

**Praxiswissen Verkehr**

**Herausgegeben im Auftrag des Bundesministers für Verkehr  
vom Luftfahrt-Bundesamt  
Bd. IV-3: Elektronik**

**TÜV Media**

# Grundlagen der Luftfahrzeug- technik in Theorie und Praxis

Die Inhalte dieses Werkes werden von Verlag, Herausgeber und Autoren nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet und zusammengestellt. Eine rechtliche Gewähr für die Richtigkeit der einzelnen Angaben kann jedoch nicht übernommen werden.

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

ISBN: 978-3-88585-996-3

© by TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland®, Köln 1992

® TÜV, TUEV und TUV sind eingetragene Marken der TÜV Rheinland Group. Eine Nutzung und Verwendung bedarf der vorherigen Zustimmung durch das Unternehmen.

Printed in Germany

# Vorwort

Die Luftfahrt ist seit langem ein bedeutendes Anwendungsgebiet der Technik. Sowohl Theorie als auch die Technologie moderner Luftfahrzeugsysteme haben aus dieser Sparte entscheidende Impulse erhalten. Lange war dem betroffenen Luftfahrtpersonal der Zugang zur Luftfahrttechnik dadurch erschwert, daß es mit einem äußerst komplexen Fachgebiet konfrontiert wurde, für das ein umfassendes Lehrbuch bzw. Nachschlagewerk fehlte.

Die seinerzeitige Herausgabe eines deutschsprachigen Werkes hat diese Lücke in der Fachliteratur geschlossen. Entsprechend dem Ziel einer kompletten Ausbildungs- und Prüfungsunterlage sollte es dabei dem Luftfahrzeugprüf- und Wartungspersonal das erforderliche breite und gründliche Fachwissen vermitteln. Daneben konnte es neben Nicht-Flugtechnikern auch Ingenieure in der Luftfahrtindustrie, in Luftverkehrsgesellschaften sowie bei Behörden ansprechen, welche sich mit der Luftfahrttechnik zu befassen haben.

Mit großem Interesse und Respekt wurde daher die Entstehung der zweiten verbesserten, und der um einen 3. Elektronik-Teilband erweiterten Auflage verfolgt. Den Verfassern ist es dabei gelungen, in vorbildlicher und konsequenter Weise der rasanten technischen Entwicklung Rechnung zu tragen. Das nunmehr vorliegende Buch schafft damit auch die Rahmenbedingungen für ein ausgeglichenes Prüf- und Wartungssystem, das dem Europagedanken förderlich sein wird. Dazu ist es vortrefflich geeignet, dem lizenzierten Luftfahrtpersonal einen einheitlichen Wissensstand zu vermitteln bzw. als Arbeitsbehelf zu dienen.

Ein solches Buch wird jedoch nicht auf Dauer den Anspruch der Vollständigkeit und Aktualität geltend machen können, wenn nicht ein ständiger, der künftigen Entwicklung folgender Modernisierungsprozeß parallel läuft. Daß dem Verlag und den Autoren der Mut hierzu nicht verloren geht, und das Werk sich weiterhin reger Verbreitung erfreut, wünscht das

Bundesamt für Zivilluftfahrt in Österreich  
Dipl.-Ing. J. Rausch

# Vorwort

Der Entwurf und der betriebliche Einsatz moderner Flugzeuge haben sich innerhalb weniger Jahre entscheidend geändert. So führten u. a. die zunehmende Verwendung von Faserverbundwerkstoffen, die verstärkte Verflechtung zwischen Mechanik und Elektronik sowie neue Philosophien bei der fortlaufenden Instandhaltung zu neuen oder geänderten Herstell-, Reparatur- und Prüfverfahren. Diese Entwicklungen bedingen für „Prüfer von Luftfahrtgerät“ nicht nur ein umfassendes Fachwissen, sondern in gleicher Weise ein Verstehen der eigenen Tätigkeit als Teil eines Gesamt-Qualitätssicherungssystems, bezogen auf ein einzelnes Flugzeug, eine ganze Flugzeugflotte oder sogar auf ein gesamtes Unternehmen.

Die Erhaltung des Qualitätsstandards und damit der Lufttüchtigkeit von Luftfahrzeugen hängt neben einer langjährigen und umfassenden Berufserfahrung auch von einer gezielten und gründlichen Ausbildung des an diesem Gerät eingesetzten Prüfpersonals ab. Die vorliegenden Bände „Grundlagen der Luftfahrzeugtechnik in Theorie und Praxis“ stellen eine gute und gern verwendete Unterlage für die Ausbildung von Prüf- und anderem technischen Fachpersonal dar. Dies zeigt sich auch in der internationalen Verbreitung der Bände und in der von einigen Ländern angeregten Übersetzung in andere Sprachen. Deshalb wurde nach dem Vertrieb von jeweils rund 1 300 Exemplaren für die Bände I bis III der Fachrichtungen Flugwerk und Triebwerk nunmehr eine überarbeitete und dem Stand der Technik angepaßte Neufassung sowie die Erstellung eines 3. Teilbandes Elektronik erforderlich.

Die Überarbeitung wurde zum größten Teil von den schon früher bewährten Fachkräften und Autoren aus Industrie und Forschung sowie von Lehrkräften aus LBA-anerkannten Technischen Schulen vorgenommen. Allen an dieser Neuausgabe Beteiligten vom Bundesministerium für Verkehr, vom Verlag TÜV Rheinland, den Autoren und nicht zuletzt den Fachkräften meiner eigenen Behörde sei besonders gedankt.

