

Untersuchungsbericht

3X455-0/97
Oktober 1999

Sachverhalt

Art des Ereignisses: Unfall
Datum: 18. Oktober 1997
Ort: bei Kienberg
Luftfahrzeug: Gasballon
Hersteller / Muster: Wörner K - 1000/3-STU
Personenschaden: vier tödlich verletzte Personen
Sachschaden: Luftfahrzeug zerstört
Drittschaden: geringer Flurschaden

Untersuchungsbericht

3X455-0/97
Oktober 1999

Sachverhalt

Art des Ereignisses: Unfall
Datum: 18. Oktober 1997
Ort: bei Kienberg
Luftfahrzeug: Gasballon
Hersteller / Muster: Wörner K - 1000/3-STU
Personenschaden: vier tödlich verletzte Personen
Sachschaden: Luftfahrzeug zerstört
Drittschaden: geringer Flurschaden

Die Untersuchung wurde in Übereinstimmung mit dem Gesetz über die Untersuchung von Unfällen und Störungen beim Betrieb ziviler Luftfahrzeuge (Flugunfall-Untersuchungs-Gesetz - FIUUG) vom 26. August 1998 durchgeführt.

Danach ist das alleinige Ziel der Untersuchung die Verhütung künftiger Unfälle und Störungen. Die Untersuchung dient nicht der Feststellung des Verschuldens, der Haftung oder von Ansprüchen.

Inhaltsverzeichnis

Kurzdarstellung	2
1. Tatsachenermittlung	3
1.1 Flugverlauf	3
1.2 Personenschäden	3
1.3 Schaden am Luftfahrzeug	3
1.4 Sachschaden Dritter	3
1.5 Angaben zur Besatzung	4
1.6 Angaben zum Luftfahrzeug	4
1.7 Meteorologische Informationen	5
1.8 Navigationshilfen	6
1.9 Funkverkehr	6
1.10 Flugschreiber	6
1.11 Angaben über Wrack und Aufprall	6
1.12 Medizinische und pathologische Angaben	6
1.13 Brand	6
1.14 Überlebenschancen	9
1.15 Weiterführende Untersuchungen	9
1.16 Zusätzliche Informationen	9
2. Auswertung	10
2.1 Flugwegrekonstruktion	10
2.2 Brandspuren	11
3. Schlussfolgerungen	13
3.1 Befunde	13
3.2 Ursachen	14
4. Sicherheitsempfehlungen	14
5. Anlagen	15

Kurzdarstellung

Die Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU), bis zum 01.09.98 Flugunfalluntersuchungsstelle (FUS), wurde am 18.10.1997 um 1315 Uhr* von der Polizei Oranienburg über den Unfall mit einem Gasballon informiert. Die BFU entsandte zwei Mitarbeiter und einen Beauftragten an die Unfallstelle, um die Untersuchungen vor Ort aufzunehmen.

Bei einer Wettbewerbsfahrt, an der neun Gasballone beteiligt waren, ereignete sich nach einer mehrstündigen Fahrt der Absturz eines Gasballons in der unmittelbaren Nähe einer Kurzwellensendeanlage. Es kam dabei zur Abtrennung der Ballonhülle vom Ballonnetz, und infolgedessen stürzte der mit vier Personen besetzte Ballonkorb aus einer Höhe von ca. 180 m zu Boden. Die brennende Ballonhülle stieg weiter auf und wurde bei einer Verpuffung in 300 - 400 m zerstört.

In der Nähe der Umzäunung der Sendeanlage erfolgte der Aufprall des Ballonkorbes in einem Wassergraben. Die Luftfahrzeugführerin und die drei Fahrgäste erlitten dabei tödliche Verletzungen. Brennende Teile der Ballonhülle fielen in der Nähe der Absturzstelle zu Boden.

Der Flugunfall ist darauf zurückzuführen, dass der Gasballon in niedriger Höhe in die eingezäunte Betriebsanlage eines leistungsstarken Kurzwellensenders eingefahren war und beim Passieren der Antenne 2 in das Maximum der Abstrahlungskeule gelangte.

Wahrscheinlich kam es dabei zu Reaktionen von metallischen Leitern am Gasballon und seinen Ausrüstungsteilen.

Unter dem Einfluss des elektromagnetischen Feldes reagierten die im Leitfaden des Kunststoffnetzes eingezwirnten Stahlfaserfilamente und bildeten dabei die Zündquelle für austretendes Wasserstoffgas, welches aus der Gasballonhülle gelangte. Durch äußere Brandeinwirkung wurde das Ballonnetz im Netzkranzbereich soweit beschädigt, dass es dort zur Abtrennung der Ballonhülle vom Ballonnetz kam.

* Alle angegebenen Zeiten, soweit nicht anders bezeichnet, Mitteleuropäische Zeit, MEZ

1. Tatsachenermittlung

1.1 Flugverlauf

Am 18.10.1997 gegen 0810 Uhr startete der Gasballon vom Ballonstartplatz in Bitterfeld mit weiteren acht Gasballonen zu einer Wettbewerbsfahrt. Die Aufgabe für die Teilnehmer bestand darin, aus fünf vorher bezeichneten Zielgebieten eins auszuwählen und dann zu versuchen, einen darin definierten Zielpunkt anzufahren. Der Gasballon wollte zum Zielgebiet Nr. 1 Fehrbellin gelangen.

Um 1210 Uhr gelangte der Gasballon in eine Position nordwestlich des Verkehrslandeplatzes Nauen (EDCN), kurz vor der südlichen Einzäunung des Betriebsgeländes der Kurzwellensendestelle Nauen. Im Fahrtbericht wurde für diese Zeit eine Fahrhöhe von 200 ft, eine Fahrtgeschwindigkeit von 20 km/h und eine Fahrtrichtung von 05° dokumentiert. Die Aufzeichnungen des Barographen zeigten, dass sich der Gasballon zu dieser Zeit im Sinken von ca. 0,6 m/s befunden hatte.

Die südliche Einzäunung der Sendeanlage wurde dann im weiteren Fahrtverlauf überfahren, und der Sinkvorgang des Gasballons innerhalb des Betriebsgeländes in einer Höhe unter 20 m, kurz vor dem Erreichen der Antennenstandorte, beendet. Die vier Kurzwellenantennen mit einer Höhe von 80 m wurden in einer Fahrhöhe zwischen 35 bis 15 m westlich passiert. Im Verlauf der Vorbeifahrt bei beiden nördlichen Antennen kam es zu einer seitlichen Annäherung von unter 100 m. Beim Passieren dieser beiden Antennen begann der Gasballon zu steigen. Zeugen beobachteten, dass am aufsteigenden Gasballon im oberen Bereich graue Rauchentwicklung zu sehen war. Mit einer Steiggeschwindigkeit von 2 m/s gelangte der Gasballon in eine Höhe von 180 m. In dieser Höhe erfolgte die Abtrennung des Ballonnetzes und der Absturz des Ballonkorbes mit den vier Insassen. Die brennende Gasballonhülle stieg weiter auf und in einer Höhe von 300 bis 400 m kam es zu einer Verpuffung, bei der die Hülle zerstört wurde. Das Ballonnetz mit dem daran hängenden Ballonkorb stürzte in einen kleinen Wassergraben außerhalb der nördlichen Einzäunung der Kurzwellensendeanlage Nauen. Die brennenden Ballonhüllenteile fielen bis in eine Entfernung von ca. 200 m in Richtung 360° auf eine Ackerfläche. (Flugwegrekonstruktion Anlage 1, 2, 3).

1.2 Personenschäden

Alle vier Personen im Ballonkorb wurden beim Aufprall auf den Boden tödlich verletzt.

1.3 Schaden am Luftfahrzeug

Die Ballonhülle wurde durch Brandeinwirkung und eine Verpuffung zerstört. Das Ballonnetz wurde im oberen Bereich infolge der Durchtrennung von Netzmaschen unmittelbar am Netzkranz schwer beschädigt. Der am aufgerissenen Netz hängende Ballonkorb mit der gesamten Ausrüstung wurde beim Aufprall auf dem Boden zerstört.

1.4 Sachschaden Dritter

Es entstand geringer Flurschaden auf einer Ackerfläche.

1.5 Angaben zur Besatzung

Freiballonführer:	weiblich
Art der Erlaubnis:	PPL-D, ausgestellt von der Bezirksregierung Münster (NWMS), gültig bis 24.02.1999
Tauglichkeit:	Klasse III, ohne Einschränkungen
Gesamtflugerfahrung:	ca. 170 Flugstunden auf Freiballonen
Erfahrung auf dem Muster:	ca. 100 Flugstunden auf Gasballonen

1.6 Angaben zum Luftfahrzeug

Der mit Wasserstoff gefüllte Gasballon vom Muster K-1000/3-STU (Zeichnung Ballonaufbau, Anlage 5) wurde 1991 in der Firma Ballonbau Wörner GmbH in Deutschland hergestellt. Das Leergewicht des Luftfahrzeuges betrug 308,5 kg und die max. Höchstzuladung laut Nachprüfschein 909,5 kg.

Der Gasballon war für den nichtgewerblichen Verkehr zugelassen und die höchstzulässige Insassenzahl war auf fünf Personen beschränkt.

Die Hülle des Gasballons hatte ein Volumen von 1 050 m³ und einen Durchmesser von 12,61 m. Sie bestand aus einem Grundgewebematerial aus Polyamid Nylon 6.6, das auf der Innenseite mit Butyl-Kautschuk IIR und auf der Außenseite mit Hypalon (CSM) beschichtet war. Die Innengummierung musste elektrisch leitfähig sein, um elektrostatische Aufladungen gleichmäßig auf der gesamten Oberfläche zu verteilen. In die Ballonhülle war als Reißbahn ein Ausschnitt in der oberen Kalotte eingearbeitet, der etwa vom oberen Pol der Hülle bis kurz oberhalb des Äquators reichte.

Am unteren Pol der Ballonhülle war der Füllansatz, ein zylindrischer Schlauch aus Ballonstoff, durch zwei Füllansatzringe aus Holz befestigt. Der am unteren Teil des Füllansatzes befestigte Ring aus Holz (Pöschelring) hält den Füllansatz im Fahrtverlauf offen, damit das sich während der Fahrt ausdehnende Füllgas aus der Ballonhülle ausströmen kann, ohne dass die Ballonhülle unter unzulässigen Druck gerät.

Am oberen Pol der Ballonhülle war, um das Füllgas in kontrollierten Mengen abzulassen, ein Klappenventil eingesetzt (Zeichnung Klappenventil, Anlage 9). Das Ventil bestand aus zwei Holzringen, die über Stehbolzen aus Stahl in die Ballonhülle eingeschraubt waren. Der äußere Ring war mit Löchern für die Stehbolzen des inneren Ringes versehen und am äußeren Umfang waren vier Metallschlaufen befestigt. Der innere Ring trug in seiner Mitte einen Holzsteg, an dem mit Scharnieren zwei halbkreisförmige Holzklappen befestigt waren. Die Dichtflächen waren mit Filzeinlagen belegt. Auf dem Holzsteg des inneren Ringes war ein Holzblock befestigt, der zwei Metallscheiben trug. Vier Spiralfedern ziehen von dort die beiden Ventilkappen an die Unterseite des inneren Ringes und halten somit das Ventil geschlossen. Alle Metallteile des Klappenventiles waren untereinander leitfähig verbunden. Geöffnet wurde das Klappenventil über die an der Unterseite der Ventilkappen angebrachten Seilgabeln, die in weiterer Verlängerung zu einer

Ventilleine verbunden wurden und dann durch den Ballonkörper und den Füllansatz in den Ballonkorb geführt wurden.

