



Ereignisse und erforderliche Massnahmen aus der Sicht der Aufsichtsbehörden

OITAF-Seminar vom 27. April 1994

H.R. Gassmann
Bundesaamt für Verkehr

Ereignisse in Österreich

Unfall an der Tröglbahn

Abb. 1: Tröglbahn

Am 29. Januar 1992 entgleiste bei der Tröglbahn das Förderseil vollständig aus der Rollenbatterie. Es ereignete sich ein folgenschwerer Unfall, bei dem 4 Tote und 9 Verletzte zu beklagen waren. Das österreichische Fernsehen berichtete damals ausführlich über den Unfall und die ersten Ergebnisse der Unfalluntersuchung.

Bei der Tröglbahn handelt es sich um eine Sesselbahn mit kuppelbaren 4er-Sesseln. Die Entgleisung erfolgte bei der 8er-Rollenbatterie der Stütze 9, auf der Bergförderseite.

Untersuchungsergebnisse

Nach dem Unfall stellte man als erstes fest, dass bei der ersten Seilrolle die äussere Seitenscheibe fehlte; sie lag zerbrochen und verbogen in der Nähe der Stütze am Boden.

Bruchursache der Seitenscheibe waren ein Materialfehler in Form eines ausgedehnten Schwindungshohlraumes sowie das Erschöpfen der Ermüdungsfestigkeit des Materials.

Schlagartige Beanspruchung, wie sie z.B. bei Auffahren einer Klemme an der Seitenscheibe entsteht, konnte als Ursache ausgeschlossen werden.

Die Ursache für die Seilentgleisung war eindeutig der Bruch der Seitenscheibe bei der ersten Seilrolle.

Abb. 2: Querschnitt durch eine Seilrolle mit Seitenscheibe

Wenn die Seitenscheibe bricht, so verliert sie ihren Halt am Sicherungsring. Unter den Druckkräften des Einlageringes wird die gebrochene Seitenscheibe über den Sicherungsring geschoben. Der Einlagering verliert seine Vorspannung, das Seil entgleist.

Massgebend für die Unfallschwere war beim Unfall an der Tröglbahn, dass das Seil nicht in den Seilfängern der Rollenbatterie hängen blieb, sondern vollständig entgleiste. Dies hatte eine heftige Seilschwingung zur Folge, bei der die Sessel auf den Grund aufschlugen bzw. die Fahrgäste nach oben aus den Sesseln katapultiert wurden.

Wieso verblieb das Seil nicht in den Seilfängern der Rollenbatterie?

Ruckartige Drehbewegung der Seilrollen - infolge Berühren der gebrochenen Seitenscheibe an den Wippen oder sprunghaftes Gleiten des Seiles auf einer blockierten Seilrolle - regen die Stütze zu Biege- und Torsionsschwingungen an. Dies schliesst die Möglichkeit in sich, dass nicht alle Seilfänger das entgleisende Seil erfassen können.

Abb. 3: Rollenbatterie mit Seil in den Seilfängern

Wenn das Seil bei der Entgleisung aus der Seilrolle nicht von **allen** Seilfängern erfasst wird, dann liegt die Resultierende der Auflagekräfte ausserhalb der Rollenbatterieachse. Es entsteht ein Drehmoment, unter dem sich die Rollenbatterie wie ein Propeller dreht. Das Seil entgleist dadurch vollständig.

Die Spuren an der Tröglbahn lassen den Schluss zu, dass das Seil den vierten Seilfänger nur auf der Aussenseite berührte, also diesen Seilfänger verpasste.

Das Seil musste somit vollständig entgleisen.

Eine kleine Bemerkung in eigener Sache: die Lage und Form der Seilfänger bestimmt deren Wirksamkeit.

Abb. 4: Schnitt durch Rollenbatterie mit Seilfänger

Hier im Bild sehen Sie in einfacher Darstellung die in unserem Land gültigen Anforderungen an die Form und Lage der Seilfänger.

Die Bedeutung dieser Sicherheitsanforderung wurde leider bis dahin von der CEN/TC 242 noch nicht erkannt!

Behördliche Massnahmen

Die Untersuchung des Unfalles an der Tröglbahn führte zu folgenden Erkenntnissen:

1. Eine Seilentgleisung wird immer von der ersten Seilrolle ausgelöst.
2. Ein Bruch der Seitenscheibe bei der ersten Seilrolle muss nicht immer zu einer Seilentgleisung führen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse hat die österreichische Aufsichtsbehörde im Sommer 1992 zwei Richtlinien erlassen:

1. eine Richtlinie über die Anforderungen an Bauteile der Förderseilrollen von Einseilbahnen;
2. eine Richtlinie über betriebliche Massnahmen zur Sicherung der Seilführung an Einseilbahnen.

Die Richtlinie über die Anforderung an die Seitenscheiben, Rollenkörper und Einlageringe beschränkt sich jedoch

- auf die erste Seilrolle einer Rollenbatterie und
- auf schraubenlose Seilrollen.

Warum diese Einschränkungen?

Weil Sofortmassnahmen nötig waren und diese sich nur durchsetzen liessen, wenn sie bezüglich Umfang und Aufwand tragbar waren.

Weil man erkannte, dass die erste Seilrolle die Funktion eines Kapellmeisters hat. Wenn da das Seil entgleist, dann entgleist es auf der ganzen Rollenbatterie.

Anforderungen an die Seitenscheiben

Seitenscheiben aus Leichtmetallguss müssen aus einem Werkstoff nach DIN 1725 hergestellt werden, wobei die Härte Brinell höchstens den Wert 100 erreichen darf.

Ferner muss jedes Werkstück

- auf Oberflächenrisse geprüft werden,
- einer Härteprüfung unterzogen werden,
- zu 100 % durchstrahlend geprüft werden.

Alle Auflageflächen zum Rollenkörper müssen bearbeitet werden.

Seitenscheiben aus Stahl müssen aus einem Werkstoff hergestellt werden, der den Anforderungen für St 360 C nach ÖNORM M 3116 entspricht.

Ferner müssen

- 10 % der Werkstücke auf Oberflächenrisse geprüft werden;
- eventuell vorhandene Schweissnähte zu 100 % mit Ultraschall auf Fehlerstellen geprüft werden.

Seitenscheiben aus Aluminium-Knetlegierung (geschmiedet) müssen aus einem Werkstoff nach DIN 1725 hergestellt werden.

Ferner müssen alle Werkstücke mittels dem Farbeindringverfahren auf Oberflächenrisse geprüft werden.

Anforderungen an Rollenkörper

Die Richtlinie stellt detaillierte Anforderungen an Rollenkörper aus Leichtmetallguss und unterscheidet dabei zwischen Rollenkörpern ohne Seitenscheiben und Rollenkörpern mit ein- oder beidseitig angegossenen Seitenscheiben.

Für Rollenkörper mit angegossenen Seitenscheiben lauten die Anforderungen:

- der Werkstoff muss den Anforderungen nach DIN 1725 entsprechen und die Härte Brinell darf den Wert 100 nicht überschreiten;
- an jedem Werkstück muss eine Härteprüfung durchgeführt werden;
- im Bereich der Seitenscheiben sind 10 % der Werkstücke mit dem Durchstrahlungsverfahren auf innere Fehler zu prüfen;
- im Bereich einer Nut für den Sicherungsring sind 10 % der Werkstücke mit dem Farbeindringverfahren auf äussere Fehler zu prüfen.

Für Rollenkörper aus Leichtmetallguss ohne angegossene Seitenscheiben gilt:

- der Werkstoff muss den Anforderungen nach DIN 1725 entsprechen und die Härte Brinell darf den Wert 100 nicht überschreiten;
- an jedem Werkstück muss eine Härteprüfung durchgeführt werden;
- im Bereich der Nut für den Sicherungsring sind 10 % der Werkstücke mit dem Farbeindringverfahren auf äussere Fehler zu prüfen.

Es fällt auf:

- die Durchstrahlungsprüfung auf innere Fehler wird nur im Bereich der Seitenscheiben verlangt;
- die Nuten für den Sicherungsring sind lediglich mit dem Farbeindringverfahren auf äussere Fehler zu prüfen.

Abb. 5. Defekter Einlagering

Anforderungen an die Einlageringe aus Gummi

Die Anforderungen an die Einlageringe (auch Rollenfutter genannt) lauten:

- die Härte nach Shore A ist vorzugeben und mit der Toleranz ± 5 Einheiten einzugrenzen;
- die Toleranzen für die Abmessungen des Einlageringes sind so zu wählen, dass die Pressung höchstens um ± 10 % vom rechnerischen Wert abweicht;
- die Härte nach Shore A ist bei der Herstellung mit Stichproben zu prüfen.

Es fällt auf:

- an die geometrischen Abmessungen der Einlageringen werden keine Anforderungen gestellt
- die Anforderungen an die Herstellqualität sind schwach.

Soweit über den Inhalt der österreichischen Richtlinie über die Anforderungen an die Bauteile.

Auf die Richtlinie über die betrieblichen Massnahmen zur Sicherung der Seilführung an Einseilbahnen möchte ich hier aus Zeitgründen nicht eintreten.

Ereignisse in der Schweiz

Auch wir in der Schweiz haben unsere Erfahrungen mit Seilrollen.

Lassen Sie mich darüber berichten.

Erstes Ereignis: Seilrolle blockiert Klemmen

Am 31. Dezember 1991 - also 1 Monat vor dem Unfall bei der Tröglbahn - bei einer 2er-Sesselbahn mit festen Klemmen, stellte der Angestellte in der Talstation plötzlich fest, dass keine Sessel mehr in die Station einfuhren. Er blickte bergwärts und sah, dass bei der Niederhaltstütze 1, auf der Talförderseite, zwei Sessel an der 8er-Rollenbatterie blockiert blieben. Der Angestellte setzte die Anlage durch Nothalt still.

Was war geschehen?

Abb. 6: Schnitt durch Seilrolle mit ausgebrochenem Rollenkörper

Bei der ersten Rolle der zweiten 4er-Wippe - also in der Mitte der Rollenbatterie - war beim Rollenkörper aus Anticordal die Nut des Sicherungsringes durchgebrochen. Der ausgebrochene Teil blockierte die Rolle, worauf sich das Seil tief ins Rollenfutter einfrass. Das Seil war aus den vier letzten Seilrollen entgleist - vermutlich infolge der Schläge und Stösse von Klemmendurchfahrten. Das entgleiste Seil war zwischen die Seilrollen und die Seilfänger geraten. Die Seilklemmen konnten diese Stelle nicht mehr passieren. Sie stauten sich nun am Seilfänger.

Da das Seil nur auf der zweiten Hälfte der Rollenbatterie entgleist war, sprach die Seillageüberwachung, die sich auf der ersten Hälfte der Rollenbatterie befindet, nicht an.

Was fällt auf?

- Dieser scheinbar harmlose Bruch hätte auf der Bergförderseite schwerwiegende Folgen haben können.

Ein falsch montierter Seilfänger ermöglichte es, dass das Seil zwischen die Seilrollen und den Seilfänger geriet.

Abb. 7: Mit Sessel abgestürzte Fahrgäste im Schnee

Zweites Ereignis: Absturz von Sesseln mit Fahrgästen

Am 12. April 1993 wurde bei einer 2er-Sesselbahn mit festen Klemmen ein Nothalt ausgelöst, infolge Ansprechen der FUA bei der Stütze 6. Der Angestellte begab sich zur Stütze, wo er drei Sessel und deren Fahrgäste im Schnee liegend fand, die vom ca. 8 m hohen Seil gestürzt waren. Bei der Stütze 8 fand er einen weiteren, mitsamt den Skifahrern vom Seil gestürzten Sessel im Schnee liegen.

Insgesamt waren 8 Fahrgäste abgestürzt, zwei erlitten schwere Verletzungen.

Abb. 8: Rollenbatterie mit Seilrolle

Was war geschehen?

