



# Schlussbericht der Eidgenössischen Flugunfall-Untersuchungskommission

## über den Unfall

des Helikopters SA 319 B "Alouette III", HB-XOM

Air Zermatt AG

vom 9. Juni 1988

in Zermatt/VS

## RESUME

Le pilote avait pour mission de poser une sirène d'alarme sur le toit d'un bâtiment scolaire à Täsch.

Au cours du vol, il constate des vibrations anormales au niveau du rotor principal. A l'issue de sa mission, il retourne à Zermatt avec à son bord un mécanicien de la compagnie Air Zermatt et les deux techniciens de l'entreprise chargée de l'installation de la sirène. Par radio, il annonce au responsable de la coordination des vols son intention d'effectuer un vol de contrôle et requiert, apparemment dans le but d'augmenter la charge de l'appareil, deux personnes en sus. Après l'atterrissage, deux employés d'Air Zermatt montent à bord et l'appareil redécolle aussitôt.

Environ 8 minutes plus tard, le pilote annonce son retour à la base sans signaler de problèmes particuliers. Au cours de l'approche, le rotor principal et la boîte de transmission se détachent de l'hélicoptère qui s'écrase au sol d'une hauteur d'environ 80 m. L'appareil est détruit par un incendie.

Tous les occupants ont péri dans l'accident.

## CAUSE

L'accident est très vraisemblablement la conséquence d'un balourd dynamique divergent du rotor principal, engendré par un détachement des pâles dont la cause n'a pas pu être élucidée.

## RECOMMANDATION

La Commission fédérale d'enquête sur les accidents d'aviation recommande à l'Office fédéral de l'aviation civile de rappeler aux exploitants d'hélicoptères Alouette III et Lama les points suivants:

Le comportement vibratoire des hélicoptères Alouette III et Lama peut, à l'usage, se dégrader de façon telle que les appareils deviennent sensibles à la résonance au sol et éventuellement à la "résonance en vol". Ce phénomène peut provoquer un détériorage des pales au niveau du disque rotor (écart normal 120°).

Le balourd dynamique divergent qui en résulte peut conduire à la destruction de l'hélicoptère.

L'expérience a montré que les appareils qui ont une certaine propension à entrer en résonance au sol sont plus sensibles à la "résonance en vol", phénomène nettement plus dangereux.

Un réglage conforme du rotor principal (réglage des excentriques et des amortisseurs de traînée, tracking des pales, élimination du balourd) est de ce fait extrêmement important.

Lorsqu'un pilote constate un comportement vibratoire anormal, l'appareil doit être aussitôt retiré du service de vol, afin que les mesures nécessaires au rétablissement d'un comportement satisfaisant puissent être prises. En cas de doute quant à l'importance du phénomène, il est recommandé d'effectuer un contrôle au moyen d'appareils de mesure électronique appropriés tels que Strobex, Rotortuner, etc. Ceux-ci présentent l'avantage de pouvoir fournir des indications précises qui permettent de décider en toute objectivité, indépendamment de l'appréciation du pilote ou de considérations d'ordre économique, si des mesures correctrices s'imposent.

Le constructeur a publié deux documents se référant au comportement vibratoire des hélicoptères Alouette III et Lama, à savoir :

- A) Lettre de service no 690-00-85 concernant le comportement vibratoire des Alouettes III au sol (dans une certaine mesure également valable pour les Lamas).
- B) Service Bulletin 05.24 (Lama), 05-78 (Alouette III) se référant au contrôle périodique des câbles de tierçage et comportant des remarques intéressantes sur les vibrations en vol engendrées par des phénomènes aérologiques (paragraphes c3 et d).

## 0. ALLGEMEINES

### 0.1 Kurzdarstellung

Anlässlich eines Arbeitsfluges der Firma Air Zermatt stellte der Pilot abnormale Vibrationen am Helikopter fest. Beim Rückflug nach Zermatt mit einem Mechaniker und zwei Mitarbeitern der Kundin an Bord teilte der Pilot der Einsatzzentrale mit, dass er einen kurzen Probeflug durchführen möchte und zu diesem Zweck noch zwei weitere Insassen benötige. Nach der Landung auf dem Heliport der Firma Air Zermatt stiegen zwei Betriebsangehörige ein. Nach einem rund achtminütigen Flug kehrte der Helikopter zur Basis zurück. Im Landeanflug löste sich der Hauptrotor samt Hauptgetriebe von der Zelle des Helikopters. Der Helikopter stürzte ab und brannte aus. Alle Insassen fanden den Tod.

### Ursache

Der Unfall ist höchstwahrscheinlich auf eine divergierende dynamische Unwucht des Hauptrotors nach Verschiebung des winkligen Sitzes der Rotorblätter, aus Gründen, die nicht abgeklärt werden konnten, zurückzuführen.

### EMPFEHLUNG

Die Eidg. Flugunfall-Untersuchungskommission (EFUK) empfiehlt dem Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) den Betreibern der Helikopter Alouette III und Lama die folgenden Punkte in Erinnerung zu rufen:

Bei den Helikoptern Alouette III und Lama kann sich das Schwingungsverhalten im Verlaufe der Zeit soweit verschlechtern, dass die Maschine empfindlich wird auf Bodenresonanz und eventuell "Resonanz im Flug". Diese Erscheinungen führen dazu, dass die gleichmässige Verteilung der Hauptrotorblätter auf der Rotorebene (normalerweise je  $120^\circ$ ) gestört wird. Die dabei entstehende divergierende dynamische Unwucht wird genügend gross, um den Helikopter zu zerstören. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen kann gesagt werden, dass Alouette III und Lama, die leicht in Bodenresonanz geraten, ebenfalls anfälliger sind auf die bedeutend gefährlichere "Resonanz im Flug". Eine korrekte Einstellung des Hauptrotors (Exzenter, Spurlauf, Unwucht, Schwenkdämpfer) ist daher äusserst wichtig.

Stellt nun ein Pilot ein unbefriedigendes Schwingungsverhalten fest, so sollte die betreffende Maschine unverzüglich aus dem Flugbetrieb genommen, und die entsprechenden Korrekturmassnahmen durchgeführt werden. Bestehen Zweifel betreffend der Grösse der

Vibrationen, so empfiehlt sich eine Messung mit den bekannten elektronischen Geräten wie Strobex, Rotortuner etc. Diese haben den Vorteil, dass die Messdaten und somit die Entscheidungsgrundlage über die weitere Verwendbarkeit des Helikopters ohne Beeinflussung durch das Gefühl des jeweiligen Piloten oder andere Faktoren (wie z.B. grosser Bestand an Flugaufträgen ohne verfügbare Ersatzmaschine etc.), ermittelt werden. Die Mitnahme von Passagieren bei derartigen Flügen ist zu unterlassen.

Aerospatiale hat betreffend Schwingungsverhalten bei Alouette III und Lama u.a. die folgenden Mitteilungen publiziert:

- A) Service Letter No. 690-00-85 betreffend Schwingungsverhalten der Alouette III am Boden. (In wesentlichen Punkten auch für das Lama gültig)
- B) Service Bulletin 05.24 (Lama) resp. 05.78 (Alouette III)  
Diese beinhalten die Kontrolle der Ausgleichsseile, sowie beachtenswerte Anmerkungen über die "aerologischen Schwingungen im Fluge". (Paragraphen C 3 und D).

## 0.2 Untersuchung

Die Voruntersuchung wurde von Herrn Hubert Maeder geleitet und mit Zustellung des Voruntersuchungsberichtes vom 16. Mai 1990 an den Kommissionspräsidenten am 29. Mai 1990 abgeschlossen.

## 1. FESTGESTELLTE TATSACHEN

### 1.1 Flugverlauf

1.1.1 Mittwoch, den 8. Juni 1988, abends, stellte der Air-Zermatt Mechaniker, der beim Flugunfall tödlich verletzt wurde, am Helikopter SA 319B, HB-XOM, fest, dass der Schwenkdämpfer eines Hauptrotorblattes undicht geworden war und Oel verlor. Nach Rücksprache mit dem Chefmechaniker wechselte er alle drei Schwenkdämpfer am Hauptrotor aus.

1.1.2 Am anderen Tag übernahm der Pilot den Helikopter und flog zwischen 0800\*) und 1000 Uhr morgens, teils mit Aussenlast, teils mit Fluggästen, sechs Rotationen mit einer Gesamtflugzeit von rund 1 1/4 Stunden.

Um 1053 Uhr startete der Pilot erneut, um mit zwei Mitarbeitern einer dazu spezialisierten Firma eine Sirenenanlage auf dem Dach eines Schulhauses in Täsch zu installieren. Nach Beendigung des Auftrages, der nur einige Minuten dauerte, flog der Pilot mit dem Mechaniker und den zwei Mitarbeitern der Kundin an Bord nach Zermatt zurück. Per Funk teilte der Pilot dem Einsatzleiter auf der Helibasis mit, dass er einen kurzen Probeflug durchführen möchte und zu diesen Zweck noch zwei weitere Insassen benötige. Nach der Landung stiegen zwei Betriebsangehörige der Firma Air Zermatt in den Helikopter ein.

Ueber den Verlauf des Fluges, der rund acht Minuten dauerte, liegen bis kurz vor der Endphase keine Beobachtungen vor. Der Pilot hatte seine bevorstehende Landung beim Einsatzleiter bereits angekündigt und bei dieser Gelegenheit auch angefragt, ob ein weiterer Auftrag vorliege, als Forstarbeiter und Spaziergänger auf den Helikopter aufmerksam wurden, der die linke Talseite entlang Richtung Zermatt flog. Sein Geräusch war ungewöhnlich. Plötzlich löste sich der Hauptrotor samt Getriebe von der Mittelstruktur. Der Rumpf ging in einen steilen Bahnneigungswinkel über, schlug aus rund 80 m/G auf Gras- und Felsboden auf und verbrannte. Alle Insassen fanden den Tod.

Die Unfallstelle liegt auf rund 1660 m/M, rund 800 m vom Heliport der Firma Air Zermatt talwärts entfernt.