Das Ballonnetz bestand aus Kunstfaserleinen mit einer antistatischen Ausrüstung. Der obere Pol war kreisförmig als Netzkrantz gearbeitet, er wurde durch ein Stahlseil verstärkt (Zeichnung Netzkrantz, Anlage 9). Der Netzkrantz wurde durch vier Lederschlaufen am Holzkrantz des Ballonventils befestigt. Vom Netzkrantz ausgehend verteilten sich die Netzmaschen über den Ballonkörper.

Die Größe der Netzmaschen und der Durchmesser des Netzmaschenmaterials (Netzeinen) nahmen im Verlauf nach unten zu (max. 8,5 mm).

Die Spinnmasse des Netzmaterials bestand aus Polypropylen Homopolymer. In diese Spinnmasse waren Leitfäden eingearbeitet. Dabei waren auf 16 Flechteilungen beim Flechtvorgang 8 Leitfäden verteilt. Jeder Leitfaden bestand aus Polyester-Stapelfasern mit 20%iger Stahlfaserbeimischung. Der Faserquerschnitt der Filamente des Leitfadens betrug 35-45 µm.

Der Korbring bildete die Verbindung zwischen dem Ballonnetz und dem Ballonkorb. Er bestand aus einem geschweißten Stahlrohr, an dem die Knebel für die Auslaufleinen des Ballonnetzes und die Korbseile des Ballonkorbes befestigt wurden.

Der Ballonkorb bestand im Wesentlichen aus geflochtenem Manilarohr. Neben den Passagieren, dem Ballonführer und der weiteren Ausrüstung wurde eine ausreichende Menge an Fahrballast (Sand) in Ballastsäcken mitgeführt.

Der Gasballon war ordnungsgemäß zum Betrieb zugelassen. Die letzte Nachprüfung erfolgte am 06.08.1997 ohne Beanstandungen. Die vorgeschriebene Ausrüstung war bei der Fahrt vorhanden. Bis zum Unfall hatte der Gasballon eine Gesamtbetriebszeit von 1 093 Stunden.

Bei der Untersuchung der Wrackteile des Luftfahrzeuges konnten keine technischen Mängel festgestellt werden.

1.7 Meteorologische Informationen

Für die Gasballonwettfahrt von Bitterfeld wurde am Morgen des 18.10.1997 ein Wetterbriefing vom Deutschen Wetterdienst LBZ Leipzig schriftlich an die Wettbewerbsleitung übermittelt. Die Meldungen enthielten keine besonderen Hinweise und Warnungen. Es wurde ein Bodenwind von 5-10 Knoten aus 170-190 Grad vorausgesagt.

Vom Deutschen Wetterdienst wurde in einem amtlichen Gutachten das Wetter zur Unfallzeit eingeschätzt. Aus den Wettermeldungen vom 18.10.1997 lässt sich ableiten, dass am Unfallort der Bodenwind aus 180 bis 200 Grad mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 7 bis 10 Knoten wehte. Die horizontale Sichtweite am Boden betrug 10 bis 30 km. Zum Unfallzeitpunkt herrschte herbstliches Hochdruckwetter mit hoher Bewölkung. Die Lufttemperatur, gemessen in 2 m über Grund, lag zwischen 14 und 15° C. Die Taupunkttemperatur betrug etwa 6° C. Die relative Luftfeuchtigkeit betrug zum Unfallzeitpunkt etwa 56 %. An der Wettermeldestelle Berlin-Tegel wurde zur Unfallzeit ein QNH-Wert von 1 023 hPa gemeldet.

1.8 Navigationshilfen

Als Navigationshilfe wurde ein GPS vom Muster Garmin 55 verwendet. Mit Hilfe dieser Anzeige wurde die Fahrtrichtung und die Geschwindigkeit des Gasballons über Grund ermittelt und in einem Fahrtbericht dokumentiert. Eine Flugwegaufzeichnung erfolgte durch dieses Gerät nicht.

1.9 Funkverkehr

Es bestand während der Ballonfahrt Funkverkehr zum Verfolger-/Rückholfahrzeug. Es gab keine Mitteilungen über besondere Feststellungen an Bord des Gasballons.

1.10 Flugschreiber

Flugschreiber waren nicht gefordert und vorhanden.

Die Aufzeichnungen des mitgeführten Barographen konnten ausgewertet werden und wurden in der Flugwegrekonstruktion (Anlage 1) verarbeitet. Es handelte sich bei diesem Gerät um einen Barographen der Gebrüder Winter mit einem Höhenmessbereich von 6 000 m und einer eingestellten Umlaufzeit von 4 Stunden.

1.11 Angaben über Wrack und Aufprall

Bei Annäherung an die Antenne 2 kam der Gasballon ins Steigen, zeigte dabei erste Anzeichen von Rauch und in einer Höhe von ca. 180 m trennten sich Ballonhülle und Ballonnetz. Die brennende Gasballonhülle stieg weiter auf und wurde bei einer Verpuffung in ca. 300 bis 400 m zerstört. Brennende Teile fielen auf ein Feld nördlich der Aufprallstelle des Ballonkorbes und lagen dabei in einem Streukegel von ca. 200 m Länge. Der am Ballonnetz hängende Ballonkorb wurde beim Aufprall in den Wassergraben, unmittelbar an der nördlichen Einzäunung des Betriebsgeländes der Senderanlage, an einer Seite aufgerissen. Das Ballonnetz fiel auf den im Wassergraben liegenden Ballonkorb. Zwei Insassen wurden beim Aufprall aus dem Ballonkorb herausgeschleudert.

1.12 Medizinische und pathologische Angaben

Die Sektionsgutachten für alle vier Insassen des Ballonkorbes beurteilen die Todesursache als Folge der Einwirkung des Sturzes aus größerer Höhe und dem nachfolgenden Aufprall auf den Boden. Der Tod trat dabei aufgrund der schwersten und tödlichen Organverletzungen sofort ein. Anzeichen für Gewalteinwirkung vor dem Absturz waren nicht ersichtlich. Anhaltspunkte für eine gesundheitliche Beeinträchtigung der Ballonführerin konnten ebenfalls nicht festgestellt werden.

1.13 Brand

Im oberen Bereich der Ballonhülle entstanden mehrere Brandherde. Im Brandverlauf kam es zur Abtrennung des Ballonnetzes vom Netzkranz, und die Ballonhülle wurde vollständig zerstört.

Restteile der Ballonhülle und das Ballonnetz wurden mit Unterstützung durch Brandexperten des LKA Brandenburg (Landeskriminalamt) im Hinblick auf Brandspuren und deren Entstehung begutachtet.

Die Branduntersuchungen konzentrierten sich auf Brandspuren

- am Netzkranz,
- im Klappenventil,
- im Netzbereich.

Dabei ergaben sich folgende Befunde:

Netzkranz

Das Netz wurde vor dem Aufprall von der Ballonhülle getrennt. Die Abtrennung erfolgte im oberen Netzbe-
reich zwischen Netzkranz und der ersten Verknotung. Die Trennstellen zeigten unterschiedliche Spuren
und Beschädigungen:

- Etwa 25 % der Trennstellen waren durch direkte Brandeinwirkung verursacht
- Etwa 15 % der Netzmaschen waren an den Trennstellen erheblich thermisch beeinflusst. Die Tren-
nung erfolgte jedoch durch mechanische Belastung.
- Die restlichen Netzmaschen waren teilweise an der Oberfläche verhärtet. Die Durchtrennung erfolgte
durch die mechanische Belastung. Direkte Brandspuren waren nicht zu erkennen.

Die Verteilung und Anordnung der unterschiedlich getrennten Netzmaschen ist in Anlage 6 dargestellt.

Die unterschiedlichen Abtrennungen des Ballonnetzes sind in der Anlage 7, Bilddokumentation Trenn-
stellen dargestellt.

Etwa die Hälfte der getrennten Netzmaschen zeigten 5 bis 10 cm unterhalb der Trennstelle Verhärtungen
im Seilmaterial. Die Tragfähigkeit des Seilmaterials reduziert sich deutlich, wenn es bei Wärmeeinwirkung
zu einer Verhärtung des Materials gekommen ist.

Der durch ein Stahlseil verstärkte Netzkranz im oberen Pol des Ballonnetzes zeigte äußerlich auf einer
Hälfte des Ringes erhebliche Brandspuren, während die andere Hälfte nur leicht beschädigt war. Bei der
Begutachtung des Netzkranzes war zu erkennen, dass die Hitzeeinwirkung auf das Kunststoffnetzmaterial
von außen erfolgte. Die Brandspuren am Netzmaterial wurden nicht durch den möglicherweise erwärmten
Stahlring verursacht.

Klappenventil

Das aus zwei Holzringen bestehende Klappenventil wurde an seiner Innen- und Außenseite unterschied-
lich durch Brand beeinflusst.

An der Außenseite (Luftseite) war am Holz annähernd die ursprüngliche Farbe zu sehen. Die farblose
Lackschicht war teilweise großflächig blasig verändert. Am Rahmen befanden sich an den Dichtflächen
örtlich begrenzte schwarze Verfärbungen des Holzes (Anlage 8).

Auf der Innenseite wurden an den Klappen begrenzte Verfärbungen mit zwei Durchbrennungen festgestellt. Am Rahmen befanden sich kräftige Einbrennungen.

Die Beurteilung der Brandspuren im Klappenventil durch Brandexperten des LKA Brandenburg ergab, dass das Klappenventil an seiner Außenseite einer kurzzeitigen Wärmeeinwirkung ausgesetzt war. Die Verfärbungen am Holz des Rahmens im Bereich der Dichtflächen wurden von kleinen Flammen hervorgerufen, die nur kurzzeitig wirkten. Hier wurden kleinere Mengen Gas, die durch die Dichtflächen diffundierten, zur Entzündung gebracht (Anlage 8).

Die Einbrennungen am Rahmen und die Durchbrennung an einer Ventilklappe waren nach dieser Beurteilung durch brennende Seilstücke der Ventilleine und Hüllenreste hervorgerufen worden, die nach dem Aufprall auf den Boden, glimmend auf dem Ventil lagen.

Die Seile an der Ventilklappe mit den Durchbrennungen fehlten, an der anderen Ventilklappe waren noch Seilreste an den Befestigungsösen vorhanden.

Netzbereich

Das äußere Erscheinungsbild des Netzes deutete in Teilbereichen auf eine leichte Veränderung des Materials hin. Eine mikroskopische Untersuchung der im Netz befindlichen leitfähigen Fasern bestätigte Verschmelzungen im Bereich der leitfähigen Stahlfaserfilamente (Anlage 12).

Zur Abklärung wurde ein Vergleich mit Maschen aus einem neuen und einem gebrauchten Netz durchgeführt. Dabei wurde der Leitfaden des Kunststoffnetzes mit der eingearbeiteten Stahlfaserbeimischung in 100 und 200facher Vergrößerung mit dem Elektronenrastermikroskop betrachtet.

Auffallend war bei dem Netzmaterial aus dem Unfallballon eine deutliche Verklebung der Kunststoffasern im Bereich der leitfähigen Stahlfaserbeimischung, die auf eine thermische Beeinflussung zurückzuführen waren. Eine derartige Veränderung des Materials war weder bei dem neuen noch bei dem gebrauchten Netz festzustellen.