Bei der ersten Seilrolle der Rollenbatterie war eine Schraube gebrochen. Als diese an der Wippe der Rollenbatterie hängen blieb, blockierte die Rolle und das Seil frass sich durch das Rollenfutter bis auf den stählernen Rillengrund hinunter.

Abb. 9: Seilrolle mit durchgefressenem Futter

Bei der Durchfahrt dieser Stelle wurden die Klemmen teilweise oder vollständig vom Seil gerissen.

Abb. 10: 12 rostige Schrauben

Die Schrauben dieser seit 18 Jahren im Einsatz stehenden Seilrolle sind wahrscheinlich nie ersetzt worden. Wahrscheinlich ist auch, dass die Schrauben bereits einige Zeit vor dem Unfall gebrochen waren. Nach dem Unfall stellte man jedenfalls fest, dass drei der zwölf Schrauben gebrochen und ihre Bruchflächen z.T. korrodiert waren.

Was fällt auf?

- Das Ereignis wurde durch einen Schraubenbruch ausgelöst.
- Die Sturzhöhe betrug 8 m. Bei einer Sturzhöhe von 20 und mehr Metern wären sicher mehr Verletzte - wenn nicht sogar Tote zu beklagen gewesen!

Abb. 11: Stütze 15 mit Rollenbatterie

Drittes Ereignis: Absturz von Sesseln ohne Fahrgäste

Als am 13. April 1993, bei einer 3er-Sesselbahn mit kuppelbaren Sesseln, ein in der Bergstation ankommender Fahrgast dem Angestellten berichtete, auf der Talförderseite stauten sich die Sessel, setzte dieser die Anlage still. Am Fuss der Stütze 15 (es ist dies die zweitletzte Stütze vor der Bergstation) sah er zwei Sessel im Schnee liegen und unterhalb dieser Stütze hingen die Sessel in 2er-Paketen am Seil.

Abb. 12: Zwei abgestürzte Sessel im Schnee

Was war geschehen?

Bei einer Seilrolle, die sich ziemlich genau in der Mitte der Rollenbatterie befand, war im Alu-Rollenkörper die Nut für den Sicherungsdraht ausgebrochen, infolge Materialermüdung. Der ausgebrochene Teil blockierte die Drehbewegung der Rolle.

Abb. 13: Beschädigte Seilrolle in der Seitenansicht

Das Seil frass sich durch das Rollenfutter und durch die Aluminiumfelge hindurch bis auf die Nabe hinunter.

Abb. 14: Beschädigte Seilrolle in der Aufsicht

Die Seilklemmen konnten die blockierte Seilrolle nicht mehr passieren.

Abb. 15: Beschädigte Seilrolle in der Seitenansicht

Sie wurden von der Rolle zurückgehalten, bis die nachfolgende Klemme auffuhr. Diese stiess danach die blockierte Klemme über die blockierte Rolle, wobei sich die Klemmen zum Teil öffneten.

Abb. 16: Beschädigte Klemmbacken

Den Schleifspuren zufolge fuhr die Anlage mit blockierter Seilrolle 600 m weit.

Was fällt auf?

- Der Schaden trat am Rollenkörper auf, nicht bei den Seitenscheiben.
- Auf der Bergförderseite hätte dieser Schaden schwerwiegende Folgen haben können.

Weitere Ereignisse

Sie werden sich nun vermutlich fragen, ob bei uns keine Seitenscheiben brachen?

Natürlich verzeichnen auch wir Brüche an Seitenscheiben!

Abb. 17: Seitenscheibe Aussenseite EMPA 98 877

Im Gegensatz zum Unfall in Österreich führten bei uns diese Brüche glücklicherweise nicht zu Unfällen.

Abb. 18: Bruchfläche Seitenschild EMPA 5039

Die gestrichelte Linie zeigt die Grenze zwischen der Ermüdungsbruchfläche (ausgehend von Poren in der rechten unteren Ecke) und der Restbruchfläche (oberhalb der gestrichelten Linie).

Der Anteil der Restbruchfläche bezüglich der Gesamtbruchfläche ist relativ klein. Dies ist ein Hinweis, dass der Ermüdungsbruch unter geringer Nennspannung erfolgte.

Abb. 19: Detail von Bruchausgang EMPA 5040

Dieses Bruchbild ist typisch für Seitenscheiben: Der Ermüdungsbruch beginnt an der Innenfläche, beim Innenradius der Scheibe, an einer Stelle mit Materialfehlern (Poren oder Fremdeinschlüssen) und wächst durch den Querschnitt dem äusseren Radius und der Aussenfläche entgegen.

Wird auf der Aussenfläche ein Riss erkennbar, dann ist die Scheibe praktisch schon vollständigen gebrochen.

Wenn Sie den von mir gezeigten Ring betrachten, werden Sie meine Aussagen greifbaren Objekt bestätigt sehen.

Abb. 20: Radkörper ARR1 EMPA 98 876

Hier die Bruchfläche eines Radkörpers mit durchgebrochener Nut für den Sicherungsring.

Die Bruchfläche erstreckt sich über den halben Radumfang.

In vergrößerter Darstellung lässt die Bruchfläche das Risswachstum erkennen: Die Risse wachsen von der Nutfläche aus durch den Rollenflansch.

Sind die Risse auf der Aussenfläche erkennbar, dann hat man die Spitze eines Eisberges entdeckt und es ist höchste Zeit, die Rolle aus dem Verkehr zu ziehen!

Fazit:

Bei den Seitenscheiben wie auch bei den Rollenkörpern kann eine Prüfung auf Risse nur dann vorbeugend sein, wenn sie auf der Innenseite der Seitenscheibe bzw. in der Nut des Sicherungsringes erfolgt. Hierzu muss die Seilrolle jedoch demontiert werden.

In ihren Schlussfolgerungen empfiehlt die EMPA, die Seitenschilder und Rollenkörper bei der Herstellung einer gezielten Qualitätskontrolle zu unterziehen, denn die Ursachen der Scheiben- und Rollenbrüche waren:

- Die mechanisch-technologischen Werkstoffeigenschaften lagen bei den untersuchten Objekten z.T. völlig ausserhalb der Richtwerte der DIN 1725.
- Die metallographische Untersuchung zeigten grobe Fertigungsfehler.

Massnahmen der Aufsichtsbehörde

Das Bundesamt für Verkehr beabsichtigt folgende qualitätssichernde Massnahmen zu ergreifen:

Sicherheitsanspruch

Seilrollen von Einseilumlaufbahnen sind Anlageteile, deren Versagen unmittelbar einen schweren Unfall auslösen können.

Dies ist bei der Herstellung und beim Gebrauch der Seilrollen speziell zu berücksichtigen.

Anforderungen an die Konstruktion

Es dürfen nur metallische Werkstoffe verwendet werden, deren chemische und mechanische Eigenschaften durch eine anerkannte Werkstoffnorm festgelegt sind. Diese Eigenschaften sind für jede Schmelze bzw. jede Umschmelze zu prüfen und mit den Anforderungen der Norm zu vergleichen. Die Prüfung ist mit einem Zeugnis nach EN 10 204 - 3.1 B zu belegen.

Alle für die korrekte Montage und Funktion der Seilrollen wichtigen Auflageflächen (Auflageflächen für Seitenscheiben, Rollenkörper, Sicherungsring und/oder Befestigungsschrauben) sind vollständig spanabhebend zu bearbeiten und deren Masshaltigkeit ist zu prüfen.

Alle Gussstücke sind auf innere Fehler zu prüfen. Die zulässigen Fehler werden mittels den Bildreihen des Röntgenatlas nach ASTM festgelegt. Dabei muss der Werkstoff, der sich im Abstand von 20 mm und näher von einer Stelle mit

Sicherheitsanspruch (Auflageflächen für Seitenscheiben, Rollenkörper, Sicherungsring und/oder Befestigungsschrauben) befindet, sehr strengen Anforderungen genügen. Diese Prüfung ist mit einem Zeugnis nach EN 10 204 - 3.1. B zu belegen.

Es dürfen nur Sicherungsringe aus Stahl verwendet werden. Deren Durchmesser ist mit einer Toleranz einzugrenzen.

Die äusseren Abmessungen und die Härte der Einlageringe sind vom Hersteller der Seilrollen mit einer Toleranzangabe in der Fertigungszeichnung und in der Betriebsanleitung anzugeben. Der Hersteller der Einlageringe hat die Einhaltung dieser Toleranzen zu prüfen und mit einem Zeugnis nach EN 10 204 - 2.3 zu bescheinigen. Folgende Toleranzen werden empfohlen:

- Geometrie: ± 1 mm;
- Härte: ± 5 Shore A.

Anforderungen an die Instandhaltung

Tägliche Prüfungen

Vor der täglichen Betriebsaufnahme sowie vor der Betriebsaufnahme nach aussergewöhnlichen Betriebseinstellungen hat ein instruierter Angestellter eine Prüffahrt durchzuführen, bei der er insbesondere auch auf den Rundlauf und die Geräusche der Seilrollen zu achten hat.

Monatliche Prüfungen

Der Zustand der Seilrollen ist monatlich visuell zu prüfen. Dabei ist den Befestigungselementen (Schrauben, Sicherungsring, Kugeln usw.) besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Das Seil muss für diese Prüfung nicht abgehoben werden.

Jährliche Prüfungen

Bei den jährlichen Prüfungen sind die Aussenflächen der Seitenscheiben und die Aussenflächen der Rollenkörper im Bereich der Nut für den Sicherungsring zu reinigen und visuell auf Risse zu prüfen.

Schrauben und ihre Sicherungen gegen Losdrehen visuell zu prüfen.

Bei Seilrollen mit Kugelsicherung ist die Vollständigkeit und korrekte Lage der Kugeln zu prüfen.

Für die Durchführung dieser Zustandsprüfungen muss das Seil soweit angehoben werden, dass sich die Seilrollen frei drehen lassen. Wenn sich die Zustandsprüfung an der Anlage nur unvollständig durchführen lässt, müssen die Seilrollen zur Prüfung ausgebaut werden.

Die Durchführung dieser Prüfung ist im Jahresbericht an das BAV festzuhalten.

Prüfungen alle 6 Jahre

Rollenbatterien von Einseilbahnen müssen, sofern die Hersteller keine kürzeren Fristen vorschreiben, alle 6 Jahre in zerlegtem Zustand geprüft werden. Dabei gilt:

- Die Nut für den Sicherungsring ist zu reinigen und visuell auf Rissanzeigen und Materialfehler zu prüfen.
- Die Seitenscheiben sind zu reinigen und auf der Innenseite (Kontaktfläche mit dem Einlagering) und im Bereich der Befestigungsstellen visuell auf Rissanzeigen und Materialfehler zu prüfen.
- Die Einlageringe sind auf Alterungserscheinungen (spröder Gummi, aufgequollenes Material), Materialfehler, Verschleiss, Brandstellen zu prüfen.
- Die Montage der Seilrollen ist entsprechend der Anleitung des Herstellers und mit den entsprechenden Montagewerkzeugen durchzuführen.
- Seitenscheiben mit Schrauben dürfen nur mit neuen, gelb-verzinkten Schrauben der Qualität 8.8 (nach ISO 898 Teil 3) montiert werden. Das Anziehen der Schrauben hat mit Drehmomentenschlüssel oder anderen, gleichwertigen Methoden zu erfolgen. Die Verschraubungen sind mit geeigneten Elementen gegen Losdrehen zu sichern.
- Bei der Montage von Seitenscheiben mit Kugeln ist darauf zu achten, dass die Kugeln nicht mehr an den alten Stellen in der Rille des Rollenkörpers zu liegen kommen. Diese Stellen sind an der lokalen Materialdeformation gut erkennbar.

