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: 77 (1986)

Heft: 15

Artikel: Befeuerungsanlagen auf Flughäfen

Autor: Friedli, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904235

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: 10.12.2025

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

Befeuerungsanlagen auf Flughäfen

H. Friedli

Für die Landung bei schlechten Sichtbedingungen müssen die Flugzeuge mit navigatorischen Instrumenten ausgerüstet, die Besatzungen entsprechend ausgebildet und am Boden umfangreiche Einrichtungen wie das Instrumentenlandesystem (ILS) und die Befeuerungsanlage vorhanden sein. Im vorliegenden Artikel wird über die Bedeutung, die Grundanforderungen und die Realisierung von Befeuerungssystemen am Beispiel des Flughafens Zürich berichtet.

L'atterrissage tous temps requiert outre les instruments de navigation appropriés et des pilotes convenablement instruits d'importants équipements au sol, tels que le système d'atterrissage aux instruments et les installations de balisage. L'article renseigne sur l'importance, les exigences essentielles et la réalisation de systèmes de balisage à l'exemple de l'aéroport de Zurich.

Adresse des Autors
H. Friedli, Ing. HTL, Sektionsleiter Elektro+Fahrzeuge, Amt für Luftverkehr, 8058 Zürich-Flughafen.

1. Grundlagen

1.1 Bedeutung der optischen Führungshilfen

Mit der Zunahme des Luftverkehrs und dem gleichzeitigen Bestreben, die Pünktlichkeit und Wirtschaftlichkeit zu verbessern, ist auch das Bedürfnis nach Sicherheit gestiegen. Viele Funktionen beim Fliegen sind heute automatisiert, computerisiert und hochpräzisen Instrumenten überlassen – aber letztlich entscheidet immer noch der Pilot über die Sicherheit eines Fluges. Die in den letzten zehn Jahren erfolgte Tiefersetzung der Start- und Landeminimalsicht erfordert noch leistungsfähigere und noch zuverlässigere Befeuerungsausrüstungen. Eine wichtige Bedingung für den Allwetterflugbetrieb lautet: «Licht ist Sicht, und Sicht ist Sicherheit.»

1.2. Optische Systeme auf Flughäfen

Auf Flughäfen werden verschiedenartige optische Anlagen eingesetzt. Diese lassen sich grundsätzlich in zwei Kategorien einteilen:
- optische Führungshilfen für Flugzeuge
- Beleuchtung von Flächen.

Optische Führungshilfen

Die optischen Führungshilfen sind ein unersetzliches Orientierungsmittel für den Piloten zur sicheren Bewegung des Flugzeugs bei Landung, Start- und Rollverkehr auf dem Flughafen. Sie geben beispielsweise bei Landungen unter schlechten Sichtbedingungen oder bei Dunkelheit der Besatzung wichtige Informationen über die Einhaltung der richtigen Anfluglinie. Wenn man also in der Flughafensprache von Befeuerungsanlagen spricht, ist dabei im Gegensatz zu Beleuchtungsanlagen nicht die Aufhellung einer Oberfläche gemeint, sondern es handelt sich um gerichtet austretendes, hochintensives Licht, welches das Pilotenauge im richtigen Moment trifft. Neben den effektiven Pistenbefeuerungen auf Lande- und Startbahnen verfügen auch die Rollwege und die Rollzonen auf den Abstellflächen über derartige hochintensive Befeuerungen.

Gleitwinkelbefeuerungen, Anflugblitzfeuer, Rollhaltebalken, Hindernisbefeuerungen und Andocksysteme sind weitere optische Führungshilfen.

Beleuchtung von Flächen

Von allen dem Flugbetrieb dienenden Flächen werden nur die Flugzeugabstellzonen mit eigentlichen Flutlichtstrahlern beleuchtet. Auf diesem Apron oder Vorfeld genannten Gebiet werden die Flugzeuge be- und entladen, was möglichst speditiv zu erfolgen hat, da bekanntlich am Boden stehende Flugzeuge nur Unkosten produzieren. Eine regelmässige, für alle Abfertigungsarbeiten am Flugzeug optimal ausgelegte Beleuchtung, welche weder verkehrende Flugzeuge noch die übrigen Gebiete blendet, ist das Ziel dieser Anlage.

1.3 Betriebskategorien des Allwetterflugbetriebs

Die für den Flugbetrieb geltenden internationalen Empfehlungen und Richtlinien der ICAO (International Civil Aviation Organisation) unterscheiden zwischen drei Betriebskategorien (Tab. I), wobei sich die Ausfüh-

Flugbetriebskategorien Tabelle I

Kategorie	Minimale Sichtweite RVR (m)	Entscheidungshöhe (m)
I	800	60
II	400	30
IIIA	200	0 (Schweiz 6 m)
IIIB	50	0
IIIC	0	0

rungen in diesem Artikel auf die Kategorie IIIA beschränken; die Stufen IIIB und IIIC liegen noch in weiter Ferne. Bevor auf die operationell unterschiedlichen Verhältnisse der drei Kategorien eingegangen werden kann, sind die beiden wichtigen Begriffe Sichtweite und Entscheidungshöhe zu definieren.

Sichtweite

Die Pistensichtweite ist die horizontale Distanz, über die der Pilot die Piste visuell klar erkennen kann. Dabei ist allerdings nicht die natürliche, d.h. die meteorologische Distanz massgebend, über welche ein Objekt noch erkannt wird, sondern beim Flugbetrieb bezieht sich die Sichtweite – genannt RVR (Runway Visual Range) – auf die Distanz, über die der Pilot die optischen Landehilfen, also die hochintensive Pistenbefeuerung, erkennen kann. Das bedeutet aber nichts anderes, als dass die für den Flugbetrieb definierte Sichtweite RVR gegenüber der gebräuchlichen meteorologischen Sichtweite (ohne optische Hilfen) bedeutend höher liegt. Eine RVR von 200 m entspricht einer natürlichen Sichtweite von etwa 70 m. Die Messung der Pistensichtweite erfolgt mittels sogenannter Transmissometern oder durch Distanzbestimmung an den Lichterreihen der hochintensiven Pistenbefeuerung.

Entscheidungshöhe

Die Entscheidungshöhe ist jener Punkt, an dem sich der Pilot entscheiden muss, ob er den Anflug weiterführen oder durchstarten will, und zwar je nachdem, ob er die visuellen Referenzen (Anflug- und Pistenbefeuerung) als genügend erachtet, um die Landung durchzuführen. Dank der innerhalb der ICAO für sämtliche Flughäfen standardisierten Anordnung der Befeuerungssysteme ist dem Piloten das sichtbare Bodensegment vertraut und ermöglicht die richtige Interpretation seiner aktuellen Fluglage.

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) die Entscheidungshöhe nicht gemäss ICAO-Empfehlung bis auf den Boden sinken lässt, sondern auf 6 m festgelegt hat. Mit dieser zusätzlichen Sicherheitsmarge ist der Besatzung die Möglichkeit gegeben, im Fall von fehlender Bodensicht den Anflug abzubrechen und das Flugzeug durchzustarten.