In den Anlagen 10 - 12 sind die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchung vergleichend dargestellt. Die Aufnahmen wurden zum Teil mit einem Elektronenrastermikroskop am Institut für Werkstoffkunde der Technischen Universität Braunschweig erstellt.

Diese Befunde wurden im Netz des verunfallten Ballons an mehreren Stellen nachgewiesen. Äußerliche Einwirkungen durch Brand waren an diesen Stellen nicht erkennbar.

Am Ballonnetz konnten außer den thermisch durchtrennten Netzmaschenteilen keine weiteren Brandspuren, die auf äußere Brandeinwirkung schließen lassen, gefunden werden. Die thermische Durchtrennung des Netzmaterials ist auf Brandeinwirkung von außen zurückzuführen. Unterhalb der beiden Bereiche im Ballonnetz, die eine thermische Abtrennung vom Netzkranz aufwiesen, wurde an zwei Stellen abgetropftes Kunststoffmaterial festgestellt, das sich auf der Oberfläche des Netzmaterial angeklebt hatte. Die Ballonhülle verbrannte fast vollständig. Die Holzteile des Füllansatzes und das Klappenventil wurden durch Brandeinwirkung stark beschädigt.

Der Ballonkorb und der Korbring wiesen keinerlei Brandspuren auf.

1.14 Überlebenschancen

Der ungebremsste Sturz der vier Personen im Ballonkorb aus einer Flughöhe von ca. 180 m war nicht überlebensfähig.

1.15 Weiterführende Untersuchungen

Nachdem die Tatsachenermittlung am Unfallort abgeschlossen war, wurden das Ballonnetz, Reststücke der Ballonhülle und der Ballonkorb mit Ausrüstung zur weiteren Untersuchung zur BFU nach Braunschweig gebracht. Es wurden vergleichende Untersuchungen an Netzmaterialien durchgeführt, die elektrische Leitfähigkeit verschiedener Bauteile überprüft und eine umfassende Spurendokumentation gefertigt. Mitarbeiter des Landeskriminalamt Brandenburg erstellten eine kriminaltechnische Begutachtung der Brandspuren.

In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) sind die Eigenschaften von Wasserstoff unter den gegebenen Bedingungen der Unfallsituation beurteilt worden. Die Fragestellung zur möglichen Selbstentzündung von Wasserstoff unter elektromagnetischer Beeinflussung wurde hinreichend begründet verneint. Die Entzündung eines Wasserstoff-Luftgemisches bedarf einer Zündquelle.

An der Physikalisch Technischen Bundesanstalt (PTB) wurden Untersuchungen zur Leitfähigkeit an verschiedenen Materialien des Gasballons durchgeführt. Die Leitfähigkeit des Netzmaterials wurde nach der bei der Musterzulassung des Luftfahrzeuges festgelegten Messmethode überprüft. Dabei wurde an den verschiedenen Netzkomponenten und anderer Bauteile des Gasballons eine ausreichende Leitfähigkeit festgestellt.

Zur Spurendokumentation wurden Netzteile an der Technischen Universität Braunschweig mit dem Elektronenrastermikroskop aufgenommen. (Anlage 12)

1.16 Zusätzliche Informationen

Die Rundfunk-Sendeanlage Nauen wird von der Deutschen Telekom betrieben und strahlt Rundfunkprogramme für die deutsche Welle aus. Über vier 81 Meter hohe und 76 Meter breite Drehantennen können die Zielgebiete weltweit genau angepeilt werden. Die Drehantennen sind für den Frequenzbereich 6 MHz bis 26 MHz ausgelegt und können um 360 Grad gedreht werden. Abgestrahlt wurde eine Sendeleistung von jeweils 500 Kilowatt.

Je nach Sendeauftrag werden bestimmte Zielgebiete angestrahlt. Diese werden durch ausgewählte Sendefrequenzen erreicht, die über bestimmte Sender- und Antennenkombinationen bei vorgegebener Drehrichtung der Antennen (Azimut) erreicht werden.

Zum Unfallzeitpunkt war die Rundfunk-Kurzwellenstation wie folgt konfiguriert:

Sender/Antenne	Frequenz	Abstrahlrichtung (Azimut)
1	13 780 kHz	60 Grad
2	9 545 kHz	230 Grad
3	1 525 kHz	130 Grad
4	11 905 kHz	130 Grad

Der Sender 2 strahlte damit in Richtung 230 Grad mit einer Sendeleistung von 500 kW (Äquivalente Strahlungsleistung ERP). Laut Antennendiagramm ergab sich eine Keulenbreite (bei -3dB) von 25 Grad in der horizontalen Ebene und von 10 Grad in der vertikalen Ebene. Die Abstrahlung erfolgte mit einem Erhebungswinkel (Elevation) von 9 Grad. Das Betriebsgelände der Senderanlage umfasst ein Gelände von ca. 4 km² und ist von einer 2 m hohen Sicherheitsumzäunung gut sichtbar eingegrenzt.

2. Auswertung

2.1 Flugwegrekonstruktion

Der Gasballon näherte sich dem Betriebsgelände der Kurzwellensendeanlage aus südlicher Richtung mit stetigem Sinken. Nach dem Überqueren der ca. 20 m hohen Baumreihe an der südlichen Einzäunung des Betriebsgeländes wurde wenige Meter über Grund der Sinkvorgang beendet und die Fahrt über dem flachen Gelände fortgesetzt.

Aus der Fahrwegrekonstruktion (Anlagen 1 - 3) ergaben sich folgende Fakten, die für eine Beurteilung einer möglichen Beeinflussung durch die Sendeanlage von Bedeutung waren:

- In einem seitlichen Abstand von 100 - 120 m passierte der Gasballon die Antenne 2 im Maximum der Abstrahlungskeule. Die geringste Entfernung bei der Annäherung an die Antenne betrug ca. 70 m.
- Der Sender strahlte zu diesem Zeitpunkt auf der Frequenz 9 545 kHz mit einer Sendeleistung von 500 kW.
- Laut Antennendiagramm ergab sich eine Keulenbreite (-3dB) von 25 Grad in der horizontalen Ebene und von 10 Grad in der vertikalen Ebene bei einem Erhebungswinkel von 9 Grad.
- Die Verweildauer des Gasballons in der horizontalen Antennenkeule (-3dB Punkte) betrug bei einer Vorwärtsgeschwindigkeit von 20 km/h ca. 26 Sekunden.
- Die Antenne 1 wurde an der Rückseite in einem seitlichen Abstand von ca. 65 m passiert.

Der Gasballon wurde im Verlauf seiner Fahrtgestaltung kontrolliert in die Betriebsanlage des Kurzwellensenders geführt und dabei in Annäherung an die Antennenanlagen einer erhöhten Gefahr der Hindernisberührung ausgesetzt. Die Abstrahlungsgefahr, die von einer solchen Sendeanlage für die Gesundheit der Personen an Bord des Gasballons und für das Luftfahrzeug selbst ausgehen konnte, wurde dabei nicht berücksichtigt.

In der Anlage 4 wird die Anfahrtrichtung und Weiterfahrtrichtung des Gasballons dokumentiert.

2.2 Brandspuren

Um eine Zündung oder einen Brand am mit Wasserstoff gefüllten Ballonkörper oder den Zubehörteilen im Antennenfeld zu verursachen, mussten folgende Bedingungen gegeben sein:

- Ein Hochfrequenzfeld ausreichender Intensität und Leistung.
 - Eine Metallschleife in geeigneten Abmessungen als Antenne, die die vom Sender abgestrahlte Energie aufnehmen kann.
 - Eine Störstelle in der wirksamen Antennenschleife, die einen Zündfunken verursachen kann.
 - Ein zündfähiges Gas-/Luftgemisch in ausreichender Menge in der Nähe der Zündquelle.
- Die für die Entstehung der Zündung erforderliche Mindestfeldstärke hängt von folgenden Faktoren ab:
- Frequenz und Leistung des strahlenden Senders
 - Durch die Antenneneigenschaften erzeugte Bündelung der Energie (Strahlungskeule)

Eine optimale Anpassung und damit eine optimale Energieübertragung im Antennenfeld findet im Resonanzfall statt. Maßgebliche Parameter für den Resonanzfall sind die Frequenz des hochfrequenten Signals und die Länge der Antennenschleife.

Eine Resonanz des Stahlseiles im Netzkranz wurde aufgrund seiner Abmessungen bei der abgestrahlten Frequenz von 9 545 kHz als unwahrscheinlich betrachtet. Diese Feststellung wurde durch die brandtechnische Untersuchung unterstützt. Die Brandspuren bewiesen eine Wärmeentwicklung von außen nach innen, d.h. der Stahlring war nicht die Brand- oder Wärmequelle.

Eine Wärmeentwicklung von innen nach außen war allerdings bei den Leitfäden im Netzmaterial zu erkennen. Die Proben zeigten bei der mikroskopischen Betrachtung eine Verformung oder Verklebung der Kunststoff-Stapelfasern, die sehr wahrscheinlich auf eine Hitzeeinwirkung durch die leitfähigen Stahlfasersfilamente zurückzuführen waren.

Der Vergleich mit den Proben aus neuem Netzmaterial und einer Netzprobe aus einem gebrauchten Netz zeigte deutlich, dass diese Veränderungen nur im Netz des verunfallten Ballons vorzufinden waren.

Die Reaktion der leitfähigen Filamente des Leitfadens im Netzmaterial ist wahrscheinlich auf einen Resonanzeffekt im Antennenfeld zurückzuführen. Ein rechnerischer Nachweis wurde nicht geführt, da die im Resonanzfall wirksame Leiterlänge im Netz nicht eindeutig zu definieren war. Mit dem Flechtvorgang zur Herstellung des Kunststoffnetzes wurden einzelne Leitfäden auf die Spinnmasse des Netzmaterials verteilt. Damit konnten wirksame Leiter unterschiedlicher Länge entstehen.

Die Erhitzung von Stahlfaserbestandteilen konnte durch das Spurenbild im Kunststoffmaterial nachgewiesen werden. Aufgrund der möglichen Antennenwirkung durch diese Filamente im Leitfaden war Funkenbildung sehr wahrscheinlich.

Auf eine exakte ortsbezogene Feldstärkebestimmung wurde verzichtet, weil der Positionsbestimmung des Gasballons im Flugweg zur Antennenanlage nur eine Eintragung im Bordjournal zugrunde lag. Auf dieser Grundlage ist eine exakte Positionsangabe mit einer vertretbaren Genauigkeit im Feldstärkebereich nicht möglich.

Eine vereinfachte Feldstärkeberechnung und die vorliegenden Feldstärkeverläufe für den bodennahen Bereich zeigten allerdings, dass im Fahrtbereich des Gasballons beim Passieren der Antenne 2 die elektromagnetische Feldstärke 200 V/m und mehr betragen hat.

Die Antennen 1, 3 und 4 der Senderanlage haben in ihrem Einfluss nur eine untergeordnete Bedeutung gehabt, da sie in die entgegengesetzte Richtung strahlten. Der Einfluss durch die Rückstrahlflächen wurde nicht berücksichtigt.

Unter dem Einfluss der elektromagnetischen Feldwirkung reagierten die eingewebten Stahlfaserfilamente im Kunststoffnetz des Gasballons. Dabei entstanden mehrere Brandherde im oberen Bereich der Ballonhülle. Es ist nicht auszuschließen, dass zusätzlich auch andere Zündquellen, wie z.B. die Spiralfedern im Klappenventil des Gasballons, unter dem Einfluss der elektromagnetischen Feldwirkung wirksam wurden. Spuren für eine solche Reaktion konnten jedoch nicht dokumentiert werden. Es sind drei Brandherde im oberen Bereich der Ballonhülle nachgewiesen worden.

