reaktordruckbehälters war das Werk ausser Betrieb. Nun hat die Atomaufsichtsbehörde Ensi den Sicherheitsnachweis akzeptiert und der Kraftwerksbetreiberin Axpo die Absolution erteilt. Beznau 1, das älteste AKW der Schweiz und eines der ältesten der Welt, darf unbefristet weiterlaufen, solange es sicher ist und die Betreiber dies aus wirtschaftlichen Gründen wollen.

Die aufwendige und anspruchsvolle Untersuchung und der jetzige Entscheid haben eine weitreichende Bedeutung, die auf Staaten in der ganzen Welt ausstrahlen wird. Bisher galten 50 Betriebsjahre als Richtgrösse, und nur wenige Werke in den USA haben eine Betriebsbewilligung für 60 Jahre. Der Entscheid des Ensi dehnt die Betriebsdauer von AKW prinzipiell aus, denn er besagt: Nicht das blosse Alter einer Anlage ist massgebend, sondern allein ihr Zustand. Ist dieser tadellos und sind alle

Kriterien für einen sicheren Betrieb erfüllt, liegen auch 60 Betriebsjahre im Bereich des technisch Möglichen. Bedeutsam ist dieser Entscheid vor allem deshalb, weil er nicht das politische Umfeld, nicht Proteste von Atomgegnern, nicht wirtschaftliche Erwägungen und auch nicht Fragen der Versorgungssicherheit berücksichtigt, sondern sich einzig und allein auf technische Analysen und Tests stützt. Das macht ihn transparent und glaubwürdig.

Noch nie wurde das Herzstück eines Atomkraftwerks einer derart akribischen Prüfung unterzogen. Am Anfang standen bei Ultraschalluntersuchungen festgestellte Anomalien unbekannter Herkunft im Stahl und die grosse Schwierigkeit, wie man diese Einschlüsse und ihre möglichen Folgen für die Stabilität untersucht. Denn man kann den einbetonierten Reaktordruckbehälter nicht ausbauen, zerlegen und Materialproben zerbrechen und zerreiben. Am Ende nun steht die gesicherte Feststellung: Die Einschlüsse bestehen aus Aluminiumoxid, stammen aus dem Stahl-Giessprozess in den 1960er Jahren und haben keine negativen Auswirkungen auf die Widerstandskraft des Druckbehälters. Das Wegstück dazwischen jedoch ist es, was es ausmacht. Die Betreiberin Axpo hat viel Aufwand betrieben, dem Phänomen auf den Grund zu gehen. Das Ensi, eingedenk der weltweiten Bedeutung, hat in diesem Prozess

jeden Schritt hinterfragt und geprüft. Und das eingesetzte Review-Panel mit international ausgewiesenen Experten hat das Vorgehen als angemessen und die Ergebnisse als solide beurteilt. Mit dem Vorgehen, mit der Prüf- und Bewertungsmethodik, mit der Untersuchung von Vorlaufproben, der Herstellung eines Replikats des Stahlrings und metallurgischen Analysen und Bruchtests haben die Betreiber und die Aufsichtsbehörde zum Teil wissenschaftliches und methodisches Neuland betreten und zugleich internationale Standards für solche Untersuchungen gesetzt. Aber nur mit gesichertem Wissen lassen sich Zweifel ausräumen. Somit ist der Reaktorblock 1 von Beznau auch ein 150 Tonnen schweres Lehrstück, wie man mit Gründlichkeit und Vorsicht letztlich Glaubwürdigkeit herstellt.

Beznau 1 geht damit nach drei Jahren Stillstand als der weltweit am besten geprüfte Reaktor in die Verlängerung und wird wohl noch einige Jahre Strom produzieren. Gleichwohl ist dies für die Betreiber kein Freipass. In der Schweiz gibt es für AKW keine Laufzeitbegrenzung und keine Langzeitbetriebskonzepte für die letzte Phase. Vielmehr gilt die Formel: AKW dürfen laufen, solange sie sicher sind. Diese Sicherheit jederzeit zu gewährleisten und bis zum letzten Tag nachzurüsten, ist eine Dauerpflcht der Betreiber – koste es, was es wolle.