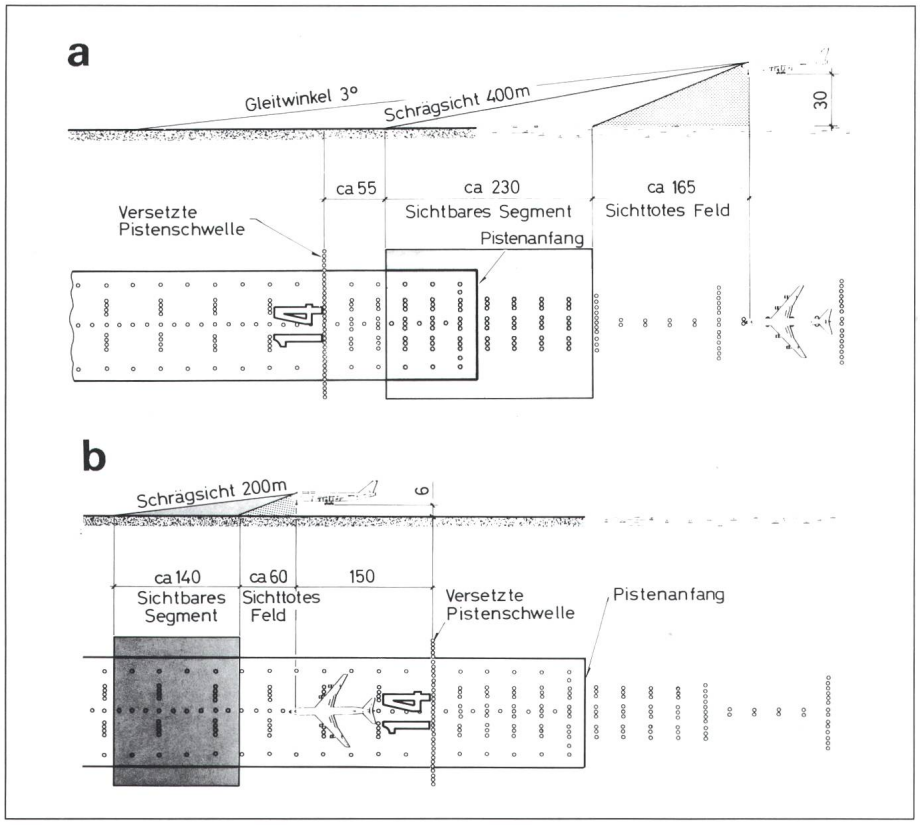


Fig. 1 Sichtinformation

a Sichtbares Segment bei Betriebskategorie II; Entscheidungshöhe 30 m, Pistensicht 400 m
b Sichtbares Segment bei Betriebskategorie III A; Entscheidungshöhe 6 m, Pistensicht 200 m

1.4 Sichtinformation bei Betriebskategorie I, II und IIIA

Bei einem Kategorie-I- oder -II-Anflug wird das Flugzeug von der Besatzung bis zur Entscheidungshöhe von 60 bzw. 30 m manuell nach Instrumenten oder automatisch geführt. Was der Pilot unter minimalen Kategorie-II-Sichtbedingungen auf der Entscheidungshöhe von 30 m erwarten kann, zeigt die Figur 1a. Zu beachten gilt dabei, dass das sichtbare Segment trotz Pistensichtweite (RVR) von 400 m wegen der Sichtbeschränkung durch die Rumpfnase lediglich etwa 230 m beträgt. Es zeigt sich klar, dass die Besatzung nur dank der bereits erwähnten internationalen Standardisierung aus den – für Laien – bescheidenen Referenzen die augenblickliche Fluglage eindeutig erkennen kann.

Bei Kategorie-IIIA-Bedingungen zeigt sich der Besatzung ein völlig anderes Bild. Wie aus der Figur 1b ersichtlich ist, befindet sich das Flugzeug beim Erreichen der Entscheidungshöhe bereits über der Piste, und das eigentliche Landemanöver ist durch die Automatik bereits eingeleitet. Die Maschine befindet sich im sogenannten Ausschweben und wird in rund sechs Sekunden auf der Piste aufsetzen. Das visuelle Segment beträgt bei minimalen Kategorie-IIIA-Bedingungen lediglich etwa 140 m.

2. Die Befeuerungsanlagen auf dem Flughafen Zürich

Nachdem die bisherigen Ausführungen vor allem die operationellen Aspekte der optischen Führungshilfen darlegten, wird nachfolgend auf deren technische Realisierbarkeit eingegangen. Für den Betrieb der optischen Landehilfen bei Allwetterflugbetrieb sind zur Erreichung der geforderten Leistungen auf den Flughäfen umfangreiche elektrische Einrichtungen notwendig. Die hauptsächlichsten Anlageteile sind:

- Energieversorgung
- Energieverteilung
- Speisungs- und Regelungseinrichtungen
- Fernwirkanlage
- Notstromversorgung
- Überwachungssystem

Auf diese Einrichtungen wird später – allerdings nur kurz – eingegangen.

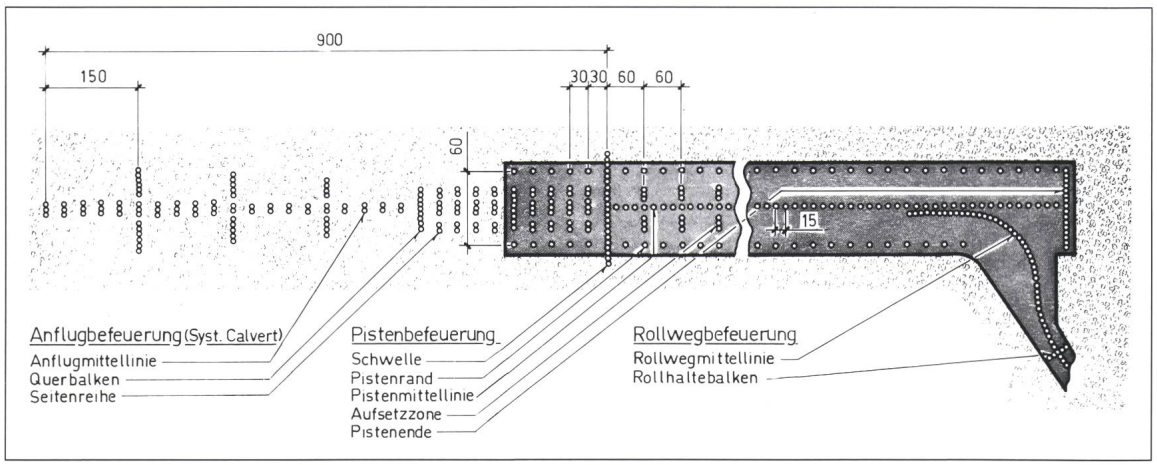


Fig. 2
Aufbau der Befeuerungsanlage

2.1 Aufbau der Befeuerungsanlage

Die Figur 2 gibt einen Überblick über ein Pisten-Gesamtsystem und zeigt gleichzeitig die Anordnung der einzelnen Befeuerungsteile. Die Pistenbefeuerung besteht demnach aus den Systemhauptteilen Anflugbefeuerung, Pistenbefeuerung, Rollwegbefeuerung und Gleitwinkelbefeuerung.

Die Hauptaufgaben der genannten einzelnen Systemteile lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

Anflugbefeuerung: Richtungsführung zur Piste, Querlageführung des Flugzeuges, Entfernungsanzeige zur Landeschwelle, erste Bodenreferenz bei schlechter Sicht, Unterscheidung gegenüber anderen Flughafenbeleuchtungen.

Pistenbefeuerung: Begrenzung der benützbaren Pistenlänge, Markierung der Aufsetzzone im Bereich von 1200 m, Markierung der Pistenachse, Begrenzung der benützbaren Pistenbreite.

Rollwegbefeuerung: schnelles und sicheres Rollen bei allen Sichtbedingungen, Verkehrslenkung und Absicherung von Instrumentenlandepisten.

Die Figur 3a zeigt die Anflugbefeuerung der Piste 14, die Figuren 3b, c und d einige typische Befeuerungselemente. In Figur 4 ist der prinzipielle Auf- und Einbau verschiedener Feuer dargestellt.

