Heft 2016/12 · ISSN 0175-0143
€ 7,40 · USD 8.90 · CHF 9,10

Pilot und Flugzeug

D 4910 E

www.pilotundflugzeug.de

Neuer EASA-Vorschlag:

Basic Instrument Rating (BIR)

Ab wann fliegen wir gewerblich?

Flugbetrieb während der AERO

Der mysteriöse Flug MH370

30 Jahre Non-Stop Weltumrundung

Rutan Voyager

Das Apollo-Projekt der Experimental-Szene

361023

Voyager – Nonstop um die Welt

GEFÄHRLICH UND FASZINIEREND: REKORDFLUG VOR 30 JAHREN

von Flugkapitän Peter Klant

Vor 30 Jahren begann in Kalifornien eines der größten Flugabenteuer des letzten Jahrhunderts: Im Dezember 1986 starteten Dick Rutan und Jeana Yeager mit der „Voyager" zu einem Flug um die Welt. Nonstop. Ohne unterwegs aufzutanken. Wer damals den Flug in den Medien verfolgte, konnte kaum ahnen, welche Risiken die Crew auf sich nahm. Es grenzt an ein Wunder, dass die Crew nach neun Tagen Flug wieder sicher auf die Erde zurückkehrte. Dieser Bericht erinnert an ein unglaubliches Abenteuer…

Rutan „Voyager" **National Air & Space Museum**

Double Trouble auf einem ungewöhnlichen Testflug

Im Juli 1986 flog die Voyager zu einem Testflug an der kalifornischen Pazifikküste entlang. Ziel des Fluges war es, zu prüfen, wie zwei Piloten mehrere Tage lang an Bord leben könnten. Mit diesem Flug sollte gleichzeitig ein neuer Weltrekord auf geschlossener Flugstrecke aufgestellt werden. Auch sollte die Zusammenarbeit mit Mission Control getestet werden, die erstmals in voller Besetzung den Flug unterstützte. Gleich auf der ersten Strecke nach Norden gab es ein Problem, das das Leben der Piloten direkt bedrohte: Auf einmal fing das Flugzeug wie wild an zu schütteln und vibrieren. Die Ursache war nicht sofort ersichtlich. Dann sah Jeana Yeager durch eines der Cockpitfenster, was es war: Flattern … Der vordere Flügel flatterte wie ein Blatt Papier im Hurrikan. Dick Rutan verstand nicht sofort, was sie meinte. Erst als sie schnell die Fallschirme hervorholte, erkannte auch er das Problem. Mit beiden Triebwerken auf Leerlauf nahm er vorsichtig die Nase hoch … Als die Geschwindigkeit zurücklief, hörte das Flattern sofort auf. Der Flug wurde mit leicht reduzierter Fahrt fortgesetzt.

Nach dem ersten Wendepunkt ging das Drama weiter: Auf Süd-Kurs erhöhte sich die Drehzahl des hinteren Motors langsam und unkontrollierbar. Die elektrische Propellerverstellung versagte, bei Betätigung des Notschalters flog die Sicherung wiederholt raus. Der vordere Motor war – wie vorgesehen – abgestellt und sein Propeller in Segelstellung. Nach der Checkliste wurde dieser zweite Motor angelassen. Aber selbst mit Vollgas vorne ging die Maschine in den Sinkflug. Der Amok laufende hintere Propeller, angetrieben vom Fahrtwind und dem Luftstrom des vorderen Motors, erzeugte einen Widerstand wie ein riesiger Bremsfallschirm (siehe dazu mein Artikel „Prop Failure“, ***Pilot und Flugzeug*** 2015/01). Würde es nicht gelingen, den Propeller zu stoppen, wäre die Maschine verloren. Mit dem vorderen Motor im Leerlauf zog Dick die Maschine hoch und verlangsamte die Fahrt auf eine so geringe Geschwindigkeit, wie sie noch nie vorher im Testprogramm geflogen worden war. Ein Kontrollverlust lag durchaus im Rahmen der Möglichkeiten. Langsam verringerte sich die Drehzahl des hinteren Propellers … und er stoppte. Vollgas auf dem vorderen Motor ermöglichte es dann, endlich die Höhe zu halten. Mit dem Zauberwort „Mayday, Mayday“ erhielt die Crew die Genehmigung, auf der Spaceshuttle-Landebahn des Luftwaffenstützpunkts Vandenberg notzulanden.

Nach der Reparatur der Propellerverstellung wurde der „Übungsflug“ wiederholt. Das Problem mit dem Flattern wurde vor der Öffentlichkeit geheim gehalten, die Ursache später beseitigt. Mit dem Übungsflug wurde ein neuer Langstrecken-Weltrekord aufgestellt.

Wer waren diese beiden Piloten, die nur zur Übung über 111 Stunden lang vor der Küste hin und her flogen? Und was waren das für Typen, die eine Maschine entworfen und gebaut hatten, die auf einem Testflug eine Strecke zurücklegte, die größer war als die Entfernung von Paris nach Tokyo?

Um den Rekordflug um die Welt verstehen zu können, darf man nicht beim Flugzeug anfangen. Deshalb möchte ich zunächst die wichtigsten Personen des Voyager-Projekts vorstellen. Vier dieser Personen sind auf dem Rumpf der Voyager verewigt: Burt Rutan – Designer, Dick Rutan – Pilot, Jeana Yeager – Copilotin, Bruce Evans – Crew Chief.

Burt Rutan

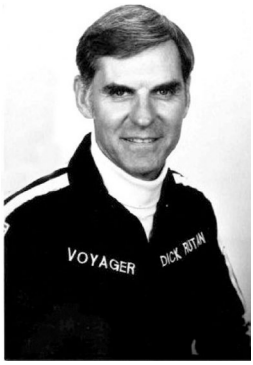
Die beiden Brüder Dick und Burt Rutan wurden in ihrer Kindheit auf jeden Flugplatz und zu jeder Airshow geschleppt, die zu besuchen der Vater Zeit fand. Die ganze Familie war flugbegeistert, obwohl der Vater beruflich nichts mit der Fliegerei zu tun hatte.

Burt Rutan

Burt Rutan, geboren 1943, erhielt in seiner Jugend so viele Preise als Flugmodellbauer, dass man die Regeln änderte, damit auch mal andere zum Zug kamen. Nach seinem

Studium arbeitete er als ziviler Testingenieur auf der Edwards Air Force Base. 1969 und 1970 war er mit dem Programm betraut, das unangenehme Trudelverhalten der F-4 Phantom zu studieren. Er saß bei den Trudelversuchen hinter dem Piloten auf dem zweiten Cockpitsitz. Das von Burt Rutan erstellte Pilotenhandbuch zur Spin Recovery der Phantom rettete damals das gesamte F-4-Programm. Trotz seines Erfolges in Edwards wollte Burt die Unabhängigkeit. Mit Ermunterung seiner Eltern und einem Darlehen seines Vaters gründete er die RAF, die Rutan Aircraft Factory. Dort entwickelte, baute und testete er Composite-Flugzeuge und verkaufte die Pläne an Selbstbauer.

Dick Rutan



Geboren 1938 in Kalifornien, begann Dick Rutan bereits in seinem 15. Lebensjahr zu fliegen. Seinen ersten Alleinflug machte er nach nur 5 1/2 Stunden Flugtraining. Zielstrebig machte er die Instrumentenflug- und Mehrmotorberechtigung. Er lernte Wasserflugzeuge fliegen, erwarb den Berufspilotenschein und machte die Ausbildung zum Fluglehrer. Gleich nach der Schulzeit ging er zur US Luftwaffe, wo er zuerst als Navigator flog. 1966 kam er als Pilot endlich auf sein Traumflugzeug, die F-100. Sein ganzer Lehrgang, der zuletzt auf der Luke Air Force Base (Phoenix, Arizona) ausgebildet wurde, ging 1968 nach Vietnam. Es gibt keinen US-Piloten, der mehr Flugstunden über diesem gefährlichen Kriegsgebiet geflogen ist, als Dick Rutan. Er flog mit der F-100 dreimal 120 Tage lang Einsätze über Nordvietnam als Fast-FAC, also als Forward Air Controller. Aus der F-100 musste er zweimal mit dem Schleudersitz aussteigen. 1975 verließ Dick Rutan die Luftwaffe, nachdem man ihn bei einer Beförderung auf der Davis Monthan Air Force Base in Arizona übergangen hatte. Der Streit über diesen Entschluss beendete seine Ehe mit seiner Frau Gerry, mit der er zwei Kinder hat.

Mit 39 Jahren musste Dick Rutan noch einmal ganz von vorne anfangen. Dick zog an den Flugplatz von Mojave in Kalifornien und arbeitete dort als Testpilot für seinen Bruder Burt.

Jeana Yeager

Jeana, geboren 1952, war in ihrer Jugend eine begeisterte Läuferin und Pferdenärrin. Sie liebte Reisen, Outdoor-Aktivitäten und vor allem die Unabhängigkeit. Mit 20 Jahren heiratet sie einen Polizisten in Texas. Nach fünf Jahren Ehe befürchtete sie jedoch, in Texas in einem kleinen Nest zu versauern. Sie trennte sich ohne Groll von ihrem Mann und zog zu ihrer älteren Schwester nach Kalifornien. Zunächst arbeitete sie als Zeichnerin und Vermesserin in einer Geothermie-Firma. In dieser Zeit machte sie 1978 ihre Privatpilotenlizenz. In Kalifornien lernte Jeana Yeager den Raketen-Pionier Bob Truax (1917–2010) kennen. Truax entwickelte mit seiner Firma Truax Engineering eine wiederverwendbare Rakete, um zahlenden Passagieren Suborbitalflüge zu ermöglichen. Jeana Yeager war begeistert und wechselte zu Truax. Sie zeichnete seine Entwürfe und übernahm bald selbst einzelne Projekte,

wie den Bau eines Prüfstands. Truax stellte sie gern als „Jeana, meine Astronautin“ vor. Bei Bob Truax zeigte sich das große Organisationstalent, das Jeana Yeager später beim Voyager-Projekt unentbehrlich machen würde.
Jeana Yeager lernte Dick Rutan 1980 bei einer Airshow in Chino kennen. Es dauerte nicht lange und sie waren ein Paar. Sie machten gemeinsam viele Langstrecken-Flüge in Rutans VariEze und Long-EZ.