Die Sicherheit jederzeit zu gewährleisten und bis zum letzten Tag nachzurüsten, ist eine Dauerpflcht der Betreiber – koste es, was es wolle.

# Beznau 1 geht in die Verlängerung

*Die Axpo will den ältesten Reaktor der Schweiz nach der Bewilligung zum Wiederanfahren bis 2030 betreiben*

Die Einschlüsse im Stahl des Reaktordruckbehälters von Beznau 1 haben sich als harmlos erwiesen. Die Atomaufsicht gibt grünes Licht. Die Axpo will die Anlage Ende März wieder auf Volllast bringen und peilt eine Betriebsdauer von 60 Jahren an.

HELMUT STALDER

Der Reaktorblock 1 des Atomkraftwerks Beznau ist kein «Schrottreaktor», nicht «amoralisch» und kein Sicherheitsrisiko für die Schweiz, wie Atomgegner kritisieren. Die Atomaufsichtsbehörde Ensi kommt vielmehr zu dem Schluss, dass die dienstälteste Atomanlage der Schweiz nach wie vor sicher sei. «Aus sicherheitstechnischer Sicht spricht nichts dagegen, dass Beznau 1 wieder ans Netz geht», hielt Ensi-Direktor Hans Wanner bei der Präsentation der Prüfergebnisse fest. Die Axpo habe nachgewiesen, dass die im Stahl des Reaktordruckbehälters gefundenen Einschlüsse

keinen negativen Einfluss auf die Sicherheit hätten. Diesen Nachweis habe das Ensi geprüft und akzeptiert. Auch das dingesetzte International Review Panel mit weltweit anerkannten Experten sei zum selben Schluss gekommen. Damit bekommt die Axpo die Erlaubnis, den Reaktor nach drei Jahren Stillstand wieder zu beladen und hochzufahren. Dies soll in den nächsten Wochen geschehen, so dass das Werk Ende März wieder volle Leistung bringt, wie die Axpo im Anschluss an den Ensi-Entscheid mitteilte. Einzige Auflage ist, dass der Reaktordruckbehälter regelmäßig mit Ultraschall überprüft wird, nächstes Mal 2022.

Mit dem Entscheid kommt eine fast dreifache Abklärung zum Abschluss, wie sie noch nie zuvor durchgeführt worden ist. Während einer Revision waren im Sommer 2015 bei Ultraschalluntersuchungen Einschlüsse unbekannter Herkunft im Stahl des Reaktordruckbehälters festgestellt worden. Befürchtet wurde zunächst, dass es sich um die gefährlichsten Wasserstofflocken wie im belgischen Kraftwerk Doel 3 handeln könnte. Verfeinerte Untersuchungen lie-

fernten darauf im Stützring 119 und im am stärksten strahlenexponierten oberen Kernring 3519 solche Anomalien zutage (siehe Grafik). Fast alle Befunde liegen im unteren Viertel des Rings und bilden teilweise Wolken. Die Axpo stand

## Ein 150 Tonnen schweres Lehrstück

*Kommentar auf Seite 11*

vor der Frage, was dies für Einschlüsse sind, welches die Ursache ist und ob sie einen negativen Einfluss auf das Material haben. Da man keine grösseren Proben aus dem Reaktordruckbehälter entnehmen kann und weltweit keine vergleichbaren Materialien erhältlich waren, benutzte die Axpo ein einziges sogenanntes Vorlaufproben, also Material, das in den Reaktor näher an den Kern gehängt wird und so dem Neutronenbeschuss stärker ausgesetzt ist und schneller altert. Andererseits liess die Axpo nach den gleichen Spezifikationen wie in den 1960er Jahren

ein Replikat des Kernrings schmieden. Dieses Replikat zeigte die gleichen Einschlüsse und konnte zersägt und allen möglichen Tests unterzogen werden.