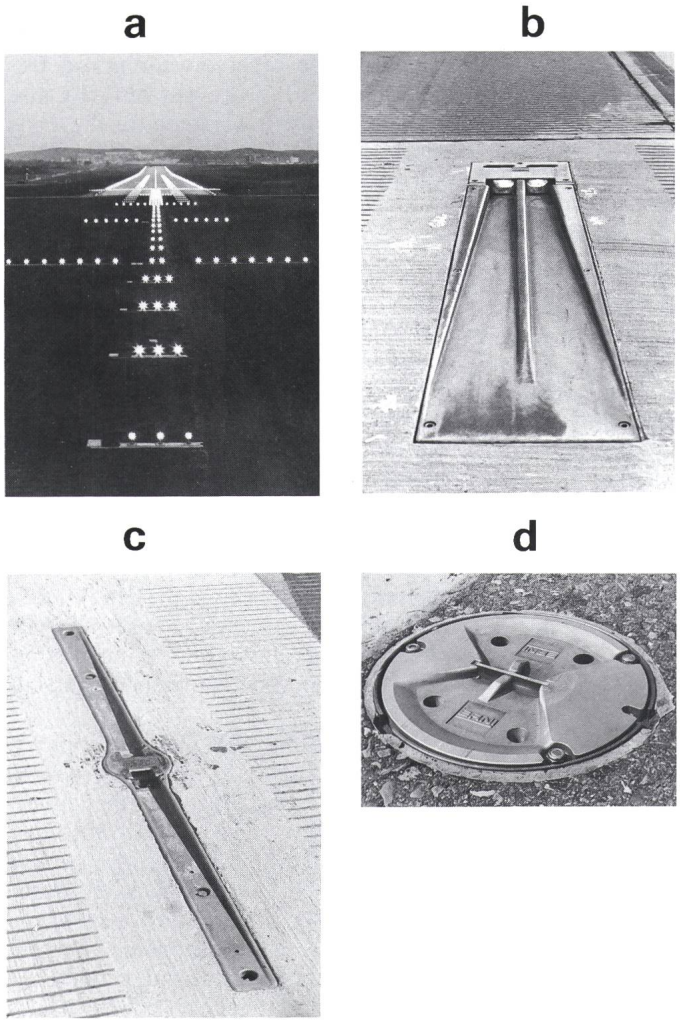


Fig. 3
Befeuerung
a Anflugbefeuerung Piste 14
b Pisten-Aufsetzzonenfeuer Erni IL 20 (fully flush)
c Pisten-Mittellinienfeuer Lightning (fully flush)
d Rollweg-Mittellinienfeuer Erni IL 42 (semi flush)

Gleitwinkelbefeuerung

Für Pisten, die nicht mittels Instrumentenlandesystem (ILS) für den Allwetterflugbetrieb ausgerüstet sind, kann eine sogenannte Gleitwinkelbefeuerung den Piloten bei Sichtanflug auf der exakten Flugbahn zum Aufsetzpunkt führen. Diese visuellen Landehilfen sind in Zürich bei den Pistenschwellen 28 beidseitig und bei den Pisten 10 und 34 auf der linken Seite installiert. Das PAPI – Precision Approach Path Indicator – genannte System besteht im wesentlichen aus einem Zweifarben-Lichtprojektor, der im oberen Sektor weisses (82 000 cd) und im unteren rotes (16 000 cd) Licht ausstrahlt. Der Trennbereich zwischen weiss und rot ist kleiner als zwei Bogenminuten. Wie aus Figur 5 ersichtlich ist, werden die vier Geräte (beidseitig) beim Aufsetzpunkt in einer Linie quer zur Pistenachse aufgestellt und für einen Anflugwinkel von 3° so gerichtet, dass das innerste Feuer die Trennlinie zwischen rot und weiss 30 Bogenminuten über und das äusserste Feuer 30 Bogenminuten unter dem Anfluggleitwinkel hat.

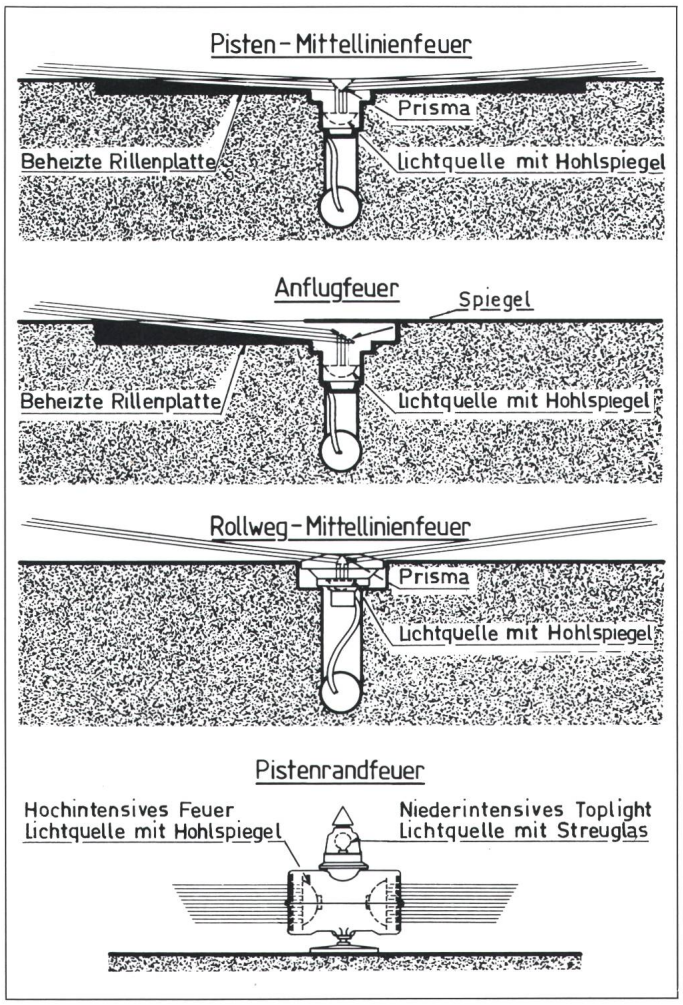


Fig. 4 Prinzipieller Aufbau verschiedener Befeuerungselemente

Mindestlichtstärken der Befeuerung von Zürich Tabelle II

Anflugfeuer	weiss	60 000 cd
Anflugfeuer	rot	16 000 cd
Pistenschwelle/-ende	grün/rot	11 000 cd
Aufsetzzone	weiss	22 600 cd
Pistenmittellinie	weiss	12 600 cd
Pistenrand	weiss	60 000 cd
Rollwegmittellinie	grün	830 cd

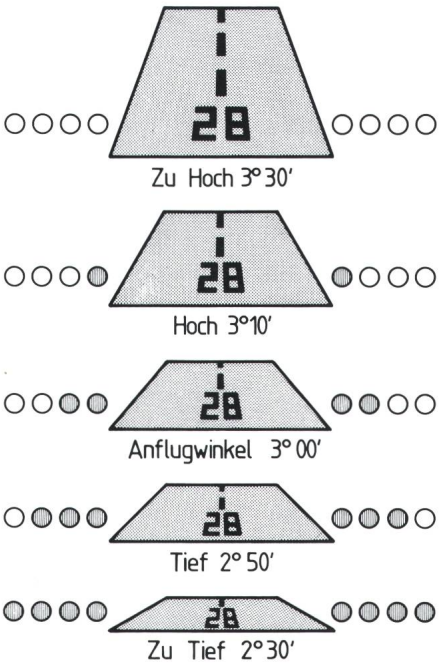


Fig. 5 Gleitwinkelbefeuerung PAPI Funktionsprinzip

● rot
○ weiss

2.2 Umfang der Befeuerungsanlage

Auf dem Flughafen Zürich stehen gesamthaft 4000 Feuer verschiedenster Fabrikate im Einsatz. 1970 davon sind Unterflurfeuer, wovon 1340 vollständig unter der Belagsfläche (fully flush) eingebaut sind (Fig. 3b, c). Die restlichen 630 Stück sind halbflach, d. h. 4...12 mm vorstehend, jedoch ebenfalls überrollbar (Fig. 3d).

