Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 70 (1979)

Heft: 1

Artikel: Instrumentenlandesystem Kategorie III, Flughafen Zürich

Autor: Vieli, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905336

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: 09.07.2025

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

Instrumentenlandesystem Kategorie III, Flughafen Zürich

Von R. Vieli

629.7.08:527.8;

Die Einführung des Kategorie-III-Betriebes auf dem Flughafen Zürich gestattet das Landen für die meisten dort vorkommenden Nebellagen. Das hiezu eingesetzte bodenseitige Instrumentenlandesystem sowie das zugehörige automatische Überwachungssystem (Monitoring) werden beschrieben. Mit einem Hinweis auf die Zuverlässigkeit, die Wartung und einem Ausblick auf ein zukünftiges Landesystem schliesst der Aufsatz.

L'introduction du service de la catégorie III à l'aéroport de Zurich permet l'atterrissage dans la plupart des situations de brouillard qui s'y présentent. L'auteur décrit le système de surveillance automatique au sol en relation avec l'atterrissage par instruments, puis donne des indications sur la fiabilité et l'entretien, ainsi que sur un futur système d'atterrissage.

1. Einleitung

Blind fliegen oder besser, Flug nach Instrumenten, gehört heute im gewerbsmässigen Luftverkehr zur Routine; Landungen bei völlig fehlender Sicht sind der Wunsch der Flughafenhalter und der Fluggesellschaften. Mit einem automatischen Landeanflug auf die Piste 14 des Flughafens Zürich im April 1978 wurde ein weiterer nicht unbedeutender Schritt zum Allwetterbetrieb in der Schweiz gemacht. Zürich gehört nun zu dem gegenwärtig noch recht kleinen Kreis der Kategorie-III-Flugplätze. Die Einführung des Kategorie-III-Betriebes auf dem Flughafen Zürich gestattet das Landen bei den meisten dort vorkommenden Nebellagen.

Der vorliegende Aufsatz soll über die notwendigen radioelektrischen Bodenausrüstungen berichten, die erst einen Landeanflug bei dichtem Nebel unter den sog. Kategorie-III-Bedingungen gestatten. Weitere Voraussetzungen sind einerseits die flugzeugseitige Ausrüstung mit den entsprechenden Geräten, Instrumenten und Kontrolleinheiten, was vorläufig nur bei der DC-10 der Swissair und der Trident 3 und der Lockheed L-1011 Tristar der British Airways zutrifft. Anderseits muss auch die Besatzung entsprechend ausgebildet sein.

Die internationalen Normen der ICAO (International Civil Aviation Organization) unterscheiden zwischen drei Betriebskategorien für Instrumentenlandesysteme (Tabelle I). Von der Struktur her ist das Prinzip des Instrumentenlandesystems (ILS) für alle drei Kategorien gleich.

2. Prinzip der ILS-Bodenanlage

Die Bodenausrüstung des ILS besteht grundsätzlich aus einer horizontalen und einer vertikalen Leitebene, die mit Hilfe von VHF/UHF-Sendern erzeugt werden (Fig. 1). Die vertikale Ebene wird von der Landekursanlage, dem sog. Localizer (Fig. 2), gebildet und legt den azimutalen Kurs fest. Gemäss internationaler Abmachung ist hiezu das Frequenzband 108...112 MHz reserviert. Die Ausstrahlung des Gleitwegsenders, der auf einen Kanal im Bereiche von 328 bis 335 MHz festgelegt ist, erzeugt die Anflugebene. Deren Elevationswinkel beträgt im allgemeinen 2,5°.

Ergänzt wird das ILS durch die Fixpunkte Aussenmarker (OM) und Mittelmarker (MM), die zwei Punkte im Landeanflug definieren. Je ein gebündelter und senkrecht nach oben gerichteter Strahl signalisiert dort dem überfliegenden Flugzeug die entsprechende Distanzmarke. Die Marker arbeiten als amplitudenmodulierte Sender auf 75 MHz und unterscheiden sich für den Benützer nur in den Modulationsfrequenzen und einem Kennungscode.

In neuerer Zeit tritt vielfach anstelle der Marker eine Distanzmessanlage (DME Distance measuring equipment). Mit Hilfe eines Transponders und der entsprechenden Ausrüstung an Bord ist es möglich, ein anfliegendes Flugzeug mit kontinuierlichen Distanzinformationen zu versorgen. Hiezu sind, ebenfalls international genormt, Frequenzen im Band von 960...1215 MHz vorgesehen. Die Marker und die DME-Anlagen sind nicht kategoriespezifisch und werden im folgenden nicht näher beschrieben.