Luftfahrt-Bundesamt  
Klaus Koplin

# Geleitwort

Gut 10 Jahre nach dem Erscheinen der ersten Auflage der „Grundlagen der Luftfahrzeugtechnik in Theorie und Praxis“ kann nun die zweite Auflage dieses umfangreichen Handbuches vorgelegt werden. Überarbeitet und insbesondere im Bereich der Elektronik in Form eines 3. Teilbandes der zwischenzeitlichen Entwicklung der Luftfahrttechnik angepaßt, ist es damit wieder als umfassende Lehr- und Lernhilfe für den angehenden Prüfer für Luftfahrtgerät verfügbar.

Als Anfang der 70er Jahre beim Bundesminister für Verkehr erste Überlegungen über die Zweckmäßigkeit und die Realisierungschancen eines solchen Ausbildungswerkes, in welchem der gesamte Prüfungsstoff entsprechend den Richtlinien des Bundesministers für Verkehr umfassend und übersichtlich dargeboten werden sollte, angestellt wurden, war die Skepsis groß, ob eine derart anspruchsvolle Aufgabe zu bewältigen sei.

Doch es gelang, hochqualifizierte Autoren mit reicher praktischer Erfahrung für diese große Aufgabe zu gewinnen. Das Resultat war ein Werk von so überzeugender fachlicher Qualität, daß es sofort auf großes Interesse und lebhafte Nachfrage stieß.

Trotz eines Nachdruckes der ersten Auflage war es bald vergriffen.

Der mit der Herausgabe eines so anspruchsvollen Fachkompendiums verbundene Aufwand führte dazu, daß die dringend erwartete Neuauflage einige Zeit benötigte. Doch nun ist es ein zweites Mal gelungen, die große Schar der Autoren zu gemeinsamem Schaffen zu vereinen und die „Grundlagen der Luftfahrzeugtechnik in Theorie und Praxis“ in überarbeiteter und ergänzter Fassung herauszubringen.

Daß dies möglich wurde, dazu haben viele Seiten ihren Beitrag geleistet, denen hier herzlich gedankt sei. Besonders erwähnt seien zwei Personen, die sowohl zu der Idee zu diesem Werk als auch zu seiner Realisierung ganz wesentlich beigetragen haben. Es sind dies Herr Dipl.-Ing. Gerd Buslei vom Bundesverkehrsministerium und Herr Dipl.-Ing. Günter Beck vom Luftfahrt-Bundesamt.

Möge dieses Ausbildungs- und Nachschlagewerk auch in seiner zweiten Auflage dazu beitragen, die hochentwickelte Technik, die zum heutigen Luftfahrtgerät gehört, mit großer Sachkenntnis und verantwortungsbewußt zu handhaben.

Zum Wohl eines sicheren und leistungsfähigen Luftverkehrs.

Dipl.-Ing. Horst Busacker  
Bundesministerium für Verkehr  
Referat Luftfahrttechnik und Luftfahrtforschung

# Vorwort

In den letzten Jahren hat die Technik sehr große Fortschritte gemacht. Dies trifft auch, oder speziell, auf die Luftfahrt zu. Denken wir nur an die rasante Entwicklung auf dem Gebiete der Flugelektronik.

Dadurch werden auch an das Unterhaltspersonal immer höhere Anforderungen gestellt, die nur durch eine gezielte, umfassende Ausbildung erfüllt werden können. Waren früher hauptsächlich mechanische Kenntnisse gefordert, muß der heutige Prüfer, Wart oder Luftfahrzeugmechaniker auf den Gebieten Materialkunde, Elektrotechnik, Prüfverfahren, Elektronik, um nur einige zu nennen, ebenso ausgebildet werden. Die vorliegenden Lehrbücher sollen dem zukünftigen Flugzeugfachmann das nötige Grundwissen vermitteln, ihm aber auch später als Nachschlagewerk gute Dienste leisten. Zudem wird damit eine Lücke in der deutschsprachigen Instruktions- und Fachliteratur geschlossen.

Es braucht viel Einsatz und Idealismus, gepaart mit soliden Kenntnissen, um die heutigen und kommenden Herausforderungen zu meistern. Unser gemeinsames Ziel ist auf jeden Fall eine sichere Luftfahrt.

Dem Verlag TÜV Rheinland, den beteiligten Redaktoren und Mitarbeitern danken wir für die anspruchsvolle Überarbeitung. Wir wünschen den zukünftigen Berufsleuten viel Erfolg für diese interessante Laufbahn.

Bundesamt für Zivilluftfahrt (Schweiz)  
Stv. Direktor  
A. Deutsch

# Inhaltsverzeichnis

## Kapitel 1 Elektronik Grundlagen

### Kapitel 1.1 Arinc-Bus-Systeme

1	Digitale Datenübertragung .....	1-3
1.1	Parallele Datenübertragung .....	1-3
1.2	Serielle Datenübertragung .....	1-3
1.2.1	Rückkehr nach Null .....	1-3
1.2.2	Rückkehr zum Grundwert .....	1-3
1.2.3	Richtungsschrift .....	1-3
1.2.4	Wechselschrift .....	1-4
1.2.5	Richtungstaktschrift .....	1-4
1.2.6	Wechseltaktschrift .....	1-4
1.3	Wortsynchronisation .....	1-4
1.3.1	Synchrone Übertragung .....	1-4
1.3.2	Asynchrone Übertragung .....	1-5
1.4	Bitsynchronisation .....	1-5
1.5	Übertragungsgeschwindigkeit .....	1-5
2	Festlegen für Übertragungssysteme ..	
	(Arinc 419) .....	1-6
2.1	Mitteilung (Message, MELT) .....	1-6
2.2	Elektrische Eigenschaften .....	
	(Electr. MELT) .....	1-6
2.3	Logische Eigenschaften (Logical, .....	
	MELT) .....	1-6
2.4	Zeitlicher Signalverlauf (Time, MELT) ..	1-8
2.5	Zusammenfassung .....	1-8
3	Datenübertragungssystem DITS .....	
	(ARINC 429) .....	1-10
3.1	Daten .....	1-10
3.2	Merkmale des DITS .....	1-10
3.2.1	Elemente der Datenübermittlung .....	1-10
3.2.1.1	Informationsfluß .....	1-10
3.2.1.2	Wortaufbau (information element) .....	1-11
3.2.1.3	Informationserkennung .....	1-11
3.2.1.4	Herkunfts- und Zielanzeiger .....	1-14
3.2.1.5	Vorzeichen- und Zustandsmatrix .....	1-14
3.2.1.6	Datenformate .....	1-14
3.2.2	Elektrische Verbindungselemente .....	1-16
3.2.2.1	Verbindungsleitungen .....	1-16
3.2.2.2	Modulation .....	1-16
3.2.2.3	Spannungsbereiche .....	1-16
3.2.2.4	Impedanzbereiche .....	1-16
3.2.2.5	Fehlertoleranzen .....	1-16
3.2.2.6	Fehlertrennung .....	1-17
3.2.3	Logische Eigenschaften .....	1-17
3.2.3.1	Codierung .....	1-17
3.2.3.1.1	Numerische Daten .....	1-17
3.2.3.1.2	Bitmeldung .....	1-19
3.2.3.1.3	Wartungsdaten .....	1-19
3.2.3.1.4	AIM Daten .....	1-19

