

# DIPLOMARBEIT

## Master Thesis

### **Planung und Projektierung von Flugbetriebsflächen**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. techn. Ronald Blab

Univ. Ass. Dipl. Ing. Dr. techn. Lukas Eberhardsteiner

Institut für Verkehrswissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Desislava Nikolova

1229331

Bulgarien Sofia 1000

Wien, 2015

Unterschrift

## Kurzfassung

Die Herausforderung für Flugplätze wird sich in Zukunft immer stärker in Richtung Flugsicherheit verschieben. Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Planung und Projektierung von Flugbetriebsflächen in Bezug auf die Flugsicherheit und die moderne Flugsicherung, die einen sicheren Ablauf in der Start- und Landephase gewährleisten sollen. Ausgehend von einer Recherche im Rahmen der Arbeit wird ein Überblick über die Grundzüge der Flugsicherheit gegeben. Dabei soll ein Kriterienkatalog auf Basis von Analysen von häufig vorkommenden Mängeln an ausgewählten Flughäfen ausgearbeitet werden. Durch die Bezeichnung dieser häufig vorgekommenen Mängel erfolgt eine Konkretisierung der wichtigen und sicherheitsrelevanten Forderungen. Abgerundet wird die Arbeit durch Information und Ansätze für die Betriebseinrichtungen und Optimierung der verwendeten Maßnahmen. Die Optimierung der Maßnahmen beim Vorhandensein von Mängeln ist möglich, wenn die ICAO-Standards und Empfehlungen genauso wie die Erfahrungen von Flugzeugführern berücksichtigt werden. Ziel ist es, weltweit einen gleichen Sicherheitsstandard an den Flughäfen herzustellen.

Durch die systematische Zusammenstellung von der Zustandserfassung der bis hin zur Maßnahmenplanung der Flugsicherheit auch aus Sicht der Piloten in der vorliegenden Arbeit wird eine leichtere Umsetzung erfolgen. Nachdem die Flugsicherungssysteme immer neue Entwicklungszyklen durchlaufen, ist es sinnvoll, den Kriterienkatalog weiterzuentwickeln und die Flughäfen auf weitere Defizite zu untersuchen.

## Abstract

The challenge for airports with well-designed runways, taxiways and aprons are getting focused more and more on flight safety. This thesis addresses the planning and design of airport maneuvering surfaces in terms of air safety and modern air traffic control, and to ensure a safe operation in the takeoff and landing phase. Based on the research as part of the thesis, an overview of the basics of flight safety is given. Thereby, a criteria catalogue that is based on analysis of the most common deficiencies at characteristic airports should be introduced. By describing the most common deficiencies at the airports it is possible to specify important and safety-related requirements.

The optimization of the measures in the presence of defects is possible if the ICAO standards and recommendations and all other rules are considered equal to the experience of pilots and their clearly defined criteria. The main aim is to reach an equal level of security at airports worldwide.

This master thesis reveals ways to design and plan airports through the systematic verification of the status of the airports, professional point of view of pilots and security measures. The air traffic control systems are constantly developing, considering that it is necessary to further develop the criteria catalogue on the basis of a new study of airport defects.

## Vorwort

Die vorliegende Diplomarbeit entstand am Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich Straßen – und Flugbetriebsflächenbau an der Technischen Universität Wien. Die Diplomarbeit bildet den Abschluss meines Bauingenieurstudiums mit Vertiefung in Richtung „Planung und Projektierung von Flugbetriebsflächen“.

Vor allem möchte ich mich bei Herrn Univ. Prof. Dipl. – Ing. Dr. techn. Ronald BLAB bedanken, der mir die Möglichkeit gegeben hat, meine Diplomarbeit am Institut für Verkehrswissenschaften zu verfassen.

Ein besonderer Dank ergeht an Herrn Univ. Ass. Dipl. – Ing. Lukas EBERHARDSTEINER für seine hervorragende und engagierte Betreuung und wissenschaftliche Unterstützung während meiner Diplomandentätigkeit.

Zuletzt möchte ich mich noch bei der Fakultät für Straßenbau an der Universität für Architektur, Bauingenieurwesen und Geodäsie Sofia bedanken.

Desislava Nikolova

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Aufgabenstellung.....</b>	<b>9</b>
1.1	Ausgangslage .....	9
1.2	Zielsetzung der Arbeit .....	11
1.3	Begriffsdefinition.....	12
<b>2</b>	<b>Projektierung von Flugbetriebsflächen .....</b>	<b>14</b>
2.1	Grundlagen .....	14
2.2	Projektierung der Pisten gem. ICAO und gem. ZFV 1972.....	14
2.2.1	Längs – und Querneigungen.....	30
2.2.2	Start- und Landebahnschultern .....	32
2.2.3	Start- /Landebahn–Wendeflächen .....	33
2.2.4	Start- und Landebahnstreifen.....	34
2.3	Projektierung der Rollbahnen gem. ICAO und gem. ZFV 1972.....	39
2.3.1	Schnellabrollbahnen .....	44
2.3.2	Rollbahnschultern.....	45
2.4	Projektierung des Vorfeldes .....	46
2.5	Anforderungen an die Oberfläche .....	47
2.5.1	Entwässerung .....	47
2.5.2	Griffigkeit.....	50
<b>3</b>	<b>Planung der Flugsicherheit von Flugbetriebsflächen .....</b>	<b>52</b>
3.1	Übersicht.....	52
3.2	RESA (Runway End Safety Area) .....	55
3.3	EMAS (Engineered Material Arresting System) .....	56
3.4	Windsack.....	59
<b>4</b>	<b>Planung der Betriebseinrichtungen für die Flugsicherheit.....</b>	<b>61</b>
4.1	Allwetterflugbetrieb .....	61
4.1.1	Betriebsstufen .....	61
4.2	Leiteinrichtungen .....	62
4.2.1	Befuerung und Befuerungssysteme.....	61

4.2.2	Markierungen von Flugbetriebsflächen .....	77
4.2.3	Zeichen .....	85
4.2.4	Marker .....	89
<b>5</b>	<b>Ausführungsbeispiele an Flughäfen .....</b>	<b>92</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>106</b>
<b>I.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>107</b>
<b>II.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>110</b>
<b>III.</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>112</b>

## Häufig verwendete Abkürzungen

Abb.	Abbildung
ALS	Approach Lighting System
APAPI	Abbreviated Precision Approach Path Indicator
ASDA	Accelerate Stop Distance Available
BFZ	Bemessungsflugzeug
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Centimeter
DH	Decision height
d.h.	das heißt
EASA	European Aviation Safety Agency
EMAS	Engineered Material Arresting System
etc.	etcetera
FAA	Federal Aviation Administration
FBF	Flugbetriebsflächen
gem.	gemäß
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFALPA	International Federation of Air Line Pilots Association
ILS	Instrumentenlandesystem
Kap.	Kapitel
km	Kilometer
km/h	Kilometer pro Stunde

LDA	Landing Distance Available
LFZ	Luftfahrzeug
M	Meter
mm	Millimeter
MATOW	Maximum Allowable Take-off Weight
MTOW	Maximum Take-off Weight
PAPI	Precision Approach Path Indicator
RESA	Runway End Safety Area
RVR	Runway Visual Range
sog.	so genannt
t	Tonnen
TODA	Take Off Distance Available
TORA	Take Off Run Available
usw.	und so weiter
VASIS	Visual Approach Slope Indicator
z.B.	zum Beispiel
ZFV 1972	Zivilflugplatz – Verordnung 1972

# 1 Einleitung und Aufgabenstellung

## 1.1 Ausgangslage

Die Luftfahrt ermöglicht es, große Distanzen rasch zu überwinden. Dadurch nimmt die Luftfahrt eine wichtige Rolle in der globalisierten Welt von heute ein. Sie ermöglicht den Transport von Personen und Waren rund um die Erde. Aufgrund des zunehmenden Verkehrsaufkommens stehen Flughäfen vor der permanenten Herausforderung, sich die ständig wechselnden Anforderungen bezüglich spezifischer Positionsbelegungen oder den Rollverkehr durch Optimierung der vorhandenen Infrastruktur anpassen zu müssen, sind im Hinblick auf die Sicherheit gewisse Standards zu definieren. Die Sicherheit hat in der allgemeinen Luftfahrt immer höchste Priorität. Nach Angaben im Jahresbericht der ICAO (International Civil Aviation Organization) finden jährlich weltweit mehr als 30,5 Millionen Flüge der zivilen Luftfahrt statt, das ist ungefähr ein Flug jede Sekunde. [1] Gleichzeitig wuchs laut Aviation Safety Network die Zahl der Unfälle bei kommerziellen Flügen im Jahr 2013 auf 29 im Vergleich zu 2012, als 23 Unfälle registriert worden waren (siehe Abb. 1). Abbildung 2 zeigt die Anzahlen Unfällen in verschiedenen Phasen eines Fluges für das Jahr 2013. Zu den Kernvorgaben der Untersuchung von Unfällen gehören die Start- und Landephasen, die Bewegungen des Flugzeugs auf den Rollwegen und den Abstellpositionen, da hier die meisten Unfälle passieren und mit der Sicherheit aus Sicht der Ausrüstung und Befeuertechnik eines Flughafens verbunden sind, sowie eine große Bedeutung für Flugbetriebsflächenbau haben. [1]

**ZAHL DER UNFÄLLE**  
**Zivile Luftfahrt 2000 bis 2013**

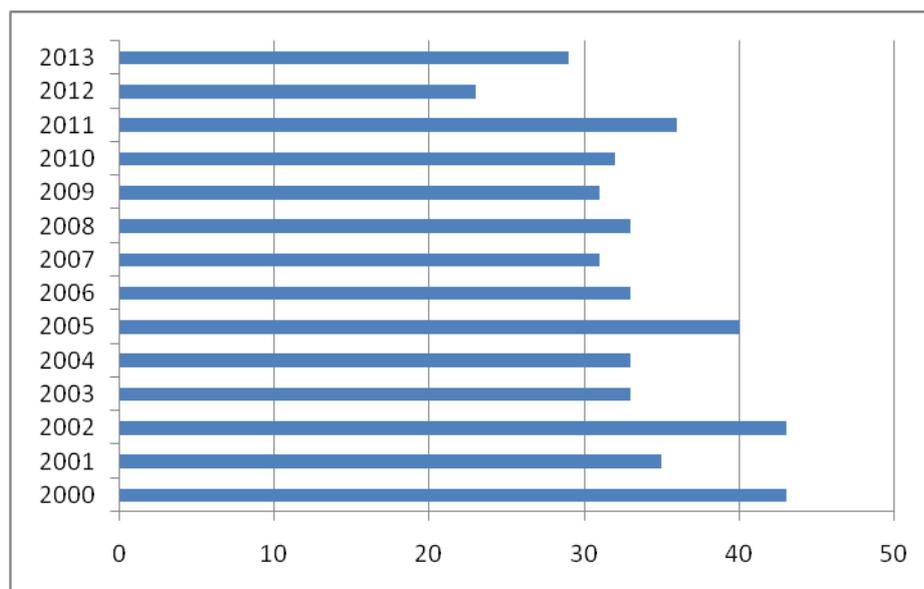


Abbildung 1: Zahl der Unfälle von 2000 bis 2013 [1]



Abbildung 2: Phasen der Unfälle [1]

Im Rückblick des Flugbetriebsflächenbaus kann der Beginn der ersten festen Pisten etwa mit dem Jahr 1918 angesetzt werden. Zunächst waren große Flächen für Starts und Landungen der Flugzeuge vorgesehen, auf denen die Flugzeuge nach der Windrichtung starten und landen konnten. Wegen der durch das steigende Flugaufkommen bedingten Notwendigkeit zur Vermeidung von Unfällen, wurde der schon in Windrichtung angelegte Streifen von einem zweiten Landestreifen gekreuzt. Mit fortschreitender Technik änderten sich auch die Anforderungen an die physische Beschaffenheit der Start- und Landebahnen. Die Graspisten der Anfangsjahre wurden mit Schotter befestigt, um sie weniger anfällig gegen Nässe zu machen. Mit der Entwicklung von größeren und schwereren Flugzeugen benötigte es sowohl längere Startrollstrecken als auch festere Landestreifen. Die asphaltierten Pisten kamen nach dem zweiten Weltkrieg. Die frühen Runway-Systeme wiesen meist zwei Start- und Landebahnen auf, die in der Form „X“, „+“, „T“ oder „L“ angelegt waren (siehe Abb. 3). Die Verkehrsflugzeuge der neueren Generation stellten immer mehr neue Erfordernisse und Herausforderungen an die Flughafenplaner. Allerdings mussten die meisten Pisten nicht so sehr verlängert als vielmehr verbreitert werden. [2]

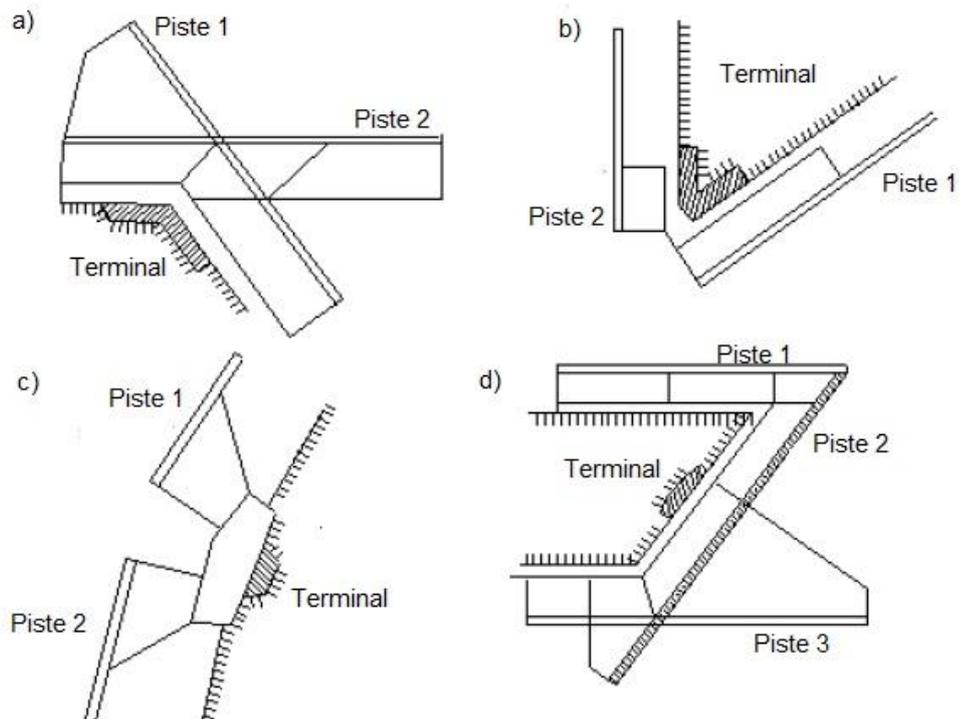


Abbildung 3: Beispiele für die Anordnung von Start- und Landebahnen [3]

Die stürmische Entwicklung des Luftverkehrs erfordert oft genug spontane Änderungen geplanter Ausbaumaßnahmen. Ständig müssen die Einrichtungen renoviert, modifiziert oder erweitert werden. An den größten und modernsten Flughäfen der Welt wird also ständig gebaut. Die Infrastruktur muss an neue Gegebenheiten angepasst werden, die entweder durch das Verkehrswachstum oder neue Technologien bedingt sind.

## 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, die Sicherheitsstandards der Flughäfen weltweit zu betrachten. Die Erarbeitung beschäftigt sich ausschließlich mit der Ausrüstung und der Befuerungstechnik von Flugbetriebsflächen. Der Inhalt soll ein weites Spektrum der modernen Flugsicherung abdecken. Die Arbeit gewinnt an Bedeutung durch die Bereitstellung eines Kriterienkatalogs, der auf der Analyse von Mängeln basiert. Die Diplomarbeit soll einen umfassenden Überblick über Vorschriften und Empfehlungen einer Flugsicherung und einer Flugsicherheit anbieten, die auch den Anforderungen der Internationalen Zivilen Luftfahrtorganisation ICAO und des Weltpilotenverbandes IFALPA entsprechen müssen.

### 1.3 Begriffsdefinition

Die Klassifizierung von Flugbetriebsflächen ergibt sich entsprechend den Richtlinien ICAO Anhang 14 [11] aus der vorhandenen Start- und Landebahnlänge und dem eingesetztem Flugzeug mit der größten Flügel-Spannweite bzw. dem breitesten Hauptfahrwerk.

Um gewisse Standards bezüglich der Sicherheit und der Vereinheitlichung von Flughäfen mit unterschiedlicher Größe und Funktion zu definieren, wird durch die internationalen Richtlinien der ICAO ein sog. „Flughafen Referenz Code“ definiert. Dieser ermöglicht es, die zahlreichen Bestimmungen der physischen und betrieblichen Flugplatzmerkmale zueinander in Beziehung zu setzen. Damit können eine Reihe von Flughafeneinrichtungen und -anlagen festgelegt werden, die für die am Flughafen verkehrenden Flugzeuge geeignet sind. Dabei sind folgende Begriffe von besonderer Bedeutung.

- **Flugsicherung** – durch die Flugsicherung werden alle an- und abfliegenden, sowie die auf den Pisten und Rollwegen befindlichen Luftfahrzeuge kontrolliert und deren Rollbewegungen angewiesen.
- **Flugsicherheit** – umfasst Untersuchung und Einordnung von Flugunfällen und entspricht den Sicherheitsvorschriften und Kontrollen.
- **Flugbetriebsflächen** sind alle Flächen auf einem Flughafen, auf denen sich Luftfahrzeuge am Boden nach Landung und vor einem Start bewegen. Die Flugbetriebsflächen teilen sich in Rollfeld und Vorfelder (siehe Abb. 4).
- **Rollfeld** ist der Bereich der Flugbetriebsflächen, der sämtliche Pisten sowie Rollbahnen einschließt.
- **Piste (Start- und Landebahn) – Runway**– wird die Fläche genannt, auf der die Luftfahrzeuge starten und landen.
- **Rollbahnen – Taxiway** – sind die Verbindung zwischen Pisten und Vorfeldern.
- **Vorfeld – Apron** – ist der Bereich eines Flughafens, welcher dem Abstellen der Luftfahrzeuge dient und auf dem verschiedenen Betriebsprozesse, wie z. Bsp. die Be- und Entladung, die Versorgung und Entsorgung (Müll, Fäkalien, Wasser), das Ein- und Aussteigen der Passagiere, die Betankung sowie Wartungsarbeiten durchgeführt werden. [4]

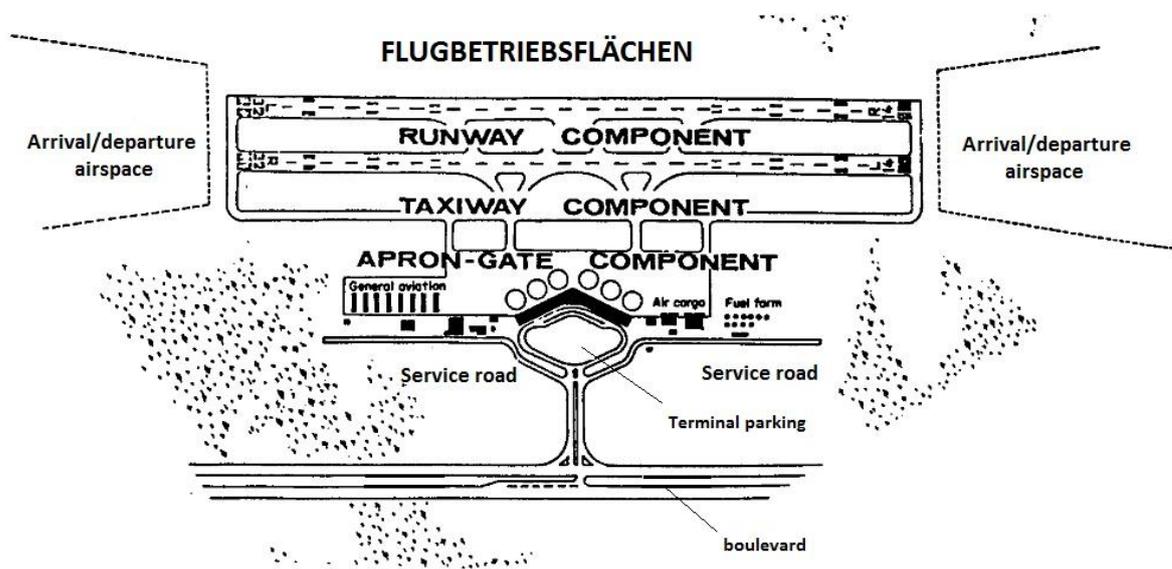


Abbildung 4: Start- und Landebahn, Rollwege, Vorfeld [5]

## 2 Projektierung von Flugbetriebsflächen

### 2.1 Grundlagen

Im Kap. 2 werden die relevanten, betrieblichen und technischen Grundlagen für die Projektierung der Flugbetriebsflächen dargestellt. Die rechtlichen Grundlagen für das Projektfeststellungsverfahren zum Ausbau eines Flughafens und die nachfolgende technische Projektierung der Flugbetriebsflächen gründen auf den entsprechenden internationalen Vorschriften. Das für die Flugbetriebsflächen maßgebliche Regelwerk ist der Anhang 14 (Volume 1 – Aerodrome Design and Operations) – Anlage und Betrieb von Flugplätzen der Zivilen Luftfahrtorganisation (kurz ICAO) [1], das für eine internationale einheitliche Handhabung sorgt und Mindeststandards und praktische Empfehlungen an Dienstleistungen für die Luftfahrt sichert. Weiters wird noch die österreichische Gestaltungsrichtlinie für Flugbetriebsflächen – Zivilflugplatz – Verordnung (kurz ZFV 1972) behandelt, die allgemeine Regelungen für die Projektierungsgrößen durch die Klasse der Piste und Betriebseinrichtungen gibt.[6] Um eine flugbetriebliche Gesamtfunktionalität des gesamten luftseitigen Flughafenbereichs (Vorfelder, Rollverkehrsflächen, Start- und Landebahnsystem und Luftraumbereich) zu erreichen, ist es außerdem wichtig noch, das Verkehrsaufkommen zu prognostizieren.

### 2.2 Projektierung der Pisten gem. ICAO und gem. ZFV 1972

Als Piste (Start- und Landebahn) definiert man die befestigte Fläche eines Flugplatzes, auf der sowohl startende Flugzeuge beschleunigen, als auch landende Flugzeuge aufsetzen und abbremsen. Die Piste gehört zu der Flughafeninfrastruktur. Es gibt zahlreiche Faktoren, die auf der Wahl der Richtung, Länge und Breite der Piste wirken. Maßgeblich hängt die Länge der Piste vom Beschleunigungs- und Bremsweg eines Bemessungsflugzeuges (BFZ) ab. Haupteinfluss üben der Benutzbarkeitsfaktor und die Lärmprobleme durch die An- und Abflugstrecken auf Wohngebiete nahe an einem Flugplatz aus. Der Benutzbarkeitsfaktor ergibt sich aus der Windverteilung und bestimmt die Ausrichtung des Start- und Landebahnsystems. Flugzeuge starten und landen gegen den Wind, um einen maximalen Auftrieb zu erzeugen und die Start- und Landstrecke zu verkürzen. Deshalb ist idealerweise die Hauptbahn nach der Hauptwindrichtung zu bauen. Der Benutzbarkeitsfaktor muss mindestens 95% des Flugplatzes für die BFZ betragen. Für dessen Berechnung sind zuverlässige Statistiken zur Windverteilung nötig. Die Beobachtungen umfassen möglichst einen längeren Zeitraum (mehr als fünf Jahre und dazu mindestens achtmal täglich in gleichmäßigen Zeitabständen).

