

Fahrwerks nach dem Abheben erzeugte dann eine Spannungsspitze, die vom Generator nicht vollends ausgeglichen werden konnte. Der Leistungsabfall im Bordnetz führte zum Versagen der ECU und somit zum Stillstand beider Triebwerke in niedriger Höhe.

Der resultierende Crash war zwar auf die Mißachtung eines Verbots von Starts mit leerer Batterie im Handbuch zurückzuführen, doch hat Diamond trotzdem reagiert und eine zusätzliche Batterie für solche Fälle installiert.

Puffer für die Spitzen

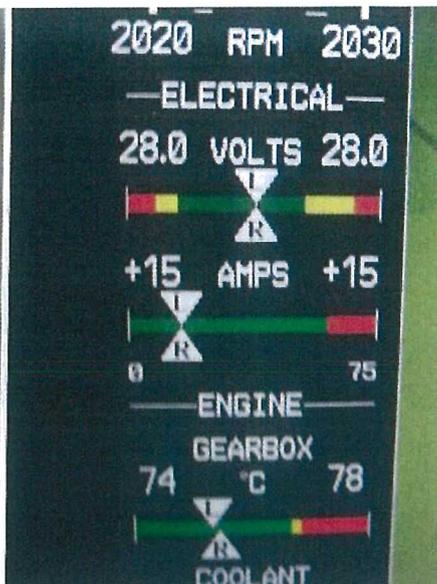
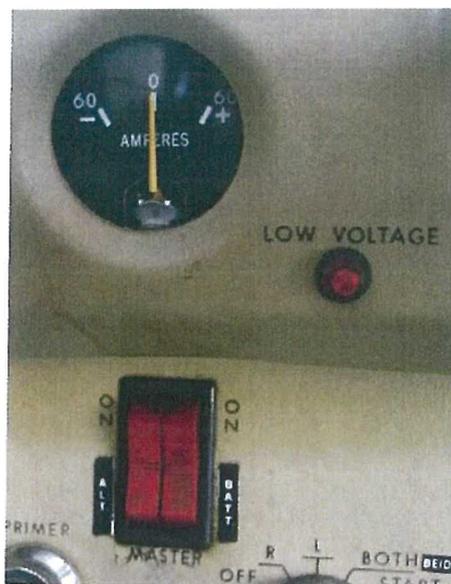
Stromerzeuger und Stromspeicher – also Generator und Batterie – sind die grundlegenden Komponenten des elektrischen Systems; hinzu kommen die unterschiedlichen Verbraucher.

Die meisten Batterien in kleinen Flugzeugen lieferten anfangs 12 Volt Spannung, ebenso wie im PKW üblich. In moderneren Maschinen finden sich allerdings immer öfter 24-Volt-Batterien. Der Grund: Da die elektrische Leistung das Produkt aus Spannung und Strom ist, fließen bei höherer Spannung kleinere Ströme. Dadurch kommen die vielen Meter Kupferdraht, die selbst in den kleinen Maschinen der Allgemeinen Luftfahrt verlegt sind, mit einem geringeren Leitungsquerschnitt aus. Die Drähte sind leichter und flexibler.

Durch Gewicht limitiert ist auch die Kapazität der Batterie. Sie dient keineswegs nur der Stromversorgung des Anlassers sowie einiger Glühlampen vor dem Start des Triebwerks, sondern auch als Puffer für Spannungsspitzen, zum Beispiel beim Einschalten der Staurohrbeheizung, die den Generator kurzfristig überfordern könnten.

Bei Ausfall des Generators sorgt die Batterie außerdem für eine gewisse Zeit dafür, dass wesentliche elektrische Systeme weiterhin zur Verfügung stehen. Bei IFR-zugelassenen Maschinen wird das für 30 Minuten garantiert, aber natürlich nur bei voller Ladung.