Das Prüfprogramm führte zu folgenden Feststellungen, die das Ensi nun anerkennt: Erstens handelt es sich bei den drei bis fünf Millimeter grossen Einschlüssen um Aluminiumoxid, das nicht während des Betriebs, sondern bereits während des Gussprozesses entstand. In den 1960er Jahren gab man der Schmelze Aluminium bei, um den Sauerstoff zu binden und «Schaumbällchen» im Stahl zu vermeiden. Diese nichtmetallischen Ablagerungen bildeten sich im unteren Teil des Schmiedestücks nach dem bekannten Phänomen der negativen Segregation.

Zweitens beeinflussen die Einschlüsse die Eigenschaften des Stahls und damit die Sicherheit des Druckbehälters nicht negativ. Dazu wurden 130 Materialproben metallurgischen, mikroskopischen und chemischen Analysen sowie Bruchtests unterzogen. Es zeigte sich, dass die Einschlüsse den Stahl nicht stärker verspröden, dass sich dort auch keine für die Versprödung relevanten

Elemente wie Kupfer, Phosphor und Nickel ansammelten und dass das Material auch nie bei den Einschlüssen brach. Zudem wurde nach der unerkannten Master-Curve-Methode nachgewiesen, dass das Material auch dann standhält, wenn die Reaktorwand bei einer schnellen Kühlung in einem Störfall extremen Spannungen ausgesetzt ist.

Die Axpo sieht sich bestätigt im Vorhaben zur Erlangung des Sicherheitsnachweises. 25 Mitarbeitende, 15 internationale Experten und etliche spezialisierte Unternehmen hatten zweieinhalb Jahre an diesem Projekt gearbeitet, über 100 technische Berichte seien verfasst worden, 80 Millionen Franken habe es gekostet, rechnete Axpo-CEO Andrew Walz vor. Eine solche Prüfung sei einzigartig. «Es gibt weltweit kein einziges Stück Stahl, das so intensiv untersucht wurde», sagte Andy Heiz, Leiter Produktion und Netze. Damit seien internationale Standards gesetzt worden. Die Axpo ist zuversichtlich, das dienstälteste Werk der Schweiz bis 2030 betreiben zu können.

Weiterer Artikel, Seite 20

- Quelle: Reuters © Christian Hartmann
- Das Kernkraftwerk Beznau, kurz KKB, befindet sich auf der künstlichen Aare-Insel Beznau in der Gemeinde Döttingen (Kanton Aargau, Schweiz). Es galt noch bis 2017 als das dienstälteste Kernkraftwerk der Welt.
- Nach aufwendigen Materialuntersuchungen sagt der Betreiber eines der ältesten Kernreaktoren der Welt, die Anlage sei sicher. Der Reaktor in der Schweiz wird nun wieder hochgefahren.
- Drei Jahre nach der Entdeckung von fast 1.000 etwaigen Schwachstellen darf Block 1 des Schweizer Kernkraftwerks Beznau unweit der deutschen Grenze wieder ans Netz. Der Betreiber habe detailliert nachgewiesen, dass die 2015 entdeckten Materialschäden am Stahl des Reaktordruckbehälters die Sicherheit nicht negativ beeinflussten, teilte die Nuklearaufsichtsbehörde ENSI am Dienstag mit.
- Der Betreiber Axpo will die Anlage nach eigenen Angaben nun wieder hochfahren. Ende März solle wieder Strom produziert werden. Angestrebt wird eine Laufzeit bis etwa 2030. Beznau 1 ist 1969 ans Netz gegangen und damit einer der ältesten kommerziellen Reaktoren der Welt.
- Die 925 fehlerhaften Materialstellen hatten eine Größe von fünf bis sechs Millimetern. Bei den Untersuchungen stellte sich heraus, dass es sich um Aluminiumoxid-Einschlüsse handelte. Laut Axpo waren diese Stellen nicht während des Betriebs des Reaktors entstanden, sondern bereits beim Schmieden des Druckbehälters 1965 in Frankreich.