Der ICAO-Bezugscode ermöglicht es, die zahlreichen Bestimmungen über Flugplatzmerkmale zueinander in Beziehung zu setzen und eine Reihe von Flugplatzeinrichtungen festzulegen. Die Flugplatzeinrichtungen sind für Luftfahrzeuge geeignet, die auf dem Flugplatz verkehren

sollen. Der Bezugscode setzt sich aus der Code-Zahl (Element 1) und dem Code-Buchstaben (Element 2) zusammen (Siehe auch Tabelle 3). Die Bemessungsflugzeuge und das Ab- und Anflugverfahren bestimmen die Dimensionierungsvorgabe eines Flughafens. Die Aussagen über die Luftfahrzeuge sind durch den ICAO-Code-Buchstaben (Code Letter) charakterisiert, der über die Abmessungen eines Flugzeuges definiert wird. Der ICAO-Code-Buchstabe ist so zu wählen, dass er der größten Spannweite oder aber dem größten Abstand der Räder des Hauptfahrwerks entspricht. [7]

Tabelle 1 zeigt Startgewichte und den Aerodrome Ref. Code gemäß Typenblatt für ausgewählte Flugzeugmuster. In der Praxis wird in (maximum) ramp weight, maximum taxi weight, maximum take off weight (MTOW) und maximum allowable take off weight (MATOW) unterschieden. Häufig wird MTOW verwendet. Als derzeit größtes Flugzeug gilt die Antonow AN – 225, eine Frachtmaschine, die 600 t MTOW (max. Abfluggewicht) aufweist. Als BFZ-Modelle sind aktuelle Passagierflugzeuge (A340, A380) zu erfassen, die bei der Bemessung zu sicheren Ergebnissen führen können. Auf internationalen Verkehrsflughäfen ist für Flugbetriebsflächen ein 570 t Flugzeugtyp als maßgebende Dimensionierungsvorgabe ausreichend. [8]

Tabelle 1: Flugzeugdaten und Flughafen Code [8]

<b>Aircraft Type</b>	<b>Wing Span (m)</b>	<b>Max. ramp weight (t)</b>	<b>Aerodrome Ref. Code</b>
Boeng747 - 400	64.44	278	4E
Airbus A340 - 500/600	63.45	381	4E
Airbus A380 - 800	79.75	560	4F

Derzeit teilen sich die Flugzeughersteller Boeing und Airbus den Markt auf. Beide Firmen bieten Flugzeugfamilien an, die eine hohe Kommunalität behaupten. Boeing bedient mit dem Flugzeugmuster B747-400 ca. 390 Passagiere und Reichweite 11.000 km den Markt, Airbus Industries mit den Flugmustern A330/A340/A350 die Langstrecke ca. 261 – 381 Passagiere, Reichweiten 9.000 – 16.050 km. Der Aibus A380 – 800 verfügt in der Basisbestuhlung über 555 Sitzplätze bei einer Reichweite von 14.800 km.

Die Airbusfamilien (Bestuhlung und Reichweiten) sind in Abbildung 5 dargestellt und die zusätzlichen Flugzeugcharakteristika sind in der Tabelle 2 verfügbar. [9]

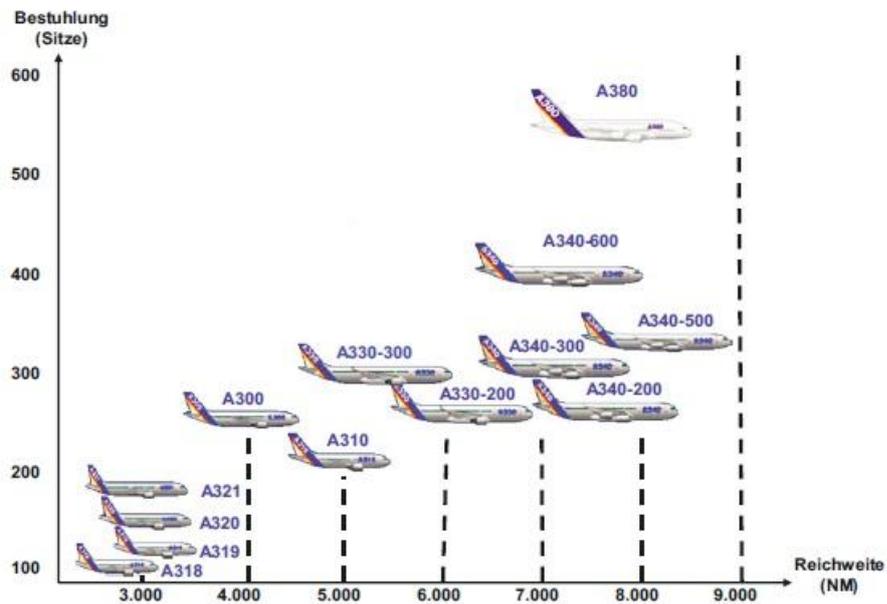


Abbildung 5: Beispiel Airbus – Flugzeugfamilie (Bestuhlung vs. Reichweite) [9]

Tabelle 2: Flugzeugcharakteristika ausgewählter Airbus und Boeing Flugzeuge [9]

Flugzeugmuster	Spannweite (m)	Länge (m)	Maximale Startmasse (t)	Maximale Nutzlast (t)	Bestuhlung
A380-800	79.75	72.73	560	66.40	525
A380-800 F (geplant)	79.75	72.73	590	149.92	12-19 Courierplätze
A380-900	79.75	72.73	590	95	656
A340-600	63.45	75.30	368	55.60	380
A340-500	63.45	67.90	372	95.50	313
A340-300E	60.30	63.60	275	43.50	295
A340-200	63.30	59.39	257	40.60	212
A330-300	60.30	63.60	230	45.90	295

A330-200	60.30	58.80	233	36.40	253
A330-200F	60.30	58.80	233	64.00	4 Courierplätze
A300-600	44.84	54.08	150	34.70	270
A310-300	43.90	46.70	125	30.00	222
A321-100/200	34.10	44.51	89	20.00	182
A320-200	34.10	37.57	73.5	16.60	150
A319-100	34.10	33.84	65	13.20	126
B777-300ER	64.80	73.90	351.53	69.85	365
B777-300	60.90	73.90	299.37	59	bis 550 möglich
B777-200	60.90	63.70	247.21	49.00	bis 400 möglich
B747-400	64.44	70.66	394.60	51.00	390
B747-200	59.64	70.51	377.80	56.10	389
B737-300	28.88	33.40	57.60	14.30	123
B737-500	28.88	31.01	54.00	11.50	121

Die Einteilung der Flugpisten nach Codes gem. ICAO Anhang 14 bezieht sich auf die Leistungsmerkmale und die Abmessungen des kritischen LFZ (Bemessungsflugzeug). Das Code-Element 1 ist eine Zahl auf der Grundlage der Bezugsstartbahnlänge und das Code-Element 2 ist ein Buchstabe, der der Spannweite und Spurweite des Hauptfahrwerkes entspricht. Der Flugplatz-Bezugscode, muss in Übereinstimmung mit den Merkmalen und Eigenschaften des Bemessungsflugzeuges festgelegt werden. In der Tabelle 3 sind ICAO Aerodrome Runway Reference Codes zu sehen und die Mindestlängen- und Breiten zu entnehmen. [9]

Tabelle 3: ICAO Aerodrome Runway Ref. Codes (Annex 14) / Code-Elemente des Flugplatzbezugscode [9]

Code-Element 1			Code-Element 2		
Code-Zahl	Flugzeugbezugs-Startbahnlänge (m)	Code-Buchstabe	Flugzeugbezugs-Startbahnbreite (m)	Spannweite der Tragflächen (m)	Spurweite des Hauptfahrwerkes (m)
1	< 800	A	18	< 15	< 4.5
2	800 bis < 1.200	B	23	15 bis < 24	4.5 bis < 6
3	1.200 bis < 1.800	C	30	24 bis < 36	6 bis < 9
4	>1.800	D	45	36 bis < 52	9 bis < 14
		E	45	52 bis < 65	9 bis < 14
		F	60	65 bis < 80	9 bis < 14

Während nach ICAO, Annex 14 das Bemessungsflugzeug für die Projektierungsparameter von Bedeutung ist, wird in der ZVF 1972 die Klasse der Piste definiert und daraus leiten sich alle anderen Projektierungsgrößen ab.

Die Projektierung der Flugpisten gem. ZVF 1972 ist in Abb. 6 dargestellt, wodurch es möglich ist, die Pistengrundlänge (Startlaufstrecke) leicht zu definieren.

**Pistengrundlänge (Startlaufstrecke):** Die Pistengrundlänge (Startlaufstrecke) bezeichnet die Länge, die den Betriebsanforderungen für Start und Landung einer Luftfahrzeugtype auf einer horizontalen befestigten Piste in Meereshöhe bei Normalatmosphäre und Windstille entspricht. [6]

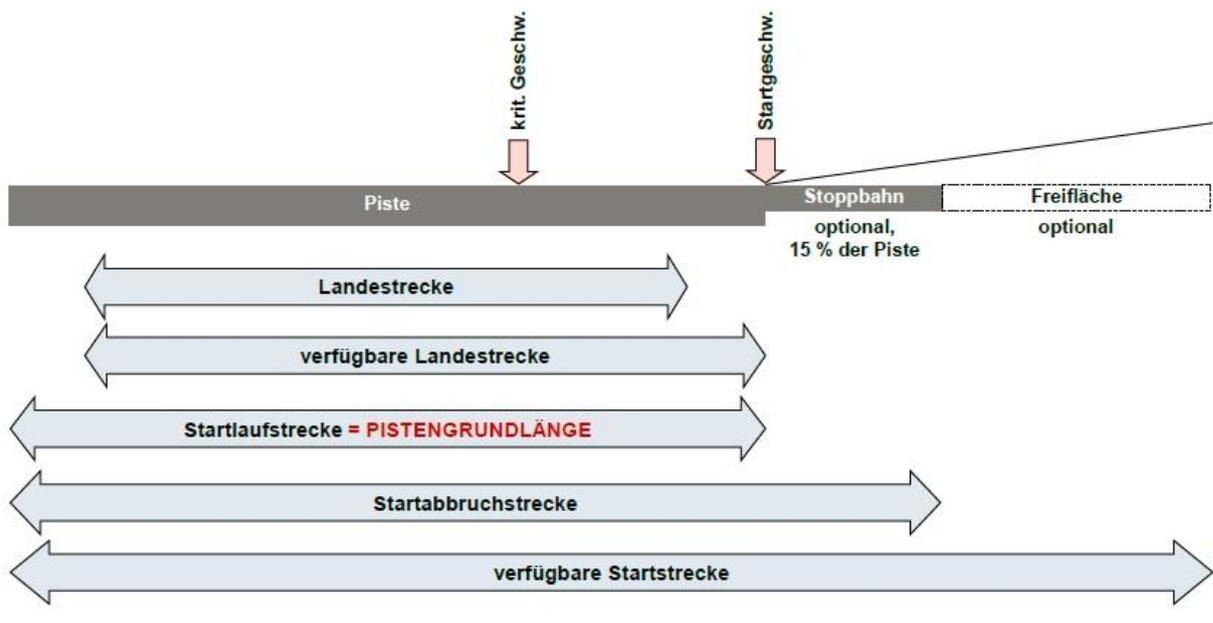


Abbildung 6: Beispiel – Pistenlänge nach ZFV 1972 [10]

Die Landpisten bei Normalatmosphäre und Windstille sind nach ihrer Pistengrundlänge in ZFV 1972 in folgenden Klassen eingeteilt, durch die auch die weiteren Projektierungsparameter definiert werden: (Siehe Tabelle 4)

Tabelle 4: Projektierungsparameter einer Start- /Landebahn nach ZFV 1972 [6]

Klasse	Pistengrundlänge [m]	Mindestpistenbreite [m]	Mindestabstand von Parallelpisten [m]	Max. Querneigung [%]	Max. Längsneigung [%]
	≥ 2100	45	210	1,5	1,25
B	1500 bis 2100	45	210	1,5	1,25
C	900 bis 1500	30	150	1,5	1,5
D	750 bis 900	23	120	2,0	2,0
E	600 bis 750	18	120	2,0	2,0
F	400 bis 600	18	100	3,0	2,0

Bei parallelen Pisten verschiedener Klassen richtet sich der zulässige Mindestabstand nach der längeren Piste.

Es ist noch anzumerken, dass die Grundlänge

- für je 30 m der Flugplatzbezugshöhe um 0,7 % zu vergrößern ist;
- für je 1 Grad Celsius, um welches die Flugplatzbezugstemperatur die Temperatur in Normalatmosphäre für die Flugplatzbezugshöhe überschreitet, um 1 % zu vergrößern ist;
- bei längsgeneigten Pisten der Klassen A, B und C um 10 % je 1 % der Pistenlängsneigung zu vergrößern ist.

Weiter ist es erlaubt, bei unbefestigten Pisten der Klassen D, E, F die tatsächliche Pistenlänge aus der Pistengrundlänge und einem Zuschlag von 1 % derselben für je 30 m der Flugplatzbezugshöhe zu ermitteln. [6]

Zusammenfassend erfolgt die Erfassung der Projektierungsparameter (Pistenlänge, -breite etc.) nach dem BFZ, seinen technischen Daten und der Klasse der Piste. So kann z. B. ein großes LFZ mit hohem Startgewicht eine Startbahnlänge von 3.000 bis 4.000 m erfordern und ein Großraumflugzeug wie A380 eine Breite von 60 m benötigen. Die standortbezogenen Faktoren wie hohe Temperatur, Bahnneigung und die Lage des Flugplatzes über dem Meer, bei der geringerer Luftdruck resultiert und die Möglichkeit für einen verschlechterten Auftrieb und eine verminderte Triebwerksleistung hervorruft, haben ebenfalls einen Einfluss auf die Länge der Piste. Falls die Flugleistungsdaten von LFZ, für die die Start- und Landebahn bestimmt ist, nicht bekannt sind, ist die tatsächliche Länge durch die örtlichen Bedingungen, Flugplatz Code-Zahl und folgende Zuschläge (7 % für 300 m Höhenlage über NN; 10 % für 1 % Längsneigung der Bahn; 5 % als Temperaturzuschlag, der einer Bezugstemperatur von 20° C entspricht; 20 % für Grasbahnen) vorzunehmen. Weiterhin ist die Start- und Landemasse vom LFZ auch eine wichtige Voraussetzung beim Konstruieren und bei der Berechnung der Tragfähigkeit der Start- und Landebahnen. Während leichte Flugzeuge von einfachen Grasbahnen starten können, ist das für schwerere Verkehrsflugzeuge nicht möglich, weil ihre Fahrwerke im Boden einsinken würden. Ein anderes spezifisches Problem bei Graspisten ist die Unbenutzbarkeit nach starken Regenfällen. Deshalb wird der Boden vor dem Bau des Flugplatzes drainiert oder der Boden mit Gittern verstärkt. Die Stärke der Beläge der Bahnen ist zwischen 25 cm bis zu 130 cm für hochbelastete Bahnen, die entweder aus Beton oder aus Asphalt bestehen. Bei Betonpisten ist die Oberfläche gefräst (Grooving), damit das Wasser abfließen kann und kein Aquaplaning entsteht. Das Verlaufen der Rillen der Oberfläche soll entweder senkrecht zur Start- und Landebahnmittellinie oder parallel zu nicht senkrechten Querfugen sein. Der Schwerpunkt bei der Ausführung der Oberfläche von Start- und Landebahnen liegt darin, dass diese ein gutes Reibungsverhalten aufweisen, wenn die Bahnen nass sind. Beim Abfall

des Reibungsverhaltens ist es möglich, Unregelmäßigkeiten in der Oberfläche entstehen, die übermäßige Stöße, übermäßiges Nicken, übermäßige Vibrationen oder andere Erschwernisse beim Steuern eines Luftfahrzeuges verursachen. Die durchschnittliche Tiefe der Oberflächenstruktur einer neuen Oberfläche soll mindestens 1 mm betragen. Die Messungen des Reibungsverhaltens werden durch Reibungsmessgerät mit Vorrichtung zur Oberflächenbenetzung festgestellt. [9]

Die Leitlinie dieser Entwurfsziele ist es , einen bestmöglichen Ablauf der Flugbewegungen sicherzustellen, ohne dass das LFZ oder die Start- und Landebahn Schaden nimmt.

Weiters werden die Luftraumanforderungen durch die Bedeutung von solchen existierenden oder potentiellen Hindernissituationen bestimmt, die die effektive Nutzung des Flughafens durch natürliche oder künstliche Hindernisse in An- und Abflugbereichen der Start- und Landebahn beeinträchtigen. Als Hindernisse werden alle festen (zeitweilig oder ständig vorhandenen) Objekte bezeichnet, die sich auf einer für die Bodenbewegung von Flugzeugen bestimmten Fläche befinden oder über eine festgelegte Fläche hinausragen, die zum Schutze von Luftfahrzeugen im Fluge bestimmt ist. Diese Hindernisse können die verfügbaren Start- und Landelängen einschränken und sich somit negativ auf die Kapazität und Leistungsfähigkeit eines Flughafens auswirken. Aus diesem Grunde werden spezielle lokale Lufträume als integrierter Teil der direkten Flughafenumgebung definiert. Die Einschränkung der Freiheiten von potentiellen Hindernissen in diesen Bereichen ist für eine sichere und effektive Nutzung eines Flughafens genauso wichtig wie die physikalischen Eigenschaften der Start- und Landebahn und der sie umgebende Streifen. Mit der Bestimmungen der ICAO und der ZFV 1972 bezüglich den Hindernisfreiheiten wird bezweckt, den von Hindernissen freizuhaltenden Luftraum um Flugplätze festzulegen, damit der beabsichtigte Flugbetrieb an den Flugplätzen sicher und effektiv durchgeführt werden kann. Zudem soll mit den definierten Hindernisfreiflächen verhindert werden, dass die Flugplätze durch die Zunahme von Hindernissen in ihrer Umgebung unbenutzbar werden bzw. eine Einschränkung ihrer Verkehrskapazität erhalten. Die Definition von Hindernisfreiheiten wird durch die Errichtung von sog. Hindernisbegrenzungsflächen erreicht. Diese Flächen stellen die Grenzen dar, bis zu denen Objekte in den Luftraum hineinragen dürfen. Die Hindernisbegrenzungsflächen nach ICAO Anhang 14 und ZFV 1972 definieren gewissermaßen den notwendigen Luftraum, der von Hindernissen freizuhalten ist. Dadurch wird die Gefahr für Flugzeuge während Start und Landung minimiert. [7]

Die Hindernisbegrenzungsflächen nach ICAO Anhang 14 bestehen aus folgenden Teilflächen:

- **Streifen um die Start- und Landebahn:** Der Streifen umgibt die Start- und Landebahn auf jeder Seite und an jedem Ende. Er beschreibt einen Sicherheitsbereich, der frei von Hindernissen sein soll und im Falle, dass ein Luftfahrzeug die Start- und Landebahn verlässt, ausreichend tragfähig ist;

- **Äußere Horizontalfläche:** Die Erfahrung zeigt, dass die signifikanten Probleme im Umkreis von Flughäfen durch hoch aufragende Bauten und Strukturen entstehen können. Daher sollen im Umkreis von 15 km keine Bauwerke oder Strukturen in diese Fläche hineinragen. Sie liegt bei ICAO-Code 4 Flughäfen 100 m über der Flughafenbezugshöhe;
- **Übergangsfläche:** Die seitliche Übergangsfläche stellt eine geneigte Fläche dar, die den Streifen mit der inneren Horizontalfläche verbindet. Diese ist gemäß der Richtlinien der ICAO Anhang 14 um 14,3 % (1:7) geneigt;
- **Innere Horizontalfläche:** Die innere Horizontalfläche dient insbesondere dem Schutz des Luftraums für die in Warteschleifen befindlichen Luftfahrzeuge vor der Landung. Sie befindet sich in einer horizontalen Ebene, 45 m über dem Flughafen und seiner Umgebung. Der Radius der äußeren Grenzen der inneren Horizontalfläche bezieht sich auf einen festen Bezugspunkt, der sich für den Flughafen in der Mitte der Start- und Landebahn befindet;
- **Anflugfläche:** Die Anflugfläche beschreibt eine fächerförmige, schräg und horizontal verlaufende Ebene an jedem Ende des Streifens vor der Schwelle;
- **Kegelfläche:** Die Kegelfläche verbindet die innere und äußere Horizontalfläche mit einer Neigung von 5 %;
- **Innere Anflugfläche:** Die innere Anflugfläche beschreibt einen rechteckigen Teil der Anflugfläche, der unmittelbar vor der Schwelle liegt;
- **Innere Übergangsfläche:** Die innere Übergangsfläche ist eine der Übergangsfläche ähnliche Fläche, die jedoch näher bei der Start- und Landebahn liegt. Sie ist maßgebend für die Hindernisbegrenzung hinsichtlich der Navigationshilfen, Luftfahrzeugen und anderen Fahrzeugen, die sich in der Nähe der Start- und Landebahn befinden müssen;
- **Durchstartfläche:** Die Durchstartfläche beschreibt eine schiefe Ebene in einem festen Abstand hinter der Schwelle, die sich zwischen den inneren Übergangsfläche erstreckt;
- **Abflugfläche:** Die Abflugfläche definiert eine fächerförmige schräg und horizontal verlaufende Ebene an jedem Ende der Startbahn. [9]

In der folgenden Abbildung 7 wird schematisch visualisiert, wie sich die Hindernisbegrenzungsflächen im Bereich des Flughafens nach ICAO darstellen.

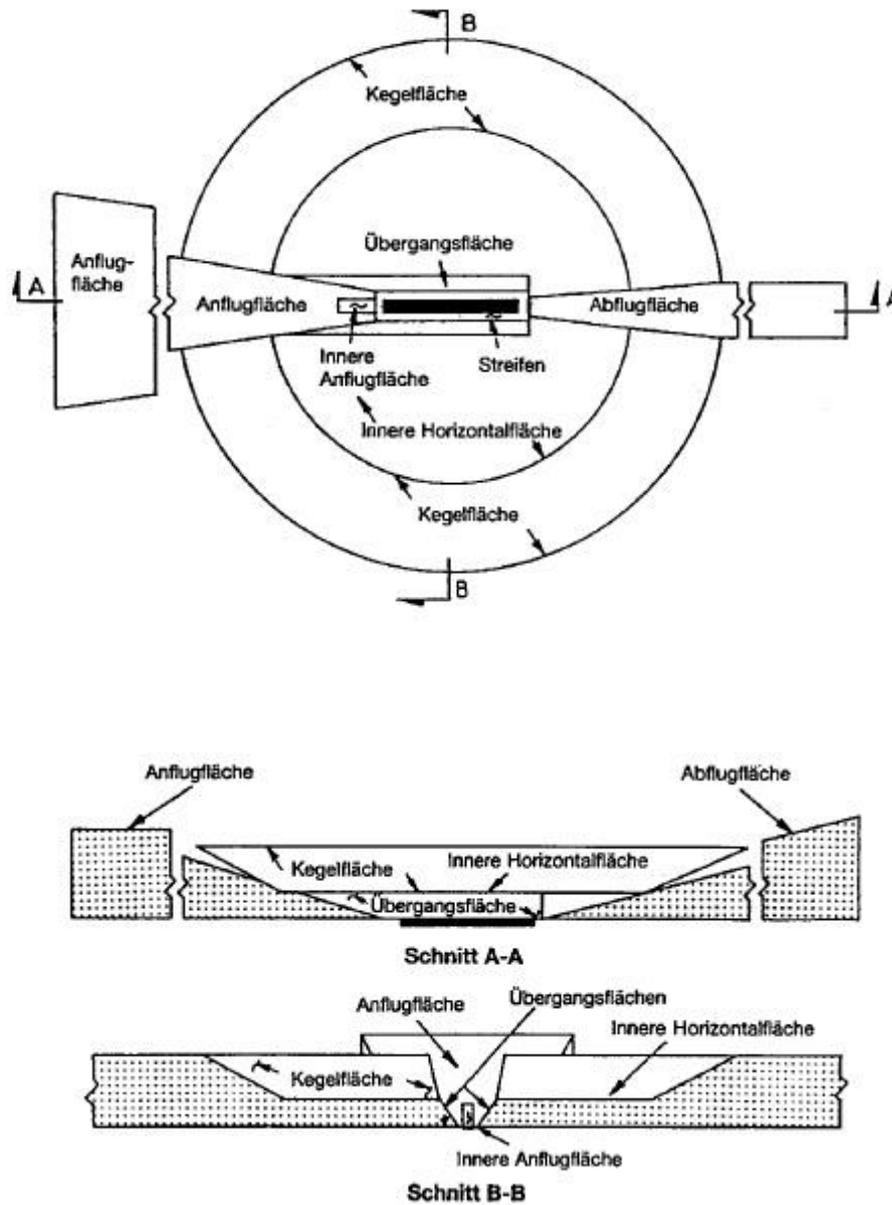


Abbildung 7: Hindernisbegrenzungsflächen (2 – dim. Darstellung) [9]

Die Maße und Neigungen von Hindernisbegrenzungsflächen sind in der nächsten Tabelle gezeigt.

