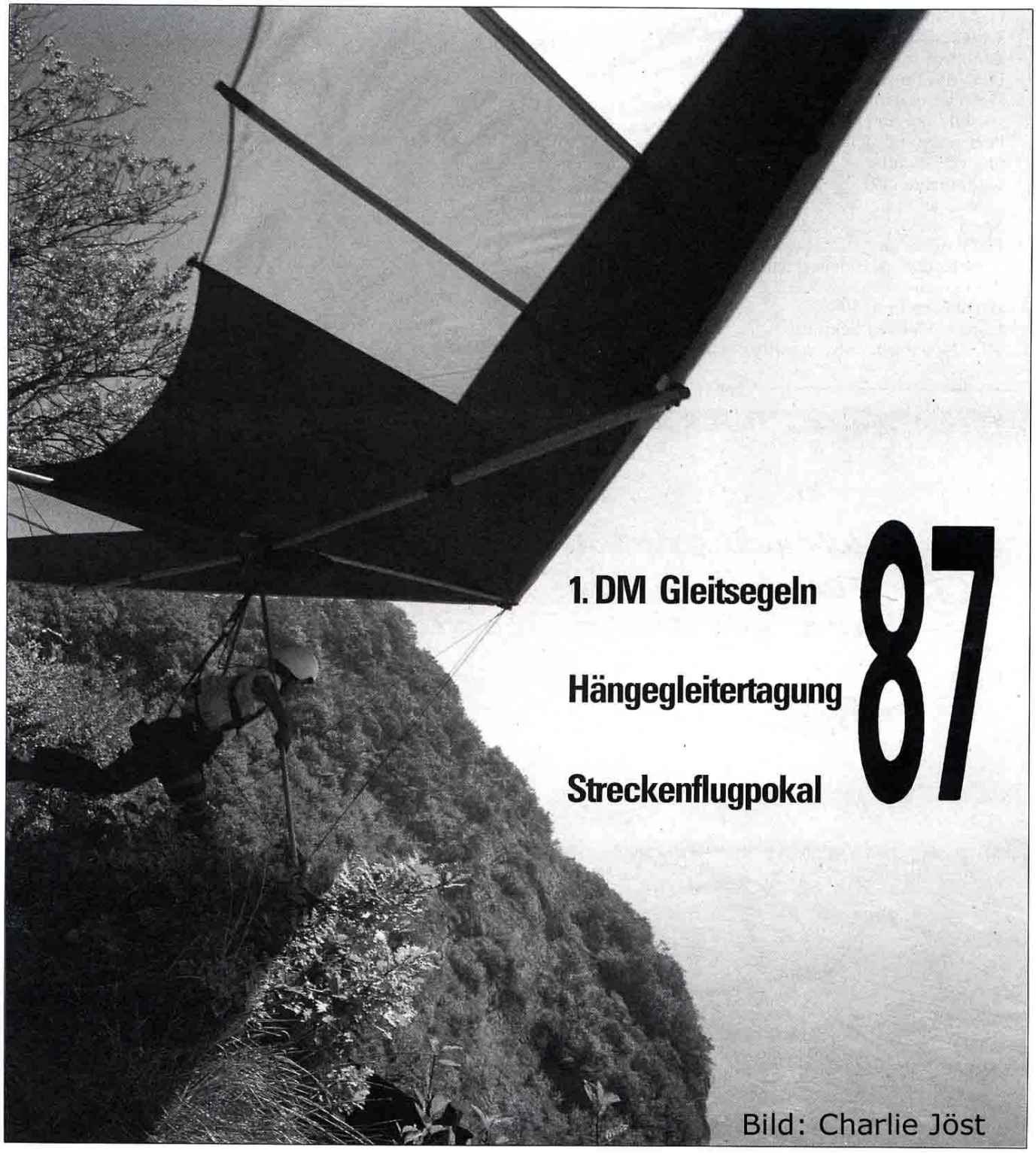
DHV-info Nr. 43

Informationsschrift des Deutschen Hängegleiterverbandes e.V. für Drachenflieger und Gleitsegler

B 5591 F *Dezember 1987*



Das Phänomen des Vorwärtsüberschlags

Untersuchung von Michael Schönherr

Folge 5

Tucks am laufenden Band

Am 7.9.85 trafen wir mit 3 Versuchsdrachen an der Kochertalbrücke ein, es waren dies 2 Wings-Geräte sowie der früher schon getestete Sierra. Ziel war heute, die Tuck-Bewegung im Experiment wiederholbar hervorzurufen bzw. zu verhindern, und die Flugbahn aus verschiedenen Foto-Perspektiven aufzuzeichnen und später auszuwerten.

