



# Schlussbericht der Eidgenössischen Flugunfall-Untersuchungskommission

über den Unfall

des Helikopters Hughes 269C, HB-XNG

vom 1. Mai 1993

in Seevelen / SG

## **Résumé HB-XNG**

Après un changement d'alternateur sur l'hélicoptère Hughes 269C (HB-XNG), le propriétaire et exploitant de celui-ci effectue divers vols à partir de sa place d'atterrissage de Seevelen/SG. Lors du troisième décollage, avec deux collaborateurs à bord, il monte d'abord à la verticale; au moment où l'appareil part en translation, la poutre dévie soudain à droite et le moteur s'emballe. Après un demi-tour sur son axe vertical, l'hélicoptère s'abat dans un champ, à quelques mètres de son point de départ. Les occupants sont indemnes; l'appareil est endommagé.

## **Cause**

L'accident est dû à une rupture de l'arbre de transmission, entre le moteur et l'embrayage, consécutive à des fissures provoquées par de la corrosion de tension. Un dépassement du régime autorisé du moteur, avec rotor non embrayé, aura contribué à la progression des fissures, voire provoquée la rupture.

## **Recommandation**

Il y a lieu de prescrire le contrôle périodique des fissures recommandé par le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherches (LFEM) et la mise en place du dispositif limitant la vitesse de rotation proposé par le constructeur.



## FLUGVERLAUF

Am Samstag, 1. Mai 1993, wurde am Helikopter Hughes 269C, HB-XNG, der Alternator ausgewechselt. Anschliessend führte der Eigentümer und Halter verschiedene Flüge auf seinem amtlich bewilligten Landeplatz bei Sevelen durch. Beim dritten Start mit zwei Mitarbeitern an Bord hob der Pilot den Helikopter zunächst senkrecht ab. Beim Uebergang in die Translation schlug plötzlich das Heck nach rechts aus. Der Motor heulte kurz auf. Nach einer halben Umdrehung um die Hochachse schlug der Helikopter einige Meter vom Startplatz entfernt auf einem Ackerfeld hart auf.

Personenschäden entstanden keine. Der Helikopter wurde beschädigt.

## BEFUNDE

- Der Pilot war formell und materiell berechtigt den geplanten Flug durchzuführen.
- Der Helikopter war zum Verkehr zugelassen. Eine erste Inspektion ergab, dass der Fehlstart auf einen Antriebsverlust, infolge Bruch der aus dem legierten Vergütungsstahl AMS 6418 gefertigten Antriebswelle zwischen Triebwerk und unterer Keilriemenscheibe (lower coupling drive shaft P/N 269A5559-3), zurückzuführen ist (siehe Beilage 1).

Die von der EMPA durchgeführte Laboruntersuchung der Antriebswelle ergab folgendes:

*Der schrägläufig etwa 45° zur Wellenachse verlaufende Bruch befindet sich unmmittelbar beim Uebergang von einer der beidseitigen Bogenzahnkupplungen zur Welle mit einem Durchmesser von 20,5 mm. In der Bruchflächenmitte ist ein klaffender Spalt vorhanden, in dessen Fortsetzung im Wellenbereich eine axial verlaufende Werkstofftrennung vorliegt (siehe Beilage 2). Es muss somit davon ausgegangen werden, dass die Auslösung des Bruches mit der vorbestandene Werkstoffschädigung in ursächlichem Zusammenhang steht. Eine ebenso angeordnete, feinere Trennung ist an einer anderen Stelle des Wellenumfangs festzustellen (siehe Beilage 3).*

### *Fraktografische Untersuchung*

*Obwohl beide Bruchflächen durch erhebliche Reibspuren gekennzeichnet sind, konnten in den auswertbaren Partien bereits makroskopisch die typischen Merkmale eines Ermüdungsbruches in Form von Rastlinien festgestellt werden. Der Bruch ist von der vorbestandene Werkstofftrennung ausgegangen und dann teilweise in terrassenförmigen Abstufungen bis zum Restbruchbereich weiter gewachsen. Diese Bruchtopographie ist als typisches Merkmal eines Torsionsbruches anzusehen. Die Untersuchung der Bruchfläche im Raster-elektronenmikroskop bestätigt innerhalb der fraktografischen auswertbaren Zonen den makroskopischen Befund, indem in den weitaus grössten Bereichen die Charakteristik eines Ermüdungsbruches nachzuweisen war. Lediglich in einer schmalen Zone liegen die Merkmale eines duktilen Gewaltbruches, mit feinen Grübchen vor. Aus dem Verhältnis von Ermüdungsbruchanteil und Restbruch kann geschlossen werden, dass der Bruch unter einer kleinen Nennspannung gewachsen ist.*