Bruce Evans

Bruce Evans kam ursprünglich aus der Bau-Branche. Er war Pilot und Amateurflugzeugbauer. Eines Tages kam Evans nach Mojave, um sich nach den Voyager-Plänen zu erkundigen. Er war so begeistert, dass er in Mojave blieb. Evans wurde formal als „Berater“ angeheuert, war aber – so Dick Rutan – bald das Herz und die Seele des Projekts. Er arbeitet vier Jahre zusammen mit Dick am Bau der Voyager und wurde der Crew-Chief des Projekts.

Mike und Sally Melvill

Auch Mike Melvill und seine Frau Sally halfen bei der Voyager mit. Burt Rutan kannte Mike, weil dieser als Erster überhaupt ein Rutan-Flugzeug gebaut hatte: Rutans erstes Full-Scale-Design, eine VariViggen. 1978 überredete Rutan Mike und Sally Melvill, nach Mojave zu kommen. Sally arbeitete in der Buchhaltung der RAF, Mike als Techniker. Mike Melvill war bald die rechte Hand von Burt Rutan und ein guter Freund. Er blieb sein ganzes Berufsleben bei Rutan, nach Dicks Ausscheiden aus der RAF wurde Mike Melvill der Chef-Testpilot des Unternehmens. Mike flog später bei Burts „Scaled Composites“ das Raumschiff SpaceShipOne und wurde so der erste Astronaut einer privaten Firma. Insgesamt – so hieß es – halfen 999 verschiedene Personen bei der Entwicklung, beim Bau, den Tests und bei dem Flug selbst mit. Ingenieure und Piloten, Mitarbeiter der Herstellerfirmen des Materials, der Propeller, der Motoren und der Avionik, Meteorologen sowie Leute aus allen Berufen, die längere Zeit oder nur an einigen Wochenenden mitmachten, um den Flug Wirklichkeit werden zu lassen. Allein das Mission Control Team in Mojave bestand aus etwa 60 Personen.

Startschuss für die Voyager – auf einer Serviette

Nach seinem Rückzug aus der Air Force begann Dick Rutan zuerst als Chief Testpilot bei der Rutan Aircraft Factory. Er flog die neuen Modelle für seinen Bruder ein und arbeitete mit an Verbesserungen. Danach rührte er die Werbetrommel und führte die Flugzeuge bei Airshows und in Oshkosh vor. In seiner Freizeit baute er sich eine LongEZ, zusammen mit Mike Melvill, der für sich die gleiche Maschine baute. Bei diesen Arbeiten halfen auch Sally Melvill und Jeana Yeager mit. Jeana konnte so an den Wochenenden, wenn sie in Mojave war, Erfahrungen im Composite-Bau machen.

Irgendwann allerdings passte Dick Rutan die Arbeit bei der RAF nicht mehr. Er war nur Angestellter seines Bruders und durfte nicht über die Firma mitentscheiden, es gab Dispute über die Designs und darüber, dass Dick mit den Flugzeugen der RAF vor Publikum Kunstflug machte. Burt hatte

Sorge, seine Kunden könnten das nachmachen und sich umbringen, mit ungewissen Folgen für die Experimental-Szene. Auch passte es Dick nicht, dass Burt nur Pläne verkaufte statt Flugzeuge. Etwa in dieser Zeit ging Bob Truax das Geld aus, und Jeanas Arbeit an dem Raketenprojekt näherte sich ihrem Ende.
Es war also erneut Zeit für eine Änderung in Dick Rutans und Jeana Yeagers Leben. Und die kam ganz anders, als sich das die beiden vorgestellt hatten.

Bei einem Essen zusammen mit Jeana und seinem Bruder stellte Dick Rutan seinen Plan vor: Dick und Jeana wollten eine eigene Firma gründen, einen Entwurf von Burt Rutan kaufen, die Flugzeuge dann in ihrem eigenen Betrieb bauen und verkaufen. Burt hörte sich das alles in Ruhe an und machte dann einen Gegenvorschlag ...
Er nahm eine Serviette und skizzierte darauf die Umrisse eines Flugzeuges: Was Dick davon hielte, mit Jeana ein Flugzeug zu bauen und zu fliegen, das nonstop einmal um die ganze Welt fliegen würde? Das Projekt würde ja nicht lange dauern, „vielleicht ein halbes oder ein ganzes Jahr“.
An jenem Tag war das Essen vergessen. Als die drei endlich auseinandergingen, war das Projekt „Flug um die Welt“ geboren. Es würde allerdings fast sechs Jahre dauern, bis das Flugzeug zum Rekordflug um den Globus starteten würde ...

Design Phase Start ohne Geld

Jeana Jeager hörte bei Truax auf und zog nach Mojave. Sie wohnte nun zusammen mit Dick Rutan in einem Haus, das ihnen Dicks Vater umsonst zur Verfügung gestellt hatte. Dick war nun raus aus der RAF. Von nun an lebten die beiden ohne festes Einkommen nur für das Projekt.

Burt Rutan hatte seinen ursprünglichen Plan, ein Flugzeug mit einem Rumpf und großer Spannweite zu bauen, durch den Computer gejagt. Er musste feststellen, dass in dieser Form nicht genügend Platz für den Treibstoff in dem Flügel war. Er änderte das Design grundlegend: Nun sollten zwei „Booms“, also zwei Ausleger, außerhalb des Rumpfes in den Tragflächen zusätzlichen Treibstoff aufnehmen, die Hauptfahrwerke und die Seitenleitwerke. Vorne würden die Booms den vorderen Flügel der „Enten“-Konfiguration tragen.
Das Flugzeug würde zwei Motoren haben, einer vorne und einer hinten im Rumpf.

Burt Rutan machte lediglich ein knappes Dutzend Entwurfszeichnungen, dann stand die Konfiguration. Jeana übernahm die Aufgabe, die genaueren Bauzeichnungen für die Maschine zu erstellen. Sie gab dem Flugzeug auch seinen Namen: „Voyager“.
Zuerst war geplant, einen Sponsor zu finden, der den Bau finanzieren würde, aber die lange Suche blieb erfolglos.

1982 fiel die Entscheidung, die Voyager selbst zu bauen. Dick und Jeana gründeten dazu die Voyager Aircraft Inc.

Zum Bau wurden einige Vereinbarungen getroffen. Dick und Jeana sollten das Flugzeug in den Räumen der Rutan Aircraft Factory bauen. Für die Bauzeit der Zelle blieb der Designer, Burt Rutan, verantwortlich für das Projekt. Nach Fertigstellung würde

die Maschine dann der Voyager Aircraft Inc. übergeben, sodass Dick Rutan für die Fertigstellung, Ausrüstung, Testflüge und den Flug selbst verantwortlich sein würde.

Notgedrungen musste also Dick zurück in die RAF, die Firma seines Bruders – diesmal aber ohne Bezahlung. Das war ein sehr sinnvoller Deal, denn für den Bau der Voyager waren neue Bautechniken erforderlich, mit denen Dick und Jeana noch keine Erfahrung hatten. Seine Long-EZ hatte er noch aus Vollschaumkern mit GFK-Mantel gebaut.

Die Voyager und ihre Tragflügel würden hohl sein, ein riesiger, fliegender Tank, die Oberfläche würde aus einem sehr dünnen Sandwich aus superfesten und superleichten Kohlenstofffasern und einer Aramid-Wabenstruktur (Nomex) bestehen. Die Flügelvorderkanten und die Bodenplatten sollten aus einer mit Kevlar laminierten Nomex-Matrix bestehen. (Diese extrem leichte Bauweise wird heute z. B. in den Böden und einigen anderen Bauteilen des Airbus A380 verwendet.) Der Bau würde teuer werden, und Geld war erst mal keines da. Nahezu die gesamte US-amerikanische kunststoffverarbeitende Industrie wurde mit Bitten um 1.000 Dollar-Spenden angeschrieben. Lediglich eine Firma, Union Carbide, spendete 1.000 Dollar – gerade mal ausreichend für die Portokosten der ganzen Werbeaktion. Besonders enttäuschend war für Dick die Antwort von DuPont.
DuPont wollte das Projekt nur unterstützen, wenn ausschließlich DuPont-Materialien beim Bau verwendet werden würden. Das kam aber nicht in Frage. Rutan verwendete nur die jeweils am besten geeigneten Materialien, unabhängig vom Hersteller. DuPont hatte seinerzeit das Projekt „Gossamer Albatross“ von Paul McCready unterstützt, und nun ließ das Unternehmen Dick Rutan im Regen stehen. Dick rächte sich auf seine Art: Bei allen Vorträgen und Veröffentlichungen zur Voyager sprach er immer nur von Aramidfasern und Aramidwaben, er erwähnte niemals mehr die DuPont Markennamen Kevlar und Nomex der verbauten Materialien …

VIP Voyager Impressive People

Mangels weiterer Geldgeber hatte schließlich Jeana Yeager die rettende Idee, die den Bau der Voyager erst ermöglichen sollte. Sie rief gegen anfänglichen Widerstand der Männer im Team den VIP Club ins Leben, den „Voyager Impressive People“ Club. Jedes Mitglied sollte 100 Dollar bezahlen und durfte sich dafür als Teil des Projekts fühlen. Heute ist diese Art von „Crowd Funding“ weit verbreitet, damals aber war das eine neue Idee. Zusätzliche Einnahmen kamen später rein für Vorträge, bei Sammlungen auf Flugtagen und für Testflüge, die Dick für andere durchführte. Dick Rutan testete u.a. den Scaled-Prototypen des Beechcraft Starship, den sein Bruder in dem neuen Unternehmen „Scaled Composites“ entworfen und gebaut hatte. Auch Jeana Yeager setzte alles auf eine Karte, sie steckte ihre gesamten Ersparnisse in die Voyager. Auch die Eltern der Rutan-Brüder halfen mit. Sie verkauften Sticker und Voyager T-Shirts und führten Besucher durch den Hangar.