Landeskarte der Schweiz, 1:25'000, Blatt Nr. 1328, Randa.  
Koordinaten: 624 600/098 250.

## 1.2 Personenschäden

	<u>Besatzung</u>	<u>Fluggäste</u>	<u>Drittpersonen</u>
Tödlich verletzt	1	5	---
Schwer verletzt	---	---	---
Nicht oder leicht verletzt	---	---	

## 1.3 Schäden am Luftfahrzeug

Der Helikopter wurde zerstört.

\*) Alle Zeiten sind Lokalzeiten (UTC+2)

#### 1.4 Sachschaden Dritter

Geringfügiger Flurschaden.

#### 1.5 Beteiligte Personen

##### 1.5.1 Pilot

+Schweizerbürger, Jahrgang 1955.

Führerausweis für Berufspiloten (Kat. Hubschrauber), ausgestellt durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL), gültig bis 5. Oktober 1988 mit Eintrag für das Unfallbaumuster.

##### Flugerfahrung

Insgesamt ca. 4700 Std., wovon ca. 530 Std. auf Alouette. In den letzten 3 Monaten 87 Std., wovon 41 Std. auf dem Unfallmuster.

##### 1.5.2 Mechaniker

+Schweizerbürger, Jahrgang 1958.

Lizenziertes Luftfahrzeugmechaniker.

##### 1.5.3 Passagiere

###### Passagier A

+Schweizerbürger, Jahrgang 1967.

Keine fliegerischen Ausweise und Erfahrung.

###### Passagier B

+Schweizerbürger, Jahrgang 1971.

Keine fliegerischen Ausweise und Erfahrung.

###### Passagier C

+Schweizerbürger, Jahrgang 1940.

Keine fliegerischen Ausweise und Erfahrung.

## Passagier D

+Schweizerbürger, Jahrgang 1936.

Keine fliegerischen Ausweise und Erfahrung.

## 1.6 Angaben über das Luftfahrzeug HB-XOM

### 1.6.1 Allgemeine Angaben

Eigentümer/Halter:	Air Zermatt AG, 3920 Zermatt
Muster:	SA 319B (Alouette III)
Hersteller:	Société Nationale Industrielle Aérospatiale, Marignane/F
Baujahr/Werksnummer:	1974/1991
Triebwerk:	Turboméca Astazou XIV B
Lufttüchtigkeitsausweis:	ausgestellt durch das BAZL am 22.12.1983
Verkehrsbewilligung:	ausgestellt durch das BAZL am 1.4.1988, gültig bis auf Widerruf

### 1.6.2 Betriebszeiten

Die Zelle wies insgesamt 5231, das Triebwerk 2522 Std. auf. Die letzte amtliche Zustandsprüfung fand am 24. Juli 1986 nach 4365 Std., die letzte 800-Stunden-Kontrolle der Zelle (T2-2), verbunden mit einer 100-Stunden-Kontrolle des Triebwerkes, im April 1988 nach 5192 Std. statt.

Anlässlich der 800-Stunden-Kontrolle wurden u.a. das Hauptgetriebe (BTP), beide V-förmigen Befestigungsstreben inkl. Befestigungsbolzen sowie alle drei Schwenkdämpfer am Hauptrotor ausgewechselt. Ferner wurden die ausgeschlagen vorgefundenen Bolzenanschlüsse 6D-6G-5 des Rumpfes am Zentral-Rohrgitterverband mit Einbau von Lagerhülsen gemäss Herstellervorschriften sowie die Befestigung des Stabilos repariert.

Beim anschliessenden Kontrollflug stellte der testende Pilot fest, dass der Helikopter bei Erreichen der maximal zulässigen Geschwindigkeit nach links kippt, am Boden "eiert" und in Bodenresonanz gerät. Zur Behebung dieser Beanstandungen wurde der rechte Ski neu fixiert, das gelbe Blatt am Hauptrotor um 1/6 nach unten korrigiert und die oben erwähnten Schwenkdämpfer ausgewechselt.

Rund einen Monat nach der 800-Stunden-Kontrolle musste ein beschädigtes Heckrotorblatt ausgewechselt und am Vortag des Unfalles die drei Schwenkdämpfer am Hauptrotor infolge Undichtigkeit einer Einheit ausgebaut werden. Zum Einbau gelangten

drei von einem amtlich anerkannten Luftfahrzeug- Unterhaltsbetrieb geprüfte, als lufttüchtig deklarierte und total 783 Betriebsstunden aufweisende Dämpfer.

Gemäss den Unterhaltsakten wurde der Helikopter vorschriftsgemäss gewartet. Sämtliche herausgegebenen Lufttüchtigkeitsanweisungen und Servicebulletins sind vorhanden.

### 1.6.3 Masse und Schwerpunkt

Die maximal zulässige Abflugmasse beträgt 2250 kg. Die Masse im Zeitpunkt des Unfalles konnte nicht genau ermittelt werden; sie dürfte aber 1900 kg nicht überschritten haben. Mit normaler Beladung der Kabine und ohne zusätzliche Lasten muss sich der Schwerpunkt im normalen Bereich befunden haben.

### 1.7 Wetter

Das Wetter in der Schweiz war durch eine schwache Hochdrucklage gekennzeichnet.

Im Unfallraum war der Himmel mit 1/8 Cu auf 2800 m/M und 2 - 3/8 Ci nur leicht bedeckt. Die Flugsicht betrug mehr als 20 km. Der Wind war schwach und variabel. Die Lufttemperatur betrug 15°C, der Taupunkt -1°C und der Luftdruck 1017 hPa QNH.

### 1.8 Navigations-Bodenanlagen

Nicht betroffen.

### 1.9 Funkverkehr

Die Funkverbindung zwischen dem Piloten und der Einsatzleitung auf dem Heliport in Zermatt wickelte sich auf der sogenannten Helikanal-Frequenz ab. Der letzte Funkspruch des Piloten war die Meldung über seine unmittelbar bevorstehende Landung. Sein Tonfall war dabei absolut normal und liess nicht auf besondere Probleme an Bord schliessen.

Der diensttuende Einsatzleiter erinnert sich während des Einsatzes des Helikopters in Täsch, Bruchstücke vom Gespräch zwischen dem Piloten und seinem Mechaniker mitbekommen zu haben, worin das Wort Schwenkdämpfer mindestens einmal ausgesprochen wurde. Dabei soll der Pilot den Mechaniker ersucht haben, ihn beim Rückflug nach Zermatt zu begleiten.

## 1.10 Flugschreiber

Nicht vorgeschrieben, nicht eingebaut.

## 1.11 Flughafen-Bodeneinrichtungen

Der Heliport der Firma Air Zermatt befindet sich auf einer gegenüber der Talsohle erhöhten Plattform am nördlichen Ausgang der Ortschaft. Der Landeanflug wird in der Regel talaufwärts durchgeführt, wobei die Landekurve ungefähr an der Stelle eingeleitet wird, wo sich der Unfall ereignete.

## 1.12 Befunde am Wrack

Nach dem Verlust des Hauptrotors stürzte der Helikopter ab, schlug auf unebenem Grasboden auf und brannte, mit Ausnahme des Triebwerkes, des Heckauslegers und des abgetrennten Heckrotors mit Getriebe, das unweit des Hauptwracks am Boden zu liegen kam, vollständig aus. Der Hauptrotor samt Hauptgetriebe schlug rund 80 m querab westlich des Rumpfes in einem steinigen Bachbett auf. Auf einer Entfernung bis 200 m von der Unfallstelle wurden in unwegsamem mit dichtem Gebüsch bedecktem Gelände folgende Bestandteile gefunden: Schäkel und Büchsen eines Hauptrotorausgleichsseils, die Hälfte eines abgeschlagenen Heckrotorblattes, zusammenhängende Teile der Hauptrotorsteuerung zwischen mechanischem Boden und Taumelscheibe, ein Warmluftverteiler sowie die Freilaufwelle, die querab östlich des Hauptwracks im Gras lag.

Die Antriebswelle zum Heckrotorgetriebe sowie das Ausgleichsseil zwischen gelbem und blauem Hauptrotorblatt fehlen.

Der Verbindungsbolzen der vorderen rechten Strebe des Hauptgetriebes am Knotenpunkt D8 (vorne rechts) der Mittelstruktur wird ebenfalls vermisst. Die V-förmige Strebe mit angeschweisstem Anschlusssauge weist stellenweise Deformationen in Form von Abflachungen und Quetschungen auf, die sekundär beim Aufschlag des Hauptrotors am Boden entstanden sind. Die übrigen drei Streben sind alle in der Mitte gewaltsam gebrochen.

Das auf dem sogenannten mechanischen Boden aufgeschraubte Hauptgetriebegehäuse ist zwischen 1200 und 1500 Uhr entlang des Schraubenkranzes unten gerissen. Ein Teil des angeschraubten mechanischen Bodens ist in diesem Bereich ebenfalls gewaltsam von der Mittelstruktur herausgerissen und entsprechend verbogen.

Am Hauptrotor wurden folgende Feststellungen gemacht: mit Ausnahme des vermissten Ausgleichsseils (gelb/blau) sind alle übrigen Komponenten noch vorhanden. Die Steuerstangen zu den Taumelscheiben sind gebrochen. Die drei Schwenkdämpfer sind aus ihren Befestigungsarmen herausgerissen und nur noch kolbenseitig mit den Rotorblättern verbunden. Die drei Exzenterbüchsen sind

gesichert. Die Ausgleichsseile rot/blau und rot/gelb sind am roten Blatt bei den Schäkeln gerissen. Das fehlende Seil blau/gelb ist ebenfalls beidseitig im Bereich des Schäkel gerissen.

Die Hauptrotorblätter sind stark beschädigt. Die grössten strukturellen Beschädigungen weist das rote Blatt auf. Die am Blattholm verschraubte Endrippe ist samt Ausgleichsgewichte und Endkappen herausgerissen und fehlt. Der Holm selbst ist bogenförmig nach hinten gekrümmt. Der Blattfuss ist im rohrförmigen Bereich entzwei gebrochen. Das Lamellenpaket ist in diesem Bereich gestaucht.