### *Metallographische Untersuchung*

*An einem Querschliff etwa 5 mm unterhalb des Bruchauslaufes wurden folgende Feststellungen gemacht: Der Hauptriss, dehnt sich etwa über zwei Drittel des Wellenquerschnitts aus und zeigt am Rissauslauf deutliche Verästelungen (siehe Beilage 4). Ein derartiger Risscharakter deutet bereits im Makrobereich auf eine Schädigung infolge Korrosionseinflüssen hin. Das gleiche gilt für die weiteren Anrisse. Deutlicher noch zeigt sich der Schädigungscharakter bei der mikroskopischen Untersuchung, indem zahlreiche, feinste Verzweigungen festgestellt wurden, welche bevorzugt an Stellen mit geringer Rissöffnung mit Korrosionsprodukten angefüllt sind. Als wichtigster Hinweis für die Art des Schädigungsmechanismus jedoch sind diejenigen äusserst feinen Risse anzusehen, welche von zahlreichen über den gesamten Wellenumfang angeordneten Korrosionsnarben ausgehen. Diese, von Korrosionsnarben ausgehenden Risse, welche in der Entstehungsphase in der Regel frei von Korrosionsprodukten und mit geringster Oeffnungsweite meist geradlinig in den Werkstoff verlaufen, sind gemäss zahlreicher Literaturhinweisen als charakteristisches Merkmal einer Schädigung infolge wasserstoffinduzierter Spannungsrisskorrosion (HISRK) anzusehen.*

*Das Mikrogefüge besteht aus fein ausgebildeten Martensitnadeln. Eine Anlasswirkung, welche sich im Gefüge durch feinste Karbide zeigen würde, ist lichtoptisch nicht zu erfassen. Daraus ist abzuleiten, dass der Anlassprozess bei sehr niedriger Temperatur erfolgt sein muss, woraus auf eine höchstfeste Werkstoffqualität geschlossen werden kann.*

### *Untersuchung mit der Elektrodenstrahl-Mikrosonde*

*Die mikroanalytische Untersuchung der Korrosionsprodukte in den Rissausläufern ergab keinerlei Hinweise auf korrosiv wirkende Medien wie z.B. Chlorverbindungen u.a.*

### *Härtemessungen nach Vickers HV*

*Diese Prüfung ergab zwischen 480 - 490 HV10 schwankende Werte. Damit bestätigt sich die bei der Gefügeuntersuchung gemachte Feststellung, dass es sich um einen höchstfestvergüteten Stahl handelt, was insbesondere zur Fertigung von Wellen als ungewöhnlich anzusehen ist. Gemäss Umwertungstabelle DIN 50 150 entspricht dies einer Zugfestigkeit von 1555 - 1595 N/mm<sup>2</sup>.*

### *Zusammenfassung*

*Es wurde festgestellt, dass die Welle einen unter relativ geringer Nennspannung gewachsenen Torsionsermüdungsbruch aufweist, welcher durch einen Längsriss in der Welle ausgelöst worden ist. Als Rissursache konnte eindeutig eine Schädigung infolge wasserstoffinduzierter Spannungsrisskorrosion nachgewiesen werden. Hierfür sind als charakteristische Merkmale in erster Linie die von zahlreichen Lochfrassstellen ausgehenden feinen Anrisse mit äusserst geringer Oeffnungsweite anzusehen, welche neben Spaltkorrosion als Voraussetzung für diese Schädigungsart anzusehen sind. Darüber hinaus muss sowohl die starke Verästelung der Hauptrisse sowie auch das Fehlen korrosiv wirkender Medien innerhalb der Korrosionsprodukte als typische Anzeichen für diesen Schädigungsmechanismus gewertet werden. Als weiteres Indiz ist die Anfälligkeit des Werkstoffes anzusehen. Es ist hinreichend bekannt, dass hochfeste Stähle in besonderem Masse gegenüber HISRK gefährdet sind. Da es sich im vorliegenden Falle um einen für die Fertigung von Wellen eher ungewöhnlich höchstfesten Stahl handelt, fällt diese Anfälligkeit besonders in Betracht.*