2.3 Lichttechnische Anforderungen

Intensität

Alle wichtigen Grundlagen, wie beispielsweise Anordnung, Intensität, Lichtverteilungscharakteristik, Farben usw. sind in den bereits erwähnten Empfehlungen und Richtlinien der ICAO festgehalten. Um den bekanntlich häufig schlechten Sichtbedingungen auf dem Flughafen Zürich Rechnung zu tragen, wurden allerdings die Anforderungen an die Lichtstärke durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt bedeutend erhöht. Die in Zürich eingesetzten Befeuerungselemente erreichen die in Tabelle II angegebenen Mindestlichtstärken (Minimum Average Intensity). Diese höheren Lichtintensitäten verbessern die Runway Visual Range (RVR), d. h. die Sichtweite für den Piloten, und somit auch die Sicherheit entscheidend. Nicht zu unterschätzen ist in diesem Zusammenhang auch der volkswirtschaftliche Nutzen, kann doch in Zürich dank der um 3...5mal höheren Intensität bedeutend später auf den operationell und technisch komplexeren Kategorie-IIIA-Betrieb zurückgestuft werden.

Lichtverteilungscharakteristik

Neben der Intensität ist vor allem die verlangte Lichtverteilung von Bedeutung, und zwar sowohl für die Flugoperationen wie auch für die technische Realisierung des einzelnen Befeuerungselementes. Die Lichtverteilung muss so ausgerichtet sein, dass das Licht das Pilotenauge in jeder Flug- bzw. Rollphase im richtigen Moment trifft. Der Lichtaustrittswinkel bei Pistenmittellinienfeuern beispielsweise muss relativ flach sein, damit die Besatzung bei den hohen Geschwindigkeiten der Start- und Landemanöver möglichst viele Lichtpunkte erkennen kann und eine gute Linienführung hat (Fig. 6a). Demgegenüber ist der Lichtaustrittswinkel bei den grünen Rollwegmittellinienfeuern relativ steil, da sich das Flugzeug in diesem Bereich langsam bewegt. Dank dieser Verteilcharakteristik hat der Pilot auch in den Kurven eine gute optische Führung (Fig. 6b).

Während in den internationalen Richtlinien und Empfehlungen der ICAO vor allem die grundlegenden Eigenschaften und Mindestbestimmungen aufgeführt sind, enthalten die von derselben Organisation herausgegebenen Ausführungsbestimmungen, das sogenannte Aerodrome Design Manual, Part 4 (Visual Aids), alle technischen Detailangaben für Konstruk-

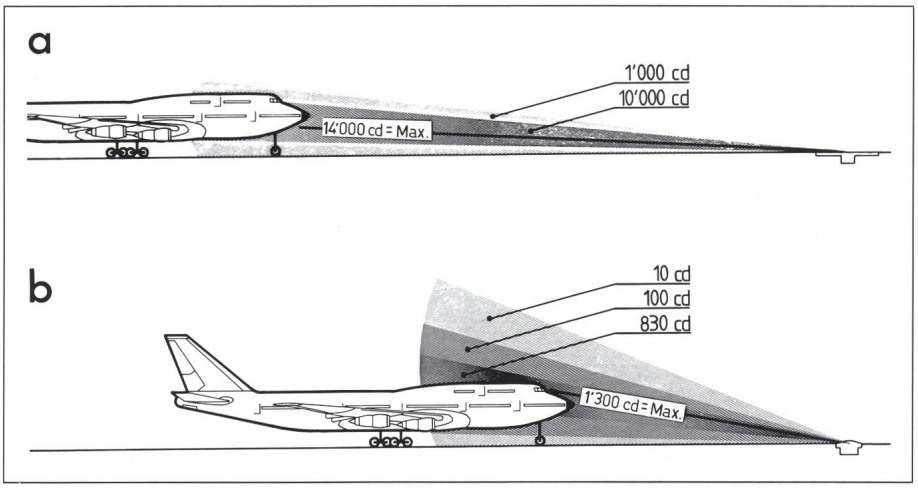


Fig. 6 Typische Lichtverteilung
a Pistenmittellinienfeuer / b Rollwegmittellinienfeuer

tion, Aufbau und Betrieb. So werden unter anderem die auftretenden mechanischen Belastungen durch Flugzeuge (Vibrationen, Rückstoss) und Geräte (Schneeräumung), Konstruktionsdetails wie Sollbruchstellen, die gesamte Elektroinfrastruktur, aber auch detaillierte optische Aspekte wie beispielsweise die Lichtverteilkurven für jedes einzelne Befeuerungselement aufgeführt. Stellvertretend sind in Figur 7 die ICAO-Lichtverteilung und die für Zürich geltenden Werte eines Rollinienfeuers dargestellt.

Regelung der Lichtstärke

Die Auffälligkeit der Pistenbefeuerung ist abhängig vom optischen Eindruck, d.h. dem Kontrast zwischen der Befeuerung und dem Hintergrund. Hohe Intensitäten sind nötig bei sehr dichtem, hellem Tageslichtnebel. Zu beachten ist im weiteren, dass bei Nebel in der Nacht der Anteil von Streulicht gross ist. Anderseits ist bei klarem Wetter in dunkler Nacht lediglich eine sehr geringe Intensität zum Erkennen der Bodenreferenzen erforderlich. Es ist deshalb klar, dass die Pistenbefeuerung an die aktuellen Sichtverhältnisse angepasst werden muss; dem Piloten soll eine optimale Führungshilfe ohne übermässige Blendung geboten werden. Langjährige Erfahrungen und ausführliche Tests führten zu der heute in der ICAO-Empfehlung international angewendeten Einteilung der Intensitätsstufen in 1, 3, 10, 30 und 100%. Die optimale Lichtstärke wird vom Kontrollturm, zum Teil in Absprache mit der anfliegenden Besatzung, eingestellt.

Die technische Realisierung dieser Regelung wird je nach Versorgungssystem mit schaltbaren Spannungsstufen oder Phasenanschnittsteuerung vorgenommen. In den entsprechenden Abschnitten dieses Beitrages ist das Prinzip kurz beschrieben.

2.4 Konstruktive Anforderungen

Die Befeuerung eines Flughafens ist – wie jede andere Investition – mit Kostenfolgen verschiedenster Art verbunden. Wirtschaftlich ist ein Befeuerungssystem nur, wenn die Summe aller Kosten bei kompromissloser Einhaltung der verlangten hohen Leistung minimal ist [1]. Die Kosten für ein Befeuerungselement werden zur Hauptsache von dessen Konstruktion bestimmt. Eine optimale Konstruktion berücksichtigt die Unterhaltsaspekte, da die laufenden Kosten wichtiger als der reine Kaufpreis sind. Aufgrund langjähriger Erfahrung mit leistungsfähigen Befeuerungsanlagen rechnet der Flughafen Zürich bei Befeuerungselementen mit einer minimalen Lebensdauer von zwanzig Jahren. Eine grosse Zahl von flachen Pistenfeuern ist seit 1965 ohne nennenswerte Ausfälle und Verschleisserscheinungen in Betrieb.

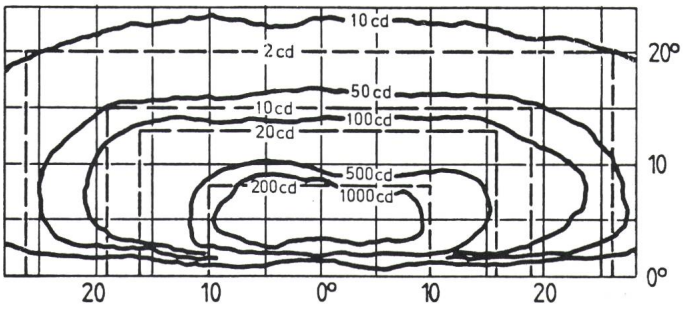
Zürich ist übrigens weltweit einer der wenigen Flughäfen, die auf dem gesamten Pistensystem ausschliesslich bodenebene (fully flush) Feuer einsetzen. Neben den Vorteilen bei der Schneeräumung sind es vor allem die ausserordentlich geringen mechanischen Einflüsse beim Überrollen der Flugzeuge mit hohen Geschwindigkeiten und die dadurch bedeutend höheren Lampen-Lebensdauern wie auch die kleinere Verschmutzungsgefahr, die für dieses Konstruktionsprinzip sprechen. Die durchschnittliche monatliche Einschaltdauer der Befeuerung beträgt 300 Stunden.