Konkurrenz

Während man für den Bau der Voyager noch Geld sammelte, waren andere schon weiter. Völlig unbemerkt von den Amerikanern

bereitete der deutsche Testpilot, Ferry- und Rekordflieger Dieter Schmitt in jener Zeit sein Projekt DS-1 vor. Das Projekt scheiterte jedoch von der Öffentlichkeit unbemerkt. Der Sponsor hatte nach der Zerstörung der CFK-Fernwelle auf dem Prüfstand den Stecker gezogen (siehe dazu mein Artikel „Meine Begegnung mit Dieter Schmitt Ferry- und Testpilot, Rekordflieger 1924–2013“, ***Pilot und Flugzeug*** 2013-09).

Täglich sichtbar jedoch und beunruhigend für die Voyager Crew – weil 1982 schon fast fertig – war der „Big Bird“. Dieses einmotorige Composite-Flugzeug wurde von seinem Erbauer, dem Luftfahrt-Ingenieur Tom Jewett, für einen Solo-Flug um die Welt vorbereitet. Jewett hatte mit Burt Rutans Unterstützung die „Quickie“ entwickelt und 1978 zusammen mit seinem Partner Gene Sheehan die Quickie Aircraft Corporation (QAC) gegründet. Nun waren Jewett und Rutan auf einmal Konkurrenten.
Dick Rutan verstand sich nicht mit Jewett und sagte ihm ungefragt deutlich die Meinung zu dessen Plänen. So wollte Jewett solo in großen Höhen (24.000 Fuß) fliegen. Er setzte für die Sauerstoffversorgung auf ein System mit Flüssigsauerstoff. Dick wollte ihm das unbedingt ausreden, denn er fand die Idee, ohne Druckkabine unter der Sauerstoffmaske im Flug zu schlafen, äußerst gefährlich. Bei einem Problem mit dem O2-System könnte das schnell für den Piloten im ewigen Schlaf enden.
Das Ende des „Big Bird“-Projekts kam jedoch anders, viel früher und vor den Augen der Voyager-Leute: Bei einem Testflug in Mojave kam es im Endanflug zu einem Strukturversagen im Rumpf und der „Big Bird“ stürzte ab. Tom Jewett kam dabei ums Leben. Nicht allzu lange später musste die Quickie Aircraft Corporation Insolvenz anmelden ...

Die Avionik-Frage

Wie schon erwähnt, musste Dick Rutan für den Bau der Voyager zurück in die Hangars der RAF, wo er das Flugzeug unter der Führung von Burt Rutan bauen wollte. Mit der von Dick gewünschten Unabhängigkeit war es also noch nicht so weit. Zwischen den Brüdern – beide durchsetzungsfreudige „Alpha-Männchen“ – gab es oft hitzige Diskussionen, wenn es um Details des Entwurfs ging. Um die Avionik-Frage und den an anderen Stellen sichtbaren, geradezu fanatischen Aufwand Burt Rutans zu verstehen, das Flugzeug leicht zu halten, muss man einen Blick auf die Breguet’sche Reichweitenformel werfen. (Die Formel selbst will ich Ihnen hier ersparen, einen Link dazu gibt’s am Ende des Artikels.) Einer der wichtigsten Faktoren für die Reichweite eines Flugzeugs ist das Verhältnis zwischen Startgewicht und Landegewicht. Denn dieses Verhältnis geht logarithmisch in die Reichweite ein. Für die Voyager mit einer projektierten Reichweite von über 42.000 km bedeutete das, dass eine Erhöhung des Leergewichts um nur 1 %, also um etwa 10 kg, eine Reduzierung der Reichweite um etwa 200 km mit sich brachte. Wollte man den Reichweitenverlust ausgleichen, benötigte man je Kilogramm höheren Leergewichts etwa 6 kg mehr Treibstoff – was sich wiederum in erhöhtem Strukturgewicht niederschlagen würde.

Burt Rutan hatte keinerlei praktische Langstreckenflugerfahrung. So wundert es nicht,

dass seine Idee zur Avionik ausschließlich vom Engineering-Standpunkt und aus der Reichweitenproblematik gesteuert war: Burt Rutan wollte überhaupt keine Avionik in der Voyager! Keine Navigationsgeräte, erst recht kein Wetterradar und auch keine Funkgeräte. Die irre Idee war die, dass die Voyager von Begleitflugzeugen geführt werden sollte, die sich regelmäßig ablösten.
Wie das über den Ozeanen bei Nacht und Gewitter funktionieren sollte, das brauchte gar nicht überdacht zu werden: Dick Rutan war außer sich und schäumte. Dick hatte enorme Erfahrungen als Navigator bei der Air Force auf Langstreckenflügen über dem Pazifik gesammelt. Niemals würde er so einen Flug ohne Wetterradar machen. Er drohte Burt. Wenn dieser bei der RAF kein Wetterradar vorsehen würde, würde er nach der Übernahme der Maschine durch die Voyager Aircraft Inc. den Rumpf auseinanderreißen und das Radar nachträglich einbauen. Am Ende setzte sich der Pilot gegen den Designer durch. Die Voyager würde mit Avionik und vor allem mit einem Wetterradar ausgerüstet werden.

Mitten hinein in den größten Frust fehlender US-Sponsoren erhielt das Voyager-Team gerade zur rechten Zeit einen erfreulichen Anruf. Ed King, der Gründer der Avionik-Firma King Radio, bot seine Unterstützung an. King spendete die komplette Funknavigationsausrüstung, das Wetterradar und den Autopiloten im Wert von etwa 250.000 Dollar. King hatte noch keine Ahnung, auf was er sich eingelassen hatte. Dick Rutan schätzte später, dass King für den Einbau und die Anpassung der Systeme an die Voyager noch einmal eine viertel Million Dollar draufgelegt hat.

Der Bau der Zelle

Die Voyager wurde ab 1982 in einer Halle der Rutan Aircraft Factory (RAF) gebaut. Alle Baugruppen, Rumpf, Booms, Leitwerke und die Tragflächen, wurden mit selbstentwickelten Verfahren aus kohlestofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) hergestellt. Das verwendete Material kann nicht wie GFK bei Raumtemperatur aushärten, sondern muss in einem Ofen „gebacken“ werden. Fast alle Bauteile der Voyager wurden – durch Vakuum-Säcke in die Formen gedrückt – in einem selbstgebauten Ofen auf etwa 170° Celsius erhitzt. Der „Ofen“ musste für jeden Vorgang von der Hangardecke herabgelassen werden.

Die Flügelholme der Tragflächen ließen sich allerdings nicht bei der RAF herstellen. Mit langer „Zermürbungstaktik“ wurde die Firma Hercules, die Carbon-Material für die Voyager lieferte, überredet, ihren Autoklaven für den Bau der sechs Holme zur Verfügung zu stellen. Die Voyager-Leute durften wegen der Gewerkschaftsregeln bei Hercules offiziell nicht selbst Hand anlegen. Daher wurden ihnen einige Mitarbeiter zur Verfügung gestellt. Am Nachmittag, wenn der Arbeitstag bei Hercules zu Ende ging, tauchten die irren Voyager-Typen in Jeans und Cowboyhüten auf und arbeiteten bei lauter Musik durch die Nacht. Alles durfte möglichst nichts kosten. Als Hercules allein den Bau der Tools für die Holme auf 35.000 Dollar geschätzt hatte, war Burt einem Herzinfarkt nahe. Zusammen mit Bruce entwickelte er „Self-made“-Tools aus Stahl für ein paar hundert Dollar. Das Carbon-Material für die Holme stammte zum Teil aus Lieferungen, die von einem Tennisschläger-Fabrikanten wegen Qualitätsmängeln zurück-

gewiesen worden waren, andere Chargen kamen aus Restbeständen und anderen „Bettelquellen“. In einem Tempo, das den Hercules-Mitarbeiter den Atem nahm, ging die Arbeit voran. Der Bau war sehr aufwendig. Nach jedem Autoklaven-Durchgang mussten die Teile neu geschliffen und die nächste Gewebelage aufgebracht werden. Dick meinte, er habe dabei mehrere Paar Arbeitshandschuhe verschlissen. Aus hauchdünnem Carbon-Gewebe wurden so im Laufe der Zeit Holme mit mehreren Zentimetern Dicke. Die Hercules-Leute meinten zu der Qualität (wegen der eigentlich ungeeigneten Stahlformen), dass so was niemals für die Luftfahrt zugelassen werden könnte. Da waren die Holme schon auf dem Truck Richtung Mojave unterwegs ...