*Nachstehend einige Erläuterungen zu vorliegendem Schädigungsmechanismus: Im Rahmen von Korrosionsprozessen (Lochfrass) wird bei katodischen Teilreaktionen Wasserstoff frei und führt hier zur Schädigung. Die als Ionen (d.h. Protonen) vorliegenden Werkstoffatome können lokal in das Metallgitter eindringen und Dekohäsionserscheinungen bewirken, was zu Rissbildung führt. Beim weiteren Rissfortschritt ist zu berücksichtigen, dass die Wasserstofflöslichkeit an der Rissspitze wegen des dort aufgeweiteten Gitters wesentlich erhöht ist und dass beim Erreichen kritischer Konzentrationen die Bruchzähigkeit drastisch herabgesetzt wird. Als Elektrolyt reicht bei diesem Prozess reines Wasser und in vielen Fällen auch Luftfeuchtigkeit.*

*Bezüglich der Bildung der in axialer Richtung verlaufenden Längsrisse muss davon ausgegangen werden, dass dort die unter Torsionbeanspruchung auftretenden Schubspannungen am grössten sind.*

*Um Schäden vorliegender Art zu vermeiden wird dringend empfohlen, gleiche Teile einer periodischen Risskontrolle zu unterziehen.*

- Der Helikopter (Baujahr 1973) wurde im Frühjahr 1982 mit 920 Betriebsstunden aus England in die Schweiz eingeführt. Im Jahr 1985 wurde er nach 1884 Std. beschädigt. Das nicht mehr flugtüchtige Gerät wurde vom heutigen Besitzer käuflich erworben, vollständig zerlegt, überholt und wieder in Betrieb gesetzt. Am 1. Mai 1993 (Unfalltag) wies der Helikopter insgesamt 2456 Betriebsstunden auf, die betreffende Antriebswelle, deren Lebensdauer auf 6000 Std. begrenzt ist, ebenfalls. Die letzte amtliche Zustandsprüfung fand am 6.10.1992 nach 2426 Std. statt. Alle Service Bulletins und Lufttüchtigkeitsanweisungen wurden nachgeführt. Rissprüfungen nach den herkömmlichen zerstörungsfreien Verfahren sind keine aktenkundig.

Mit dem Service Bulletin B-257 vom 20. Januar 1993 (herausgegeben rund drei Monate vor dem Unfall und, gemäss Aussagen des Halters, nachgeführt am 19.4.93 anlässlich eines Motorenwechsels rund 4 Betriebsstunden vor dem Unfall), wird lediglich eine visuelle Begutachtung der unteren Antriebswelle auf Risse und sonstige sichtbaren Schäden sowie eine Messung der Oberflächengüte des Schaftes (surface finish of 32 Ra or better) verlangt. Am Schluss des Bulletins wird auf die Gefahr eines Ueberdrehen des Motors in entkuppeltem Zustand hingewiesen und der Einbau des "Engine Overspeed Control Kit P/N 269A 4997-1", empfohlen. Der Helikopter war nicht mit diesem Kit ausgerüstet.

### BEURTEILUNG

In ihrem Gutachten kommt die EMPA zum Schluss, dass der Torsionsermüdungsbruch durch einen vorbestandenen Längsriss (87 mm) in der Welle ausgelöst worden ist, dessen Ursprung in einer Schädigung durch wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion, ausgehend von äusserst feinen Rissen im Bereich von Korrosionsnarben am Umfang der Welle, zu suchen ist.

Antriebsschäden dieser Art (Bruch der unteren Antriebswelle), bisher der dritte in der Schweiz, sind seit langem bekannt. Sie treten dadurch auf, dass dieses Bauteil mit anhängender unterer Riemenscheibe in entkuppeltem Zustand bei Motordrehzahl zwischen 1800 und 2350 rpm extreme Drehschwingungen durch Resonanzerscheinungen zeigt, die genügend sind, um eine Schädigung im Bereich der kristallinen Struktur des Werkstoffes einzuleiten. Die Rissfortpflanzung erfolgt dann mit unterschiedlicher Geschwindigkeit und kann zum Bruch der Welle führen. Der Hersteller begegnete dem Problem dadurch, dass in das Flughandbuch des Helikopters der Hinweis eingefügt wurde, das Triebwerk in entkuppeltem Zustand nicht über 1600 rpm zu betreiben, und ab 1987, mit dem Angebot eines Nachrüstkits zur Begrenzung der Motordrehzahl. Nach ungewolltem Ueberschreiten dieser Drehzahl ist eine Sonderinspektion der Welle durchzuführen.

