



---

**Forschungszentrum Karlsruhe**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

---

**Wissenschaftliche Berichte**  
FZKA 7418

**Experimente zum Versagen  
des Dichtkastens für die  
Materialschleusenverschraubung  
im Containment des  
KKW Philippsburg II**

**G. Messemer**

Institut für Reaktorsicherheit

Juni 2008



Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Wissenschaftliche Berichte  
FZKA 7418

Experimente zum Versagen des Dichtkastens  
für die Materialschleusenverschraubung  
im Containment des KKW Philippsburg II

G. Messemer

Institut für Reaktorsicherheit

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe  
2008

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft  
Deutscher Forschungszentren (HGF)

ISSN 0947-8620

urn:nbn:de:0005-074188

Experimente zum Versagen des Dichtkastens für die  
Materialschleusenverschraubung im Containment des KKW Philippsburg II

### Zusammenfassung

Bei der Schwachstellenanalyse zum Containmentversagen unter Innendruck stellte sich die Frage, bei welchem Druck der Dichtkasten, der die Materialschleusenverschraubung im Sicherheitsbehälter abdichtet, versagt. Zur Untersuchung des Dichtkastenversagens wurden Streifenmodelle des Dichtkastenquerschnittes im Maßstab 1:1 als Zugproben angefertigt. Eine Variation der Dichtblechnähte wurde vorgenommen. An 6 Proben wurden die Versagensart und die dabei auftretenden Kräfte und Verformungen ermittelt. Die Arbeit wurde bereits im Jahr 1986 durchgeführt.

Component failure experiments of the seal casing for the multiple-row bolted connection of the containment equipment hatch of the nuclear power plant Philippsburg II

### Abstract

For the weakness analysis of the containment under internal pressure a question that arose was at what pressure the seal casing for the equipment hatch will fail. For this investigation model strips of the seal casing cross section were manufactured as tensile specimens. Variations of the seal plates welding seams were considered and tested. The type of failure and the associated deformations and resulting forces were measured for 6 specimens. The work was already done in the year 1986.



|  |   |
|--|---|
| 1. Einleitung                          | 1 |
| 2. Versuchsbeschreibung und Ergebnisse | 2 |
| Literatur                              | 5 |
| Abbildungen                            | 6 |



## 1. Einleitung

Zur Untersuchung des Versagens von kugelförmigen Stahl-Containments in deutschen Druckwasserreaktoren wurde der Sicherheitsbehälter des KKW Philippsburg II zugrunde gelegt. Dabei wird angenommen, dass durch einen Kernschmelzunfall der Innendruck im Behälter langsam über mehrere Tage ansteigt. Um den Versagensdruck bestimmen zu können, wurden die Schwachstellen im Containment genau analysiert /1/.

In Abb. 1 ist der Sicherheitsbehälter dargestellt. Die bisher identifizierten und untersuchten Schwachstellen sind dort aufgeführt. Von besonderem Interesse war dabei die Verschraubung der Materialschleuse. Die Abb. 2 zeigt die Konstruktion der Verschraubung, wie sie im Containment ausgeführt ist. Sie ist als 7-reihige GV-Verschraubung ausgebildet. Weil diese auch in unbelastetem Zustand eine geringe Undichtigkeit aufweist, wurde ein Dichtkasten darüber geschweißt.

Untersuchungen ergaben, dass bei ansteigendem Innendruck eine totale Zerstörung des Sicherheitsbehälters vermieden wird, wenn der Dichtkasten rechtzeitig versagt bevor der Versagensdruck des Behälters erreicht ist. Die Verschraubung liefert nämlich weit unterhalb des Versagensdruckes eine genügend große Leckage, die einen weiteren Druckanstieg verhindert.

Zur Klärung der Frage, bei welchem Innendruck bzw. bei welcher Verformung der Dichtkasten versagt, wurden Experimente durchgeführt, die im folgenden beschrieben werden.

## 2. Versuchsbeschreibung und Ergebnisse

In Abb. 3 ist die Konstruktion des Dichtkastens noch einmal vergrößert dargestellt. Bei Beanspruchung durch den angenommenen Innendruck wird der Sicherheitsbehälter aufgeweitet und die Bewegungen auf die Dichtkastenfüße übertragen. Durch die größere Steifigkeit der Dichtkastenbleche wird die größte Verformung von den Dichtkastenfüßen aufgenommen. Die höchsten Beanspruchungen treten dabei in den Schweißnähten auf.

Zur Untersuchung des Dichtkastenversagens wurden Streifenmodelle des Dichtkastenquerschnittes mit 100 mm Breite als Zugproben nachgebildet. In Abb. 3 ist der Probenquerschnitt aufgezeichnet. Es genügte, eine Symmetriehälfte des Dichtkastenquerschnittes nachzubilden. Um vergleichbare Schweißnahtqualitäten zu erhalten, wurden die zu untersuchenden Proben im Maßstab 1:1 hergestellt. Entgegen der Realität wurde der Dichtkastenwinkel (Pos. 1) unter  $90^\circ$  angeschweißt. Da sich während der Verformung die beiden Dichtkastenbleche (Pos. 3 und 4) auf die darunterliegende Materialschleusenverschraubung stützen, wurde die erste Schraube der 7-reihigen GV-Verschraubung in die Probe eingebaut. Über eine massive Kraftumlenkung wurde die Belastungsebene in die Mitte der beiden Dichtbleche gelegt. Alle Teile der Zugprobe bestanden aus dem Originalwerkstoff 15MnNi63. Weil kein Blech mit 10 mm und 13 mm Wanddicke vorhanden war, wurden die beiden Dichtbleche (Pos. 3 und 4) und der Steg (Pos. 2) aus 20mm-Blech angefertigt. Zum Verschweißen der Teile wurden die vorgesehenen Elektroden vom Typ Tenacito 38R der Fa. Oerlikon verwendet. Gemäß dem Schweißplan für den Dichtkasten, den die Fa. KWU bereitstellte, wurden die vorgeschriebenen Schweißparameter wie Vorwärmtemperatur, Zwischenlagentemperatur, Schweißstrom, Schweißgeschwindigkeit, Lagenzahl usw. eingehalten. Um Schweißnahtanläufe und -ausläufe zu vermeiden, wurden zunächst 120 mm breite Proben angefertigt und danach beidseitig 10 mm abgefräst. Es wurden 6 Proben angefertigt.

Bei 4 Proben waren die beiden Dichtbleche mit 4mm-Kehlnähten angeschweißt (als Proben 1-4 gekennzeichnet). Die beiden restlichen Proben wurden mit 3mmNähten versehen (Proben 5 und 6). Eine Zwangslagenschweißung wie sie in Wirklichkeit vorkommt, wurde nicht vorgesehen, da nach Auskünften von Fachleuten ein erfahrener Schweißer in Zwangslagen dieselbe Qualität erreicht wie in Horizontallagen.