Tabelle 5: Maße und Neigungen von Hindernisbegrenzungsflächen [10]

Fläche und Maße <sup>a</sup>	Codezahl		
	1	2	3 oder 4
<b>Anflugfläche</b>			
<b>Länge d. Innenrandes (m)</b>	60 m	80 m	180 m
<b>Abstand v.d. Schwelle (m)<sup>b</sup></b>	30 m	60 m	60 m
<b>Divergenz jede Seite</b>	10%	10%	12,5%
<b>Breite</b>	380 m	580 m	1200 m
<b>Länge</b>	1600 m	2 500 m	15 000 m
<b>Neigung</b>	5%	4%	2%

a – alle Maße sind horizontal gemessen, falls nicht anders angegeben;

b – Die Abflugfläche beginnt am Ende der Freifläche, falls die Länge der Freifläche den angegebenen Abstand übersteigt.

Als Hindernisse nach ZFV 1972 gelten insbesondere Bauwerke, Sträucher, verspannte Seile und Drähte sowie Bodenerhebungen, soweit sie folgende, den Schutzbereich (Hindernisbegrenzungsflächen) nach unten begrenzenden Flächen (Grenzflächen) überragen:

- a) die Erd- bzw. Wasseroberfläche im Bereich der für den Start und für die Landung bestimmten Bewegungsflächen,
- b) die Erd- bzw. Wasseroberfläche des Pistenvorfeldes in den Anflugsektoren, und zwar:
  - bei Präzisionsanflugpisten der Kategorie II und III innerhalb von 1000 m, bei anderen Pisten der Klassen A, B und C innerhalb von 300 m vom Ende des Sicherheitsstreifens
  - bei Pisten der Klassen D, E, F und Flugfeldern ohne Pisten innerhalb von 150 m vom Ende des Sicherheitsstreifens,
- c) die Anflugflächen,

- d) die Übergangsflächen,
- e) die Horizontalfläche,
- f) die Kegelfläche. [6]

Die Schutzbereiche nach ZFV 1972 sind schematisch auf der nächsten Bild dargestellt:

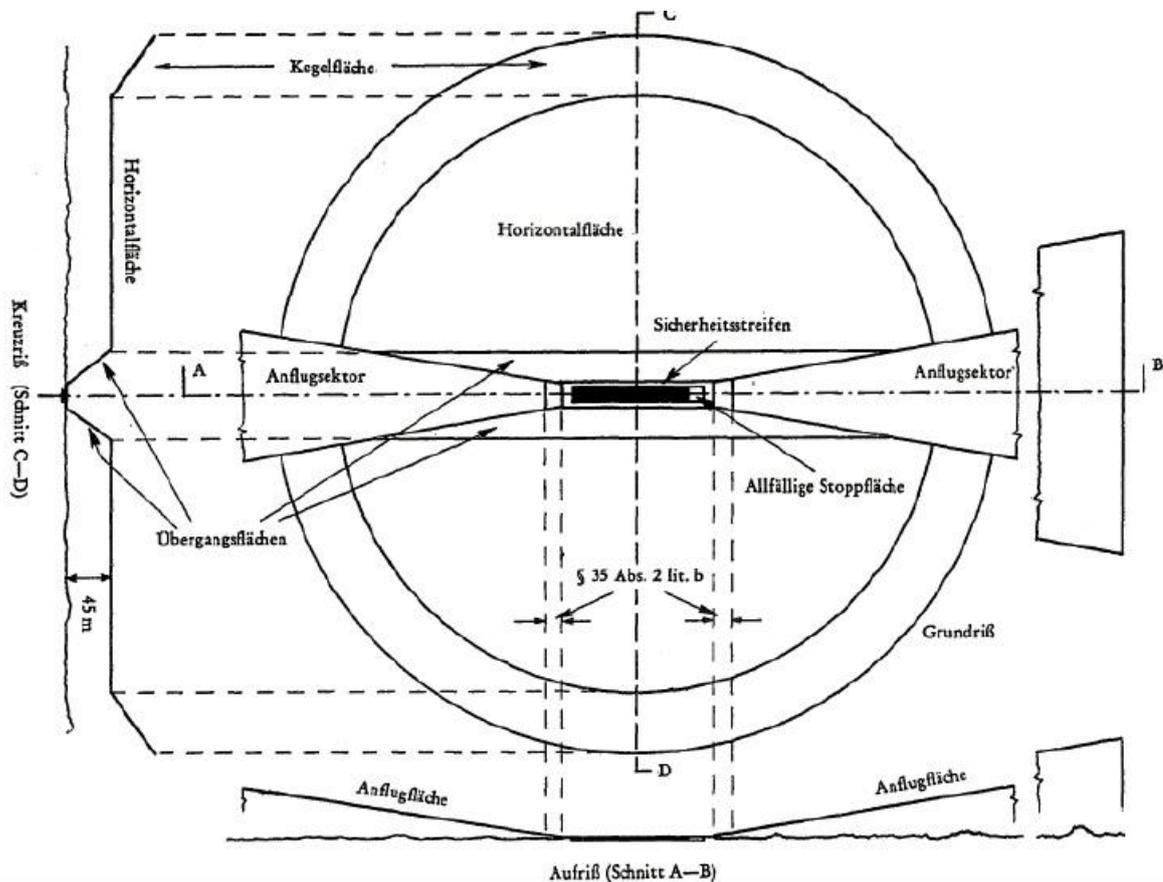


Abbildung 8: Schutzbereiche nach ZFV 1972 [3]

**Anflugflächen** – Die Grundrisse der Anflugflächen müssen mit den Grundrissen der Anflugsektoren zusammenfallen, wobei als Basis der Anflugfläche eine horizontale Gerade in der Höhe der Schwelle über dem mittleren Meeresspiegel gilt. Die Neigung der Anflugflächen darf nicht übersteigen:

- 2,0% bei Instrumentenpisten der Klassen A und B;
- 2,5% bei anderen Landpisten der Klassen A und B;
- 3,3% bei Landpisten der Klasse C;
- 4,0% bei Landpisten der Klasse D;
- 5,0% bei Landpisten der Klassen E und F.

Wenn eine Anflugfläche von einem Hindernis überragt wird, welches die Sicherheit der An- und Abflüge gefährdet, dann ist die Schwelle so weit gegen die Pistenmitte zu versetzen, dass die auf die versetzte Schwelle bezogene Anflugfläche von keinem Hindernis überragt wird. [6]

**Übergangsflächen** – Die Neigung der Übergangsflächen, gemessen in der Vertikalebene senkrecht zur Pistenmittellinie, darf nicht größer sein als:

- 14,3 % bei Landpisten der Klassen A, B und C, 20 % bei Landpisten der Klassen D und E;
- 25 % bei Landpisten der Klasse F. [6]

**Horizontalfläche** – Der Radius der Horizontalfläche, deren Mittelpunkt lotrecht über dem Flugplatzbezugspunkt 45 m über der Flugplatzbezugshöhe festzulegen ist, muss mindestens betragen:

- 4.000 m bei Landpisten der Klassen A, B und C;
- 2.500 m bei Landpisten der Klasse D;
- 2.000 m bei Landpisten der Klasse E;
- 800 m bei Landpisten der Klasse F;

Bei Flugplätzen mit mehreren Pisten bestimmt sich der Mindestradius der Horizontalfläche nach der Klasse der längsten Piste. [6]

**Kegelfläche** – Die Kegelfläche muss eine Neigung von 5% aufweisen. Der äußere Rand der Kegelfläche muss über der Horizontalfläche in einer Höhe liegen von:

- 100 m bei Landpisten der Klassen A und B;
- 75 m bei Landpisten der Klasse C;
- 55 m bei Landpisten der Klasse D;
- 35 m bei Landpisten der Klassen E und F. [6]

Ein weiteres Merkmal von Flugplätze sind die Anordnung der Start- und Landebahnen. Mögliche Konfigurationen sind das Einbahn-, das Parallelbahn-, das Kreuzbahn- und das V-Bahnsystem und Kombinationen daraus.

Das Einbahnsystem ist die einfachste Variante (siehe Abb. 9), die von vielen kleineren Flugplätzen genutzt wird. Auf einer solchen Start- und Landebahn sind zwischen 50 und 100

Flugbewegung (Starts und Landungen) pro Stunde möglich (die theoretisch mögliche Jahreskapazität beträgt ca. 180-230 Tsd.). Hauptsächlich hängt dieses Maximum der Flugbewegungen, das die Kapazität maßgeblich, aber nicht ausschließlich bestimmt, von dem Flugzeugmuster, den Wind- und Sichtverhältnissen, den Verzögerungen bei hohem Verkehrsaufkommen, vorhandenen Navigationshilfen und den An- und Abflugverfahren ab. [9]

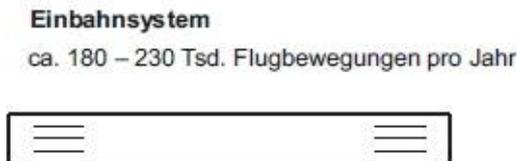


Abbildung 9: Einbahnsystem mit den theoretisch möglichen Jahreskapazitäten [9]

Beim Parallelbahnsystem (Siehe Abb. 10) sind die vorhandenen Bahnen (zwei oder mehr) in paralleler Anordnung gleicher geographischer Ausrichtung. Die Schwellen der Bahnen sind auf gleicher Höhe. Es gibt eine Sonderform des Parallelbahnsystems („staggered system“), bei der die Schwellen der Bahnen nicht auf gleicher Höhe angeordnet sind. Eine solche Anordnung hilft zur Verfügung stehende Flächen effizient auszunutzen und die Kapazität zu erhöhen. Der Abstand der Start- und Landebahnen ist für den möglichen Betrieb und die Kapazität des Bahnsystems entscheidend und wird mit den Begriffen „far, close, intermediate“ bezeichnet. Die Anzahl der Bahnen, die angewendete Flugregeln und die operierenden Flugzeugmuster bestimmen die Kapazität des Parallelbahnsystems. Die Flugbewegungen pro Stunde reichen von 50 bis 120, falls die parallelen Bahnen mehr als zwei sind. [9]

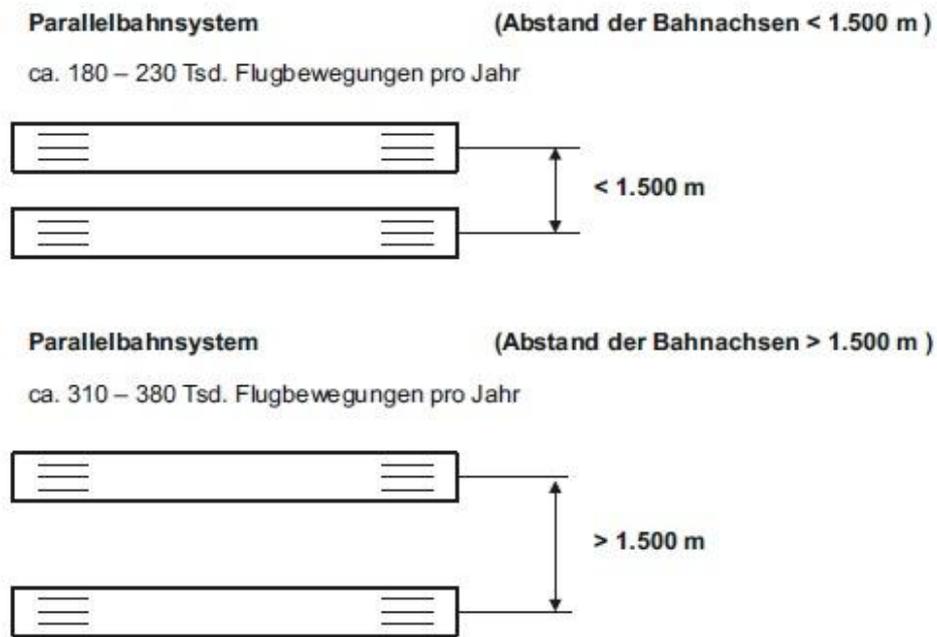


Abbildung 10 : Parallelbahnsystem mit den theoretisch möglichen Jahreskapazitäten [9]

Die Mindestabstände zwischen Parallelbahnsystemen, wo die Start- und Landebahnen für gleichzeitige Nutzung nur unter Sichtwetterbedingungen erlaubt ist, sollen ihre Mittellinie einen Mindestabstand haben von:

- 210 m bei Code-Zahl 3 oder 4;
- 150 m bei Code-Zahl 2 ;
- 120 m bei Code-Zahl 1.

Die Mindestabstände zwischen Parallelbahnsystemen, wo die Start- und Landebahnen für gleichzeitige Nutzung unter Instrumentenwetterbedingungen erlaubt ist, sollen ihre Mittellinie nach ICAO einen Mindestabstand haben von:

- 1.035 m für voneinander unabhängige, parallele Anflüge;
- 915 m für voneinander abhängige, parallele Anflüge;
- 760 m für voneinander abhängige, parallele Abflüge;
- 760 m für getrennten, parallelen An- und Abflugbetrieb.

ausgenommen dass,

- für getrennten parallelen An- und Abflugbetrieb der festgelegte Mindestabstand:

- um 30 m für jede 150 m, um die die Landebahn in Richtung auf die anfliegenden LFZ versetzt ist, bis auf einen Mindestwert von 300 m verringert werden kann und
- um 30 m vergrößert werden soll für jede 150 m, um die die Landebahn von den anfliegenden LFZ weg versetzt ist;
- für unabhängige parallele Anflüge, Kombinationen aus Mindestabständen, und den damit verbundenen Voraussetzungen.

Beim Kreuzbahnsystem (Intersecting Runways) handelt es sich meist um zwei Start- und Landebahnen in unterschiedlicher Ausrichtung, die sich an einer Stelle kreuzen (Siehe Abb. 11). Die unterschiedliche Ausrichtung der Bahnen, die mit den Windverhältnissen übereinstimmen, wird durch lokale Winde aus wechselnden Richtungen bedingt. Bei geringen Windstärken ist es möglich, beide Bahnen zu betreiben. Für die Kapazität des Kreuzbahnsystems ist der Kreuzungspunkt der Bahnen von großer Bedeutung, d.h. je näher der Kreuzungspunkt an der Start- und Landebahnschwelle ist, desto höher ist die Kapazität. [9]

### Kreuzbahnsystem

ca. 200 – 260 Tsd. Flugbewegungen pro Jahr

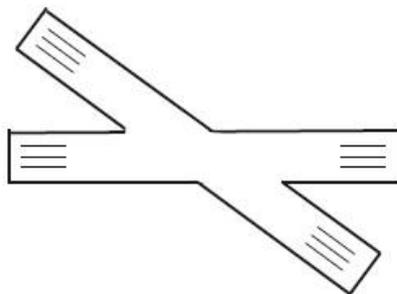


Abbildung 11: Kreuzbahnsystem mit den theoretisch möglichen Jahreskapazitäten [9]

Das offene V-Bahnsystem ist dem Kreuzbahnsystem aufgrund der Einschränkung der Kapazität auf die Nutzung einer Bahn bei starkem Wind ähnlich. Die mindestens zwei Start- und Landebahnen sind in verschiedene geographische Richtungen ausgerichtet, kreuzen sich aber nicht (Siehe Abb. 12). Die geringste Anzahl von Flugbewegungen wird beim Einfliegen in das V erreicht und die höchste Anzahl, wenn die Flüge vom Kreuzungspunkt wegführen.

## Konvergierendes Bahnsystem

ca. 230 – 270 Tsd. Flugbewegungen pro Jahr

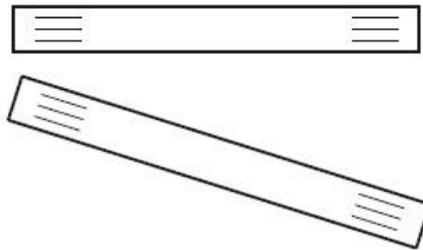


Abbildung 12: Konvergierendes Bahnsystem mit den theoretisch möglichen Jahreskapazitäten [9]

### 2.2.1 Längs - und Querneigungen

Nachfolgend werden die Projektierungsparameter Längs- und Querneigungen der Start- und Landebahnen gem. ICAO vorgestellt. Die Projektierungsparameter Längs- und Querneigungen der Start- und Landebahnen nach ZFV 1972 sind in der Tabelle 4 gezeigt.

Die Längsneigungen der Start- und Landebahnen sollen unter der Berücksichtigung der höchsten und der niedrigsten Höhe auf der Start- und Landebahnmittellinie, bezogen auf die Länge der Start- und Landebahn nicht größer sein als:

- 1 % bei Code-Zahl 3 oder 4;
- 2 % bei Code-Zahl 1 oder 2.

Die Längsneigung der Start- und Landebahn soll in keinem Teil größer sein als:

- 1,25 % bei Code-Zahl 4, außer im ersten und letzten Viertel der Start- und Landebahnlänge, wo die Längsneigung 0,8 % nicht überschreiten soll;
- 1,5 % bei Code-Zahl 3, außer für das erste und letzte Viertel der Länge einer Präzisionsanflug-Landebahn für Betriebsstufe II oder III, wo die Längsneigung 0,8 % nicht übersteigen soll;
- 2 % bei Code-Zahl 1 oder 2.

Wenn Längsneigungsänderungen nicht vermieden werden könnte, soll die Änderung zwischen zwei aufeinander folgenden Neigungen nicht größer sein als:

- 1,5 % bei Code-Zahl 3 oder 4;
- 2 % bei Code-Zahl 1 oder 2.

Der Übergang von einer Neigung zur anderen bildet sich durch eine gekrümmte Fläche, wobei der Änderungswert nicht größer sein soll als:

- 0,1 % je 30 m (Mindestkrümmungsradius 30.000 m) bei Code-Zahl 4;
- 0,2 % je 30 m (Mindestkrümmungsradius 15.000 m) bei Code-Zahl 3;
- 0,4 % je 30 m (Mindestkrümmungsradius 7.500 m) bei Code-Zahl 1 oder 2.

Um ausreichend große Sichtweiten sicher zu stellen, ist eine ungehinderte Sichtlinie bei Neigungsänderungen zu gewährleisten. Diese soll wie folgt beschaffen sein:

- von jedem Punkt 3 m oberhalb einer Start- und Landebahn zu allen anderen Punkten 3 m oberhalb der Start- und Landebahn über eine Entfernung von mindestens der halben Länge der Start- und Landebahn, wenn der Code-Buchstabe C, D, E oder F ist;
- von jedem Punkt 2 m oberhalb einer Start- und Landebahn zu allen anderen Punkten 2 m oberhalb der Start- und Landebahn über eine Entfernung von mindestens der halben Länge der Start- und Landebahn, wenn der Code-Buchstabe B ist;
- von jedem Punkt 1,5 m oberhalb einer Start- und Landebahn zu allen anderen Punkten 1,5 m oberhalb der Start- und Landebahn über eine Entfernung von mindestens der halben Länge der Start- und Landebahn, wenn der Code-Buchstabe A ist;

Der Abstand zwischen den Schnittpunkten von zwei aufeinander folgenden Kurven soll nicht geringer sein als:

- a) die Summe der absoluten Zahlenwerte der entsprechender Neigungswechsel multipliziert mit dem folgenden Wert:
  - 30.000 m bei Code-Zahl 4;
  - 15.000 m bei Code-Zahl 3;
  - 5.000 m bei Code-Zahl 1 oder 2;
- b) 45 m,

je nachdem, welcher Wert größer ist. [8], [10]

Die Querneigungen helfen eine schnelle Entwässerung sicherzustellen. Die Querneigung soll über die gesamte Länge der Start- und Landebahn mit Ausnahme von Kreuzungen mit einer anderen Start- und Landebahn oder einer Rollbahn, wo für ausreichende

Oberflächenentwässerung ein ebener Übergang vorhanden sein soll, gleich sein und idealerweise betragen:

- 1,5 % bei Code-Buchstabe C, D, E oder F;
- 2 % bei Code-Buchstabe A oder B

Bei einem Deckprofil sollen die Querneigungen symmetrisch zu beiden Seiten der Mittellinie sein. [9], [11]

### **2.2.2 Start- und Landebahnschultern**

Wenn die Breite der Start- und Landebahn gem. ICAO weniger als 60 m beträgt und der Code-Buchstabe D oder E ist, sind Start- und Landebahnschultern symmetrisch an der beiden Seiten anzulegen. Diese Voraussetzung ist auch für Start- und Landebahn mit dem Code-Buchstabe F wichtig. Die Gesamtbreite der Start- und Landebahn und ihrer Schulter beträgt:

- 60 m bei Code-Buchstabe D und E;
- 75 m bei Code-Buchstabe F.

Die Querneigung der Start- und Landebahnschulter soll 2,5 % nicht überschreiten und die Oberfläche der Schulter soll mit der Oberfläche der Start- und Landebahn in einer Ebene liegen.

Die Start- und Landebahnschulter soll ein Flugzeug, das von der Start- und Landebahn abkommt, sowie die Bodenfahrzeuge, die möglicherweise auf der Schulter fahren, tragen. [9], [11]

### 2.2.3 Start- /Lande-bahn-Wendeflächen

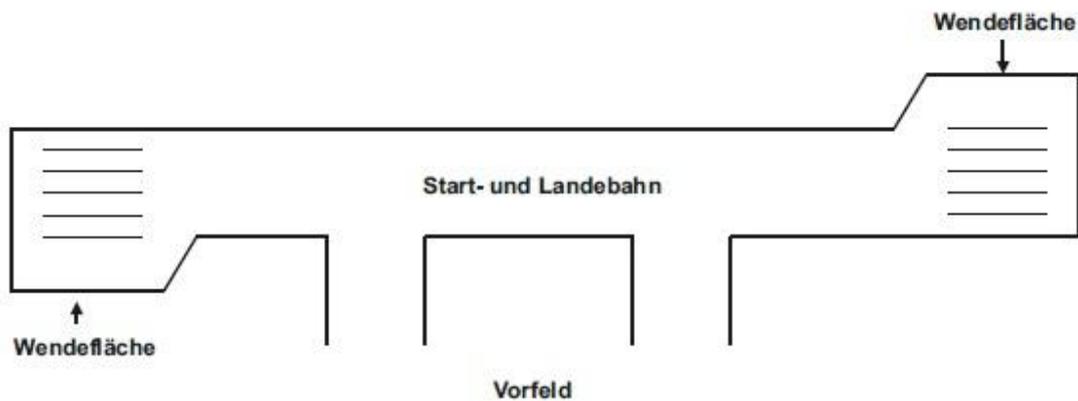


Abbildung 13: Start- und Landebahn mit Wendeflächen [9]

Beim Fehlen einer Rollbahn und eines Rollbahnwendeplatzes am Ende der Start- und Landebahn und bei Code-Buchstabe D, E oder F muss eine Start-/Lande-bahn-Wendefläche (siehe Abb.13) vorgehalten werden, um 180 Grad Drehungen von LFZ zu ermöglichen.

Beim Vorhandensein einer Rollbahn, eines Rollbahnwendeplatzes am Ende der Start- und Landebahn und bei Code-Buchstabe A, B oder C soll eine Start-/Lande-bahn-Wendefläche vorgehalten werden, um 180 Grad Drehungen von LFZ ermöglichen.

Der Kreuzungswinkel der Start-/Lande-bahn-Wendefläche mit der Start- und Landebahn soll  $30^\circ$  überschreiten und ist möglich entweder auf der linken oder rechten Seite der Start- und Landebahn anzuordnen. Die Größe einer Wendefläche hängt außerdem vom hindernisfreien Abstand zwischen den Rädern des Luftfahrzeug – Bugfahrwerk und dem Rand der Wendefläche ab. Dieser Abstand soll nicht geringer sein als:

- 1,5 m für Code-Buchstabe A;
- 2,25 m für Code-Buchstabe B;
- 3 m für Code-Buchstabe C, wenn Start- /Lande-bahn-Wendefläche für die Benutzung durch LFZ mit einem Radstand von weniger als 18 bestimmt ist;
- 4,5 m für Code-Buchstaben C, D, E und F,

wobei für Code-Buchstabe C der Abstand von 4,5 m gültig ist, wenn Start-/Lande-bahn-Wendefläche für die Benutzung durch LFZ mit einem Radstand von 18 m oder mehr bestimmt ist. [9], [11]

Bei rauen Witterungsbedingungen und daraus verminderten Oberflächenreibungseigenschaften soll ein Rad-bis-Rand Abstand von 6 m für die Code-Buchstaben E oder F vorgesehen werden.

Die Längs- und Querneigungen auf Start- /Landebahn-Wendeflächen sind in Übereinstimmung mit denen der zugehörigen Start- und Landebahn-Belagsoberfläche zu wählen und sollten ausreichend groß sein, um einen schnellen Abfluss des Oberflächenwassers zu ermöglichen und Ansammlungen von Wasser auf der Oberfläche zu vermeiden.