# Ältestes Kernkraftwerk?

*Unterschiedliche Kriterien, unterschiedliche Ranglisten*

Spe. • Mit dem Kernkraftwerk Beznau 1 geht ein Atomreaktor zurück ans Netz, der zu den ältesten der Welt gehört. Von den 449 Kernkraftwerken, die laut der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEA) in Betrieb sind, haben nur sechs den Jahrgang 1969. Ob Beznau 1 tatsächlich der älteste Atomreaktor der Welt ist, wie es immer wieder zu lesen ist, ist unstritten. Nimmt man das Datum des Netzanschlusses (17. Juli 1969) als Kriterium, wie es die IAEA tut, rangiert Beznau 1 an dritter Stelle – nach den beiden Kernkraftwerken Tarapur 1 und Tarapur 2 in Indien. Daneben führt die IAEA auch Buch über die kommerzielle Inbetriebnahme von Kernreaktoren. Hier stand Beznau 1 bis vor kurzem an erster Position. Als Datum wurde der 1. September 1969 genannt. Auf Initiative der Schweizer Atomaufsichtsbehörde Ensi ist dieser

Eintrag geändert worden. Seit 2016 gilt der 9. Dezember 1969 als offizieller Termin für die kommerzielle Inbetriebnahme. Damit ist Beznau 1 von der ersten an die fünfte Position gerutscht – und das imageschädigende Label «ältestes Kernkraftwerk der Welt» los. Der Betrieb vor dem 9. Dezember wird nun als Versuchsprogramm eingestuft. Die Änderung erfolgte, weil das Ensi die Verwendung des Begriffs «Inbetriebnahme» durch die Betreiber der Schweizer Kernkraftwerke vereinheitlichen wollte.

Unbestritten ist, dass die Schweiz den ältesten Kernkraftwerkspark der Welt besitzt. Laut dem «World Nuclear Industry Status Report» hatten Beznau 1, Mühleberg, Beznau 2, Gösgen und Leibstadt 2017 ein Durchschnittsalter von 42,2 Jahren. Das liegt deutlich über dem weltweiten Durchschnitt von 29,3 Jahren.

# «Ein schwarzer Tag»

*Der Entscheid zu Beznau 1 sorgt für viel Kritik*

gam. • Mehrere Akteure kritisieren den Entscheid des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (Ensi), das Atomkraftwerk Beznau 1 wieder in Betrieb zu nehmen. Protest gibt es unter anderem von Greenpeace Schweiz, der Schweizerischen Energiestiftung (SES) sowie den Grünen. «Das ist ein schwarzer Tag für die nukleare Sicherheit in der Schweiz», sagt Florian Kasser, Atomexperte bei Greenpeace Schweiz. Sowohl Greenpeace als auch die SES wollen nun rechtliche Schritte prüfen. Die Grünliberalen kündigten ausserdem an, dass sie noch in dieser Session eine Interpellation einreichen werden. Konkret will die GLP vom Bundesrat Auskunft darüber, ob die Wiederaufnahme des Betriebs in Beznau überhaupt rechtens sei. Nach einem Aufruf der Grünen und weiterer Organisationen kam

es zudem am Dienstagabend beim Axpo-Hauptsitz in Baden zu einer Protestkundgebung. Auch im deutschen Bundesland Baden-Württemberg gab es Kritik. «Beznau müsste aus Sicherheitsgründen abgeschaltet werden», sagte Umweltminister Franz Untersteller. Diesen Standpunkt will in den nächsten Tagen auch Ministerpräsident Winfried Kretschmann in einem Brief an die Schweizer Regierung darlegen, wie das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft mitteilte.

Nicht überall gibt es aber Kritik. FDP-Nationalrat Peter Schilliger und SVP-Nationalrat Hansjörg Knecht sehen den Ensi-Entscheid grundsätzlich positiv. Es sei zum Glück nicht Sache der Politik, zu entscheiden, ob Beznau 1 sicher sei oder nicht. «Dafür gibt es ein Fachgremium», so die beiden Nationalräte.

Ne higgy a médiának:  $1600 \text{ m}^2 = ?$   $40 \text{ m}^2$  ?????!!!!





## **Irodalom / Referenciák:**

**Lukács János et al.: Szemelvények a szerkezet integritási....**

**Prodán Miklós: EMPA Bericht Nr. 213 (az interneten elérhető)**

**Mindkét publikáció a fenti diákban többször lett említve.**

- Köszönöm a figyelmüket.