

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 88 (1970)
Heft: 39

Artikel: Eine rechner-gesteuerte Prüfeinrichtung für Flugzeugelektronik
Autor: Hottinger, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-84628>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

rischen Antrieb je Flügelpaar. Die Torrahmen bestehen aus abgekanteten 5-mm-Blechen, die zu Hohlkastenprofilen verschweisst und mit Profil- und Rohrstäben ausgefacht sind. Die innere Verkleidung besteht aus isolierenden Holzblockplatten, die äussere aus Wellalumanbändern. Das Gewicht eines Torflügels beträgt 11 bis 13 t.

Die neue Hallenfront der Werft I von 148,2 m Länge wird durch zwei Toranlagen verschlossen. Jede Toranlage besteht aus drei in getrennter Ebene fahrenden Verschiebeeinheiten, welche wiederum aus drei Torflügeln gekuppelt sind³⁾. Die Toranlagen sind derart gesteuert, dass sich die drei Verschiebeeinheiten zuerst überdecken und dann gemeinsam weitergefahren werden können. Die 22,5 m hohen Torflügel weisen Rahmenstiele aus zwei verschweissten I HEA 550 auf, um die horizontale Durchbiegung relativ gering zu halten und um die Dichtung der vertikalen Fugen zwischen den Verschiebeeinheiten noch lösen zu können. Die Verkleidung ist ähnlich ausgeführt wie bei der Werft II, das Gewicht eines Torflügels von gleicher Breite erreicht aber 30 t.

Die Montage

Die Erstellung der Hallenbauten hat in dem hier überblickbaren Zeitraum mit dem Angebot besserer und leistungsfähigerer Hebezeuge grosse Fortschritte gemacht. Für die ersten drei Flugzeughallen standen schienengebundene Portalkrane und schwer verschiebbliche Derricks zur Verfügung, welche für die obersten Montagehöhen um 20 m noch ausreichten. Für die Vergrösserung der Werft I konnten jedoch grosse Mobilkrane eingesetzt werden, welche bis 90 t schwere Einbauelemente mühelos und genau auf über 30 m Höhe anheben konnten. Allerdings ist mit diesen Montagehilfen noch kein Kleinzeug, keine Dachdeckung und kein Ausrüstungsgegenstand an exponierter Stelle befestigt. Für die ersten drei Hallen mussten deshalb umfangreiche Gerüste für Arbeitsböden erstellt werden, die die Erstellungskosten der Werft II zum Beispiel mit 2 % der Bausumme belasteten. Bei der Vergrösserung der Werft I konnte dieser Kostenanteil trotz der um durchschnittlich 10 m höheren Halle auf 1 % gesenkt werden, da die schweren Kranbrücken, vorzeitig eingebaut, als Arbeitsböden die ganze Dachuntersicht bedienen konnten.

3) Einzelheiten hierüber in «Metallbau» 1969, H. 3, S. 19—31.

Heute bieten nicht mehr die Dächer, sondern die Fassaden die grössten Schwierigkeiten bei der Erstellung von Hallenbauten.

Die Architektur

Im Flugzeughallenbau sind die Baukuben weitgehend durch die technischen Anforderungen an das Bauwerk bestimmt, und mit der Wahl des Tragsystems sind bereits die Strukturelemente in grossen Zügen vorgezeichnet. Der Architekt wird deshalb unter für ihn erschwerten Umständen an die Lösung ästhetischer Probleme herantreten müssen und in engerem Kontakt mit dem Ingenieur stehen als bei anderen Bauvorhaben. Immerhin sind viele Mittel vorhanden, die im Rahmen der erforderlichen Wirtschaftlichkeit angewendet werden können, um die moderne, sich meist gegen riesige Freiflächen öffnende Industrielandschaft zu gestalten. Auf dem Werftareal Zürich-Kloten haben es die beteiligten Architekten *K. Kündig, D. Casetti und E. Rohrer* verstanden, mit einfacher Sachlichkeit die massstäblich richtigen Akzente zu setzen und so die ansprechenden Bilder geschaffen, deren auch der Flughafen Zürich für die Werbung bedarf.

Folgerungen und Ausblick

Wenn auch die Flugzeughallen auf dem Flughafen Zürich-Kloten nach verschiedenen Rezepten errichtet wurden, lässt sich doch feststellen, dass sie als Randüberbauungen — ohne die grosszügigen Landreserven ausländischer Standorte zu besitzen — nach und nach zu Werkstätten grosser Auslastung und Flexibilität entwickelt wurden. In zeitlicher Staffelung können auf engstem Raum alle im Verkehr stehenden Flugzeugtypen gewartet und überholt werden. Dadurch werden nicht nur Arbeitskräfte gespart, sondern die Kosten für die Infrastruktur und die internen Dienstleistungen können klein gehalten werden.

Mit den beschriebenen Bauten ist die Entwicklung in Zürich nicht abgeschlossen, im Gegenteil, mit der zu erwartenden Ausweitung des Flugverkehrs müssen die Verhältnisse nicht nur den einzelnen Flugzeugen, sondern auch der zahlenmässigen Zunahme der modernen Transportmittel angepasst werden.

Adresse des Verfassers: *P. Huber, dipl. Ing., Teilhaber der Firma Huber-Winiger-Kräzlin, dipl. Bauingenieure ETH/SIA, Löwenstr. 1, 8001 Zürich.*

Eine rechner-gesteuerte Prüfeinrichtung für Flugzeugelektronik

Von F. Hottinger, Zürich

DK 629.138.5:629.1.05:681.3

Einleitung

Ein modernes Verkehrsflugzeug ist mit einer grossen Zahl von Instrumenten aller Art ausgerüstet. Es sind Instrumente dabei, die einen Sachverhalt messen und anzeigen (wie etwa ein Thermometer), andere ermitteln einen anzugegenden Wert aus einem oder mehreren anderen Werten (z.B. ein Drehzahlmesser oder der künstliche Horizont), wieder andere führen komplizierte Rechnungsoperationen durch, deren Ergebnisse angezeigt werden (beispielsweise das Fluglageleitsystem), schliesslich dienen andere nicht nur der Berechnung und Anzeige, sondern betätigen auch Steuergeräte des Flugzeuges (z.B. der Autopilot). Es gibt Instrumente, die andere Instrumente überwachen und allfällige Funktionsfehler anzeigen (z.B. das Instrumenten-Vergleichs-Warngerät), und es gibt auch solche, die völlig unabhängig von äusseren Einflüssen funktionieren wie eine Uhr.