3.2.3.1.5	Datei-Übertragung .....	1-20
3.2.3.2	Sendereihenfolge .....	1-20
3.2.3.3	Bit-Entschlüsselung .....	1-20
3.2.3.4	Fehlererkennung und -korrektur .....	1-20
3.2.4	Zeitlicher Signalverlauf .....	1-21
3.2.4.2	Übertragungsgeschwindigkeit .....	1-21
3.2.4.2	Informationsintervalle .....	1-21
3.2.4.3	Bit-Synchronisation .....	1-21
3.2.4.4	Wort-Synchronisation .....	1-21
3.2.4.5	Zeit-Toleranzen .....	1-21
4	ARINC 429 Bustester .....	1-21

## Kapitel 2 Funksprechanlagen

### Kapitel 2.1 Satellitenkommunikation für die Luftfahrt

1	Einleitung .....	2-3
2	Die Funkstrecke "Satellit-Flugzeug" ..	2-3
3	Modulationsverfahren für die Daten- übertragung .....	2-4
4	Codierung zur Fehlerkorrektur .....	2-4
5	Digitale Sprache .....	2-5
6	Das Flugzeug als Knoten in einem Computernetzwerk .....	2-5

## Kapitel 3 Navigations-Funkanlagen

### Kapitel 3.1 Mikrowellen-Landesystem (MLS)

1	Die internationale Standardisierung .. des MLS .....	3-3
1.1	Die operationellen Forderungen für ein neues Landesystem .....	3-3
1.2	Das internationale Genehmigungs- .. verfahren .....	3-4
2	Die Elemente des MLS und ihre stan- dardisierten Merkmale .....	3-5
2.1	Die Elemente des MLS .....	3-5
2.2	Die standardisierten Merkmale des MLS .....	3-6
3	Funktionsweise der MLS-Winkelkom- ponenten .....	3-8
3.1	Zeitmultiplexbetrieb .....	3-8



3.2	Das SignalfORMAT .....	3-8
3.3	Das Schwenkstrahlverfahren und die Winkelmessung .....	3-10
3.4	Fehlerbetrachtung .....	3-10
4	Die MLS-Datenübertragung .....	3-12
5	Der MLS-Geräteaufbau .....	3-13
5.1	Gesamtkonzeption .....	3-13
5.2	Die MLS-Antennen .....	3-15
6	Die Entfernungsmeßkomponente .....	3-17
6.1	DME-P .....	3-17
6.2	Allgemeines .....	3-17
6.3	Funktionsweise .....	3-17
7	Geräteaufbau .....	3-18
7.1	MLS-Bordgeräte .....	3-20
7.2	Die Geräte zur Winkelmessung .....	3-20
7.3	Funktionsweise des MLS-Winkel- empfängers .....	3-20
8	Die Einführung von MLS .....	3-21
8.1	Status der MLS-Einführung im Sommer 1988 .....	3-21
8.2	Überlegungen zur Aufstellung von MLS .....	3-21
8.3	Die KoloKation von ILS und MLS .....	3-24
8.4	Die kritischen Bereiche bei der MLS-Aufstellung .....	3-25
8.5	Praktische Erfahrung mit MLS .....	3-25
8.6	Das operationelle Potential von MLS .....	3-26
9	Literaturhinweise .....	3-28
10	Abkürzungsverzeichnis .....	3-28

### Kapitel 3.2 Satelliten-Navigationsanlagen (GPS)

1	Einleitung .....	3-31
2	Prinzipielle Funktionsweise .....	3-32
2.1	Systemkonzept .....	3-32
2.2	Arbeitsweise des GPS .....	3-35
2.3	Betriebssegment .....	3-36
2.3.1	Bahnparameter .....	3-36
2.3.2	Systemfehler .....	3-36
2.3.3	Laufzeitfehler .....	3-37
2.3.4	Geometrische Fehler .....	3-38
2.4	Nutzer-Segment .....	3-38
3	Das GPS-Signal .....	3-40
3.1	GPS-Signalcharakteristik .....	3-40
3.2	Erzeugung des Satellitensignals .....	3-42
3.3	Entschlüsselung des Satellitensignals .....	3-43
3.4	Inhalt der Navigationsbotschaft .....	3-43
4	Fehlverhalten von GPS- Empfängern im Flugeinsatz .....	3-44
4.1	Systemfehler .....	3-44
4.2	Verbesserung des Fehlverhaltens .. durch Differential-GPS .....	3-47
4.3	Verbesserung des Fehlverhaltens .. durch andere Sensoren .....	3-48
5	GPS-Empfangsanlagen .....	3-49
6	Anwendungsmöglichkeiten .....	3-50
7	Zusammenfassung .....	3-51