Das blaue Blatt ist halbkreisförmig nach oben verbogen. Endkappe und Rippen sind vorhanden. Die Endkappe ist vollständig nach innen eingedrückt und durch die zwei Bolzen der Massenausgleichsgewichte perforiert.

Das gelbe Blatt ist normal gestreckt. Die Eintrittskante weist im letzten Drittel eine starke Einschlagspur auf, die der Freilaufwelle zugeordnet werden konnte. Diese Beschädigung ist sekundär und nach dem Wegreissen des Hauptgetriebes entstanden. Die Freilaufwelle löste sich und schlug in das gelbe Blatt ein.

Das rote und das gelbe Blatt weisen auf der Beplankung an den Blattenden Farbspuren vom Heckausleger und den Heckrotorblättern auf. Messungen ergaben, dass das Eindringen des Hauptrotorkreises im Heckbereich erst stattgefunden hat, als sich das Gebilde Hauptrotor/Hauptgetriebe bereits von der Mittelstruktur gelöst hatte.

### 1.13 Medizinische Feststellungen

Die durch das gerichtlich-medizinische Institut der Universität Bern durchgeführte Obduktion des Piloten hat im Wesentlichen folgendes ergeben:

Die beim Absturz erlittenen schwersten Verletzungen haben zum Tode geführt, wobei mehrfache Herzrupturen zusammen mit einer vollständigen Trennung der Brustorta todesursächlich waren. Die Verbrennung der Leiche ist post mortem erfolgt. Organische Leiden, die für den Eintritt des Unfalles hätten verantwortlich sein können, konnten keine nachgewiesen werden. Toxikologisch-chemisch wurde ein Kohlenmonoxidanteil von 8% CO-Hb und ein CN-Anteil von 2.0 ug/g ermittelt. Weitere körperfremde Instanzen wurden nicht nachgewiesen. Der Pilot stand nicht unter Alkoholeinfluss.

### 1.14 Feuer

Beim Aufschlagen des Rumpfs am Boden brach explosionsartig ein heftiger Brand aus, der die ganze Mittelstruktur mit Kabinenteil vollkommen zerstörte.

## 1.15 Ueberlebenschancen

Der Unfall war nicht überlebbar.

## 1.16 Besondere Untersuchungen

1.16.1 Die Detailuntersuchung der geborgenen Wrackteile fand in der Schweiz und beim Hersteller in Marignane/F statt. Nachdem feststand, dass der Beginn des Desintegrationsvorgangs bei der Bolzenverbindung der vorderen rechten V-Strebe des solidarisch mit dem Hauptrotor verbundenen Hauptgetriebes am Knotenpunkt D8 zu suchen war, wurden weiterführende Ermittlungen in diese Richtung fortgesetzt.

Die V-Streben-Anschlüsse an der Rohrgitterstruktur des Rumpfes sind konstruktiv so ausgelegt, dass die am unteren Ende jeder rohrförmigen Strebe angebrachte Lasche mit eingebautem Kugelenk in ein gabelförmiges auf der Zentralstruktur angeschweisstes Gegenstück eingeschoben und mit einem Bolzen kraftschlüssig verbunden wird. Der auf Scherung beanspruchte Bolzen ist durch Kronenmutter mit Unterlagsscheibe gesichert. Gemäss den Bauplänen beträgt der Uebergangsradius zwischen Schaft und Kopf des Bolzen 0,5 mm und die Ansenkung am entsprechenden Durchgangsloch ebenfalls 0,5 mm.

Zunächst wurde versucht den fehlenden Bolzen oder Bruchteile davon zu finden. Zu diesem Zweck wurden alle beim Brand zu Klumpen verschmolzenen Leichtmetallteile in einer Giesserei nochmals verflüssigt. Ferner wurde das Unfallgelände mit Metallsuchgeräten abgesucht und der Boden in unmittelbarer Nähe der Aufschlagstelle des Rumpfes umgegraben. Mehrere Kilogramme Kleinteile und Schraubenmaterial wurden dabei geborgen, nicht aber der gesuchte Bolzen oder Bruchstücke davon.

1.16.2 Nachforschungen des Untersuchungsleiters bei verschiedenen Helikopterunterhaltsbetrieben haben gezeigt, dass mindestens drei verschiedene unter der gleichen Werknummer laufende Befestigungsbolzen dieser Art, alle nachweisbar vom Hersteller geliefert, im Umlauf sind. Eine Ausführung war geschmiedet, die zwei anderen aus gezogenem Material angefertigt. Massabweichungen wurden im Gewindebereich, in der Dicke des Kopfes und im Radius beim Uebergang zwischen Schaft und Kopf festgestellt. Beim Schaftdurchmesser wurden jedoch keine Abweichungen gegenüber der Werkstattzeichnung festgestellt (10 mm Durchmesser, Toleranz f6 nach galvanischer Behandlung). Härtemessungen ergaben bei allen geprüften Mustern Werte über dem vom Hersteller festgelegten Minimum.

1.16.3 Die Untersuchung der vier rumpfseitigen gabelförmigen Anschlüsse der V-Streben ergab folgendes Bild: beim Knotenpunkt D8 (vorne rechts) waren beide Schenkel gespreizt; der äussere war weniger, der innere stärker verbogen. Die Durchgangslöcher für die Aufnahme des Bolzens waren nicht mehr rund, sondern in Zug-

richtung der Strebe sichtbar ausgedehnt. Die Härte des Werkstoffes wurde gemessen. Sie lag über dem verlangten Minimum. Die übrigen Anschlüsse G8 (vorne links), D7 (hinten rechts) und G7 (hinten links) zeigten ebenfalls Merkmale einer Ueberbeanspruchung, wobei der Befestigungsbolzen des Anschlusses G8 merklich auf Scherung deformiert war.

1.16.4 Ein nach einem ähnlich gelagerten früheren Unfall im Ausland durchgeführter Zerreißversuch an Originalersatzteilen hat zu einem völlig übereinstimmenden Aussehen der im konkreten Fall festgestellten Gabeldeformation geführt. Der Bolzenkopf mit dem anschliessenden im Gabelschenkel steckenden Schaftteil scherte bei einer Belastung von rund 9500 kp, wobei der mittlere, in der Lasche der Zugstrebe befindliche Schaftteil, kröpfungsartig verformt wurde. Die einseitig abgescherte Verbindung konnte noch eine Belastung von rund 500 kp aufnehmen. Die glatte Bruchfläche und die Abplattung des Schaftes waren als charakteristische Hinweise auf den Scherbruch deutlich zu erkennen.

## 1.17 Verschiedenes

1.17.1 Während der Untersuchung wurden dem Untersuchungsleiter von einem Helikopter-Unterhaltsbetrieb vier Bolzen zugestellt, die aus einem sich in Revision befindlichen Helikopter ausgebaut wurden und sichtbare Beschädigungen beim Uebergangsradius zwischen Schaft und Kopf aufwiesen.

## 2. BEURTEILUNG

Der Helikopter stürzte anlässlich eines vom Piloten beschlossenen Kontrollfluges nach Auftreten von unerwünschten Vibrationen während eines Arbeitseinsatzes ab. Als sich der Pilot im Landeanflug befand, löste sich plötzlich der Hauptrotor samt Hauptgetriebe von der übrigen Struktur los. Der Helikopter stürzte ab und brannte weitgehend aus.

Die Durchsicht von Untersuchungsakten über drei ähnlich gelagerte Unfälle im Ausland ergab, dass die Trennung erfolgt war, weil ein Hauptrotorblatt im Heckausleger eingeschlagen hatte. In Abweichung dazu hat die Untersuchung des vorliegenden Falles gezeigt, dass der ebenfalls festgestellte Einschlag im Heck ausserhalb der Rotorebene lag, in einem Zeitpunkt also, wo die Loslösung bereits begonnen hatte.

Die Untersuchung hat ferner gezeigt, dass der Zerstörungsvorgang der Hauptgetriebebefestigung mit dem Bruch des Haltebolzens der vorderen rechten Befestigungsstrebe am Knotenpunkt D8 eingeleitet wurde. Dieser auf Scherung beanspruchte Bolzen kann das rund sechsfache der zulässigen Luftkräfte aufnehmen. In der Folge riss auf dieser Seite zunächst das auf dem mechanischen Boden befestigte Gussgehäuse des Hauptgetriebes oberhalb des Schraubenkranzes und unmittelbar danach ein Teil des verstärkten Blechbodens sowie die drei übrigen Rohrstreben. Der solidarisch mit dem Hauptgetriebe verbundene Hauptrotor kippte dabei nach hinten, kollidierte mit dem Heckausleger, geriet in den Heckrotorkreis und zerschnitt ein Heckrotorblatt.

Befunde an den Hauptgetriebe-V-Strebenanschlüssen auf der Mittelstruktur liessen die Hypothese aufkommen, dass möglicherweise Konstruktionsunzulässigkeiten in diesem Bereich zum Bruch des Bolzens geführt haben könnten. Der gemäss Baupläne festgelegte Radius zwischen Schaft und Kopf des Befestigungsbolzens ist nicht kompatibel mit der vorgeschriebenen Ansenkung am Eingang des Durchgangslochs. Diese Kombination kann zur Beschädigung des Bolzens und unter Umständen, bei Ausweitung des Loches infolge Abnutzung, zu einem Dauerbruch des dann auf den äusseren Schenkel einseitig aufliegenden Kopfes führen. Dennoch ist diese (hypotetische) Annahme im konkreten Fall wenig wahrscheinlich. Bei allen bisher bekannten Fällen erfolgte der Bruch des Strebenanschlusses auf die gleiche Art. Der auf Scherung beanspruchte Bolzen dehnte die beiden Durchgangslöcher der Gabel in Zugrichtung aus, brach dann in zwei oder drei Teile ab, wobei die erste Abscherung nicht unmittelbar beim Kopf, sondern bündig mit der Innenflanke des kopfseitigen Schenkels erfolgte und so zu einer Oeffnung der Gabel führte. Im Gegensatz zu den übrigen bekannten Fällen von Hauptrotorseparationen ereignete sich der primäre Bruch am dynamisch stärker beanspruchten Punkt der Hauptgetriebeverankerung an der Zentralstruktur. Ferner deutet das Bild der bei der Trennung entstandenen Deformationen und Brüche, insbesondere am unteren Teil des Hauptgetriebegehäuses und am mechanischen Boden, auf eine gewaltsame, starke und plötzliche Ueberbeanspruchung dessen Ursprung eher mit einer divergierenden dynamischen Unwucht am Hauptrotor zu erklären ist.