Die Tragfähigkeit der Start-/Landebahn-Wendefläche soll mindestens so groß wie jene der zugehörigen Start- und Landebahn sein. Die Start -/Landebahn-Wendeflächen werden von sich langsam bewegende LFZ benutzt, die enge Wenderadien ausführen und dadurch höhere Beanspruchungen verursachen. Aus diesem Grund soll z. B. die Oberfläche einer Start-/Landebahn-Wendefläche mit flexiblem Belag (flexible pavement) ausgestattet werden und die horizontalen Scherkräfte von den Rädern des Hauptfahrwerks während der Wendemanöver standhalten. Die Oberfläche einer Start-/Landebahn-Wendefläche soll gute Bremswirkungseigenschaften bei ihrer Nutzung aufweisen, wenn es nass ist.

Die Ausstattung der Start-/Landebahn-Wendeflächen mit Schultern verhindert die Oberflächenerosion, die durch Triebwerksabstrahlung des kritischen Luftfahrzeugs entsteht. Die Breite der Schultern soll mindestens die äußeren Motoren des kritischen Luftfahrzeugs abdecken. Die strukturellen Schäden an den Luftfahrzeugen und unterstützenden Bodenfahrzeugen, die möglicherweise auf der Schulter operieren, werden durch die Tragfähigkeit der Start - /Landebahn-Wendefläche vermieden. [9], [11]

#### **2.2.4 Start- und Landebahnstreifen**

Der Start- und Landebahnstreifen umgibt die Start- und Landebahn und die zugeordneten Stoppbahnen.

Die Länge des Start- und Landebahnstreifens gem. ICAO soll vor der Schwelle und über das Ende der Start- und Landebahn oder Stoppbahn hinaus mindestens sein:

- 60 m bei Code-Zahl 2, 3 oder 4;
- 60 m bei Code-Zahl 1, wenn es sich um einen Instrumenten-Landebahn handelt;
- 30 m bei Code-Zahl 1, wenn es sich um eine Sichtanflug-Landebahn handelt.

Die Breite des Start- und Landebahnstreifens, der eine Präzisionsanflug-Landebahn und eine Nichtpräzisionsanflug-Landebahn umgibt, soll seitlich möglichst über seine ganze Länge

beiderseits der Mittellinie und in der verlängerter Mittellinie der Landebahn folgende Werte haben:

- 150 m bei Code-Zahl 3 oder 4;
- 75 m bei Code-Zahl 1 oder 2.

Bei einer Sichtanflug-Landebahn soll der Streifen über die ganze Länge beiderseits der Mittellinie und in der verlängerten Mittellinie der Landebahn mindestens folgende Breite haben:

- 75 m bei Code-Zahl 3 oder 4;
- 40 m bei Code-Zahl 2;
- 30 m bei Code-Zahl 1.

Wenn ein Objekt auf dem Start- und Landebahnstreifen nicht zu einem Ziel der Flugnavigation zählt, kann es ein LFZ gefährden. Es handelt sich sowohl um feste Objekte als auch um bewegliche Objekte auf dem Start- und Landebahnstreifen während der Benutzung einer Start- und Landebahn für Landung oder Start. In diesem Sinne dürfen sich keine Objekte:

- innerhalb 77,5 m von der Mittellinie einer Präzisionsanflug-Landebahn für Betriebsstufe I, II oder III mit der Code-Zahl 4 und dem Code-Buchstaben F;
- innerhalb 60 m von der Mittellinie einer Präzisionsanflug-Landebahn für Betriebsstufe I, II oder III mit der Code-Zahl 3 oder 4;
- innerhalb 45 m von der Mittellinie einer Präzisionsanflug-Landebahn für Betriebsstufe I, II oder III mit der Code-Zahl 1 oder 2 befinden. [9], [11]

Start- und Landebahnstreifen einer Instrumenten-Landebahn soll für den Fall, dass ein LFZ von der Landebahn abkommt,

- bei Code-Zahl 3 oder 4 bis mindestens 75 m;
- bei Code-Zahl 1 oder 2 bis mindestens 40m,

von der Mittellinie und in der verlängerten Mittellinie der Landebahn eine eingeebnete Fläche für LFZ aufweisen.

Der Streifen einer Sichtanflug-Landebahn soll für den Fall, dass ein LFZ von der Landebahn abkommt,

- bei Code-Zahl 3 oder 4 bis mindestens 75 m;
- bei Code-Zahl 2 bis mindestens 40 m;
- bei Code-Zahl 1 bis mindestens 30 m,

von der Mittellinie und in der verlängerten Mittellinie der Landebahn eine eingeebnete Fläche für LFZ aufweisen.

Die Oberfläche desjenigen Teils eines Streifens, der an eine Start-/Landebahn, Schulter oder Stoppbahn angrenzt muss mit der Oberfläche der Start-/Landebahn, Schulter oder Stoppbahn auf einer Ebene liegen.

Die Längsneigung des einzuebenden Teils des Start- und Landebahnstreifens soll:

- 1,5 % für Code-Zahl 4;
- 1,75 % für Code-Zahl 3;
- 2 % für Code-Zahl 1 oder 2

nicht überschreiten.

Die Querneigung des einzuebenden Teils des Start- und Landebahnstreifens, die die Ansammlung von Wasser auf der Oberfläche zu verhindern helfen, soll:

- 2,5 % für Code-Zahl 3 oder 4;
- 3,0 % für Code-Zahl 1 oder 2

nicht überschreiten.

Die Querneigung auf Teilen der Streifen, die sich außerhalb des einzuebenden Teiles befinden, soll eine Steigung von 5 % in der wegführenden Richtung der Start- und Landebahn nicht übersteigen. [9], [11]

Die Tragfähigkeit von Start-/Landebahnstreifen einer Instrumenten-Landebahn soll für den Fall, dass ein LFZ von der Landebahn abkommt,

- bei Code-Zahl 3 oder 4 bis mindestens 75 m;
- bei Code-Zahl 1 oder 2 bis mindestens 40 m,

von der Mittellinie und in der verlängerten Mittellinie der Landebahn entfernt, gegeben sind.

Der Streifen einer Sichtanflug-Landebahn soll beim Abkommen eines Luftfahrzeuges von der Landebahn folgende Entfernungen von der Mittellinie und der verlängerten Mittellinie der Landebahn haben:

- mindestens 75 m für Code-Zahl 3 oder 4;
- mindestens 40 m für Code-Zahl 2;
- mindestens 30 m für Code-Zahl 1.

Die genannten Entfernungen sollen so angelegt werden, dass die durch die unterschiedliche Tragfähigkeit hervorgerufenen Gefahren für Luftfahrzeuge auf Minimum vermindern. [9], [11]

Kennzeichnend für die Projektierung der Pistengrundlänge sind noch die Stoppbahnen und Freiflächen, die Luftfahrzeuge bei Starten und Landen bedienen.

Die Stoppbahn (Stopway) muss dieselbe Breite wie die Start- und Landebahn haben, der sie zugeordnet ist. Siehe (Abb. 14). Nach ZFV 1972 soll noch die Länge der Stoppbahn höchstens 15% der tatsächlichen Start-Landebahnlänge festgelegt werden.

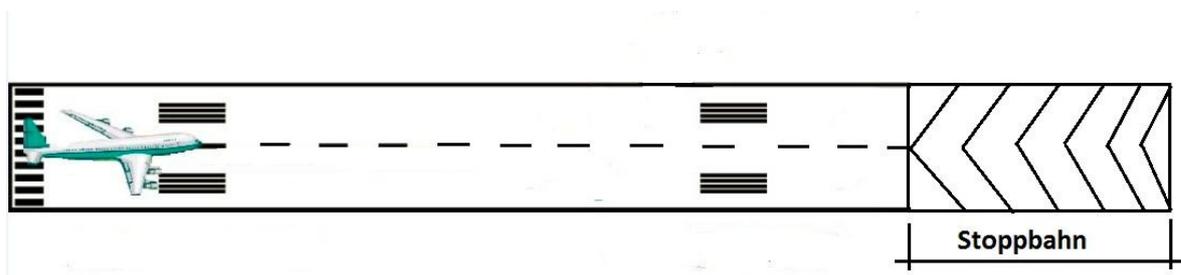


Abbildung 14: Darstellung einer Stoppbahn (Stopway) [12]

Die Neigungen und die Neigungswechsel auf einer Stoppbahn sowie der Übergang einer Start- und Landebahn zu einer Stoppbahn sollen den Anforderungen an die Start- und Landebahn genügen. Die Ausnahmen, ist folgende:

- Am Übergang einer Stoppbahn in eine Start- und Landebahn und entlang der Stoppbahn kann der Höchstwert der Neigungsänderung 0,3 % je 30 m (Mindestkrümmungsradius 10.000 m) für eine Start- und Landebahn mit der Code-Zahl 3 oder 4 betragen.

Die Oberfläche einer befestigten Stoppbahn soll einen Reibungskoeffizienten aufweisen, der mit den Reibungskoeffizienten der zugehörigen Start- und Landebahn übereinstimmt, auch

wenn die Stoppbahn nass ist. Die Bremswirkungseigenschaften einer unbefestigten Stoppbahn sollen nicht wesentlich geringer als diejenigen der Start- und Landebahn sein.

Außerdem soll am Ende der verfügbaren Startlaufstrecke eine Freifläche (Clearway) beginnen und deren Länge die halbe Länge der Startlaufstrecke nicht überschreiten. Eine Freifläche soll sich seitlich bis zu einer Entfernung von mindestens 75 m auf beiden Seiten der verlängerten Start- und Landebahn-Mittellinie erstrecken. Der Boden einer Freifläche (Clearway) soll nicht über eine Ebene mit einer Steigung von 1,25 % hinausragen. (Siehe Abb. 15). [9], [11]

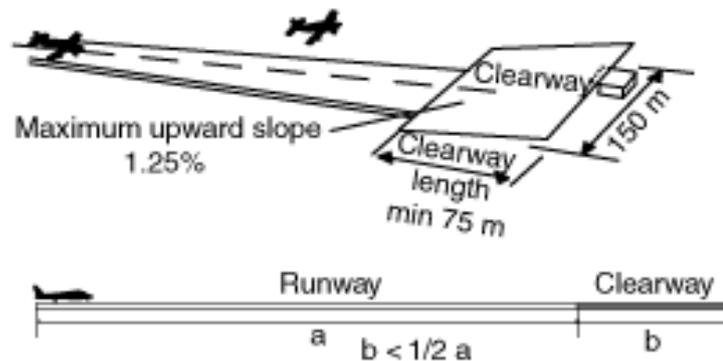


Abbildung 15: Darstellung einer Freifläche (Clearway) [13]

Die untere Grenze dieser Ebene ist eine horizontale Linie, die

- rechtwinklig zur die Start- und Landebahn-Mittellinie enthaltenden Vertikalebene verläuft;
- durch einen Punkt geht, der auf der Start- und Landebahn-Mittellinie am Ende der verfügbaren Startlaufstrecke liegt.

Die untere Grenze der oben festgelegten Ebene der Freifläche kann in bestimmten Fällen wegen der Quer- oder Längsneigungen auf einer Start- und Landebahn, Schulter oder einem Streifen unterhalb der entsprechenden Höhe von Start- und Landebahn, Schulter oder Streifen liegen. Bei einer positiven Neigung sind starke Wechsel zu vermeiden, wenn die Neigung am Boden innerhalb einer Freifläche verhältnismäßig gering ist oder wenn die mittlere Neigung positiv ist. In solchen Fällen soll die Hälfte der Start- und Landebahnbreite, entsprechend dem größeren Wert, zu beiden Seiten der verlängerten Mittellinie, die Neigungen, Neigungswechsel und der Übergang der Start- und Landebahn zur Freifläche der Start- und Landebahn, entsprechen.

Zu den Start- und Landebahnelementen zählen sich außerdem die verfügbaren Start- und Landestrecken (Siehe Abb. 16), wobei für jede Start- und Landebahnrichtung (Betriebsrichtung) folgende Strecken gelten:

- die verfügbare Startlaufstrecke (Take Off Run Available, TORA);
- die verfügbare Startstrecke (Take Off Distance Available, TODA);
- die verfügbare Startabbruchstrecke (Accelerate Stop Distance Available, ASDA);
- die verfügbare Landstrecke (Landing Distance Available, LDA). [9], [11]

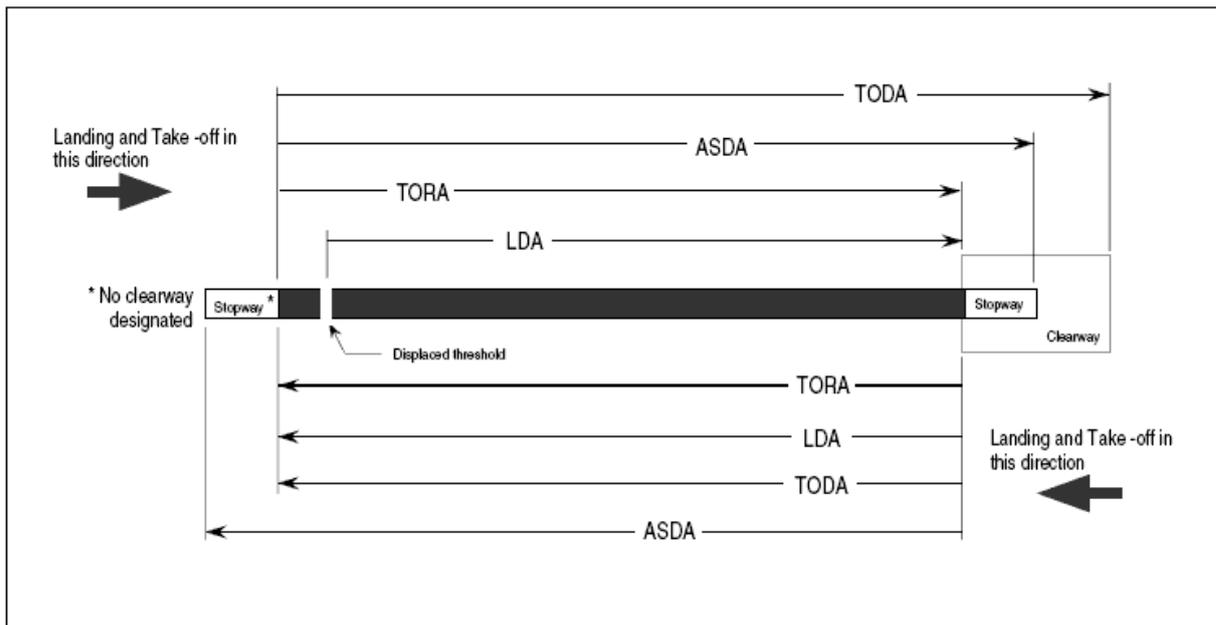


Abbildung 16: Darstellung von Start- und Landestrecken [14]

Es ist darauf zu achten, dass an Flugplätzen mit Sichtflugbetrieb normalerweise die TORA und die LDA festzulegen sind. Wenn Freiflächen und Stoppbahnen vorgesehen sind, sind die TODA und ASDA festzulegen.

### 2.3 Projektierung der Rollbahnen gem. ICAO und gem. ZFV 1972

Rollbahnen (Taxiways) sind die Verbindungswege zwischen den Pisten und dem Vorfeld eines Flugplatzes, die zusammen das Rollfeld bilden.

Die Konzeption von Rollbahnsystemen erfordert die Charakteristiken der Luftfahrzeugmuster zu kennen. Es ist notwendig die Spannweite, die maximalen erzielbaren Kurvenradien der Fahrwerke und die unterschiedlichen Rollgeschwindigkeiten zur Einhaltung von

Sicherheitsabständen zwischen den Tragflächen der unterschiedlichen Luftfahrzeuge zu kennen.

Eine Rollbahn muss so ausgelegt sein, dass der Abstand zwischen dem äußeren Rad des Hauptfahrwerks des LFZs und dem Rollbahnrand bei der Lage des Cockpits des Luftfahrzeuges auf der Rollbahnmittellinienmarkierung folgende Werte einhält:

- 1,50 m für Code-Buchstabe A;
- 2,25 m für Code-Buchstabe B;
- 3 m für Code-Buchstabe C, wenn die Rollbahn für die Benutzung durch Luftfahrzeuge mit einem Radstand von weniger als 18 m bestimmt ist;
- 4,5 m für Code-Buchstaben C, D, E und F,

wobei für Code-Buchstabe C der Abstand von 4,5 m gültig ist, wenn die Rollbahn für die Benutzung durch Luftfahrzeuge mit einem Radstand von 18 m oder mehr bestimmt ist.

Die Breite von Rollbahnen soll nicht kleiner als:

- 7,5 m für Code-Buchstabe A;
- 10,5 m für Code-Buchstabe B;
- 15 m für Code-Buchstabe C, wenn die Rollbahn für die Benutzung durch Luftfahrzeuge mit einem Radstand von weniger als 18 m bestimmt ist;
- 18 m für Code-Buchstaben C, D,

wobei für Code-Buchstabe C gültig ist, wenn die Rollbahn für die Benutzung durch Luftfahrzeuge mit einem Radstand von 18 m oder mehr bestimmt ist und

für Code-Buchstabe D gültig ist, wenn die Rollbahn für die Benutzung durch Luftfahrzeuge mit einer Spurbreite der äußeren Räder des Hauptfahrwerks von weniger als 9 m bestimmt ist.

- 23 m für Code-Buchstaben D, E,

wobei für Code-Buchstabe D gültig ist, wenn die Rollbahn für die Benutzung durch Luftfahrzeuge mit einer Spurbreite der äußeren Räder des Hauptfahrwerks von 9 m oder mehr bestimmt ist;

- 25 m für Code-Buchstabe F. [9], [11]

Nach ZFV 1972 sollen die Rollwege mindestens breit sein:

- 23 m bei Pisten der Klassen A und B;
- 15 m bei Pisten der Klasse C;
- 10 m bei Pisten der Klasse D und E;
- 7,5 m bei Pisten der Klasse F. [6]

Die Rollbahnkurven sollen der Manövrierfähigkeit und den normalen Rollgeschwindigkeiten der Luftfahrzeuge entsprechen. Die Lage der Kurve soll einen hindernisfreien Abstand zwischen dem äußeren Rad des Hauptfahrwerks des Luftfahrzeuges und dem Rollbahnrand sicherstellen, wenn sich das Cockpit des Luftfahrzeuges über der Rollbahnmittellinien-Markierung befindet. In Abb. 17 ist ein Beispiel für die Verbreiterung der Rollbahn zur Erreichung des festgelegten Radabstandes in der Rollbahnkurven gegeben.

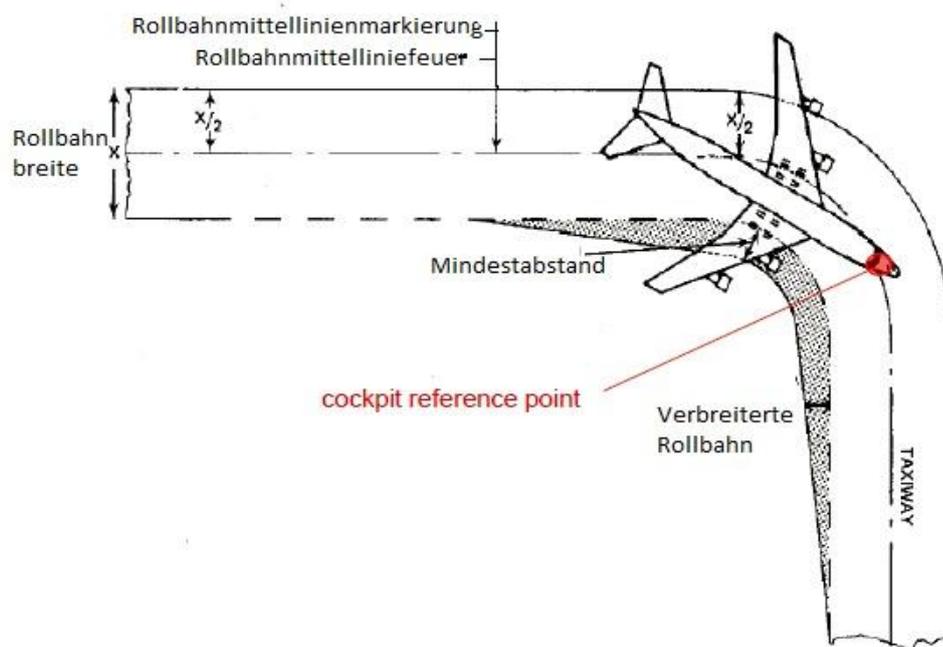


Abbildung 17: Verbreiterung der Rollbahn [10]

Die Abzweigungen und Kreuzungen von Rollbahnen, von Start- und Landebahnen, Vorfeldern und anderen Rollbahnen mit Ausrundungen führen zu einer Erleichterung des Manövrierens von LFZ.

Die Rollbahnmindestabstände, die den Abstand zwischen der Mittellinie einer Rollbahn und der Mittellinie einer Start- und Landebahn, der Mittellinie einer parallelen Rollbahn oder

einem Objekt beschreiben (gem. ZFV 1972 und gem. ICAO), sind in Tabelle 6 und Tabelle 7 zu sehen. Es ist möglich, eine Ausnahme von den geringeren Abständen zu machen, wenn nachgewiesen werden kann, dass diese geringeren Abstände sowohl die Sicherheit als auch die Regelmäßigkeit des Luftfahrzeugbetriebes nicht wesentlich beeinträchtigen. [8]

Tabelle 6: Rollbahnmindestabstände nach ZFV 1972 [6]

<b>Pistenklasse</b>	<b>Abstand von Pisten [m]</b>	<b>Abstand von Rollwegen [m]</b>	<b>Abstand von Hindernissen [m]</b>
A und B	150	62	38
C	75	45	38
D	60	27	18
E und F	50	23	16

Bei Präzisionsanflugpisten der Kategorie II und III müssen Rollwege einen Mindestabstand von 265 m und bei anderen Instrumentenpisten einen Mindestabstand von 150 m, gemessen von Rand zu Rand, aufweisen. Unbeschadet dessen müssen Rollwege, die zu Instrumentenpisten führen, so errichtet sein, daß eine Störwirkung auf Flugsicherungsanlagen durch auf diesen Rollwegen befindliche Luftfahrzeuge vermieden wird.

Tabelle 7: Rollbahnmindestabstände nach ICAO [9]

Code Buchstabe	Instrumenten-Landebahn				Sichtanflug-Landebahn				Rollbahn- mittellinie zu Rollbahn- mittellinie	Rollbahn- mittellinie zum Objekt	Mittellinie einer Standplatz- rollgasse
	Code - Zahl	Code - Zahl	Code - Zahl	Code - Zahl	Code - Zahl	Code - Zahl	Code - Zahl	Code - Zahl	(m)	(m)	(m)
	1	2	3	4	1	2	3	4			
A	82,5	82,5	-	-	37,5	47,5	-	-	23,75	16,25	12
B	87	87	-	-	42	52	-	-	33,5	21,5	16,5
C	-	-	168	-	-	-	93	-	44	26	24,5
D	-	-	176	176	-	-	101	101	66,5	40,5	36
E	-	-	-	182,5	-	-	-	107,5	80	47,5	42,5

Anmerkung: Wenn die Rollbahn keine Standplatzrollgasse ist, muss von einem Streifen umgeben sein, der symmetrisch zu beiden Seiten der Rollbahnmittellinie über die Länge der Rollbahn mindestens bis zur angegebenen Entfernung in der letzten Spalte der Tabelle angelegt ist.

Die Längsneigungen der Rollbahnen sollen:

- 1,5 % für Code-Buchstabe C, D, E oder F;
- 3 % für Code-Buchstabe A oder B,

nicht überschreiten.

Wenn es nicht möglich ist, die Neigungsänderungen auf einer Rollbahn zu vermeiden, soll sich diese um nicht mehr ändern als:

- 1 % je 30 m (Mindestkrümmungsradius 3.000 m) für Code-Buchstabe C, D, E oder F;
- 1 % je 25 m (Mindestkrümmungsradius 2.500 m) für Code-Buchstabe A oder B.

Die Querneigungen auf einer Rollbahn, die zur Verhinderung der Ansammlung von Wasser auf der Oberfläche helfen, sollen:

- 1,5 % für Code-Buchstabe C, D, E oder F;
- 2 % für Code-Buchstabe A oder B,

nicht überschreiten.

Die Tragfähigkeit einer Rollbahn soll mindestens gleich jener Start- und Landebahn sein. Zu berücksichtigen ist, dass wenn eine Rollbahn größere Verkehrsdichte und dazu langsam rollende und stehende Luftfahrzeuge hat, die Beanspruchung höher ist als jene der zugeordneten Start- und Landebahn.