Eine spezielle Anordnung von Strahlerelementen – der Landekursantenne – wird mit einer bestimmten Kombination von Träger und Seitenbandanteilen eines mit 90 und 150 Hz amplitudenmodulierten (AM) Hochfrequenzsignales gespeist. Durch die räumlich unterschiedlichen Seitenbandteile entsteht eine ortsabhängige Modulationsgrösse. Die Orte gleichen Modulationsgrades der 90- und 150-Hz-Signale bilden dann die Landekursebene (Fig. 3). In der Praxis wird mit dem Begriff DDM (Difference of Depth of Modulation), als Differenz der Modulationsgrade, gearbeitet. Ein anfliegendes Flugzeug befindet sich auf dem korrekten Landekurs, wenn DDM = 0 ist. Der vertikale Zeiger des entsprechenden Bordinstrumentes steht dann auf Skalenmitte. Rechts- und Linksausschläge zeigen die Abweichung vom DDM = 0, also vom Sollkurs, an.

In analoger Weise erzeugen eine Antennenkombination und deren sinngemässe Speisung eine Gleitebene, die mit DDM = 0 den Gleitweg zum Aufsetzpunkt auf der Landebahn bildet.

Die hier vorgestellten Anlagen werden unbemannt betrieben; ein Monitorsystem überwacht jedoch die wichtigsten Parameter und sorgt gegebenenfalls für die Abschaltung einer fehlerhaften Ausstrahlung. Gleichzeitig erfolgt eine Zustandsmeldung an die interessierten Stellen des Technischen Dienstes und der Flugverkehrsleitung.

Betriebskategorien für Instrumentenlandesysteme Tabelle I

Kategorie	Minimale Sichtweite	Entscheidungshöhe
I	800 m	60 m
II	400 m	30 m
III A	200 m	0 m *)
III B	50 m	0 m
III C	0 m	0 m

*) Für die Piste 14 Flughafen Zürich gültige Kategorie, wobei die Swissair vorläufig mit einer Entscheidungshöhe von 6 m operiert.

Tabelle II

	Localizer	Gleitweg
Frequenz	108.3 MHz	334.1 MHz
Ausgangsleistung ca.	20 W	2 W
Modulation		
AM 90/150 Hz	je 20 %	je 40 %
Kennung AM 1020 Hz	10 % IKL	
Reichweite ca.	46 km	
Axe Genauigkeit	± 0,05°	3° ± 0,09°

3. Instrumentenlandesystem Kategorie IIIA Flughafen Zürich

Die nachstehenden Merkmale kennzeichnen die Ausrüstung, welche erst einen Betrieb nach Kategorie III zulässt:

- engere Toleranzen bezüglich der Ausstrahlung, wie Kurslage, Sektorbreite und Struktur, Polarisation und Modulation
- erhöhte Anforderungen an das Überwachungssystem
- Redundanz der Sender
- definierte Anforderung an die Ausfallsicherheit
- gesteigerte Anforderungen an die Wartung.

Diese Anforderungen bedeuten einen recht hohen technischen Aufwand und kennzeichnen das ILS-System der Piste 14 (bekannt als V-Piste, Fig. 2). Ihre radioelektrische Installation setzt sich aus der Landekurs- (LOC) sowie der Gleitweganlage (GP), dem Fernfeldüberwacher (FFW), einem DME und dem Aussenmarker, in Fig. 2 nicht mehr sichtbar, zusammen. Die wichtigsten technischen Daten der LOC und GP sind in Tab. II zusammengestellt.

4. Landekursanlage (Localizer)

Kernstück der Landekursanlage bildet eine Anordnung von 20 Yagi-Antennen. Diese werden gruppenweise mit Anteilen eines mit 90 und 150 Hz amplitudenmodulierten Trägersignales gespeist, so dass drei räumlich verschiedene Modulationsdiagramme entstehen. Die vereinfachte und idealisierte Darstellung in der Fig. 4 möge das etwas näher erklären.