Dieses Helikoptermuster wird öfters für die Grundschulung und für die Erfüllung der Pflichtstunden zur Erneuerung des Ausweises für Privatpiloten eingesetzt. Demzufolge und mit Rücksicht auf die Tatsache, dass, wie die Erfahrung zeigt:

- beim Anlass des Motors, besonders in betriebswarmem Zustand, sehr leicht der Bereich der kritischen Drehzahl erreicht werden kann,
- beim Ueberschreiten der zulässigen Drehzahl kein augenfälliger Schaden eintritt und in Unkenntnis der möglichen Folgen ein solcher Vorfall nicht immer gemeldet wird,

sollte nebst der von der EMPA empfohlenen periodischen Risskontrolle der Einbau des vom Hersteller angebotenen Drehzahlbegrenzers vorgeschrieben werden.

Zu bemerken ist auch die Tatsache, dass das letzte vom Hersteller herausgegebene Service Bulletin nicht unbedingt geeignet ist eine bereits eingetretene Beschädigung der Welle festzustellen.

**URSACHE**

Der Unfall ist zurückzuführen auf:

Ernüdtungsbruch der zwischen Triebwerk und unterer Keilriemenscheibe eingebauten Antriebswelle infolge eines vorbestandenen Schadens durch Spannungsrisskorrosion, wobei eine Ueberschreitung der maximal zulässigen Motordrehzahl in entkuppeltem Zustand den Rissfortschritt gefördert oder den Bruch ausgelöst haben kann.

**EMPFEHLUNG**

Die von der Eidg. Materialprüfungsanstalt (EMPA) empfohlene periodische Risskontrolle und der Einbau des vom Hersteller angebotenen Drehzahlbegrenzers sollten vorgeschrieben werden.

Die Kommission verabschiedete den Schlussbericht einstimmig.

Bern, 27. Oktober 1994

EIDG. FLUGUNFALL-  
UNTERSUCHUNGSKOMMISSION

Der Präsident:

sig. H. Angst

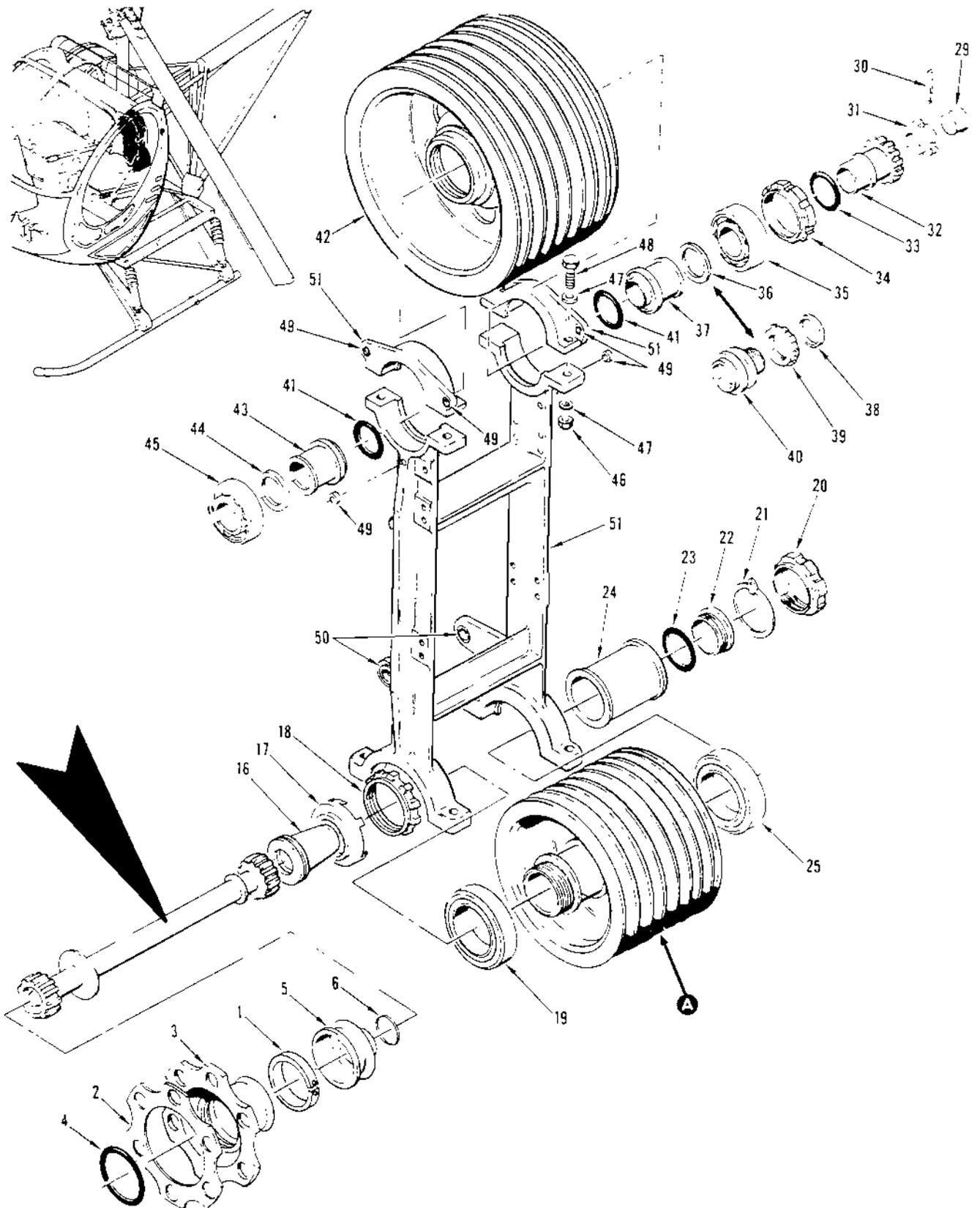


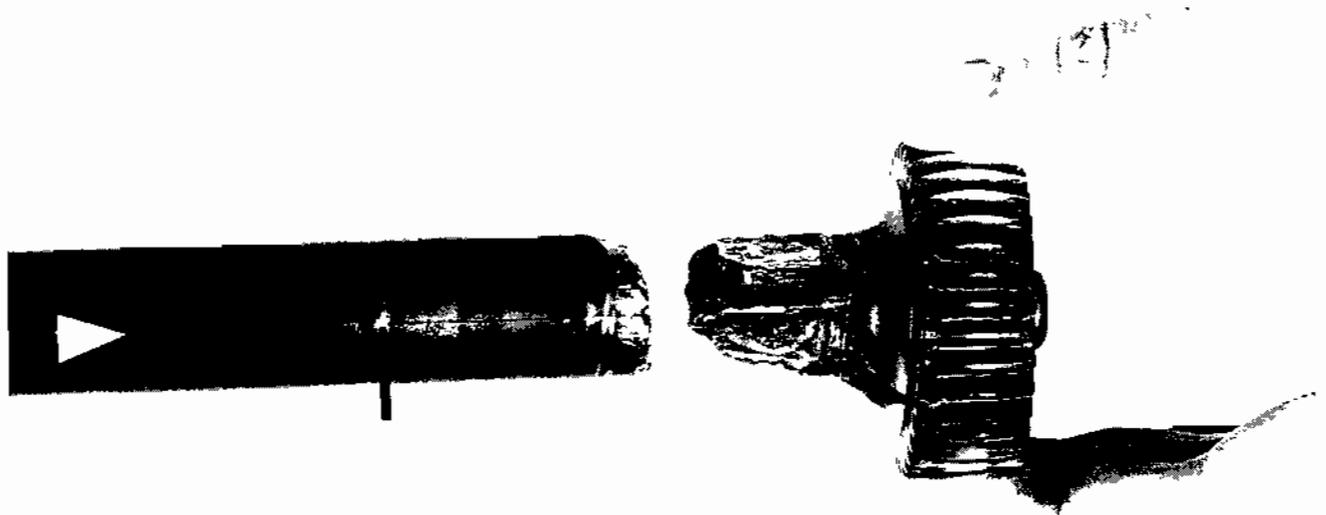
Figure 24. Main Rotor Belt Transmission Drive Assembly Installation (Sheet 1 of 2)