Dieses Helikoptermuster weist einen voll artikulierten Dreiblatt-Hauptrotor auf, wobei die vertikalen Schlag- und die horizontalen Schwenkbewegungen der Blätter durch zweiachsige Zwischenglieder aufgenommen werden. Die Schwenkgelenke haben den Zweck, die durch die Coriolis-Beschleunigung auftretenden Biegekräfte an der Blattwurzel zu begrenzen. Die Schwingungen werden durch drei hydraulische Schwenkdämpfer, die auf die vertikale Schwenkachse montiert sind gedämpft. Die Rotorblattarme sind untereinander durch Ausgleichsseile verbunden, die den winkligen Sitz der Blätter um die Rotorachse gewährleisten. Fehlerhafte Dämpfungscharakteristiken in der Schwenkebene, verursacht z.B. durch mangelhafte Dämpfer oder lose Exzenterbüchsen, können zu Veränderungen im winkligen Sitz der Rotorblätter und somit zu einer dynamischen Unwucht des Rotors führen. Schwingungen treten auf, die in gewissen Fällen zu Rückwirkung von Rotorkräften in

der Servosteuerung und zu Unsteuerbarkeit des Helikopters führen. Dieses Phänomen kann sowohl am Boden (Bodenresonanz) oder auch in der Luft auftreten, z.B. beim Durchfliegen von starken Turbulenzen. An Unfalltag war im Unfallraum die Wetterlage stabil. Aus Aeusserungen des Piloten geht aber hervor, dass er offensichtlich mit Vibrationsproblemen konfrontiert war, deren Ursprung er auf einen möglicherweise nicht richtig funktionierenden Schwenkdämpfer zurückzuführen glaubte.

Der Zustand der Hauptrotorteile nach dem Unfall, insbesondere im Bereich der kritischen Komponenten wie Dämpfer, Ausgleichsseile, Exzenterbüchsen und Blättereinstellung, liess leider keine Schlüsse mehr zu.

Welcher Beanspruchung der Helikopter in Bezug auf Geschwindigkeit und Beschleunigung beim Auftreten des Ereignisses ausgesetzt war, ist nicht bekannt. (Das maximal zulässige Lastvielfache liegt bei +2.)

### 3. SCHLUSSFOLGERUNGEN

#### 3.1 Befunde

- Der Pilot war im Besitz eines gültigen Führerausweises für Berufspiloten.
- Der Helikopter war zum Verkehr zugelassen. Die Untersuchung ergab keinen konkreten Anhaltspunkt für Wartungsmängel.
- Die Wetterlage hatte keinen Einfluss auf den Unfall.
- Während eines vom Piloten beschlossenen Kontrollfluges zu Abklärung des Ursprunges von abnormalen Vibrationen - mit Erhöhung der Flugmasse durch Aufnahme von zwei weiteren Fluggästen - löste sich im Landeanflug der Hauptrotor samt Getriebe von der übrigen Struktur los und schlug in das Heck ein. Der Desintegrationsvorgang wurde mit dem Bruch der Bolzenverbindung der Hauptgetriebebefestigung am dynamisch stärksten beanspruchten Knotenpunkt D8 der Mittelrumpfstruktur eingeleitet. Bruchstücke des Bolzens, der aufgrund von hinterlassenen Spuren auf der Struktur nachweisbar eingebaut war, wurden nicht gefunden. Die Deformationen im Bereich des Knotenpunktes D8 und die weiter entstandenen Schäden an der Getriebebefestigung lassen den Schluss zu, dass die Trennung nach Auftreten übermässiger dynamischer Kräfte am Hauptrotor erfolgt ist.
- Der Helikopter war seit der Inbetriebnahme durch die Firma Air Zermatt im Jahr 1984 ausschliesslich mit Original-Rotorblättern ausgerüstet.

### 3.2 Ursache

Der Unfall ist höchstwahrscheinlich auf eine divergierende dynamische Unwucht des Hauptrotors nach Verschiebung des winkligen Sitzes der Rotorblätter, aus Gründen, die nicht abgeklärt werden konnten, zurückzuführen.

### EMPFEHLUNG

Die Eidg. Flugunfall-Untersuchungskommission (EFUK) empfiehlt dem Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) den Betreibern der Helikopter Alouette III und Lama die folgenden Punkte in Erinnerung zu rufen:

Bei den Helikoptern Alouette III und Lama kann sich das Schwingungsverhalten im Verlaufe der Zeit soweit verschlechtern, dass die Maschine empfindlich wird auf Bodenresonanz und eventuell "Resonanz im Flug". Diese Erscheinungen führen dazu, dass die gleichmässige Verteilung der Hauptrotorblätter auf der Rotorebene (normalerweise je 120°) gestört wird. Die dabei entstehende divergierende dynamische Unwucht wird genügend gross, um den Helikopter zu zerstören. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen kann gesagt werden, dass Alouette III und Lama, die leicht in Bodenresonanz geraten, ebenfalls anfälliger sind auf die bedeutend gefährlichere "Resonanz im Flug". Eine korrekte Einstellung des Hauptrotors (Exzenter, Spurlauf, Unwucht, Schwenkdämpfer) ist daher äusserst wichtig.

Stellt nun ein Pilot ein unbefriedigendes Schwingungsverhalten fest, so sollte die betreffende Maschine unverzüglich aus dem Flugbetrieb genommen, und die entsprechenden Korrekturmassnahmen durchgeführt werden. Bestehen Zweifel betreffend der Grösse der Vibrationen, so empfiehlt sich eine Messung mit den bekannten elektronischen Geräten wie Strobex, Rotortuner etc. Diese haben den Vorteil, dass die weitere Verwendbarkeit des Helikopters ohne Beeinflussung durch das Gefühl des jeweiligen Piloten oder andere Faktoren (wie z.B. grosser Bestand an Flugaufträgen ohne verfügbare Ersatzmaschine etc.), ermittelt werden. Die Mitnahme von Passagieren bei derartigen Flügen ist zu unterlassen.

Aerospatale hat betreffend Schwingungsverhalten bei Alouette III und Lama u.a. die folgenden Mitteilungen publiziert:

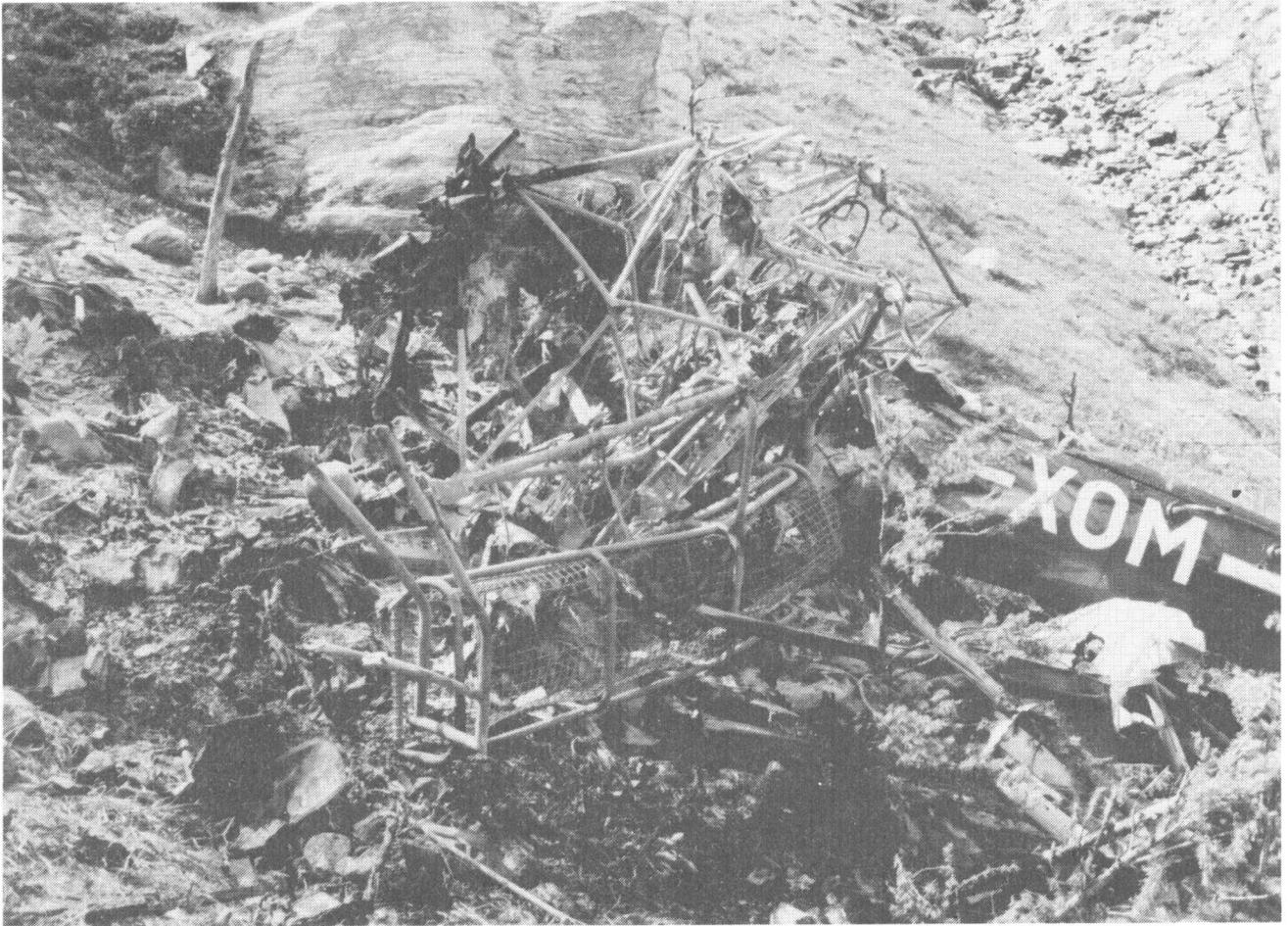
- A) Service Letter No. 690-00-85 betreffend Schwingungsverhalten der Alouette III am Boden. (In wesentlichen Punkten auch für das Lama gültig)
- B) Service Bulletin 05.24 (Lama) resp. 05.78 (Alouette III)  
Diese beinhalten die Kontrolle der Ausgleichsseile, sowie beachtenswerte Anmerkungen über die "aerologischen Schwingungen" im Fluge. (Paragraphen C 3 und D).