In Richtung des Anfluges wird ein stark gebündeltes Modulationssignal, das mit 90 und 150 Hz amplitudenmoduliert ist, abgestrahlt. Es soll kurz als CSB +90+150 Hz bezeichnet werden; die jeweiligen Vorzeichen symbolisieren die relativen Phasen der Modulationsfrequenzen (Fig. 4a). Symmetrisch zur CSB-Abstrahlung liegen die Seitenbanddiagramme (SB), die nur die Seitenbänder der Modulation enthalten. Durch die räumlich unterschiedlichen Komponenten der Seitenbänder ergibt sich der azimutabhängige Modulationsgrad (Fig. 4c).

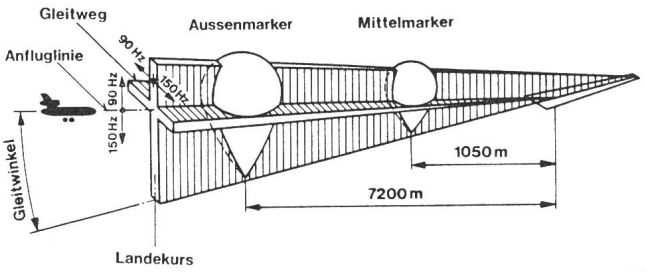

Fig. 1 Instrumenten-Lande-System (ILS)

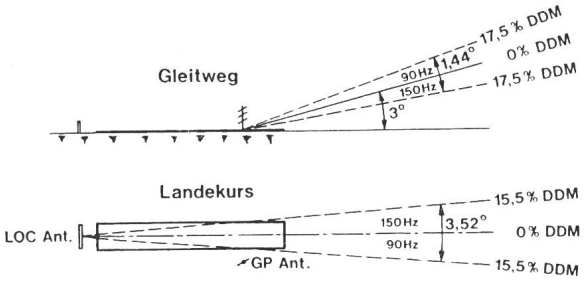

Fig. 3 Schematische Darstellung des ILS

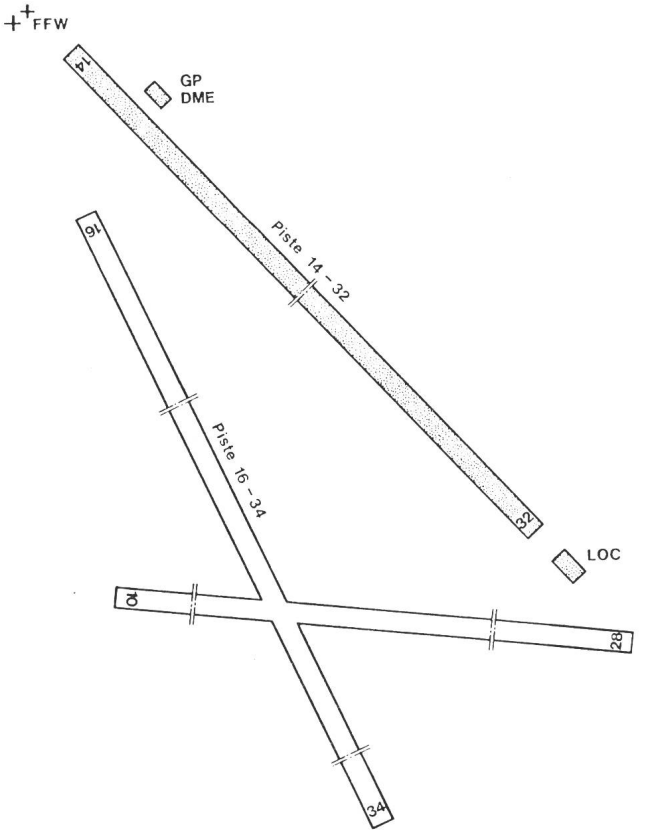

Fig. 2 Situation Flughafen Zürich mit Kat-III-ILS Piste 14

LOC Localizer (Landekursanlage)
GP Gleitweganlage
DME Distanzmesseinrichtung (Distance measuring equipment)
FFW Fernfeldüberwacher