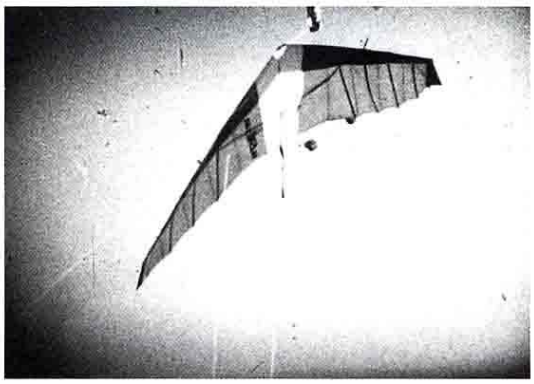
Als erstes wurde ein Wings ohne Umrüstsatz geworfen, von dem die Tuckneigung bekannt war. Erstaunlicherweise fing er in den ersten Versuchen ab. Der Grund dürfte darin zu suchen sein, daß mit dem Gerät der leichte herrschende Wind nicht genau geschnitten wurde und beim Rückwärts-Abrutschen ein Flügel weiter nach unten hing, wodurch das nachfolgende Abkippen eine mehr seitliche Komponente erfuhr und dann so sanft erfolgte, daß gar keine Negativlage mehr eintrat. Der Wings-Versuch um 10.05 Uhr brachte dann eine Überraschung. Das Gerät kippte aus zu steiler Aufhängelage rückwärts ab, wie wir es schon oft mit dem Sierra erlebt hatten (Abb. 10). Der Wings flog aber hernach keinen Abfangbogen wie der Sierra, sondern vollführte aus dem Rückenflug heraus einen äußerst heftigen Aufwärts-Tuck (Abb. 13). Die Verformungen waren so heftig, daß die Flügelenden etwa 2 m nach unten gebogen wurden, noch weiter als die Steuerbügelbasis. Die Bilder 2,9 s bis 3,2 s in Abb. 13 geben einen Eindruck von den gewaltigen Flügelverformungen im Tuck wieder. Es ist eindeutig, daß die Flügelverformung und das daraus resultierende »negative Pitch up« Ursache des Tuck ist. Die Bilder zeigen, wie die ganze rückwärtige Flügelfläche infolge Abwärtsbiegung Tiefensteuer gibt, woraus der unglaublich schnelle Rückenfluglooping = Tuck resultiert.

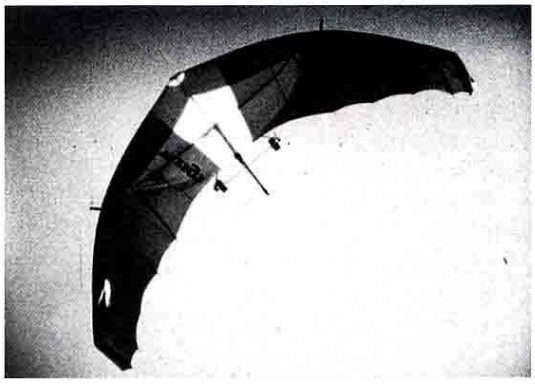
Abb. 10: Mißlungener Versuch, Looping statt Abkippen nach vorn (1. Versuch 22. 2. 85)

Charlie Jösts Tele-Kameraführung erlaubte den intimen Einblick in die sich verformende Flügelgeometrie bei dieser neu entdeckten Unfall-Flugfigur, die mit bloßem Auge auch von uns Fachleuten zunächst nicht genau erklärt werden konnte. Letztlich sagt die Flugfigur aus, daß wann immer ein im Negativbereich so Pitch-up-kritisches Gerät eine Negativanströmung vorfindet, es eine Flugfigur im Sinne: »Looping vorwärts« ausführen will. Während dieses Looping vorwärts wird der negative Anströmwinkel noch verstärkt, die Flügel verformen sich noch mehr in Richtung Tiefenruder, wodurch noch mehr Negativ-Anstellwinkel entsteht... Der ganze Vorgang mündet dann anstatt in einen runden Kunstflug-Looping vorwärts in den katastrophalen Tuck-Kringel.