An der Sitzung vom 25. Oktober 1990 nahmen H. Angst, J.-B. Schmid, R. Henzelin und M. Soland, an der Sitzung vom 14. Dezember H. Angst, J.-B. Schmid, M. Marazza und E. Henzelin, an den Sitzungen vom 24. Mai 1991 und 28. August 1991 H. Angst, J.-B. Schmid, M. Marazza, R. Henzelin und M. Soland teil. Die Kommission verabschiedet den Schlussbericht einstimmig.

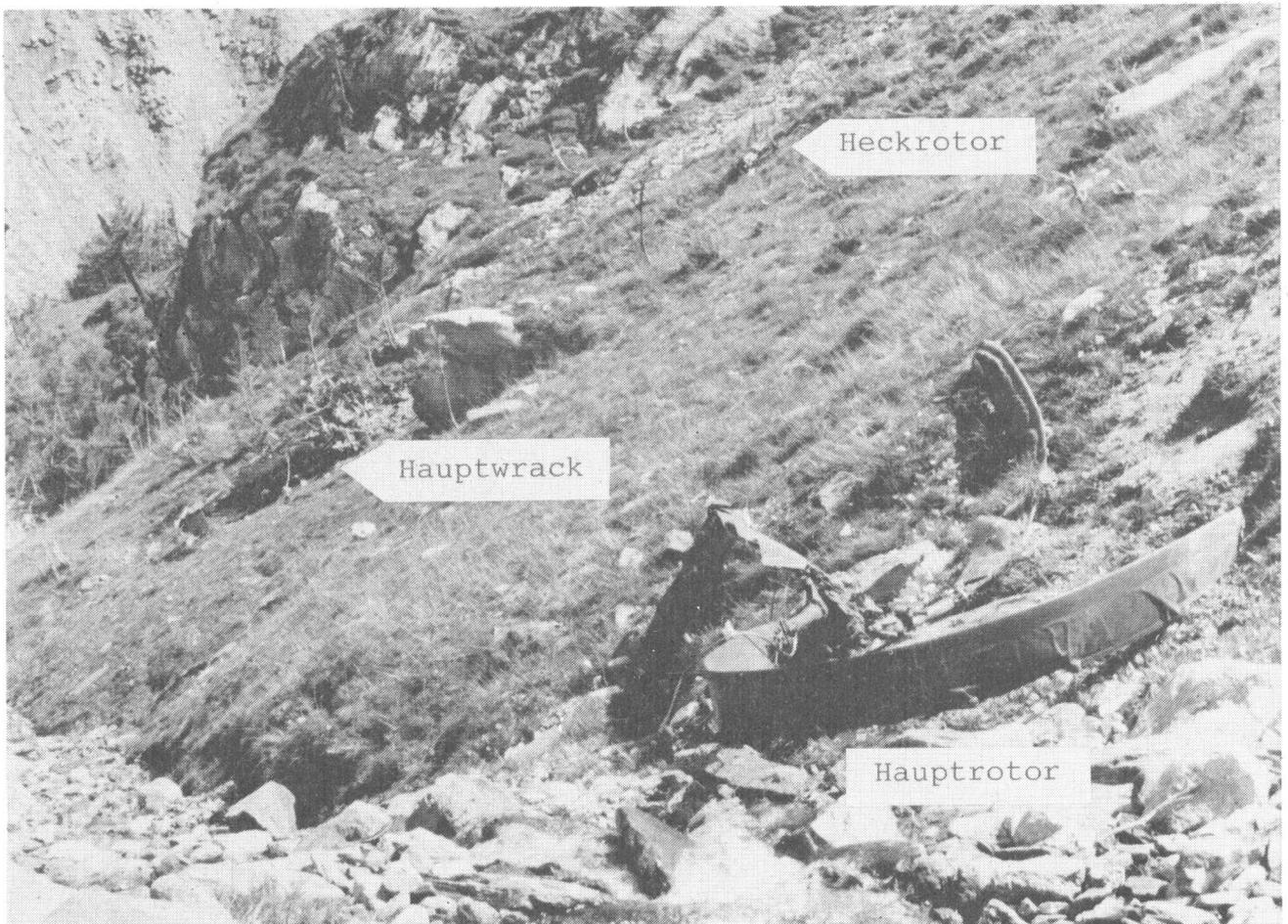
Bern, 28. August 1991

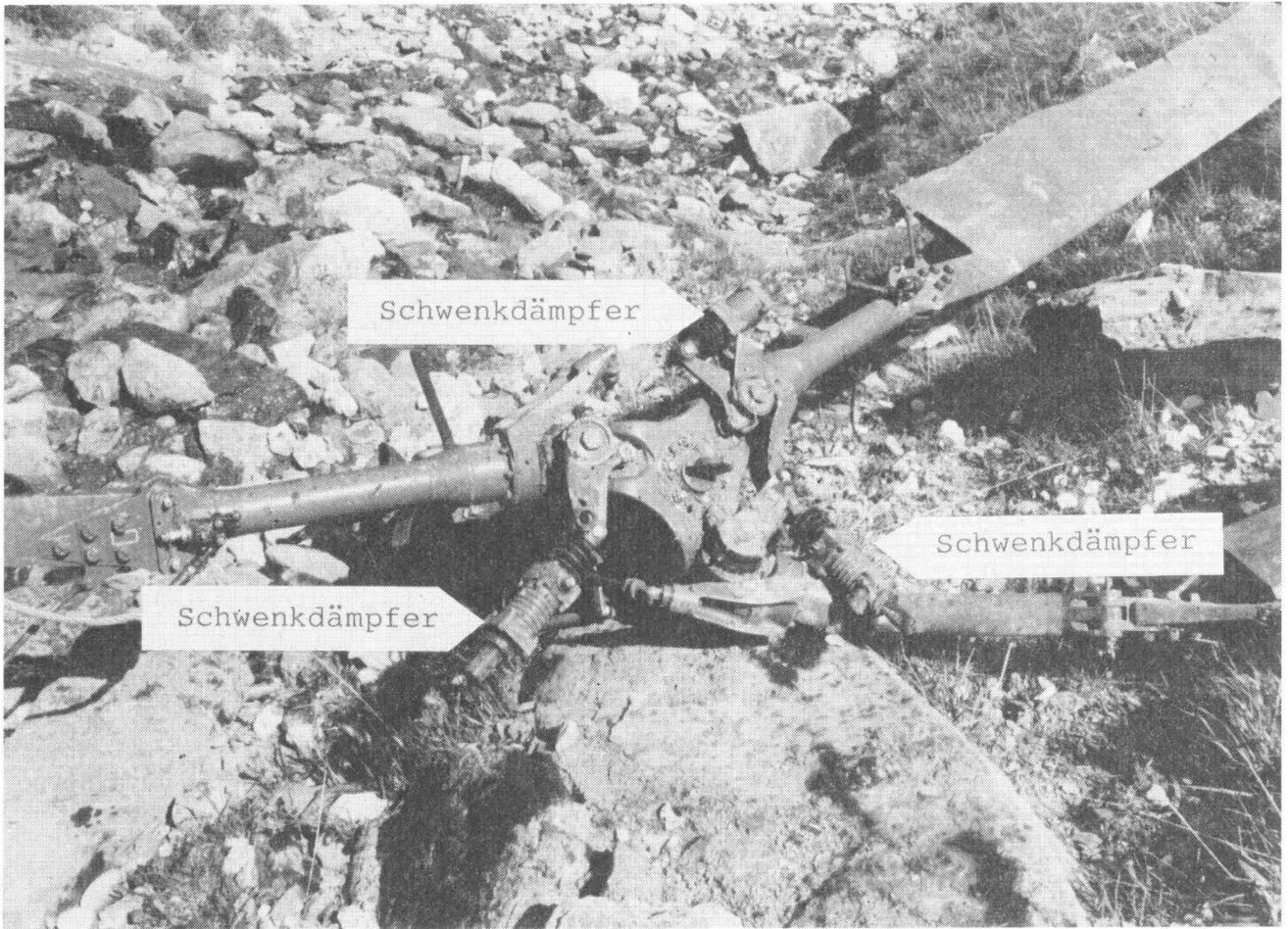
Eidgenössische Flugunfall-  
Untersuchungskommission  
Der Präsident:

gez. H. Angst

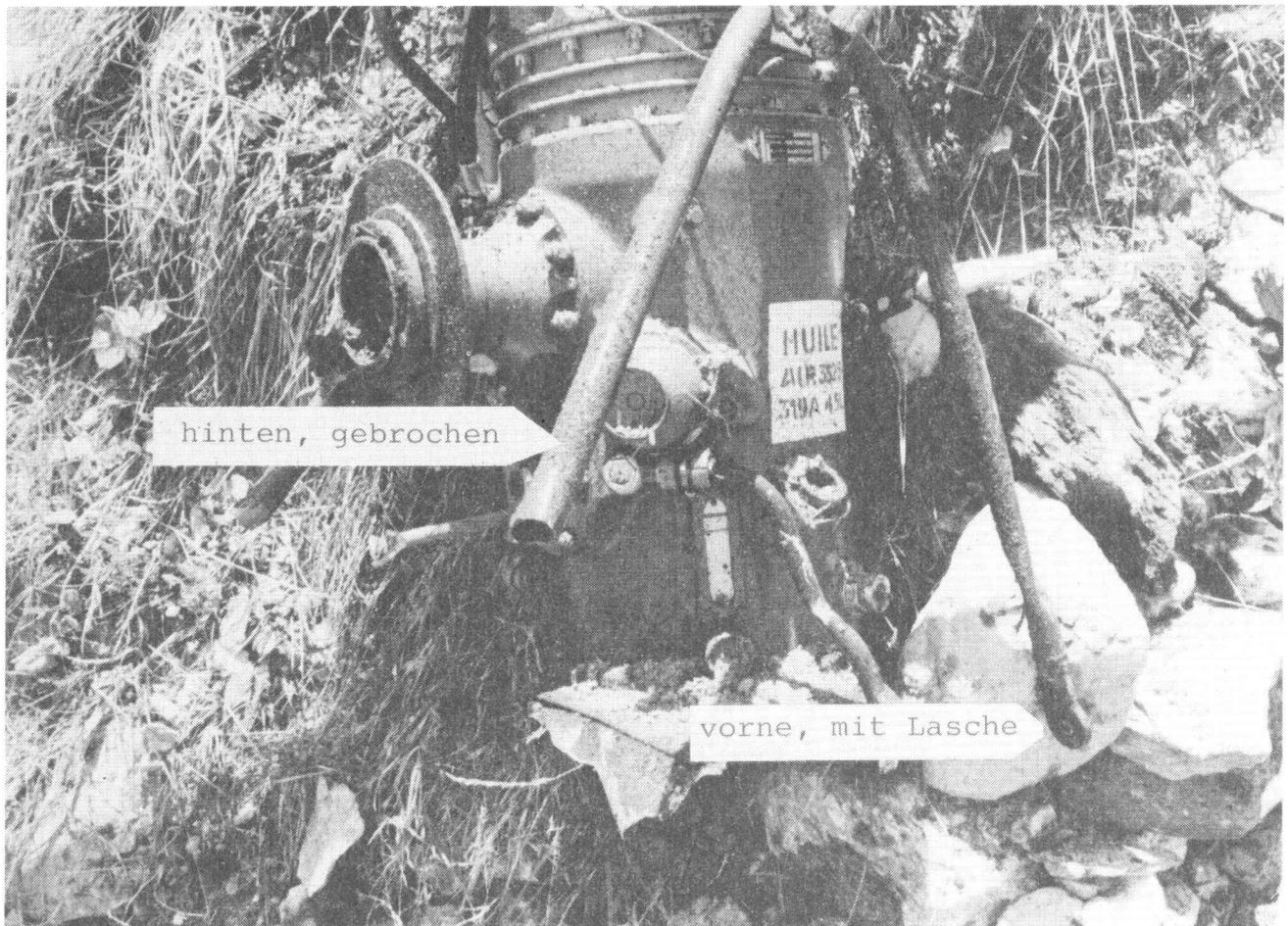


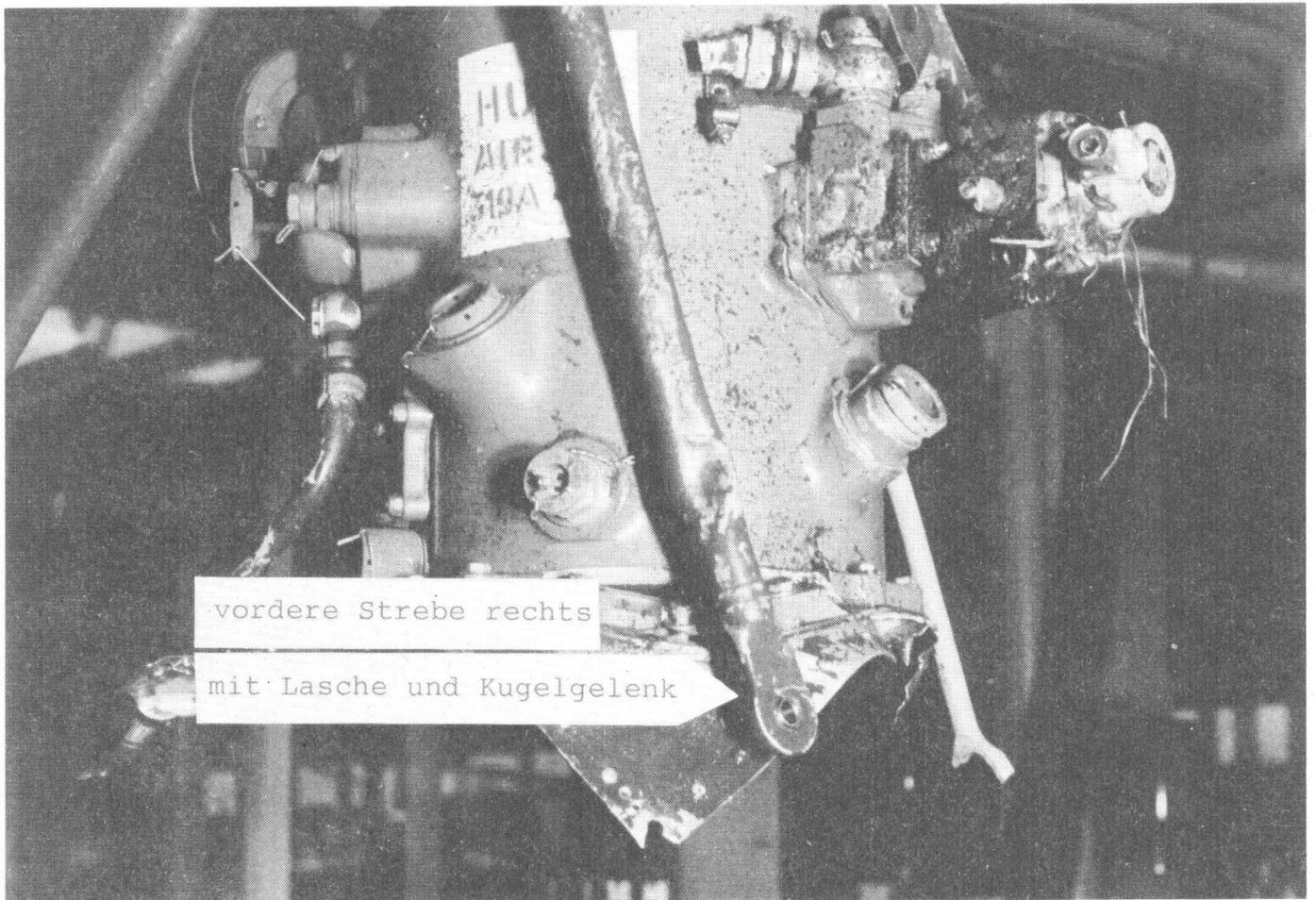
oben: Detailaufnahme des Hauptwracks  
unten: Uebersichtsaufnahme der Unfallstelle