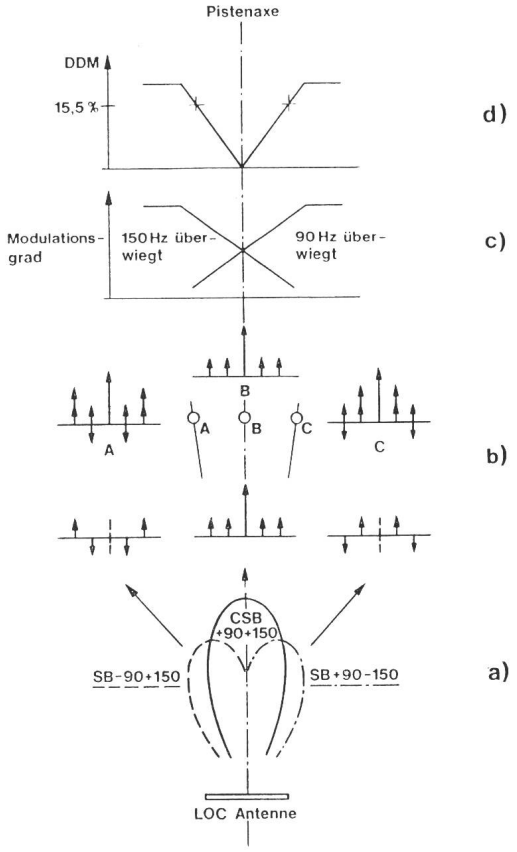

Fig. 4 Prinzip der Ausstrahlung des Localizer (Landekursanlage)

a Vereinfachtes Strahlendiagramm und spektrale Verteilung
b Summenspektrum an den Raumpunkten A, B und C
c Winkelabhängiger Modulationsgrad
d Winkelabhängiger Verlauf des DDM. 15,5 % DDM entspricht Vollausschlag rechts bzw. links am Bordinstrument

Das Flugzeug wertet dann den DDM-Verlauf, wie er in der Fig. 4d dargestellt ist, aus. 15,5 % DDM bedeutet jeweils Vollausschlag am Bordinstrument rechts oder links, je nach Überwiegen der 90- oder 150-Hz-Amplitude; darüber hinaus ist die Anzeige nur noch qualitativ.

Die starke Bündelung der Ausstrahlung, 3-db-Punkte bei ca. 3°, sorgt für eine möglichst grosse Freiheit gegenüber störenden Reflexionen. Zur Überdeckung des geforderten Sektors von mindestens 35° beidseits der Anflugachse, wird ein zweites, um eine Frequenzdifferenz des Trägers von 9 kHz versetztes, Leitstrahldiagramm kleinerer Leistung und schwächerer Bündelung überlagert (Clearance-Diagramm). Sein Reflexionsanteil im Hauptstrahl grösserer Leistung wirkt sich infolge des Capture-Effektes nicht aus. Dieser Effekt hat zur Folge, dass bei amplitudenmodulierten Wellen unterschiedlicher Trägerfrequenzen das stärkere Signal das schwächere ausblendet.

Schlussendlich erhält man die in der Fig. 3 dargestellte Charakteristik der Landekursanlage, mit einem Sektor von 3,52° innerhalb dem die Anlage vom Sollkurs linear angezeigt wird. Darüber hinaus ist praktisch nur noch die Clearanceausstrahlung wirksam, die eine qualitative Information bis 60° auf jede Seite liefert.

4.1 Sender

Fig. 5 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Landekursanlage. Der Kurssender erzeugt ein quarzstabiles, hochfrequentes Signal, mit einer Leistung von etwa 20 W, das dem Modulator zugeführt wird. Wegen den hohen Anforderungen an die Phasentreue und Stabilität ist dieser im wesentlichen nur aus passiven Elementen in koaxialer Technik aufgebaut. An den Ausgängen des Modulators stehen die Signale CSB und SB 90/150 Hz (Träger + Seitenbänder bzw. Seitenbänder allein) zur Verfügung, die die Hauptausstrahlung erzeugen.

In analoger Weise arbeitet der Clearance-Sender, jedoch mit einer um 9 kHz verschobenen Trägerfrequenz. Im Gegensatz zum Landekurssender liefert hier ein einfacher Ringmodulator das SB-Signal. Der geringere Schaltungsaufwand rechtfertigt sich wegen der kleineren Anforderungen an die Modulationsphasen der Clearanceausstrahlung.

Kurs- wie auch Clearance-Sender werden zusätzlich mit einem 1020-Hz-Signal amplitudenmoduliert, das einen stationsspezifischen Identifikationscode enthält (in unserem Falle eine Morsekennung mit den Buchstaben IKL).

Die CSB- und SB-Signale werden über die Halbleiterschalter der Antennen-Verteilung zugeführt, in der die einzelnen Leistungen so kombiniert werden, dass die gewünschten Strahlungsdiagramme entstehen.