Literatur .....	3-51
Verzeichnis der Bildunterschriften .....	3-52

## Kapitel 4 Elektronische Überwachungsanlagen

### Kapitel 4.1 Electronic Flight Instrument System (EFIS)

1	Electronic Flight Instrument System .. EFIS .....	4-3
1.0	Aufgabe des EFI-Systems .....	4-3
1.1	Systemaufbau .....	4-5
1.2	EADI-Darstellungen .....	4-6
1.3	EHSI-Darstellungen .....	4-7
1.3.1	Rose Mode (Full VOR/ILS) .....	4-7
1.3.2	Arc Mode (Expanded VOR/ILS) .....	4-7
1.3.3	Map Mode .....	4-8
1.3.4	CTR Map Mode .....	4-8
1.3.5	Plan Mode .....	4-8
1.4	EFIS-CRT-Display .....	4-9
1.5	EFIS-Symbolgenerator .....	4-11
1.6	EFIS-Bediengeräte .....	4-12
1.7	Signalverteilung .....	4-12
1.8	Systemüberwachung .....	4-12
1.8.1	Systemtest (BITE) .....	4-18

### Kapitel 4.2 Electronic Centralized Aircraft Monitoring System (ECAM)

1	Electronic Centralized Aircraft Monitoring System ECAM-System ....	4-23
1.0	Aufgabe des ECAM-Systems .....	4-23
1.1	Systemaufbau .....	4-24
1.2	ECAM Warning Display .....	4-27
1.3	ECAM System Display .....	4-28
1.4	Warnungsdefinitionen .....	4-29
1.5	Farb- und Symboldarstellung .....	4-31
1.6	Akustische Warnungen .....	4-32
1.7	Warnungsunterdrückung .....	4-34
1.8	Betrieb ohne Flugzeug-Systemfehler .....	4-35
1.9	Flugzeug-Systemfehlermeldung .....	4-37
1.10	ECAM Systemüberwachung .....	4-42
1.11	ECAM Systemtest .....	4-43
1.11.1	Display Test .....	4-43
1.11.2	Eingangstest .....	4-44
1.11.3	BITE Test .....	4-44

### Kapitel 4.3 Aircraft Integrated Data System (AIDS)

1.0	Aufgaben des AIDS .....	4-47
1.1	Systemaufbau .....	4-47
1.2	Digital Flight Data Acquisition Unit ....	4-50
1.2.1	Recorder Datenformat .....	4-51
1.2.2	Integrity Check .....	4-53
1.2.3	DITS General Broadcast .....	4-55
1.2.4	DFDAU Systemüberwachung .....	4-57



1.3	Digital Flight Data Recorder .....	4-58	3.2.1	Navigation Data Base .....	4-104
1.4	Control/Display Unit CDU .....	4-58	3.2.2	Positions Bestimmung .....	4-104
1.4.1	Alpha-Callup .....	4-60	3.2.3	Radio Positionsbestimmung .....	4-104
1.4.2	DITS-Callup .....	4-61	3.2.3.1	Auswahl der Nav aids .....	4-105
1.4.3	Recording-Callup .....	4-61	3.2.3-2	Radio Reasonableness Test .....	4-106
1.4.4	Printout .....	4-62	3.2.4	Auswahl der IRS .....	4-106
1.5	Data Management Unit DMU .....	4-64	3.2.4.1	IRS Reasonableness Test .....	4-106
1.6	Quick Access Recorder QAR .....	4-64	3.2.5	Auswahl der ADC .....	4-108
1.7	Airborne printer .....	4-65	3.3	FMC Inputs .....	4-108
1.8	Propulsion Multiplexer PMUX .....	4-66	3.4	FMC Outputs .....	4-108
1.9	Anwendung der Print Reports .....	4-66	3.5	FMC Indications .....	4-108
			3.5.1	EHSI Anzeigen .....	4-108
			3.5.1.1	EHSI MAP Mode .....	4-108
			3.5.1.2	EHSI CTR MAP Mode .....	4-108
			3.5.1.3	EHSI PLAN Mode .....	4-108
			3.5.1.4	MAP Optionen .....	4-113
			3.5.2	EADI Anzeigen .....	4-113
			3.5.3	Mach Airspeed Indicator (MASI) .....	4-114
			3.5.4	N1 Indicator .....	4-114
			4	Systemüberwachung (BITE) und Fehlermeldungen (MESSAGES) .....	4-115
			4.1	BITE .....	4-115
			4.1.1	INFLIGHT BITE .....	4-115
			4.1.2	POWER UP TEST .....	4-115
			4.1.3	MAINTENANCE BITE .....	4-115
			4.1.3.1	Zugriff zur MAINT BITE INDEX Page .....	4-115
			4.1.3.2	INFLT FAULT .....	4-115
			4.1.3.3	CDU TEST .....	4-118
			4.1.3.4	SENSOR STATUS .....	4-118
			4.1.3.5	DISCRETES .....	4-118
			4.1.3.6	FIXED OUTPUTS .....	4-118
			4.1.3.7	PERF FACTORS .....	4-118
			4.1.3.8	IRS MONITOR .....	4-122
			4.2	MESSAGES .....	4-122
			5	FMS Operation .....	4-123
			5.1	Flugvorbereitung .....	4-123
			5.1.1	IDENT Page .....	4-123
			5.1.2	POS Page .....	4-127
			5.1.2.1	POS INIT Page .....	4-127
			5.1.2.2	POS REF Page .....	4-127
			5.1.3	RTE Page .....	4-127
			5.1.4	PERF Pages .....	4-127
			5.1.4.1	PERF INIT Page .....	4-127
			5.1.4.2	PERF LIMITS Page .....	4-130
			5.1.5	TAKEOFF REF Page .....	4-130
			5.1.6	N1 LIMIT Page .....	4-130
			5.2	Inflight Seiten .....	4-130
			5.2.1	DEP/ARR Pages .....	4-130
			5.2.1.1	DEPARTURES Page .....	4-130
			5.2.1.2	ARRIVALS Page .....	4-130
			5.2.2	LEGS Page .....	4-130
			5.2.3	HOLD Page .....	4-130
			5.2.4	PROG Page .....	4-136
			5.2.5	CLB/CRZ/DES Pages .....	4-137
			5.2.5.1	CLIMB Page .....	4-137
			5.2.5.2	CRUISE Page .....	4-137
			5.2.5.3	DESCENT Page .....	4-137
			5.2.6	FIX INFO Page .....	4-137
			5.2.7	DIR INTC Page .....	4-137
			5.2.8	REF NAV DATA Page .....	4-146
			5.2.9	SUPP NAV DATA Page .....	4-146