Die schrittweise Einführung der automatischen Landung, die Erleichterung der Arbeit des Piloten durch zunehmende

automatische Überwachung zahlreicher Bordsysteme sowie die mit der zunehmenden Flugverkehrsichte aufwendigeren Navigationssysteme haben zur Folge, dass die Bordelektronik moderner Flugzeuge einen hohen Grad an Komplexität, Packungsichte und Präzision erreicht hat (Bild 1). Die Ausfallrate bzw. die mittlere Zeit zwischen Ausfällen dieser elektronischen Geräte liegt ungefähr zwischen 200 und 5000 h. Zur Gewährung einer hochprozentigen Verfügbarkeit der Flugzeuge für den Flugbetrieb stellt sich dadurch den Unterhaltsstellen der Fluggesellschaften ein nicht zu unterschätzendes Problem bezüglich bereitzustellenden Arbeitsstunden, teuren Prüfeinrichtungen und teuren Ersatzgeräten. Für eine manuelle Funktionsprüfung an den Komponenten der oben erwähnten Systeme muss mit Prüfzeiten in der Grössenordnung von 8 h/ Gerät gerechnet werden. Dabei hat die Erfahrung gezeigt, dass im Durchschnitt 50 % aller zu prüfenden Geräte fehlerfrei sind oder zumindest der vom Piloten gemeldete Mangel in der

Werkstatt nicht reproduziert werden kann. Aus dieser Tatsache entstand das Bedürfnis nach präzisen Prüfeinrichtungen mit höchstmöglichen Prüfgeschwindigkeiten einerseits und einem breiten Anwendungsgebiet anderseits. Der Einsatz eines Prüfautomaten ist somit naheliegend; die Forderung eines vielseitigen Einsatzgebietes stellt die Verwendung eines rechner-gesteuerten Prüfautomaten in den Vordergrund, insbesondere inbezug auf die Erstellung der Prüfprogramme. Die Luftämter fordern, dass diese den von den Flugzeuggeräte-Herstellern vorgeschriebenen, komplizierten Prüfabläufen entsprechen.

Die Swissair hat kürzlich als erste Fluggesellschaft der Welt den rechner-gesteuerten Prüfautomaten ATEC (Automated Test Equipment Complex), hergestellt von Sud Aviation, Frankreich, in Betrieb genommen (Bild 2). Es ist gegenwärtig die einzige im Time-Sharing-Verfahren arbeitende Anlage, welche bei einer Fluggesellschaft zum Einsatz gelangt.

Arbeitsweise des ATEC

Bild 3 zeigt das Blockschemata des ATEC. Als zentrales Steuerelement des Automaten ist ein digitaler Rechner vom Typ CDC 1700 (Control Data Corp.) mit einem Kernspeicher von 16 k zu erkennen. Die Maschinenzykluszeit dieses Rechners beträgt $1,1 \mu\text{s}$, die Wortlänge umfasst 18 bit, wovon 1 bit für Paritätskontrolle und ein zweites bit für Programmschutzzwecke verwendet wird. Als peripherie Grundausstattung dienen eine Schreibmaschine (Teletypewriter KSR 35), ein Lochstreifenleser (CDC 1721, 400 character/s) sowie ein 8-Kanal-Lochstreifenstanzer (CDC 1723, 100 character/s).

Die am Rechner angeschlossenen Elemente können in zwei Stationen gruppiert werden: *Programmierstation K* und *Prüfstation A*. Das Betriebssystem des Rechners bedient diese beiden Stationen in einem Time-Sharing/multiprogramming-Verfahren und bietet damit die Möglichkeit, die Anlage gleichzeitig sowohl für die Prüfung elektronischer Geräte als auch für die Erstellung neuer Prüfprogramme zu benutzen. Die erwähnte Schreibmaschine sowie der Lochstreifenstanzer bilden die

markanten Elemente der Programmierstation. Die Programmierung des ATEC erfolgt in der ebenfalls von Sud Aviation entwickelten Programmiersprache ATOL (Automatic Test Oriented Language).

Die Prüfstation A dient der Prüfung niederfrequenter Flugzeuggeräte, hauptsächlich aus den Sektoren des automatischen Piloten und der Fluglageleitsysteme (Flight Director). Sie besteht aus folgenden Elementen: Interface, Speisestraßenquellen, Simulatoren, Messeinrichtungen, Schalteinheiten, Bedienungs- und Überwachungskonsole, Schnelldrucker.

Das Prüfprogramm wird in der Form eines Lochstreifens mittels dem Lochstreifenleser in den Kernspeicher des Rechners eingelesen. Gemäss diesem Prüfprogramm generiert der Rechner Steuersignale zur Einstellung der einzelnen Elemente der Prüfstation auf die für jeden Prüfschritt notwendige Anordnung. Diese Steuerbefehle des Rechners werden aber vorerst in einer Kopplungselektronik (Interface, Control Data Corp. Series 1500) auf die verschiedenartigen Bedürfnisse der einzelnen, fernzusteuernenden Elementen umgeformt.