Die Oberflächen von Rollbahnen sollen ein gutes Reibungsverhalten bei Nässe aufweisen, damit keine Schäden an Luftfahrzeugen entstehen. [9], [11]

### **2.3.1 Schnellabrollbahnen**

Die allgemeinen Anforderungen an Rollbahnen gem. ICAO sind auch für Schnellabrollbahnen gültig. Der Radius der Abrollkurve von einer Schnellabrollbahn soll mindestens sein:

- 550 m für Code-Zahl 3 oder 4;
- 275 m für Code-Zahl 1 oder 2.

Die Abrollgeschwindigkeit bei Nässe ist:

- 93 km/h für Code-Zahl 3 oder 4;
- 65 km/h für Code-Zahl 1 oder 2.

Die Kriterien, die die Lage der Schnellabrollbahnen entlang der Start- und Landebahnen bestimmen, sind die unterschiedlichen Geschwindigkeiten und die Bahnbelegungszeiten. Der Schnittwinkel der Schnellabrollbahn mit der Start- und Landebahn soll höchstens  $45^\circ$  und mindestens  $25^\circ$  (vorzugsweise  $30^\circ$ ) betragen. Nach der Abrollkurve soll die Schnellabrollbahn ein gerades Teilstück aufweisen, das lang genug ist, ein abrollendes Luftfahrzeug zu weiteren kreuzenden Rollbahnen abzuführen. Eine Schnellabrollbahn ist in der Abbildung 18 gezeigt. [9], [11]

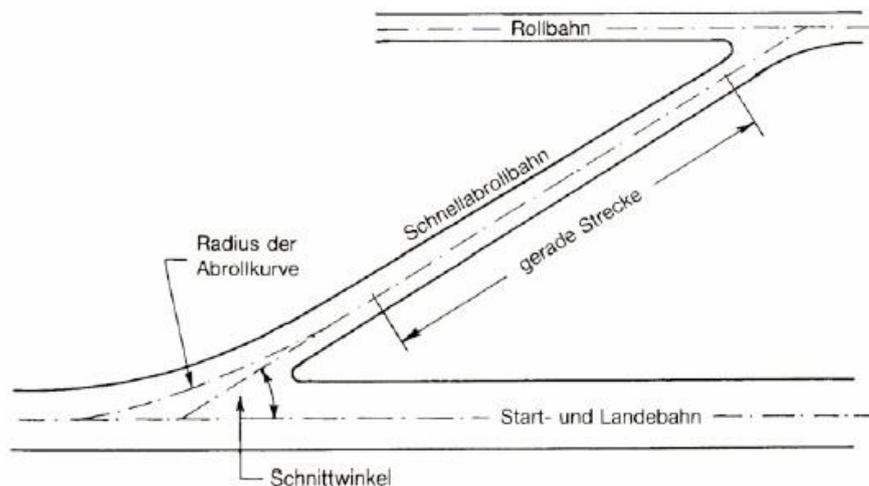


Abbildung 18: Schnellabrollbahn [9]

### 2.3.2 Rollbahnschultern

Für Code-Buchstabe C, D, E oder F gem. ICAO sollen die geraden Teilstücke einer Rollbahn eine Schulter aufweisen. Diese Schulter sind symmetrisch zu den beiden Seiten der Rollbahn und die Gesamtbreite von der Rollbahn und der Schultern auf den geraden Teilstücken soll nicht geringer sein als:

- 60 m für Code-Buchstabe F;
- 44 m für Code-Buchstabe E;
- 38 m für Code-Buchstabe D;
- 25 m für Code-Buchstabe C. [9], [11]

## 2.4 Projektierung des Vorfeldes

Die Grundaufgabe eines Vorfeldes (Apron) ist als Abfertigungs-, Abstell- und Wartungsfläche für Luftfahrzeuge auf einem Flugplatz zu dienen. Dabei ist es wichtig, den Flugplatzverkehr nicht zu unterbrechen oder zu stören. Die Formen, Dimensionen und die Abmessungen der Vorfelder (Apron) sind durch die Konzeption des Terminals (Passagier- und Frachtterminal) und die Entwicklung des Flugplatzverkehrs bei der höchsten erwarteten Dichte (in der Spitzenstunde) bestimmt. Die Anforderung der Flugzeugmuster (Spannweite, Rumpflänge, und Kurvenradien) sollen den Flugzeugabstellpositionen entsprechen, die am Terminal als Gates bezeichnet werden. Der Abstand von Flugzeugen an den Gates ist in Bezug auf den Bezugscode (Aerodrome Reference Code) der ICAO anzuordnen und in folgender Tabelle 8 gezeigt. [9], [11]

Tabelle 8: Mindestabstände LFZ – Standplätze [9]

Code - Buchstabe	Abstand (m)
A	3,0
B	3,0
C	4,5
D	7,5
E	7,5
F	7,5

Es ist möglich, diese Abstände (Tabelle 5) an einem Bugeinwärts-Standplatz für Code-Buchstabe D, E oder F unter folgenden Umständen zu verringern:

- zwischen dem Abfertigungsgebäude, einschließlich fester Fluggastbrücken und dem Bug eines Luftfahrzeuges;
- an jedem Teil eines Standplatzes, der mit Seitenführung durch eine optische Führungshilfe zum Andocken versehen ist.

Durch langsam rollende oder stehende LFZ ist die Beanspruchung des Oberbaus der Vorfeldfläche größer als jene der Piste. In diesem Sinne muss jeder Teil des Vorfeldes der Belastung durch die Luftfahrzeuge standhalten, für die er bestimmt ist.

Die Neigungen von Vorfeldern sollen der Verhinderung der Ansammlung von Wasser auf ihrer Oberfläche genügen und so flach sein, wie es die Anforderungen der Entwässerung zulassen sowie die Maximalneigung 1 % nicht überschreiten. [9]

## 2.5 Anforderungen an die Oberfläche

Die Flugbetriebsflächen (befestigte Decke) sollen eine ganzjährige störungsfreie Nutzung des betreffenden Typs für Flugzeuge gewährleisten. Der Wahl des Typs der Decke und ihrer konstruktiven Lösung hängen von den günstigsten technisch-ökonomischen Bedingungen ab. Bei der Projektierung sind folgende Anforderungen an die Oberfläche zu berücksichtigen: Griffigkeit bei Nässe, Vermeidung von Aquaplaning, kürzere Bremswege bei Nässe, Richtungsstabilität bei Seitenwind, Schneematsch und Eisfilmbildung und Beständigkeit gegen chemische Enteisungsmittel (Bewegungsflächenenteiser).

### 2.5.1 Entwässerung

Die Grundaufgabe der Entwässerung ist, das Wasser von Flugbetriebsflächen auf dem kürzesten Wege abzuleiten, ohne im Oberbau eine strukturelle Schädigung wie z.B. Ablösung des Bindemittels vom Gestein, Erosionsschäden, Frostaufbrüchen etc. einzuleiten. Es ist außerdem darauf zu achten, dass beim Entwurf der Flugbetriebsfläche nicht nur aus Sicherheitsgründen (Aquaplaning) die Oberfläche einwandfrei entwässert wird. Voraussetzung dafür sind die Querneigung (ICAO – Vorgabe 1% bis 1,5 %) und die Ebenheit der Flugbetriebsfläche, die den Ablauf des Wassers zu den Rändern und ihrer Aufnahme durch spezielle Entwässerungsbauten ermöglichen. (Siehe Querprofil in Abb. 19) [15]

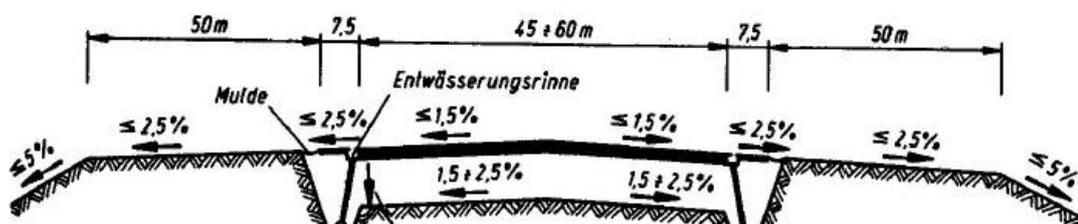


Abbildung 19: Querprofil [15]

Die entsprechenden Entwässerungssysteme sollen in der Lage sein:

- Oberflächenwasser der auftretenden Menge nach zügig und schadlos abzuführen;
- Oberflächenwasser bei auftretenden Verschmutzungen entweder zu behandeln oder entsprechend abzuführen – in einen Vorfluter oder in eine kommunale Abwasserbehandlungsanlage;
- Oberflächenwasser aus unterschiedlichen Bereichen der Flugbetriebsflächen mit unterschiedlichen Belastungen geeignet voneinander zu separieren.

Zu den primären Entwässerungselementen und -maßnahmen zählen Rigole und/oder Schlitzrinnen, die Ablaufdrosselung und das Grooving, das einen Beitrag zur Optimierung des Wasserabflusses leistet. [15]

- **Schlitzrinne**

Die Schlitzrinne (Siehe Abb. 20) ist eine offene Entwässerungsrinne aus Betonfertigteilen. Das Fassungsvermögen der Schlitzrinne ist aufgrund der kleinen Einlauföffnung gering. Der Vorteil der Rinne liegt im guten Speichervolumen für den Spülstoß von der Oberfläche, das durch den Ablaufquerschnitt ermöglicht wird, in der flexiblen Verlegung und den systematischen Abdichtungsmöglichkeiten, sowohl seitlich als auch zwischen den Rinnen. Bei geringem oder keinem Längsgefälle stellt die Rinne eine hohe Abflusskapazität zur Verfügung. Die Abdichtung der Fugen zwischen den Fertigteilen hat durch eingelegte Dichtungen zu erfolgen. Die Reinigung erfolgt über Reinigungsöffnungen mittels eines Druckwasserstrahls. [15]



Abbildung 20: Schlitzrinne [15]

- **Ablaufdrosselung**

Ziel der Ablaufdrosselung ist es, für die unterschiedlichen Flächentypen die ermittelten Drosselabflüsse zu gewährleisten. Im Hinblick auf die erforderliche Wartung und Kalibrierung

sind die Steuer- oder die regelbaren Drosselorgane aufgrund der Nähe zu Flugbetriebsflächen nicht geeignet, da das Betriebspersonal nur unter Einhaltung der Betriebsvorschriften zu den Drosselorganen gelangen kann. Deswegen werden fest eingestellte Drosseln vorgeschlagen.

Beispielsweise wurde am Flughafen Leipzig die Drosselung der Oberflächenabflüsse über eine Rohrdrossel erreicht. Die konstante Abflussmenge wird in einem Kanal mit vorgegebenem Querschnitt, Länge, Gefälle und Material erreicht. Vor und nach der Rohrdrossel ist eine leistungsfähigere Rohrleitung vorzusehen.

Am Flughafen Wien wird eine Drosselblende in den Ablauf der Entwässerungsrinne eingelegt. Es handelt sich um ein Edelstahlblech mit definierter Ablauföffnung. Die Funktion beruht auf dem konstanten Durchfluss durch eine Öffnung bei einer bestimmten Überstauhöhe über der Öffnung. Der Überstau wird über die Fließtiefe der Schlitzrinne nach oben begrenzt, wobei bei Völlfüllung der Schlitzrinne das Wasser die Rinne überströmt und die Druckhöhe nicht weiter ansteigt. (Ein Querschnitt des Ablaufs mit Drosselblende ist in Abb. 21 dargestellt.) [15]

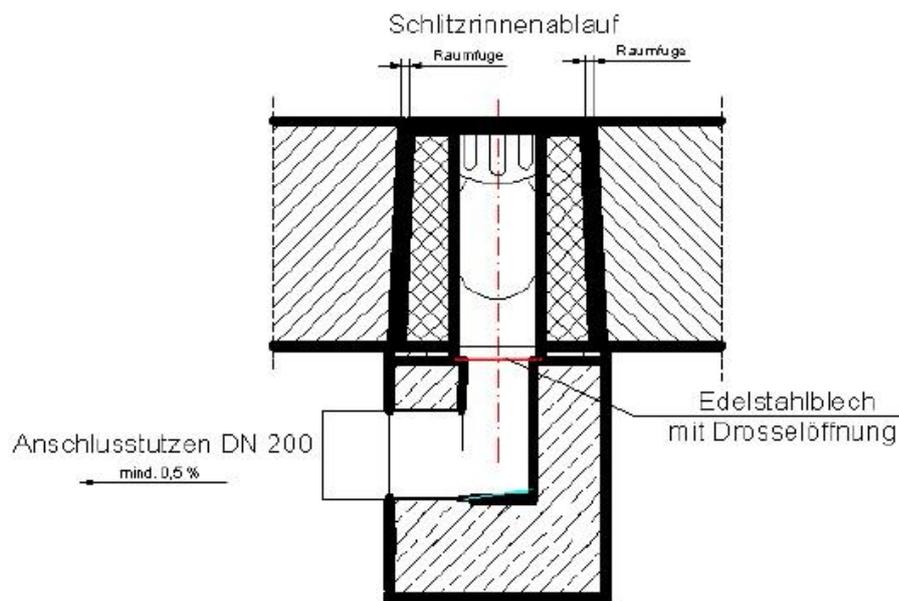


Abbildung 21: Querschnitt des Ablaufs mit Drosselblende [15]

Die minimale Drosselöffnung von 10 cm ist nicht zu unterschreiten. Die Einzugsgebiete mit extremen Abflusseigenschaften werden als Basis für die Dimensionierung der Schlitzrinnen und Drosselblenden herangezogen.

#### - **Grooving**

Grooving ist ein Rillenschneidverfahren (Siehe Abb. 22). Dieses Verfahren wird auf Start- und Landebahnen und Schnellabrollwegen eingesetzt. Es werden schmale und gleichmäßig angeordnete Rillen mit Spezialmaschinen (Bumpcuttern) in Beton- oder Asphaltdecken geschnitten, die den Wasserabfluss optimieren, die Drainage zwischen Reifen und Bahnen verbessern und die Aquaplaninggefahr vermindern. [16]

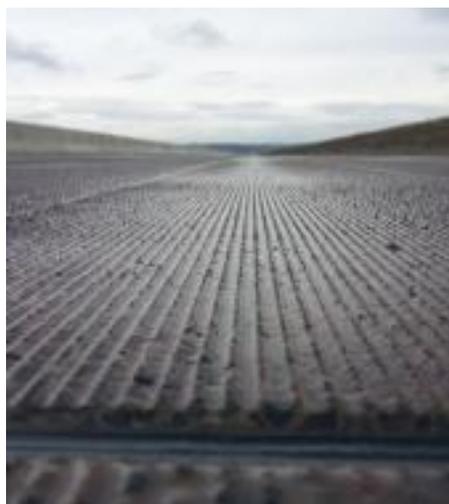
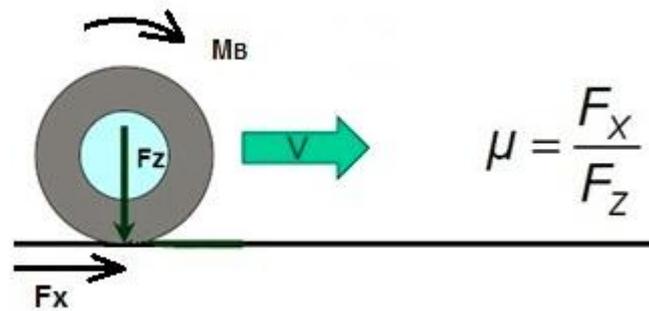


Abbildung 22: Grooving [16]

Als ein integraler Bestandteil der wasserwirtschaftlichen Anlagen jedes Flughafens soll das bestehende Entwässerungssystem ordnungsgemäß einen sicheren Flugbetrieb aufrechterhalten und umfangreiche abflusswirksame Fläche aufweisen.

### **2.5.2 Griffigkeit**

Die Griffigkeit spielt eine wichtige Rolle für die Fahrtsicherheit und wird durch den Reibungsbeiwert definiert, wobei der Reibungsbeiwert das Verhältnis von der Reibungskraft (aktivierbarer Kraft zwischen Reifen und Fahrbahn) und der Radlast (nasser Oberfläche) ist und durch folgende Formel ausgedrückt ist:



wo  $F_x = M_B / r$

$F_x$  – Bremskraft [kN];

$M_B$  – Bremsmoment [kNm];

$r$  – Abstand Messradmittelpunkt zur Fahrbahnoberfläche [m] ist.

Es ist anzumerken, dass die Griffigkeit eine positive Einwirkung auf das Bremsverhalten (LFZ), die Entwässerung (Aquaplaning) und die Sicherheit von Passagieren und Mitarbeitern hat. Mögliche Ursachen für Mängel sind ungünstigen Materialeigenschaften (Gesteine), neue Decken (Bindemittelfilm, Zementschlämme), Reifenabrieb und Nichteinhaltung von Mindestneigungen (Entwässerung der Oberfläche). [16]

## 3 Planung der Flugsicherheit von Flugbetriebsflächen

### 3.1 Übersicht

Die Entwicklung des zivilen Luftverkehrs (für die nächsten 20 Jahren wird eine Verdoppelung prognostiziert) und die Statistik für die Unfälle in der Start- und Landephase und beim Bewegen des Flugzeugs auf den Rollwegen sowie bei den Abstellpositionen sind wichtige Gegebenheiten, die sich auf die Flugsicherheit auswirken und zu beleuchten sind. Die Flugsicherheit betrifft die operative Sicherheit auf den Flugbetriebsflächen des Flugplatzes und die Untersuchungen von Flugunfällen. Um präventive Vorsichtsmaßnahmen gegen die Vorfälle und Unfälle zu treffen, ist es notwendig, infrastrukturelle Einrichtungen, Notfallplanungen, Einführung eines Safety Management Systems für jeden Flugplatz vorzuschreiben und die Ausrüstung, die einen sicheren Ablauf der Flugbewegungen am Boden und in der Start- und Landephase gewährleisten soll, zu betrachten. Zu diesen Gegebenheiten kennt ICAO für den Bau und die Ausrüstung von Flughäfen so genannte ICAO-Standards und ICAO-Empfehlungen. Die ICAO-Empfehlungen sind enger gefasst und verlangen eine bessere Ausrüstung als die ICAO-Standards. Dabei ist man weltweit bestrebt, durch ein neues Flughafenkonzept die Flughafeninfrastruktur mit Blick auf die Sicherheit als oberste Priorität wettbewerbsfähig zu entwickeln. Dies gilt sowohl für die Sicherheit der Betriebs- und Verkehrsabläufe von Luftfahrzeugen, von Flughäfen und von Flugsicherungsunternehmen (Safety) als auch für die Sicherheit vor Gefahren für den Luftverkehr von außen (Security). [17]

In diesem Kapitel werden die Sicherheitsflächen an Start- und Landebahnenden, andere Faktoren, die Information über den Zustand der Bewegungsflächen und den Betriebszustand der zugehörigen Einrichtungen geben können, die Maßnahmen zur Erhöhung der Flugsicherheit und deren Sicherheitsgrundsätze gem. ICAO behandelt.

Um alle Gefahrenpotentiale und Risiken im Hinblick auf die Infrastruktur und daraus resultierende technische und operative Prozessen zu umfassen, versucht das Safety Management einen systematischen ganzheitlichen Ansatz zur Sicherheit zu garantieren und eine „Sicherheitskultur“ zu erzeugen, die auf dem Flugbetrieb von Flugplätzen basiert. Es ist außerdem erforderlich, eine ständige Beobachtung und Überwachung aller sicherheitsrelevanten Elemente und Betriebsstrukturen in Bezug auf sicherheitskritische Vorfälle und Unfälle zu identifizieren und immer wieder neue Gefahrenpotential-Bewertungen durchzuführen. Hierbei ist die Infrastruktur und Gerätetechnik zu überprüfen. Die meisten Risikopotentiale sind insgesamt zu sehen in:

- dem Verkehrsaufkommen, der Unterschiedlichkeit der Luftfahrzeugmuster und der Unterschiedlichkeit der Flugaufgaben;

- dem beschränkten Bewegungspotential auf den Flugbetriebsflächen und der Empfindlichkeit der Luftfahrzeuge gegen Beschädigungen;
- extremen Wetterlagen, Wind - , Winter - und Sichtverhältnissen;
- der Struktur der Flugbetriebsflächen, der Lage der Start- und Landebahnen und der Rollwege zueinander, sowie zu den Abfertigungsgebäuden, die teilweise auch die Sicht einschränken;
- inadäquaten Bezeichnungen, Markierungen oder der Befuerung;
- unterschiedlicher Nutzung des Start- und Landebahnsystems (Parallelbetrieb, Start bei Teilnutzung der Startbahn (intersection take-off)), bevorzugter Nutzung einer Startbahn;
- Luftraumbeschränkungen, Hindernissen im An – und Abflugbereich;
- Temporären Baumaßnahmen auf den Flugbetriebsflächen.

Zum Zustand der Bewegungsflächen und dem Betriebszustand der zugehörigen Einrichtungen kommen noch Angelegenheiten, die auf das Leistungsvermögen einen Einfluss haben und insbesondere in folgenden Zuständen bekannt zu geben sind:

- Bau- oder Wartungsarbeiten;
- Unebene oder aufgebrochene Oberflächen auf einer Start-/Landebahn, einer Rollbahn oder einem Vorfeld;
- Schnee, Schneematsch oder Eis auf einer Start-/Landebahn, einer Rollbahn oder einem Vorfeld;
- Wasser auf einer Start-/Landebahn, einer Rollbahn oder einem Vorfeld;
- Schneeverwehungen neben einer Start-/Landebahn, einer Rollfeld oder einem Vorfeld;
- Ausfall oder unregelmäßiger Betrieb aller oder einiger optischer Hilfen des Flugplatzes.

Um eine aktuelle Information über die Zustände zu garantieren, werden die Bewegungsflächen täglich mindestens einmal für die Code-Zahl 1 oder 2 und täglich mindestens zweimal für Code-Zahl 3 oder 4 überprüft. [9]

Ausgehend von der Sicherheit des Flugbetriebes und der Kapazität des Flugplatzes spielt der Winterflugbetrieb noch eine wichtige Rolle. Die Verantwortung, jeder Zeit einen betriebssicheren Zustand auf den Flugbetriebsflächen (Rollflächen) bei Winterbedingungen zu garantieren, fällt dem Winterflugbetrieb zu. Damit der Oberflächenzustand der Flugbetriebsflächen eine sichere Abwicklung des Flugbetriebes zulässt, ist es erforderlich, die Reibungsbeiwerte der Oberflächen von Start- und Landebahnen, festzustellen. Um Information über den Oberflächenzustand besonders beim Vorhandensein von Feuchtigkeit oder drohender Eisbildung auf Belägen zu bekommen, werden Oberflächenzustandssensoren verwendet. Wenn eine Start-/Landebahn durch Schnee, Schneematsch oder Eis beeinträchtigt ist und wenn der Niederschlag nicht völlig zu räumen ist, wird der Start-/Landebahnzustand festgestellt und der Reibungskoeffizient gemessen. Wenn trockener Schnee, nasser Schnee oder Schneematsch auf einer Start- Landebahn vorhanden ist, wird die mittlere Höhe des Niederschlages mit einer Genauigkeit von 2 cm für trockenen Schnee, 1 cm für nassen Schnee und 0,3 cm für Schneematsch für jedes Drittel der Start-/Landebahn festgestellt. Der Winterdienst ist dafür verantwortlich, störende Einflüsse von Schnee und Eis zu vermeiden. Die Aufgabenpriorität der Winterdienste nach internationalen Vorschriften der ICAO umfasst die Start- und Landebahnen und die Zu- und Abrollwegen. Wegen der geringeren Rollgeschwindigkeiten hat das Vorfeld (der Bereich von Flugzeugabstell- und Abfertigungspositionen auf Flugplätzen) weniger hohe Priorität, obwohl auch dieses grundsätzlich schnee- und eisfrei zu halten ist. [9]

Es ist anzumerken, dass die Überwachung der Gefahrenpotentiale, Risiken und die geregelten Zustandsmeldungen einen Beitrag zu der optimalen und sicheren Luftraumnutzung leisten. Selbst an größten und modernsten Flughäfen der Welt wird ständig gebaut, was eine immer neue Anpassung der Infrastruktur an solche Gegebenheiten, die durch das Verkehrswachstum und neue Technologien bedingt sind, bedeutet. Um dem Ziel nach den international gültigen Vorschriften einer sicheren und geregelten Verkehrsabwicklung zu entsprechen, haben die Aspekte der Flugsicherheit absoluten Vorrang – auch vor den Interessen des Umwelt- und Lärmschutzes. Die europäische Agentur für Flugsicherheit (European Aviation Safety Agency, EASA), die alle Bereiche der Flugsicherheit entwickelt und die Erarbeitung von Rechtsakten und Durchführungsmaßnahmen im Zusammenhang mit der Sicherheitskontrolle von Luftfahrzeugen sowie die Mitgliedstaaten bei der gemeinsamen Erfüllung der von der ICAO auferlegten Verpflichtungen unterstützt, leistet außerdem die technische Unterstützung bei Kontakten und Verhandlungen mit den Luftfahrtbehörden von Drittländern und den für die Sicherheit der Zivilluftfahrt internationalen Organisationen. Die Assoziierung mehrerer Staaten erlaubt die Einschätzung der realen Sicherheitsprobleme, die nicht an Gemeinschaftsgrenzen haltmacht, sowie die Ergreifung solcher Maßnahmen, die zur Maximierung der Flugsicherheit und zur Anwendung eines gemeinschaftlichen Besitzstands im Bereich Luftverkehr führen. [9], [18]

### 3.2 RESA (Runway End Safety Area)

Die Sicherheitsfläche am Start-/Landebahnende (RESA) dient dazu, genügend hindernisfreie Fläche nach dem Ende der Landebahn zu haben, z. B. wenn ein Flugzeug bei einem Vorfall einmal über das Ende hinausschießen sollte. Das kann bei einer Landung aber auch nach einem Startabbruch passieren. Wenn man von der entgegengesetzten Richtung zu landen hat, ist diese Zone auch wichtig, um bei einem zu frühen Aufsetzen noch einen gewissen Raum zu haben.