Noch eine Bemerkung zu den Schraubensicherungen, aus der Sicht von Schraubenfachleuten:

Abb. 23: Ungeeignete Schraubensicherungen

Schraubensicherungen gelten als geeignet, wenn sie auf mikroverkapselten oder anäroben Klebstoffen (z.B. Loctite) basieren - sofern die Anwendungsbedingungen bezüglich Sauberkeit erfüllt werden.

Selbstsichernde Muttern nach DIN 982 und DIN 985 gelten als weniger geeignet; sie sind gerade noch zulässig.

Mitverspannte Elemente (Federringe, Federscheiben, Zahnscheiben) gelten als ungeeignete Sicherungselemente. Solche Elemente dürfen bei der Montage von Seilrollen nicht mehr verwendet werden.

Abb. 24: Seilrolle mit gebrochener Nut

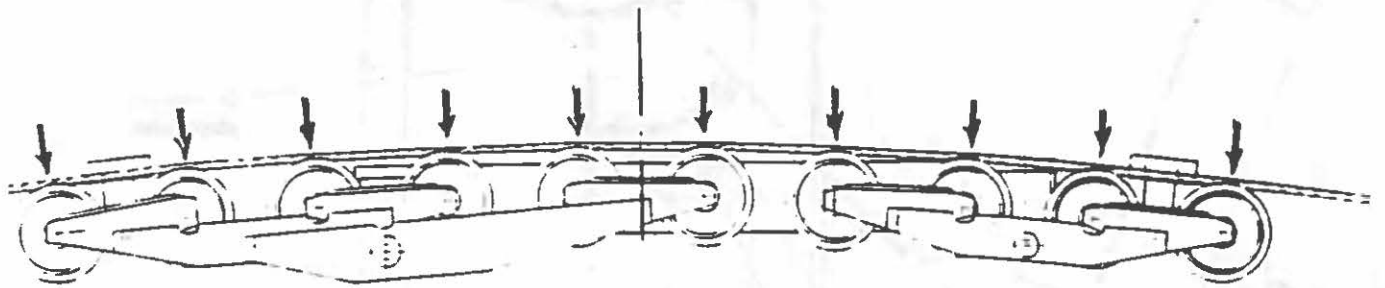
Schlusswort

Mit Vorschriften allein ist diesen Problemen jedoch nicht beizukommen. Die Verantwortlichen bei den Seilbahnunternehmen müssen den Seilrollen mit Sorgfalt pflegen. Es sind die Räder, auf denen ihre Fahrgäste rollen!

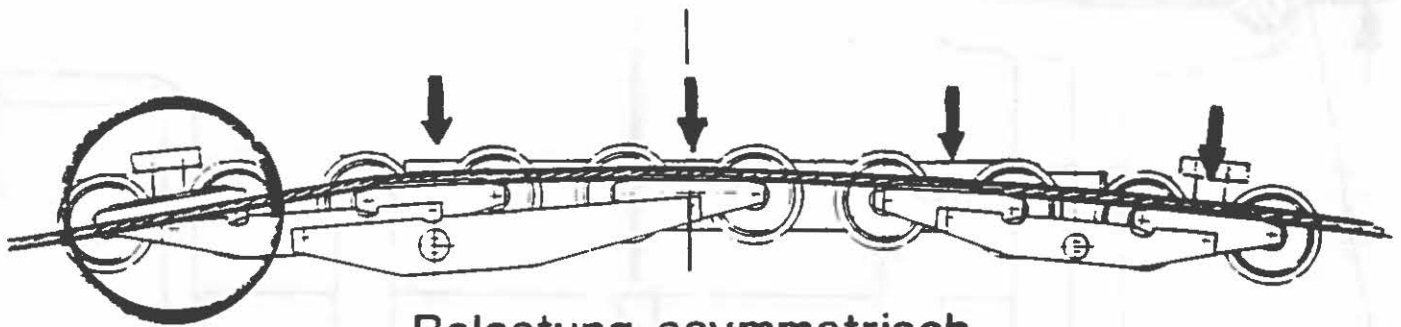
Sehr geehrter Herr Vorsitzender, sehr geehrte Damen und Herren, ich danke für die Aufmerksamkeit.



Abbildung 1
17



Belastung symmetrisch
Gleichgewicht vorhanden



Belastung asymmetrisch
Gleichgewicht nicht möglich!