Die Experimente wurden an einer hydraulischen Zugmaschine mit einer max. Zugkraft von 630 kN durchgeführt. Sie befindet sich im IMF 4 des Kernforschungszentrums, das von Prof. Munz geleitet wird. Alle Versuche wurden mit Wegregelung der Maschine durchgeführt. Die Abzugsgeschwindigkeit betrug dabei 25  $\mu\text{m/s}$ . Als Ergebnis der Untersuchung wurde die Zugkraft über der Probenverlängerung aufgezeichnet. Zur optischen Darstellung des Verformungsvorganges wurden bei verschiedenen Laststufen Fotoaufnahmen der Proben gemacht. In der Abb. 4 sind alle gemessenen Kraft-Verschiebungs-Diagramme zusammen gezeichnet. Die Abbn. 5-10 zeigen die Fotoaufnahmen.

Bei den Proben 1, 3, 4 und 5 brach zuerst die innere und dann die äußere Dichtblechnaht. Entsprechend treten in den Kraft-Verschiebungs-Diagrammen (Abb.4) zwei Maxima auf. Danach steigt die Kraft bis zum Versagen der inneren Naht an und fällt dann schlagartig auf ca. 30 % ab. Die verminderte Kraft wird dann zur Biegung des Dichtkastenwinkels benötigt. Erst wenn der Winkel so weit gebogen ist, dass sich der Steg am Sicherheitsbehälter anlegt, steigt die Kraft noch einmal auf ca. 50 % des vorher erreichten Maximalwertes an, bis schließlich die äußere Schweißnaht bricht. Bei den Proben 2 und 6 brach zuerst die Naht zwischen Dichtkastenwinkel und Steg, bevor die äußere Naht versagte (siehe Abbn. 6 und 10). Ein zweites Maximum im Kraft-Verschiebungs-Diagramm konnte deshalb nicht entstehen, wodurch eine etwas größere Probenverlängerung bis zum totalen Versagen nötig war.

Das Ergebnis von Probe 1 weicht deutlich von den anderen Proben ab. Sie benötigte die höchste Kraft und erreichte auch die größte Verschiebung bis zum endgültigen Versagen. Die Probe 1 wurde lange Zeit vor den anderen Proben gefertigt. Die Proben 2-6 dagegen wurden alle zur gleichen Zeit und von 1 Mann angefertigt. Die Einzelanfertigung der Probe 1 berücksichtigt den Einfluss von Stillstandzeiten oder von unterschiedlichen Schweißern, der sich durch geringfügige Abweichungen in den Schweißnähten bemerkbar macht.

Die Entlastung der Probe 1 während des ersten Kraftanstieges wurde durch zu niedrigen Druck in den Spannzylindern der Zugmaschine verursacht. Das wurde erst bemerkt, als die Entlastung in der Probe auftrat. Der Versuch wurde sofort gestoppt, der Spanndruck erhöht und das Experiment problemlos zu Ende gefahren.

Wie erwartet, waren die ermittelten Kräfte bei den Proben mit 3mm-Nähten kleiner. Abhängig davon, welche Naht zuerst bricht, erreichten ihre Versagensverformungen auch Werte, wie sie an Proben mit 4mm-Nähten gemessen wurden.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die ermittelten Ergebnisse.

| Probe Nr. | Stärke der Dichtblechnaht | Max. Zugkraft /ZN/ |            | Max. Verschiebung /mm/ |
|-----------|---------------------------|--------------------|------------|------------------------|
|           |                           | 1. Maximum         | 2. Maximum |                        |
| 1         | a = 4 mm                  | 321                | 158        | 41,3                   |
| 2         | a = 4 mm                  | 269                | -          | 39                     |
| 3         | a = 4 mm                  | 265                | 158        | 31,6                   |
| 4         | a = 4 mm                  | 283                | 136        | 32,7                   |
| 5         | a = 3 mm                  | 216                | 139        | 29,1                   |
| 6         | a = 3 mm                  | 245                | -          | 34,3                   |

Die Untersuchungen an Modellen für den Dichtkasten der Materialschleusenverschraubung des KKW Philippsburg II zeigten deutlich den Versagensablauf. Danach bricht immer erst eine innere Schweißnaht, bevor die äußere Naht versagt. Erst wenn beide Schweißnähte gebrochen sind, ist Undichtigkeit nach außen vorhanden. In dem untersuchten Parameterbereich sind dazu Verschiebungen von 29 bis 41 mm notwendig. Für die Bestimmung des Druckes im Sicherheitsbehälter, bei dem der Dichtkasten versagt, wurden die hier erzielten Ergebnisse in eine spezielle Version des Rechenprogramms ROTMEM übernommen /1, 2/. Danach ergab sich ein Versagensdruck von 12,9 bis 13,7 bar.

Literatur

/1/ R. Krieg, B. Göller, G. Messemer, E. Wolf:

Failure pressure and failure mode of the latest type of German  
PWR-Containments.

3rd Workshop on Integrity of Containments for Nuclear Power Plants,  
Washington, D.C., May 21-23, 1986

Nuclear Engineering and Design, 104(1987) S.381-90

/2/ B. Göller:

Unveröffentlichter Bericht, März 1982

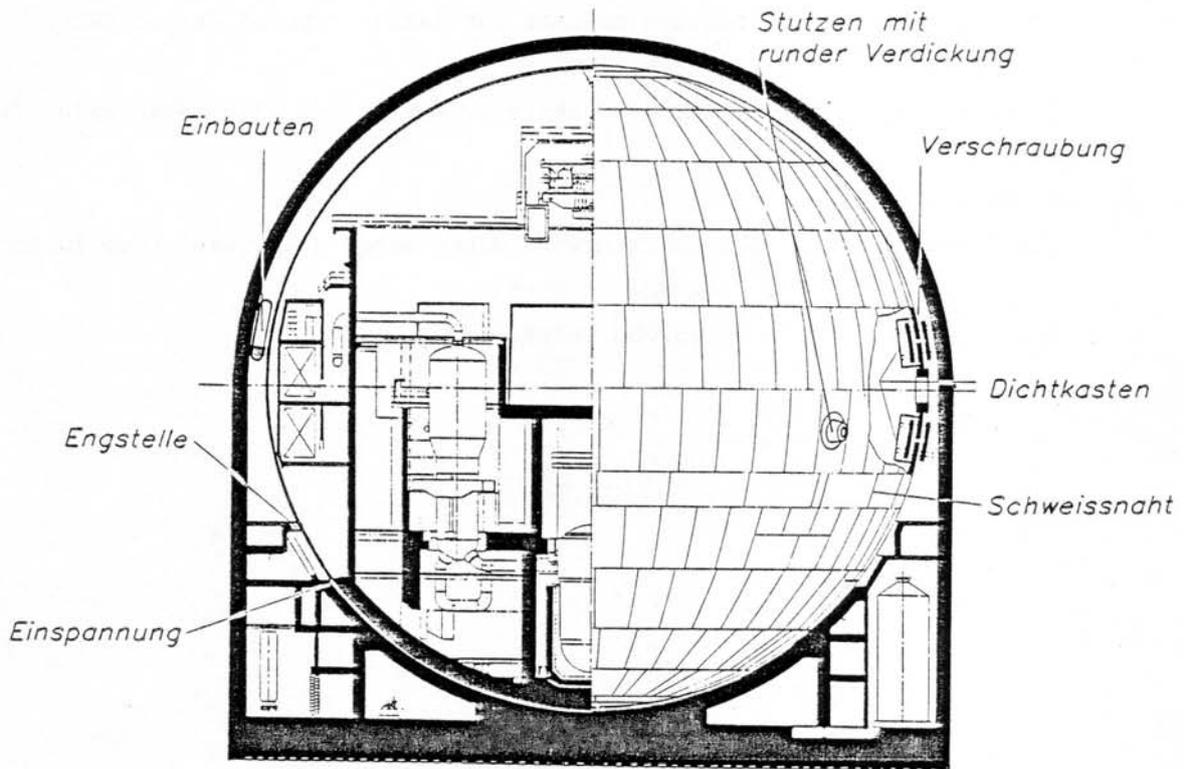


Abb. 1: Sicherheitsbehälter eines Druckwasserreaktors mit den analysierten Schwachstellen

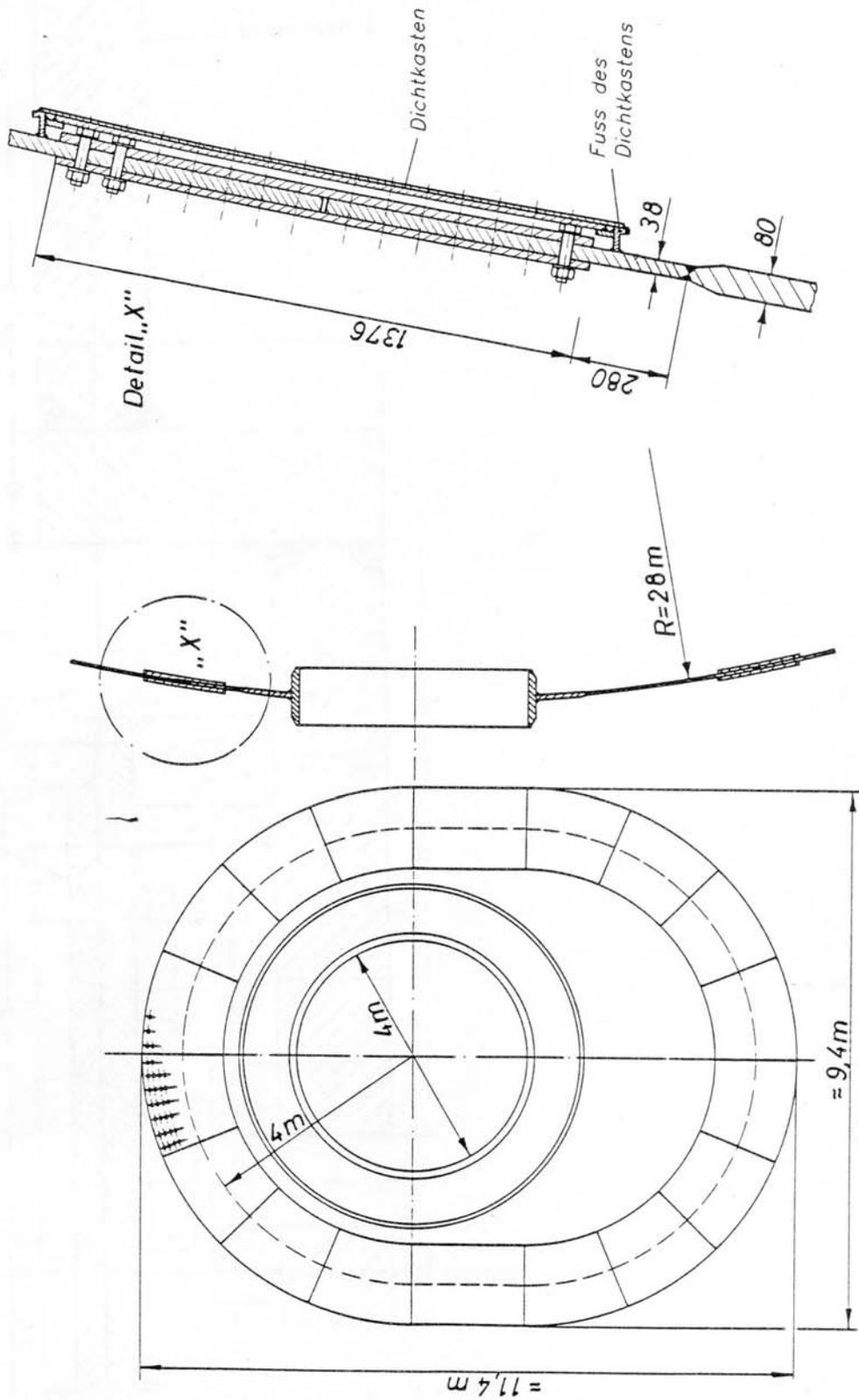


Abb. 2: Mehrreihige GV-Verschraubung zwischen Materialschleuse und Sicherheitsbehälterschale