Die ICAO-Vorschriften sehen hierbei vor, dass eine Sicherheitsfläche am Start-/Landebahnende (RESA) an jedem Ende eines Streifens vorhanden sein soll, wenn:

- die Code-Zahl 3 oder 4 ist;
- die Code-Zahl 1 oder 2 ist und es sich um eine Instrumenten-Landebahn handelt.

Eine Sicherheitsfläche am Start-/Landebahnende muss sich vom Ende eines Start- und Landebahnstreifens an über eine Entfernung von mindestens 90 m erstrecken.

Eine Sicherheitsfläche am Start-/Landebahnende sollte sich, soweit machbar, vom Ende des Start- und Landebahnstreifens über eine Entfernung von mindestens:

- 240 m für Code-Zahl 3 oder 4;
- 120 m für Code-Zahl 1 oder 2, erstrecken.

Die Breite von RESA muss mindestens doppelt so groß sein wie die Breite der dazugehörigen Start- und Landebahn und wo möglich mit dem eingeebneten Teil des zugehörigen Start- und Landebahnstreifens übereinstimmen.

Die Längsneigungen einer Sicherheitsfläche am Start-/Landebahnende (RESA) sollen eine negative Neigung von 5 % nicht überschreiten. Der Verlauf des Längsneigungswechsels soll starke Wechsel oder plötzliche Umkehrungen von Neigungen vermeiden.

Die Querneigungen einer Sicherheitsfläche am Start-/Landebahnende (RESA) sollen eine positive oder negative Neigung von 5 % nicht überschreiten. Der Verlauf der Übergänge zwischen unterschiedlichen Neigungen soll stetig sein. [9], [11], [17]

Die Sicherheitszonen müssen hindernisfrei sein und von der Tragfähigkeit so gewählt sein, dass es zu keinen Schneiden am LFZ kommt. Wenn der Boden nach einem Regen zu weich ist und das Fahrwerk ungleichmäßig und unkontrolliert einsinkt. Enthält die Sicherheitsfläche Hindernisse wie z. B. kleine Zufahrtswege ist es möglich, dass es zu Kräfteentwicklungen kommt, die die gesamte Flugzeugzelle zerstört. Auf der folgenden Abbildung sind die genannten Forderungen illustriert. [17]



Abbildung 23: Anforderungen an RESA [17]

Als negatives Beispiel dient ein Unfall am Flughafen Dortmund. Im Jänner 2010 sank hier bei winterlichem Wetter eine über das Landebahnde hinausrollende Boeng 737 nach einem Startabbruch wegen abweichender Geschwindigkeitsanzeigen, unkontrolliert und weit tiefer als 15 cm in das abschüssige Erdreich ein. Nach ICAO ist eine maximale Einsenkung des Bugfahrwerks von nur 15 cm erlaubt. Das Beispiel zeigt, dass bei starkem Niederschlag oder Schneedecke die Anforderungen gem. ICAO schwierig zu erreichen sind. [17]

### 3.3 EMAS (Engineered Material Arresting System)

Das EMAS (Engineered Material Arresting System) wurde in den USA entwickelt und wird da eingesetzt, wo sich Angrenzungen, starkes Gefälle und Gewässer befinden (meistens in der Sicherheitszone hinter der Start- und Landebahn). Der Begriff „Engineered Materials“ bedeutet nach FAA „hochenergetisch absorbierende Materialien“, wobei diese Materialien mit bestimmter Festigkeit gewählt werden und die zuverlässig und voraussichtlich durch das Gewicht eines Flugzeuges zerstört werden. (Das System wird auf den Abbildungen 24 und 25 dargestellt) [17]



Abb. 24: Darstellung von EMAS [17]



Abb. 25: Verwendung von EMAS [17]

Aus historischem Blick wurde das erste EMAS 1996 in New York installiert. In Ermangelung von internationalen Standards führten die ersten Installierungsversuche von Schotterbetten am Ende der Start- und Landebahnen zu Brandgefahr. Die Ursache dafür ist das Auswerfen des festen Materials aus dem Kiesbett und das Durchschlagen des Flügelkraftstofftanks durch dieses Material, wodurch Feuer verursacht wird. In diesem Fall ist das Feuer schwierig zu löschen, weil der auslaufende Kraftstoff in das Kiesbett sickert und das Feuer von unten noch verstärkt wird. Deswegen gibt es keine Empfehlung für das Engineered Arresting Material System (EMAS) durch die ICAO. Trotz früherer Erfahrungen wird heutzutage die Entwicklung des Systems stetig überprüft und verbessert. Ein im September 2005 installiertes EMAS, besteht aus einem Feld (kleiner als die Ausmaße einer RESA) vieler in den Boden eingelassener Zementblöcke, die durch die Kraft eines kommenden Fahrwerks zerbrechen und so das Flugzeug kontrolliert zum Stehen bringen. Jeder Einzelblock wird in dem EMAS-Bett mit heißem Asphalt befestigt, was das Eindringen von Wasser an der Oberfläche verhindert. Die Tiefe des EMAS-Bettes nimmt mit der zunehmender Entfernung von der Landebahn zu, wobei die Tiefe zwischen 25 und 75 cm beträgt. Die minimale angeforderte Länge des EMAS-Systems zum Aufsetzen ist 180 m. Maßgebend für das System sind nicht nur die kritischen Luftfahrzeuge, sondern auch die Reifendrucke und die Fahrwerkskonfiguration. Dieses System ist mit den bei starken Gefällstraßen vorhandenen Notstop-Kiesbetten vergleichbar, die die Fahrzeuge bei Ausfall der Bremsen sicher zum Stehen bringen.

Weiterhin wird die Installation an die Umweltbedingungen und die maximale aufsetzende EMAS-Geschwindigkeit des jeweiligen Luftfahrzeugs angepasst. Weltweit wird es immer häufiger dort eingesetzt, wo topographische Bedingungen eine RESA von 300 m nicht zulassen. Seit Juli 2014 wurde EMAS an 47 amerikanischen Flughäfen installiert, wobei bis Ende 2015 die Installation an insgesamt 62 Flughäfen geplant ist. In Madrid wurde das erste EMAS-Bett Europas bereits installiert, die weitere befinden sich in China und Taiwan. Die amerikanische Flugsicherheitsbehörde FAA erkennt dieses System bereits offiziell als einen Ersatz für RESAs an.

Das Engineered Arresting Material System (EMAS) hat folgende Anforderungen und Überwachungen:

- Planung durch ein überprüftes System (performance model);
- Verwendung von feuerbeständigen und nicht toxischen Materialien;
- passendes System für alle Temperaturen und veränderliches Wetter;
- Beständigkeit im Fall einer Brandgefahr der Flugfahrzeuge;
- keine negative Auswirkungen bei einem Überschießen der Landebahn;
- keine Hindernisse für die Durchfahrt der Rettungs- und Feuerfahrzeuge;
- ein genehmigtes Instandhaltungsprogramm.

Die Anforderungen im Bezug auf die Brandgefahr des Flugfahrzeuges und das Überschießen der Landebahn werden durch die Forderung an die Zone zwischen dem Start-/Landebahnende und dem EMAS-Bett erfüllt.

Bei der Planung eines Engineered Arresting Material Systems (EMAS) muss außerdem beachtet werden:

- ein Luftfahrzeug soll immer zum Stehen kommen, auch wenn die Landebahn endet;
- die Oberfläche, die zum EMAS-Bett führt, hat ein schlechtes Bremsverhalten;
- es liegen geringe oder keine strukturellen Schäden des Fahrwerks vor;
- das System ist nicht so effektiv für Luftfahrzeuge, die kleinere MTOW als 570 t aufweisen.

Zusammenfassend ist das Engineered Arresting Material Systems (EMAS) eine Alternative für eine längere Sicherheitsfläche am Start-/Landebahnende (RESA), selbst wenn die vollständigen Empfehlungen nach der RESA-Länge nicht ausreichend sind, damit ein Luftfahrzeug zum Stehen kommt. [19]

### 3.4 Windsack

In der Planung, als auch in der Flugdurchführung im Luftverkehr ist der Wind ein äußerst wichtiger Faktor. In der Regel ist der über Funk durch den Tower mitgeteilte Wind (Richtung und Stärke) nur ein gemessener, durchschnittlich übermittelter Wert der letzten zehn Minuten. Der Windsack hingegen ist ein einfaches sowie geniales Werkzeug, um dem Piloten die gerade gültige und aktuellste Windrichtung und -stärke in seiner direkten Umgebung, leicht interpretierbar anzuzeigen. Der Windsack ist ein wetterbeständiger, meist rot-weißer, an beiden Ende offener Nylongewebe-Schlauch, der an einer Stange einige Meter über dem Boden drehbar gelagert aufgehängt ist. (Siehe Abb. 26) Die rot-weißen Streifen der Windsäcke repräsentieren die Windstärke. Je nachdem wie weit der Windsack nach unten eingeknickt ist, lässt sich die Windstärke ausgehend vom Pfosten auszählen. Wenn der Windsack herabhängt, herrscht Windstille. Wenn der Windsack vollständig gestreckt ist, herrscht Windstärke 5 oder mehr. So hilft der Windsack dem Piloten, im letzten Moment noch vor dem Start beziehungsweise der Landung die aktuellen Bedingungen besser beurteilen zu können, die entsprechende Entscheidung zu treffen und die Unfällen in hektischen Situationen, für die die Geschwindigkeit und die Richtung des Winds auf einen Blick zu erkennen sind, zu vermeiden. [17]



Abbildung 26: Windsack [17]

Durch die schnelle Einschätzung der Windrichtung und der Windstärke (Windgeschwindigkeit) erhöht der Windsack die Sicherheit und die Unfallverhütung an windgefährdeten Stellen, wo das je nach dem Luftfahrtbedarf auf einem Flugplatz vorrangig ist. Aus diesem Grund ist es erforderlich, jedes Bahnende mit einem gut einsehbaren Windsack zu versehen, der nachts beleuchtet sein muss. Nach den Regeln der internationalen Luftfahrtorganisation ICAO müssen Windrichtungsanzeiger auf allen Flugplätzen vorhanden sein. Dort sollen sie aus der Luft und für Piloten am Boden eindeutig auszumachen sein. Ein Windsack darf von kleinräumigen Luftströmungen (z. B. Triebwerke)

sowie Luftverwirbelungen durch Gebäude nicht beeinflusst werden. Zur leichteren Identifikation aus der Luft sollen die Windsäcke von einem Kreis, bevorzugt in weißer Farbe, umgeben sein. [20]

Zu den Fertigungsanforderungen an die Windsäcke und deren Hauptmerkmale zählen sich noch:

- Windsackhülle – die Windsackhülle hat eine kegelförmige Form, wenn sie mit Luft gefüllt ist. Sie ist gegen Abrieb geschützt und so am Drehkorb angebracht, dass sie ohne spezielle Hilfsmittel ersetzt werden kann;
- Der Korb des Drehgestells – der Korb öffnet die Windsackhülle so, dass sie sich bei einer Windgeschwindigkeit von 28 km/h voll entfaltet;
- Material – die Windsackhülle kann aus Baumwolle, synthetischem Material oder einer Mischung aus beidem gefertigt werden, wobei die Materialstärke auch von Bedeutung ist (für Länder mit extremen Wetterbedingungen wie z. B. Grönland oder arabischen Staaten werden noch stärkere Materialien gefordert). Das Material muss wasserabweisende Eigenschaften besitzen. [21]

## 4 Planung der Flugsicherung von Flugbetriebsflächen (Betriebseinrichtungen)

### 4.1 Allwetterflugbetrieb

Die Einführung des Allwetterflugbetriebs dient dazu, den Flugzeugführern auch bei schlechter Sicht und tiefen Wolkenuntergrenzen Starts und Landungen auf Verkehrsflughäfen zu ermöglichen. Der Allwetterflugbetrieb wird auf speziell dafür ausgerüsteten Start- und Landebahnen, den Präzisionsanflugpisten wahrgenommen. Für die Instrumentenlandebahnen existieren bestimmte flugsicherungstechnische Regelungen in Bezug auf die Hindernisfreiheit im An- und Abflugbereich, für die optischen Hilfen der Landebahnen und Rollwege (Befeuerung, Markierung usw.) und die Genauigkeit des Instrumentenlandesystems (ILS – dient ausschließlich der Führung im Landeanflug und basiert auf dem Prinzip der Winkelbestimmung relativ zum Sender). Alle anderen Wetterelemente, die einen entscheidenden Einfluss auf den Präzisions-Instrumentenanflug haben, sind vom Wetterdienst zu ermitteln. [22]

#### 4.1.1 Betriebsstufen

Bei jedem Instrumentenanflug und auch beim ILS-Anflug ist das Erreichen der Entscheidungshöhe (*decision height*) der Moment, in dem die Cockpitbesatzung des anfliegenden Luftfahrzeugs über die endgültige Durchführung der Landung entscheidet. Wenn bei Erreichen der Entscheidungshöhe die Sichtbedingungen für das Fortsetzen des Anfluges nicht gegeben sind (d.h. der Pilot muss die Landebahn oder Teile der Anflugbefeuerung erkennen), muss der Anflug abgebrochen und durchgestartet werden. Nach der Entscheidung zum Durchstarten folgt das Luftfahrzeug dem Fehlanflugverfahren, nach dessen Abschluss ein erneuter Anflug durchgeführt werden kann. Präzisionsanflüge, zu denen auch der ILS-Anflug zählt, werden in Betriebsstufe I, Betriebsstufe II und Betriebsstufe III eingeteilt.

**Entscheidungshöhe (Decision height) – DH:** Eine auf die Landebahnschwelle bezogene, festgelegte Höhe im Präzisionsanflug, bei der ein Fehlanflug einzuleiten ist, wenn der erforderliche Sichtkontakt für eine Fortsetzung des Anflugs nicht gegeben ist.

**Landebahnsichtweite (Runway visual range) – RVR:** Sicht über die Entfernung, bis zu welcher der Pilot eines Flugzeuges auf der Mittellinie der Runway aus einer Höhe von 5 m die Landebahnmarkierungen oder die Rand bzw. Mittellinienfeuer dieser Landebahn erkennen kann:

Präzisionsanflüge und Landungen werden in folgenden Betriebsstufen unter Zugrundelegung von Betriebsmindestbedingungen unterteilt:

**Betriebsstufe I:** Präzisions-Instrumentenanflug- und Landung bei einer Entscheidungshöhe von nicht weniger als 60 m und einer Landebahnsichtweite (RVR) von nicht weniger als 550 m [800 m], oder wenn die Landebahnsichtweite nicht verfügbar ist, einer meteorologischen Sicht oder Feuersicht von nicht weniger als 550 m.

**Betriebsstufe II:** Präzisions-Instrumentenanflug- und Landung bei einer Entscheidungshöhe von weniger als 60 m, jedoch nicht weniger als 30 m und einer Landebahnsichtweite (RVR) von nicht weniger als 300 m [400 m].

Je nach technischer Ausstattung und Hindernisfreiheit des Flugplatzes ist Betriebsstufe III in Betriebsstufe IIIa, Betriebsstufe IIIb und Betriebsstufe IIIc unterteilt:

**Betriebsstufe IIIa:** Präzisions-Instrumentenanflug- und Landung bei entweder einer Entscheidungshöhe von weniger als 30 m, jedoch nicht weniger als 15 m sowie einer Landebahnsichtweite (RVR) von nicht weniger als 200 m.

**Betriebsstufe IIIb:** Präzisions-Instrumentenanflug- und Landung bei entweder einer Entscheidungshöhe von weniger als 15 m, oder ohne Entscheidungshöhe sowie einer Landebahnsichtweite (RVR) von weniger als 200 m, jedoch nicht weniger als 75 m.

**Betriebsstufe IIIc:** Präzisions-Instrumentenanflug- und Landung ohne Entscheidungshöhe und ohne Mindestlandebahnsichtweite (RVR).[22]

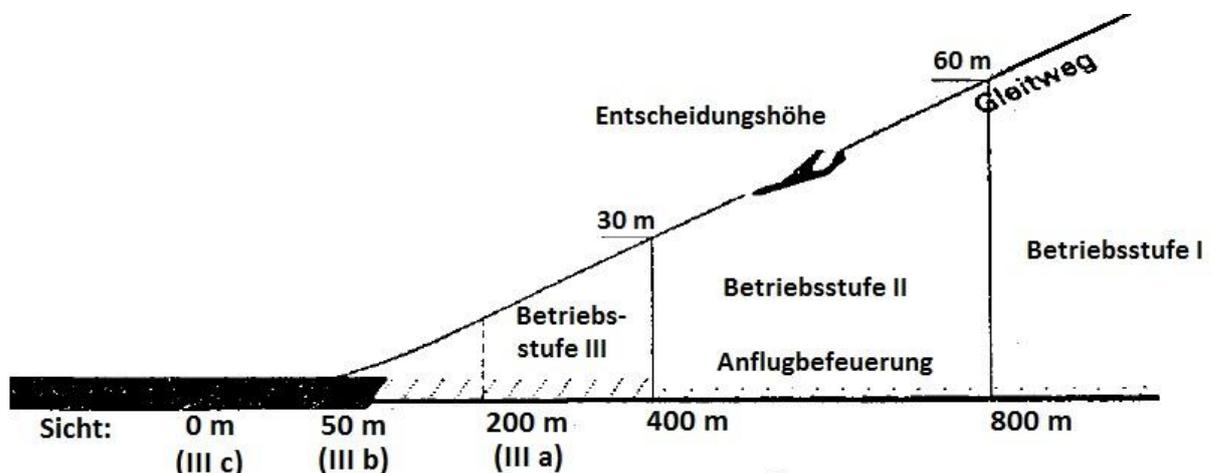


Abbildung 27: Anforderungen gem. Anflugkategorie [10]

## 4.2 Leiteinrichtungen

Die Leiteinrichtungen zählen zur Flughafenausstattung und verdeutlichen die Sichtführung. Die Funktion der Leiteinrichtung soll besonders bei schlechten Sichtverhältnissen gewährleistet sein, weil sie das Abkommen der Luftfahrzeuge von der Start-/Landebahn

verhindert. Dabei handelt es sich um Maßnahmen und Einrichtungen zur Lenkung und Leitung der Luftfahrzeuge.

Die Leiteinrichtungen, die in diesem Kapitel behandelt werden, sind:

- Befeuerung und Befeuerungssysteme;
- Markierungen von Flugbetriebsflächen;
- Zeichen;
- Marker.

#### **4.2.1 Befeuerung und Befeuerungssysteme**

Die Befeuerung und die Befeuerungssysteme beziehen sich auf die Anwendung von einer einfachen und einprägsamen Farbcodierung von Lampen und Gruppierungen von Lampen (Lampen werden in der Luftfahrt historisch bedingt als Feuer bezeichnet), wodurch die Lenkung und Leitung der Luftfahrzeuge ermöglicht wird und effizient wichtige Informationen weitergegeben und verarbeitet werden können. Die Hauptelemente der Befeuerung und der Befeuerungssysteme sind farbige Feuer oder Ketten von Feuern. Es ist im Allgemeinen möglich, Befeuerungssysteme zentral zu steuern (ein-/auszuschalten), die Lichtintensität zu regulieren und den herrschenden Sichtbedingungen anzupassen. Bei Nacht und schlechter Sicht werden die Mittellinien, seitliche Begrenzungen und besondere Punkte wie z. B. Kreuzungen und Einmündungen durch farbige Feuer markiert, damit eine leichtere Orientierung möglich ist. Die Farbcodierung ist simpel zu verändern. International sind Kodierungen im ICAO-Anhang 14, Band I und Band II festgeschrieben. [23]

Es kommen grundsätzlich zwei Arten von Feuern zur Anwendung:

- **Überflurfeuer:** Die Überflurfeuer arbeiten nach dem Rundstrahlprinzip (seltener als Richtstrahler) und sind an den Rändern von Flugbetriebsflächen angebracht. Die Höhe der Überflurfeuer ist möglichst niedrig zu halten, um Bodenfreiheit für Propellerblattspitzen und Triebwerksgondeln von Strahlverkehrsflugzeugen zu gewährleisten. Abbildung 28 zeigt ein Überflurfeuer. [23]



Abbildung 28: Überflurfeuer [23]

- **Unterflurfeuer:** Unterflurfeuer sind Feuer, die in die Oberfläche von Start-/Landebahnen, Stoppbahnen, Rollbahnen und Vorfeldern eingelassen sind. Sie müssen so angelegt und angebracht sein, dass beim Überrollen der Räder keine Schäden an dem LFZ oder den Feuern auftreten. Meist handelt es sich um gerichtete Feuer. Abbildung 29 zeigt ein Mittellinien – Unterflurfeuer.