Speisestraßenquellen

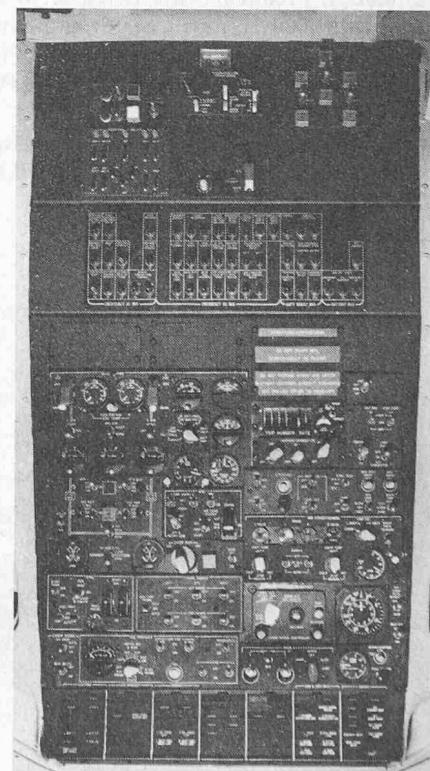
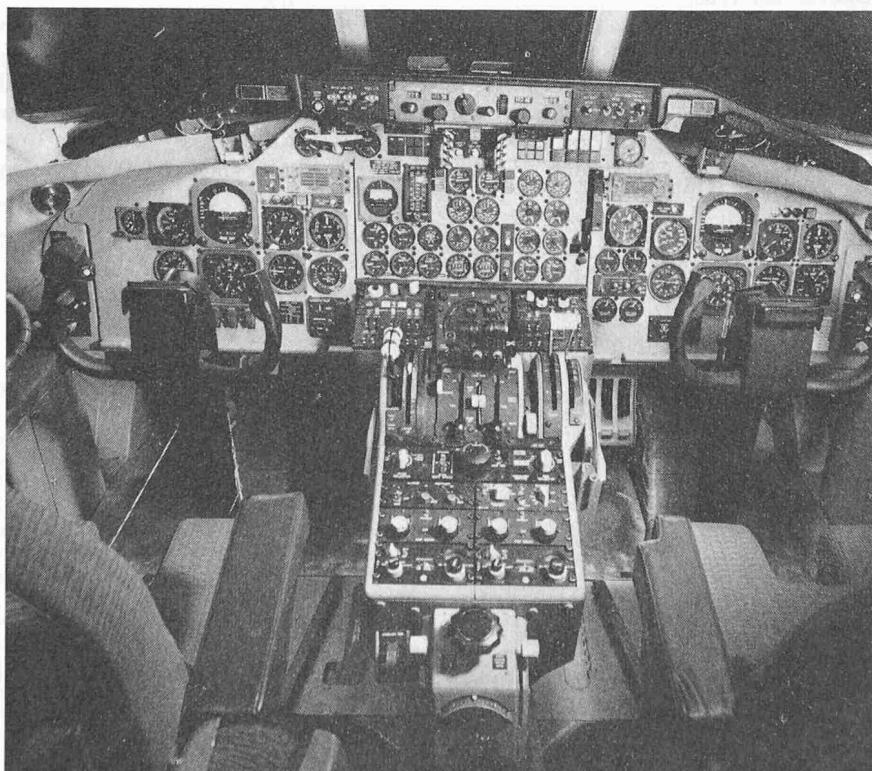
Die Speisestraßen für Flugzeuggeräte sind im allgemeinen 115V/400 Hz und 28V Gleichspannung. Zur Speisung des Prüflings, im folgenden UUT¹) (Unit Under Test) genannt, stehen im ATEC drei Speisestraßenquellen zur Verfügung:
 1. Wechselspannungsquelle (APS). 3phasig, wahlweise Dreieck- oder Sternschaltung, Phase A ist Referenzphase. Ausgangsspannung 95 bis 130 V, Phase-Phase bzw. Phase-Nulleiter; kleinster Programmierschritt 0,1V; Ausgangsleistung 500VA pro Phase.

2. Gleichspannungsquelle (DPS). Ausgangsspannung 0 bis 60 V; kleinster Programmierschritt 0,1 V; max. Ausgangsstrom 15A.

3. Dual-Gleichspannungsquelle (DPS). Ausgangsspannung 2 \times 0

¹⁾ Die verschiedentlich aufgeführten englischen Ausdrücke entsprechen den in der Programmiersprache verwendeten Abkürzungen.

Bild 1. Zwei Ansichten des Cockpits eines modernen zweistrahlgigen Verkehrsflugzeugs (Douglas DC-9), aus denen der Umfang der Überwachungsgeräte ersichtlich ist. Links die Instrumente, welche vom Piloten bzw. vom Co-Piloten überwacht werden (links und rechts Navigationsinstrumente, Mitte Instrumente für die Motorenüberwachung). Im Bild rechts die Schalttafel des Flugtechnikers (elektrische Bordanlage)



bis 40 V; kleinster Programmierschritt 0,5 V; max. Ausgangstrom $2 \times 1,5$ A.

Die Ausgänge dieser Speisespannungsquellen sind auf den sogenannten Power Supply Selector PSS geführt, der einen Teil der Schalteinheit bildet. Der PSS besteht aus drei gleichartigen, modularen Relais-Multiplexern mit total 42 Kanälen; die Ausgänge sind auf drei 37poligen Steckern W1...3 zugänglich. Jeder Speisespannungsquelle sind 6 Kanäle (zwei pro Multiplexer-Einheit) zugeordnet, welche einzeln mittels einem entsprechenden Programmbeispiel aktiviert oder deaktiviert werden können. Durch Aktivierung des Kanals 1 wird zum Beispiel auf dem Stecker W1 die Phase A des APS auf Steckerkontakt 1, Phase B auf Kontakt 2, Phase C auf Kontakt 3 und der (allfällige, bei Sternbetrieb) Nulleiter auf Steckerkontakt 4 geschaltet. Weitere 6 Kanäle führen auf ein Relais mit Umschaltkontakt, 6 andere auf ein Relais mit einem Arbeitskontakt. Diese Relais erlauben, Ströme bis zu 10 A zu schalten. Die restlichen 12 Kanäle sind gegenwärtig noch frei, sie dienen einer allfälligen Erweiterung des Speisespannungssystems. Ein besonderer Programmbeispiel sowie eine Drucktaste am PSS erlauben die gesamthafte Deaktivierung aller Kanäle.

Generatoren und Simulatoren

Zur Erzeugung von Prüfsignalen stehen im ATEC folgende Generatoren und Simulatoren (auch Stimuli benannt) zur Verfügung:

1. *Zwei identische Gleichspannungssignalgeneratoren*. Ausgangsspannung 0 bis 99,999 V; kleinster Programmierschritt 1 mV; max. Ausgangstrom 100 mA; Genauigkeit 0,01 % oder 1 mV.

2. *Gleichstromquelle*. Diese kann als Konstantstrom- oder als Konstantspannungsquelle verwendet werden.

– Konstant-Stromquelle (Betriebsart 1): Ausgangstrom 0 bis 2 A; kleinster Programmierschritt 1 mA; max. Ausgangsspannung 50 V; Genauigkeit $\pm 0,025\%$.