Die Tele-Aufnahmen der Abb. 13 gestatten keine Flugbahn-Rekonstruktion, da der Hintergrund, ein »Koordinatensystem« fehlt. Dieses war jedoch bei meiner Motorkamera-Position in senkrechtem Abstand zur Brücke gegeben. Die weitgehend exakte Rekonstruktion dieses Aufwärts-Tuck aus dem Rückenflug heraus ist in Abb. 14 durch Flugauswertung mittels meiner Motorkamera-Bilderserie dargestellt. Diese und die Rekonstruktion aller noch folgenden Flugfiguren erfolgte so, daß die Dias der einzelnen Flugphasen auf einen großen an der Wand aufgespannten Zeichenkarton geworfen wurden. Jedes Dia wurde durch Justieren des Projektors so gerichtet, daß Brückenpfeiler und Fahrbahn mit Brückenpfeiler und Fahrbahn des ersten Dias (welche auf den Karton abgezeichnet waren) zur Deckung gebracht wurden. Sodann wurde das auf den Karton geworfene Drachenbild mit Bleistift nachgezeichnet. Damit war es möglich, Fluglage, Flugort und Flügelform in Abhängigkeit von der Zeit (= Schaltzyklus der Motorkamera) exakt festzuhalten. Eine perspektivische Entzerrung wurde hier nicht vorgenommen, da ihr Effekt bei dem großen gewählten Senkrechtabstand der Motorkamera zur Brücke klein ist, und auf die ersten hier vorgelegten Grundsatzuntersuchungen zum Tuck kein prinzipieller Einfluß besteht. Eine spätere Entzerrung könnte, falls gewünscht, sehr einfach dadurch erfolgen, daß gleich wie oben vorgegangen wird, der Projektor aber das Dia schräg von unten nach oben auf den Zeichenkarton wirft, wobei die Schräge so eingestellt wird, daß der Bildabstand der Brückenpfeiler oben und unten gleich groß ist.

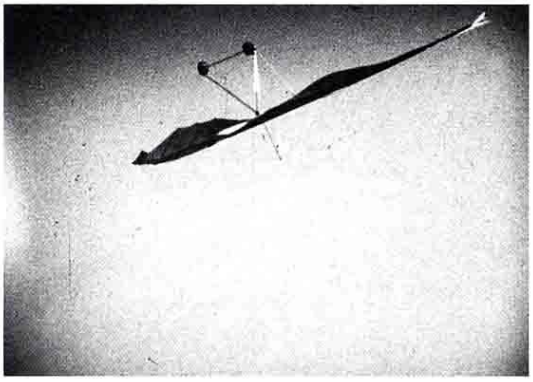
Im letzten der oben geschilderten Versuche wurde der erste Wings ohne Umrüstsatz beim Sturz ins Fangseil beschädigt. Der zweite geworfene Wings verhielt sich abermals unvorhergesehen. Er zerriß das tags zuvor von mir gekaufte 750-kp-Fangseil und segelte anschließend in etwas gedrücktem Freiflug über den Kocher und machte eine unsanfte Crash-Landung auf einem freien Plätzchen, gerade neben einem unzulässig geparkten PKW, in dem ein Rentnerehepaar saß. Dieses verließ dann fluchtartig den Ort des Geschehens und ward nie mehr gesehn. Es zeigte sich einmal mehr, daß man sich auf angegebene Seil-Festigkeitswerte nicht verlassen darf, gottseidank sind die Zugfestigkeiten unserer Rettungssystem-Halteleinen vor einigen Jahren per Gütesiegelforderung drastisch hochgesetzt worden, nachdem so mancher Rettungsschirm beim Öffnungsstoß abgerissen war. Auch wir werfen seither wieder mit hochfesten Fangseilen ab, so daß ein Riß nicht mehr vorkommen wird. Nachdem der zweite Wings jetzt auch beschädigt war, mußten die weiteren Versuche notgedrungen mit dem alten Sierra erfolgen. Trotz etwas auffrischenden Windes sollten die noch folgenden 10 Abwürfe sehr erfolgreich verlaufen. Ich hatte veranlaßt, daß der Drachen vor dem Abwurf ganz konsequent parallel zu der über ihm am Halteseil befestigten Windfahne ausgerichtet werden muß, so daß der Wind am Ausklinkort genau geschnitten wird. Das Ausrichten geschah mit einer zusätzlichen Leine vom Boden aus, welche beim Ausklin-