Aus Gründen der Ausfallsicherheit ist die Anlage doppelt ausgeführt. Währenddem z. B. die Anlage 1 auf die Antenne arbeitet, ist die zweite auf Kunstlasten geschaltet und nimmt in einem Störungsfalle, auf Befehl einer Überwachereinrichtung (Monitor), den Betrieb auf die Antenne auf.

Die Speisung erfolgt über gepufferte Batterien; auch hier sorgt, wie Fig. 5 zeigt, eine Redundanz für eine hohe Ausfallsicherheit.

4.2 Monitoring

Trotz hoher Zuverlässigkeit der Sender und der Antennenanlage sind Ausfälle oder Veränderungen der Bauelemente nicht auszuschliessen. Dies darf aber nicht zu einem Betriebs-

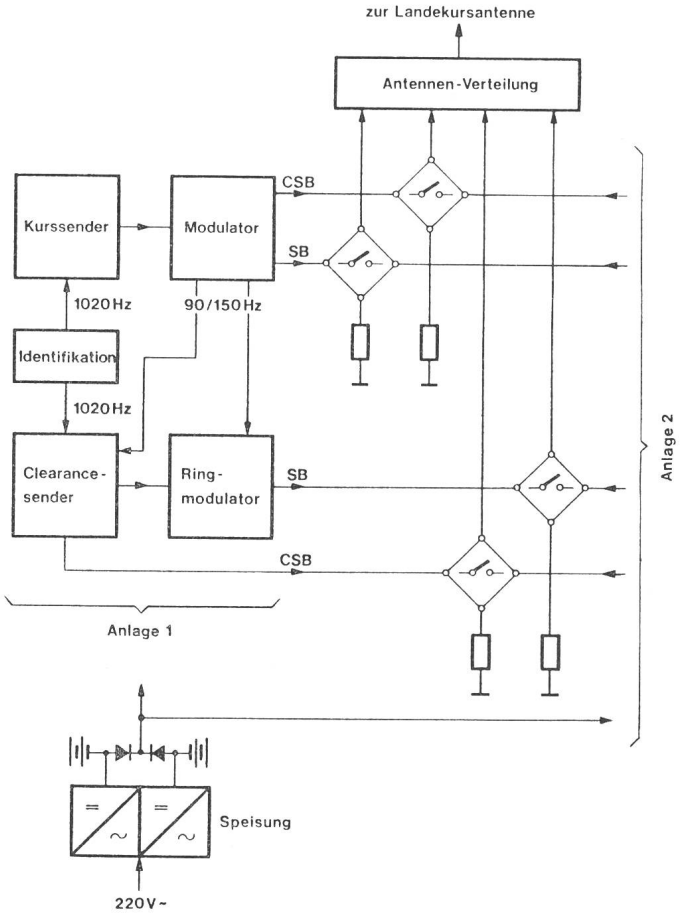

Fig. 5 Prinzipschema des Landekurs-Senders

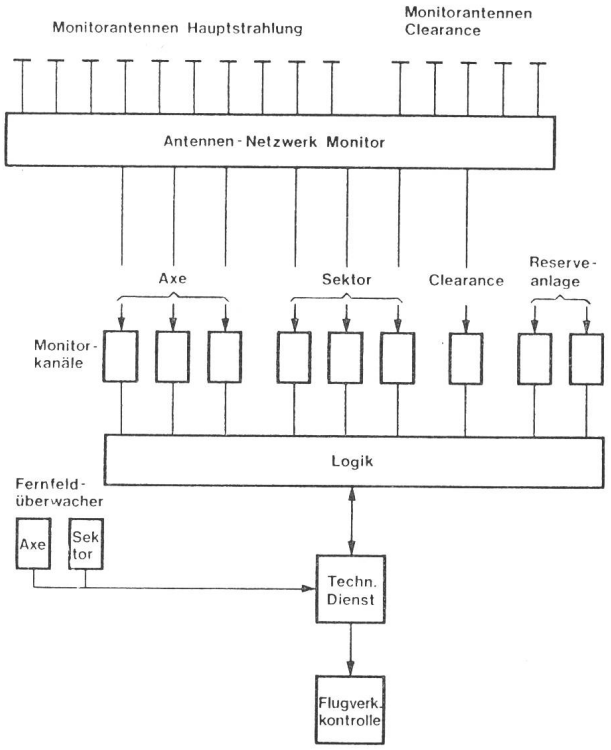

Fig. 6 Monitoring der Landekursanlage

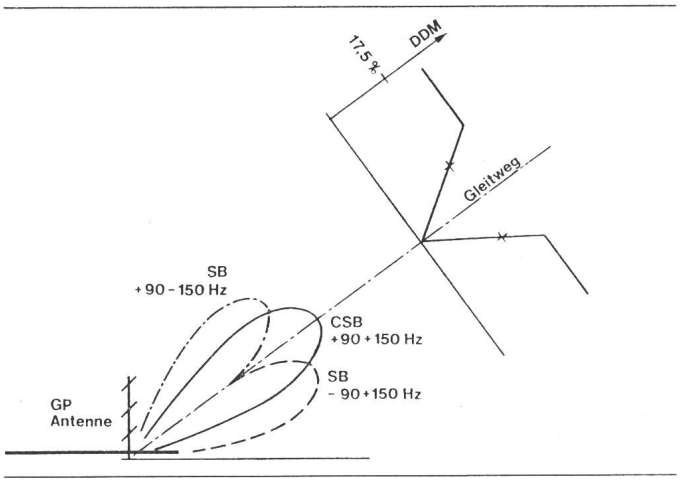

Fig. 7 Vereinfachte Darstellung der Gleitwegausstrahlung

zustand führen, der für den Benützer ein erhöhtes Risiko oder eine Gefahr darstellt. Insbesondere für den Kategorie-III-Betrieb ist dieser Punkt noch bedeutungsvoller. Die Sicherheit gegen Fehlausstrahlung wird durch ein umfangreiches, teilweise redundantes Überwachungssystem, das Monitoring, gewährleistet. In unmittelbarer Nähe der Landekursantenne ist eine Gruppe von Monitorantennen so angebracht, dass nach entsprechender Zusammenschaltung ihrer Einzelsignale eine exakte Nachbildung der Axe- (DDM = 0), Sektor- (DDM = 15,5 %) und der Clearanceinformation entsteht. Diese Informationen werden, wie Fig. 6 zeigt, den jeweiligen Monitorkanälen zugeführt. Diese sind, entsprechend der Wichtigkeit, für die Axe und den Sektorbereich dreifach ausgeführt. Jeder Kanal kontrolliert das Einhalten des DDM, des Modulationsgrades (90/150 Hz) und des hochfrequenten Pegels.