Die Zelle der Voyager wurde ein Meisterwerk der Ingenieurskunst und des Leichtbaus. Trotz einer Spannweite von 33,8 Metern wog sie ohne Avionik und Motoren nur 426 kg. Im Flug sollte sie über 3 Tonnen Treibstoff transportieren. Es war nicht möglich, die Zelle mit den Tragflächen am Boden zu testen, so filigran und vor allem druckempfindlich war die ganze Struktur. Nicht mal ein 1g statischer Belastungstest war möglich. Die Festigkeit der Struktur war lediglich am Computer berechnet worden. Erst die Flugtests selbst – und vor allem der Flug um die Welt mit vollem Gewicht – würden Auskunft darüber geben, ob die Struktur die Belastungen aushielt.

Das Treibstoffsystem

Das Treibstoffsystem der Voyager war das Herz des Flugzeugs. Die ganze Maschine war letztendlich ein einziger Treibstofftank. Sprit war im Rumpf, den Auslegern und in den Tragflächen untergebraucht. Dick Rutan war dieses System so wichtig, dass er alle Arbeiten daran persönlich ausführte. Das Treibstoffsystem bestand aus insgesamt 17 Tanks. Nur einer davon, der Feed Tank im Rumpf, sollte die Triebwerke versorgen. Der Treibstoff aus den anderen Tanks wurde im Flug nach und nach in diesen Tank umgepumpt. Der Feed Tank war auch der einzige Tank mit einer Tankanzeige. Die Anzeige bestand aus einem einfachen Klarsichtröhrchen aus Plastik, das mit Markierungen versehen vorne senkrecht auf dem Cockpit Panel angebracht war. Es war dasselbe, extrem zuverlässige „Instrument“, das auch schon in Charles Lindberghs „Spirit of St. Louis“ eingebaut war.
Jeder Transfer in den Feed Tank wurde mit einem Fuel-Flow-Messgerät gemessen und mit einer Stoppuhr und einem Warnton im Kopfhörer überwacht. Aus den Transfers wurde dann der Treibstoff an Bord berechnet. Und zwar zweimal: einmal an Bord und zusätzlich bei Mission Control.

Alle Treibstoffleitungen waren aus Gewichtsgründen dünne, durchsichtige Plastikschläuche. Es gab einen komplizierten Fuel-Selector mit zwei 8-Wege-Ventilen, der extra für die Voyager angefertigt worden war. So konnte aus jedem Tank Treibstoff in den Feed Tank umgepumpt werden. Das Umpumpen war ein kritischer Vorgang. Zum einen musste verhindert werden, dass versehentlich Sprit über Bord gepumpt wurde, zum anderen durfte der Schwerpunkt nicht wandern. Auch die Biegebelastung der Tragflächen musste im Limit bleiben. Um das zu gewährleisten, wurde der Überlauf des Feed Tanks nicht über Bord, sondern in einen Rumpftank geleitet, der im Flug als erster entleert werden

sollte. Die Biegebelastung der Flächen wurde beim Umpumpen mit Markierungen an den Cockpitscheiben und den Flügelspitzen überprüft. Um die Schwerpunktlage vorne/hinten zu kontrollieren, wurde ein Messgerät für den Anstellwinkel eingebaut.
Es gab im Treibstoffsystem insgesamt vier Treibstoffpumpen. Zwei mechanische, eine je Motor, sowie zwei elektrische. Jede Gruppe konnte als Backup für die andere genutzt werden. Es war sowohl möglich, mit den mechanischen Pumpen jeden Tank zu entleeren, als auch eine ausgefallene mechanische Pumpe durch eine elektrische zu ersetzten.

Das Tanksystem war das einzige Strukturelement, das mit einem Versuchstank einem Belastungstest unterzogen wurde. Die Befürchtung war, ein „Upset“ im Flug, z.B. eine extreme Querlage, könnte mit dem dann herrschenden hohen seitlichen Treibstoffdruck die Trennwände in den Tragflächen zerbersten lassen. Die Drucktests mit Wasser aus der Leitung zeigten jedoch, dass die Tanks weit höhere Drücke vertragen würden, als jemals im Flug entstehen könnten. Dennoch wurde sicherheitshalber nachträglich in jeder Tragfläche der äußere Tank mit einer zusätzlichen Trennwand geteilt. Aus Gewichtsgründen kamen zusätzliche Treibstoffleitungen und Kabel für diese so entstandenen neuen Tip-Tanks nicht in Frage. In die Abtrennung wurde daher ein elektrisches Ventil eingebaut, das es später dem Sprit im Tip-Tank ermöglichen würde, per „Gravity“ in den Mid Tank zu laufen. Das Ventil wurde über zwei Adern gesteuert, die in einem ungenutzten Autopilot-Kabel übrig waren.

Erstflug, Probleme und erste Flugerprobung

Der erste Flug der Voyager fand am 22. Juni 1984 statt. Für die ersten Flüge wurden zwei herkömmliche Lycoming-Motoren aus dem Bestand der RAF eingebaut. Dick Rutan saß für diesen Flug allein im Cockpit. Er hatte vorher schon ein gutes Dutzend neuer Flugzeuge beim Erstflug getestet. Jeana Yeager saß auf der Rückbank von Burt Rutans „Grizzly“, die von Mike Melvill geflogen wurde. Burt Rutan saß neben Mike im Begleitflugzeug.

Der Start bei leichtem Gewicht sah von außen relativ unspektakulär aus. Jedoch fiel Dick sofort auf, dass es mit der Steuerung der Voyager Probleme gab. Das Höhenruder war extrem sensibel und viel zu leicht zu bedienen. Die erforderlichen Querruderkräfte dagegen waren viel zu hoch und die Wirkung der Querruder unzureichend.
Einmal in sicherer Höhe machte Mike Melvill einen „Outsidecheck“ der Voyager. Als er unter der Maschine flog, stellte er eine größere Ölleckage des vorderen Motors fest. Dick stellte den Motor ab und brachte den Propeller in Segelstellung. „Dafür haben wir zwei Motoren eingebaut“, meinte Burt Rutan. Der Erstflug wurde also gleich von Anfang an einmotorig durchgeführt. Alle geplanten Tests wurden ungeachtet des Motorausfalls durchgeführt.

Bereits beim zweiten Testflug flog auch Jeana Yeager in der Voyager mit. Bei der Flugerprobung der Voyager stellte sich schnell das größte Problem heraus, das mit dem bestehenden Design nicht korrigiert werden konnte: Bei höherem Gewicht und den damit erforderlichen Geschwindigkeiten

von über 82 Knoten war die Voyager dynamisch instabil. Die kleinste Störung um die Querachse würde „unbehandelt“ zu einer sich aufschaukelnden Schwingung führen, die die Maschine in Sekunden zerstören konnte. Es war nicht möglich, bei diesen Bedingungen die Voyager auch nur für Sekunden „hands-off“ zu fliegen. Sie musste ständig am Stick gegängelt werden. Sehr früh im Programm stand fest, dass ausschließlich Dick Rutan alle Starts und Landungen fliegen würde. Und vor allem am Anfang des Weltfluges, bei hohem Gewicht, würde nur er als Testpilot am Steuer der Maschine sitzen können.

In etlichen weiteren Testflügen ging es hauptsächlich darum, die aerodynamische Qualität der Voyager zu messen. Würde sie überhaupt die erforderliche Reichweite haben?

Drama auf dem Oshkosh-Flug

Wer schon mal das „Roll-Out“ eines neuen Verkehrsflugzeuges gesehen hat, der weiß, dass es einen Grund gibt, dass die Presse bei diesen pompösen Veranstaltungen keinen Zugang zum Inneren des Flugzeuges hat. Wie bei anderen Flugzeugen auch war die Voyager einfach noch nicht fertig genug, um der Öffentlichkeit alles zeigen zu können. Dennoch wurde entschieden, das unfertige Flugzeug im August 1984 zum weltgrößten Fly-In nach Oshkosh zu fliegen. Anderthalb Wochen hatte das Team Zeit für die Vorbereitung.

„Nicht fertig“ bedeutete bei der Voyager für den Oshkosh-Flug: Es waren noch nicht die endgültigen „Flight-Engines“ eingebaut. Auch die Avionik war noch nicht soweit. Es gab zwar einen rudimentären Autopiloten für die Testflüge, der aber wieder raus musste. Denn die Bedingung für die Unterstützung durch Ed King war, dass ausschließlich King Avionik im Cockpit sein durften. King stimmte aber zu, dass für den Oshkosh-Flug der Test-Autopilot drinbleiben durfte. Temporäre Radios und Avionik wurde einfach von der Decke hängend im Cockpit befestigt, ein primitives elektrisches System aus Motorrad-Batterien und einer modifizierten Toyota-Lichtmaschine eingebaut. Dann noch schnell eine improvisierte Cockpit-Beleuchtung ... und die Voyager war auf dem Weg nach Oshkosh.

Bald nach dem Start gab es die ersten Probleme. Jeana hatte schon zwei Seiten mit Notizen auf ihrer „giglist“. Den Ausschlag zur Umkehr gab schließlich, dass sich ein Autopilot Servo gelöst hatte, und im Stauraum zwei Behälter mit Kleber ausgelaufen waren, die das Cockpit mit giftigen Dämpfen füllten. Der Rückflug gab Gelegenheit zu einem weiteren Test: Es war bekannt, dass Entenflügler bei Regen dazu neigten, auf dem Vorderflügel Auftrieb zu verlieren. Nun zeigte sich der Crew ein Regenschauer, der zu diesem Test geradezu einlud. Regentauglichkeit war für den Weltflug schließlich Grundvoraussetzung. Der Test endete beinahe im Desaster: Sofort nach Einflug in den Regen ging die Nase der Voyager unkontrollierbar nach unten. Auch mit Volllast auf beiden Motoren ging es steil abwärts, egal was Dick mit dem Höhenruder machte. Jeana holte die Fallschirme nach vorne und verstaute alle losen Sachen. Dick hoffte inständig, dass sie zuerst aus dem Regen rauskamen, bevor sie den Boden erreichten ... und nicht umgekehrt. Aussteigen – so meinte er später – sei für ihn nicht in Frage gekommen.