Die in den Flugbetriebsflächen eingebauten Feuer müssen die folgenden Produktemerkmale aufweisen:

- Erfüllung der spezifizierten Leistung
- Aushalten aller am Einsatzort auftretenden Belastungen
- lange Unterhaltsintervalle
- kurze Auswechselzeiten auf Flugbetriebsflächen
- keine Einstellarbeiten auf Flugbetriebsflächen
- geschlossenes und dichtes Lampengehäuse
- leicht tragbares Lampengehäuse
- Entwässerung des Lichtaustritts bei Fully-flash-Typen
- korrosionsfreies Material
- temperaturwechselbeständige Glasteile
- ausgereiftes thermisches Konzept
- Vermeidung von Schmutzfängern
- einfache, auf Langlebigkeit ausgelegte Konstruktion
- Lampen mit einer nominellen Lebensdauer von mindestens 1000 h
- leicht auswechselbare Lampe.

Auch die Energiekosten dürfen nicht vernachlässigt werden. Massgebend ist die elektrische Anschlussleistung. Je nach Wirkungsgrad eines Feuers können gleichwertige Lichtleistungen mit verschiedenen Anschluss-

Fig. 7 Lichtverteilkurve Rollwegmittellinienfeuer
--- ICAO
~~ Erni IL 42



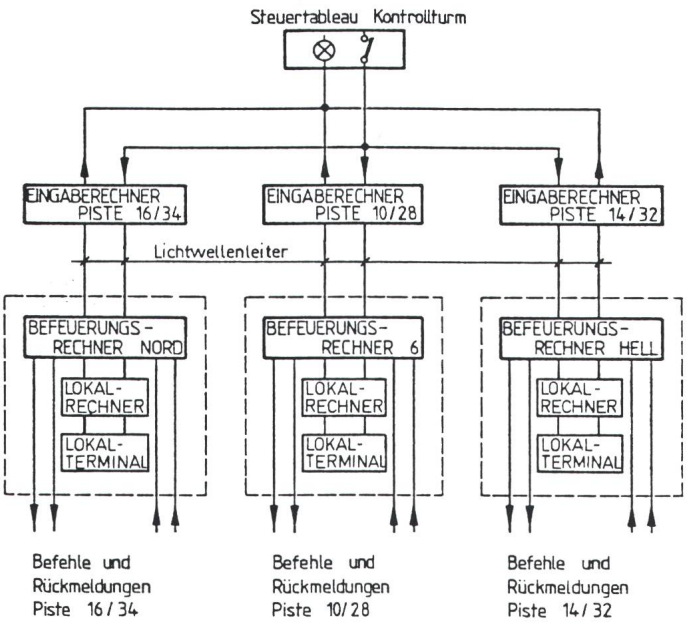


Fig. 8
Steuerung Pistenbefeuerung
Prinzipschema

werten erreicht werden. Es gibt beispielsweise Befeuerungselemente, die mit 500-W-Lampen dieselbe Lichtleistung erbringen wie optimal konzipierte optische Systeme mit 200-W-Lampen. Kleinere Lampenleistung aber bedeutet, dass auch das Speisungssystem nur halb so stark dimensioniert werden muss, begonnen beim Konstantstromregler über die Kabel bis zum Sekundärtransformator.

3. Steuerung der Befeuerungsanlagen

3.1 Funktion und Aufbau

Die Fernsteuerung übernimmt die Auswertung, Verknüpfung und Übertragung von Befehlen und Rückmeldungen, welche vom Bedienpult im Kontrollturm den Speisungsanlagen in den Transformatoren- und Schaltstationen auf dem Pistenareal zugeleitet werden. Aus sicherheitstechnischen Gründen ist die Steuerung in drei unabhängigen Systemen, pro Piste eines, aufgebaut worden (Fig. 8).

Der Eingaberechner im Kontrollturm verarbeitet die Steuerbefehle und zeigt gleichzeitig den aktuellen Schaltzustand der Befeuerung an. Die Signale werden je Teilsystem seriell über Lichtwellenleiter mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 9600 bit/s in die dezentralen Befeuerungsrechner übertragen. Im Befeuerungsrechner erfolgt die gesamte Datenverwaltung, Befehlsausführung und -überwachung. Er steuert den Leistungsteil an, wobei sichergestellt ist, dass bei einem allfälligen Netzausfall die eingegebenen Befehle erhalten bleiben. Die Lokalrechner in den Transformatorstationen dienen der direkten Befehlseingabe bei Störungen oder Unterhaltsarbeiten.

3.2 Sicherheitsmassnahmen

Um die im Flugbetrieb übliche hohe Funktionsbereitschaft zu erlangen, wurde ein Bündel von Sicherheitsmassnahmen realisiert. Eine hohe Qualität der Hard- und Software wurde u. a. erreicht durch:

- klar formulierte Aufgaben, Funktionszuweisungen und Schnittstellen in den Systemspezifikationen
- strukturierten Aufbau der einzelnen Funktionsbausteine
- Anwendung erprobter Standardsoftware und bekannter Softwaremodule
- umfassenden Schutz gegen äussere Einflüsse
- vordefinierte Fehlerabhandlung.

Dazu kommen folgende Sicherheits- und Kontrollmechanismen:

- zyklische Selbstüberprüfung der CPU
- ECC[1]-Memories
- IEC-Integritätsklasse 3 durch HDLC-Standardprotokoll bei der Übertragung
- redundante Signalabhandlung über zwei Kanäle
- Plausibilitätskontrolle
- Watch-dog und zyklischer Datenverkehr.

4. Speisung und Regelung der Befeuerungsanlage

Auf dem Flughafen Zürich sind für die Energieversorgung der Pistenbefeuerung zwei unterschiedliche Systeme vorhanden. Die Pisten 10/28[2] und 16/34 sowie die Apron-Centreline werden mit einem Parallelspeisesystem versorgt, während bei der Piste 14/32 und den meisten Rollwegen das sogenannte Seriespeisesystem zur Anwendung kommt.

4.1 Parallelspeisesystem

Ein zentraler, am 16-kV-Dreiphasennetz angeschlossener Transformator verfügt sekundärseitig über fünf Abgriffe zwischen 125 V und 500 V. Diese Spannungsstufen dienen der wählbaren Intensitätsregelung der Pistenbefeuerung gemäss Sichtbedingungen. Der prinzipielle Aufbau dieses Netztypes zeigt die Figur 9a.

4.2 Seriespeisesystem

Im Gegensatz zur herkömmlichen Parallelspeisung mit konstanter Spannung arbeitet das Seriesystem (Fig. 9b) mit einem konstanten Strom, d.h. die Spannung am Speisepunkt wird entsprechend der Verbraucherleistung gewählt. Über spezielle Einleiterkabel mit 1×6 mm² Querschnitt werden Einphasen-Lampentransformatoren primärseitig in Serie geschaltet und zu einem Seriekreis zusammengefasst. Primär- und sekundärseitig fliesst ein den Lampendaten entsprechender Strom von 6,6 A.

Die Gesamtanlage für eine Piste ist in zahlreiche einzelne Kreise aufgeteilt; allfällige Störungseinflüsse bleiben damit gering. Die vom Leistungstransformator in der Transformatorstation gewonnene Niederspannung von $3 \times 380/220$ V wird an die einzelnen Regler verteilt. Die einzelnen Kreise werden von je einem Speisetransformator versorgt, dessen Leistung entsprechend der vom Kontrollturm eingegebenen Lichtintensität über ein Thyristorstellglied dosiert

[1] Error Check and Correcting (Hamming-Distanz 4).