Abbildung 3

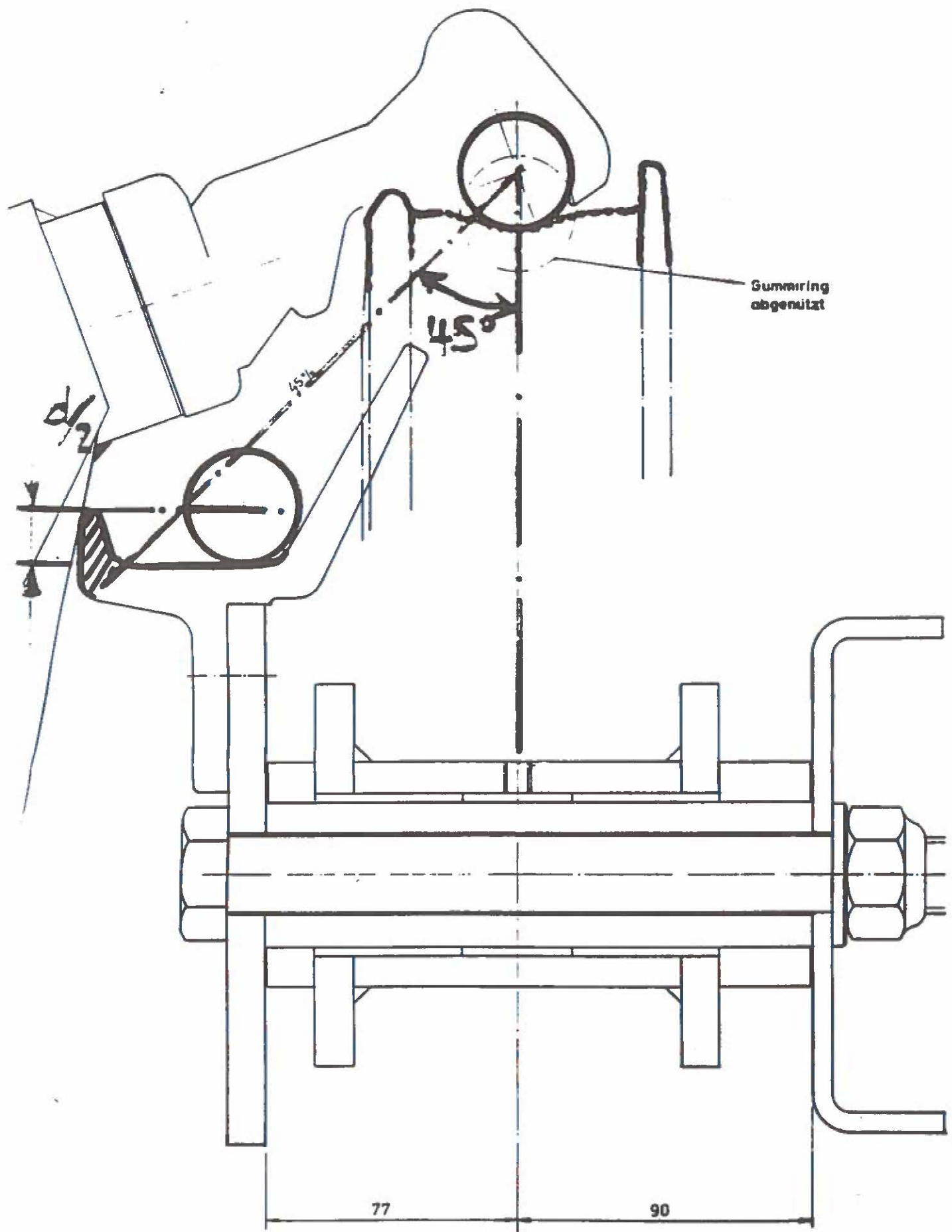


Abbildung 4



Abbildung 5

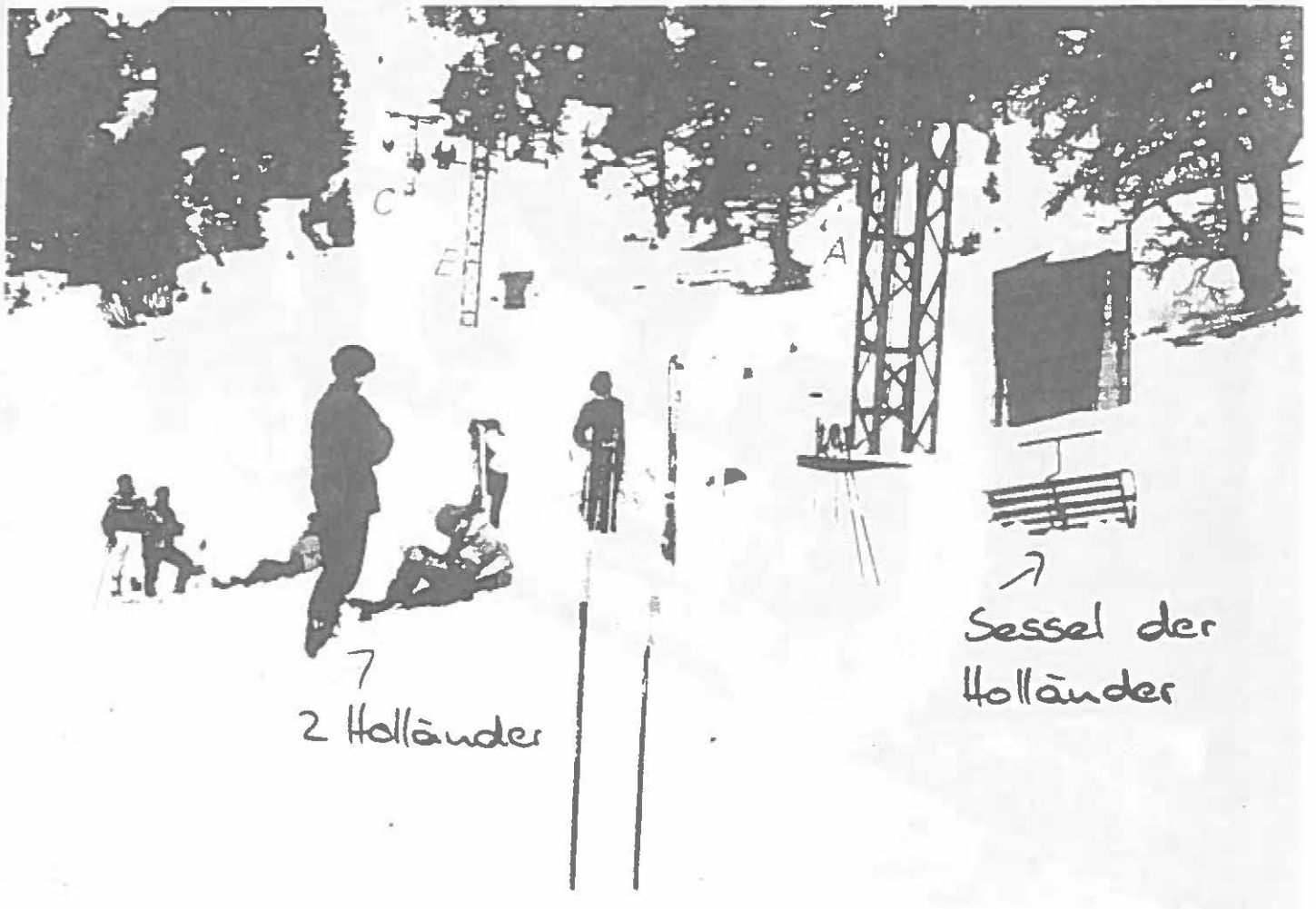


Abbildung 7

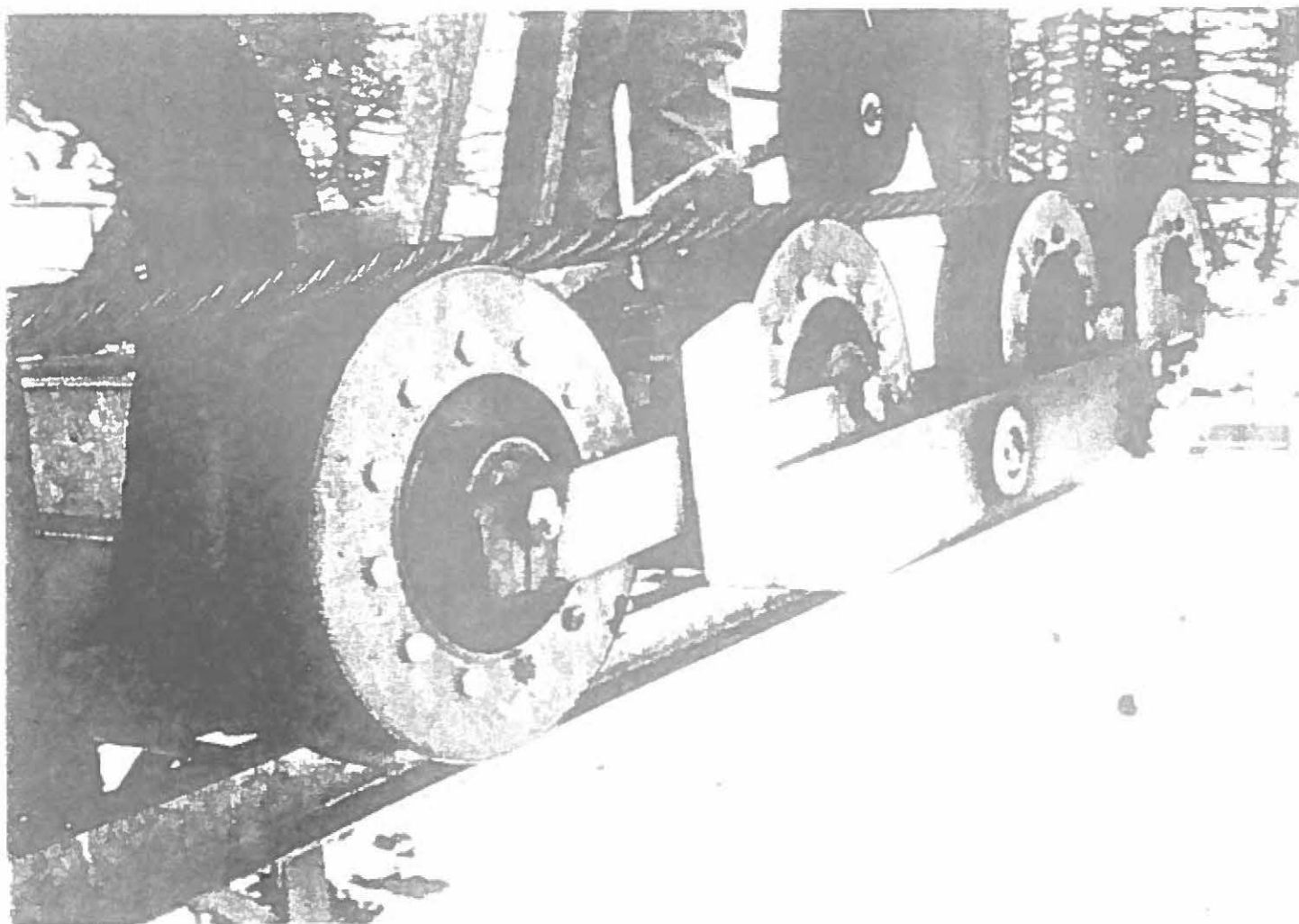


Abbildung 8