– Konstant-Spannungsquelle (Betriebsart 2): Ausgangsspannung 0 bis 50 V; kleinster Programmierschritt 1 mV; max. Ausgangstrom 2 A; Genauigkeit $\pm 0,025\%$ oder 100 μ V.

3. *Zwei identische Wechselspannungssignalgeneratoren*. Amplitude: Ausgangsspannung 0 bis 99,999 V; kleinster Programmierschritt 1 mV; max. Ausgangstrom 50 mA; Genauigkeit $\pm 0,02\%$. Frequenz: drei Bereiche 10 bis 100/100 bis 1000/1000 bis 10000 Hz; kleinster Programmierschritt 0,1/10 Hz je nach Bereich; Genauigkeit $\pm 0,5\%$. Phase, programmierbar bei 400 Hz: Bereich 0 bis 360°; kleinster Programmierschritt 1°; Genauigkeit 0,25°.

4. *Linear-Funktionsgenerator*. Ausgangsspannung -300 mV bis +300 mV; Anstiegsgeschwindigkeit 0,1 mV/s bis 12,7 mV/s;

kleinster Programmierschritt 0,1 mV/s; max. Ausgangstrom 100 mA.

5. *Servo-Funktionsgenerator*. Dieser liefert wahlweise eine Sinus-, Rechteck-, Dreieck oder Kippsspannung, entweder als reines Signal oder aber als Modulationsspannung für Trägerfrequenzbetrieb mit unterdrückter Trägerwelle von 400 Hz. Die Phasenlage der Modulationsspannung gegenüber der Trägerwelle beträgt, ebenfalls wahlweise, 0° oder 90°. Frequenzbereich 0,005 bis 999 Hz in 5 Bereichen; kleinster Programmierschritt 0,001/0,01/0,1/1/10 Hz je nach Bereich; Amplitude max. 48 Vpp; Abschwächer 0 bis 99,9 dB; kleinster Programmierschritt 0,1 dB.

6. *Zwei Drehmelder/Funktionsdrehmelder-Simulatoren (SAN/RAN)*. Frequenz 400 Hz; Ausgangsspannung Phase-Phase 11,8 V, 26 V oder 90 V; Drehwinkel 0 bis 359,99°; kleinster Programmierschritt 0,01°.

7. *Blockierte Drehmelder LSY*. Zwei mechanisch blockierte, auf elektrisch 0,0° eingestellte Drehmelder (als 400 Hz Synchro Transmitter und Control Transformer).

8. *Potentiometer und Widerstand-Simulator (POT)*. Das Potentiometer besteht aus zwei programmierbaren Widerstandsdekaden P und Q. Bereich für P und Q je 3 bis 8191 Ω ; kleinster Programmierschritt je 1 Ω ; Belastbarkeit 2 W; Genauigkeit 0,01 %. Der Widerstand der Zuleitung wird durch den Rechner kompensiert.

Die Ausgänge der Generatoren und Simulatoren führen auf den sog. Command Selector in der Schalteinheit, wobei die Generatorausgänge 4drähtig geführt sind (+- und -Leitung; Phase und Nulleiter getrennt abgeschirmt). Im Command Selector befindet sich für jeden Generator und Simulator ein ihm eigens zugeordneter Relais-Multiplexer. Dieser Multiplexer, gesteuert durch das Prüfprogramm, ermöglicht die Vervielfachung jedes Ausgangs mit dem Faktor 7 (ausgenommen 6 bei POT); normalerweise hat damit jedes Multiplexer-Modul einen 4drähtigen Eingang und sieben 4drähtige Ausgänge. Zu einer bestimmten Zeit kann natürlich pro Multiplexer-Modul nur ein Kanal von 7 möglichen gewählt werden. Nicht aktivierte Kanäle sind UUT-seitig einzeln kurzgeschlossen, um Einstreuung zu verhindern (Ausnahme Command Selector für SAN/RAN und POT).

Die Ausgänge der Command Selectors sind auf den oberen Teil eines Patchboard (Steckbrett) geführt. Dieses besteht aus zwei Teilen: fester Teil, montiert in der Schalteinheit, und mobiler Teil. Es ermöglicht, dass jeder Generator, Simulator usw. mit jedem Punkt des UUT-Anschlusses verbunden werden kann. Zu diesem Zweck ist der untere Teil des festen

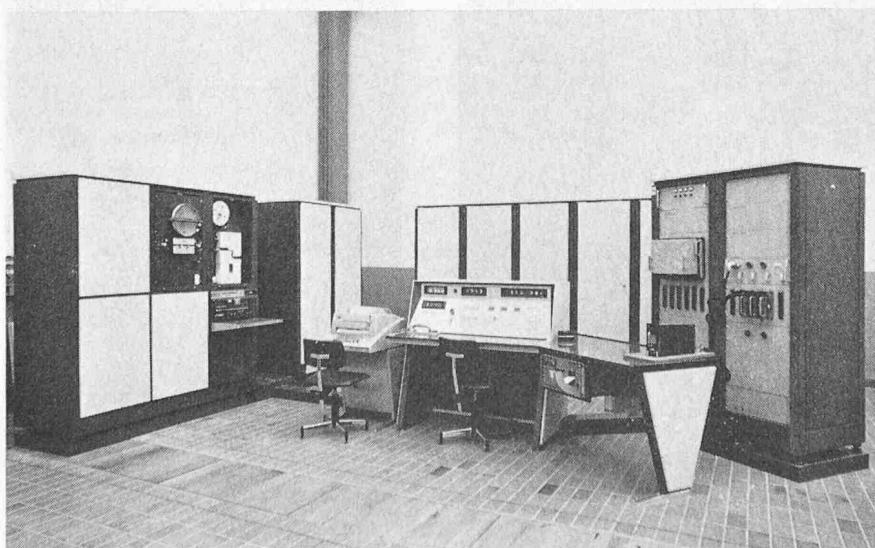


Bild 2. Gesamtansicht des Automated Test Equipment Complex (ATEC) der Swissair. Links der Digital-Computer CDC 1700, daneben die Programmierstation (Fernschreiber und Lochstreifenstanzer), im Hintergrund links das «Interface»-Gerät (Übersetzungselektronik zwischen Digital-Computer und der mit analogen Signalen arbeitenden Prüfstation), in der Mitte die Bedienungs- und Überwachungskonsole und rechts die eigentliche Prüfstation. Diese umfasst die fünfteilige Anlage mit den Spannungsquellen, Simulatoren und Messeinrichtungen (Hintergrund), die zweiteilige Anschlusseinheit (rechts), an der der Prüfling (auf dem Tisch) angeschlossen wird. Unter dem Tisch ist der das Prüfprotokoll druckende Apparat sichtbar.