In analoger Weise wird durch zwei Kanäle die Reserveanlage überwacht. Stellt der Monitor eine fehlerhafte Ausstrahlung fest, führt das zur sofortigen Umschaltung auf die Reserveanlage oder nötigenfalls zur Stillegung des ganzen Systems. Gleichzeitig erfolgt eine Meldung via Rückmelde- und Steuerzentrale des Technischen Dienstes an den zuständigen Flugverkehrsleiter.

Ist die Reserveanlage aus irgendwelchen Gründen nicht betriebsfähig oder ist einer der drei redundanten Monitorkanäle im Alarmzustand, wird die Anlage von Kategorie III auf II zurückgestuft.

Zwei weitere Überwacher, die ca. 600 m vor der Landeschwelle plaziert sind, gestatten eine zusätzliche Überwachung der Kurslage und der Sektoröffnung. Diese sogenannten Fernfeldüberwacher (Fig. 2) haben jedoch keine aktive Funktion innerhalb des gesamten Monitorings; sie dienen einer zusätzlichen passiven Betriebsüberwachung.

5. Gleitweganlage

5.1 Antenne und Sender

Basierend auf dem Prinzip des Localizers, jedoch mit Hilfe der Bodenreflexion, wird die 3°-Führungsebene erzeugt. Entsprechend der dreimal höheren Frequenz ist die Schaltungstechnik gegenüber dem Landekurssender etwas geändert.

Die Antenne des Gleitweges liegt in 120 m seitlicher Entfernung vom Pisten-Aufsetzpunkt. Drei Strahlelemente sind an einem Mast so übereinander angebracht, dass durch Reflexion am Boden ein Richtdiagramm entsteht, wie es Fig. 7 zeigt. Der daraus resultierende DDM-Verlauf legt mit DDM = 0 den Gleitweg von 3° fest (Fig. 3 und 7). Genau genommen ist der Ort DDM = 0 ein Hyperboloid; für diese Betrachtungen genügt es aber, ihn als Elevationsebene zu definieren. 17,5 % DDM wird als Vollausschlag des Bordinstrumentes festgestellt; Zwischenwerte ergeben die jeweilige Ablage vom Sollgleitwinkel.