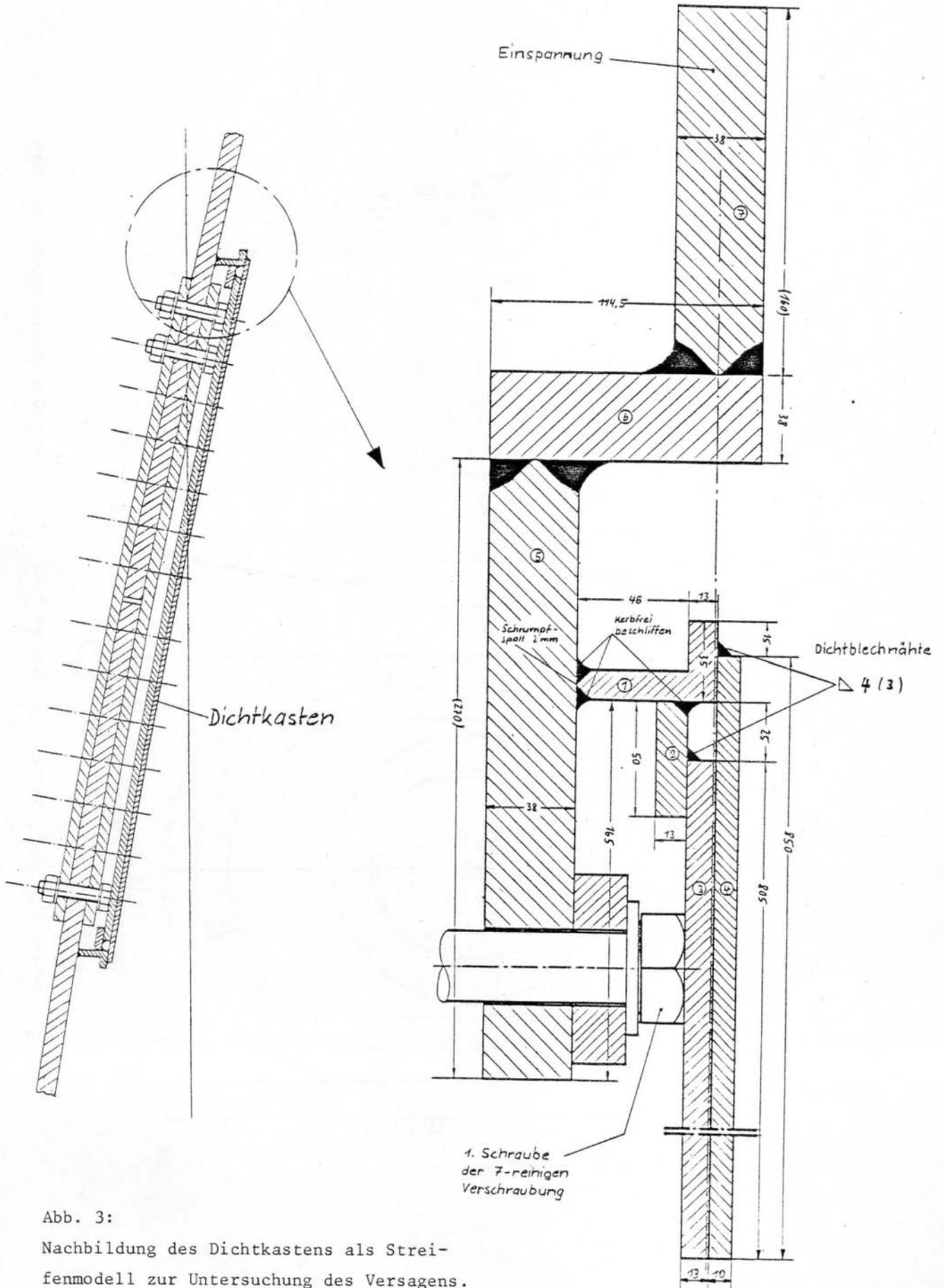


Abb. 3:  
Nachbildung des Dichtkastens als Streifenmodell zur Untersuchung des Versagens.

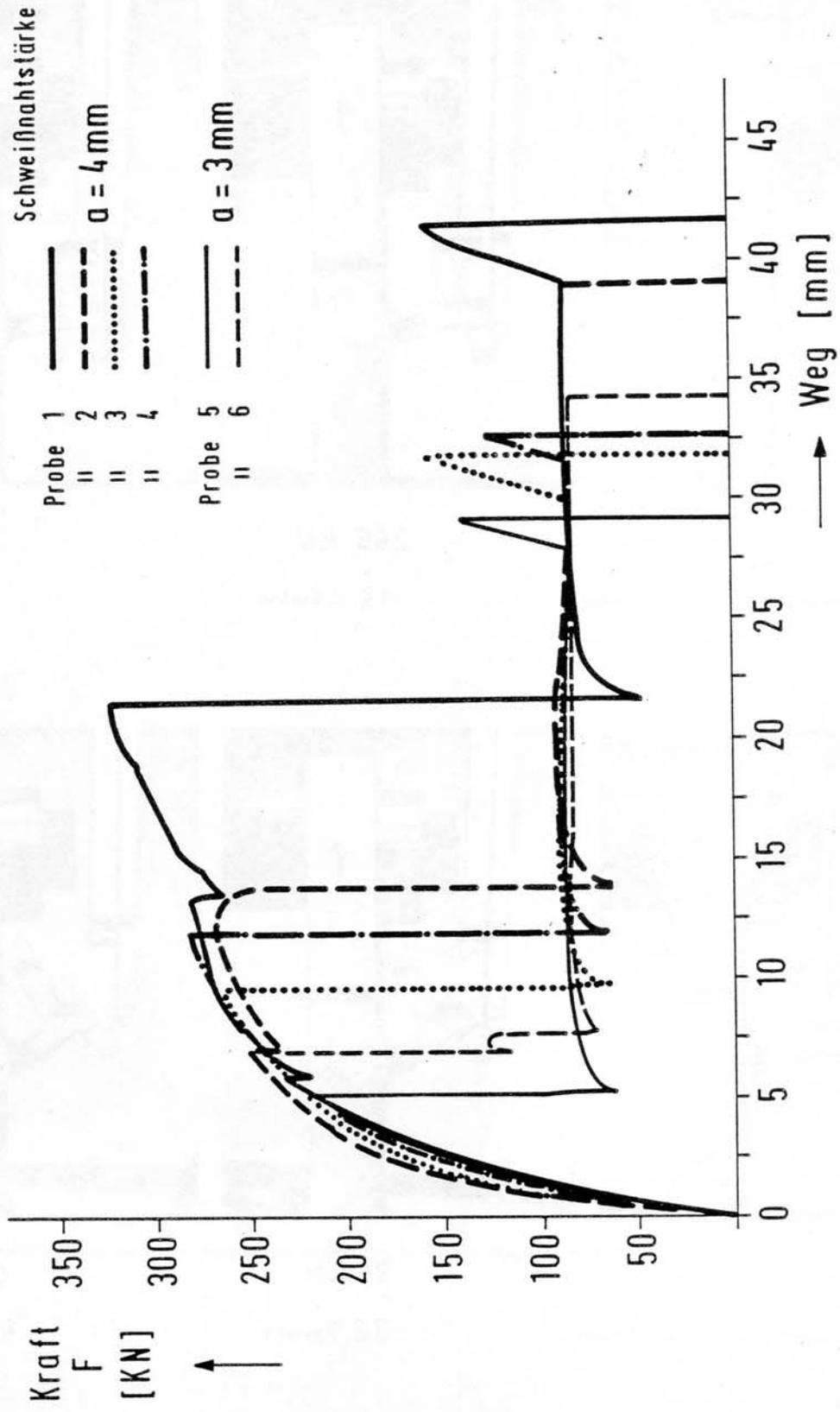
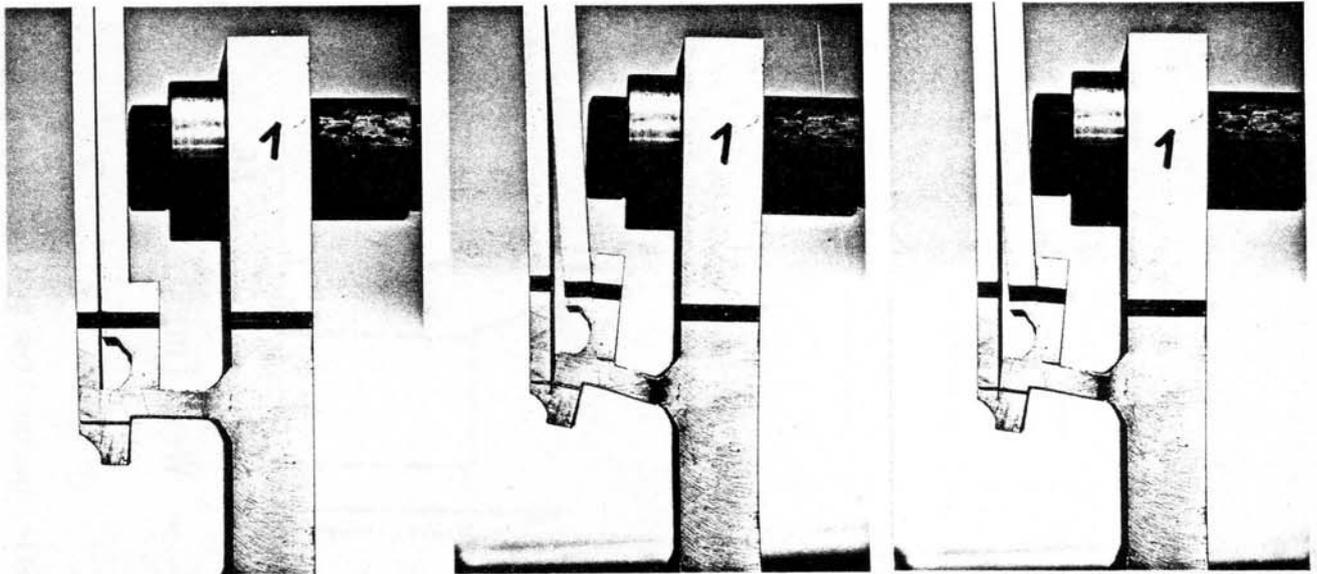