- Innerhalb des Klappenventiles, in unmittelbarer Nähe der Dichtflächen wurden Brandspuren festgestellt, die zeigten, dass hier kleinere Mengen Wasserstoff zur Entzündung gebracht wurden und mit kleiner Flamme Brandkanäle im Holz des Klappenventiles hinterlassen haben.
- Der Spurenverlauf am Kunststoffnetz in unmittelbarer Nähe des Netzkranzes zeigt zwei Bereiche, an denen die Netzabtrennung durch Brandeinwirkung erfolgte. Die Brandentstehung erfolgte durch die Zündung von austretendem Wasserstoff.

Das Austreten von Wasserstoff aus der Ballonhülle im oberen Bereich kann nur in drei Möglichkeiten beschrieben werden:

1. diffundierender Wasserstoff an den Dichtflächen im Klappenventil
2. punktförmige Beschädigung des Ballonhüllenmaterials bei der Reaktion der Stahlfilamente im Kunststoffnetz durch Hitzeeinwirkung und Funkenbildung
3. Ventilbetätigung, um Wasserstoff kontrolliert freizusetzen und den Gasballon ins Sinken zu bringen

Ein größerer Wasserstoffverlust im Verlauf der Fahrtzeit von Bitterfeld nach Nauen ist nicht aufgetreten, sodass ausgeschlossen werden kann, dass größere Wasserstoffmengen über ein undichtes Klappenventil oder ein Loch in der Hülle im Fahrtverlauf ausströmten.

Mit dem Austreten von Wasserstoff, dem Vorhandensein einer aktiven Zündquelle und dem Sauerstoffanteil in der Luft waren alle drei wichtigen Voraussetzungen für eine Brandentstehung erfüllt.

3. Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

- Die verantwortliche Ballonführerin war im Besitz der zur Durchführung dieser Fahrt erforderlichen Erlaubnis und verfügte über ausreichende Erfahrung auf dem Muster.
- Der Gasballon war ordnungsgemäß zum Verkehr zugelassen und nachgeprüft. Bei der Untersuchung der Wrackteile wurden keine technischen Mängel festgestellt.
- Die Wetterbedingungen für diese Ballonfahrt waren im vollen Umfang gut und stellten keine besonderen Anforderungen für die Durchführbarkeit dar.
- Nach einer Fahrtzeit von ca. 4 Stunden gelangte der Gasballon in eine Position nordwestlich des Verkehrslandeplatzes Nauen (EDCN), kurz vor der südlichen Einzäunung des Betriebsgeländes der Kurzwellensendestelle Nauen.
- Bei Annäherung an die Sendeanlage verringerte der Gasballon seine Flughöhe.
- Nach dem Überqueren der ca. 20 m hohen Baumreihe an der südlichen Einzäunung wurde die Fahrt innerhalb des Betriebsgeländes, in einer Höhe von 20-30 m über dem Boden fortgesetzt.
- Im Verlauf des weiteren Fahrtweges, vorbei an den 4 Antennen der Kurzwellensendeanlage, wurde der Gasballon beim Kreuzen der Abstrahlungskeule der Antenne 2 für ca. 26 Sekunden einer elektromagnetischen Feldstärke von mehr als 200 V/m ausgesetzt.
- Die seitliche Annäherung an diese Antenne erfolgte in einem Abstand unter 100 m.
- Am oberen Bereich der Gasballonhülle entstanden mehrere Brandherde, in deren Folge es zur Abtrennung von Ballonnetz und Ballonhülle kam.
- Als Zündquelle für die Brandentstehung am mit Wasserstoff gefüllten Gasballon wurde die Reaktion von Stahlfaserfilamenten im Kunststoffnetz des Gasballons ermittelt, die unter dem Einfluss der elektromagnetischen Feldwirkung der Antenne 2 reagierten.
- Es konnte keine Begründung dafür gefunden werden, weshalb die verantwortliche Ballonführerin die Sicherheitsflughöhe von 150 m bei diesem Fahrtabschnitt der Ballonfahrt unterschritten hatte und dabei in einer eingezäunten Betriebsanlage diese deutliche Annäherung an ein gekennzeichnetes Luftfahrthindernis vorgenommen hatte.

3.2 Ursachen

Der Flugunfall ist darauf zurückzuführen, dass der Gasballon in niedriger Höhe in die eingezäunte Betriebsanlage eines leistungsstarken Kurzwellensenders eingefahren war und beim Passieren der Antenne 2 in das Maximum der Abstrahlungskeule gelangte.

Wahrscheinlich kam es dabei zu Reaktionen von metallischen Leitern am Gasballon und seinen Ausrüstungsteilen.

Unter dem Einfluss des elektromagnetischen Feldes reagierten die im Leitfaden des Kunststoffnetzes eingezwirnten Stahlfaserfilamente und bildeten dabei die Zündquelle für austretendes Wasserstoffgas, welches aus der Gasballonhülle gelangte. Durch äußere Brandeinwirkung wurde das Ballonnetz im Netzkranzbereich soweit beschädigt, dass es dort zur Abtrennung der Ballonhülle vom Ballonnetz kam.

4. Sicherheitsempfehlungen

Das Ergebnis der Untersuchung hat die BFU zum Anlass für folgende Sicherheitsempfehlungen genommen:

- | | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14/99 | Eine Auswahl von Sendeanlagen mit hoher elektromagnetische Feldstärke, die für Luftfahrzeuge und deren Insassen eine Gefahr darstellen können, sollten in geeigneter Form veröffentlicht werden. |
| 15/99 | Zur besseren Information der Luftfahrzeugführer bei der Flugvorbereitung sollte diese Auswahl der Sendeanlagen im Kartenmaterial für die Flugvorbereitung besonders gekennzeichnet sein. |

5. Anlagen

1. Flugwegrekonstruktion
2. Flugwegrekonstruktion
3. Flugwegrekonstruktion
4. Bilddokumentation Anfahrtrichtung und Weiterfahrtrichtung des Gasballons in der Sendeanlage
5. Gasballonaufbau
6. Spurenverlauf der Netzabtrennung
7. Bilddokumentation der Trennstellen der Netzleinen
8. Bilddokumentation Klappenventil
9. Aufbau Klappenventil und Netzkranz
10. Bilddokumentation Netzleinenmaterial
11. Bilddokumentation Netzleinenmaterial
12. Bilddokumentation Netzleinenmaterial
13. Flugunfallinformation V 147

Braunschweig, November 1999

Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung

Im Auftrag

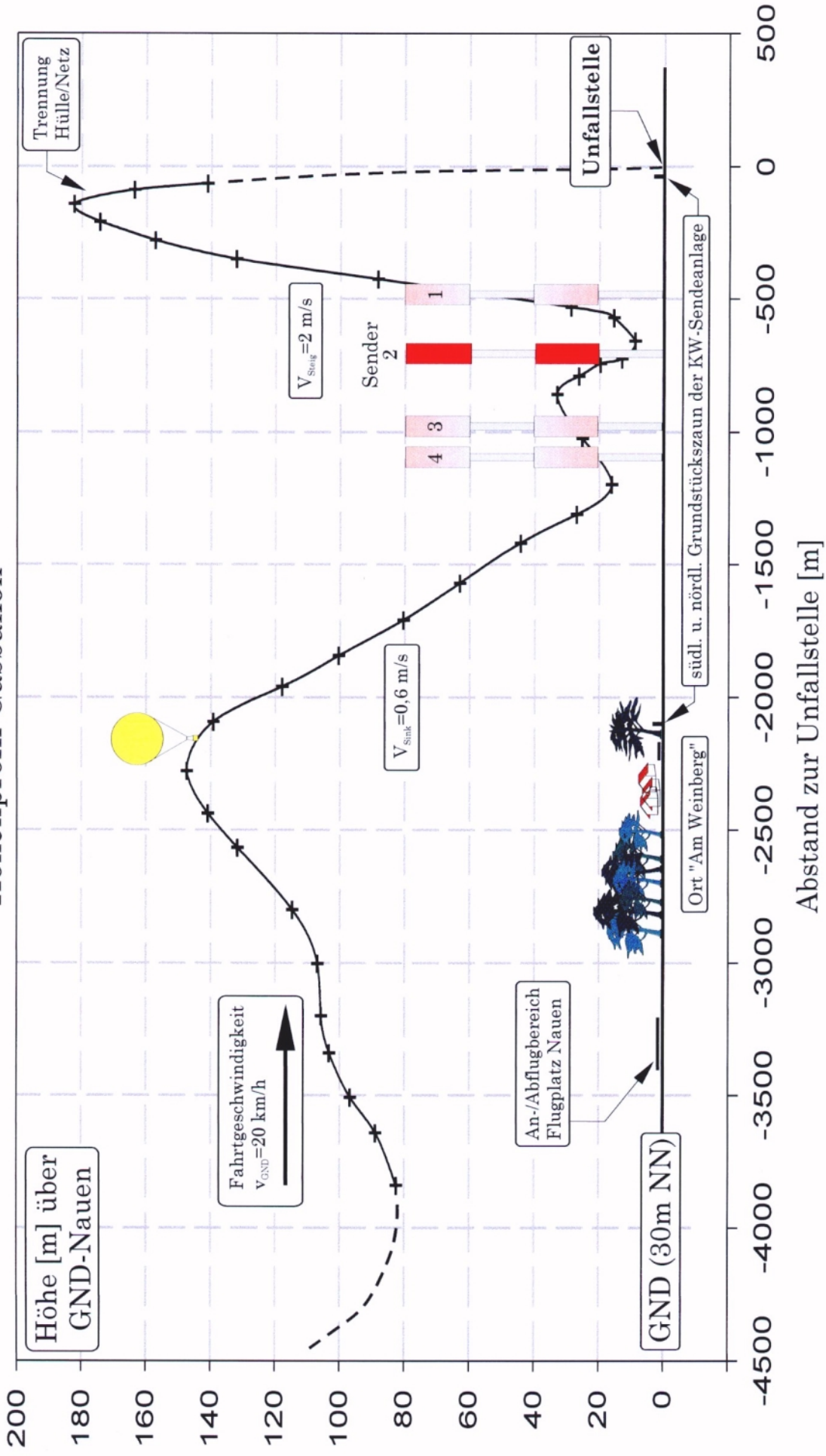
gez. (Stahlkopf)