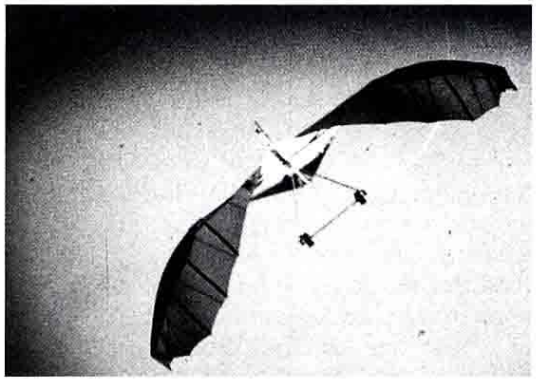

0s

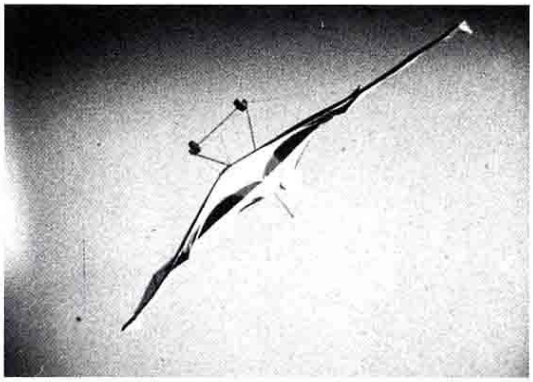

2,9s

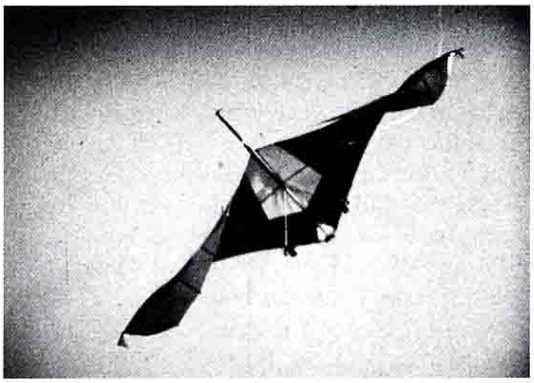
0,6s

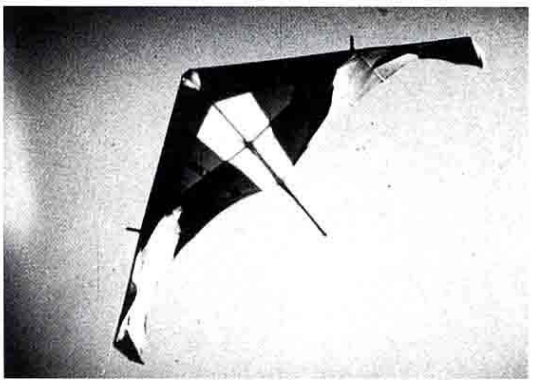
3s


1,8s


3,1s


2,4s


3,2s


2,7s

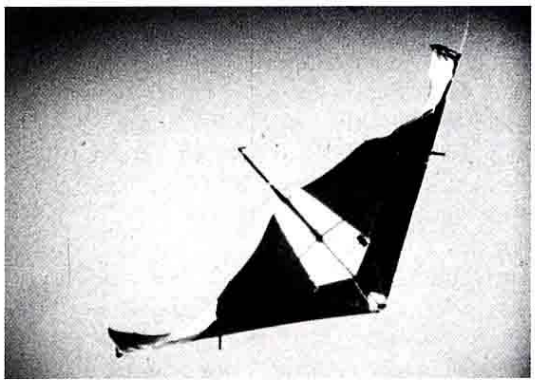

3,4s

Abb. 13: Eine neue Unfall-Flugfigur, erstmals dokumentiert am 7. 9. 85: Tuck nach Rückwärts-Abkippen (Versuch 10.05 Uhr)

Fotos von Charlie Jöst

ken losgelassen wurde. Abwurfversuche jeder Art streuen übrigens gewaltig, wenn man den Windeinfluß nicht eliminieren kann!
Folgende Abwurfresultate wurden mit dem Sierra wiederholbar erzielt:

- Abwurf ohne Swivels, ohne Lufflines:
  Es treten stets sukzessiv aufeinanderfolgende Tucks auf
- Abwurf ohne Swivels, mit Lufflines:
  Es können Tucks auftreten, es kann aber auch Abfangen erfolgen
- Abwurf mit Swivels und Lufflines:
  Es tritt stets Abfangen ein