Abb. 4: Kraftverlauf über der Probenverformung für alle untersuchten Proben



Kraft = 0.0 kN

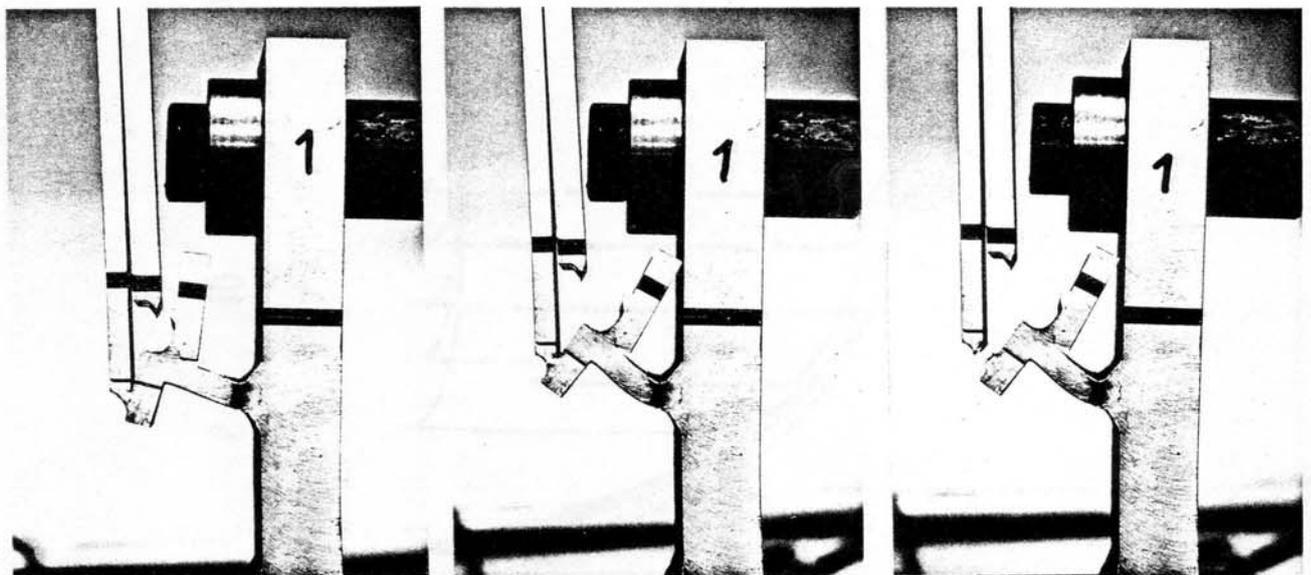
265 kN

253 kN

Verformung = 0.0 mm

13.8 mm

7.8 mm



Kraft = 82 kN

85 kN

0.0 kN

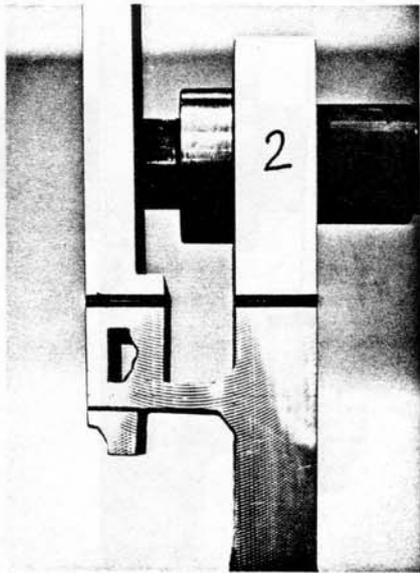
Verformung = 26.5 mm

38.7 mm

41.3 mm

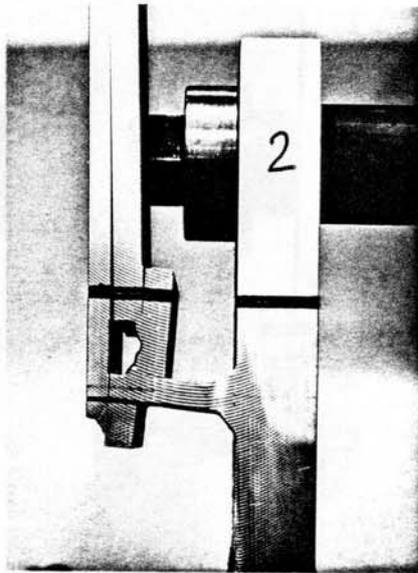
Abb. 5: Verformungen in der Probe 1

Stärke der Dichtblechnaht  $a = 4$  mm



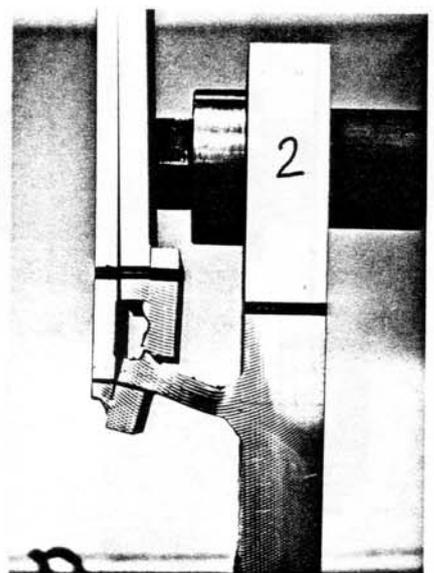
Kraft = 0.0 kN

Verformung = 0.0 mm



212 kN

4.0 mm



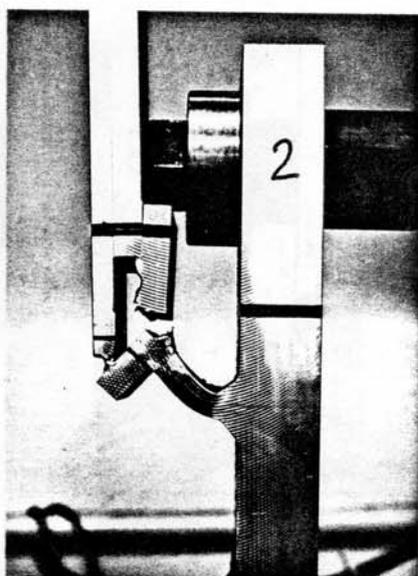
85 kN

15.8 mm



Kraft = 85 kN

Verformung = 27.5 mm



85 kN

37.8 mm

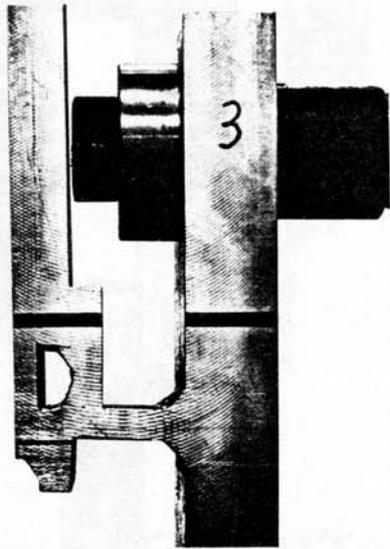