Das ist einer der Gründe, warum in jedem Fall vermieden werden sollte, mit entladener Batterie loszufiegen. Wer bei schlapper Batterie den Motor mit Außenbordanschluss



Zeitenwandel: In der Cessna 172 aus den siebziger Jahren (links) zeigt ein einfaches Instrument die Belastung des Bordnetzes. Auf dem Garmin 1000 der DA40 dagegen ist der Pilot genau über Spannung und Strom der zwei Generatoren informiert

gestartet hat, muss unbedingt warten, bis wieder genügend Puffer zur Verfügung steht, bevor er abhebt.

Den Strom zum Laden der Batterie und zur normalen Versorgung des Bordnetzes liefert der Generator – und zwar mit einer höheren Spannung als der der Batterie, damit deren vollständige Ladung sichergestellt ist: 14 und 28 Volt sind die Zahlen für die zwei Varianten. Übrigens: Manche Steckdosen für Zubehör an Bord (*Zigarettenanzünder-Dose*) führen auch bei 28-Volt-Systemen nur 14 Volt, andere jedoch nicht, was bei Zubehör, das für Autos gedacht ist, fatale Folgen haben kann.

Das fehlende Wort

In der englischen Sprache werden die zwei grundlegenden Techniken der Stromerzeugung auch mit zwei Wörtern beschrieben – dort gibt es »generator« und »alternator«. Ersterer produziert Gleichstrom (direct current, kurz DC) und wird erst bei höheren Drehzahlen wirksam. Ein Gleichstrom-Generator kann auch zu einem Elektromotor umgedreht werden, wenn ihm Strom zugeführt wird. Viele kleinere Düsentriebwerke haben deshalb ein solches Bauteil als Starter-Generator, mit dem zunächst der Anlassvorgang durchgeführt wird. Anschließend schalten es die Piloten zu einem Generator um, der das Bordnetz mit Strom versorgt.

Ein »alternator« dagegen erzeugt dreiphasigen Wechselstrom (alternating current, kurz AC), den so genannten Drehstrom. Dieser Generatortyp baut sein Magnetfeld über einen Elektromagneten auf, der mit Strom versorgt werden muss. Zwar machen die meisten Drehstrom-Generatoren dies mit dem von ihnen selbst erzeugten Strom nach dem Prinzip der Selbsterregung, doch am Anfang brauchen sie Energie von der Batterie, damit der Prozess in Gang gesetzt werden kann – ein weiterer Grund, warum ein

Unabhängig: Die Magnetzündung der meisten Flugmotoren funktioniert ohne Zutun des Bordnetzes. Doppelt ausgelegte Magnete erzeugen Strom für den Zündfunken, der über einen Verteiler (das Foto zeigt den eines Sechszylinders) an die Kerze im jeweiligen Zylinder weitergeleitet wird



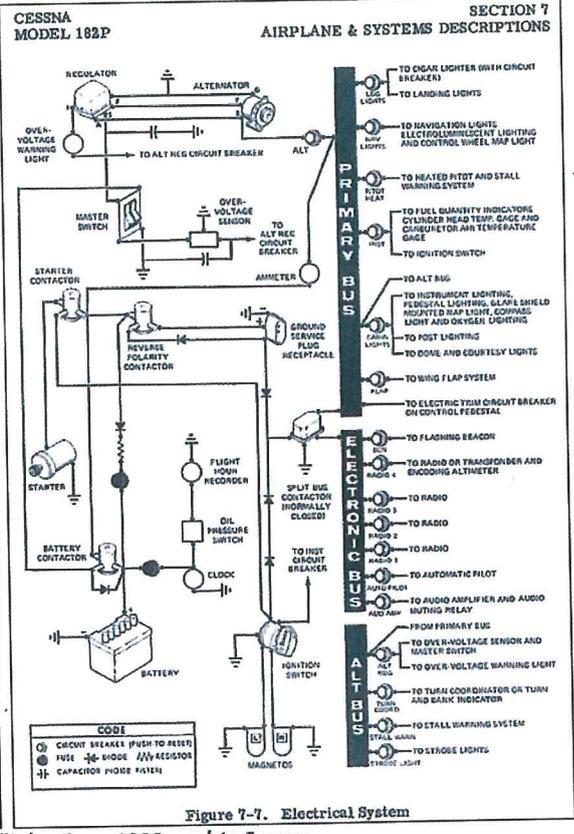
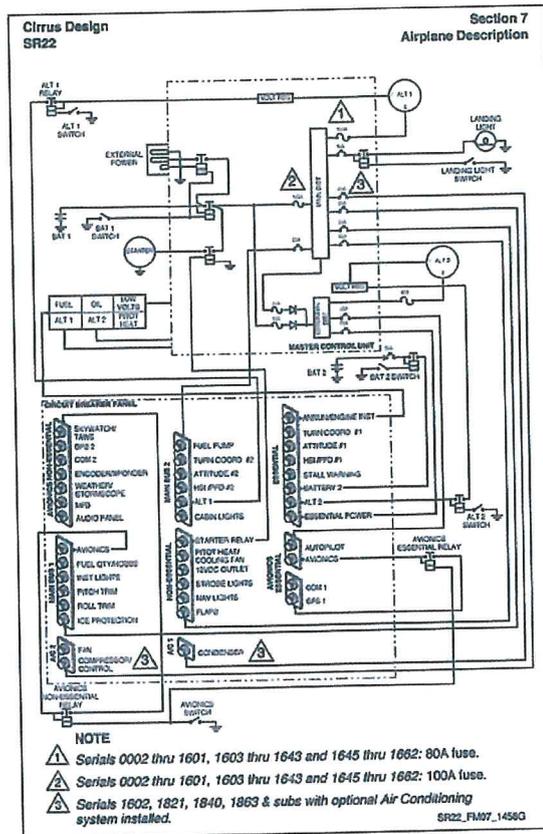