Abbildung 29: Mittellinien – Unterflurfeuer [23]

Um die Feuer unter schlechten Verhältnissen oder nachts bei schlechter Sicht wirksam zu sein, müssen sie über eine angemessene Lichtstärke verfügen. Die Lichtstärke der Start- und Landebahnbeleuchtung ist den Sicht- und der Lichtverhältnisse der Umgebung anzupassen und muss mit dem nächstliegenden Teil einer vorhandenen Anflugbeleuchtung kompatibel sein. Beim Vorhandensein eines Hochleistungsbefeuerungssystems ist es mit einer geeigneten Lichtstärkeregelung zur Anpassung an die herrschenden Bedingungen zu versehen. [23]

- **Anflugbefeuerungssysteme**

Das Anflugbefeuerungssystem (ALS, Approach Lighting System) ist ein Beleuchtungssystem, das die Kursführung beim Landeanflug auf optischem Wege durch verschiedene Systeme unterstützt und vor der Landebahn angebracht ist. Es besteht aus mehreren Lichterketten und möglichen zusätzlichen kleinen Blitzlichtern. Das ALS dient dazu, sich schon früh bei einem Landeanflug in einem bestimmten Winkel auf die Landebahn sicher und stabil zu positionieren, da es das LFZ in direkter Verlängerung zur Landebahnmittellinie führt. Diese Anflugbefeuerung soll für jede Landebahn nicht kürzer als 900 m sein. Dabei gibt das ALS eine wichtige und notwendige allererste Sichthilfe und damit Einschätzung der räumlichen Lage der Landebahn. [23]

*Einfache Anflugbefeuerung* – Eine einfache Anflugbefeuerung wird für eine für die Nutzung bei Nacht bestimmte Sichtanflug-Landebahn mit der Code-Zahl 3 oder 4 oder auch für Nichtpräzisionsabflug-Landebahn vorgesehen. Es ist möglich, durch die einfache Anflugbefeuerung auch eine optische Führung bei Tage zu geben. Sie besteht aus einer Feuerreihe auf der verlängerten Start-/Landebahn-Mittellinie, die sich vor der Schwelle über mindestens 420 m erstreckt. Bei den Querbalkenfeuern sind Abstände von 1 bis 4 m üblich. Die Feuer sollen so konstruiert sein, dass sie sowohl bei Tage als auch bei Nacht unter den ungünstigsten Sichtbedingungen und den Lichtverhältnissen der Umgebung Führung geben. [23]

*Präzisionsanflugbefeuerung für Betriebsstufe I* – Eine Präzisionsanflugbefeuerung für Betriebsstufe I besteht aus einer Feuerreihe auf der verlängerten Start-/Landebahn-Mittellinie, die sich vor der Schwelle über 900 m erstreckt und 300 m vor der Schwelle eine Feuerreihe enthält, die 30 m langen Querbalken bildet. Es ist möglich, die Aufstellung eines Anflugbefeuerungssystems von weniger als 900 m zu betrieblichen Einschränkungen der Landebahn zu führen. Bei den Querbalkenfeuern sind Abstände von 1 bis 4 m üblich. Die Mittellinien- und Querbalkenfeuer einer Präzisionsanflugbefeuerung für Betriebsstufe I sind fest installiert Feuer, die veränderlich weiß abstrahlen. Jedes Mittellinienfeuer besteht aus einer Einzel-Lichtquelle innerhalb der inneren 300 m der Mittellinie, sowie Lichtquellen innerhalb der inneren 300 m der Mittellinie und drei Lichtquellen innerhalb der äußeren 300 m der Mittellinie, um eine Entfernungsanzeige zu geben, oder aus einem Kurzbalken. Die Kurzbalken sind mindestens 4 m lang und wenn sie aus punktaktigen Lichtquellen bestehen, sind die nebeneinanderliegenden Feuer des Kurzbalkens im einheitlichen Abstand von nicht mehr als 1,5 m aufzustellen. [23]

*Präzisionsanflugbefeuerung für Betriebsstufe II und III* – Eine Präzisionsanflugbefeuerung für Betriebsstufe II und III besteht aus einer Feuerreihe auf der verlängerten Start- /Landebahn-Mittellinie, die sich vor der Schwelle über 900 m erstreckt. Dabei enthält das System zwei Seitenreihen von Feuern, die sich vor der Schwelle über 270 m, sowie zwei Querbalken in

150 m und 300 m vor der Schwelle erstrecken. Eine Präzisionsanflugbefeuerung für Betriebsstufe II und III ist auf der Abbildung 30 dargestellt. [23]

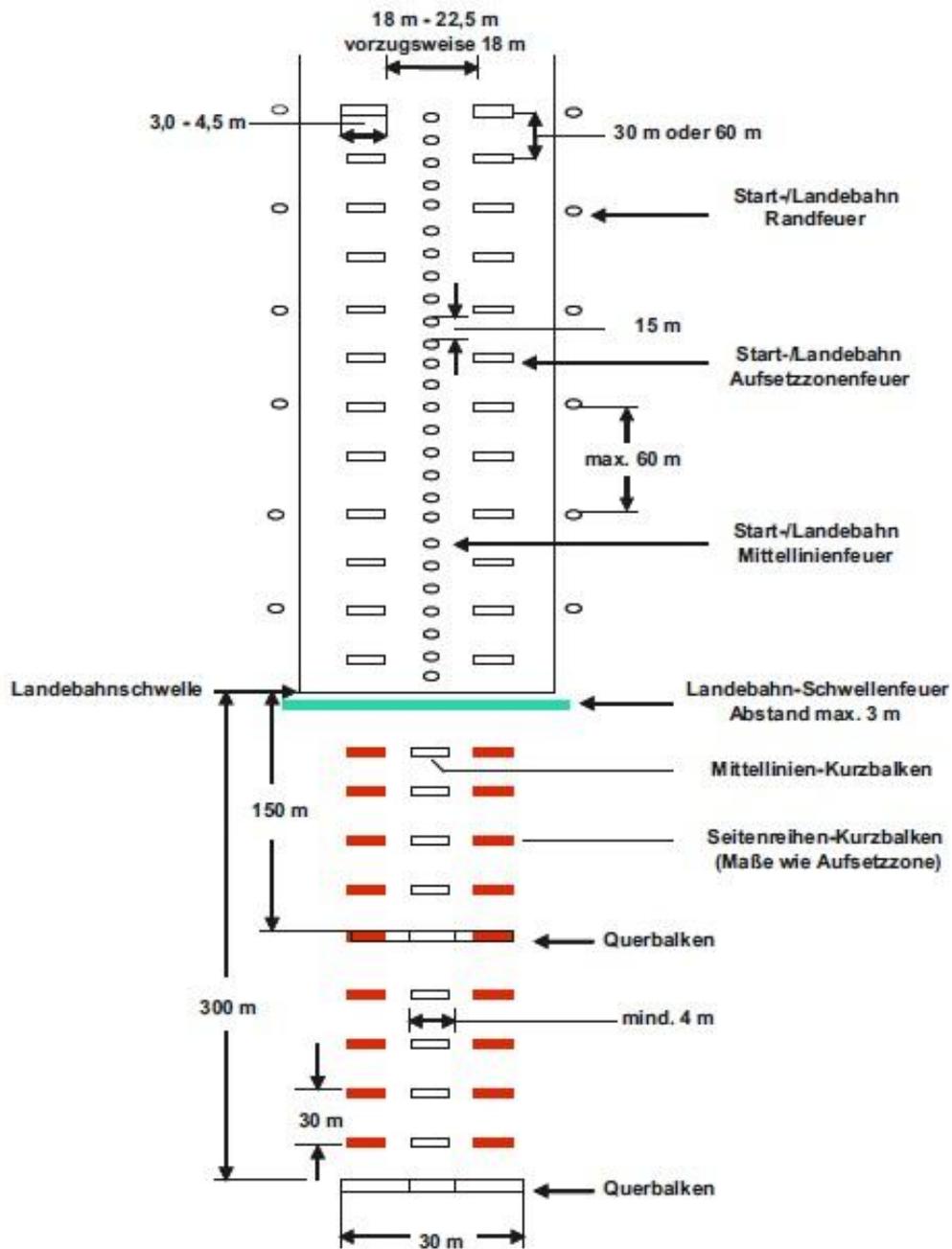


Abbildung 30: Präzisionsanflugbefeuerung für Betriebsstufe II und III [23]

- **Gleitwinkelbefeuerungssysteme**

Gleitwinkelbefeuerungssysteme (VASIS, Visual Approach Slope Indicator System) sind optische Landehilfen, die die vertikale Flugwegführung bis zum Aufsetzpunkt auf der Landebahn unterstützen. Das Prinzip bezieht sich auf die Weitergabe von farb- und formcodierten Informationen, die über Permanentfeuer abgestrahlt werden. Die Gleitwinkelbefeuerungssysteme bestehen meistens aus mehreren Zeilen von Feuern. Eine bestimmte Konfiguration von roten und weißen Feuern gibt dem Luftfahrzeugführer Information über die Position des Luftfahrzeuges im Bezug auf den Gleitweg. Bei Abweichungen in der Vertikalen wechseln nach Richtung der Abweichung und das verwendeten Systems vormals rote Feuer auf weiß und umgekehrt. Maßgeblich für den Wechsel der Farbe der Rotfilter und die Sichtlinie des Luftfahrzeugführers im Anflug. Es ist anzumerken, dass bei der Anwendung von Gleitwinkelbefeuerungssystemen durch die unterschiedliche Größe (Höhe des Cockpits) der Luftfahrzeuge, die Codierung, welche die Einhaltung des korrekten Gleitweges bezeichnet, verschieden sein kann. [23]

Für den Anflug auf eine Landebahn wird unabhängig von dem Vorhandensein anderer Sichtenflughilfen oder nichtoptischer Hilfen eine Gleitwinkelbefeuerung vorgesehen, wenn eine oder mehrere der folgenden Bedingungen zu erfüllen sind:

- Die Landebahn wird von Flugzeugen mit Strahltriebwerken oder von Luftfahrzeugen mit ähnlichen Anforderungen an die Anflugführung benutzt;
- Der Führer eines Luftfahrzeuges kann Schwierigkeiten beim Abschätzen des Anflugweges wegen z. B. irreführender Anzeige bei Entstehung der Landebahnneigungen oder täuschendes umgebendes Gelände haben;
- Das Vorhandensein von Objekten im Anflugsektor.

Zu den Standard-Gleitwinkelbefeuerungssystemen gehören:

- T-VASIS und AT-VASIS;
- PAPI (Precision Approach Path Indicates) - und APAPI-Systemen,

wobei PAPI, T-VASIS oder AT-VASIS bei Code-Zahl 3 oder 4 und PAPI oder APAPI bei Code-Zahl 1 oder 2 einzurichten sind. (Siehe Abb. 31) [23]

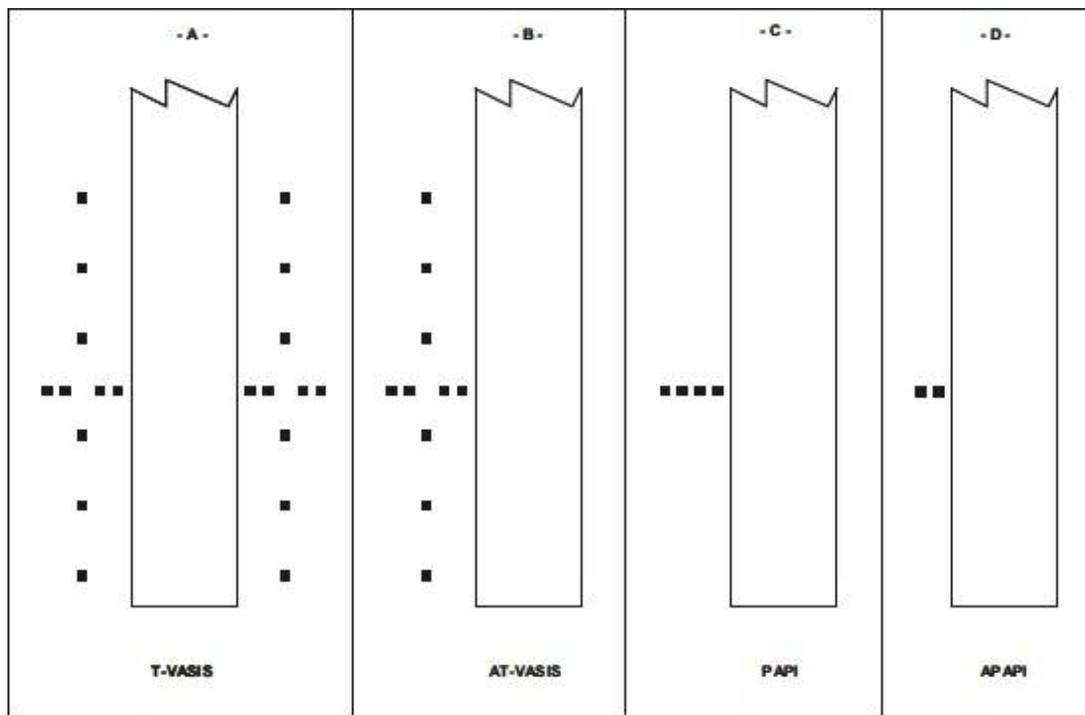


Abbildung 31: Gleitwinkelbefuerungssysteme [23]

Wie in Abb. 31 gezeigt ist, besteht das T-VASIS aus zwanzig Feuererheiten, die symmetrisch zur Start-/Landebahn-Mittellinie liegen und in Form von zwei Außenketten aus je vier Feuererheiten angeordnet sind, die in ihrer Mitte durch Längsreihen von sechs Feuern in zwei Teile geteilt werden. Das AT-VASIS besteht aus zehn Feuererheiten, die auf einer Seite der Start-/Landebahn in Form einer einzelnen Außenkette aus vier Feuererheiten angeordnet sind, die in ihrer Mitte durch eine Längsreihe von sechs Feuern in zwei Teile geteilt wird. Das PAPI-System besteht aus einer Außenkette von vier Feuererheiten mit Mehrfachlampen mit scharfem Farbübergang, die sich in gleichem Abstand voneinander befinden. Das APAPI-System besteht aus einer Außenkette mit zwei Mehrfachlampen mit scharfem Farbübergang. [23] (Siehe Abb. 32)

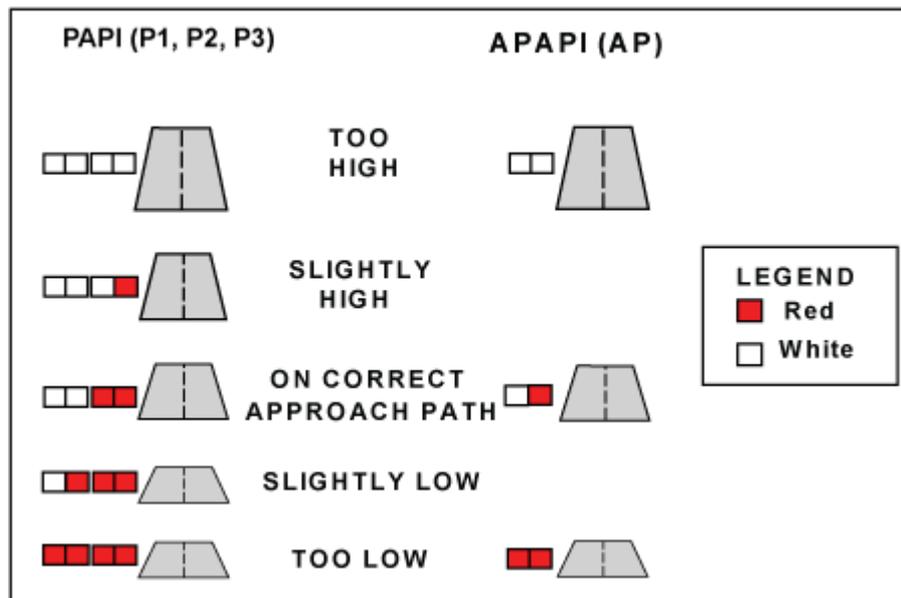


Abbildung 32: Darstellung von PAPI –und APAPI Systeme [24]

- **Schwellenkennfeuer**

Schwellenkennfeuer werden vorgesehen, wenn:

- an der Schwelle einer Nichtpräzisionsanflug-Landebahn eine zusätzliche Erkennbarkeit der Schwelle notwendig ist oder wenn es nicht möglich ist, andere Anflugbefeuerungen zu installieren;
- eine Landebahnschwelle vom äußersten Ende der Landebahn dauerhaft oder zeitweilig versetzt ist.

Schwellenkennfeuer befinden sich symmetrisch zur Start-/Landebahn-Mittellinie in einer Linie mit der Schwelle und etwa 10 m außerhalb jeder Reihe der Start- und Landebahnrandfeuer. Schwellenkennfeuer sind weiße Blitzfeuer, wobei es erlaubt ist, die Feuer nur in der Anflugrichtung zur Landebahn anzuordnen. Ein Beispiel für Schwellenkennfeuer ist in Abb. 33 gezeigt. [23]



Abbildung 33: Schwellenkennfeuer [23]

- **Start-/Landebahn-Randfeuer**

Start-/Landebahn-Randfeuer sind für den Nachtflugbetrieb auf einer Start-/ Landebahn oder für die Nutzung bei Tag oder Nacht einer Präzisionsanflug-Landebahn erforderlich und sind über die gesamte Länge der Start-/Landebahn und zwar in zwei Reihen parallel zu und mit gleichem Abstand von der Mittellinie angeordnet. Weiterhin sind die Feuer für eine Instrumenten-Landebahn in Reihen mit gleichmäßigen Abständen von nicht mehr als 60 m und für eine Sichtanflug-Landebahn in Abständen von nicht mehr als 100 m anzuordnen. Der Abstand zwischen den Feuern an Kreuzungen von Start-/Landebahnen kann unregelmäßig sein, wenn die Feuer zu einer angemessenen Orientierung führen. Start- und Landebahnrandfeuer werden als veränderlich-weiße Festfeuer verwendet, außer

- im Falle einer versetzten Schwelle sind die Feuer zwischen dem Anfang der Start-/ Landebahn und der versetzten Schwelle in Anflugrichtung rot;
- ein Feuerabschnitt von 600 m Länge (oder einem Drittel der Start-/Landebahn) kann am Ende der Start-/Landebahn, gegenüberliegend dem Startlaufbeginn gelb abstrahlen. [23]

- **Schwellen- und Außenkettenfeuer**

Die Schwellenfeuer befinden sich nicht mehr als 3 m außerhalb des äußersten Endes einer Start-/Landebahn oder im Falle einer versetzten Schwelle, an dieser selbst. Dabei besteht die Schwellenbefeuerung:

- bei einer Sichtanflug- oder Nichtpräzisionsanflug-Landebahn mindestens aus 6 Feuern;
- bei einer Präzisionsanflug-Landebahn der ICAO-Betriebsstufe I aus mindestens der Anzahl von Feuern, die erforderlich sind, wenn die Feuer gleichmäßig in Abständen von 3 m zwischen den Reihen der Start-/Landebahnrandfeuer angeordnet sind;
- bei einer Präzisionsanflug-Landebahn der ICAO-Betriebsstufe II oder III aus gleichmäßig zwischen den Reihen der Start-/Landebahnrandfeuer in Abständen von nicht mehr als 3 m angeordneten Feuern.

Die Feuer sollen entweder in gleichmäßigen Abständen zwischen den Reihen der Start- und Landebahnrandfeuer, oder symmetrisch zur Start- und Landebahnmittellinie in zwei Gruppen angeordnet sein.

Die Außenkettenfeuer sind in Höhe der Schwelle in Außenketten angeordnet. Jede Außenkette besteht mindestens aus fünf Feuern, die sich über mindestens 10 m von der Reihe der Start-/Landebahn-Randfeuer nach außen erstrecken.

Schwellen- und Außenkettenfeuer sind einseitig gerichtete Festfeuer, die in Richtung des Anfluges auf die Landebahn Grün abstrahlen. [23]

- **Start-/Landebahn-Endfeuer**

Die Start-/Landebahn-Endfeuer befinden sich in einer Linie rechtwinklig zur Start- und Landebahnachse so nahe wie möglich am Ende der Start-/Landebahn, d.h. maximal 3 m davon entfernt. Mindestens sechs Feuer, die in gleichmäßigen Abständen angeordnet sind, bilden die Befeuerung. Es ist möglich, die Feuer auch symmetrisch zur Start-/Landebahn-Mittellinie in zwei Gruppen anzuordnen, zwischen denen eine größere Lücke besteht. Bei einer Präzisionsanflug-Landebahn für die ICAO-Betriebsstufe III soll der Abstand zwischen den Start-/Landebahn-Endfeuern 6 m nicht überschreiten.

Start-/Landebahn-Endfeuer sind einseitig gerichtete Festfeuer, die in Richtung der Start-/Landebahn rot abstrahlen. [23]

- **Start-/Landebahn-Mittellinienfeuer**

Start-/Landebahn-Mittellinienfeuer sind für Präzisionsanflug-Landebahn für die ICAO-Betriebsstufen II oder III vorgeschrieben. Für Betriebsstufe I werden Start-/Landebahn-Mittellinienfeuer vorgesehen, wenn der Abstand zwischen den Start-/Landebahn-Randfeuern größer als 50 m ist, oder wenn die Landebahn von Luftfahrzeugen mit hohen Geschwindigkeiten genutzt wird. Die Start-/Landebahn-Mittellinienfeuer werden entlang der Mittellinie der Start-/Landebahn installiert. Weiter werden die Feuer von der Schwelle bis zum Ende der Start-/Landebahn in Abständen von ca. 15 m angeordnet. [23]

Start-/Landebahn-Mittellinienfeuer sind Festfeuer, die von der Schwelle bis zu einem Ort von 900 m vom Start-Landebahnende veränderlich-weiß abstrahlen, abwechselnd rot und weiß von 900 m bis 300 m vom Start- und Landebahnende und rot von 300 m bis zum Start- und Landebahnende. Im Falle, dass die Länge der Start- und Landebahn wenig als 1.800 m ist, erstrecken sich die abwechselnd roten und weißen Feuer von der Mitte der für die Landung nutzbaren Landebahn bis zu 300 m vom Start- und Landebahnende. [23]

- **Aufsetzzonenfeuer**

Aufsetzzonenfeuer werden in der Aufsetzzone einer Präzisionsanflug-Landebahn für die ICAO-Betriebsstufen II oder III vorgeschrieben. Aufsetzzonenfeuer erstrecken sich vor der Schwelle über einen Längsabstand von 900 m. Bei Start-/Landebahnen, die weniger als 1.800 m lang sind, verkürzt sich diese Strecke. Das Muster wird durch Paare von Kurzbalken gebildet, die symmetrisch zu Start- und Landebahnmittellinie angeordnet sind. Ein Kurzbalken besteht aus mindestens 3 Feuern, deren Abstand nicht mehr als 1,5 m ist. Ein Kurzbalken soll zwischen 3 m und 4,5 m lang sein. Aufsetzzonenfeuer sind einseitig gerichtete Festfeuer, die veränderlich-weiß abstrahlen. [23]

- **Schnellabrollweg-Hinweisfeuer**

Schnellabrollweg-Hinweisfeuer sind für Start-/Landebahn vorgesehen, die für die Nutzung bei Sichtweiten weniger als 350 m RVR (Runway Visual Range) und hohen Verkehrsaufkommen eingerichtet sind. Das Ziel der Schnellabrollweg-Hinweisfeuer ist, dem Piloten bei geringen Sichtweiten zu ermöglichen das LFZ effizient abzubremsen und die geforderten Abrollgeschwindigkeiten zu erreichen. Schnellabrollweg-Hinweisfeuer bestehen aus einseitig gerichteten Festfeuern, die in die Richtung des Anfluges auf die Landebahn gelb abstrahlen. (Siehe Abb. 34) Im Falle einer Fehlfunktion eines Feuers soll das System nicht mehr betrieben werden. Schnellabrollweg-Hinweisfeuer brauchen außerdem einen separaten Stromkreis, der nicht die übrigen Start-/Landebahn-Befeuerungssysteme versorgt. Dadurch ist es möglich, diese Feuer zu betreiben, wenn die anderen Feuer abgeschaltet sind. [23]

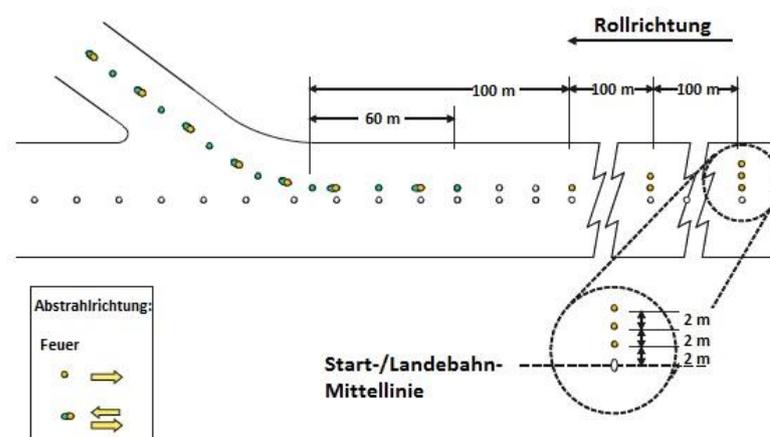


Abbildung 34: Schnellabrollbahn-Hinweisfeuer [23]

- **Stoppbahnfeuer**

Stoppbahnfeuer sind an einer Stoppbahn für die Nutzung bei Nacht vorgeschrieben. Stoppbahnfeuer sind auf der gesamten Länge der Stoppbahn in zwei parallelen Reihen in

gleichen Abstand von der Mittellinie und ebenfalls quer am Ende einer Stoppbahn in einer Linie rechtwinklig zur Stoppbahnachse nahe zu dem Stoppbahnenende in ca. 3 m jenseits des Stoppbahnenendes angeordnet. Stoppbahnfeuer sind einseitig gerichtete Festfeuer, die in Start- und Landebahnrichtung rot abstrahlen. [23]

- **Rollbahnmittellinienfeuer**

Rollbahnmittellinienfeuer sollen auf Abrollbahnen, Rollbahnen und Vorfeldern, die bei Sichtweiten unter 350 m genutzt werden und eine kontinuierliche Rollführung von der Start- und Landebahnmittellinie bis zur Position auf dem Vorfeld gewährleisten, vorhanden sein. Falls das Verkehrsaufkommen niedrig ist und die Rollbahnrandfeuer und die Mittellinienmarkierungen einer ausreichenden Rollführung entsprechen, sind die Rollbahnmittellinienfeuer nicht erforderlich. Rollbahnmittellinienfeuer sind Festfeuer, die wechselnd grünes oder gelbes Licht von ihrem Beginn nahe der Start-/Landebahn-Mittellinie bis zur äußeren Begrenzung der allgemeinen Schutzzone oder bis zum unteren Rand der inneren Übergangsfläche abstrahlen. Danach strahlen alle Feuer grün ab. (Siehe Abb. 35) Rollbahnmittellinienfeuer werden gewöhnlich auf der Rollbahnmittellinienmarkierung installiert. Rollbahnmittellinienfeuer in einer Rollbahnkurve sollen so angeordnet sein, dass der Abstand zwischen den Feuern eine deutliche Anzeige der Kurve gewährleistet. Die Abstände der Feuer in Bezug auf den Kurvenradius einer Rollbahn sind:

- Beim Kurvenradius  $\geq 400$  (m)  $\rightarrow$  Abstand der Feuer 7,5 (m);
- Beim Kurvenradius  $401 \leq 899$  (m)  $\rightarrow$  Abstand der Feuer 15 (m);
- Beim Kurvenradius  $\geq 900$  (m)  $\rightarrow$  Abstand der Feuer 30 (m).