0.0 kN

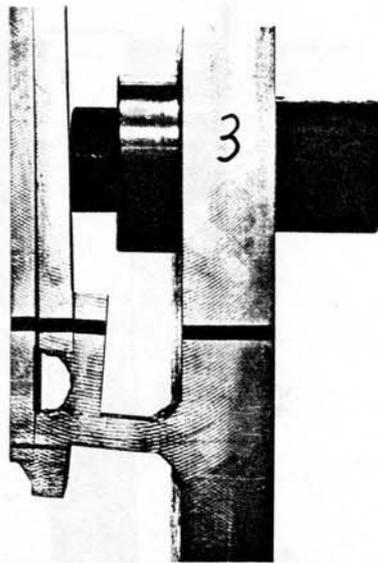
39.0 mm

Abb. 6: Verformungen in der Probe 2

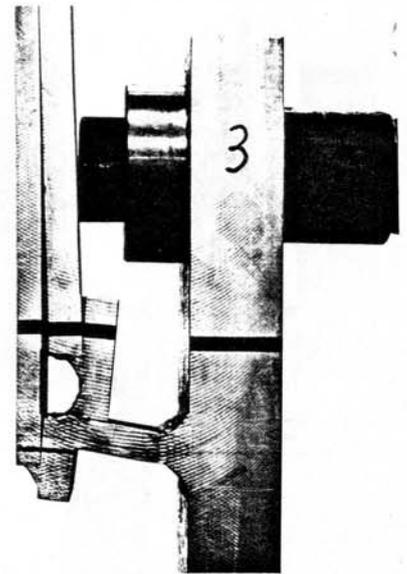
Stärke der Dichtblechnaht  $a = 4$  mm



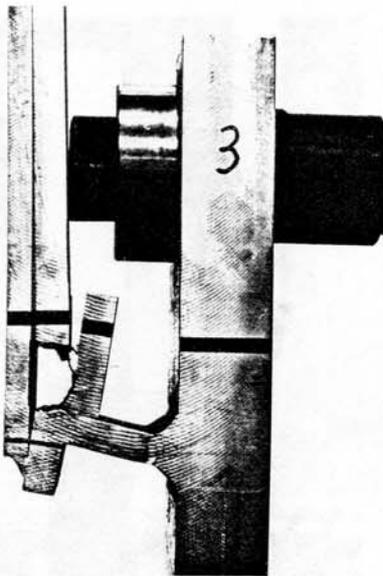
Kraft = 0.0 kN  
Verformung = 0.0 mm



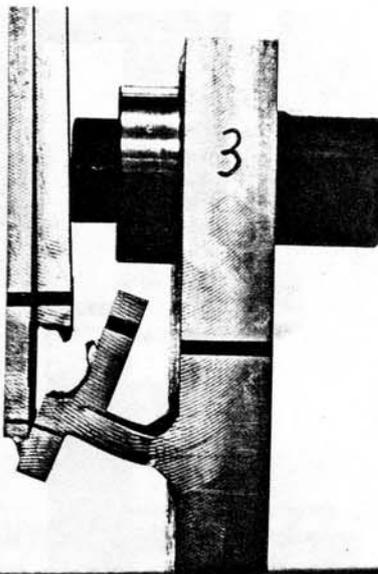
205 kN  
3.8 mm



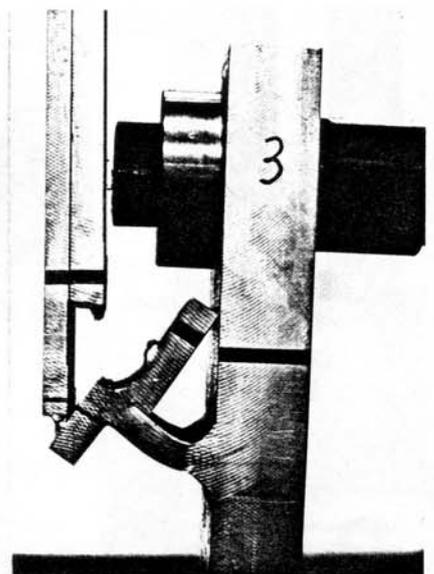
253 kN  
7.8 mm



Kraft = 82 kN  
Verformung = 10.6 mm

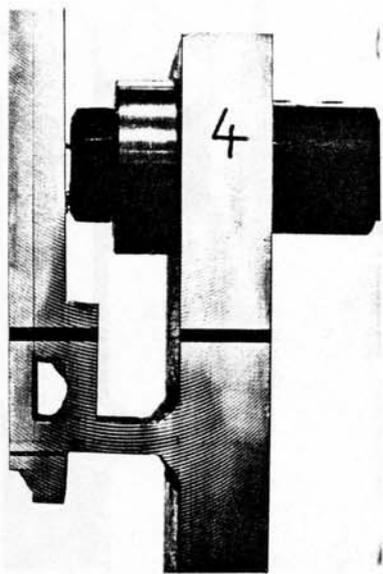


90 kN  
19.2 mm

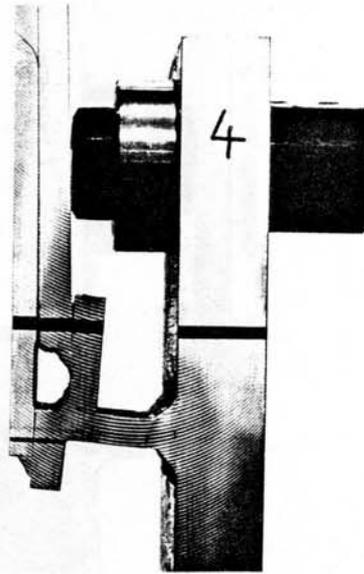


0.0 kN  
31.6 mm

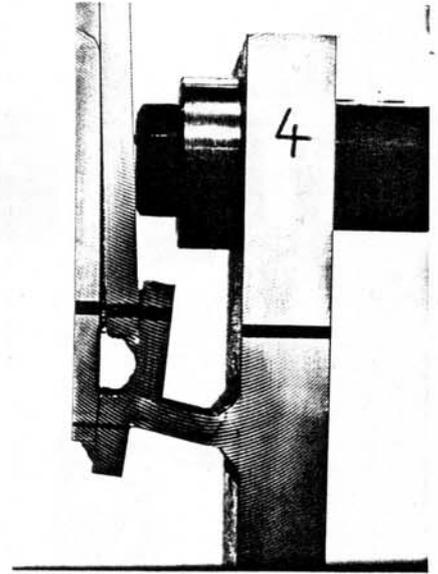
Abb. 7: Verformung in der Probe 3  
Stärke der Dichtblechnaht  $a = 4$  mm