<b>Kapitel 4.4</b>		
<b>Inertial Reference System (IRS)</b>		
1.0	Aufgabe des IRS .....	4-73
1.1	Systemaufbau .....	4-73
1.2	Inertial Reference Unit IRU .....	4-74
1.3	Inertial Sensor Display Unit ISDU .....	4-77
1.4	Mode Sector Unit MSU .....	4-76
1.5	Betriebsarten und Handhabung .....	4-79
1.5.1	Alignment .....	4-79
1.5.2	Navigation .....	4-79
1.5.3	Attitude Reference .....	4-81
1.6	Systemüberwachung .....	4-83
1.6.1	Fehlerwarnungen .....	4-84
1.6.2	Systemtest (BITE) .....	4-85
1.6.3	Selbsttest (Remote Selftest) .....	4-85

<b>Kapitel 4.5</b>		
<b>Flight Management System (FMS)</b>		
1	FMS Allgemeines .....	4-89
1.1	Aufgabe .....	4-89
1.2	Horizontale Navigation (LNAV) .....	4-89
1.3	Vertikale Navigation (VNAV) .....	4-89
1.4	System Blockschaltbild .....	4-89
2	Komponenten .....	4-94
2.1	Flight Management Computer (FMC) .....	4-94
2.1.1	Interne Daten .....	4-94
2.1.2	Externe Daten .....	4-94
2.1.3	Memory .....	4-94
2.1.4	Monitoring .....	4-94
2.2	Control and Display Unit (CDU) .....	4-96
2.2.1	CDU Beschreibung .....	4-96
2.2.2	Eingabe von Daten .....	4-96
2.2.3	Löschen von Daten .....	4-98
2.3	Data Base Loading .....	4-98
2.3.1	Allgemeines .....	4-98
2.3.2	Bedienung .....	4-98
2.3.3	Operation .....	4-98
2.3.4	CDU Load Anzeigen .....	4-98
2.3.5	Fehleranzeigen .....	4-98
3	Systembeschreibung .....	4-101
3.1	Performance Berechnung .....	4-101
3.1.1	Performance Data Base .....	4-101
3.1.2	Kosten Index .....	4-102
3.1.3	Wind- und Temperatur-Profil .....	4-102
3.2	Navigation Berechnung .....	4-102

5.2.10	APPROACH REF Page .....	4-146
	Literaturverzeichnis .....	4-146
	Liste der wichtigsten Abkürzungen ....	4-146

## Kapitel 5 Elektronische Flugsteuerung

### Kapitel 5.1 Fly- by-wire

1	Allgemeines .....	5-3
2	Elektrisches Flugsteuerungssystem ..	5-3
2.1	Redundanz und Computerunter- schiede in einem EFCS .....	5-3
2.1.1	Systemredundanz .....	5-4
2.1.2	Elektrische Versorgung .....	5-4
2.1.3	Hydraulikversorgung .....	5-4
2.2	Überwachung (Monitoring) .....	5-4
2.2.1	Computer-Überwachung .....	5-4
2.2.1.1	Monitorkanal .....	5-4
2.2.1.2	Gültigkeitslogik .....	5-4
2.2.1.3	Eigentestfähigkeit .....	5-4
2.2.1.4	Funktionsüberwachung .....	5-7
2.3	Elektrische Installation .....	5-7
2.3.1	Kabeltrennung .....	5-7
2.3.2	Schutz vor Blitzschlag .....	5-7
2.4	Flugsteuerungsgesetzmäßigkeiten ....	5-7
2.4.1	Roll- und Giersteuerung .....	5-7
2.4.1.1	Roll ground law .....	5-8
2.4.1.2	Lateral in-flight law .....	5-8
2.4.1.3	Roll direct law .....	5-8
2.4.1.4	Yaw alternate law .....	5-9
2.4.1.5	Yaw mechanical mode .....	5-9
2.4.2	Nicksteuerung .....	5-9
2.4.2.1	Pitch ground law .....	5-9
2.4.2.2	Take-off law .....	5-9
2.4.2.3	In-flight law (C'law) .....	5-9
2.4.2.4	Pitch landing law .....	5-11
2.4.2.5	Rekonfigurationslogik .....	5-11
2.4.2.6	Pitch alternate law mit Schutz- richtungen .....	5-11
2.4.2.7	Pitch alternate law ohne Schutz- einrichtungen .....	5-11
2.4.2.8	Pitch direct law .....	5-11
2.4.2.9	Pitch mechanical back up .....	5-11
2.4.3	Steuerung der Flugbremsklappen .....	5-12
2.4.4	Steuerung der Bodenbremsklappen ..	5-12
2.4.5	Auftriebsbegrenzung an den Trag- flächen (load alleviation function (LAF)) .....	5-12
2.5	Computer-Architektur .....	5-12
2.5.1	Steckkarten .....	5-12
2.5.2	Eingangssignale .....	5-13
2.5.2.1	Diskrete Eingänge .....	5-13
2.5.2.2	Digitale Eingänge .....	5-13
2.5.2.3	Analoge Eingänge .....	5-13
2.5.3	Ausgangssignale .....	5-14
2.5.3.1	Relais-Ausgänge .....	5-14
2.5.3.2	Diskrete Ausgänge .....	5-14