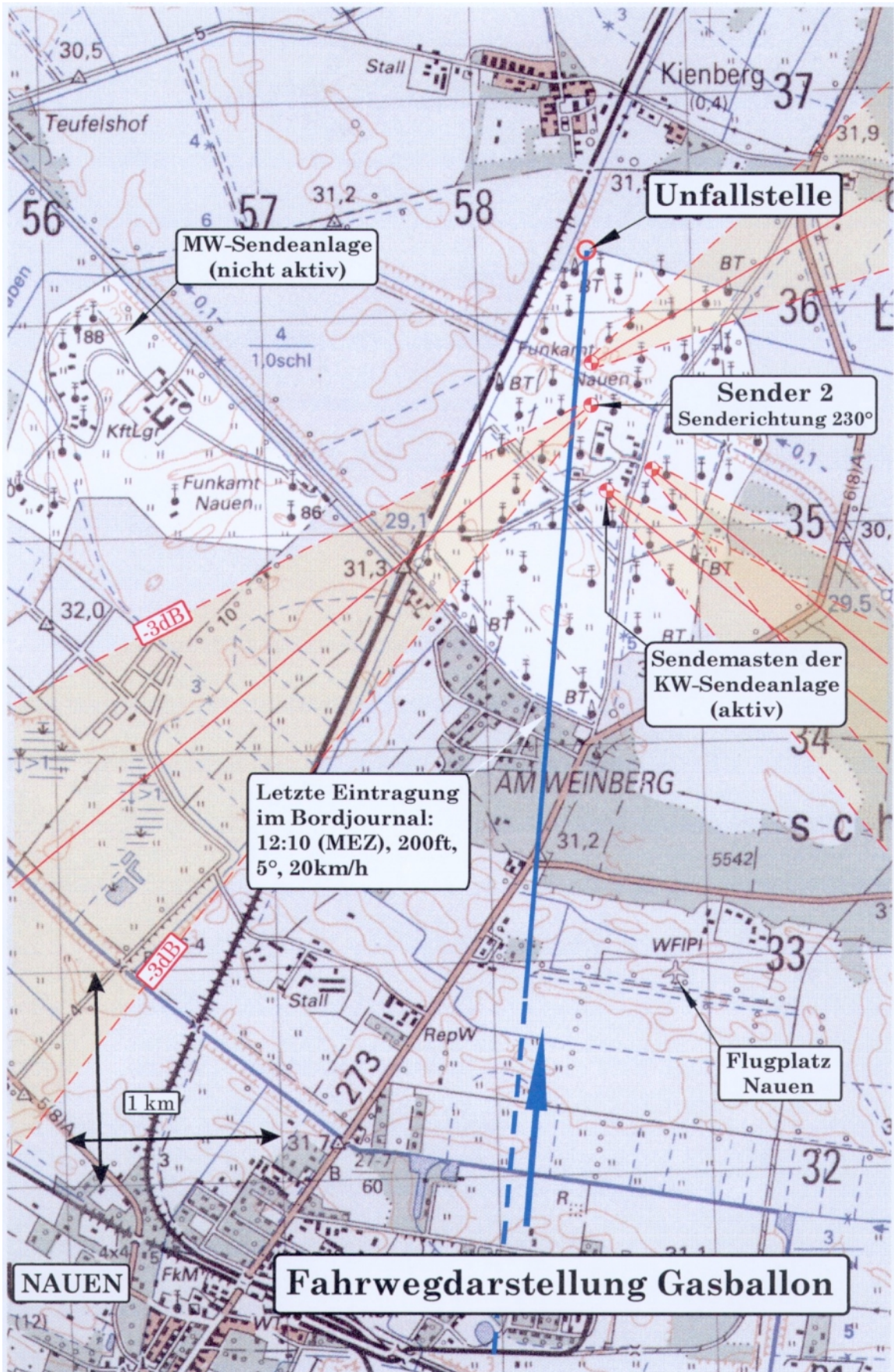
An der Untersuchung haben folgende Mitarbeiter mitgewirkt:

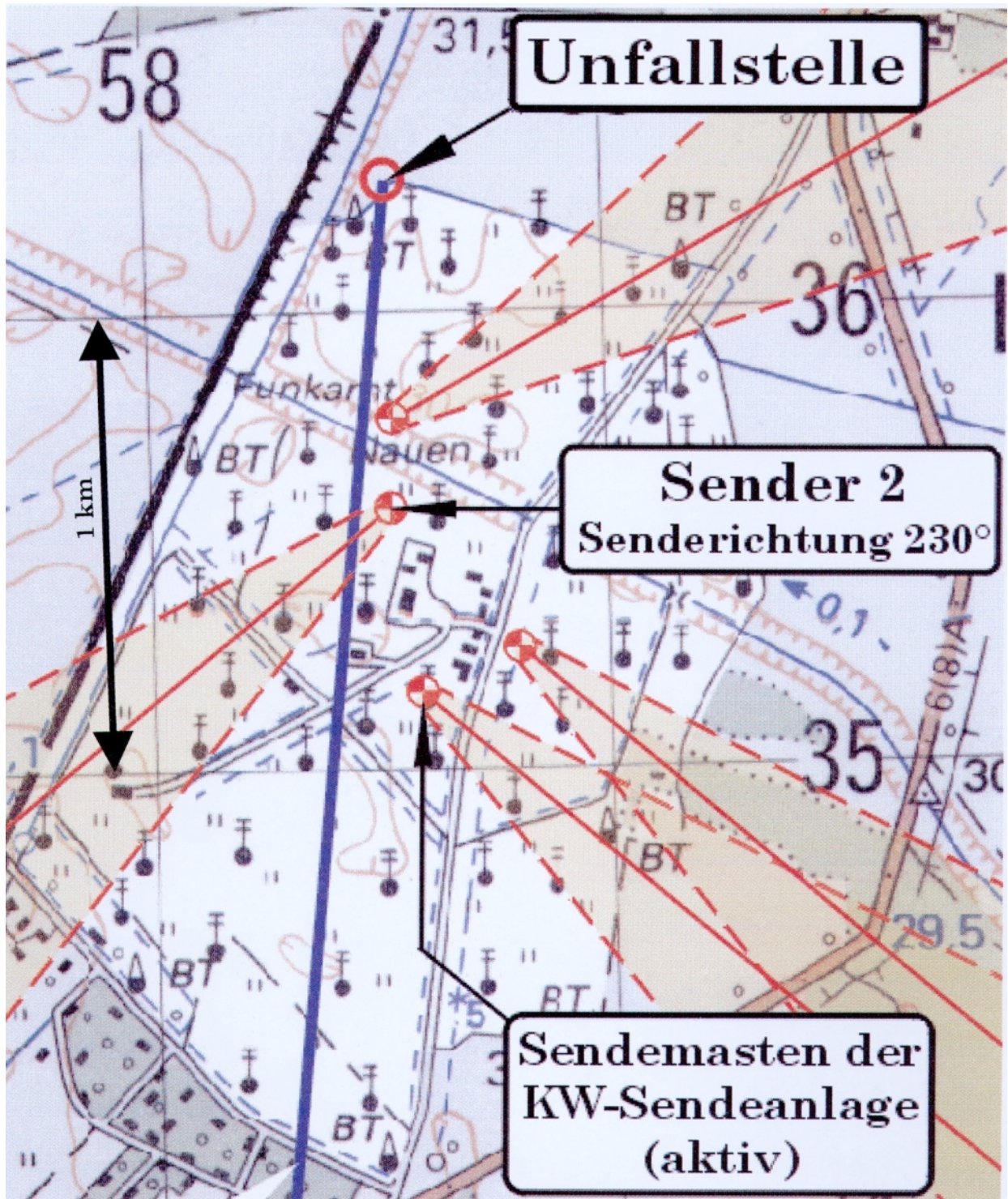
Johann Reuß Elektronik

George Blau Flugwegrekonstruktion

Höhenprofil Gasballon

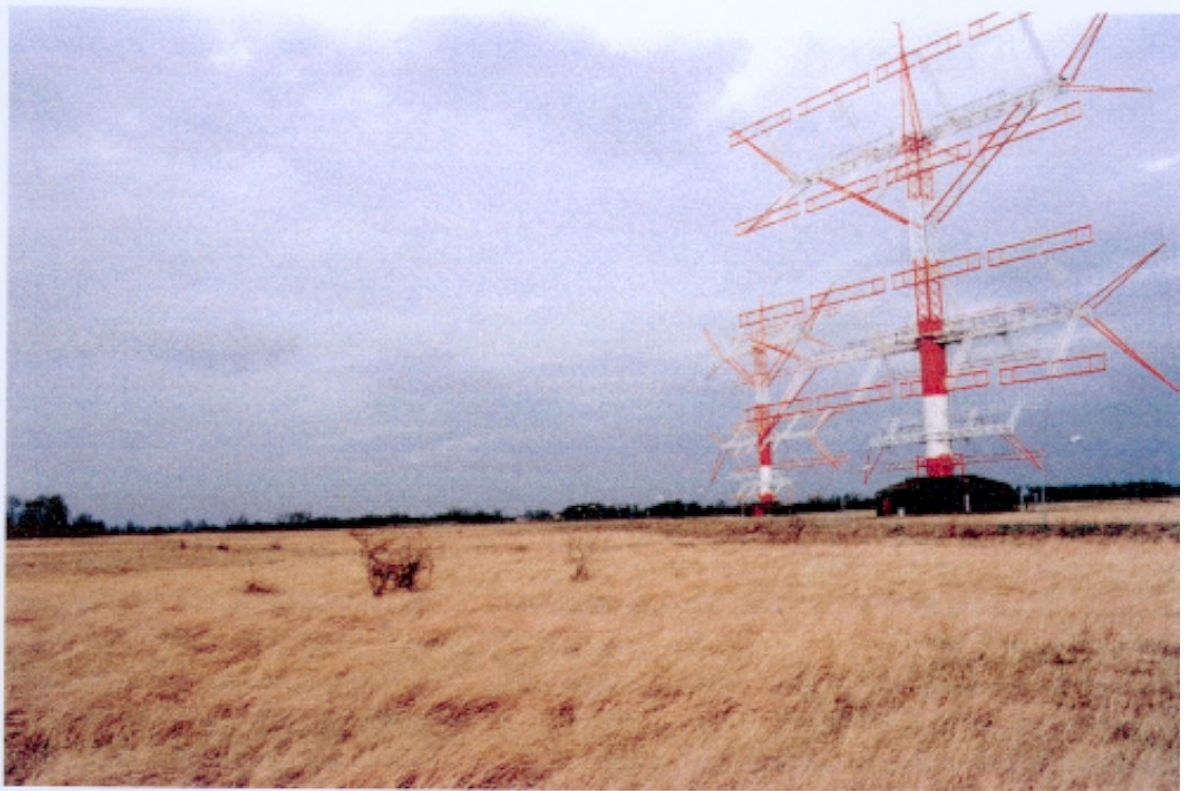




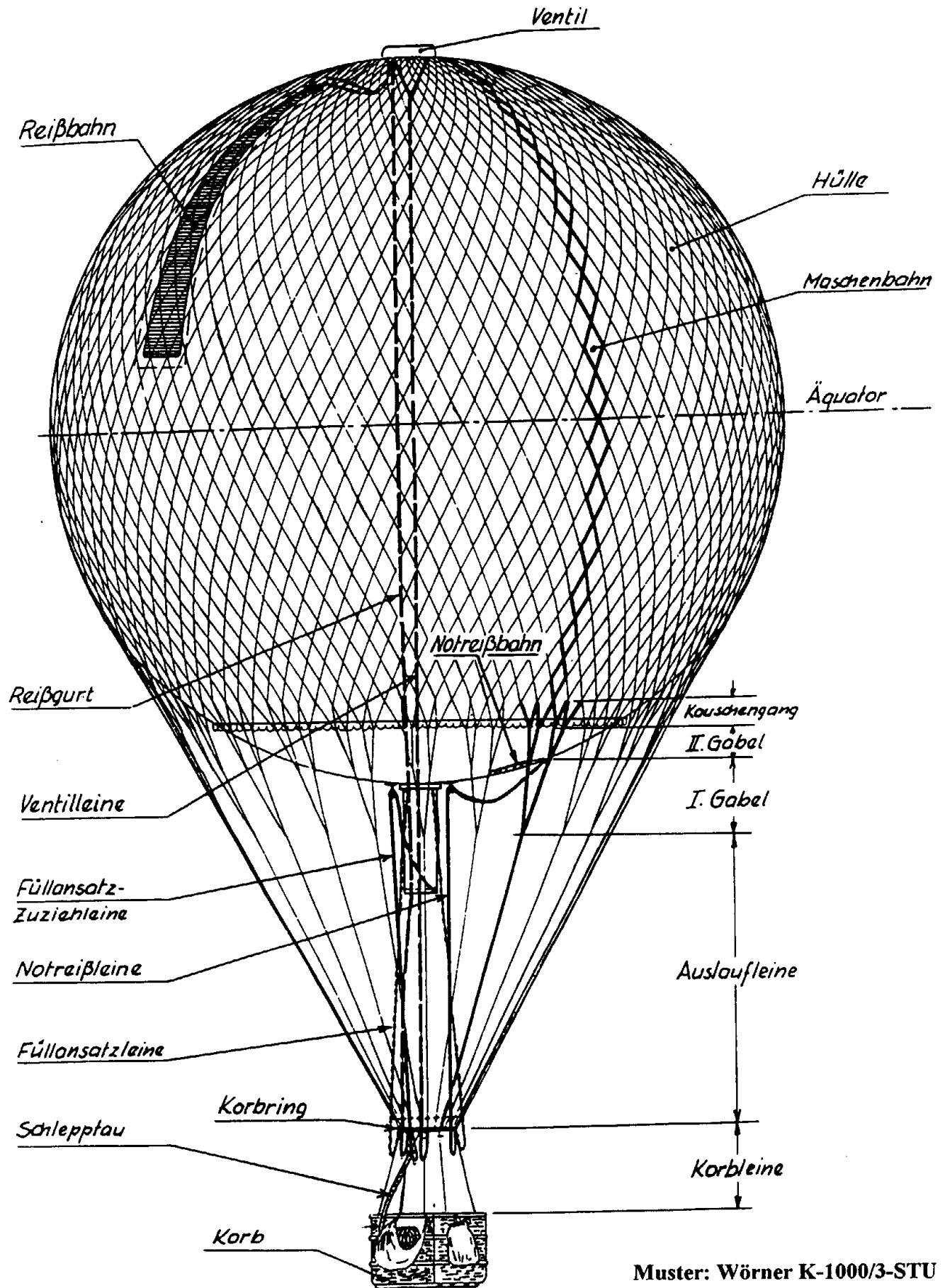




Anfahrtrichtung des Gasballons dokumentiert auf der Fahrweglinie

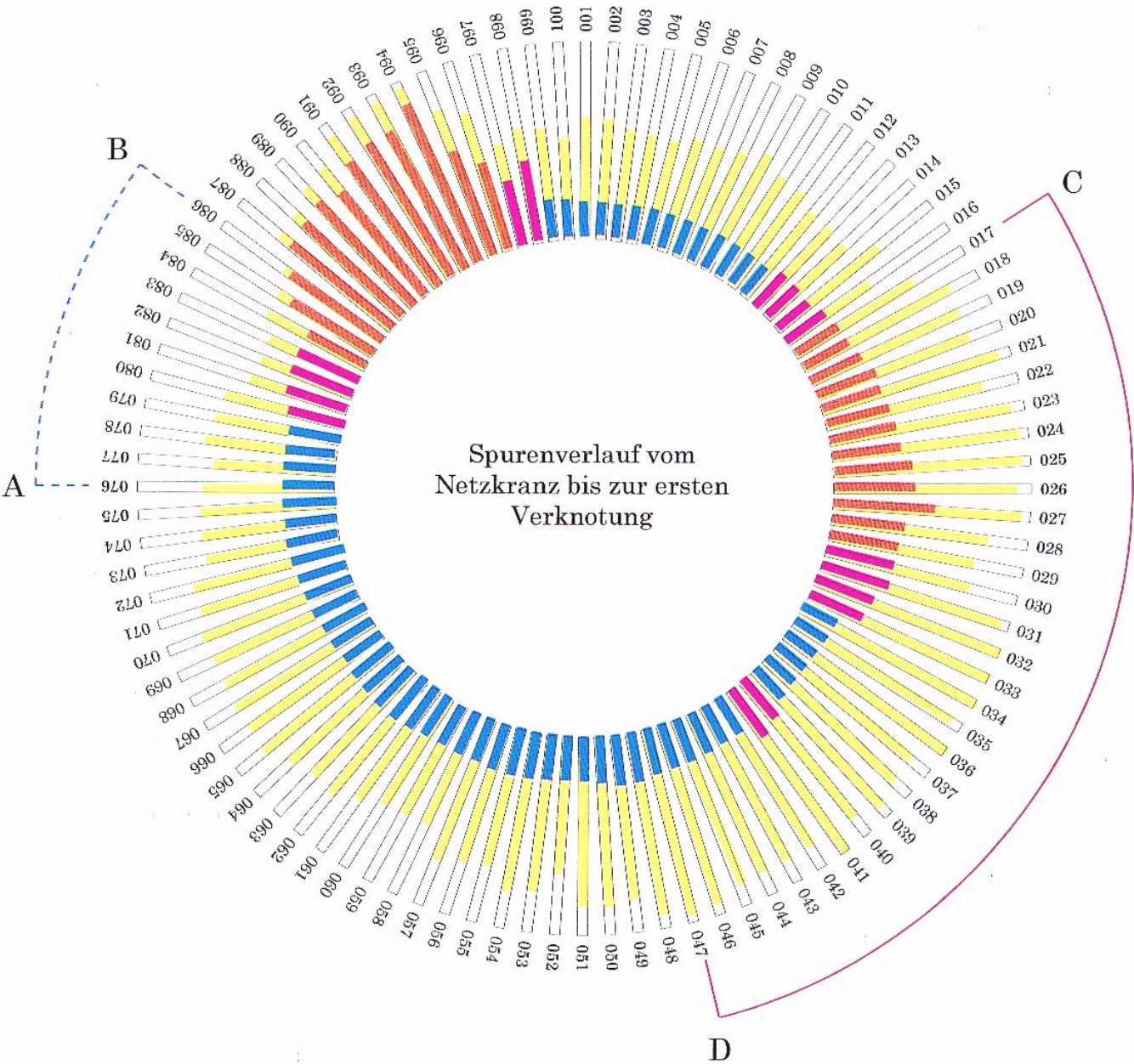


Weiterfahrtrichtung des Gasballons



Muster: Wörner K-1000/3-STU

Ballonnetz D-Ruhrpott



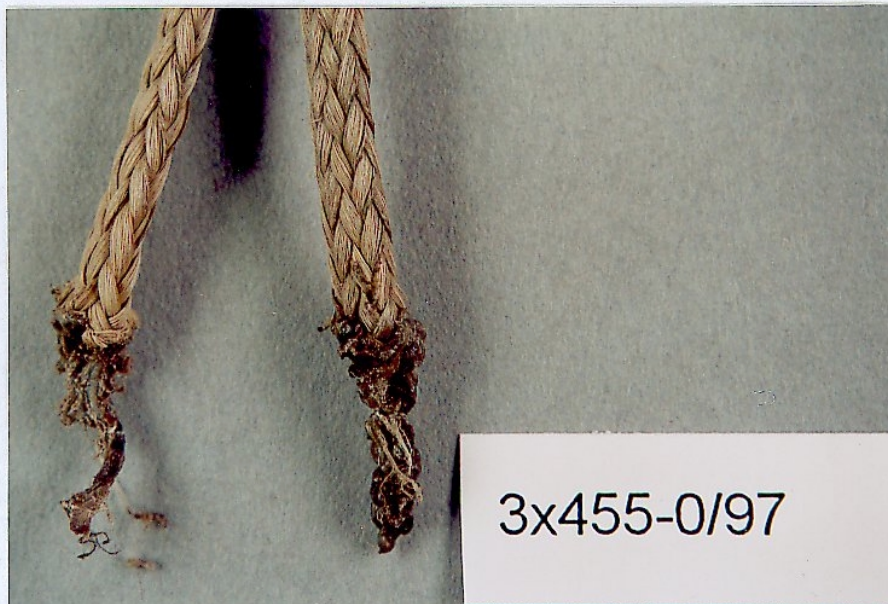
Legende:

A---B -Verhärtungen des Seilmaterials
ohne herausgetretene Leitfäden
(gerecktes Material)

C---D -Verhärtungen des Seilmaterial
mit herausgetretenen Leitfäden

- kaum Veränderungen am Material
- Seilmaterial an der Oberfläche verhärtet
- Abtrennung thermisch
- Abtrennung thermisch-mechanisch
- Abtrennung mechanisch

Anlage 7



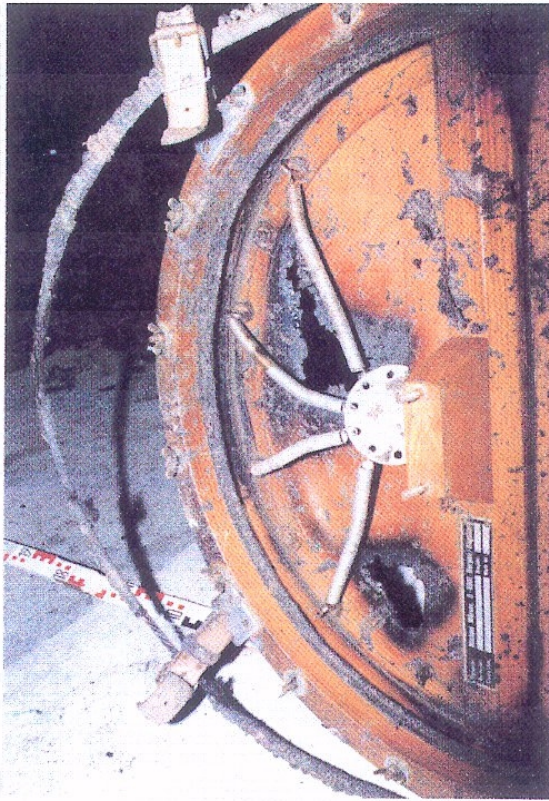
Abtrennung der Netzleinen
thermisch



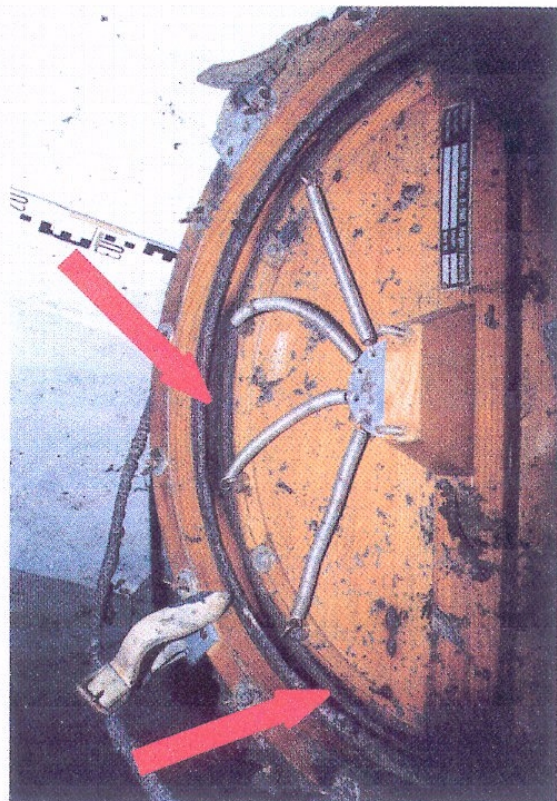
Abtrennung der Netzleinen
thermisch-mechanisch