Die Abb. 15 gibt die rekonstruierte Flugbahn eines typischen Tuck-Versuchs wieder, hier Sierra ohne Swivels und ohne Lufflines. Die flugmechanische Auswertung der aufgezeichneten Flugfiguren soll im nächsten Fortsetzungsbericht erfolgen, hier die Diskussion einiger Auffälligkeiten. Die eigentliche Tuck-Bewegung geht rasend schnell, zwischen Bild 2s und 2,5s werden mehr als 180° Drehung ausgeführt. In dieser Tuck-Drehung wird der Vertikalsturz abrupt abgebremst auf etwa Fallgeschwindigkeit 0! Wer also im Unfall das Glück hat, in der eigentlichen Tuck-Rotation am Boden aufzuschlagen, hat gute Chancen, nur wenig verletzt zu werden. Bei genügend Höhe schließt sich einer ersten Tuck-Rotation eine ca. eine Sekunde dauernde Sturzstrecke von 10 m an (Bild 2,5 s und 3 s), wonach auf etwa gleichbleibender Höhenlage eine neue Blitz-Rotation erfolgt. Sowohl die entfernten Swivels und Lufflines als auch die sichtbaren, im Sinne von Tiefenruder wirkenden Segelverformungen (siehe Abb. 1 u. 13) zeigen, daß die Ursachen des Tuck mangelnde Pitch-up-Werte sind, die z. B. mit dem Flugmechanik-Meßwagen festgestellt werden können.
Die Abb. 16 gibt nun eine Abfangbahn wieder, wie sie beim Sierra mit Swivels und Lufflines stets in ähnlicher Form erzielt wurde. Auch diese Bahn soll im nächsten Fortsetzungsbericht noch flugmechanisch weiter ausgewertet werden, hier aber schon einmal betr. Auffälligkeiten diskutiert werden. Zunächst verläuft bis 1,5 s alles gleich wie beim Tuck-Kandidaten der Abb. 15. Dann setzt Negativanströmung ein. Die hier getestete Sierra-Version besitzt im Negativbereich bis über 15° Negativanströmungswinkel positive, aufrichtende Pitchwerte (Resultat vom Flugmechanik-Meßwagen) und die Flugbahn