2.5.3.3	Digitale Ausgänge .....	5-14
2.5.3.4	Analoge Ausgänge .....	5-14
2.5.3.5	DC- und AC-Referenzspannung .....	5-14
2.5.4	Netzteil .....	5-15
2.5.5	Processing .....	5-15
2.5.5.1	Main Processor .....	5-15
2.5.5.2	Slave Processor .....	5-15
2.5.5.3	ARINC-Processor .....	5-15
2.6	Steuerungsanlagen .....	5-16
2.6.1	Rollsteuerung .....	5-16
2.6.1.1	Querruder .....	5-16
2.6.1.2	Interface zum Autopilotensystem .....	5-16
2.6.1.3	Hydraulische Betätigung der Querruder .....	5-16
2.6.2	Giersteuerung .....	5-16
2.6.2.1	Seitenruder .....	5-16
2.6.2.2	Interface zum Autopilotensystem .....	5-20
2.6.2.3	Seitenrudertrimmung .....	5-20
2.6.2.4	Steuerung des Seitenruders über die yaw damper Aktuator .....	5-20
2.6.3	Nicksteuerung .....	5-21
2.6.3.1	Höhenruder .....	5-21
2.6.3.2	Interface zum Autopilotensystem .....	5-21
2.6.3.3	Steuerung der Höhenruder über die servocontrols .....	5-21
2.6.3.4	Verstellbare Höhenflosse (trimmable horizontal stabilizer (THS)) .....	5-23
2.6.3.5	Mechanische Ansteuerung der Höhen- flosse .....	5-23
2.6.3.6	Höhenflossenaktuator .....	5-23
2.6.3.7	Betriebsarten des Höhenflossen- aktuator .....	5-23
2.6.4	Bremsklappen (spoiler) .....	5-26
2.6.4.1	Servocontrols .....	5-26
	Abkürzungsverzeichnis .....	5-28

## Kapitel 6 Fehlersuche

### Kapitel 6.1 Avionic Trouble Shooting

1	Allgemeines .....	6-3
2	Avionic Trouble-Shooting in der Allgemeinen Luftfahrt .....	6-3
3	Fehlersuche Avionic Generator und Regler .....	6-3
4	Fehlersuche an Audio-Systemen .....	6-4
5	Fehlersuche Bordeigenverständigung (Intercom System) .....	6-4
6	VHF Communication Fehlermöglich- keiten .....	6-5
7	Zusammenfassung .....	6-5
8	Fehlersuche im VHF Navigationssystem (VOR-LOC) .....	6-6
8.1	Zusammenfassung .....	6-6
9	Fehlersuche im Gleitwegsystem (UHF NAV) .....	6-6

10	Fehlersuche im ADF-System (Automatic-Direction-Finder-System)	6-7
11	Fehlersuche im MARKER-System (MKR-System) .....	6-8
12	Fehlersuche in Slaved-Gyro- Systemen .....	6-8
13	Gyrosyn-Compass-Systeme Fehlermöglichkeiten .....	6-9
14	Fehlersuche in Radio-Magnetic-Indicator (RMI) Systemen .....	6-9
15	Fehlersuche Transponder-System ....	6-9
16	Fehlersuche am Distance-Measurement- Equipment (DME) -Systemen .....	6-10
17	Fehlersuche in Wetterradar-Systemen	6-10
18	Fehlersuche AUTOPILOT SYSTEME	6-11
19	Fehlersuche RNAV-System .....	6-12
	Abkürzungsverzeichnis .....	6-12

- Leseprobe -

# Kapitel 1

## Elektrische Grundlagen

- Leseprobe -

# Kapitel 1.1

## ARINC–Bus–Systeme

### Inhaltsverzeichnis

1	Digitale Datenübertragung .....	1-3	3.2.4	Zeitlicher Signalverlauf .....	1-21
1.1	Parallele Datenübertragung .....	1-3	3.2.4.2	Übertragungsgeschwindigkeit .....	1-21
1.2	Serielle Datenübertragung .....	1-3	3.2.4.2	Informationsintervalle .....	1-21
1.2.1	Rückkehr nach Null .....	1-3	3.2.4.3	Bit-Synchronisation .....	1-21
1.2.2	Rückkehr zum Grundwert .....	1-3	3.2.4.4	Wort-Synchronisation .....	1-21
1.2.3	Richtungsschrift .....	1-3	3.2.4.5	Zeit-Toleranzen .....	1-21
1.2.4	Wechselschrift .....	1-4	4	ARINC 429 Bustester .....	1-21
1.2.5	Richtungstaktschrift .....	1-4			
1.2.6	Wechseltaktschrift .....	1-4			
1.3	Wortsynchronisation .....	1-4			
1.3.1	Synchrone Übertragung .....	1-4			
1.3.2	Asynchrone Übertragung .....	1-5			
1.4	Bitsynchronisation .....	1-5			
1.5	Übertragungsgeschwindigkeit .....	1-5			
2	Festlegen für Übertragungssysteme ..				
	(Arinc 419) .....	1-6			
2.1	Mitteilung (message, MELT) .....	1-6			
2.2	Elektrische Eigenschaften .....				
	(Electr. MELT) .....	1-6			
2.3	Logische Eigenschaften (Logical, .....				
	MELT) .....	1-6			
2.4	Zeitlicher Signalverlauf (Time, MELT) ..	1-8			
2.5	Zusammenfassung .....	1-8			
3	Datenübertragungssystem DITS .....				
	(ARINC 429) .....	1-10			
3.1	Daten .....	1-10			
3.2	Merkmale des DITS .....	1-10			
3.2.1	Elemente der Datenübermittlung .....	1-10			
3.2.1.1	Informationsfluß .....	1-10			
3.2.1.3	Informationserkennung .....	1-11			
3.2.1.4	Herkunfts- und Zielanzeiger .....	1-14			
3.2.1.5	Vorzeichen- und Zustandsmatrix .....	1-14			
3.2.1.6	Datenformate .....	1-14			
3.2.2	Elektrische Verbindungselemente .....	1-16			
3.2.2.1	Verbindungsleitungen .....	1-16			
3.2.2.2	Modulation .....	1-16			
3.2.2.3	Spannungsbereiche .....	1-16			
3.2.2.4	Impedanzbereiche .....	1-16			
3.2.2.5	Fehlertoleranzen .....	1-16			
3.2.2.6	Fehlertrennung .....	1-17			
3.2.3	Logische Eigenschaften .....	1-17			
3.2.3.1	Codierung .....	1-17			
3.2.3.1.1	Numerische Daten .....	1-17			
3.2.3.1.2	Bitmeldung .....	1-19			
3.2.3.1.3	Wartungsdaten .....	1-19			
3.2.3.1.4	AIM Daten .....	1-19			
3.2.3.1.5	Datei-Übertragung .....	1-20			
3.2.3.2	Sendereihenfolge .....	1-20			
3.2.3.3	Bit-Entschlüsselung .....	1-20			
3.2.3.4	Fehlererkennung und -korrektur .....	1-20			