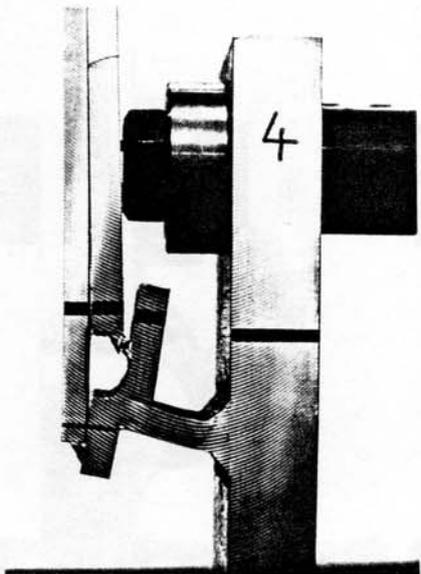
Kraft = 0.0 kN  
Verformung = 0.0 mm



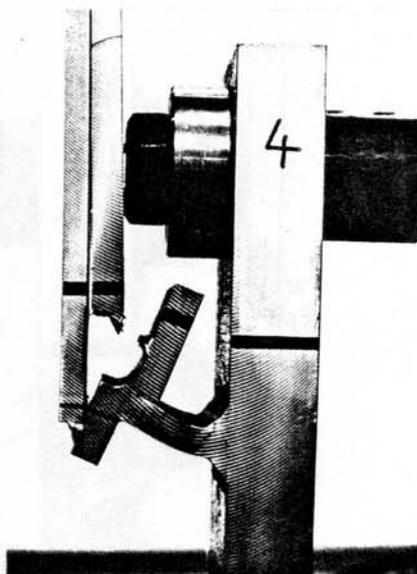
202 kN  
4.1 mm



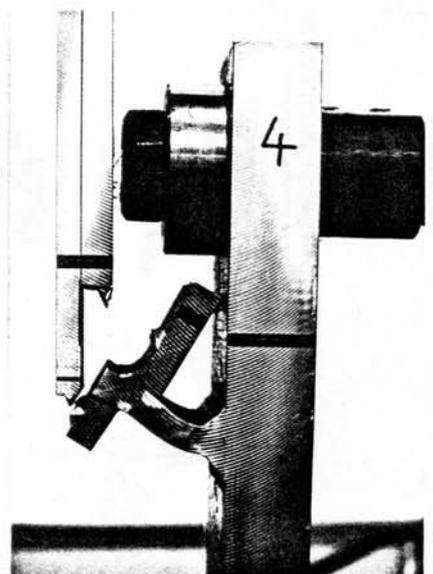
279 kN  
10.9 mm



Kraft = 66 kN  
Verformung = 12 mm

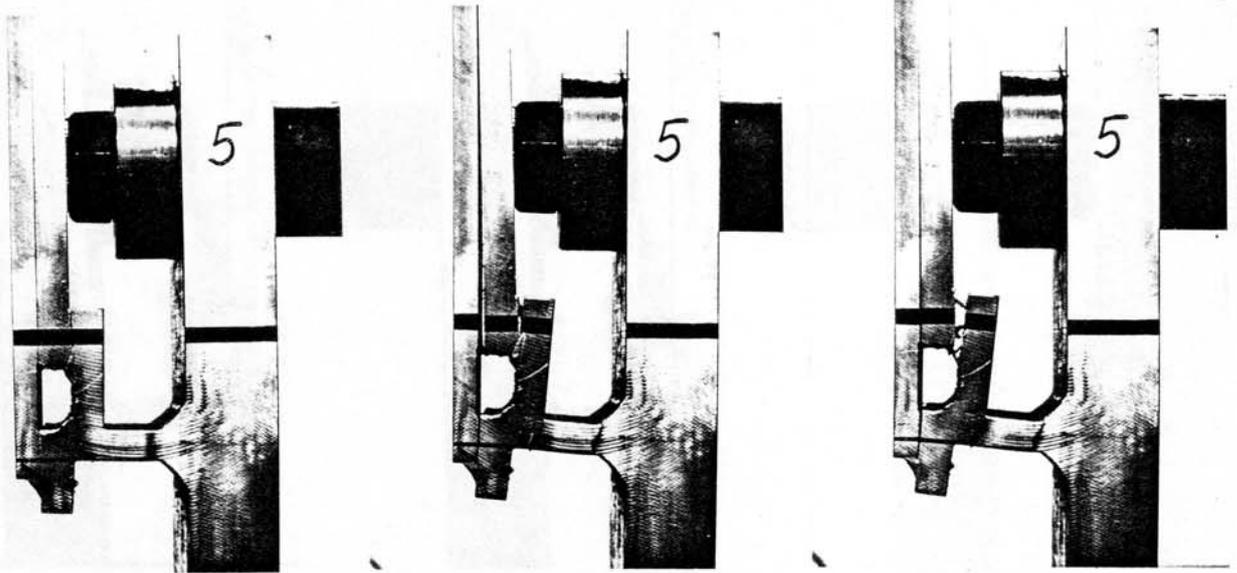


88 kN  
22,8 mm



0.0 kN  
32,7 mm

Abb. 8: Verformungen in der Probe 4  
Stärke der Dichtblechnaht  $a = 4$  mm



Kraft = 0.0 kN

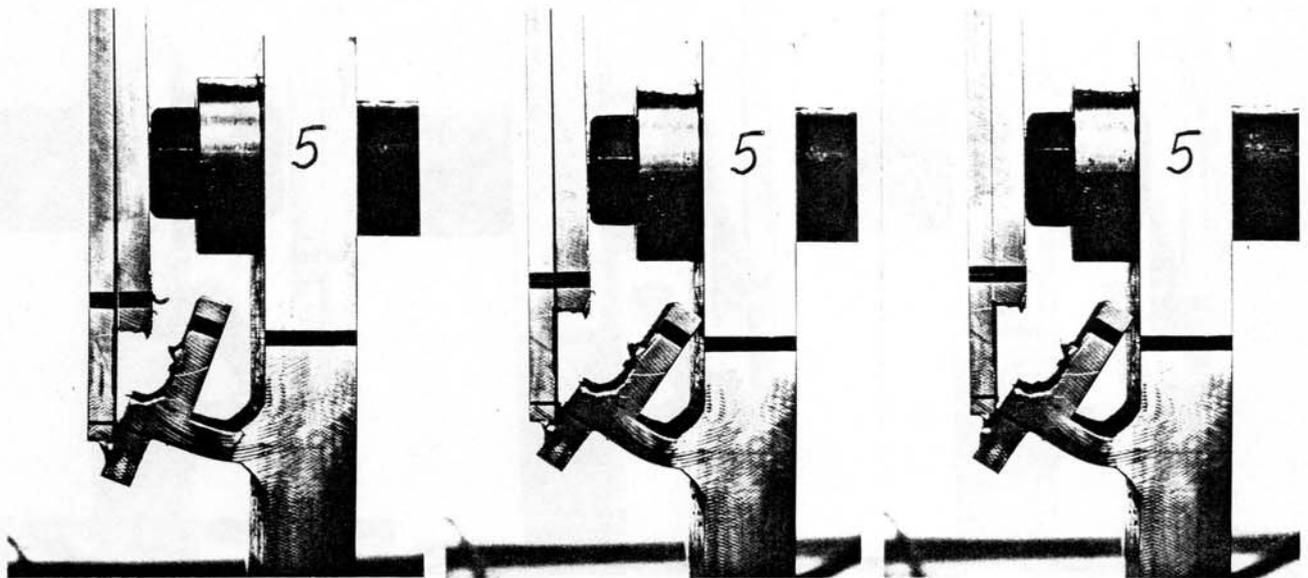
Verformung = 0.0 mm

Kraft = 212 kN

Verformung = 4.8 mm