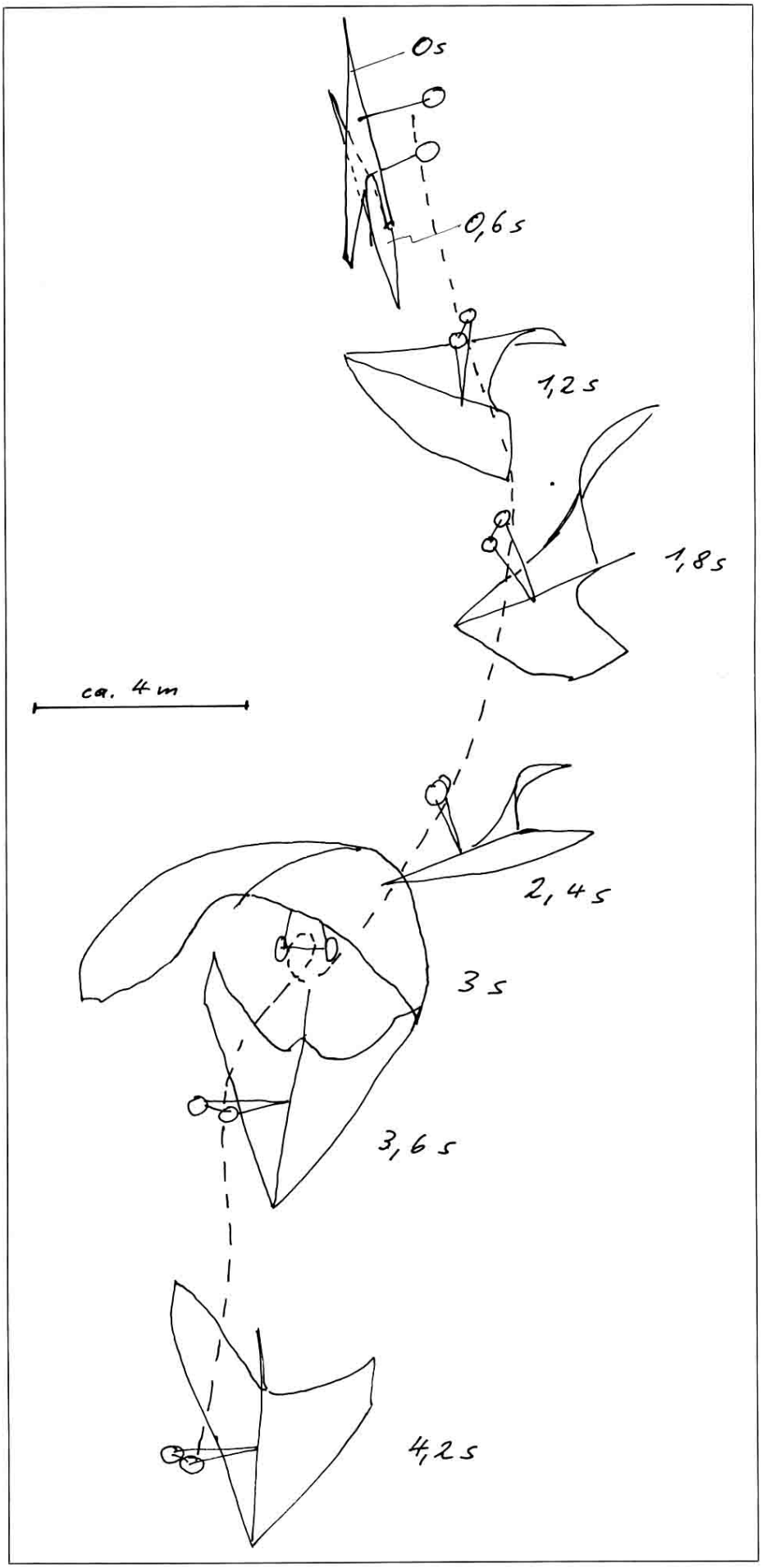


Abb. 14: Tuck nach Rückwärts-Abkippen. Flugauswertung einer Motorkamera-Bildserie (Versuch 7. 9. 85, 10.05 Uhr). (Der Kamera-Standort ist ein anderer als in Abb. 13!)

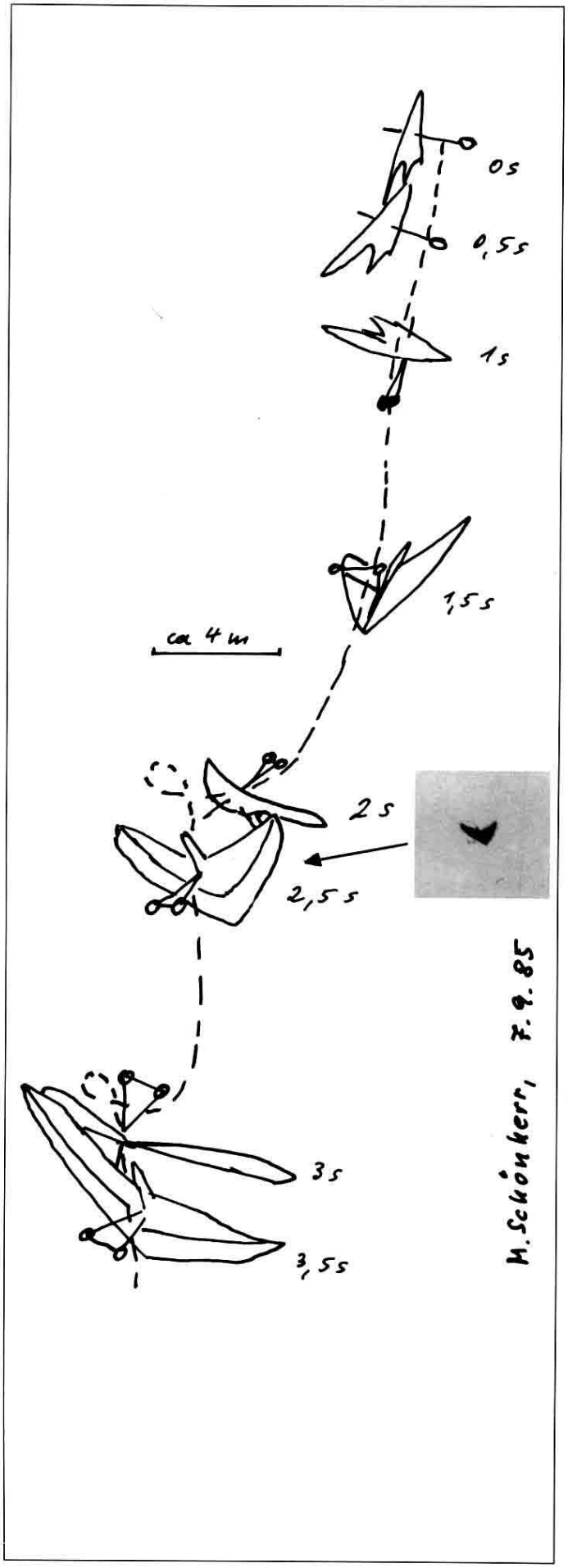


Abb. 15: Aus Motorkamera-Aufnahmen rekonstruierte Tuck-Flugbahn vom 7. 9. 85, 15.30 Uhr