## Tafel I

### Ansicht des Bruchbereiches

Foto EMPA-Nr.:100 673

Vergrößerung: 1:1



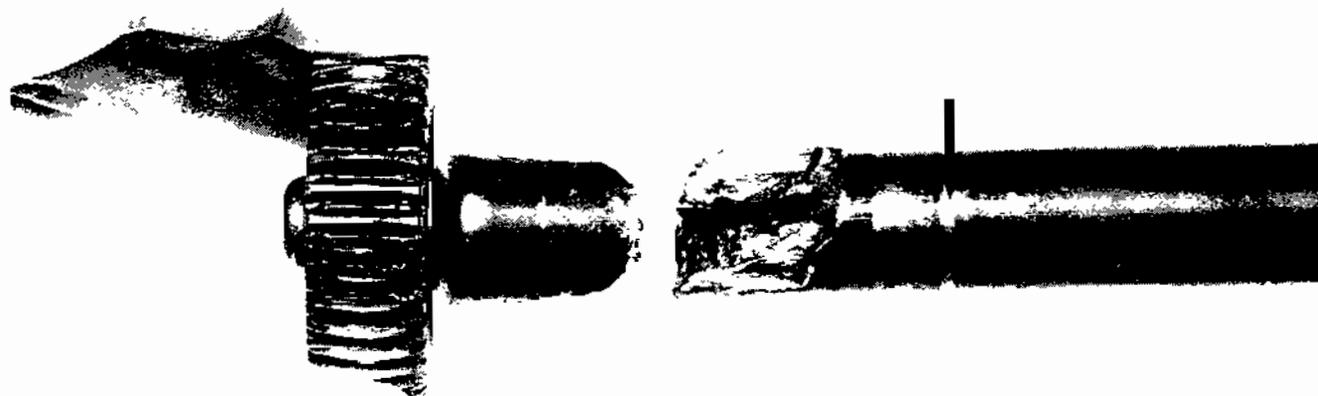
Schräglächig verlaufende Bruchfläche mit klaffendem Spalt sowie in dessen Verlängerung axial verlaufende Werkstofftrennung in der Welle (Pfeil)

Tafel II

Ansicht der Gegenseite der Bruchzone

Foto EMPA-Nr.:100 674

Vergrößerung: 1:1



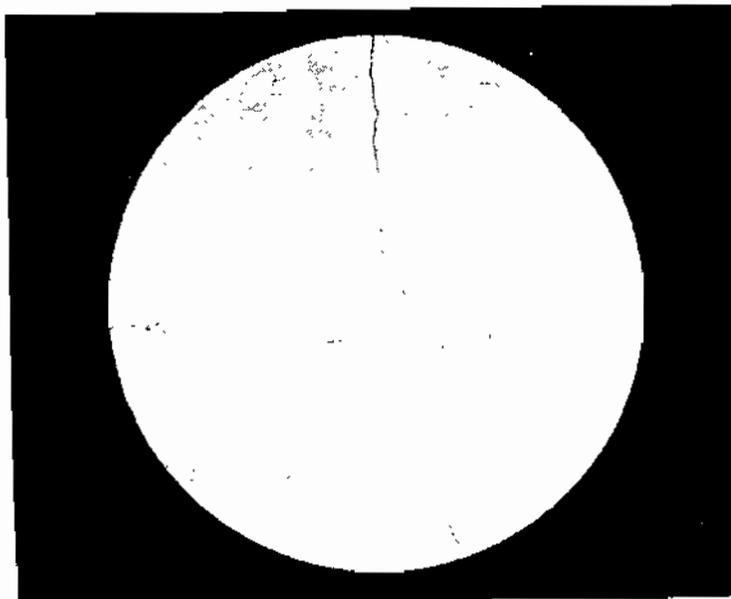
Feinster weiterer Anriss (Pfeil) an einer anderen Stelle des Wellenumfanges

Tafel V

Makroaufnahme

Foto EMPA-Nr.:51409

Vergrosserung:3,5-fach



Schnitt ca. 5 mm unter dem Bruchauslauf: 2/3 des Querschnitts einnehmender verzweigter Hauptriss sowie mehrere im Makrobereich erkennbare Nebenrisse