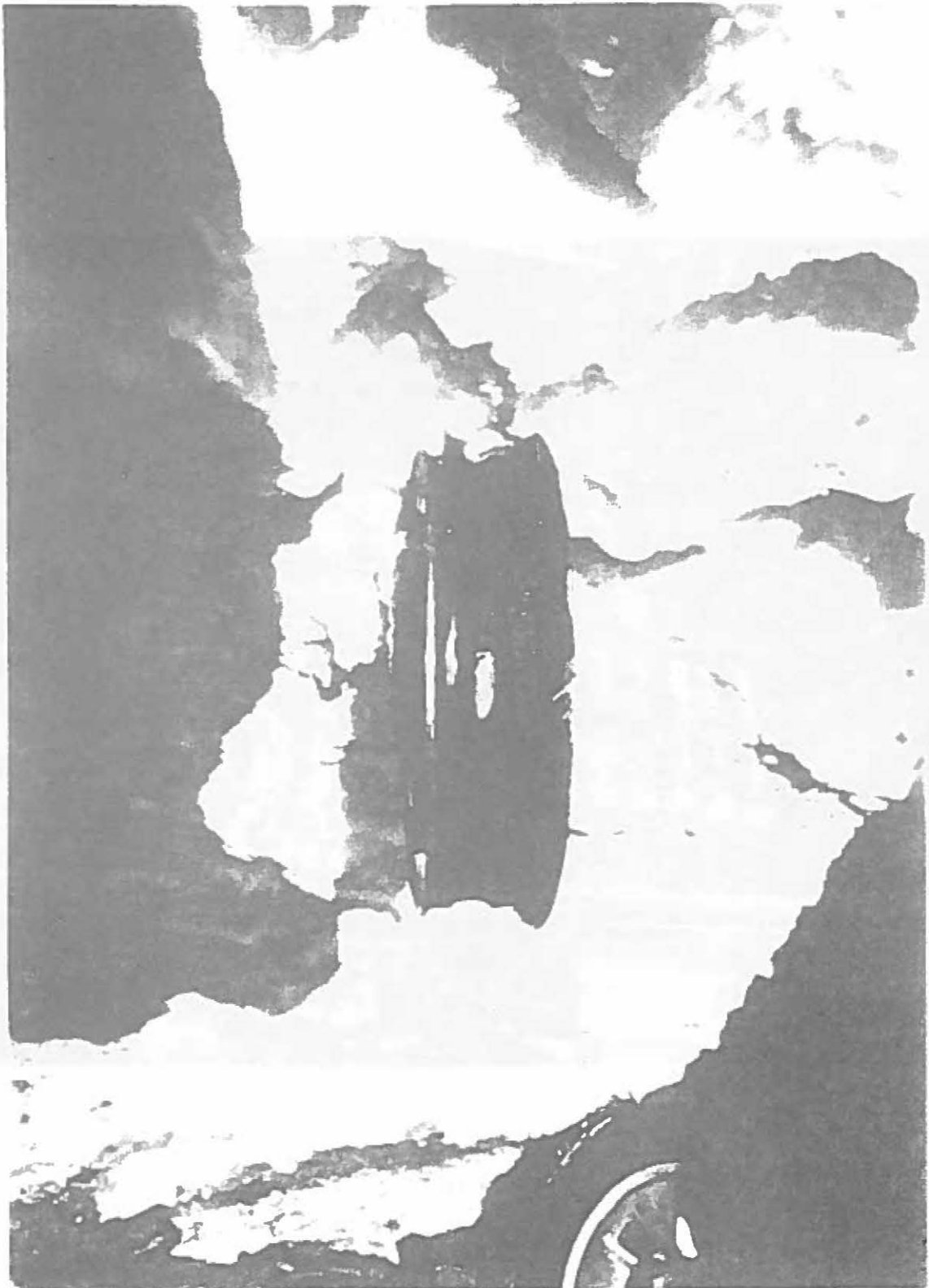


Abbildung 9

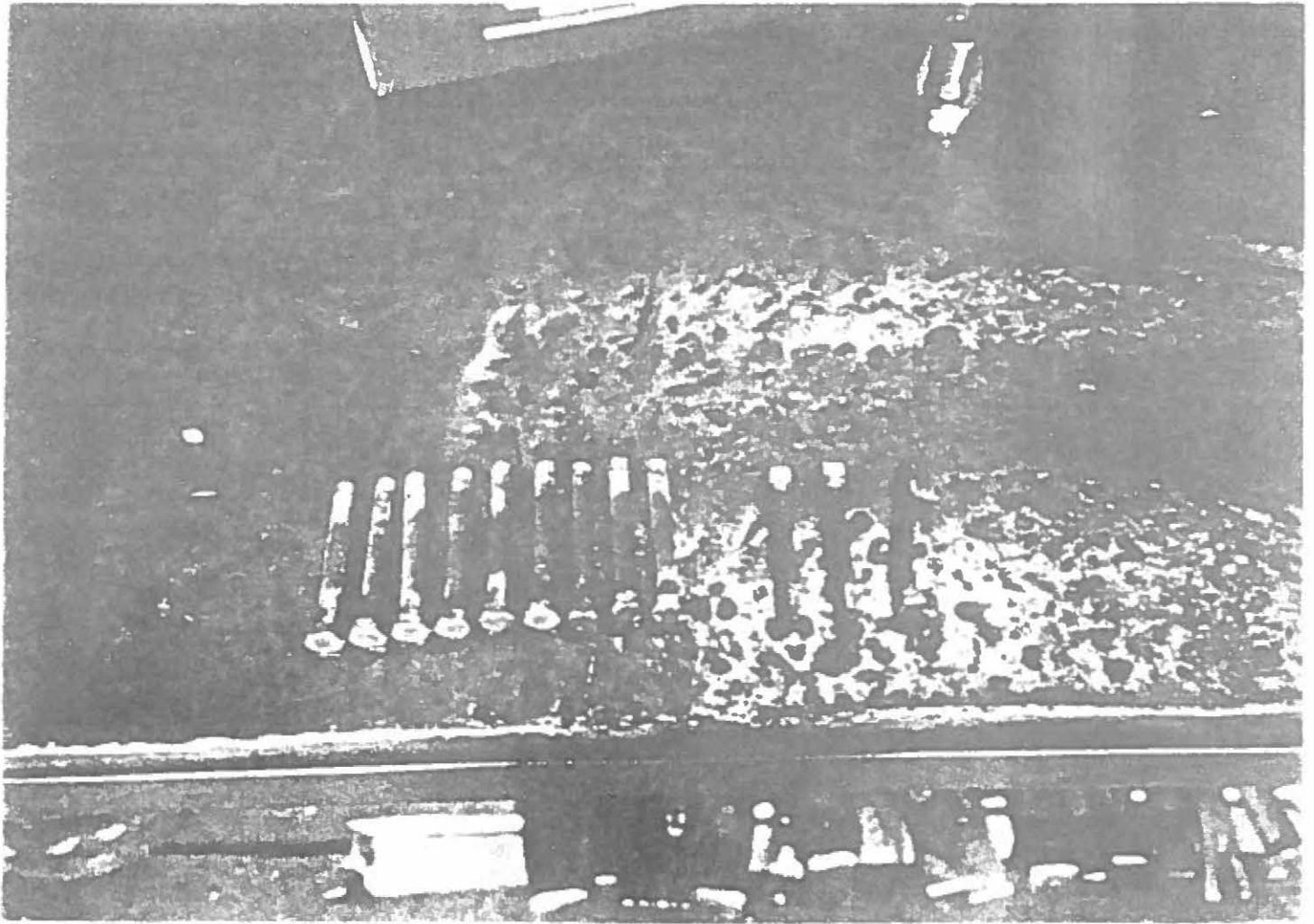


Abbildung 10

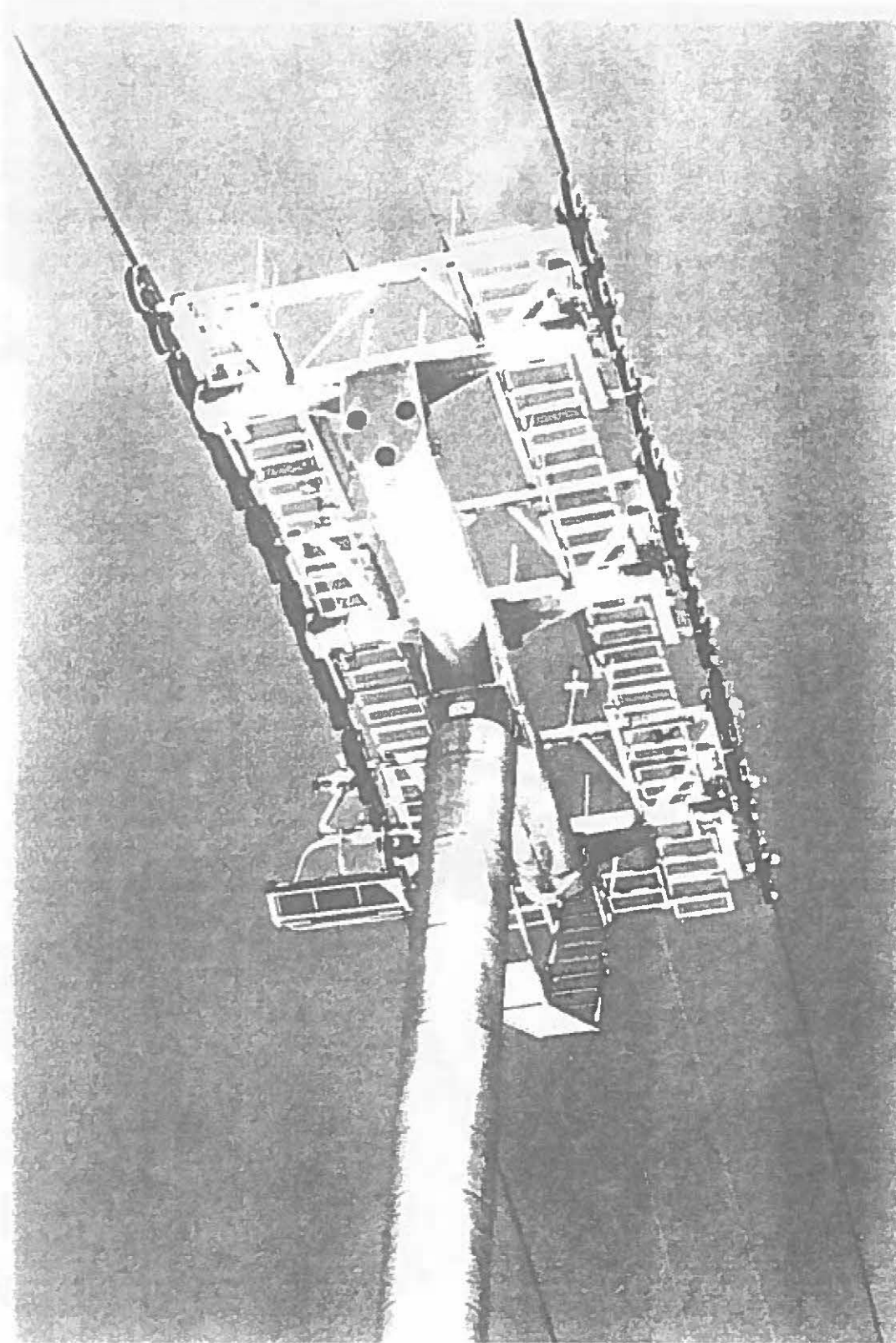


Abbildung 11



Abbildung 12

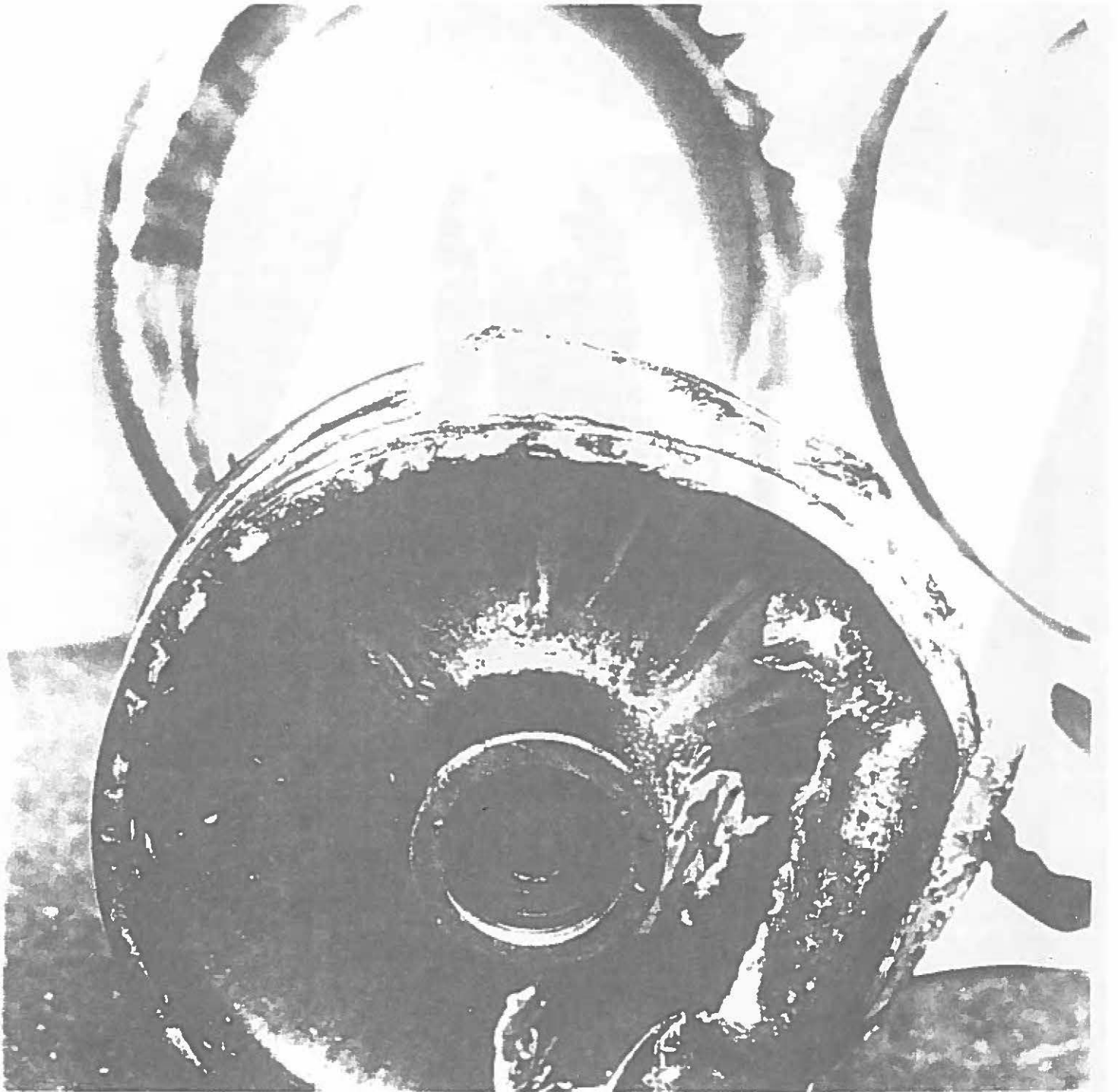