Figure 7-7. Electrical System

versorgt und wie die unterschiedlichen Verteilerschienen so voneinander isoliert werden, dass Kurzschlüsse und Ausfälle im Bordnetz nicht dazu führen, dass das gesamte System mitgezogen wird.

Die Schemazeichnungen vom Bordnetz einer Cessna 182 aus den siebziger Jahren und einer Cirrus SR22 auf dieser Seite zeigen, wieviel komplizierter das elektrische System eines modernen Glascockpit-Flugzeugs geworden ist. Hier hängt unter Umständen das Überleben der Besatzung davon ab, dass etwa in IMC die wichtigen Instrumente auch beim Ausfall der Generatoren noch lange genug funktionieren, bis die Landung erfolgt.

Entsprechend sind solche Geräte – Künstlicher Horizont, GPS/COM 1, Primary Flight Display oder Autopilot – auf dem essential bus zusammengefasst; Instrumente wie das Multifunktions-Display oder das Stormscope dagegen auf dem nonessential bus.

Alle Verteilerschienen werden nur mit Strom versorgt, wenn zuvor der Haupt- oder Batterieschalter aktiviert wurde – außer bei einem hot bus, wie bei Diamond zum Beispiel in der DA40 eingebaut. Der ist untrennbar mit der Batterie verbunden und bedient die Leseleuchte sowie eine Steckdose für Zusatzaggregate. Wer die Leseleuchte also über Nacht brennen lässt, hat morgens ein Problem beim Weiterflug.

In manchen Flugzeugen aktiviert ein Hauptschalter die Verbindung zu den Batterien und den Generatoren, in anderen gibt es dafür zwei getrennte Schalter. Üblich ist auch ein Avionik-Hauptschalter, mit dem

Sehenswert: Im Handbuch ist das elektrische System (links Cirrus SR22, rechts Cessna 182P) als Schema abgebildet. Wichtig für den Flugbetrieb ist vor allem, wie die elektrischen Geräte auf die buses verteilt sind und wie diese voneinander getrennt sind

Außenanschluss für das Bordnetz nicht als Ersatz für eine leere Batterie dienen sollte. Der Drehstrom vom Alternator (eigentlich kein deutsches Wort, aber im fliegerischen Sprachgebrauch dennoch üblich) wird von einem Gleichrichter zu Gleichstrom umgewandelt. Weil Drehstrom-Generatoren auch bei Leerlaufdrehzahlen schon effizient Strom erzeugen und leichter sind, werden sie in modernen Elektriksystemen bevorzugt.