Voyager-Cockpit **Bild: National Air and Space Museum**

Zum Glück kamen sie rechtzeitig aus dem Regen heraus, die Flächen trockneten ab und das Flugzeug wurde wieder kontrollierbar. Sie hatten ein ernstes Problem gefunden, das vor dem Flug um die Welt gelöst werden musste.

Bedingt durch die Umkehr startete die Voyager zwei Tage verspätet Richtung Oshkosh. Nach diesem Flug hätte Dick Rutan beinahe das Handtuch geschmissen und aufgehört: Der Autopilot konnte nicht mit der Turbulenz umgehen, und Dick Rutan konnte die Pitch nicht angemessen kontrollieren. Die Cockpitbeleuchtung auf dem langen Flug war unzureichend und Dick musste fast die ganze Zeit von Hand fliegen. Die Flügel der Voyager schlugen wild nach oben und unten wie die eines Vogels. Und zwar jede Seite für sich; was die eine Fläche machte, machte die andere noch lange nicht. Der Anblick war bei Turbulenz so besorgniserregend, dass sich Dick angewöhnt hatte, nicht zu den Flächen rauszugucken. Zugegeben, die Tragflächen waren so entworfen, dass sie maximal neun Meter nach oben oder neun Meter nach unten ausschlagen konnten. Aber wie die tatsächlich in der Luft umhertanzten, mit entsprechenden g-load Änderungen im Cockpit, das hatte niemand vorausgesehen.

Und dann erst das Cockpit. Es gab nur einen Sitz auf der rechten Seite. Auf der linken Seite war eine brettebene, steinharte Fläche aus Verbundfaserwerkstoff, die den Namen „Liege“ nicht verdiente. Jeana nannte den Verschlag die „Folterkammer“. Das ganze Cockpit – gedacht für einen Zehn-Tagesflug – hatte in etwa das Volumen einer Telefonzelle. Jeana wurde in der Turbulenz stundenlang

umhergeschleudert, hatte überall blaue Flecken und hing oft unter der Cockpitdecke. Eine höhere Flughöhe von nur 3.000 ft mehr hätte ihnen ermöglicht, in ruhigerer Luft zu fliegen, aber sie hatten keinen Sauerstoff dabei. Nach elf Stunden Flugzeit war Dick fix und fertig und sie landeten vorzeitig in Salina. Erst am nächsten Tag sollten sie in Oshkosh ankommen. Dort wurde die Voyager von 250.000 Zuschauern mit stürmischer Begeisterung empfangen. Der weitere Support für den Flug war gesichert. Aber auch weitere Erkenntnisse:

- Das Flugzeug hatte gefährliche Flugeigenschaften.
- Ein Flug ohne Autopilot und ohne Wetterradar würde nicht möglich sein.
- Es würde zusätzliche Ausrüstung erforderlich werden, z.B. ein Sauerstoff-System.

Von Oshkosh 1984 bis zum Start zweieinhalb Jahre später war niemals klar, ob der Flug überhaupt jemals durchführbar sein würde. Gleich nach der Rückkehr aus Oshkosh ging Dick daran, das Regenproblem am Canard – dem vorderen Flügel – zu lösen. Eine „quick and dirty“ Lösung, wie sie Burt Rutan am Canard anbrachte, endete bei zwei Startversuchen beinahe in einer Katastrophe: Die Voyager fing an, wie wild um die Querachse zu oszillieren, und Dick brach jeweils den Start ab. Dabei schlugen das Bugfahrwerk und die Enden der Ausleger mehrmals hart auf der Startbahn auf. Dick verlangte nun Windkanalversuche, bevor er jemals wieder in die Voyager einsteigen würde.
Eine eilig gebaute Testsektion des Canards wurde im Windkanal der Ohio State University getestet. Dabei stellte sich heraus, dass bei Regen die laminare Strömung zusammenbrach und sich der Auftrieb schlagartig um 65 % verringerte. Als Lösung wurden entlang der Canard-Oberseite kleine „Vortex-Generators“ aufgeklebt. Die Resultate der Modifikation aus den Windkanalversuchen waren so eindeutig, dass Dick Rutan vor dem Weltflug auf weitere Tests in natürlichem Regen verzichtete.

Ausrüstung und „Flight-Engines“ – Fertig zum Flug?

Mit dem Oshkosh-Flug der Voyager endete der erste Teil des Programms, und die Maschine wurde von der RAF an die Voyager Aircraft Inc. übergeben. Nun begannen Dick und Jeana mit der Ausrüstung des Flugzeuges. Die King Avionik wurde endgültig installiert. Neben den üblichen Navigations-Instrumenten wurde ein OMEGA Langstrecken-Navigationscomputer eingebaut, ein Kurzwellen-Funkgerät, ein militärisches Satelliten-Funkgerät sowie ein experimenteller GPS-Empfänger. Da das GPS-System im All noch nicht in Betrieb war, konnte dieser Empfänger nur für etwa vier Stunden täglich eine Position liefern.

Als Autopilot wurde ein stark modifizierter King CAP 150 verwendet. Für die Richtungskontrolle wurde – wie bei den ersten Autopiloten in den 1930er-Jahren – das Seitenruder angesteuert. Die Querruder der Voyager waren dafür zu schwergängig und zu träge. Der Höhenruderkanal des CAP 150 konnte für die Voyager nicht direkt genutzt werden. Bedingt durch die dynamische Instabilität bei hohem Fluggewicht war ein zusätzliches Stability-Control-System mit variablen Einstellungsmöglichkeiten ver-

baut. Jack Norris, der technische Direktor des Projekts, analysierte zusammen mit einem Spezialisten von King das Autopilot-System auf seine Schwachstellen. Ein Autopilot-Ausfall bei hohem Gewicht, also früh im Flug über dem Pazifik, würde wahrscheinlich zum Verlust der Maschine führen. Aus den Tests war klar, dass Dick Rutan nur wenige Stunden lang in der Lage sein würde, die instabile Voyager von Hand zu fliegen. Man befand die Autopilot-Elektronik als sehr zuverlässig, ebenso die robusten Servos, die aus einem Learjet stammten. Als Schwachpunkt des ganzen Systems wurde der Künstliche Horizont identifiziert. Weil es um das Überleben der Crew ging, wurde – Zusatzgewicht hin oder her – genau dafür ein Ersatzgerät mit an Bord eingebaut.

Konventionelle Luftfahrttriebwerke – wie die beiden Lycoming-Motoren für die ersten Testflüge – waren für den Flug um die Welt ungeeignet. Sie verbrauchten einfach zu viel Sprit. Man hätte einen gewissen Mehrverbrauch vielleicht durch eine höhere Betankung kompensieren können (die Tanks der Voyager waren ausreichend dimensioniert), aber das Mehrgewicht hätte die Voyager völlig unkontrollierbar gemacht. Auch war fraglich, ob die Voyager mit dem höheren Gewicht überhaupt vor dem Bahnende würde abheben können.

Die Motoren für den Flug um die Welt standen erst ziemlich spät zur Verfügung. Sie wurden von Continental gespendet und erst im Herbst 1985 eingebaut. Vorne wurde ein „normaler“ luftgekühlter Teledyne Continental O-240 Motor mit 130 PS installiert, hinten ein experimenteller flüssigkeitsgekühlter Teledyne Continental IOL-200 mit nur 110 PS. Beide Motoren erhielten elektrisch verstellbare, extra für die Voyager berechnete Propeller der damals noch jungen deutschen Firma MT-Propeller.
Nun konnten endlich die letzten Testflüge zu Handling und Performance beginnen. Mit den MT-Propellern gab es Probleme: Im Juli 1986 fiel wie oben beschrieben der hintere Motor wegen Propeller-Overspeed aus, bei einem anderen Testflug flog vorne ein ganzes Propellerblatt weg: Im Cockpit fühlte sich das zuerst wie eine Explosion an. Das Flugzeug schüttelte sich, Instrumente lösten sich aus dem Panel und das ganze Wetterradar-Display landete auf Dicks Schoß. Das Cockpit füllte sich mit Rauch und Treibstoffdämpfen. Erst nach einem Funkspruch aus der Begleitmaschine erkannten sie die Ursache des Problems. Der vordere Motor hing nach dem Abstellen nur noch an einem Sicherheitskabel, das Bruce Evans glücklicherweise eingebaut hatte. Der Flug um die Welt stand auf Messers Schneide.

Inzwischen war aber – anders als zum Beginn des Projekts – der Flug so prominent in der amerikanischen Öffentlichkeit platziert, dass schnell Hilfe kam: In der Rekordzeit von nur zwei Wochen produzierte TRW Hartzell neue hydraulisch verstellbare Metallpropeller für die Voyager. Beech lieh dem Voyager-Team eine Bonanza und eine Baron aus, damit wurden die Motoren zurück zur Continental gebracht, zur Überholung des vorderen und zur Umrüstung beider Motoren auf die hydraulische Propellerverstellung. Auch die neuen Propeller wurden in den Beech-Flugzeugen abgeholt.
Nach weiteren Testflügen sah es endlich so aus, als sei die Voyager bereit. „Ist die Voyager fertig?“, wurde Burt Rutan ge-

fragt. Er antwortete: „Wir haben über siebzig Testflüge gemacht und sind dabei mehr als dreihundert Stunden geflogen. Es gab insgesamt sieben Emergencies, davon konnte bei vier oder fünf die Höhe nicht gehalten werden. Und jetzt planten wir einen einzigen Flug über 230 Stunden."