Patchboard mit elf 96poligen Steckern M00...M10 mittels abgeschirmten Kabeln verbunden, so dass gesamthaft 528 Signalausgänge für den Anschluss der UUT zur Verfügung stehen. Auf dem beweglichen Teil des Patchboard werden mittels steckbaren Einfach- oder Mehrfachkabeln die gemäss Prüfvorschrift zur Signaleinspeisung notwendigen Verbindungen gesteckt.

Im oberen Teil des Patchboard sind im weiteren 56 durch das Prüfprogramm einzeln schaltbare Relaiskontakte (je ein quecksilber-benetzter Umschaltkontakt) zugänglich. Diese dienen als schaltbare Verbindungen zwischen zwei Punkten des Patchboard und damit des UUT-Anschlusses, weshalb sie auch als «External Liaison Selector ELS» bezeichnet werden.

Messeinrichtungen

Die Haupt-Messeinrichtung des ATEC ist ein integrierendes Digitalvoltmeter (HP 2402 A) mit Umsetzern für Wechselspannung, Frequenz und Widerstand. Ein Phase-Spannungs-Konverter, eine Drehmelder-Messeinrichtung und ein Zähler sind die weiteren Messeinrichtungen des ATEC.

1. Digitalvoltmeter

- Gleichspannungsmessungen, 6 Ziffern: Bereiche 0,1/10/100/1000V; Genauigkeit 0,01% der Ablesung \pm 0,005% des Bereichs; Eingangswiderstand 10 M Ω ; Messgeschwindigkeit 43/s max.
- Wechselspannungsmessungen: Bereiche 1/10/100/1000V, 50 Hz bis 100 kHz; Genauigkeit 0,06% der Ablesung \pm 0,03% des Bereichs; Eingangsimpedanz 900k Ω /200pF.
- Frequenzmessungen: Bereich 5 Hz bis 199,999 kHz; Eingangsspannung 0,1 bis 100 V; Genauigkeit \pm 1 digit \pm Zeitbasis-Stabilität; Eingangsimpedanz 1M Ω /150pF.
- Widerstandsmessungen: Bereiche 1/10/100/1000/10000 k Ω ; Messstrom 1 μ A bis 1 mA, je nach Bereich; Genauigkeit 0,01% der Ablesung \pm 0,005% des Bereichs.

2. *Phasen-Messeinrichtung*: Phase/Gleichspannungs-Umsetzer; die Messung der Ausgangsspannung erfolgt automatisch, ohne zusätzlichen Programmbefehl, mit dem Digitalvoltmeter. Lineare Umsetzung $0^\circ = 0V$, $359,9^\circ \triangleq -3,599V$; Eingangsspannungsbereich 0,3 bis 50/3 bis 300 V; Frequenzbereich normal 400 Hz, allfällig 4Hz bis 500 kHz; Genauigkeit $\pm 0,2^\circ$; Eingangsimpedanz min. 300 k Ω .

3. *Drehmelder-Messeinrichtung*: Bereich 0 bis 359,99°; Frequenz 400 Hz; Eingangsspannung 11,8V (allfällig 26 oder 90V); Genauigkeit 0,01°.

4. *Zeit-Messeinrichtung*: Diese wird hauptsächlich zur Phasenmessung bei sehr tiefen Frequenzen bis zu 0,005 Hz verwendet. Bereich 1mHz bis 3Hz, 6 Ziffern; Eingangsspannung 10mV bis 10V, Überlast bis 300V; Genauigkeit ± 1 digit \pm Zeitbasis-Stabilität ($<10^{-5}$); Eingangsimpedanz 1 M Ω /50pF.

Über insgesamt 600 einzeln abgeschirmte Zuleitungen können diesen Messeinrichtungen zu messende Signale zugeführt werden:

528 Zuleitungen sind zugänglich von den bereits oben erwähnten Steckern M00 bis M10 (und damit ebenfalls vom Patchboard her);

48 Zuleitungen sind zugänglich vom allein für Messzwecke vorgesehenen Stecker M11;

24 Zuleitungen sind für interne Überwachungszwecke (Self Test) reserviert, wobei z.B. jedem Generator oder Simulator ein Zuleitungspaar zugeordnet ist.

Mittels einem einzigen Programmbefehl können aus diesen 600 Zuleitungen zwei einzeln abgeschirmte Messleitungen ausgewählt werden. Dazu dienen zwei gleichartige Kreuzschienewähler (Crossbar Selector CBS A und B) zusammen mit je einem sog. Level Selector. Jeder Kreuzschienewähler hat 1200 Eingänge bzw. 600 abgeschirmte Zuleitungen und 10 Ausgänge bzw. 5 abgeschirmte Abgänge. Aus diesen 5 Abgängen wird mittels dem Level Selector schliesslich eine abgeschirmte