Abbildung 13

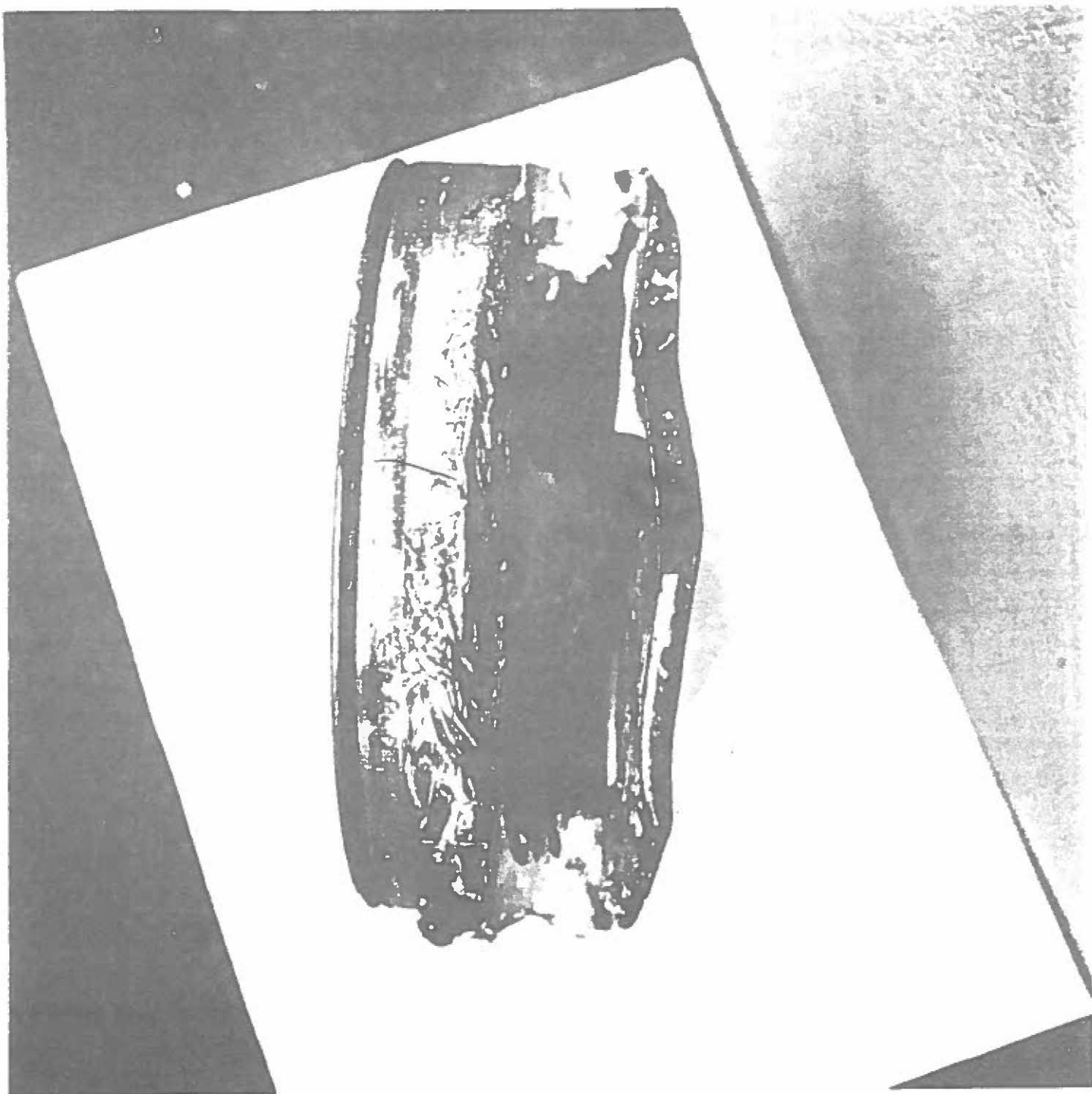


Abbildung 14

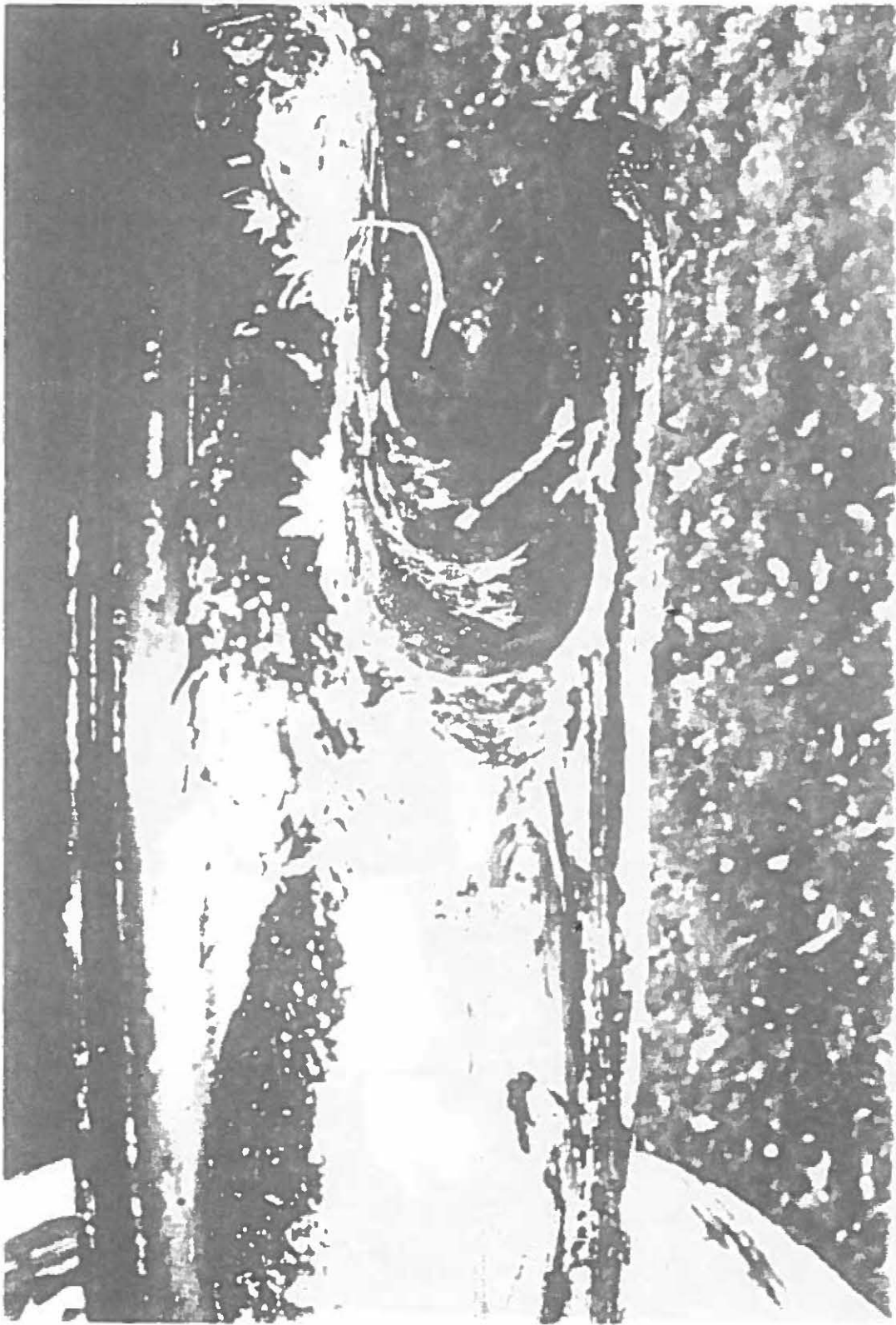


Abbildung 15

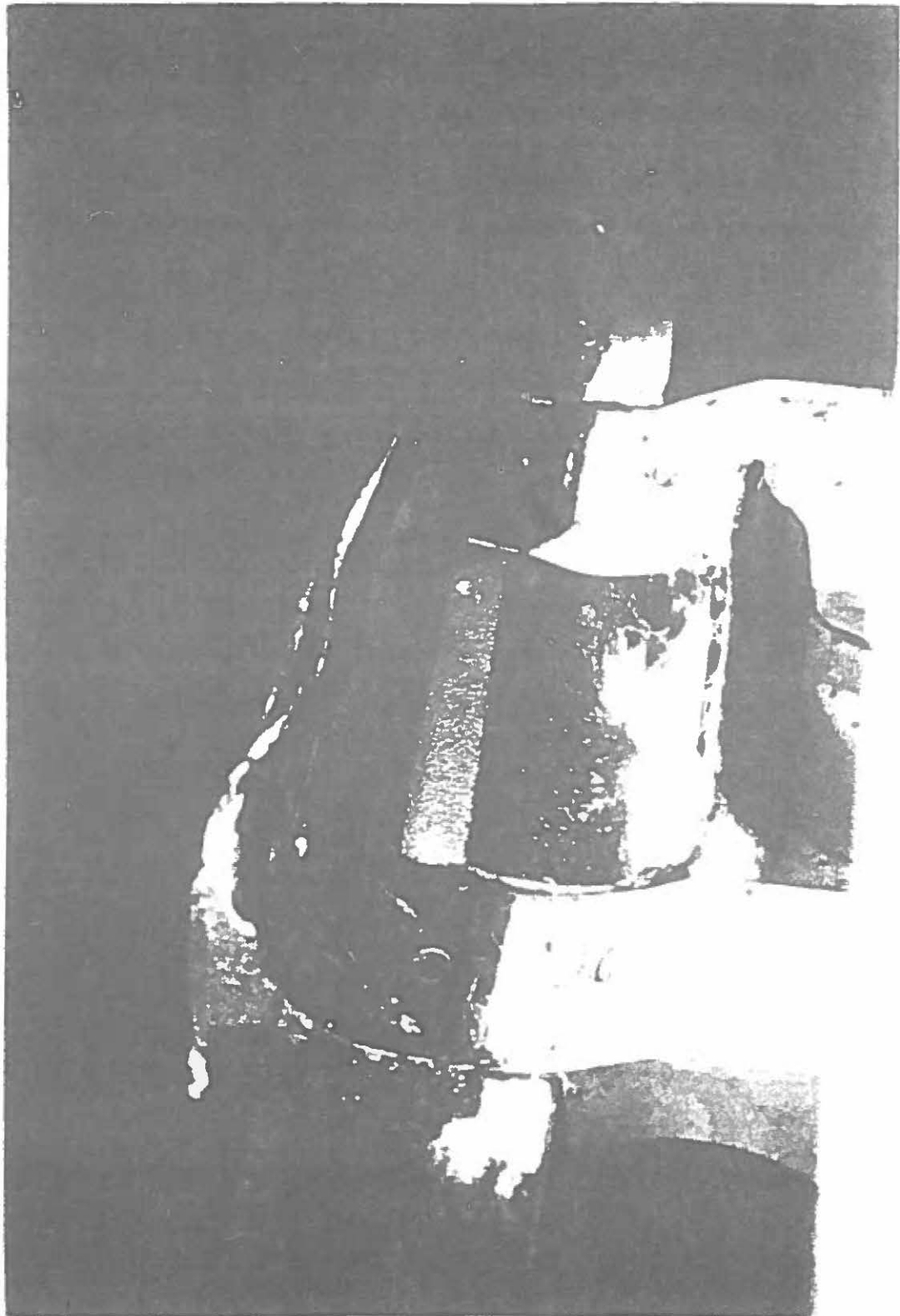
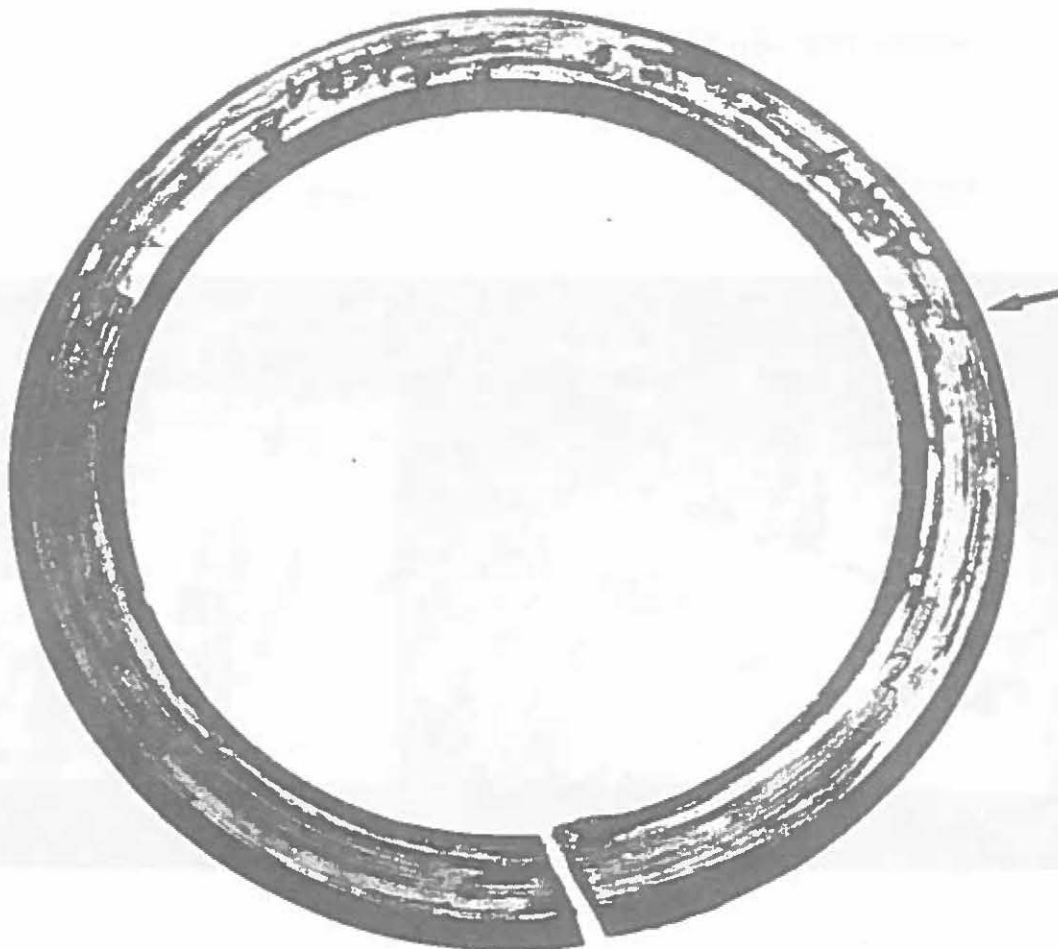