Kraft = 60 kN

Verformung = 5.3 mm



Kraft = 85 kN

Verformung = 17.8 mm

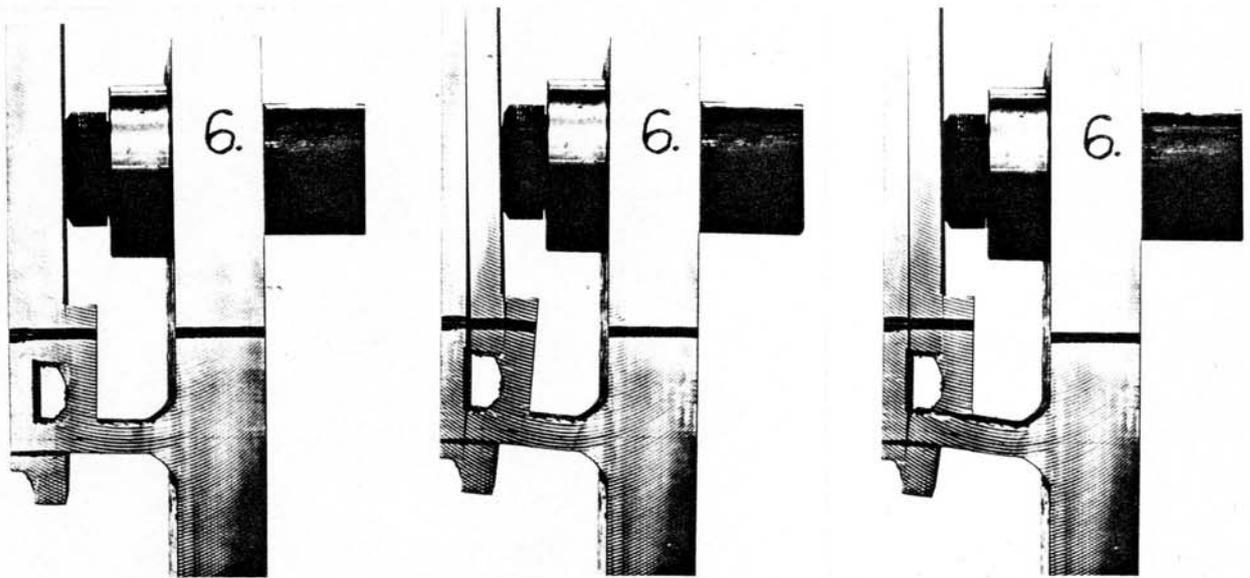
Kraft = 85 kN

Verformung = 27.8 mm

Kraft = 0.0 kN

Verformung = 29.1 mm

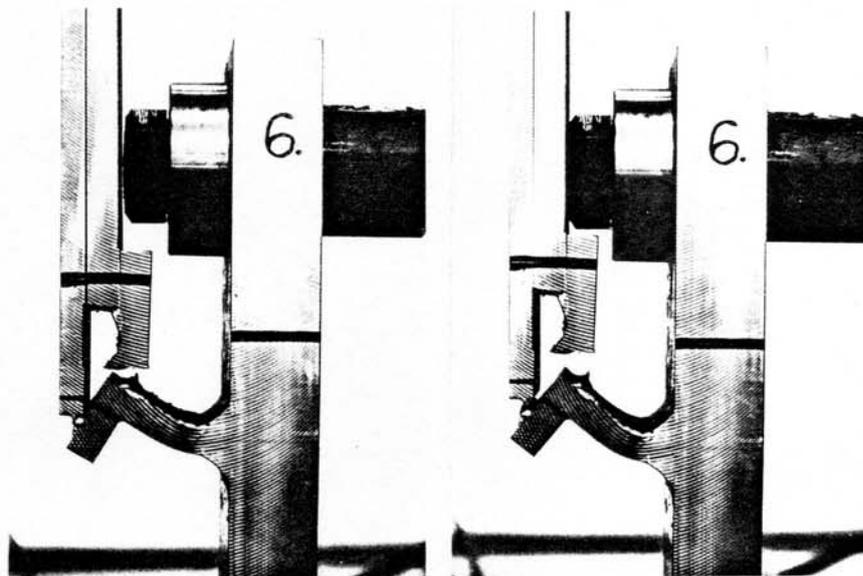
Abb. 9: Verformungen in der Probe 5  
Stärke der Dichtblechnaht  $a = 3$  mm



Kraft = 0.0 kN  
Verformung = 0.0 mm

220 kN  
5.3 mm

117 kN  
7.0 mm



Kraft = 82 kN  
Verformung = 25.0 mm

0.0 kN  
34.3 mm

Abb. 10: Verformungen in der Probe 6  
Stärke der Dichtblechnaht a = 3 mm