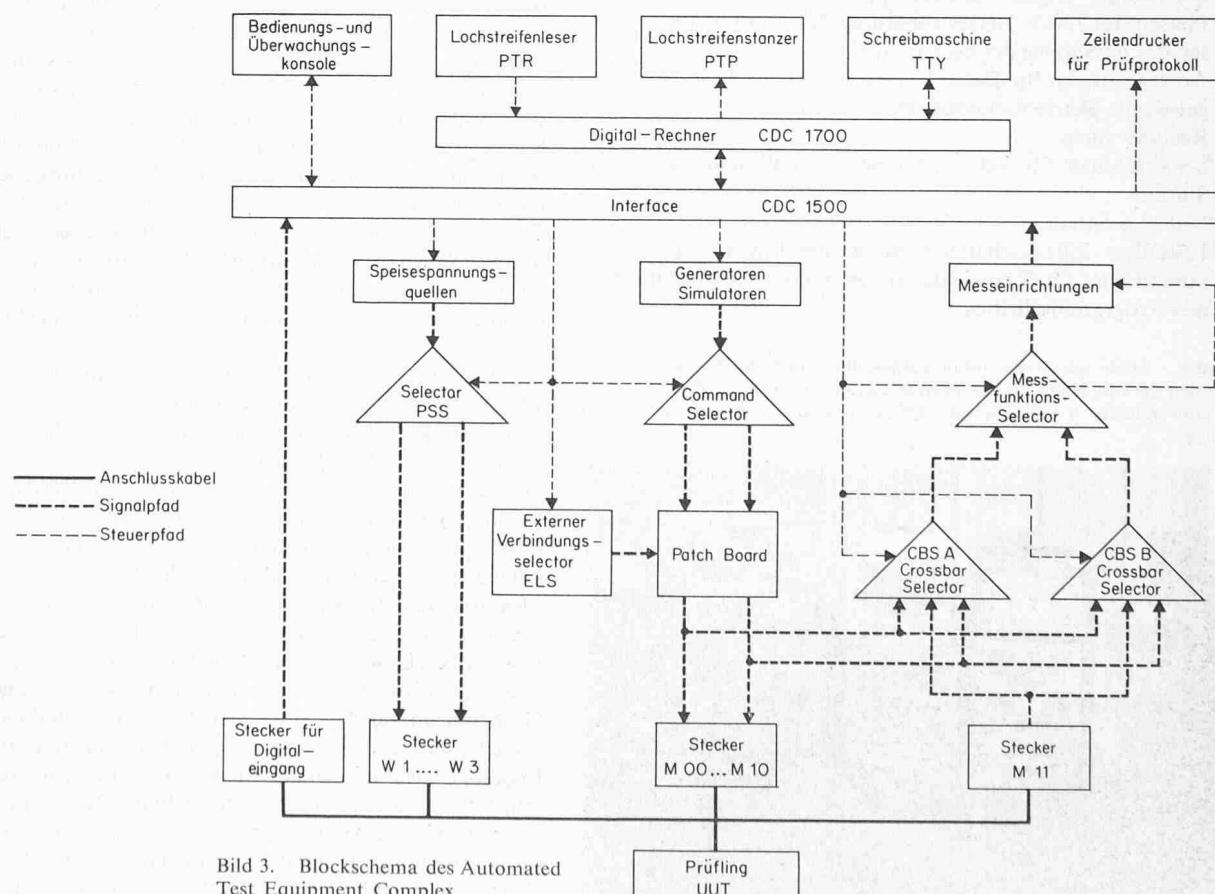


Bild 3. Blockscheme des Automated Test Equipment Complex

Messleitung ausgewählt. Die beiden Kreuzschieneinwähler-Eingänge sind parallel geschaltet, d.h., jede der 600 Zuleitungen ist sowohl auf CBS A wie auch auf CBS B geführt. Wäre nun bei einem Prüflauf beispielsweise zwischen den Zuleitungen 541 (+Pol) und 322 (-Pol) eine pos. Gleichspannung zu messen, so müsste CBS A auf Position 541 und CBS B auf 322 gebracht werden. Würde umgekehrt CBS A auf 322 und CBS B auf 541 gestellt werden, würde die gemessene Spannung als negativ erscheinen. Ein Messfunktions-Wähler (Measurement Function Selector) ordnet die von den Level Selectors an kommenden Messleitungen der in Frage kommenden Messeinrichtung zu.

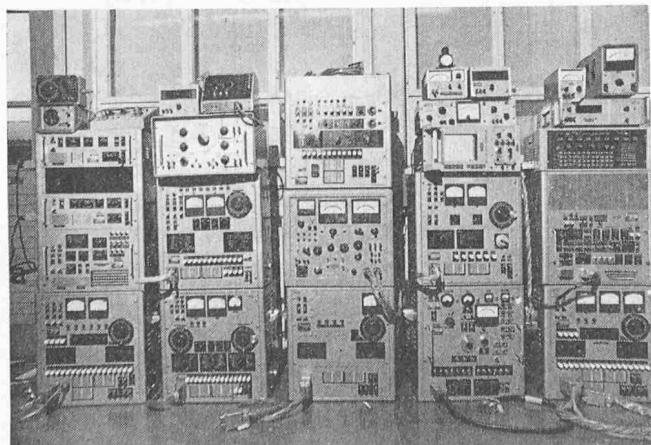
Dies erlaubt, eine Messung zwischen beliebigen zwei Punkten von 600 möglichen auszuführen. Darüber hinaus ist zur Prüfung von logischen Signalen noch ein Spezialpfad vorhanden: über zwei weitere 37polige Stecker an der Schalteinheit besteht eine direkte Zuleitung zum Interface. Ohne das Voltmeter zu benutzen, wird eine Spannung auf diesen Zuleitungen von 3 bis 6 V direkt durch den Rechner als logisch L und 0 bis 0,5 V als logisch 0 verwendet. Zwölf Leitungen können zu einem binären Wort zusammengefasst und damit in einem Programmschritt gegenüber einer im Programm vorzugebenden binären Anordnung mit Rechnergeschwindigkeit parallel überprüft werden.

Bedienungs- und Überwachungskonsole

Auf der Bedienungs- und Überwachungskonsole sind folgende Elemente eingebaut:

- elektrische Uhr mit Angabe von Zeit, Tag und Wochentag
- vierstelliger Ziffernindikator zur Anzeige der momentanen Programmsequenznummer
- 8stelliger Indikator zur Anzeige des Messergebnisses mit Vorzeichen und Einheit
- drei Lampen High/Go/Low zur Anzeige, ob das Ergebnis oberhalb, innerhalb oder unterhalb der vorgegebenen Toleranzgrenze liegt
- dreistelliges Digitalvoltmeter zur Überwachung aller drei Phasen des 220-V-Netzes (Speisung des ATEC), aller 3 Phasen des APS sowie der beiden DPS
- Anzeigelampen für Dreieck- oder Sternbetrieb des APS
- getrennte Betriebsstundenzähler für gesamte Anlage und Rechner allein
- Schaltschütze für jeden einzelnen 19-Zoll-Schrank der A-Station
- Not-Aus-Schalter
- 12stelliger Ziffenschalter 0 bis 9 zum Einlesen der Code-Nummer des UUT sowie des ersten und letzten auszuführenden Programmschrittes