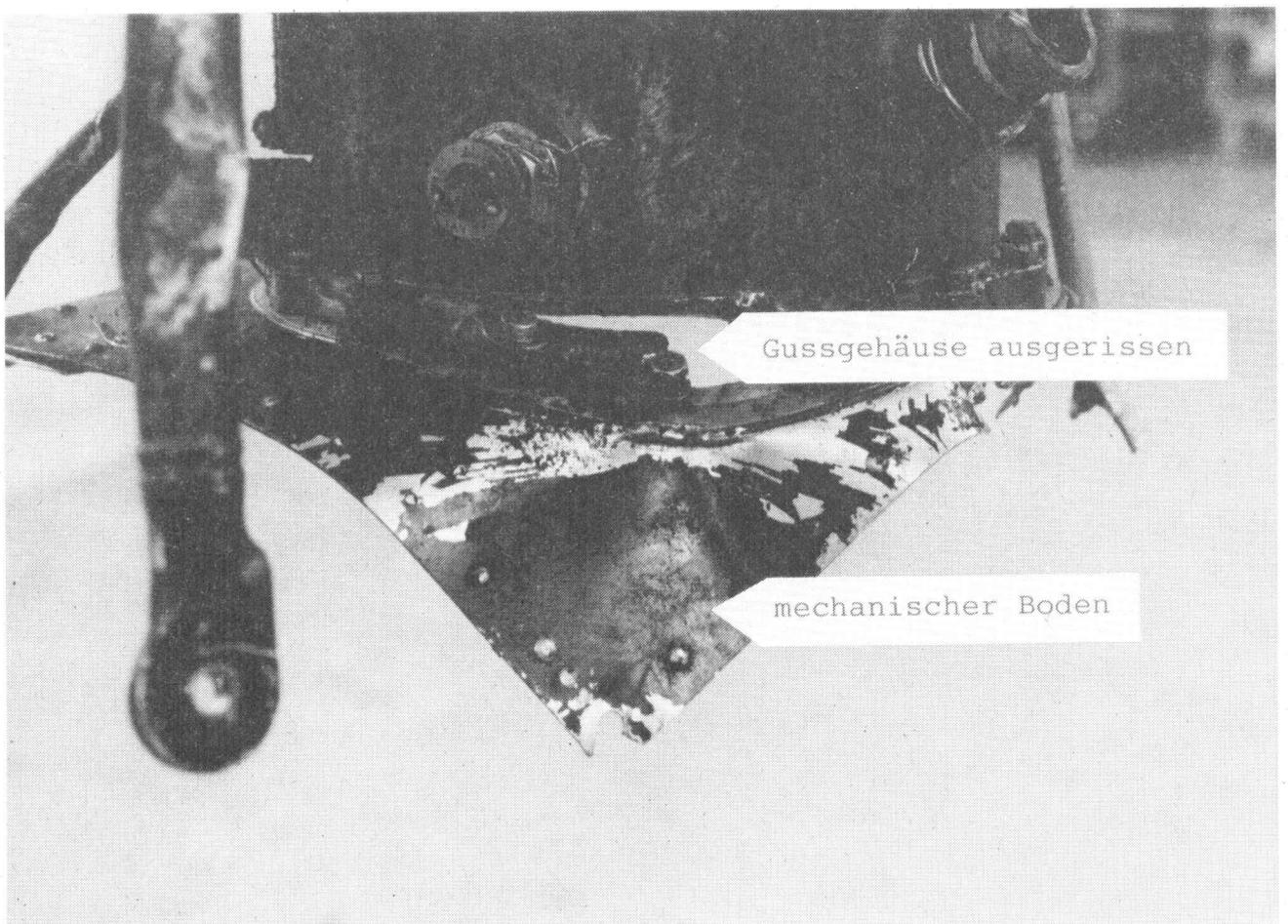


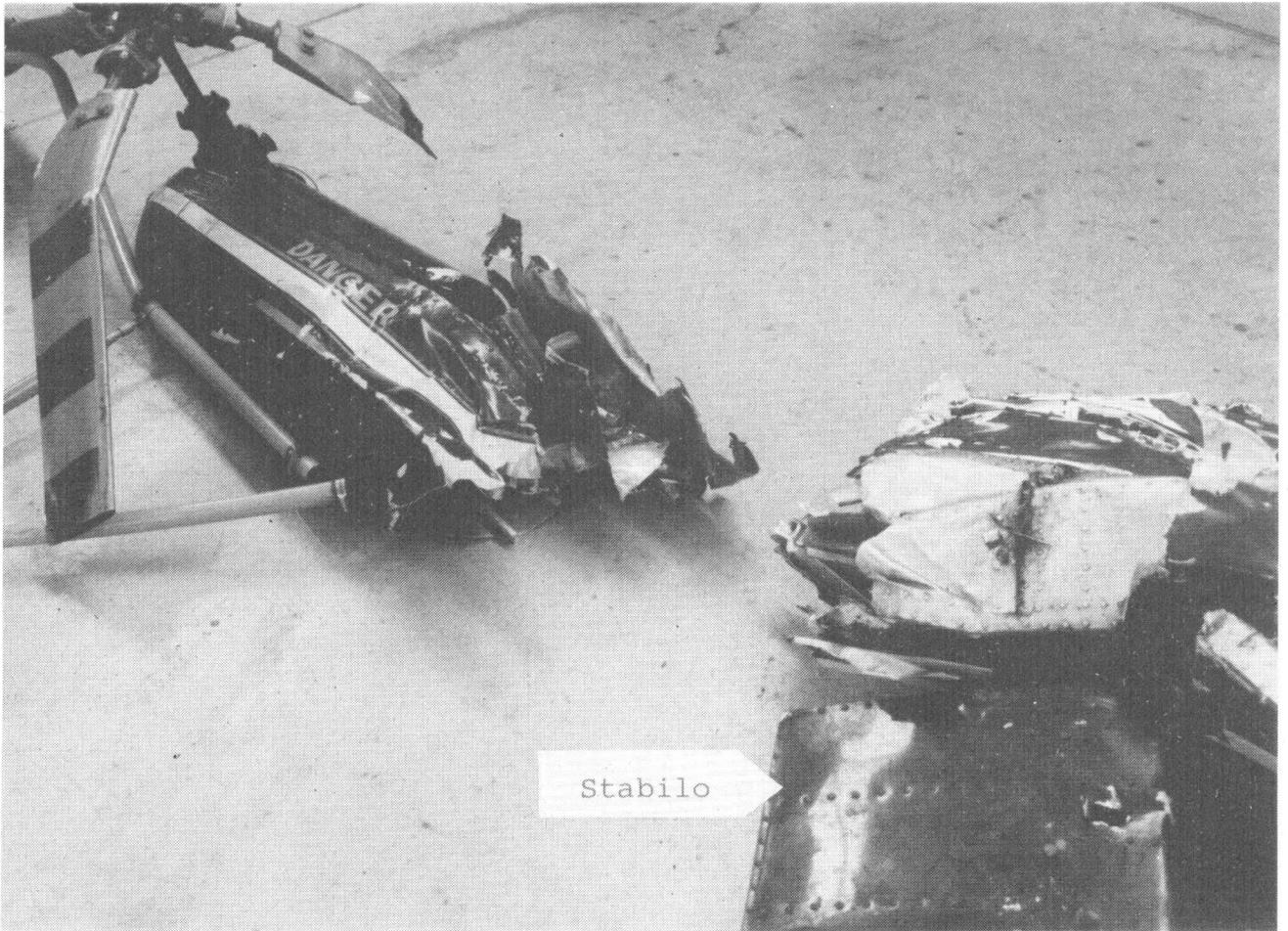
oben: Hauptrotor mit Getriebe (nicht sichtbar)  
unten: Hauptgetriebe mit V-Strebe rechts