Die Cockpit Crew asymmetrisch wie das Flugzeug

Die Voyager war auf den ersten Blick ein symmetrisches Flugzeug. Dieser Eindruck täuschte allerdings. Symmetrie hat für Burt Rutan nie eine große Rolle gespielt. Funktionalität hatte bei seinen Entwürfen immer die höchste Priorität. So war bei der Voyager der rechte Ausleger länger als der linke, weil in seiner Spitze das Wetterradar untergebracht war. Die Tragflügel waren versetzt, ein Tragflügel war weiter vorne als der andere. Grund dafür war, dass die Flügel nicht am Rumpf befestigt waren, sondern die Holme versetzt direkt miteinander verbunden wurden. So bildete der Tragflügel eine durchgehende Einheit, an der sich Rumpf und Booms lediglich „festhielten". Und obwohl die Voyager zwei Seitenleitwerke hatte, war nur am rechten Leitwerk ein Seitenruder. Kurven in die eine Richtung waren leichter zu fliegen als anders herum.
Die Asymmetrie des Flugzeugs fand sich auch in der Crew wieder. Entscheidend für den Erfolg des Fluges um die Welt war die Zusammenarbeit im Cockpit, und die war bei Dick Rutan und Jeana Yeager zunächst gar nicht so einfach. Dick Rutan war der weit erfahrenere Berufs- und Testpilot. Aber er war ein schlechter „Backseater", wie Jeana immer wieder bemängelte. Er tat sich schwer damit, Jeana die Voyager fliegen zu lassen. Aber sie musste es tun, sonst wäre der Flug nicht möglich gewesen. Auch auf ihren gemeinsamen Flügen in der Long-EZ tat sich Dick Rutan schwer in der Copiloten-Rolle.

Dabei war Jeana keine schlechte Pilotin. Im Gegenteil. Auf vielen Alleinflügen konnte sie sich profilieren. Während der Voyager-Jahre erflog sie zwei Weltrekorde: 1982 flog sie einen Geschwindigkeitsweltrekord für Frauen auf einem 2.000 km Rundkurs, 1984 in einer VariEze einen Strecken-Weltrekord über 3.905 Kilometer. Jeana konnte gut mit Stress umgehen. Nach Aussagen von Sally Melvill war Angst für Jeana ein Fremdwort. Auch unter erheblichem Druck verlor sie nicht den Überblick. Das bewies sie bei mehreren Notfällen bereits vor den Voyager-Flügen.

Jeana Yeager kurz vor dem Flug. Ihre langen Haare opferte sie für den Flug, damit sie sich im Cockpit nicht irgendwo verhedderten
Lone Star Flight Museum

Einmal assistierte sie Dick Rutan nach einem Motorausfall bei einer Außenlandung im Bodennebel, ein anderes Mal hatte sie auf einem Solo-Rekordflug selbst einen Motorausfall: Sie entschied sich für eine Landung auf einem Highway, und landete zwischen zwei LKWs unter einer Brücke.

Es war Jeanas absoluter Wille, den Flug durchzuführen, der mehrmals das Projekt rettete. Bei den Testflügen motivierte sie Dick, weiterzumachen, als dieser das Projekt aufgeben wollte. Und während des Fluges um die Welt war sie es, die Dick Rutan wach und am Leben erhielt, der so manches Mal am äußersten Ende seiner Kräfte angekommen war. Bei allen Notfällen auf der Voyager unterstützte Jeana Dick Rutan mit großer Professionalität und führte ihn sicher durch die zum Teil komplizierten Emergency-Checklisten.
Die persönliche Beziehung der beiden endete etwa drei Monate vor dem Flug. Jeana meinte: „Das Fliegen hat uns zusammengebracht, aber auch wieder auseinander.“ Als Team im Cockpit der Voyager aber ergänzten sich beide am Ende hervorragend, gerade wegen ihrer völlig unterschiedlichen Art.

Der Takeoff: Edwards Air Force Base, 14. Dezember 1986

Im Morgengrauen herrschte auf dem Flugplatz Edwards eine ungewöhnliche Unruhe. 3.500 Presseleute und Zuschauer hatten sich eingefunden, um die Voyager starten zu sehen. Dick Rutan hatte die Maschine am Vortag von Mojave, wo sie gebaut worden war, nach Edwards überführt. Nur auf der Edwards Air Force Base, dem Flight Test Center der US Air Force und der NASA, gab es eine Startbahn, die lang genug für die Voyager war. Endlich war die Voyager betankt und abflugbereit. Ihre 17 Tanks waren mit 3,2 Tonnen Flugbenzin befüllt, bei einem Leergewicht des Flugzeugs von nur 1.000 kg. Die Betankung durch die winzigen, nur 16 mm kleinen Tanköffnungen hatte fast 19 Stunden gedauert. Das Cockpit war beladen mit der Ausrüstung für zwei Piloten für einen Flug von geplanten zehn Tagen.

Die Luft über Edwards war glasklar, aber eiskalt. Immer wieder mussten die dünnen Tragflächen mit Heißluft enteist werden. Der hintere Motor – er hatte keinen Anlasser – wurde von Hand angeworfen. Dann wurde die winzige Plexiglaskuppel über dem Pilotensitz aufgesetzt und der vordere Motor angelassen. Erst jetzt wurden die Stützen unter den vollbetankten Außenflügeln vorsichtig entfernt. Die Voyager war mit 15 % mehr Treibstoff beladen worden als jemals zuvor, die Wingtips hingen dadurch nur wenige Zentimeter über dem Boden.

Der Start auf der 4.580 Meter langen Betonpiste war äußerst riskant. Burt Rutan meinte später zu den erwarteten Risiken des Starts: „Wir wussten, dass die Voyager bei diesem Fluggewicht instabil sein würde. Was wir aber nicht wussten war, ob sie kontrollierbar sein würde!“

Eine weitere Unbekannte war die Startleistung: Würde die Bahn für den Start ausreichen? Man musste den Berechnungen vertrauen, denn mit diesem Gewicht war die Voyager noch nie geflogen.
Der Start wurde auch von einer Begleitmaschine aus gefilmt, einer Beechcraft Dut-

chess, mit Burt Rutan, seinem Testpiloten Mike Melvill und dessen Frau Sally Melvill an Bord. Die Tonaufzeichnungen auf diesem Film sind ein spannendes Dokument der hochdynamischen Ereignisse. Denn sehr bald im Startlauf geschah etwas absolut Unerwartetes: Die Tragflächenenden wurden von den Luftkräften auf den Beton gedrückt. Die Voyager beschleunigte nur sehr langsam und zog bald an den Wingtips Wolken aus Staub hinter sich her: Der Betonboden sägte am Flugzeug. Hektische Ausrufe im Begleitflugzeug: „Ist das Sprit? Wir müssen wissen, ob das Sprit ist!“

Über Funk hörte man die Stimme von Jeana Yeager, die für Dick Rutan die Geschwindigkeiten ausrief: „Sixty Five ... Sity Eight ...“ Ihre Stimme klang absolut ruhig und fokussiert. Anders die Stimmen aus dem Begleitflugzeug: Von dort aus sah man die schleifenden Flügelenden ...
Endlich, nachdem sie 95 Prozent der Runway hinter sich gelassen hatten, hob Dick Rutan die Voyager vorsichtig vom Boden ab, kurze Zeit später kam der erlösende Callout: „We have onehundred knots !“ 100 Knoten, drunter hätte die Voyager nicht sicher steigen und fliegen können.

Im Abflug, nachdem die Crew eine sichere Höhe für einen möglichen Fallschirmabsprung erreicht hatte, wurden die schwer beschädigten Winglets durch vorsichtige Flugmanöver komplett abgeschert. Nachdem sicher war, dass die Voyager keinen Sprit verlor, flog sie hinaus auf den Pazifischen Ozean und entschwand den Blicken aus den zurückbleibenden Begleitflugzeugen.

Voyager beim Abflug **National Air and Space Museum**

Die Instabilität des Flugzeugs und die träge Startleistung der Voyager wären ihr beinahe zum Verhängnis geworden. Burt Rutan später: „Die geringste Turbulenz an diesem Morgen … oder wenn ich die Maschine ein oder zwei Prozent schwerer gemacht hätte … Wir hätten das Flugzeug und die Crew beim Start verloren."

Über dem Pazifik

Der Flug der Voyager um die Welt war am Ende nichts anderes als ein weiterer, neun Tage andauernder Testflug – mit einer ähnlichen, schon beinahe bekannten Abfolge von gefährlichen Notsituationen. Die psychische Belastung der Crew durch den Lärm in der unverkleideten CFK-„Folterkammer", durch den Stress der Steuerung eines instabilen Flugzeugs und durch den Schlafmangel war in der Luftfahrt beispiellos. Die ursprünglich einmal geplante Einteilung – drei Stunden schlafen, drei Stunden fliegen – funktionierte niemals. Der Stress fing schon beim Abflug an. Die Checks und Diskussionen, ob die Voyager mit den beschädigten Wingtips überhaupt sicher weiterfliegen konnte, war nur der Anfang: Dick blieb die ersten drei Tage im Pilotensitz. Die Voyager bei diesem hohen Gewicht auch nur kurze Zeit aus den Augen zu lassen, geschweige denn einen komplizierten „SeatChange" zu machen, war für ihn undenkbar. Der Plan war, zu warten, bis die Geschwindigkeit unter den kritischen 82 Knoten lag. Dick schlief im Pilotensitz nie mehr als 30 bis 60 Minuten am Stück, während Jeana den Autopiloten überwachte, bereit, Dick notfalls sofort zu wecken.