[2] Die Pistennummern weisen auf die azimutale Lage (beide Richtungen) der Piste hin. Bsp. 10/28 ≙ 100°/280°.

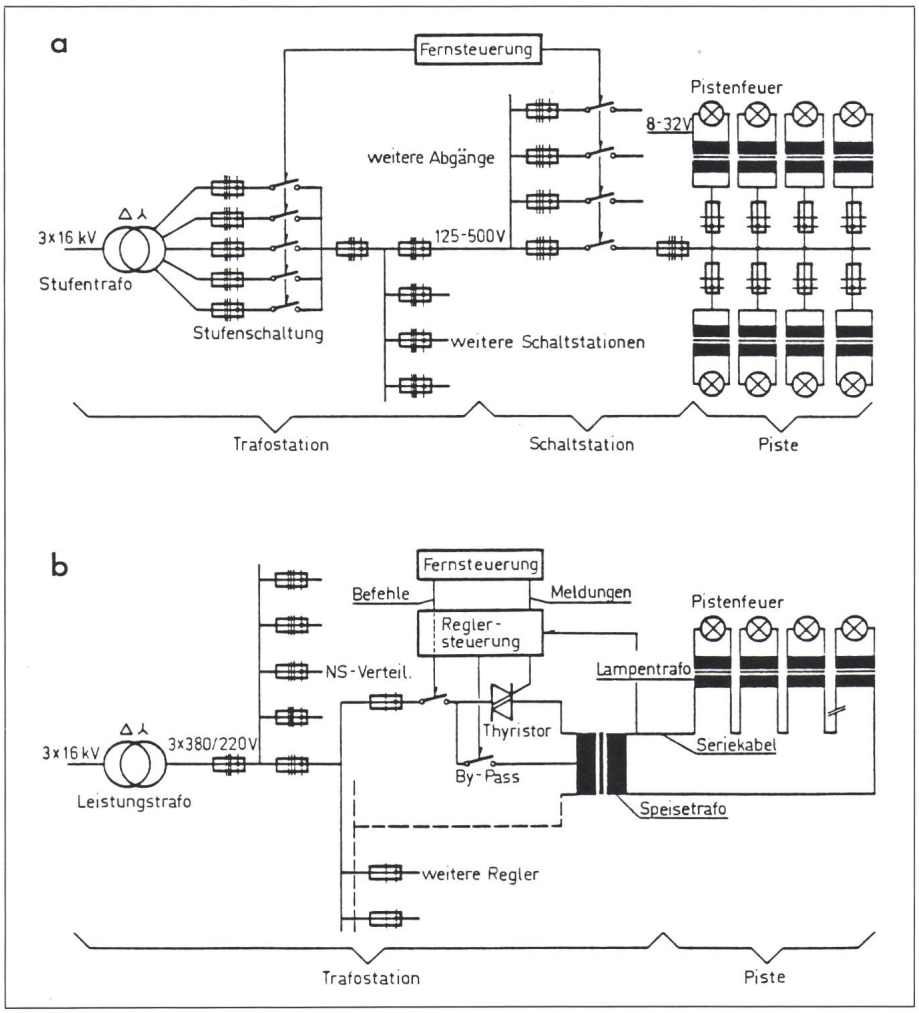


Fig. 9 Speisung und Regelung der Befeuerungsanlage
a Prinzip des Parallelspeisesystems / b Prinzip des Seriespeisesystems

wird. Dabei kann die Spannung entsprechend der Anzahl angeschlossener Pistenfeuer bis auf maximal 5000 V erhöht werden.

5. Energieversorgung

Das Grundkonzept der Energieversorgung und der Aufbau des Hochspannungsnetzes wird in diesem Heft [2] behandelt. Im folgenden wird deshalb nur kurz auf die speziellen Bedingungen der Stromversorgung von Befeuerungsanlagen eingegangen.

Das Kabelnetz und die Transformatorenstationen wurden so ausgelegt, dass jede Piste ein unabhängiges System darstellt. Die Einspeisung der im Pistengebiet plazierten Transformatorstationen erfolgt über 16-kV-Ringleitungen an die Netzschienen; diese sind über je einen Kuppelschalter mit der 16-kV-Befeuerungsschiene verbunden, wobei an letzterer über zwei 1000-kVA-Transformatoren niederspannungsseitig zwei Diesel-Notstromgruppen angeschlossen sind. Bei Netzausfall kann somit jedes Pistensystem autonom im Inselbetrieb direkt von den zugeteilten Notstromgruppen gespeist werden. Beim Ausfall einer Anlage besteht zudem auch die Möglichkeit, über die beiden Transformatoren die Notenergie auf die 16-kV-Schiene zu übertragen und andere Stationen zu speisen.

5.1 Konzept der Notstromanlagen

An die kontinuierliche Stromversorgung werden besonders bei schlechten Sichtbedingungen sehr hohe Anforderungen gestellt. In den international geltenden ICAO-Empfehlungen sind für Pistenbefeuerungsanlagen sowie die Kontroll- und Überwachungseinrichtungen die maximal zulässigen Netzunterbruchszeiten festgehalten:

- Kat. I: 15 s
- Kat. II: 1 s
- Kat. III: 1 s

Gemäss diesen Anforderungen wurde die Notenergieversorgung dezentral in die drei Pistenversorgungsbereiche aufgeteilt (Tab. III). Bei Netzausfall werden diese Versorgungsbereiche (Inseln) durch eine übergeordnete Steuerung automatisch gebildet. Für den Betrieb der Notstromanlagen ergeben sich zwei grundlegend verschiedene Funktionsfälle.

Kategorie I

Alle Verbraucher werden vom energieliefernden Unterwerk gespeist, und die Notstromgruppen sind im Stillstand. Bei Netzausfall erfolgt folgender Ablauf:

- automatische Umschaltung der Verbraucher auf die einzelnen Notstrom-Versorgungsbereiche
- Startbefehl an die Notstromgruppen, die bereits während des Hochlaufs parallel geschaltet werden (Hochlaufsynchronisation)
- Lastübernahme nach Erreichen der Nenndrehzahl in etwa 12 s.

Bei Netzrückkehr werden die Maschinen automatisch ans Netz zurück synchronisiert und anschliessend abgeschaltet.

Kategorie II und III

Alle Verbraucher werden vom energieliefernden Unterwerk gespeist, und

Notstromanlagen des Flugbetriebes Tabelle III

Pistensystem bzw. Hauptverbraucher	Standorte der Transformatorenstationen	Leistung
Piste 14/32	Station Hell	2 × 890 kVA
Piste 16/34	Station Nord	2 × 890 kVA
Piste 10/28 Flugsteigbeleuchtung Flugsicherung	Station Flughafenkopf	2 × 500 kVA

die Notstromgruppen sind im Stillstand. Bei Auftreten der minimalen Sichtbedingungen gemäss Betriebskategorie II oder III (Kap. 1.3) erfolgt nachstehender Ablauf:

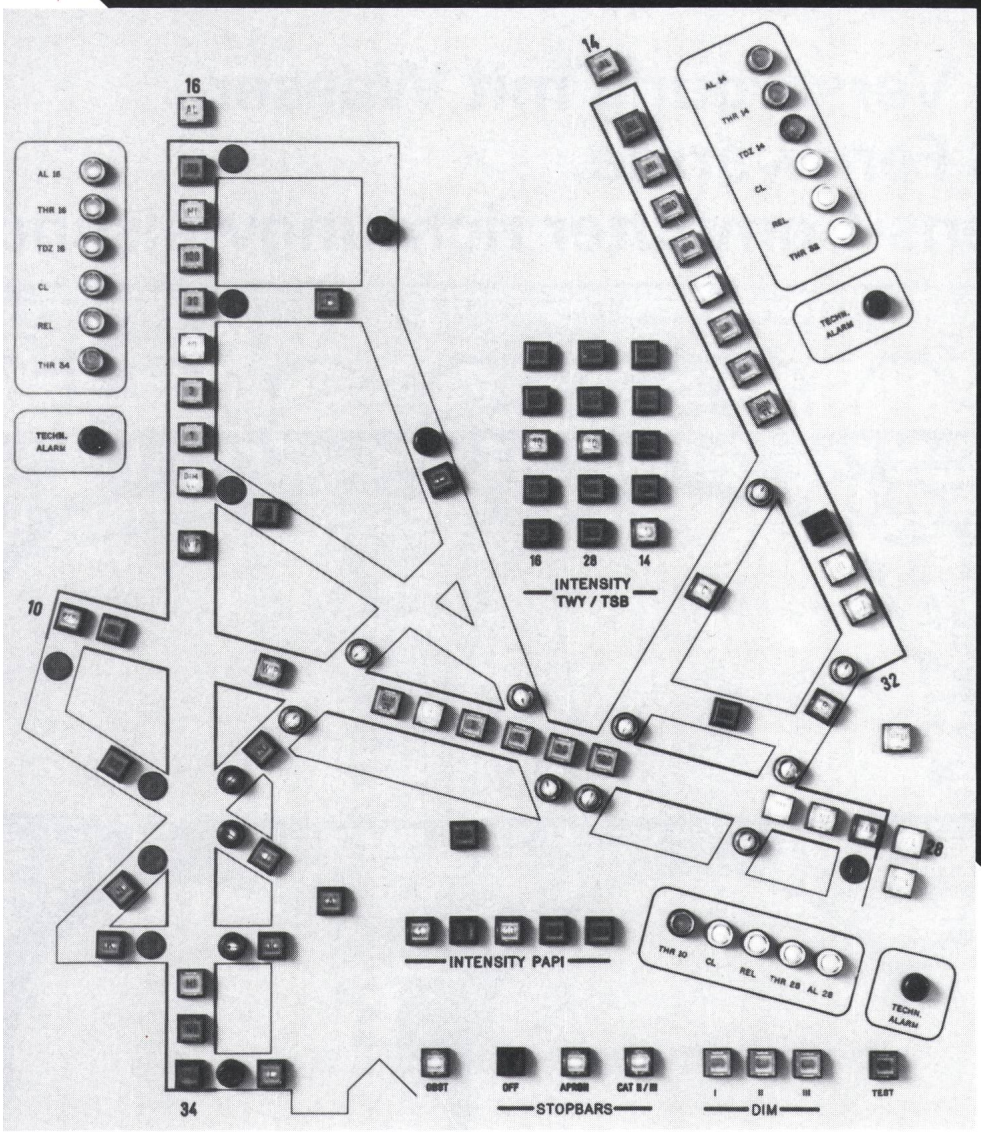
- Eines der beiden pro Pistensystem vorhandenen Notstromaggregate (Wahlschalter) wird vom Kontrollturm gestartet, automatisch mit dem EW-Netz synchronisiert und im Netzparallelbetrieb mit reduzierter Last (etwa 50%) gefahren. Dieser Betrieb wird solange aufrechterhalten, bis sich die Sichtbedingungen verbessern.
- Bei einem allfälligen Netzunterbruch wird automatisch auf die einzelnen Versorgungsbereiche umgeschaltet, wobei die bereits im Betrieb stehende Notstromgruppe die Last unterbruchslos übernimmt. Zugleich wird das zweite Aggregat automatisch gestartet und parallel geschaltet.

Literatur

[1] *H. Friedli:* The economics of airport lighting. Airport Forum 13(1983)5, 36...41.

[2] *U. Studer:* Die Stromversorgung des Flughafens Zürich. Bull. SEV/VSE 77(1986)15, S. 949–950.

ERNI



ERNI – die Spezialisten in Industrie-Elektronik, bieten mit dem universellen Gebäude- und Prozessleit-System BOSS GA-90 praxisgerechte Systemlösungen für die rechnergeführte

- **Überwachung**
- **Interventionsführung**
- **Fernbedienung**
- **Automatisierung**
- **Optimierung**
- **Datenarchivierung**

Langjährige Branchenerfahrung erlaubt es ERNI, verschiedenartigste Sicherheits- und Automatisierungsanlagen zu planen und bauen, zu installieren und lebenslang zu warten.

ERNI – Partner auch im Flughafen Zürich

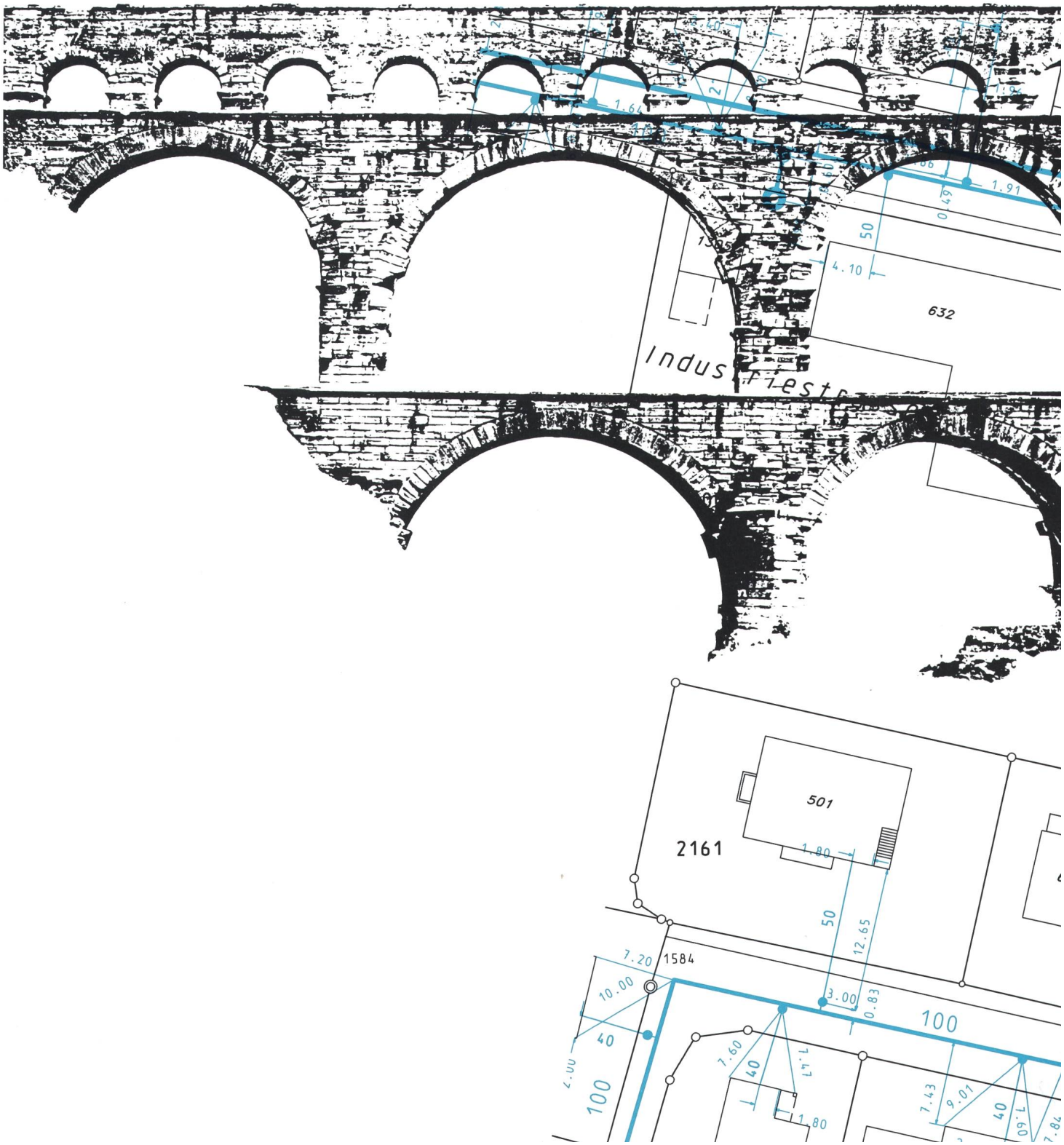
Ein ERNI-Leitsystem BOSS GA-90 steuert und überwacht sämtliche technischen Einrichtungen im Pistenbereich und leistet damit einen wichtigen Beitrag für die Sicherheit am Boden und in der Luft.