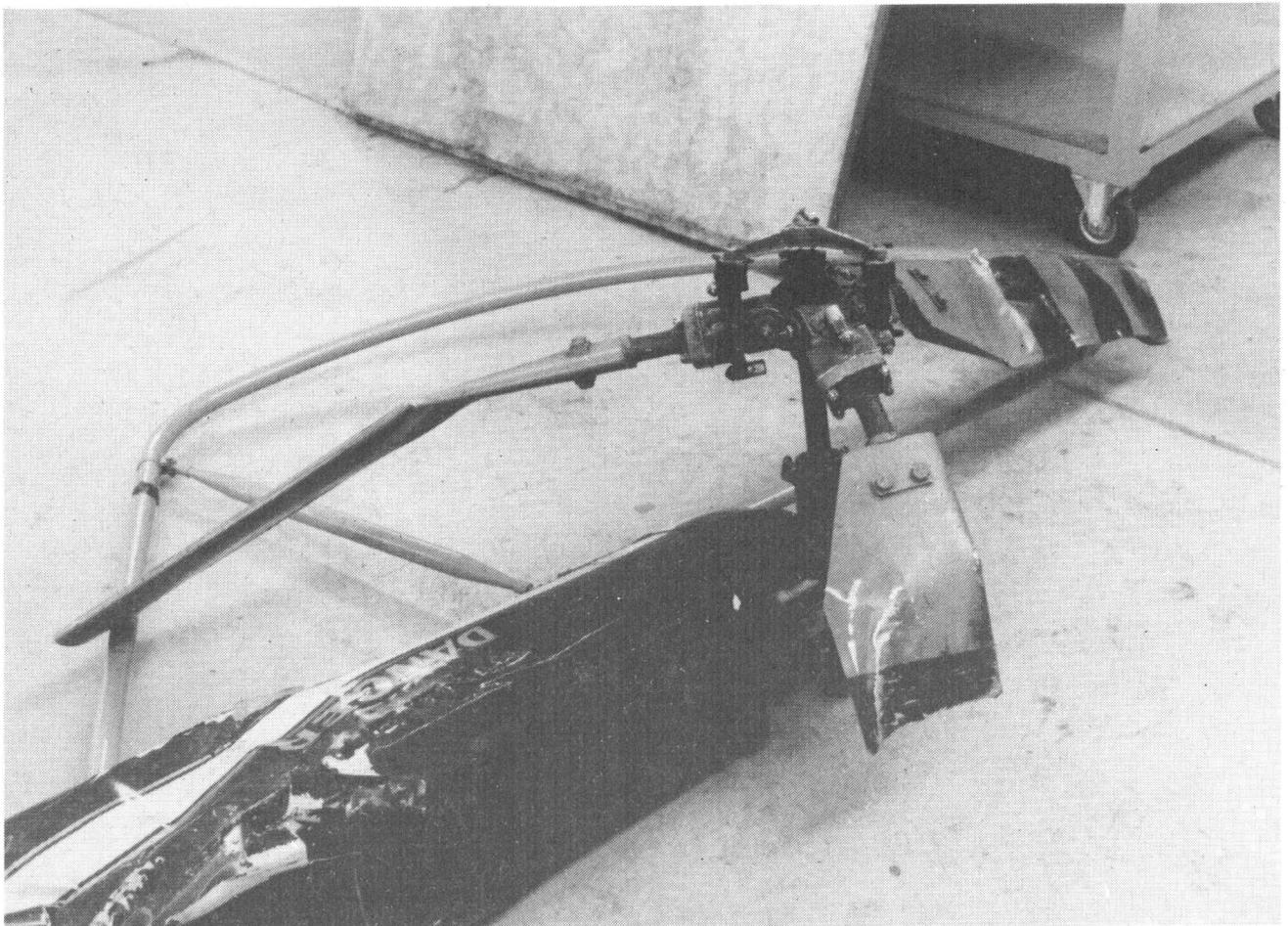


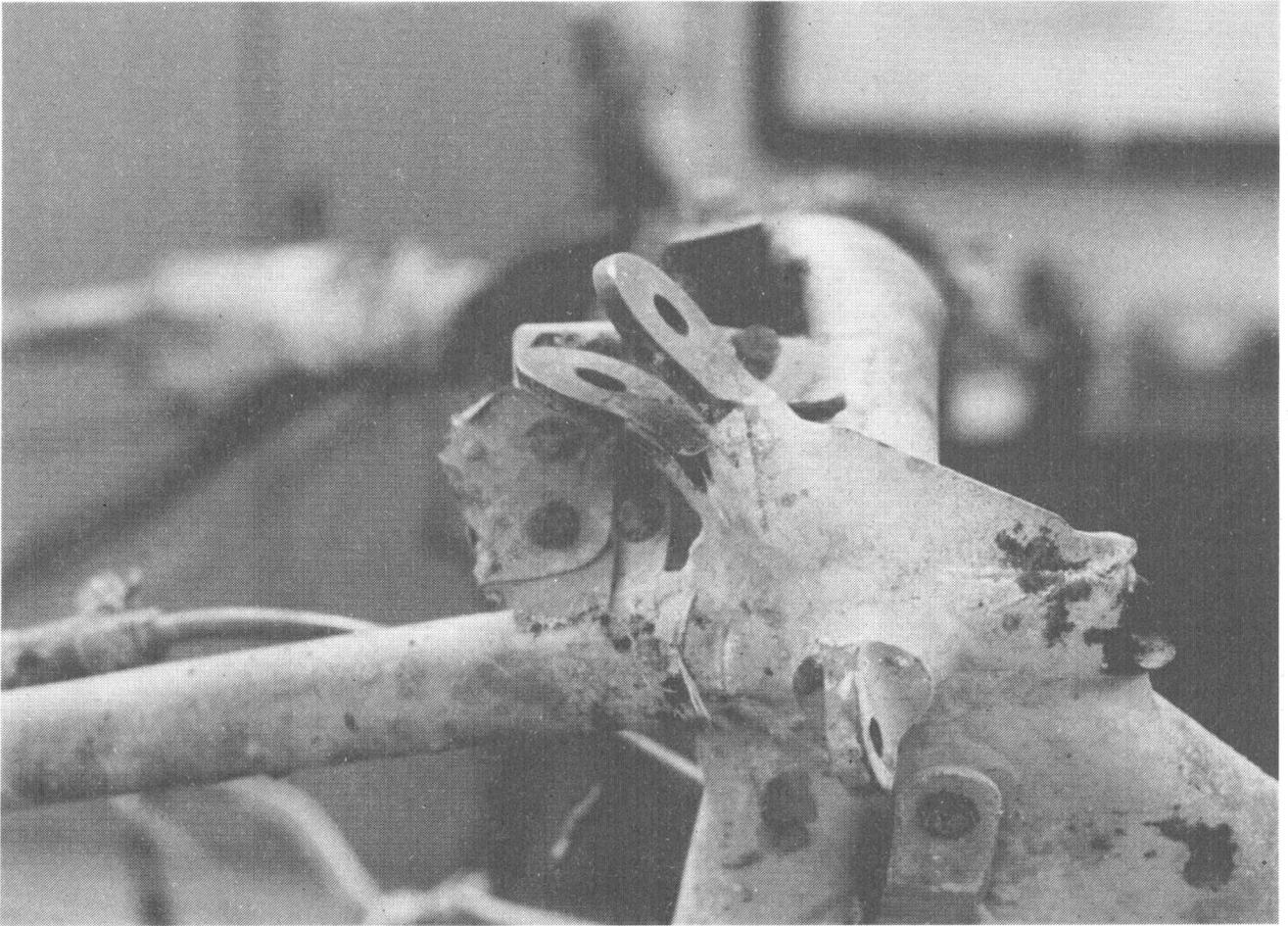
Hauptgetriebe





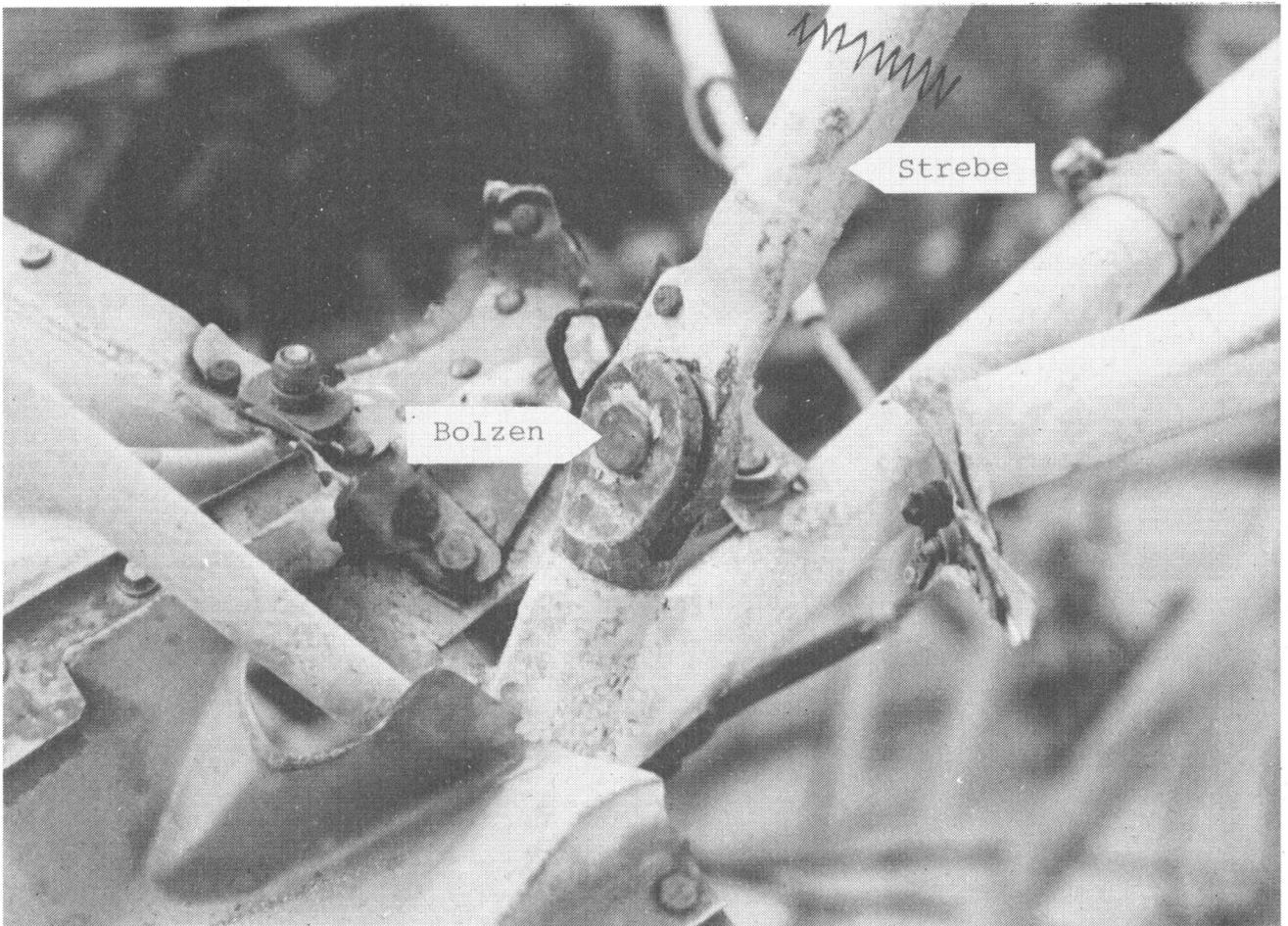
oben: Trennstelle Rumpf/Heckrotor  
unten: Heckrotor mit abgeschlagenem Blatt





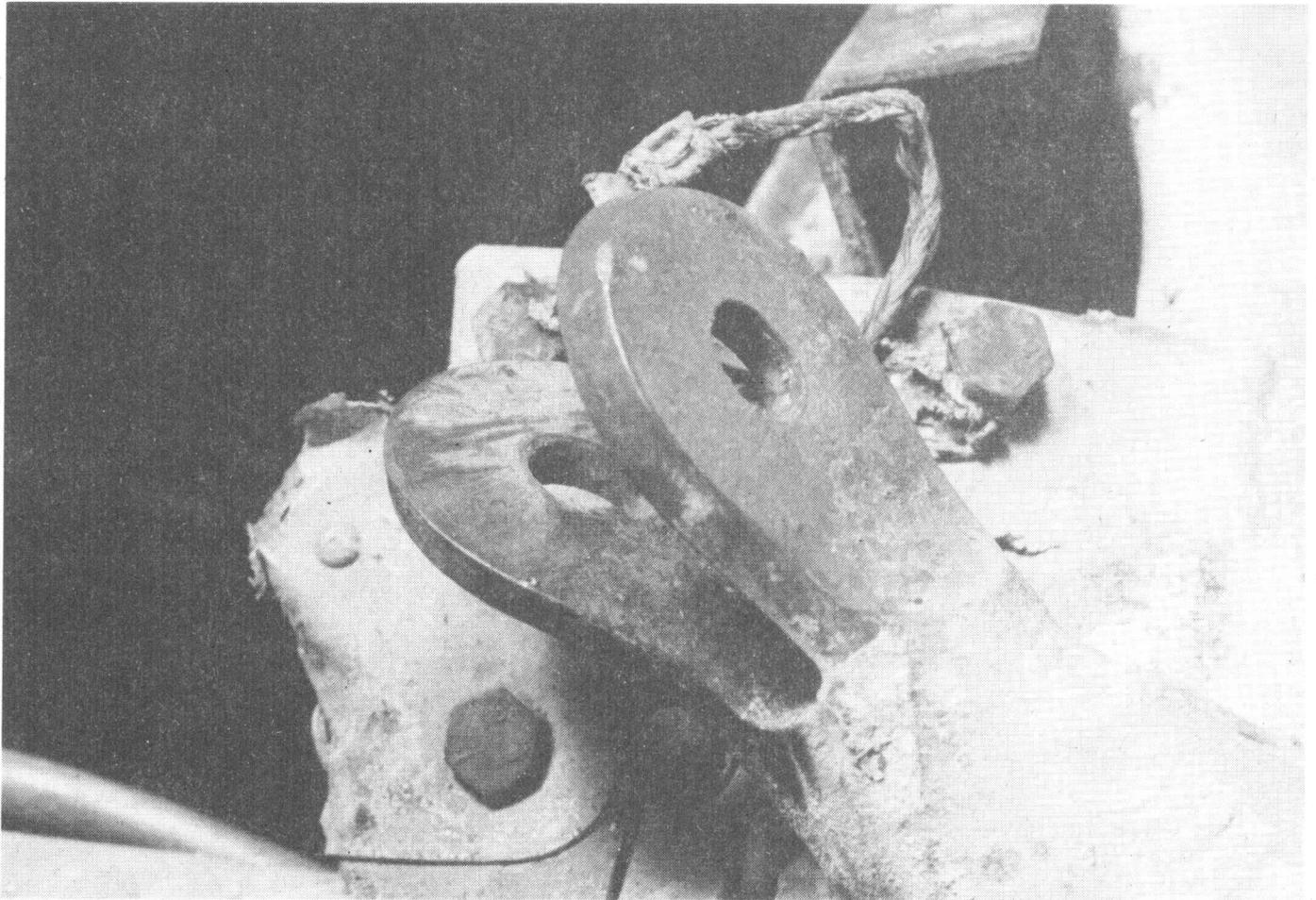
oben: Knotenpunkt D8 (vorne rechts)

unten: dito D7 (hinten rechts) mit Strebe und Bolzen



Strebe

Bolzen



gespreizte Gabel des Knotenpunkts D8 mit sichtbarer Ausweitung des Durchgangsloches (unten)