Abbildung 16

Seitenschild ASR 1: Ansicht der Aussenseite

Foto EMPA-Nr. 98 877



Umlaufende Streifspur, Innenrand abgenützt und deformiert, verschiedene Flecken

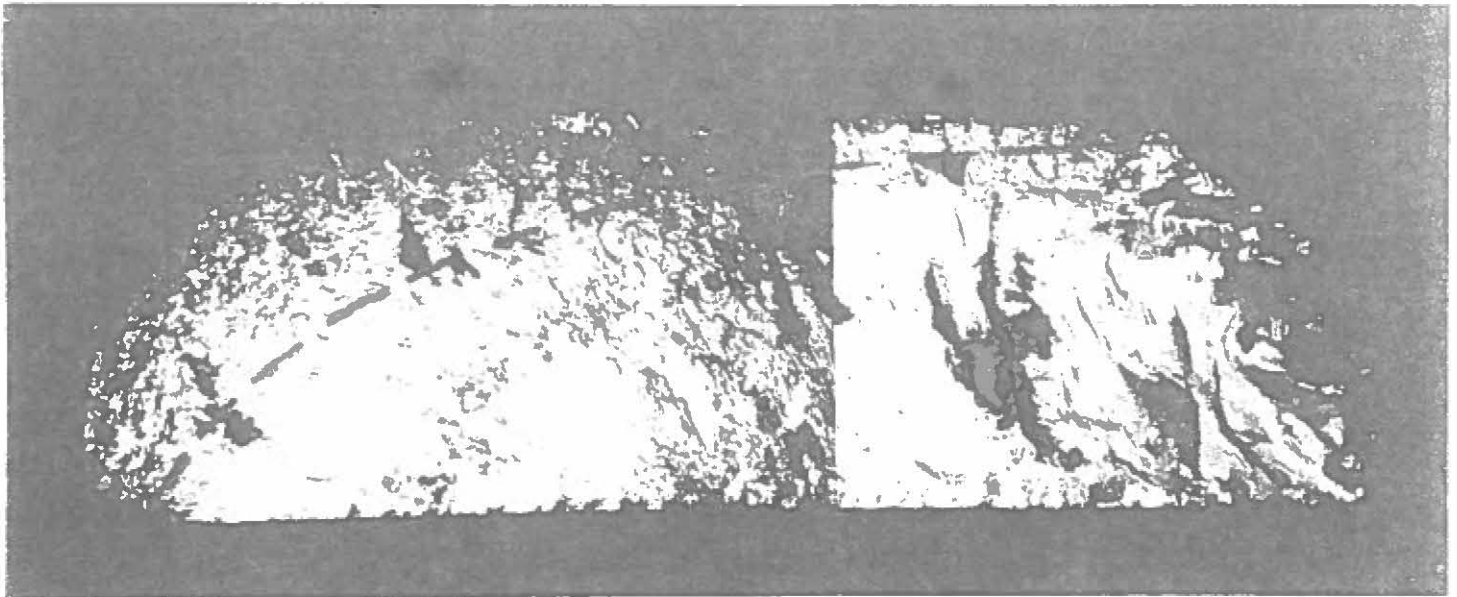
Pfeil: Biegestelle

Abbildung 17

Seitenschild ASR 2

5039

Vergr. 3-fach

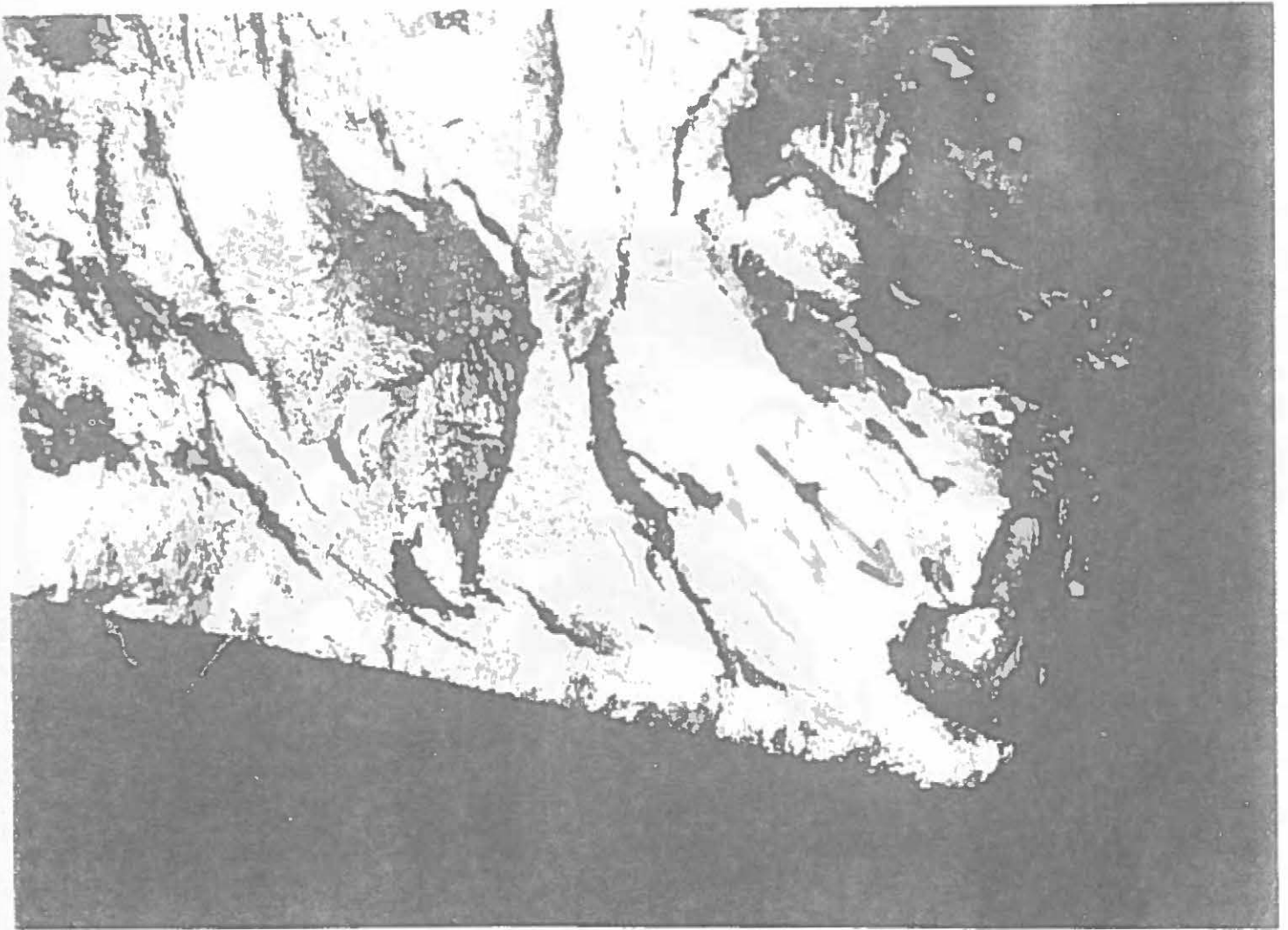


gestrichelte Linie: Ermüdungsbruch

Abbildung 18

5040

Vergr. 12-fach



Detail von Bruchausgang mit Porenbildung

Abbildung 19

Radkörper ARR 1 Ansicht mit Bruchbereich

Foto EMPA-Nr. 98 876

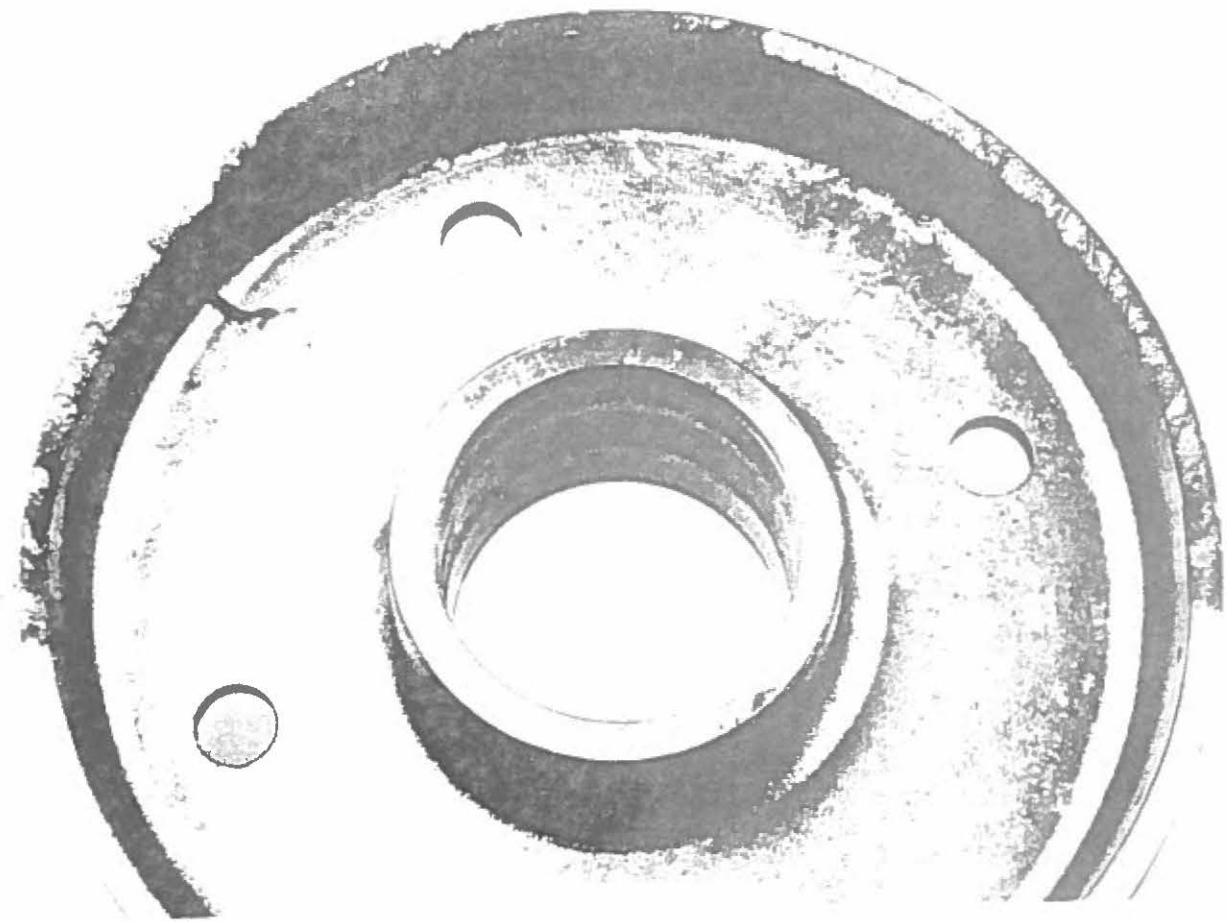
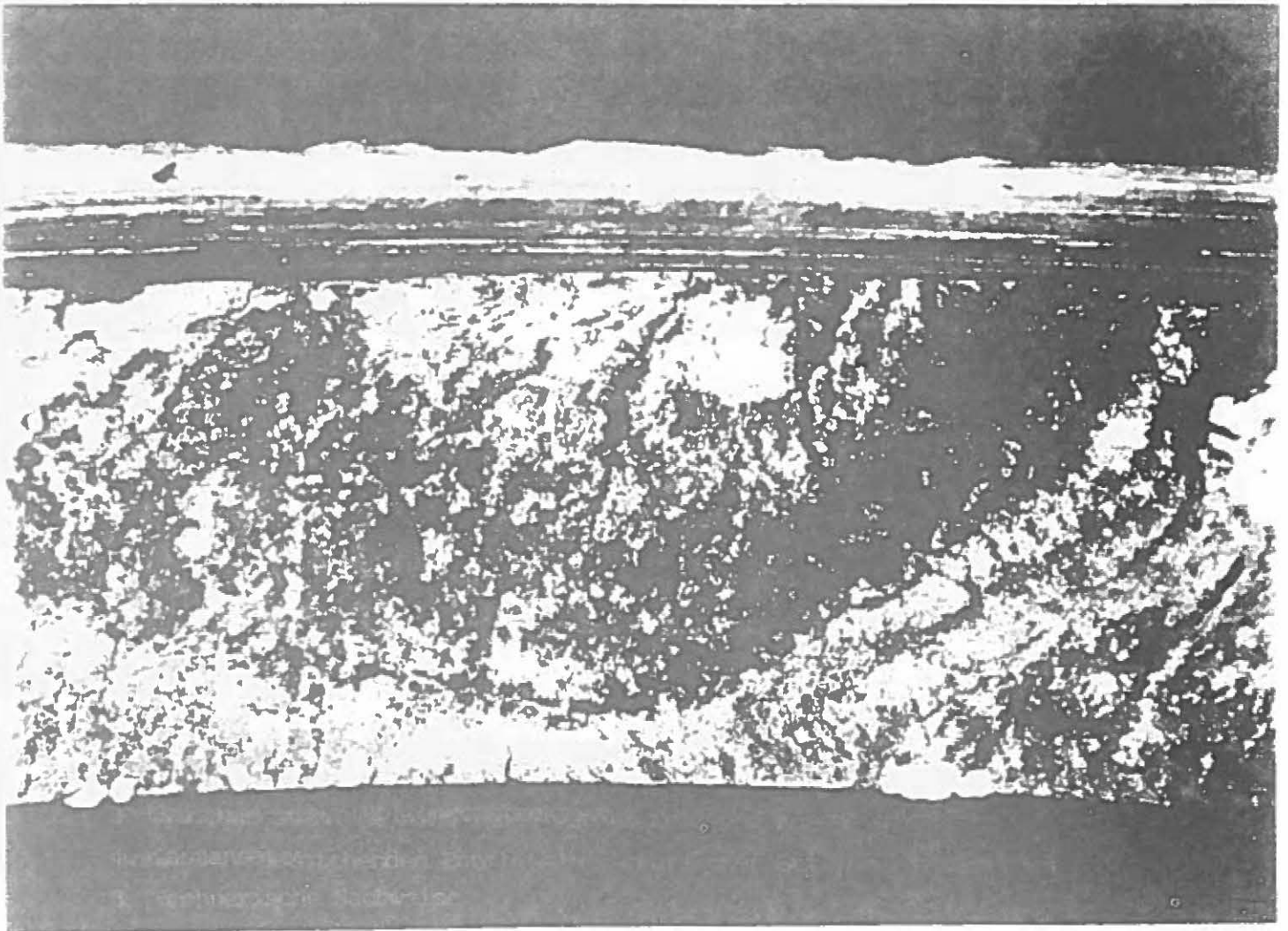