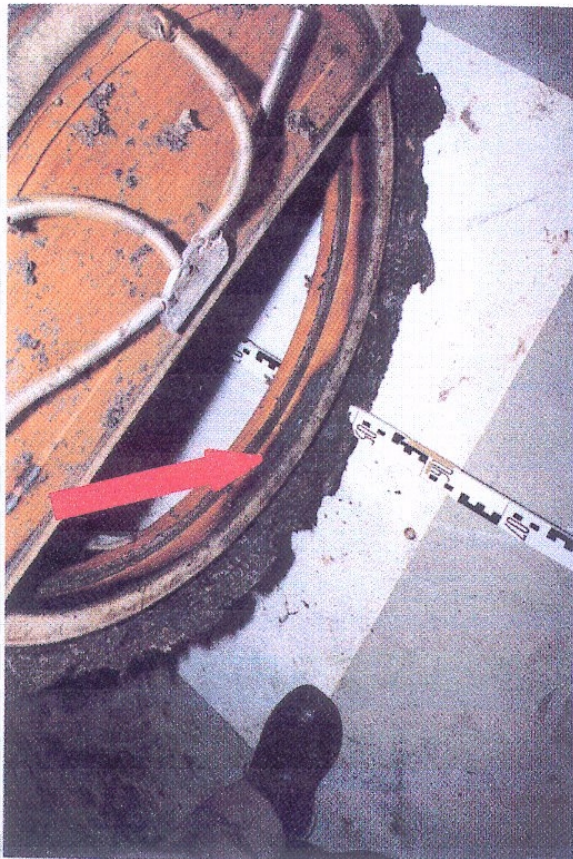
Abtrennung der Netzleinen
mechanisch



Zeigt die Oberseite einer Ventilkappe mit den lokalen Durchbrennungen. Im Bereich der Ventildichtung sind begrenzte Brandzehrungen von geringer Tiefe vorhanden.



Zeigt die Oberseite der zweiten Ventilkappe. Im Bereich der Dichtung sind ebenfalls lokal begrenzte Brandzehrungen von geringer Tiefe vorhanden.

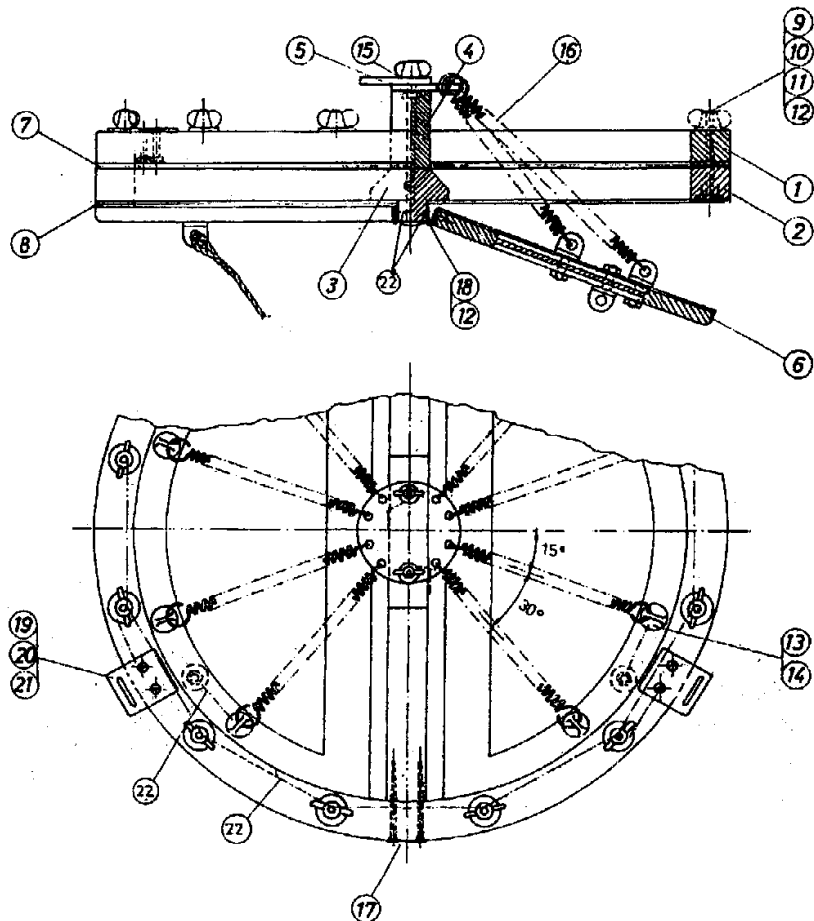


Detailaufnahme der lokal begrenzten Brandzehrungen von geringer Tiefe an der Ventilkappe und dem Holzring.



Detail: Ventil

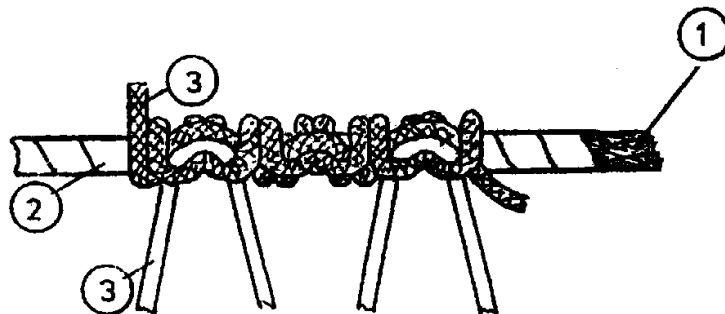
Anlage 9



Legende:

- | | |
|---------------------|---------------------------------|
| 1. Holzring, oben | 12. Spax - Schrauben |
| 2. Holzring, unten | 13. Ringmuttern |
| 3. Holm | 14. Unterlegscheibe |
| 4. Aufleimung | 15. Schloßschrauben |
| 5. Lochscheiben | 16. Schrauben Zugfedern |
| 6. Klappen | 17. Messing Holzschrauben |
| 7. Dichtungen | 18. Klavierband |
| 8. Filzdichtungen | 19. Netzhüften |
| 9. Tellerschrauben | 20. Messing Linsensenkschrauben |
| 10. Flügelmuttern | 21. Messing Sechskantschrauben |
| 11. Unterlegscheibe | 22. Kupferdraht |

Detail: Netzkranz



- | |
|-------------|
| 1 Stahlseil |
| 2 Klebeband |
| 3 Netzleine |

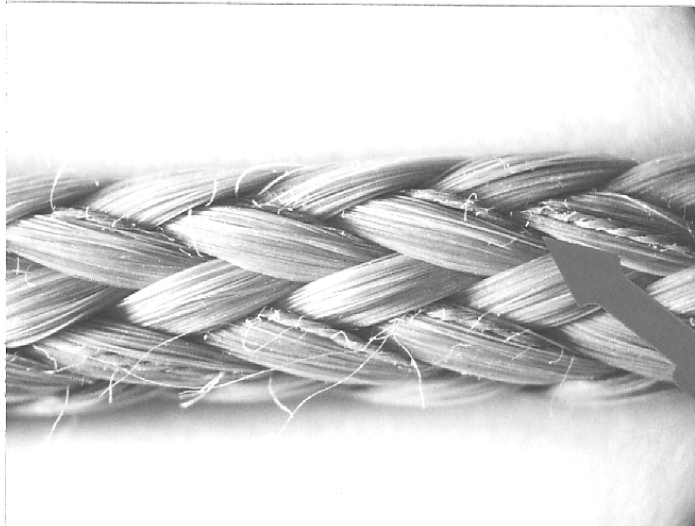


Ballonnetzleine neu

Farbe: hanffarbig

Spinnmasse: Polypropylen Homopolymer

Leitfaden: Polyester-Stapelfaser mit
20% Stahlfaser-Beimischung



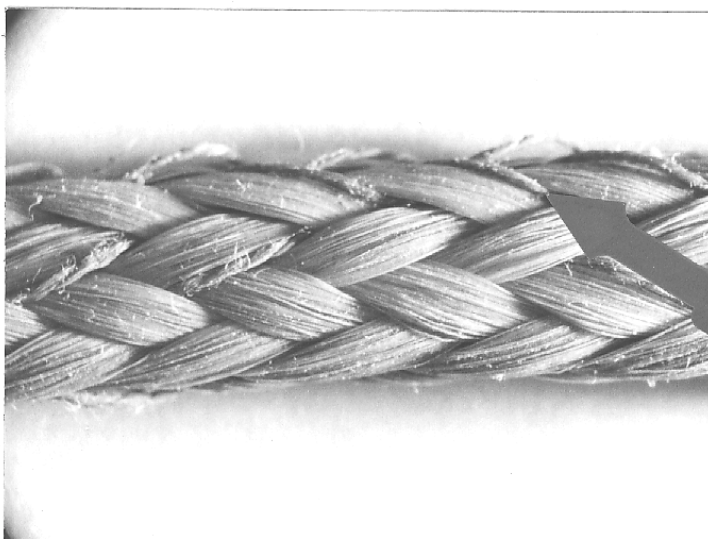
Ballonnetzleine gebraucht

Anzahl der Betriebsstunden vergleichbar
mit Unfallballon

Farbe: nachgedunkelt

Spinnmasse: dichtere Erscheinung durch
Zugbelastung, keine Besonderheiten

Leitfaden: sichtbar und ohne erkennbare
Veränderungen



Ballonnetzleine Unfallballon

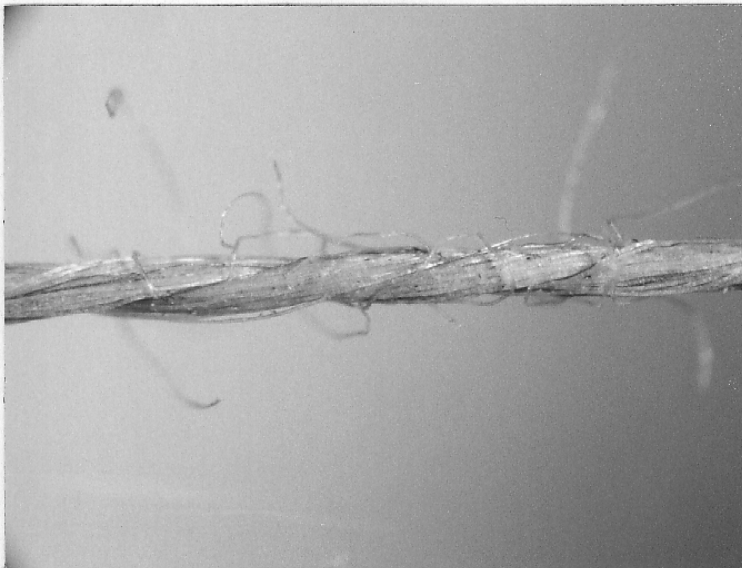
Die äußerliche Erscheinung ist kaum von
der Netzprobe des anderen Gasballons zu
unterscheiden.

Leitfaden hebt sich geringfügig aus der
Spinnmasse heraus.