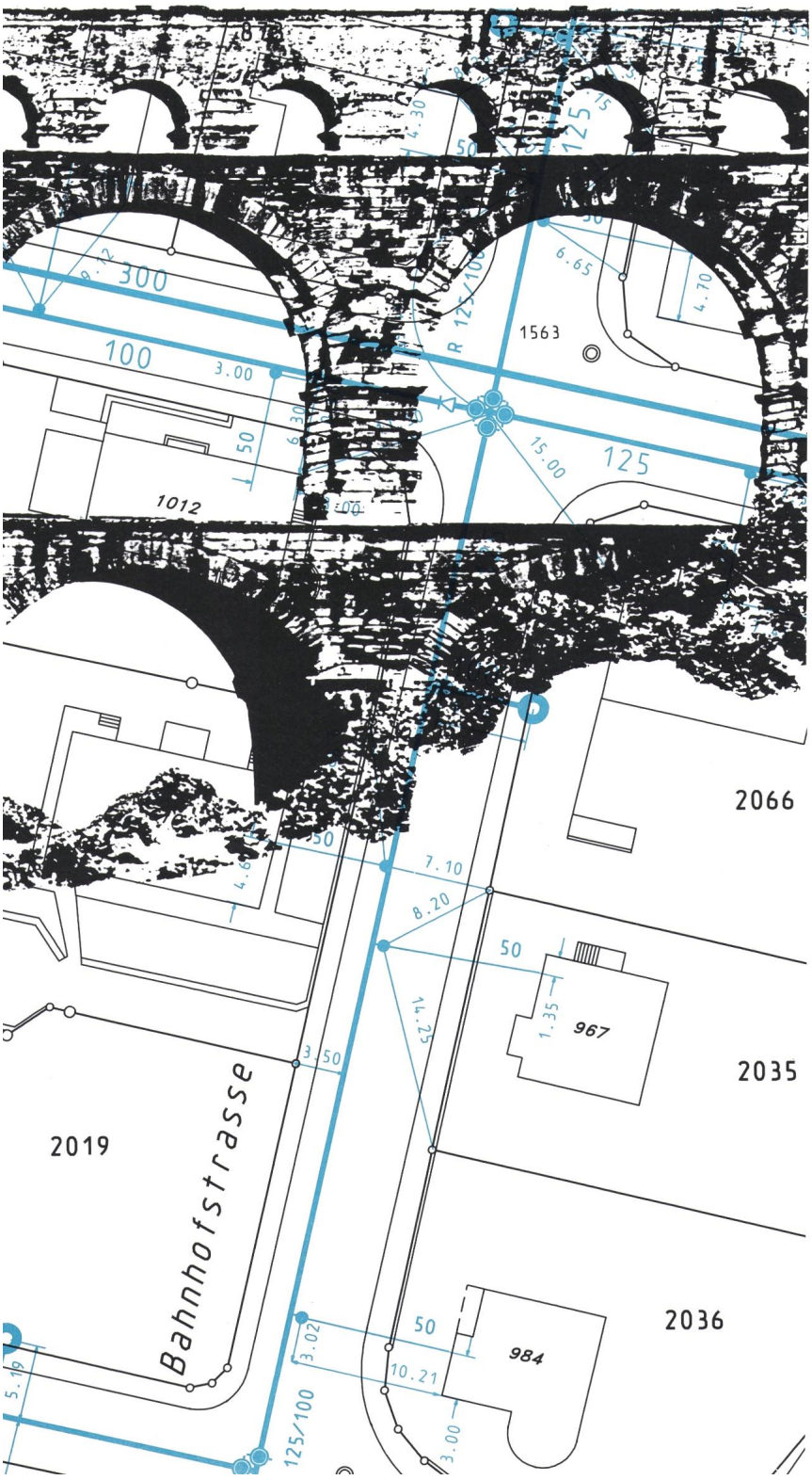
Aufgrund bestausgewiesener Erfahrung aus der Realisierung von mehr als 60 Leitsystemen mit gesamthaft über 120'000 Datenpunkten empfiehlt sich ERNI + CO. AG für alle Teilbereiche der Leittechnik.

ERNI + CO. AG
CH-8306 Brüttisellen
Telefon 01/835 35 35 Tlx 827 333

SIEMENS-ALBIS
AKTIENGESELLSCHAFT

Gewusst wie: Wirtschaftliche Versorgung mit Wasser, Strom, Gas und Fernwärme. Hier sind Siemens-Computer richtungweisend





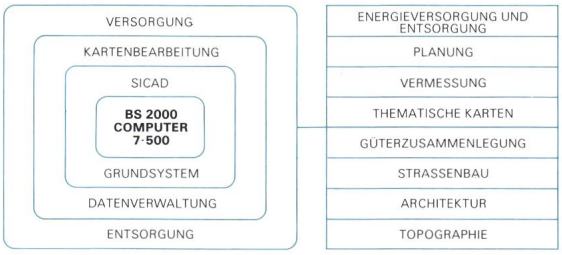
Die Darstellung raumbezogener Daten in Karten und Plänen gewinnt zunehmend an Bedeutung.

Die Planung und Realisierung einer wirtschaftlichen Versorgung und Entsorgung ist eine Forderung der Zeit. Die fortschrittlichen netz- und leitungsspezifischen Applikationen der Siemens-Datenverarbeitung ermöglichen es den Energieversorgungsunternehmen, Ingenieurbüros und öffentlichen Verwaltungen, ihre umfangreichen Planunterlagen auf dem neuesten Stand zu halten.

Die wesentlichen Merkmale des grafischen Informationssystems SICAD sind:
- Erfassen und Ändern von Leitungen und Netzpunkten (Einfach-, Mehrfach-, Parallelleitungen, Leitungstrassen).
- Verknüpfung von grafischen Informationen mit Sachdaten.
- Auswertung der Netzlogik.

Damit kann die gesamte Netztopologie abgebildet werden. Grafische Informationen können ausgewertet und weiterverarbeitet werden.

Aus SICAD heraus können Netzberechnungen mit BETINA angestossen werden.



Sicad, integrierte Anwendersoftware – grafische Systeme für Ingenieurwesen, Planung, Dienstleistungen

Computer + Communication von Siemens-Albis

Nähere Auskünfte und Unterlagen erhalten Sie von
Siemens-Albis Aktiengesellschaft
Vertrieb Daten- und Informationssysteme
8047 Zürich, Freilagerstrasse 28
Telefon 01-495 31 11

☐ Bitte senden Sie mir Unterlagen über SICAD und BETINA sowie Ihre Rechnerfamilie 7·500

☐ Rufen Sie mich an.

Name:
In Firma:
Adresse:

Telefon:

Der einfachste Weg zur sicheren und störungsfreien Signalübertragung

analog, digital, audio, video, TTL, Computer-Daten, Messwerte, Standard-Schnittstellen...

HUBER+SUHNER AG
Geschäftsbereich HF- und Mikrowellentechnik
CH-9100 Herisau/Schweiz
Telefon 071 53 15 15
Telex 77 503
Telefax 071 52 13 35

Kaum zu glauben, was man mit Strom alles machen kann.

6433G

Vorausgesetzt natürlich, der Strom ist vorhanden. Darum sind gut geplante und zuverlässig gebaute Notstromanlagen gerade in Einrichtungen der Flugsicherung unentbehrlich.

Sauber + Gisin AG
8340 Hinwil, Wildbachstrasse 5
Telefon 01-937 22 22

SAUBER + GISIN

Ein Unternehmen der WMH – Walter Meier Holding AG