# Kapitel 1.1

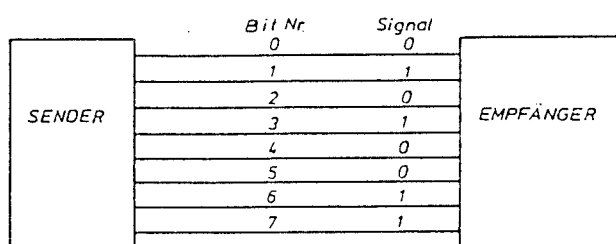
## Arinc-Bus-Systeme

### 1 Digitale Datenübertragung

Bei der Übertragung von digitalen Daten unterscheidet man grundsätzlich zwischen paralleler und serieller Datenübertragung.

#### 1.1 Parallele Datenübertragung

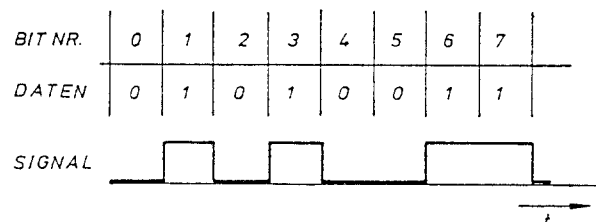
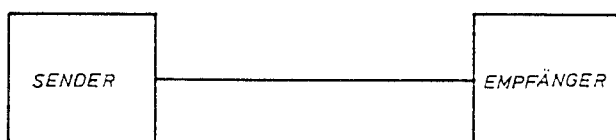
Bei der parallelen Datenübertragung wird für jedes Bit eine Datenleitung benutzt.



Der Aufwand von Leitungen ist relativ groß, und deshalb eignet sich diese Art der Übertragung auch nur dann, wenn die Entfernung zwischen Sender und Empfänger nicht groß ist. Der Vorteil dieser Übertragungsart liegt darin, daß das jeweilige Codewort zeitgleich als Ganzes vorhanden ist. Dadurch ist eine große Arbeitsgeschwindigkeit zu erreichen.

#### 1.2 Serielle Datenübertragung

Die Übertragung digitaler Daten über relativ große Entfernungen erfolgt normalerweise durch serielle Übertragungen auf einer Datenleitung. Hierbei werden die einzelnen Datenbits nacheinander (seriell) übertragen.

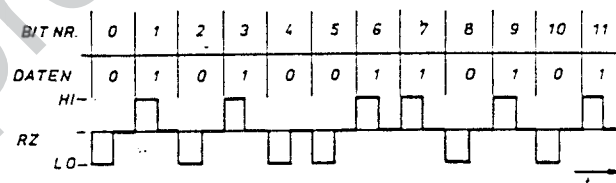


Die Darstellung der einzelnen Datenbits erfolgt mit unterschiedlichen binären Schreibverfahren (Signalformen). Diese Signalformen sind international vereinbart und ergeben sich aus den gerätetechnischen Eigenschaften der Übertragungssysteme. Es ist gegebenenfalls darauf zu achten, daß die Signalform für jedes Signalelement (Bit) einen Pegelwechsel (H/L) durchführt, damit die Information auf ein Magnetband gespeichert werden kann. Ein weiterer Gesichtspunkt könnte darin bestehen, daß die Signalerkennung im Empfänger durch eine Flankenauswertung vorgesehen werden soll.

##### 1.2.1 Rückkehr nach Null

###### return to zero - RZ

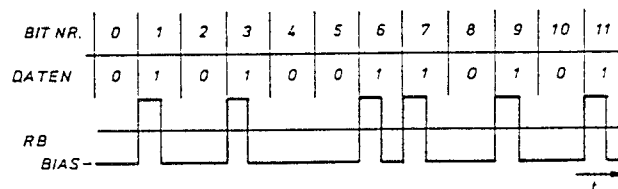
Bei diesem bipolaren Signal wird das 1-Signal durch eine positive Spannung (High = + 10 V) und das 0-Signal durch eine negative Spannung (Low = - 10 V) dargestellt. Nach der halben Bitzeit kehrt das Signal jeweils zum Spannungswert Null Volt (Null) zurück.