Bus-Verkehr

Normalerweise sollte der vom Generator erzeugte Strom ausreichen, um sowohl die Verbraucher an Bord zu versorgen als auch die Batterie aufzuladen, falls dies nötig ist. Nur bei kurzzeitigen Bedarfsspitzen, wie sie etwa der Motor für die Landeklappen oder elektrische Antrieb eines Einziehfahrwerks erzeugen kann, wird die Batterie Strom zuliefern müssen. All das regelt eine Steuerungselektronik. Doch wie gelangt der erzeugte Strom an die Verbraucher? Geht das elektrische System über ein oder zwei Funkgeräte hinaus, werden Verteilerschienen (auf Englisch bus genannt) installiert, von denen aus Leitungen zu den Verbrauchern führen. Entscheidend für ein ausfallsicheres Bordnetz ist, wie die Geräte auf den buses zusammengefasst werden, welcher Generator einen bus

Doppelt hält besser: Die meisten Flugmotoren haben zwei Zündkerzen in jedem Zylinder, sodass die Maschine bei Ausfall eines Zündkreises weiter läuft



sämtliche Avionik zentral geschaltet wird. Ältere Elektronik reagiert empfindlich auf Spannungsspitzen, wie sie beim Anlassen des Motors im Bordnetz entstehen können – der avionic master switch schützt davor.

Jeder bus ist durch eine Hauptsicherung geschützt. Hinzu kommen Sicherungen für die einzelnen Verbraucher, teilweise in Gruppen zusammengefasst. In der englischen Sprache unterscheidet man zwischen circuit breakers (CB) und fuses. CBs sind Sicherungsautomaten, die im Falle thermischer Überlastung herauspringen und bei einigen Flugzeugen zugleich auch der Schalter für das entsprechende Gerät sind. Bei fuses handelt es sich um Schmelzsicherungen, die nach dem Auslösen ersetzt werden müssen, während sich CBs nach kurzer Abkühlung wieder eindrücken lassen.

Damit allerdings kann man sich Probleme einhandeln, denn im Normalfall hat es sehr wohl einen Grund, wenn ein CB herauspringt. Durch Reaktivierung, vor allem, wenn sie wiederholt durchgeführt wird, kann ein eventueller Kurzschluss immer wieder herbeigeführt werden und zu bösen Folgen wie Überhitzung, Kabelschmoren und schließlich Flugzeugbrand führen.

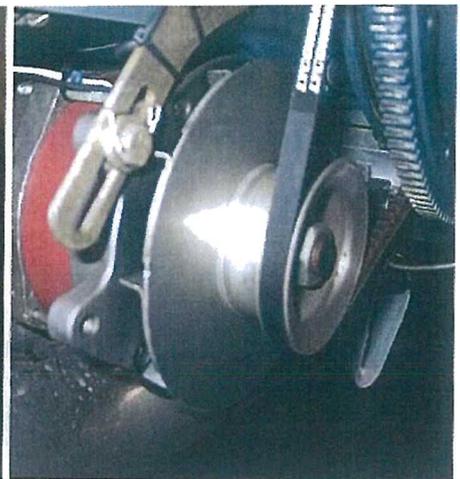
Vorsicht bei der Sicherung

Feuer an Bord zählt zu den größten Gefahren der Luftfahrt. Der Absturz einer MD-11 der Swissair vor der kanadischen Küste ist vielen noch in grauvoller Erinnerung. Das nicht genügend abgesicherte neue Bordunterhaltungssystem hatte einen verdeckten Brand ausgelöst. Bei einer Douglas DC-9 der Air Canada hat 1988 ein mehrmaliges Resetten der drei Sicherungen einer Bordtoilette zu einem Toilettenbrand geführt mit anschließendem Ausfall etlicher elektrischer Systeme. Trotz unter schwierigsten Bedingungen erfolgreich abgeschlossener Landung starben 23 Menschen im Feuer.