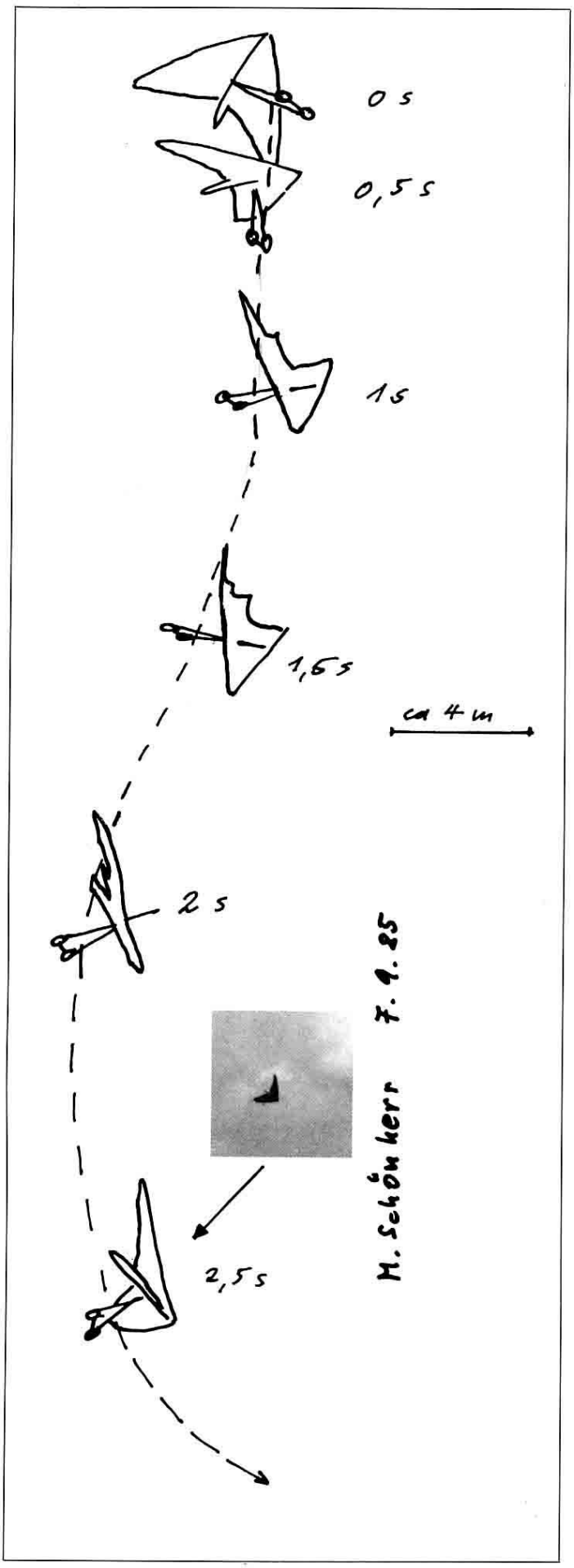


Abb. 16: Abfangbahn der bei fixiertem Pilotgewicht Tucksicheren Sierra-Version mit Lufflines und Swivels (Versuch 7. 9. 85, 13.50 Uhr)

geht deshalb in einen positiven Abfangbogen über. Charlie Jöst hatte den Mut, sich beim Abwurf genau unter den Drachen zu stellen, sein Tele-Resultat von demselben Versuch ist in Abb. 17 wiedergegeben. Der Fallschirm, den man ab Bild 0,8 s sieht, ist übrigens kein Bremsschirm des Drachens, sondern ein Bremsschirm für das nach oben beim Ausklinken wegschnellende Halteseil, welcher verhindert, daß die Ausklinkapparatur durch den Gummieffekt des gespannten Gesamtseils in den Bereich der Fahrbahnhöhe hochschleudert.

Die Segelverformungsbilder zeigen hier sehr genau, warum Abfangen eintritt. Ab Bild 1,2 s wird das Segel negativ angeströmt. Durch Lufflines und Swivels bedingt schlägt das Segel jetzt im hinteren Bereich nach oben aus, besonders schön in Bild 1,6 s zu sehen. Dadurch wird selbsttätig Höhenruder gegeben: Es tritt Abfangen ein. Die Betonrippen der Fahrbahn erlauben auch eine Rekonstruktion der Horizontalbewegung im Sturzflug. Zwischen Bild 1,2 s und 2,2 s ist der Drachen mehr als einen Rippenabstand nach links versetzt worden, was mehr als 5 m entspricht, wie es auch schon Abb. 16 wiedergibt. Dieser Versatz rührt von der negativen Auftriebskraft infolge Negativanströmung her. Im nächsten Fortsetzungsbericht wird gezeigt, daß diese Negativkraft etwa −1 g ausmacht, ein gefaßter Pilot könnte diese Last noch aushalten, ohne daß ihm der Steuerbügel aus der Hand gerissen wird. Wie wird das festgestellt? Die aus Abb. 16 rekonstruierbare Fluggeschwindigkeit (siehe nächsten Fortsetzungsbericht) erlaubt zusammen mit der herausgelesenen Flugbahnkrümmung diese Aussage. Das war mir aber noch zu ungenau, vor allem waren die Beschleunigungen im Rotationsteil der Tuckbewegung nur unzureichend aus den Motor-Kamera-Bildern rekonstruierbar. Deshalb veranlaßte ich, einen optischen Beschleunigungsmesser in den Abwurfdrachen einzubauen und während des Abwurfs von einer an Bord befindlichen Kamera filmen zu lassen. Charlie Jöst übernahm diese anspruchsvolle »Telemetrie-Aufgabe«, die ein voller Erfolg werden sollte. Von den damit erhaltenen hochinteressanten Resultaten sowie von den kompletten Flugauswertungen der Tuck- bzw. Abfangfiguren soll der nächste und letzte Fortsetzungsbericht handeln.