##### 1.2.2 Rückkehr zum Grundwert

###### return to bias - RB

Das 1-Signal wird durch eine positive Spannung während der ersten Hälfte der Bitzeit gebildet. Das 0-Signal wird durch den Verbleib auf dem Grundwert (Bias) dargestellt.

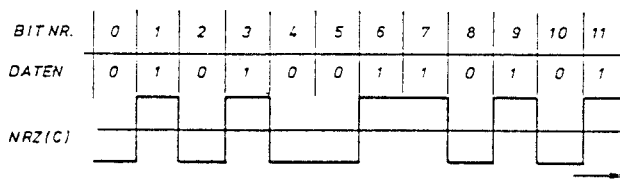


##### 1.2.3 Richtungsschrift

###### nonreturn to zero (change) - NRZ (C)

Die beiden binären Variablen 0 und 1 werden durch jeweils einen Spannungswert (Pegelbereich H und L) dargestellt.

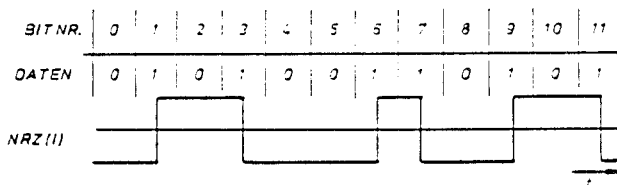
An den Grenzen der einzelnen Bits erfolgt keine Rückkehr zu einem Bezugszustand.



## 1.2.4 Wechselschrift

**nonreturn to zero (Mark) - NRZ (M)**  
**nonreturn to zero (one) - NRZ (1)**

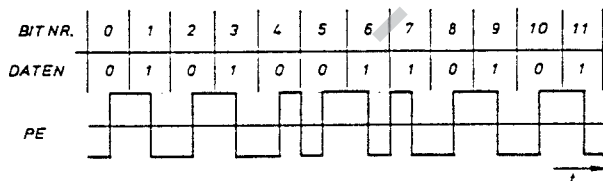
Bei dem NRZ(1) wird das 1-Signal durch einen einmaligen Wechsel zwischen den beiden Pegelzuständen bei 50 % der Bitzeit dargestellt. Für das 0-Signal verbleibt die Spannung auf dem durch das vorangehende 1-Signal erreichten Pegel.



## 1.2.5 Richtungstaktschrift

**phase encoding - PE, Manchester II - Bi-phase**

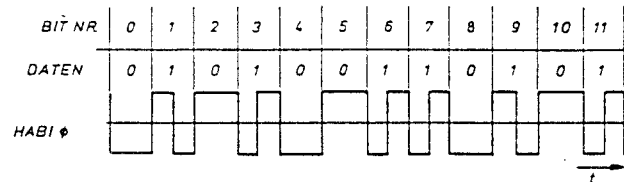
Das 1-Signal wird durch einen H/L-Wechsel und das 0-Signal durch einen L/H-Wechsel bei der halben Bitzeit dargestellt. Dabei treten bei aufeinanderfolgenden gleichen Binärzeichen zusätzliche Signalwechsel an den Grenzen zum nächsten Bit auf.



## 1.2.6 Wechseltaktschrift

**pulse width recording, Harvard-Bi-phase**

An der Grenze zum nächsten Bit tritt grundsätzlich ein Signalwechsel auf. Eines der beiden Signalelemente (z. B. 1-Signal) wird durch einen zusätzlichen Signalwechsel nach der halben Bitzeit gekennzeichnet.

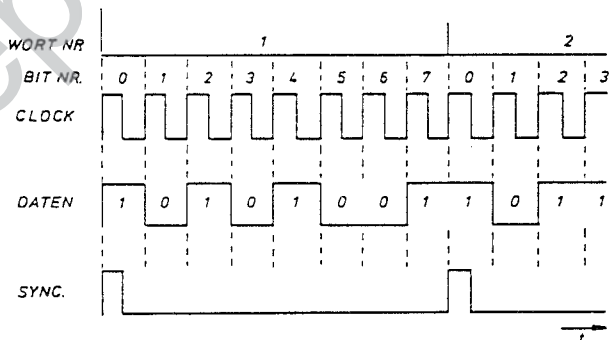


## 1.3 Wortsynchronisation

Bei der seriellen Datenübertragung unterscheidet man zwischen synchroner und asynchroner Übertragung. Bei der Übertragung besteht dauernder Gleichlauf zwischen Sender und Empfänger. Die Taktgeschwindigkeit im Sender und die Abtastgeschwindigkeit im Empfänger sind für die gesamte Zeichenfolge gleich. Es wird also beim Sender und Empfänger die gleiche Taktfrequenz benutzt. Zur Erkennung der einzelnen Datenwörter benutzt man unterschiedliche Verfahren.

### 1.3.1 Synchrone Übertragung

Bei einer synchronen Übertragung wird der Gleichlauf zwischen Sender und Empfänger für die gesamte Übertragung hergestellt. Dies erfordert zusätzliche Signalleitungen parallel zu der Datenleitung, um die zeitliche Zuordnung für den Empfänger zu erreichen. Eine festgelegte Taktflanke des Clocksignals kennzeichnet den Beginn jedes Datenbits. Am Anfang des Datenwortes wird ein Synchronisationssignal auf einer zusätzlichen Leitung eingefügt.



Man spricht jedoch auch von einer synchronen Datenübertragung, wenn ein Datenblock von mehreren Zeichen nur einmal synchronisiert wird. Bei dieser Übertragungsart wird die Herstellung und Aufrechterhaltung des Gleichlaufs zwischen Sende- und Empfangsstation dadurch erreicht, daß der Übertragung eine Reihe von synchronisierenden Zeichen hinzugefügt werden (z. B. das Übertragungssteuerzeichen SYN: Synchronisation aus dem ISO 5 (Alphabet).