Es war etwa bei den Philippinen, 6.000 NM nach dem Start, als Jeana erkannte, dass die Voyager plötzlich in eine Rollbewegung überging und vom Kurs abkam. Sie weckte Dick, der sofort manuell die Kontrolle übernahm. Wie sie sich gedacht hatten, war die unzuverlässigste Autopilot-Komponente ausgefallen, der Künstliche Horizont, der ADI. Zum Glück hatten sie ja ein Ersatzgerät im Panel eingebaut. Es war nun Jeanas Aufgabe, auf dem Rücken liegend, mit dem Kopf nach unten über Dick hinweg unter das Panel zu kriechen und dort die beiden Computer-Stecker des Autopiloten von einem ADI zum anderen umzustecken. Danach konnte der Autopilot wieder benutzt werden. Der defekte ADI mit seiner falschen Anzeige wurde mit Tape zugeklebt, damit es keine Verwechslungen geben konnte.

Bei Mission Control war man irgendwann der Ansicht, dass der Flug längst mehr durch den übermüdeten Testpiloten als durch einen möglichen Autopilot-Ausfall gefährdet war. Mike Melvill musste am Ende Dick Rutan aus dem Sitz „herausreden", bis er endlich den Platz mit Jeana tauschte. Der Sitzwechsel in dem beengten Cockpit war auch später immer wieder schwierig. Einmal in der Waagerechten, schlief Dick sofort ein. Das erste Mal für eine längere Zeit am Stück in drei Tagen. Jedes Mal, wenn Dick sich in die „Folterkammer" legte, gab es eine Schwerpunktwanderung nach hinten, die Jeana dann sofort mit einem Fueltransfer ausgleichen musste. Für Dick war das „Ruhen" auf der Liege schwieriger als für Jeana. Er war deutlich größer als sie und durch den Einbau des Sauerstofftanks war die Liege kürzer und enger geworden. Er hatte kaum Platz sich umzudrehen.

Die Flugstrecke

Die Flugroute der Voyager war schon Jahre vor dem Flug wie folgt geplant gewesen: Der Flug sollte weitestgehend über Wasser führen, um Probleme mit Überfluggenehmigungen zu vermeiden. Also von Kalifornien nach Westen über den ganzen Pazifik, über die Philippinen und über die dünnste Stelle Indonesiens in den Indischen Ozean. Dann weiter im Süden um Afrika herum, in nordwestlicher Richtung über den Südatlantik, an der Nordküste Südamerikas entlang über Trinidad nach Costa Rica und dann wieder auf der Pazifikseite Amerikas weiter nach Nordwesten bis nach Edwards Air Force Base.

Die anzufliegenden Wegpunkte wurden im Flug von Mission Control laufend neu berechnet. Dazu gab es ein ganzes Team von Meteorologen und Performance-Spezialisten, die mit Hilfe von Satellitenbildern, Winddaten und Computerprogramme rund um die Uhr jeweils die beste Route und die beste Flughöhe berechneten. Die Daten wurden der Crew über Kurzwelle oder UHF über einen Satelliten übermittelt. Die Prioritäten der Flugstreckenberechnungen waren aber ganz andere als die des „minimum time tracks“, der in der Verkehrsluftfahrt an erster Stelle steht: Als Erstes galt es, Turbulenzen zu vermeiden. Dann mussten Schlechtwettergebiete mit Gewittern umflogen werden. Und erst danach wurde die schnellste Route berechnet. Für den aktuellen Flug, der viel später im Jahr erfolgte als vorgesehen, wurde nur wenige Tage vor dem Abflug eine neue Route berechnet. Die lag viel weiter nördlich und führte nun mitten über Afrika, was später zu Problemen führen sollte.

Routine an Bord

Eigentlich gab es nie so richtig eine „Routine“ an Bord, dennoch waren die wesentlichen Arbeitsabläufe immer gleich: Fluglage kontrollieren, Navigieren, Triebwerke überwachen und natürlich Treibstoff umpumpen. Das war die wichtigste Tätigkeit, denn hier musste sich die Crew sehr konzentrieren. Fehler waren nicht zulässig. Von den richtigen Messungen des umgepumpten Treibstoffs hing die Gewichtsberechnung ab und davon natürlich das Powersetting der Motoren und die zu fliegende Geschwindigkeit.

Alle vier bis sechs Stunden musste Öl nachgepumpt werden. Eine Operation mit der Handpumpe, die 20 Minuten in Anspruch nahm.
Alle sechs Stunden kam die „six-hour message“ von Mission Control mit den nächsten zehn Wegpunktkoordinaten, die aufgeschrieben, bestätigt und in das Omega-System einprogrammiert wurden. Langeweile kam nie auf an Bord.

Kommunikation war wichtig und nervig zugleich. Mike und Burt bei Mission Control war es ein Bedürfnis, so oft wie möglich mit der Crew zu sprechen. Man wollte Dick und Jeana bei Laune halten und ihnen das Gefühl geben, dass Mission Control rund um die Uhr „mitfliegt“.
Kommunikation war aber auch eine Last für Dick und Jeana. Der Funkverkehr über Kurzwelle war sehr schwierig zu verstehen, die Störgeräusche klingelten in den Ohren. Außerdem störten die Funkgeräte den Autopiloten. Es ist schon blöd, wenn das Flugzeug mit Pitch-Schwingungen anfängt, nur weil man auf den Sendeknopf gedrückt

hat. Manchmal mussten die Funkgeräte ganz abgeschaltet werden, um den Eiertanz zu beenden. Mission Control mit seinem unendlichen Wissensdurst nach Treibstoffzahlen war eine besondere Belastung, die die Crew vom Schlaf abhielt. Denn der Funkverkehr über den UHF Sattelitenlink war eine 2-Pilot-Operation: Die Satelliten-Antenne musste vom „ruhenden" Piloten von Hand entfaltet werden und in die vermutete Richtung des Satelliten gehalten werden. Erst dann war ein Gespräch möglich. Und wenn man dann die ganze Zahlenreihe durchgegeben hatte, fiel irgendjemanden ein, dass es die falsche Tabelle war, und man musste von vorn beginnen.

Dick Rutan und Jeana Yeager in der Voyager **Bild: NASAM**

Mit dem Essen tat sich die Crew schwer. Die Voyager hatte – von Jeana vorher mit der Briefwage abgewogen – Wasser und Verpflegung in Plastikbeuteln an Bord. Insgesamt 59 kg. Wasser wurde gut verbraucht, aber die Crew nahm in den neun Tagen nur etwa ein Drittel der mitgenommenen Nahrung zu sich. Nach dem Flug wog Dick Rutan 4 kg weniger als vorher, die zierliche, kleine Jeana hatte 3 kg Gewicht verloren.

Power und Fuel Management

Für den Start liefen natürlich beide Triebwerke auf Volllast. Eine Reduzierung der Leistung – zuerst des vorderen Motors – wurde immer entsprechend dem aktuellen Fluggewicht vorgenommen. Im Reiseflug wurde bei beiden Motoren das Gemisch aggressiv verarmt. Geplant war, den vorderen Motor, der den meisten Sprit verbrauchte, so bald wie möglich abzustellen. Das würde nicht nur den Spritverbrauch senken, sondern auch die Reichweite günstig beeinflussen. Denn dann würde die laminare Strömung über den beiden tragenden Flächen nicht mehr verwirbelt werden.

Die Voyager wurde – von Start bis zur Landung – immer mit demselben Anstellwinkel geflogen. Das bedeutete, dass die Maschine während des langen Fluges immer langsamer fliegen würde. Immer am Optimum für die beste Reichweite. Beim Abflug betrug die Indicated Airspeed (IAS) 103 Knoten, 100 Knoten war das Minimum, das nach dem Start als sicher für den Steigflug galt. Nach 100 Stunden Flugzeit (nach etwa der halben Erdumrundung) war die IAS runter auf 85 Knoten, nach 155 Stunden vor der brasilianischen Nordküste erreichte die IAS ihr Minimum von 71 Knoten. Danach erhöhte Dick aus taktischen Gründen die Fahrt auf 80 Knoten.

Nach fast zwei Tagen Flugzeit wurde südwestlich des Wake Atolls zum ersten Mal – entsprechend dem berechneten Fluggewicht – der vordere Motor abgestellt. Unerklärlicherweise reichte aber der hintere Motor nicht aus, um die passende Geschwindigkeit zu halten. Also musste der vordere Motor wieder angelassen werden und lief noch einen halben Tag länger.

In den ersten Tagen zeigte sich ein deutlich höherer Treibstoffverbrauch als im Flugplan vorgesehen. Dafür fand sich zunächst keine Erklärung. Es war fraglich, ob nun die Reserven bis „einmal rum“ reichen würden. Die Abweichung zeigte sich bei den Gewichtsberechnungen sowohl am Boden als auch im Cockpit. Nur durch Zufall fand Dick später die Erklärung: Nach Abstellen einer Treibstoffpumpe nach dem Umpumpen aus einem Tank bemerkte er eine Luftblase in der Treibstoffleitung, die zurück in den entleerten Tank wanderte: Offenbar lief ein Teil des umgepumpten Treibstoffs ungemessen wieder zurück in den anderen Tank! Das erklärte auch, warum die Maschine anfangs auf dem hinteren Motor die Fahrt noch nicht halten konnte. Die Maschine war noch schwerer als berechnet. Es war noch mehr Treibstoff da als gedacht.
Über Kenia konnte von einem Begleitflugzeug aus mit der Voyager ein Climb Test gemacht werden, der Mission Control bestätigte, dass das Gewicht (und damit die Treibstoffreserven) tatsächlich noch höher war als gedacht.
Erst nach sieben Tagen Flug wurde zum ersten Mal der hintere Motor gedrosselt. Er lief seit dem Start auf Vollgas. In den Tagen davor wurde lediglich die Drehzahl langsam reduziert, um die Fahrt zu halten.