Bislang galt die Regel: Eine ausgelöste Sicherung darf einmal wieder eingedrückt werden; springt sie wieder heraus, ist ohne das betroffene Gerät weiter zu fliegen. Doch die US-Luftfahrtbehörde FAA hat Anfang dieses Jahres neue Empfehlungen herausgegeben:

- Für die Sicherheit des Fluges unentbehrliche CBs sollten deutlich markiert sein.
- Unentbehrliche CBs sollten nur dann, wenn das betroffene Bauteil für die aktuelle Flugsituation benötigt wird, höchstens einmal reaktiviert werden, und zwar frühestens nach einer Minute und nur wenn kein Rauch oder Brandgeruch mehr vorhanden ist.
- Entbehrliche CBs sollten nicht wieder eingedrückt werden.

Bei VFR-Flügen am Tag ist normalerweise kein elektrisches System unentbehrlich,



Antriebsfragen: Drehstrom-Generatoren (englisch alternator) liefern den Strom für das Bordnetz. Sie können direkt über ein Getriebe (links) oder über einen Keilriemen (rechts) mit dem Motor verbunden sein. Die Riemenspannung sollte vor dem Flug geprüft werden

außer gegebenenfalls ein Funkgerät oder die Triebwerkssteuerung. Bei IFR-Flügen sind die Fluglageinstrumente essentiell, weswegen auch bei Glascockpits Backups für Horizont/Turn & Bank, Speed und Höhe vorgeschrieben sind. Werden einige Backup-Instrumente nicht elektrisch, sondern über ein Vakuumsystem angetrieben, so muss der Pilot genau wissen, welche dies sind.

Je komplexer das elektrische Bordnetz aufgebaut ist, desto mehr Möglichkeiten und oftmals auch Komfort bietet ein Flugzeug, desto größer aber ist auch die Gefahr einer Störung. Um im Notfall richtig reagieren zu können, muss der Emergency Checklist gefolgt werden, die aber nicht jede denkbare Situation darstellen kann. Vertiefte Systemkenntnisse können dann für eine richtige Entscheidung sehr hilfreich sein. Es empfiehlt sich also unbedingt, regelmäßig das Kapitel »Elektrik« der Flugzeugbeschreibung im Handbuch durchzustöbern, um das technische Verständnis aufzupolieren.

Ein Beispiel dafür, was bei einem Ausfall des Alternators ablaufen kann, finden Sie im unten aufgeführten Internet-Link: Dort hören Sie den Mitschnitt von Cockpit-Gesprächen und Funksprüchen zweier Piloten, die mit einer TB-10 Tobago bei bestem VFR-Wetter über dem britischen Gloucester unterwegs sind, als die Generator-Warnlampe des Flugzeugs aufleuchtet.

Nachdem der Versuch, den Alternator neu zu starten, keinen Erfolg zeigt, entscheiden sich die beiden zur Landung auf dem nahen Flugplatz Gloucester. Immer die Befürchtung im Kopf, dass vorne unter der Cowling gerade ein Brand entstehen könnte, schalten sie alle nicht notwendigen Systeme an Bord ab und landen sicher. Die Werkstatt am Platz diagnostiziert defekte Kohlebürsten und tauscht diese aus. Zwei Stunden später kann der Flug fortgesetzt werden.

Helmut Lage

»ONLINE

Die Cockpitgespräche beim Generatorausfall unter: www.fliegermagazin.de/galerie

ENGLISCH FÜR ELEKTRIKER

Circuit Breaker	_____	Sicherungsautomat
Fuse	_____	Schmelzsicherung
Alternator	_____	Drehstromgenerator
Generator	_____	Gleichstromgenerator
Bus	_____	Verteilerschiene
Magneto	_____	Zündmagnet
Master Switch	_____	Hauptschalter für die Batterie, den Alternator oder beides
Avionic Master	_____	Zentralschalter für Avionik
Voltmeter	_____	zeigt die Spannung im Bordnetz
Ammeter	_____	zeigt den im Bordnetz fließenden Strom in Ampere an und informiert meist auch darüber, ob die Batterie ge- oder entladen wird
Ground receptacle	_____	Außensteckdose für externen Stromanschluss
AC	_____	Wechselstrom
DC	_____	Gleichstrom
Hz	_____	Hertz – Einheit für die Frequenz von Wechselstrom