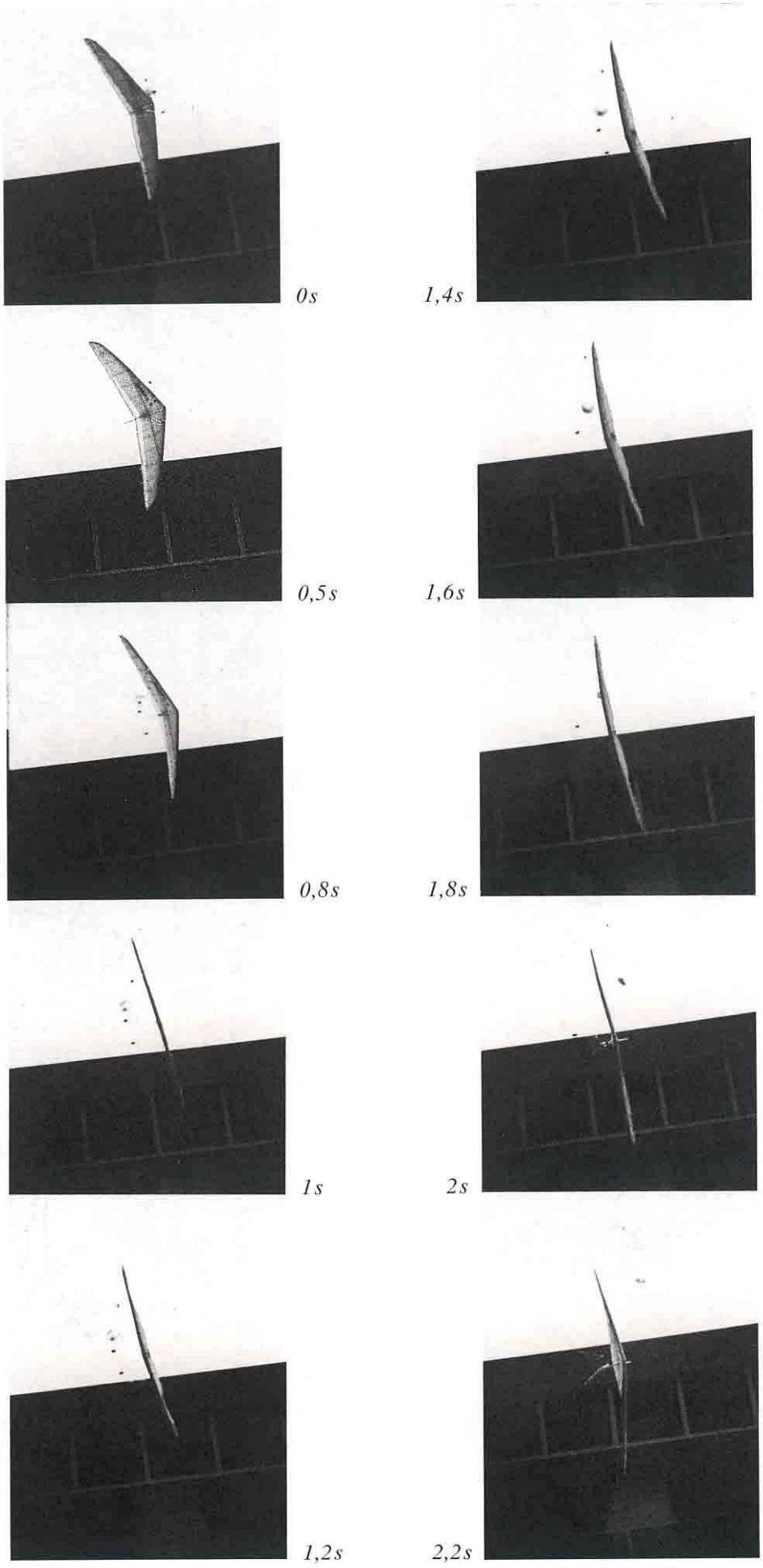


Abb. 17: Das Abfangen der bei fixiertem Pilotgewicht Tuck-sicheren Sierra-Version mit Lufflines und Swivels direkt von unten aufgenommen (Versuch 7. 9. 85, 13.50 Uhr)

Film-Fotos von Charlie Jöst