Afrika

Der Flug über Afrika erwies sich als schwierig. Entlang der ganzen geplanten Route waren schwere Gewitter, der Flug musste nach Norden ausweichen. Es ging über Somalia, Kenia, Zaire, Congo und Camerun auf die Atlantikseite des Kontinents. Die hohen Berge über dem Kontinent zwangen die Crew mehrmals, auf bis zu 20.000 Fuß Höhe zu steigen. Dazu wurde jeweils der vordere Motor wieder angelassen. Ständig musste Dick irgendwelchem Wetter ausweichen. Und als Dick später nach einer Pause aufwachte, stellte er mit Schrecken fest, dass Jeana die Voyager unterhalb 10.000 Fuß flog – in der Nähe des Mt. Cameroon (13.255 ft), was für hektische Momente im Cockpit sorgte.

Zweimal Emergency „out of Africa”

Gerade nachdem Mission Control die Voyager vorsichtig durch ein Gewittergebiet hindurch von Afrika weg auf den Atlantik hinaus gelotst hatte, ging das Low Oil Pressure Light des hinteren Motors an. Hektisch wurden bei Mission Control die Oil Logs studiert und der Motorenspezialist bei Teledyne geweckt. Die Crew pumpte derweil Öl nach. Die Logbucheintragungen zum Öl erwiesen sich als unauffällig und nach einer Weile ging das Warnlicht wieder aus. Teledyne meinte, Öl sei genug dagewesen, es sei wahrscheinlich aufgeschäumt.
Und irgendwann ist es dann in der Nacht über dem Atlantik doch passiert: Bei 30° West über dem Äquator tauchte ganz plötzlich vor der Voyager ein Wolkenturm auf. Dick meinte später, es wäre unheimlich gewesen. Ohne irgendetwas machen zu können, seien alle Horizonte langsam, aber be-

stimmt auf 90° Querlage gelaufen. Der größte Upset überhaupt. Und dann habe ihn die Wolke ausgespuckt. Vorsichtig konnte er die Maschine in stockfinsterer Nacht wieder unter Kontrolle bringen.

Die Crew war nun, nach 150 Stunden Flugzeit, sichtlich erschöpft. Die Befürchtung war groß, dass irgendwann ein Fehler gemacht werden würde, der sich nicht korrigieren ließe.
Mittelamerika wurde über Costa Rica überquert, nun flog die Voyager wieder über dem Pazifik Richtung Kalifornien.

Entscheidungen vor der mexikanischen Pazifikküste

Querab von Cabo San Lucas, am Südende des Golf von Kalifornien, fiel beim Umpumpen eine elektrische Treibstoffpumpe aus. Das war jetzt unpassend. Man war so nahe an der „Stunde der Wahrheit“, dem Moment, an dem man endlich wusste, ob der Resttreibstoff bis Edwards reichen würde. Das wäre nämlich dann gewesen, wenn aller Resttreibstoff in den Feed Tank gepumpt wäre. Erst dann würde man die vorhandene Resttreibstoffmenge im Feed Tank sehen. Und nun war eine Pumpe kaputt. Es gab sehr schnell Meinungsverschiedenheiten: Mike Melvill vertrat wie Burt Rutan im Container in Mojave den Standpunkt, Dick solle die beiden elektrischen Pumpen untereinander tauschen. Dick hielt dagegen, dass das Design genau in diesem Fall vorsah, die letzten Tanks mit der mechanischen Motorpumpe zu entleeren. Dick befürchtete, bei einem Tausch könnten Treibstoffdämpfe ins Cockpit gelangen oder der Motor mitten in der kritischen Operation aussetzen. Trotz aller Drohungen und Apelle aus dem Container entschied sich Dick Rutan, die Pumpe nicht im Flug zu wechseln.

Von nun an flog der übermüdete Dick Rutan der Reihe nach die letzten Tanks direkt mit der Pumpe des hinteren Motors leer. Es war bereits der achte Tag des Fluges. Immer wenn er die ersten Luftblasen in den Röhrchen sah, schaltete er die Tanks schnell um. Einmal jedoch übersah er die Anzeichen, weil er glaubte, in dem Tank sei noch viel mehr Treibstoff. Der Motor begann zu stottern und kam auch nach schnellem Tankwechsel nicht mehr hoch. Schnell nahm Dick Rutan die Nase der Voyager runter. Der hintere Propeller durfte auf keinen Fall ganz stehen bleiben, denn der Motor hatte keinen Anlasser.
Es war passiert: Der Fehler war gemacht. Die Voyager ging im Gleitflug auf das Meer hinunter. So totenstill war es noch nie im Cockpit gewesen.
Dick Rutan saß wie versteinert in seinem Sitz: „We lost it …“ murmelte er. Jeana legte ihre Hand auf seine Schulter und meinte ruhig: „Dick, es ist nur ein weiterer Testflug.“ Dann las sie die Emergency Checkliste für Dick. Es gelang nicht, den Motor wieder anzukriegen. Im Sinkflug durch 5.000 Fuß wechselten sie die Checkliste. Nun nahmen sie die für das Wiederanlassen des vorderen Motors, der – tagelang ausgekühlt – noch mit dem Propeller in Segelstellung war. Die Checkliste war lang und kompliziert, sie erforderte ein Anlassen mit dem Anlasser. Gleichzeitig durfte aber auf keinen Fall die Spannung am OMEGA Computer abfallen. In nur 3.500 Fuß über dem Meer sprang der vordere Motor an. Als Dick die Maschine abfing, bekam auch der hintere Motor wieder Sprit und arbeitete mit. Das war sehr knapp gewesen.

Nun fand auch Dick Rutan, ein Pumpenwechsel sei eine gute Idee. Sicherheitshalber ließen sie zu der Reparatur beide Motoren laufen. Sie legten sich das Werkzeug zurecht und steckten alle Treibstoffleitungen von der einen auf die andere Pumpe um. Nachdem alle Tanks entleert waren, war die Erleichterung groß: Sie hatten noch ausreichend Reserven, um nach Edwards weiterfliegen zu können.
Nun wollten sie ganz auf Nummer sicher gehen: Sie ließen für den Rest des Fluges – noch etwa 13 Stunden – beide Motoren laufen, und zwar mit angereichertem Gemisch, das gaben die Reserven noch her.

Rückkehr nach Edwards

Auf der Edwards Air Force Base war die Hölle los, als die Voyager zurückkam. Mehr als 55.000 Besucher und dutzende Fernsehteams hatten sich zur Ankunft versammelt. Mit falschen Positionsmeldungen hatte sich die Crew Schwärme von Piloten vom Hals gehalten und konnte ungefährdet Edwards erreichen. Dick Rutan machte einen tiefen Überflug über den Platz und hätte wahrscheinlich noch mehrere geflogen, wenn Jeana ihn nicht an die Landung erinnert hätte. Sie waren endlich zurück, es war geschafft! Sie winkten der Menge vom Flugzeug aus zu. Glücklich, aber völlig fertig, waren sie kaum in der Lage, ohne fremde Hilfe zu laufen.
In den Tanks der Voyager fand man noch 48 kg Sprit – von ursprünglich 3.200 kg ...

Der Flug um die Welt

Der Flug der Voyager war ein großes Wagnis und ein außergewöhnliches Abenteuer gewesen. Das Voyager-Projekt war das Apollo-Programm der amerikanischen Experimental Community. Nicht von ungefähr wurde Jeana Yeager, Dick und Burt Rutan und dem Voyager-Team 1986 die begehrte Collier Trophy verliehen. Also dieselbe Auszeichnung, mit der die Apollo 11-Astronauten Armstrong, Aldrin und Collins für die erste bemannte Mondlandung geehrt worden waren.
Das Projekt operierte vom ersten Tag an auf dünnem Eis. Als Mike Melvill einmal Dick Rutan fragte, ob Dick auch fliegen würde, wenn er dabei sein Leben verlieren würde, gab Dick ihm keine Antwort. Der Voyager-Flug war ein Flug am äußersten Rand des technisch und menschlich Möglichen.
Bis heute ungebrochen sind die nun 30 Jahre alten Weltrekorde der Voyager in der Kategorie Propellerflugzeuge

- Längster Nonstopflug (9 Tage, 3 Minuten, 44 Sekunden),
- erster Nonstop-Flug um die Welt,
- weiteste Flugstrecke (FAI Distance 40.212 km um 5 bestätigte Wegpunkte).

PeterKlant@Lindbergh-aviation.de

Quellen:

- Voyager – by Dick Rutan, Jeana Yeager with Phil Patton – New York 1987 (Die deutsche Ausgabe erschien unter dem Titel: Voyager - In neun Tagen nonstop um die Welt)
- Voyager – The World Flight: The Official Log, Flight Analysis and Narrative Explanation – by Jack Norris, Technical Director, Voyager Mission Control – Northridge, California 1988
- The Crash of the „Big Bird“ http://www.check-six.com/Crash_Sites/N82X-Jewett.htm
- Dokumentation: Frontiers of Flight - The Last Great World Record https://www.youtube.com/watch?-v=aO3IZJZLR0M
- Breguet'sche Reichweitenformel https://de.wikipe- dia.org/wiki/Breguet%E2%80%99sche_Reichweitenformel