Unebenheiten des Antennenvorgeländes gehen als Rauheiten in das ausgestrahlte Gleitwegsignal ein. Um diese möglichst kleinzuhalten, wurde das unmittelbare Vorgelände speziell planiert. Auch dürfen sich darin während eines Anfluges keinerlei Fahrzeuge aufhalten. Ein weiteres wird erreicht, indem durch ein entsprechend geformtes Antennendiagramm die topographischen Hindernisse möglichst wenig angestrahlt werden. Die dadurch entstehende ungenügende Überdeckung für kleine Winkel wird mit einer Clearanceausstrahlung ausgeglichen. Hier ist die Clearancefrequenz gegenüber der Hauptausstrahlung um 17 kHz versetzt.

Hinsichtlich des Senderaufbaus, der Antennenverteilung und der Stromversorgung bestehen keine grossen prinzipiellen Unterschiede zum Landekurssender.

5.2 Monitoring

Der Sicherheit gegen Fehlausstrahlung wird in ähnlicher Art wie beim Localizer Rechnung getragen. Im Nächstfeld der Gleitwegstrahler sind Monitordipole so angebracht, dass durch eine geeignete Zusammenschaltung ein Signal gewonnen wird, das dem Sektorpunkt mit DDM = 17,5 % entspricht sowie ein solches, das die Clearanceausstrahlung repräsentiert.

Das an der Ausstrahlung mitbeteiligte Vorgelände wird in die Überwachung einbezogen, indem die Lage der 3°-Axe durch einen Felddipol überwacht wird. Er ist in etwa 100 m Entfernung von der Gleitwegantenne plaziert und ragt in die Ebene mit DDM = 0 hinein.

Die Monitorkanäle wie auch die Logik und Rückmeldung entsprechen etwa dem Prinzip des Localizers. Die Axe- und die Sektorüberwachung sind ebenfalls in dreifacher Redundanz vorhanden.

6. Zuverlässigkeit und Wartung

Für den Kategorie-III-Betrieb wird ein mittlerer Ausfallabstand der Localizer- bzw. der Gleitweganlage von mindestens 4000 h (MTBF) gefordert, was rund einem halben Jahr Betriebsdauer entspricht. Dabei versteht man unter Ausfällen die Anzahl der nicht programmierten Vorfälle, die zu einem Zustand führen, bei dem die Anlage ihre spezifizierte Mission nicht mehr erfüllt.

Die Wahl einer entsprechenden Schaltungstechnik und der verwendeten Bauteile sowie eine hohe Fabrikationsqualität sind die hiezu nötigen Voraussetzungen. Als weiteres mitbestimmendes Element kommt der Wartung grosse Bedeutung zu; sie ist aufwendiger geworden, darf jedoch anderseits die Verfügbarkeit der Anlage nicht zu stark einschränken. Ausser allfälligen Reparaturen umfasst die Wartung tägliche, wöchentliche, monatliche Kontroll- und Justierarbeiten sowie eine jährliche Revision. So wird z. B. wöchentlich mit einem speziell ausgerüsteten Fahrzeug entlang der Piste die Genauigkeit und Struktur der Landekursausstrahlung gemessen. Überdies werden periodische Flugvermessungen durch das Eidgenössische Luftamt, in Zusammenarbeit mit dem Flug-

sicherungsdienst der Radio Schweiz AG, der auch für den Betrieb und die Wartung der technischen Einrichtungen zuständig ist, durchgeführt.

7. Ausblick

Im Hinblick auf eine zukünftige Ablösung des heutigen ILS wird international seit geraumer Zeit an einem Mikrowellenlandesystem gearbeitet. Es soll vor allen Dingen eine grössere Sicherheit gegen Störungen durch Mehrwegausbreitungen (Reflexionen) bieten. Ausbaufähigkeit über alle Betriebskategorien, weitgehende Kompatibilität mit einer künftigen militärischen Landehilfe, Möglichkeit, ein dreidimensionales Anflugmuster zu fliegen, im Gegensatz zu heute, wo nur eine Anfluglinie gewählt werden kann, sind einige weitere wesentliche Punkte im Anforderungskatalog.