Abbildung 20

Rollenkörper ARR 1

5044

Vergr. 5-fach

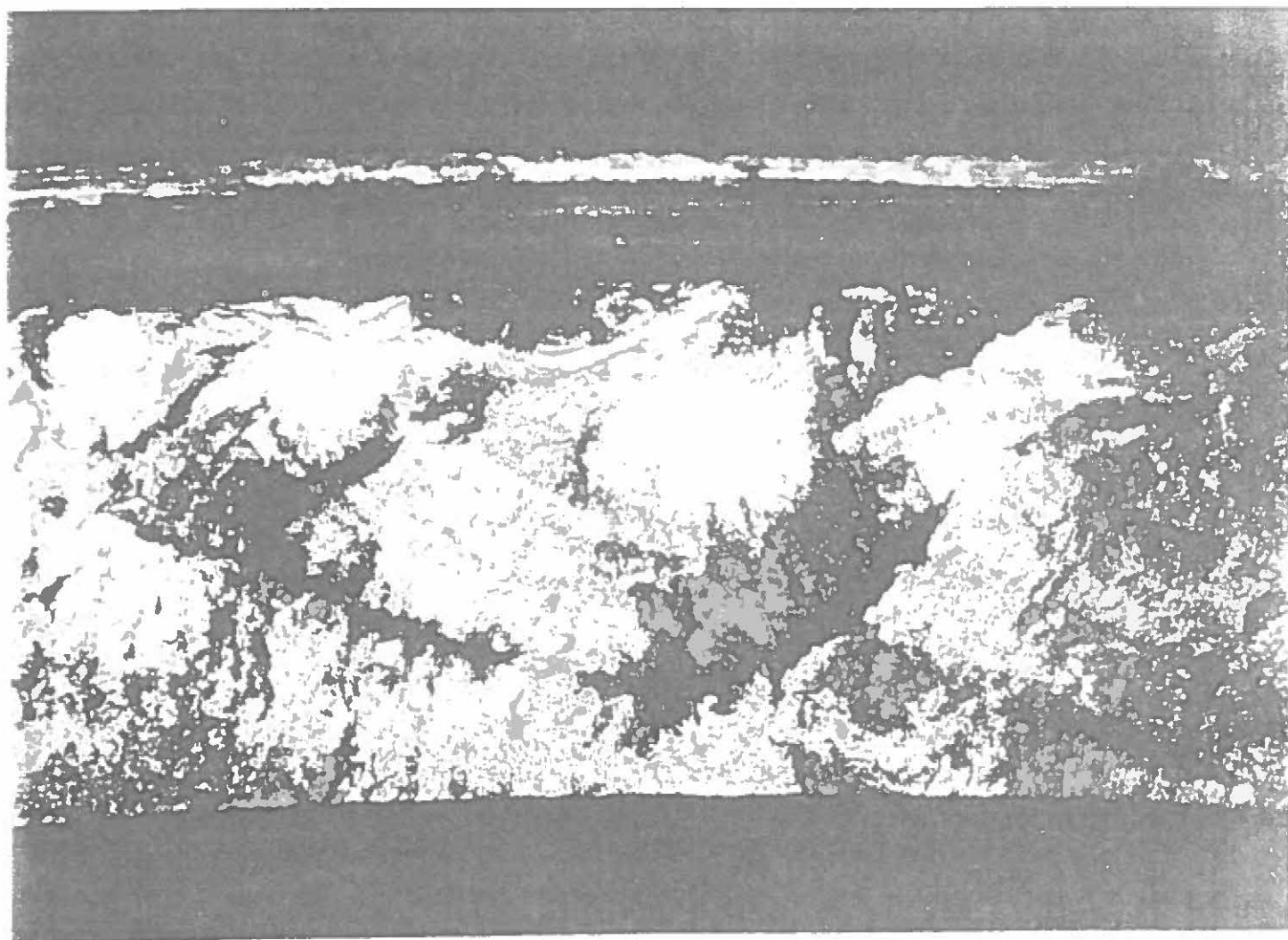


Ermüdungsriss Stelle 1

Abbildung 21

5045

Vergr. 5-fach



Ermüdungsanrissstelle 2 mit Lunkerzone

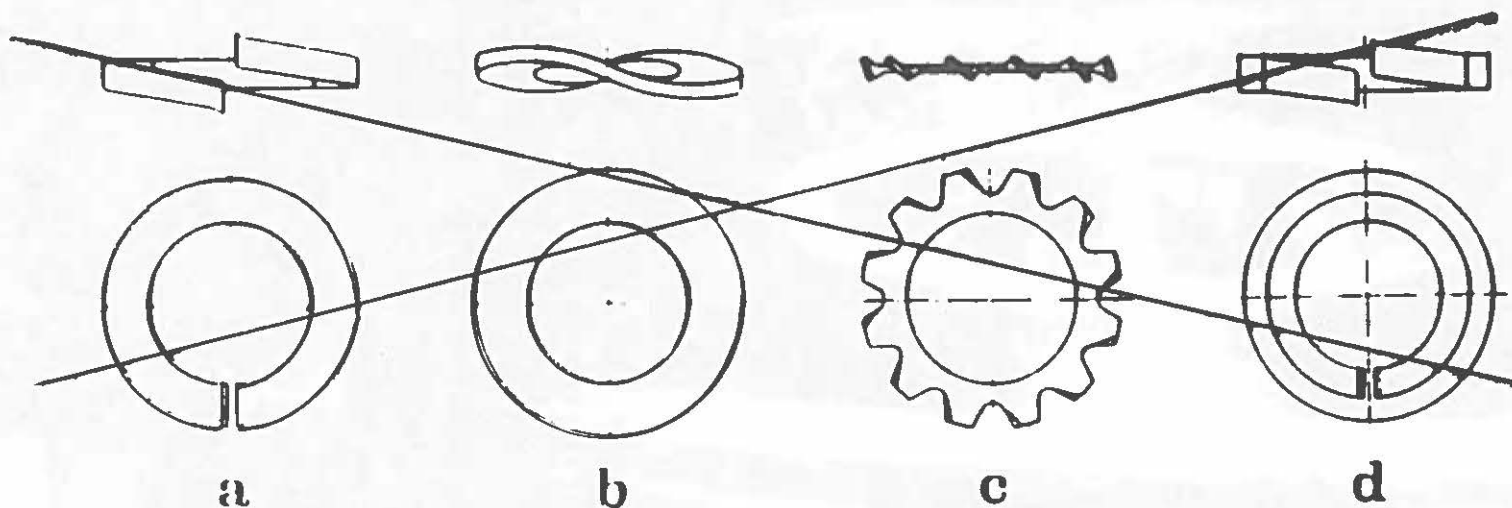


Bild 65. Schraubensicherung durch mitverspannte federnde Elemente; a Federring DIN 127; b Federscheibe DIN 137; c federnde Zahnscheibe DIN 6797; d Federring mit Schutzmantel DIN 6913.

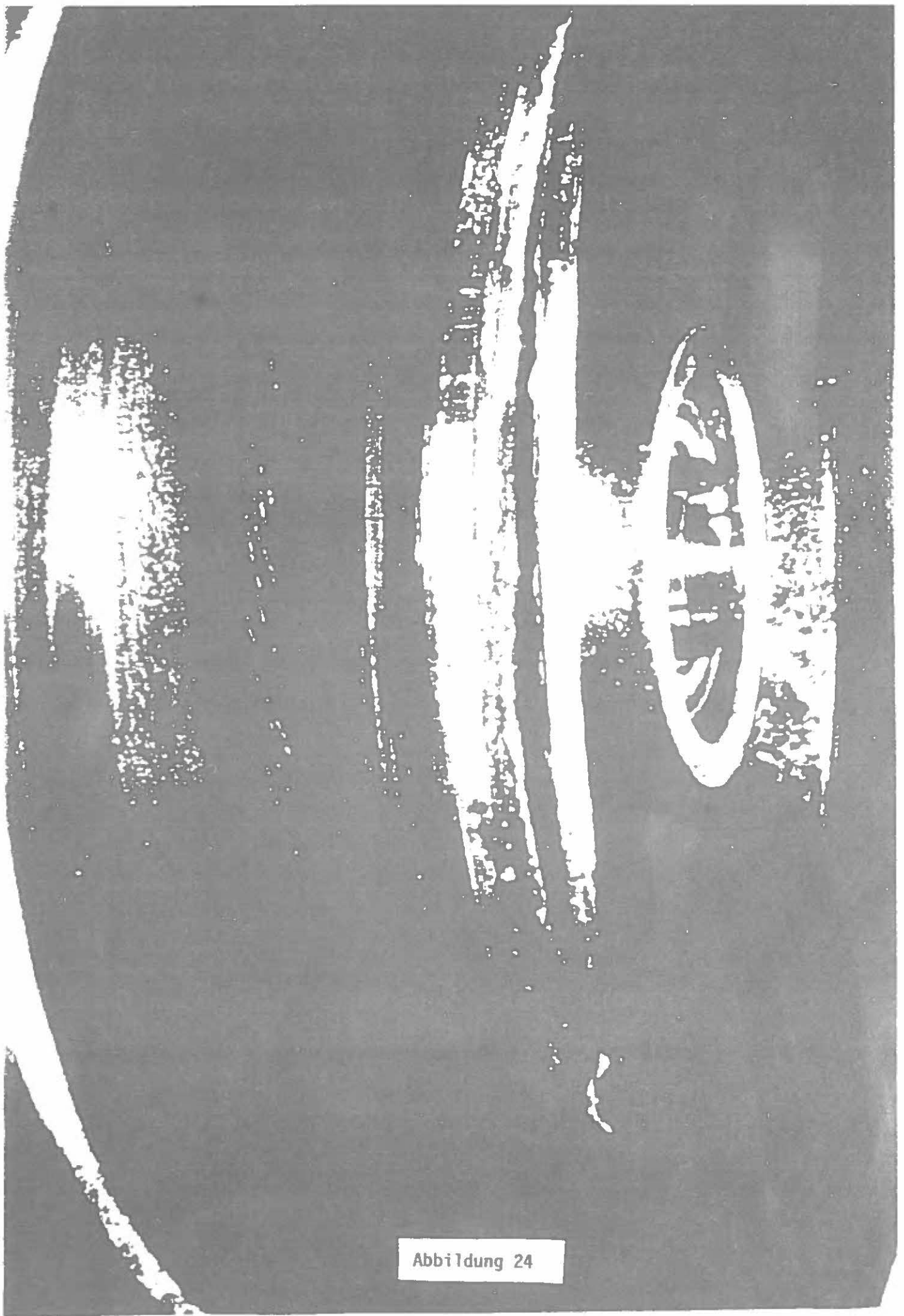


Abbildung 24