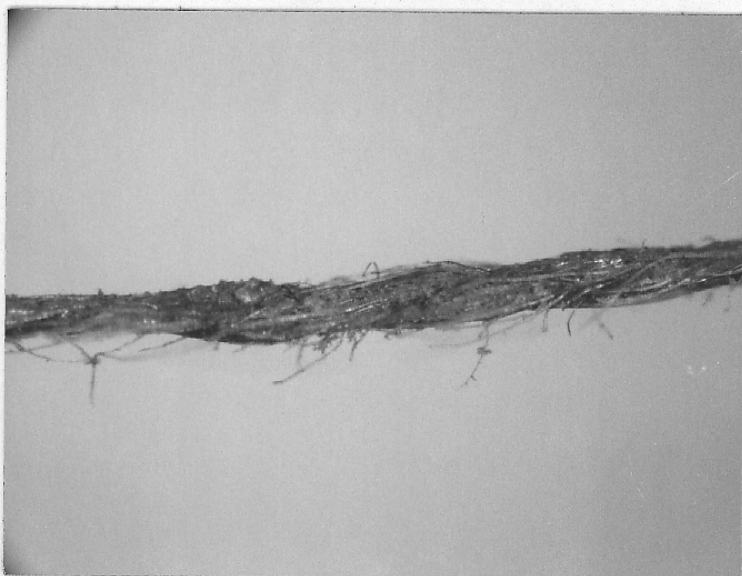
Anlage 11



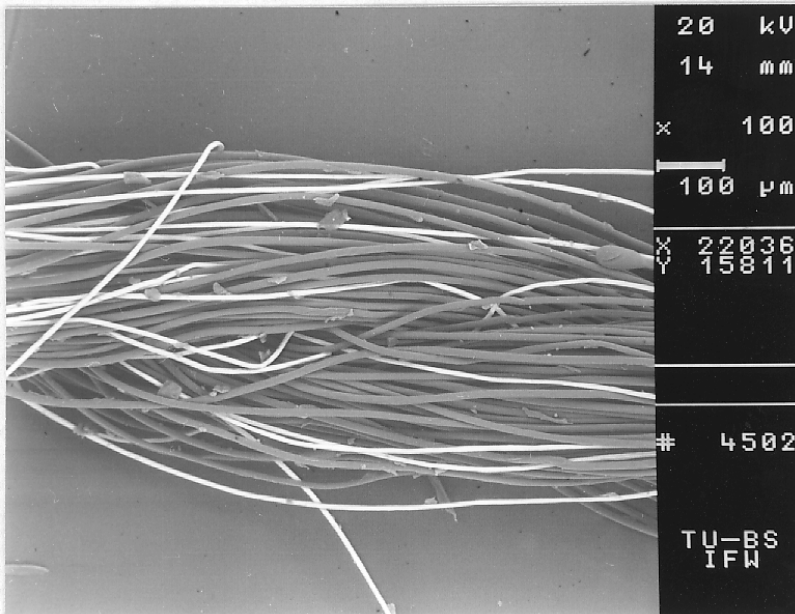
Ein Leitfaden aus einer neuen Netzleine mit Stahlfaserfilamenten mikroskopisch vergrößert dargestellt.



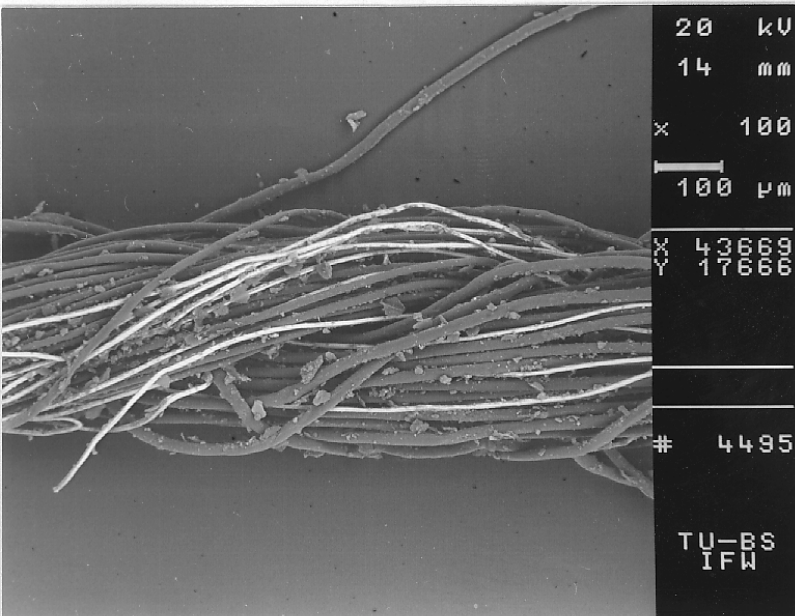
Ein Leitfaden aus einem gebrauchten Ballonnetz mikroskopisch vergrößert dargestellt.
Die Farbe der Spinnmasse ist nachgedunkelt, keine Strukturänderungen in den Kunststoffasern und der Erscheinung der Stahlfaserfilamente.



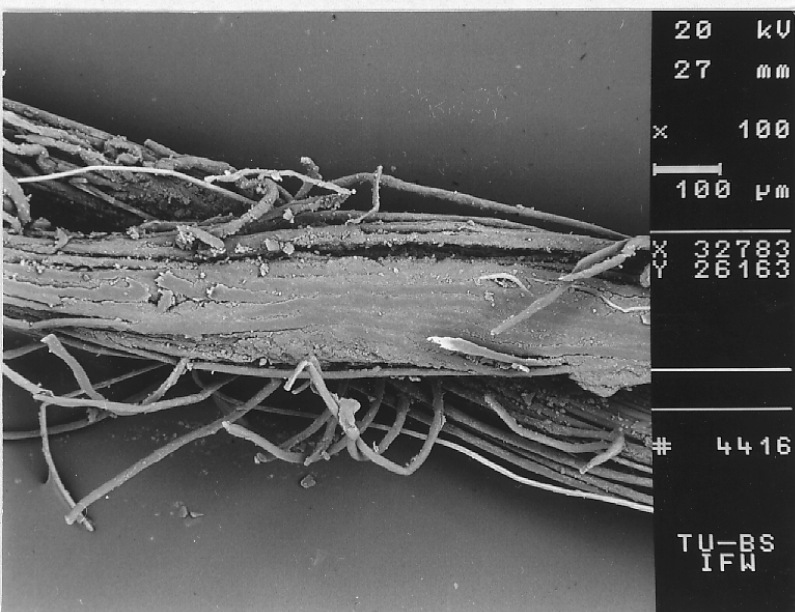
Ein Leitfaden einer Netzleine des Unfallballons mikroskopisch vergrößert.
Nachgedunkelte Farbe der Spinnmasse und verkürzte Stahlfaserfilamente erkennbar.
Strukturveränderungen im Kunststoffmaterial zu erkennen.



Ein Leitfaden aus einer neuen Netzleine mit dem Elektronenrastermikroskop vergrößert dargestellt.

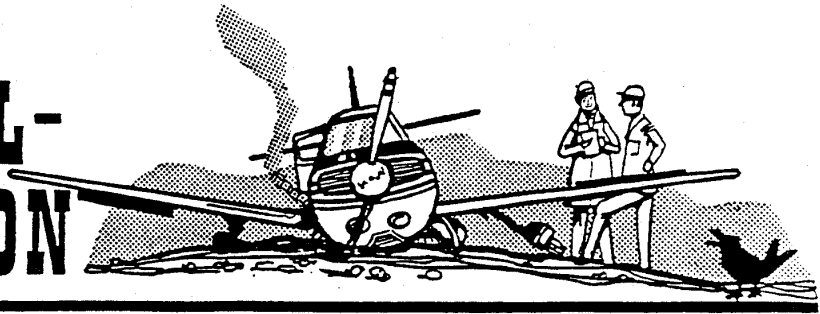


Ein Leitfaden aus einem gebrauchten Ballonnetz mit dem Elektronenrastermikroskop vergrößert dargestellt. Der Vergleich zum neuen Material zeigt kaum wesentlichen Veränderungen in der Struktur des Spinnmaterials und der Erscheinung der Stahlfaserfilamente.



Ein Leitfaden einer Netzleine des Unfallballons mit dem Elektronenrastermikroskop vergrößert dargestellt. Durch die Erhitzung der Stahlfaserfilamente ergaben sich deutlich sichtbare Verschmelzungen in der Kunststoffspinnmasse des Leitfadens. Die Struktur der Fasern ist im Vergleich zu den oben dargestellten Netzproben verändert.

FLUGUNFALL- INFORMATION



V 147

Braunschweig, November 1997

Sendeanlagen - weithin sichtbare Hindernisse

Der Flugunfall eines Gasballones in der Nähe einer leistungsstarken Sendeanlage steht noch am Anfang seiner Aufklärung. Ein Zusammenhang der Unfallursache mit dieser Anlage kann z.Z. weder ausgeschlossen noch bestätigt werden. Die bisherigen Feststellungen im Zusammenhang mit dem Unfallvorgang und weitere Informationen von anderen Luftfahrzeugführern geben Anlaß für diese Unfallinformation.

Der mit Wasserstoff gefüllte Gasballon näherte sich bei einer Wettbewerbsfahrt nach ca. 4 Stunden Fahrzeit in einer Flughöhe von 100 m einer Sendeanlage mit mehreren Antennen. Der Zielbereich der Wettfahrt war Fehrbellin. Die Wetterbedingungen waren gut und durch keine Besonderheiten beeinträchtigt. Von Zeugen beobachtet, ging der Gasballon in unmittelbarer Nähe der Sendemasten zügig in eine Steigfahrt über. Die Ballonhülle explodierte in ca. 300 m Höhe. Bei dem Unfall kamen alle vier Insassen ums Leben.

Ohne vorzeitig einen direkten Zusammenhang von Sendeanlage und Unfallursache zum o.g. Flugunfall herzustellen, verweisen wir auf die möglichen Gefahren für Luftfahrzeug und Personen an Bord, bei unmittelbarer Annäherung an solche Antennenanlagen. In Abhängigkeit von der Art der Sendeanlage und ihrer Sendeleistung besteht die Gefahr, daß sich in der unmittelbaren Umgebung durch Feldstärken der vorhandenen elektromagnetischen Felder

- eine Beeinträchtigung der Gesundheit der Luftfahrzeugführer und der Passagiere ergeben kann,
- die elektromagnetische Verträglichkeit der elektrischen und elektronischen Geräte an Bord überschritten werden kann, und es zu Funktionsstörungen dieser Einrichtungen und Geräte kommen kann,
- bei ungünstigen Voraussetzungen eine Erhitzung von metallischen Bauteilen eintreten kann.

Zur Vermeidung dieser Gefahren empfiehlt die FUS:

- **Die vorgeschriebenen Sicherheitsabstände zu Hindernissen am Boden sollten in jedem Fall eingehalten werden. Ein größerer seitlicher Abstand von mindestens 2 km kann an dieser Stelle nur empfohlen werden.**
- **Wenn möglich, sollte ein Überfliegen dieser Anlagen unterbleiben. Bei der Flugplanung sollten entsprechende Angaben im AIP zur Beschreibung der verzeichneten Luftfahrthindernisse genutzt werden. Ein Verzeichnis der Sendeanlagen in Deutschland mit den damit verbundenen Beschränkungsgebieten für Militärflugzeuge (HIRTA) ist gegenwärtig leider nur aus den militärischen Flugkartenmaterial ersichtlich.**

Verteiler:

Bund- und Länderbehörden, ausländische Behörden mit deutscher Sprache, Beauftragte für Flugunfalluntersuchung, Verbände, Zeitschriften, Ballonhersteller