Hervorgegangen aus einem Wettbewerb wurden verschiedene Vorschläge studiert. Ein internationales Gremium der ICAO entschied sich dann zugunsten eines Mikrowellenlandesystems (MLS), basierend auf dem Prinzip der Zeitmessung eines Abtaststrahles (time reference scanning beam). Nach Schaffung der internationalen Normen und der fabrikationsreifen Entwicklung der neuen Geräte stünde der Einführung des MLS nichts mehr im Wege, ausser der hiezu nötigen Investitionen seitens der Flugzeug- und Flughafenhalter.

Adresse des Autors
R. Vieli, Radio Schweiz AG, Flugsicherungsdienste Zürich, 8058 Zürich-Flughafen.

Wilhelm Ostwald 1853–1932

Bibliothek der ETHZ

Wilhelm Ostwald war nicht nur ein sehr erfolgreicher Chemiker – er erfand 1900 die Ammoniaksynthese, und für seine Forschungen auf dem Gebiet der Katalyse wurde ihm 1909 der Nobelpreis für Chemie zugesprochen –, sondern betätigte sich wissenschaftlich und literarisch auf vielen Gebieten. Er schrieb viele Bücher und Lehrbücher über Chemie, physikalische Chemie, Elektrochemie, ein Handbuch zur Ausführung physikalisch-chemischer Messungen, 1887 gründete er die Zeitschrift für Physikalische Chemie und 1903 die Annalen der Naturphilosophie. Von 1889 an gab er die Sammlung «Klassiker der exakten Naturwissenschaften» heraus (gegen 200 Bände).

Am 21. August 1853 als Sohn eines Küfermeisters in Riga geboren, durchlief er die Schulen seiner Vaterstadt und studierte an der Universität Dorpat Chemie. Mit 24 Jahren habilitierte er sich dort, und im Jahre darauf erwarb er den Doktorgrad. Nachdem er kurze Zeit Professor für Chemie und für physikalische Chemie am Polytechnikum Riga gewesen war, kam er 1887 in gleicher Eigenschaft an die Universität Leipzig. 10 Jahre später wurde er Direktor des Physikalisch-chemischen Institutes. Im Wintersemester 1904/05 wirkte er als Austauschprofessor an der Harvard University in Cambridge (USA). Erst 53jährig, im Jahre 1906, zog er sich in den Ruhestand zurück, um sich wissenschaftlichen und literarischen Arbeiten zu widmen.

In der Folge entstanden u.a. folgende Werke: Leitlinien der Chemie, Prinzipien der Chemie, Erfinder und Entdecker, Grundriss der Naturphilosophie, die Energie, Werdegang einer Wissenschaft, Grosse Männer.

Der Ausbruch des Ersten Weltkrieges verunmöglichte es ihm, seine bisherigen Tätigkeiten fortzuführen. Er begann daher 1915 mit etwas völlig anderem. Er machte sich daran, für die Praxis eine messende, exakte Farbenlehre auszuarbeiten, also etwas ganz anderes, als vor ihm zahlreiche Forscher getan hatten (Newton 1667, Huygens 1687, Goethe 1810, Young 1814, Fraunhofer 1822, Helmholtz 1853 und Maxwell 1865).

Ostwald stellte sich die Aufgabe, Ordnung in die unendlich grosse Zahl der Farben und Mischfarben zu bringen. Sein auch heute ab und zu noch verwendetes Farbensystem besteht aus einem Doppelkegel. Auf dessen Umfang sind die reinen, bunten Farben (Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett) aufgetragen, während auf der Achse, von der untern Spitze (Schwarz) bis zur obern Spitze (Weiss) alle Grautöne angeordnet sind. Jeder Farbton kann in diesem System durch drei Zahlen (Winkel, Radius und Höhe) eindeutig angegeben und somit reproduziert werden. Solche Festlegungen spielen in der Beleuchtungstechnik, z.B. bei Röhrenlampen, eine Rolle, wenn es gilt, bestimmte Farben richtig wiederzugeben.

In neuerer Zeit sind neben dem Ostwaldschen System auch andere Farbordnungen entstanden. Ostwald war aber der erste, dem es gelang, auch alle Farbmischtöne systematisch einzuordnen.

Ostwald hatte 1880 geheiratet. Sein älterer Sohn wurde ebenfalls Chemiker, der jüngere wissenschaftlicher Mitarbeiter bei I.G. Farben. Wilhelm Ostwald starb am 4. April 1932 in Leipzig.

H. Wüger