Bild 4. Allein durch die bisher aufgestellten vierzehn Prüfprogramme werden 26 von Hand zu bedienende Geräte überflüssig. Zudem ist die aufzuwendende Arbeitszeit mit der automatischen Anlage wesentlich kürzer



- Tastatur 0 bis 9 und Vorzeichen zum Einlesen verschiedener Daten, beispielsweise Inventarnummer des UUT oder Messwerte von äusseren, nicht zum ATEC gehörenden Messeinrichtungen
- Tasten zur Wahl der Betriebsarten, wie Programm einlesen, Änderung des laufenden Programms, Anzeige des Messergebnisses auf oben erwähntem Indikator mit gleichzeitiger Verlangsamung des Prüflaufes zur Ermöglichung der Wahrnehmung der schnell wechselnden Anzeigen, Ausdrucken aller Programmschritte oder nur Messergebnisse, Anhalten der Prüfung bei Auftreten eines ausserhalb der Toleranzgrenzen liegenden Ergebnisses, automatische oder schrittweise Ausführung des Prüfprogrammes, Wiederholung des letzten Programmschrittes, Wiederholung der letzten Messung, Ein/Ausschaltung des Summers zur zusätzlich hörbaren Signalisierung eines Fehlers oder eines vorzunehmenden manuellen Eingriffes, Stoppen des Prüflaufes und Rückstellung (Reset)
- alphanumerischer Schnelldrucker, max. 20 Zeilen/s zu je 21 Kolonnen zum Ausdrucken des Prüfprotokolls
- Telephon.

Ablauf einer automatischen Prüfung

Für jeden zu prüfenden Flugzeuggeräte-Typ ist ein Prüfprogramm-Lochstreifen, ein Verbindungskabel zum ATEC sowie ein vollständig verdrahtetes Patchboard vorhanden. Nachdem das Verbindungskabel und das Patchboard installiert sind, wird der Lochstreifen eingelesen. Dazu muss an der Bedienungs- und Überwachungskonsole mittels den Ziffenschaltern die Code-Nummer des UTT eingewählt werden. Als erste Information trägt das Prüfprogramm ebenfalls diese Code-Nummer; der Lochstreifen kann nur eingelesen werden, wenn die eingewählte Nummer mit derjenigen auf dem Lochstreifen übereinstimmt. Darauf werden an denselben Ziffenschaltern die Nummern des ersten und letzten auszuführenden Programmschrittes eingewählt und die automatische Prüfung durch einen Druck auf die Start-Taste eingeleitet. Nach dem Ausdrucken allgemeiner Daten, wie Titel, Code-Nummer, Teil-Nummer, Inventar-Nummer des UUT sowie Datum und Startzeit, wird vorerst automatisch bestätigt, ob das für das gegenwärtige UUT richtige Verbindungskabel an den richtigen Steckern angeschlossen und das richtige Patchboard installiert ist. Dazu sind in jedem Stecker des Verbindungskabels sowie auf dem Patchboard zwischen bestimmten, für jeden UUT-Typ verschiedenen Punkten Kurzschlüsse angebracht, welche mittels Widerstandsmessungen überprüft werden. Wird ein Anschlussfehler erkannt, erscheint auf dem Protokoll ein entsprechender Hinweis, andernfalls wird der Prüflauf fortgesetzt.

Die Speisespannungsquellen werden auf die notwendigen Werte eingestellt, gemessen und allfällig automatisch auf den richtigen Wert korrigiert, um dann durch Aktivierung der entsprechenden PSS-Kanäle an den UUT angelegt zu werden. Danach wird gemäss Prüfprogramm (im Kernspeicher des Rechners) Prüfschritt für Prüfschritt ausgeführt, also Generatoren und Simulatoren einstellen und Signal anlegen, Messkanäle aktivieren und Reaktionen des UUT messen. Für jedes Messergebnis können im Programm Toleranzgrenzen vorgegeben werden; es wird dann im Rechner eine allfällige Über- oder Unterschreitung der Grenzwerte überprüft. Diese Messergebnisse werden zusammen mit den dazugehörigen Grenzwerten auf dem vom Schnelldrucker erstellten Protokoll festgehalten. Ein ausserhalb den Toleranzgrenzen liegendes Ergebnis wird mit einem Stern vor dem über- bzw. unterschrittenen Grenzwert gekennzeichnet. Nach Belieben des Programmierers kann in einem solchen Fall in ein Unterprogramm zur genaueren Fehlerortung oder zur Ausdruckung einer Fehlermeldung (Error-Subroutine) mit bedingter oder

unbedingter Unterbrechung des Prüfablaufs übergeleitet werden. Am Ende der Prüfung werden wiederum die Zeit ausgedruckt und schliesslich sämtliche Elemente deaktiviert.

4. Die Programmierung des ATEC

Die Programmierung des ATEC erfolgt in der von Sud Aviation entwickelten Programmiersprache ATOL-Automatic Text Oriented Language. Jede ATOL-Sequenz beschreibt eine Elementarfunktion, wie z.B.: Wähle zwei UUT-Anschlusspunkte für eine Messung; Stelle einen Stimuli-Ausgang auf einen bestimmten Wert; Schliesse eine Last an; Verbinde einen Generator-Ausgang mit dem UUT; Messe die Reaktion; Vergleiche das Ergebnis gegenüber Grenzwerten; Warte eine bestimmte Zeit oder auf eine bestimmte Bedingung; Leite in ein Unterprogramm über.

Jede Operation wird durch einen symbolischen Operationscode aus 3 Buchstaben identifiziert, wobei aufeinanderfolgende Operationen durch die sog. Sequenznummer fortlaufend nummeriert sind. Der ATOL-Compiler kennt gegenwärtig rd. 100 verschiedene Operationscodes. Diese können in folgende Gruppen unterteilt werden: Service Codes; Control Codes; Data Processing Codes (Datenverarbeitungs-Codes); Stimuli Codes; Switching Codes (Schalt-Codes); Measurement Codes (Mess-Codes).

Die *Service-Codes* unterscheiden sich insofern von den übrigen Codes, als sie sofort durch den Compiler ausgeführt werden und nicht ins Operations- bzw. Prüfprogramm aufgenommen werden. Die *Control Codes* steuern den Ablauf des Operationsprogramms.

Mittels der *Data Processing Codes* können numerische Werte, hauptsächlich natürlich Messergebnisse bearbeitet werden. Es stehen Codes für die vier Grundrechenoperationen sowie zur Berechnung von Sinus- und Cosinus-Funktionen zur Verfügung sowie z.B. zur Überprüfung der Messergebnisse gegenüber Toleranzgrenzen. Die *Stimuli* und *Switching Codes* werden zur Einstellung der Stimuli und zur Einspeisung derer Signale in den UUT benutzt. Für jedes Stimuli sind somit mindestens 2 Codes vorhanden. Mittels den *Measurement Codes* werden die Messeinrichtungen an die Messkanäle angeschlossen und die Messbereiche eingestellt.

Erweiterungsmöglichkeiten und wirtschaftliche Aspekte

Aus der Beschreibung des ATEC lassen sich die Einsatzgrenzen der Prüfstation A abschätzen. Der Rechner wäre aber seinerseits in der Lage, bis zu sieben Prüfstationen gleichzeitig zu bedienen. Als weitere Prüfstationen könnten in Betracht gezogen werden: Radio/Radar-Station; Digital-Station; Pneumatik-Station; Hydraulik-Station.

Einer Verwirklichung dieser Möglichkeiten stehen im gegenwärtigen Zeitpunkt allerdings noch wesentliche technische Schwierigkeiten im Wege: Einerseits ist der technische Aufbau der in Frage kommenden Flugzeug-Komponenten ungeeignet für die automatische Prüfung, andererseits sind die dazu notwendigen, komplizierten programmierbaren Stimuli und Messseinrichtungen heute noch kaum entwickelt oder allenfalls deren Anschaffung in wirtschaftlicher Hinsicht noch nicht vertretbar. Ausblickend kann jedoch gesagt werden, dass wahrscheinlich in naher Zukunft die gegenwärtige Prüfstation A durch einen programmierbaren Druckgenerator zur Simulation von Statik- und Stau-Druck erweitert wird. Damit könnten die sog. Luftwertrechner (Air Data Computer) ebenfalls automatisch geprüft werden. Weiterhin lassen die Entwicklungstendenzen darauf schliessen, dass die Beschaffung einer Radio/Radar-Station ungefähr im Jahre 1972 zumindest in technischer Hinsicht verwirklicht werden könnte.

Die wirtschaftliche Rechtfertigung einer Anlage wie das ATEC stützt sich in der zivilen Luftfahrt hauptsächlich auf zwei Faktoren:

- kürzere Werkstatt-Durchlaufzeiten für automatisch geprüfte Geräte
- kleinerer Arbeitszeitaufwand in der Werkstatt.

Der erstgenannte Faktor der kürzeren Werkstatt-Durchlaufzeiten hat hauptsächlich zur Folge, dass die notwendige Anzahl Ersatzgeräte zur Aufrechterhaltung des Flugbetriebs verringert werden kann. Die Arbeitsstunden-Einsparung hat neben der direkten Einwirkung auf das Personalproblem auch zur Folge, dass die in den Werkstätten beschäftigten Spezialisten von langweiligen, immer wiederkehrenden und die volle Aufmerksamkeit eines erfahrenen Berufsmannes erheischenden Prüfarbeiten befreit und voll für Reparaturarbeiten eingesetzt werden können. Ein in Zukunft immer mehr in Betracht zu ziehender Faktor ist im weiteren, dank der vielseitigen Einsatzmöglichkeit des Prüfautomaten, der teilweise mögliche Verzicht auf die Beschaffung von manuellen Prüfeinrichtungen (Bild 4). Dies gilt vor allem bei Erweiterung des Flugzeugparks durch neue Typen; für die kommenden Grossraumflugzeuge der Typen Boeing 747-257 B und DC-10-30 wird man einen grossen Teil der von Hand zu bedienenden Instrumentenprüfgeräte gar nicht erst anschaffen. Die Anlage stellt mit diesen Rationalisierungseffekten einen klaren betrieblichen und wirtschaftlichen Fortschritt dar.

Adresse des Verfassers: F. Hottinger, dipl. El.-Ing.-Tech. HTL, Automatische Flugzeuggeräte-Prüfung, Dep. Technik, Swissair, Schweiz, Luftverkehr AG, 8058 Zürich-Flughafen.

Anschluss des Flughafens Zürich-Kloten an das SBB-Netz

DK 656.213:656.71

Allgemeines

Die Zu- und Abfahrt der Reisenden von den Flughäfen erfolgt bis heute mit wenigen Ausnahmen auf der Strasse und beschränkt sich im wesentlichen auf Verbindungen mit der nächstgelegenen Stadt. Die zunehmend schwieriger werdenden Verhältnisse im städtischen Strassenverkehr und die rasch wachsende Zahl der Flugreisenden lassen die Erstellung einer leistungsfähigen und raschen Schienenverbindung zwischen Flughafen und Stadtzentrum immer dringender werden.

Im Transportplan für die Region Zürich ist deshalb von Anfang an eine Schienenverbindung zum Flughafen Kloten vorgesehen worden. Dem Grundsatz folgend, dass der Bereich bis zu einem Radius von etwa 12 km von der Untergrundbahn zu erschliessen ist, bildet der Anschluss des Flughafens an das künftige U-Bahn-Netz denn auch Bestandteil dessen erster Ausbauetappe.

Man muss sich aber fragen, ob eine U-Bahn-Linie zwischen Flughafen und Stadt genügt, denn gerade in unserem föderalistisch gewachsenen Land ist doch die Verbindung zu den übrigen wirtschaftlichen Zentren von grosser Bedeutung. Dies gilt insbesondere für den Tourismus. Die Grossraumflugzeuge werden den Einbruch des Luftverkehrs in den Massentourismus weiter fördern. Eine immer grössere Kundschaft unseres Fremdenverkehrs wird aus fernernden Ländern über die Flughäfen in unser Land einströmen. Nur ein Teil dieser Reisenden wird das Stadtzentrum und die engere Region von Zürich zum Ziel haben. Bereits heute beträgt dieser Anteil nach Untersuchungen von Ing. E. Jud 45%, während die übrigen Regionen wie folgt beteiligt sind: Westschweiz-Mittelland 14%, Süd- und Innerschweiz 14%, Ostschweiz 15%, angrenzendes Ausland 12%.