Es ist noch darauf zu achten, dass die Längsabstände zwischen den Rollbahnmittellinienfeuern auf einer Start-/Landebahn, die Teil der Standardrollführung und für das Rollen bei Sichtweiten unter 350 m vorgesehen sind, nicht mehr als 15 m betragen sollen. [23]

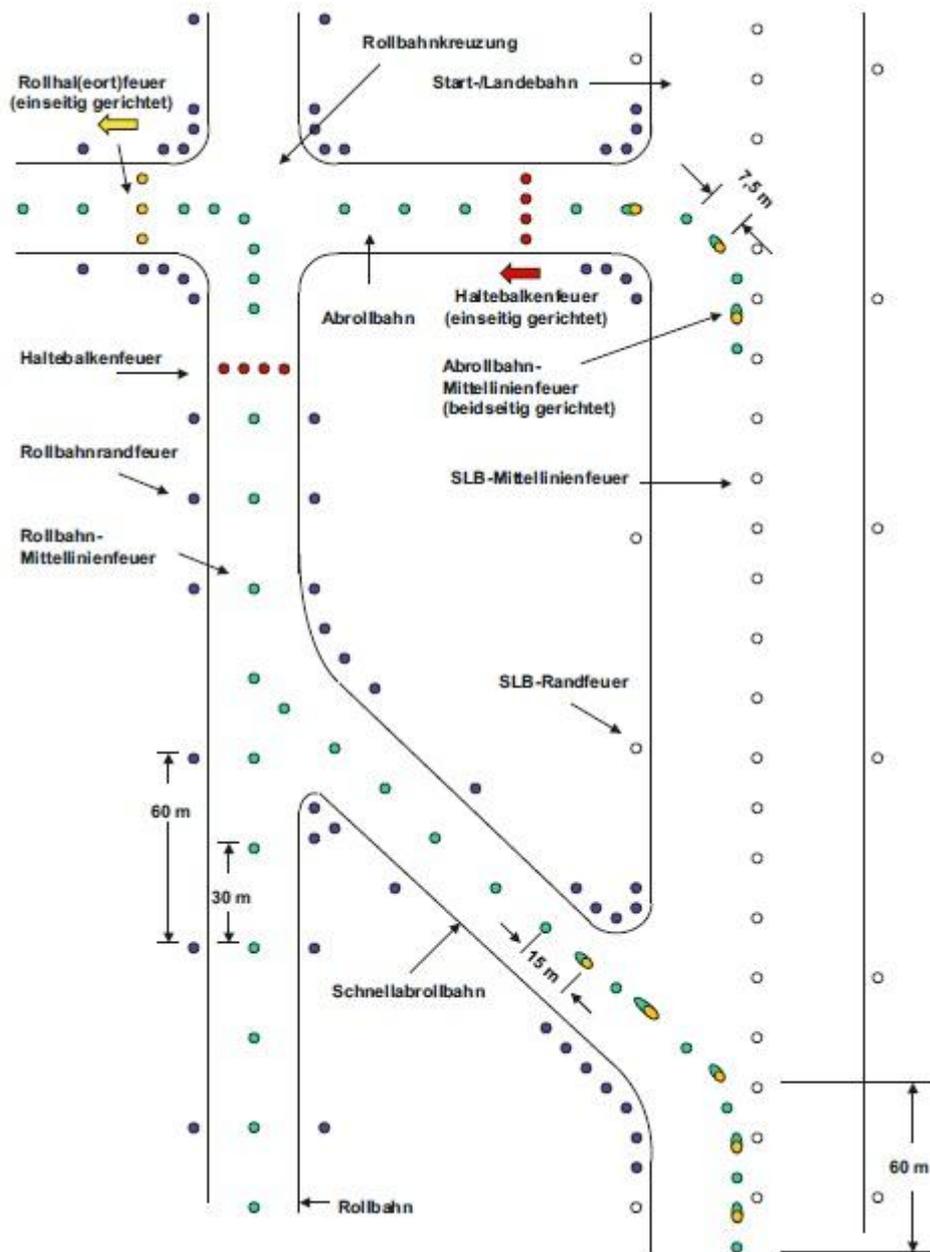


Abbildung 35: Darstellung von Rollbahnbefehrunge [23]

- **Rollbahnrandfeuer**

Rollbahnrandfeuer sollen an den Rändern einer Start-/Landebahn-Wendefläche, einer Enteisungseinrichtung, einem Vorfeld und an einer Rollbahn, die über keine Rollbahnmittellinienfeuer verfügt, vorhanden sein. Die Rollbahnrandfeuer sind für den Betrieb bei Nacht vorgesehen. Der Abstand zwischen den Rollbahnrandfeuern auf geraden Rollbahnabschnitten soll höchstens 60 m sein und in Kurven sollen die Abstände zwischen den Feuern weniger als 60 m zur deutlichen Anzeige der Kurve betragen. Der Längsabstand

von Rollbahnrandfeuern auf einer Start-/Landebahn-Wendefläche soll nicht mehr als 30 m sein. Rollbahnrandfeuer sind Festfeuer, die blau abstrahlen. [23]

- **Start-/Landebahn-Wendeflächenfeuer**

Start-/Landebahn-Wendeflächenfeuer sind für eine durchgehende Führung auf der Start-/Landebahn-Wendefläche für das Rollen bei Sichtweiten unter 350 m vorgesehen, damit ein LFZ bei Nacht eine 180 ° Drehung komplettieren und sich auf der Start-/Landebahnmittellinie ausrichten kann. Der Längsabstand von Start-/Landebahn-Wendeflächenfeuer soll auf dem geraden Teil der Start-/Landebahn-Wendeflächenmarkierung nicht mehr als 15 m und im kurvigen Teil der Start-/Landebahn-Wendeflächenmarkierung nicht mehr als 7,5 m sein.

Start-/Landebahn-Wendeflächenfeuer sind einseitig gerichtete Festfeuer, die grün abstrahlen und nur von Luftfahrzeugen, die sich auf der Start-/Landebahn-Wendefläche befinden, sichtbar sind. [23]

- **Haltebalken**

Haltebalken sind zur Markierung der Rollhalteorte für die ICAO-Betriebsstufe III vorgeschrieben. Sie bestehen aus roten ein- oder zweiseitig ausgerichteten Unterflurfeuern. Die Einzelfeuer sind quer zur Rollbahn in Abständen von 3 m angeordnet.

Die Einschaltung eines Haltebalkens zeigt dem Luftfahrzeugführer an, dass er zunächst halten muss und die Ausschaltung zeigt ihm an, dass er weiterrollen kann. [23]

- **Rollhalt(eort)feuer**

Rollhalt(eort)feuer sind an einem Rollhalt(eort) für die Nutzung bei Sichtbedingungen unter 350 m und beim Vorhandensein eines Haltebalkens vorgesehen. Rollhalt(eort)feuer sind entlang der Rollhalt(eort)markierung im Abstand von 0,3 m vor der Markierung anzubringen. Rollhalt(eort)feuer bestehen aus drei einseitig gerichteten Festfeuern, die gelbes Licht abstrahlen. [23]

- **Start-/Landebahn-Schutzfeuer**

Start-/Landebahn-Schutzfeuer (Guard Lights) geben Information dem Luftfahrzeugführer beim Befahren von Rollbahnen über das Aufrollen auf eine aktive Start-/Landebahn. Es werden zwei Standard-Konfigurationen von Start-/Landebahn-Schutzfeuer unterschieden. (Siehe Abb. 36) [22]

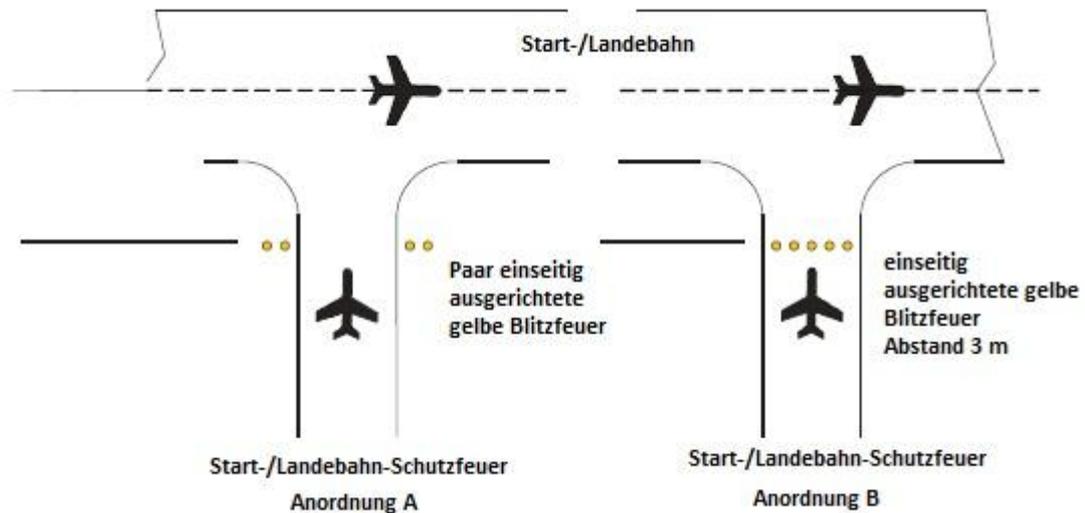


Abbildung 36: Start-/Landebahn-Schutzfeuer [23]

Start-/Landebahn-Schutzfeuer der Anordnung A sind an jeder Rollbahnkreuzung und Start-/Landebahnkreuzung an einer Start-Landebahn vorgesehen. Start-/Landebahn-Schutzfeuer der Anordnung A werden für Start-/Landebahn-Sichtweiten unter 550 m genutzt, wenn keine Haltebalken vorhanden sind, und außerdem für Start-/Landebahn-Sichtweiten zwischen 550 und 1.200 m, wenn das Verkehrsaufkommen hoch ist. Start-/Landebahn-Schutzfeuer der Anordnung A bestehen aus zwei Paaren gelb abstrahlender Feuer. Start-/Landebahn-Schutzfeuer der Anordnung B bestehen aus nebeneinander ausgerichteten gelben Blitzfeuern. Die Feuer werden wiederkehrend 30-60 Mal pro Minute betrieben. [23]

- **Vorfeld-Flutlichtbeleuchtung**

Eine Vorfeld-Flutlichtbeleuchtung wird an einem Vorfeld, einer Enteisungseinrichtung und an einem gesondert liegenden Luftfahrzeug-Abstellplatz vorgesehen, wenn diese Bereiche für die Nutzung bei Nacht bestimmt sind. Die Anordnung der Vorfeld-Flutlichtscheinwerfer soll die Blendwirkung für Luftfahrzeugführer im Fluge und am Boden vermindern und die Ausleuchtung eines Luftfahrzeug-Standplatzes in allen Richtungen ohne Schatteneffekte gewährleisten. Die Verteilung der Vorfeld-Flutlichtscheinwerfer muss außerdem das Erkennen von Markierungen und deren Farben zur Durchführung des Routine-Abfertigungsbetriebs und für Oberflächen- und Hindernismarken ermöglichen. [23]

- **Optische Rollführungs-und Andockführungssysteme**

Ein optisches Andockführungssystem dient dazu, durch optische Hilfe die genaue Rollführung und Positionierung eines Luftfahrzeuges zu zeigen und an einem Luftfahrzeug-Standplatz anzuzeigen. Das Vorhandensein eines Andocksystems hängt von folgenden Faktoren ab:

- Anzahl und Muster der Luftfahrzeuge, die den Standplatz benutzen;
- Wetterverhältnisse;
- verfügbare Platzverhältnisse auf dem Vorfeld;
- Präzision der Positionierung der Luftfahrzeuge an der Abstellposition.

Das System soll zudem über eine Azimutführung und eine Halteanzeige verfügen. Die Azimutführungseinheit wird vor dem Luftfahrzeug auf oder in der Nähe der Verlängerung der Standplatzmittellinie installiert, damit die Signale von einem Cockpit während der gesamten Andockmanövers sichtbar sind. Die Azimutführungseinheit erleichtert die Links-/Rechts-Rollführung ohne Übersteuern auf die Rollleitlinie. Bei dem Farbwechsel der Azimutführungseinheit bedeutet die grüne Farbe das Überfahren der Mittellinie und die rote Farbe die Abweichungen von der Mittellinie. Der Haltepunktanzeiger wird in der Nähe zu der Azimutführungseinheit angeordnet und wird vom Luftfahrzeugführer auf der linken Sitzposition genutzt. Der Haltepunktanzeiger zeigt den Haltepunkt für das Luftfahrzeugmuster. Durch die grüne Farbe zeigt der Haltepunktanzeiger eines Luftfahrzeuges die Möglichkeit weiterzurollen. Durch die rote Farbe wird angezeigt, dass der Haltepunkt erreicht ist. Zum Beispiel zeigt das „Azimuth Guidance for Nose-In Stands System“ (Siehe Abb. 37), die Wirkung eines Rot-/Grün-Filters nach der Sichtlinie eines Luftfahrzeugführers. Wenn beide Lampen grün leuchten, ist das LFZ auf dem korrekten Rollweg und wenn eine der beiden Lampen rotes Licht abstrahlt, muss die Rollrichtung zur Seite der grünen Lampe korrigiert werden. [23]

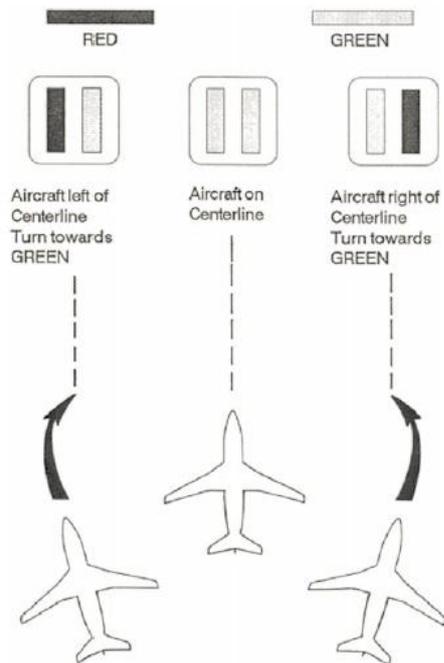


Abbildung 37: Prinzip von „Azimuth Guidance for Nose-In Stands System“ [23]

Bei der Befeuerung und den Befeuerungssystemen ist anzumerken, dass durch die simple Farbcodierung von Lampen eine Anpassung an die herrschenden Sichtbedingungen bei Nacht und bei schlechtem Wetter sowie die Informationsweitergabe und -verarbeitung im Kommunikationssystem Mensch – Maschine möglich ist.

#### 4.2.2 Markierungen von Flugbetriebsflächen

Die Markierungen auf FBF sind analog zu der Befeuerung von FBF aufgebaut. Sie bestehen aus Farb- und Formcodierung mit Ausnahme der Start- und Landebahnbezeichnungsmarke, die aus alphanumerischen Zeichen besteht. Die nachfolgend beschriebenen Markierungen in diesem Kapitel basieren vollständig auf den Richtlinien und Empfehlungen des Anhangs 14, Volume I, der ICAO [11]. Die Farbmarkierungen dienen dazu, die seitlichen Begrenzungen, Mittellinienführungen sowie besondere Positionen auf den Flugbetriebsflächen zu markieren. Es werden in erster Linie weiße bzw. gelbe Farbmarkierungen, die sich auf dunklem Hintergrund gut abzeichnen, verwendet. Bei hellem Hintergrund wird die Auffälligkeit der Markierungen durch eine schwarze Umrahmung verbessert. Durch die Wahl der Farbsubstanz ist es möglich, ungleiche Bremswirkungen auf den Flugbetriebsflächen zu vermeiden. Für die Bodenmarkierungen, die an Flugplätzen mit Nachtflugbetrieb ausgeführt werden, ist es notwendig, ein reflektierendes Material zu verwenden. [23]

- **Start-/Landeahn-Bezeichnungsmarkierung**

Eine Start-/Landeahn-Bezeichnungsmarkierung ist an den Schwellen einer befestigten und nach Möglichkeit auch einer unbefestigten Start-/Landeahn anzubringen. In Abb. 38 sind Start-/Landeahn-Bezeichnungen, Mittellinien- und Schwellenmarkierungen illustriert.

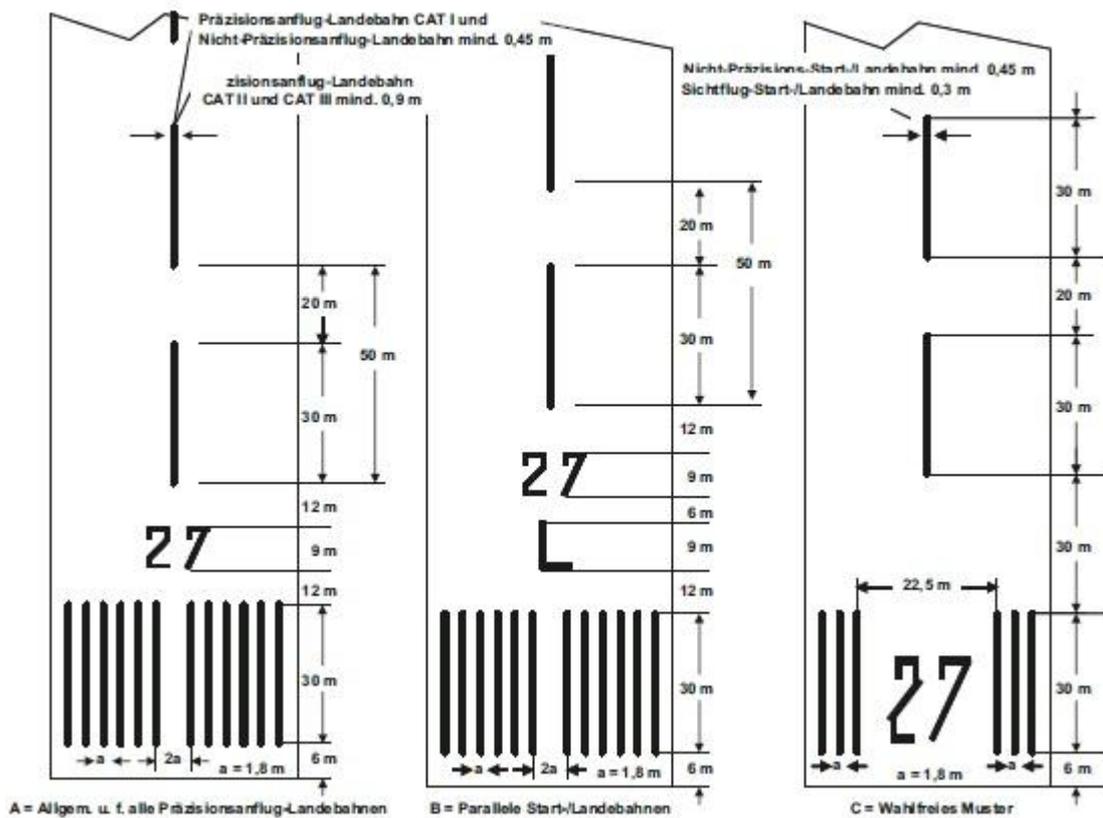


Abbildung 38: Start-/Landeahnbezeichnungen, Mittellinien-/Schwellenmarkierungen [23]

Eine Start-/Landeahn-Bezeichnungsmarkierung besteht aus einer zweistelligen Zahl, die auf parallelen Start-/Landeahn durch einen Buchstaben in der Reihenfolge von links nach rechts aus Sicht der Anflugrichtung ergänzt wird und nämlich:

- für zwei parallele Start-/Landeahn: „L“ „R“;
- für drei parallele Start-/Landeahn: „L“ „C“ „R“;
- für vier parallele Start-/Landeahn: „L“ „R“ „L“ „R“;
- für fünf parallele Start-/Landeahn: „L“ „C“ „R“ „L“ „R“ oder „L“ „R“ „L“ „C“ „R“;
- für sechs parallele Start-/Landeahn: „L“ „C“ „R“ „L“ „C“ „R“ . [23]

Die Form und die Größenverhältnisse von Zahlen und Buchstaben sind auf der folgenden Abbildung gezeigt.

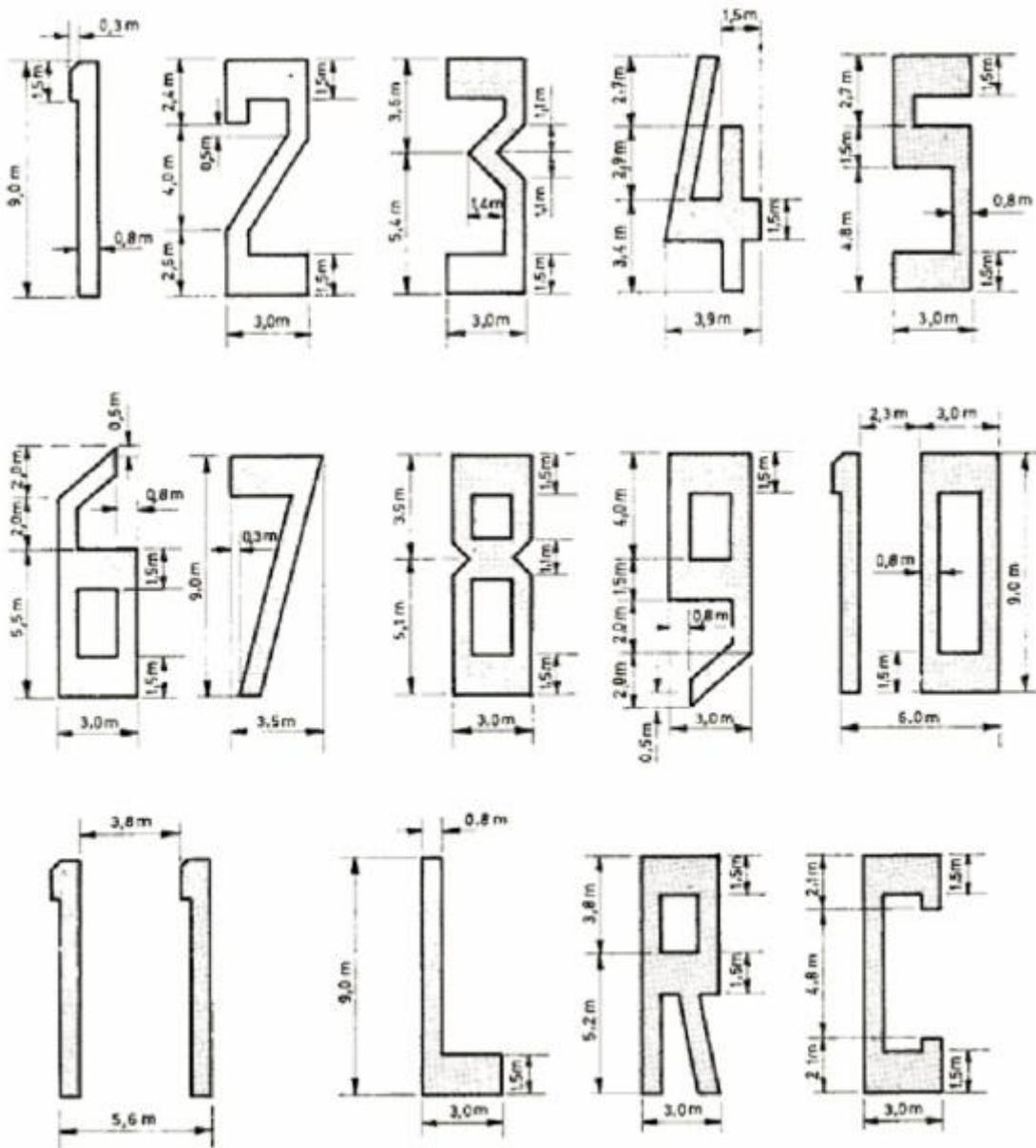


Abbildung 39: Start - und Landebahnbezeichnungsmarkierungen [23]

- **Start-/Landebahn-Mittellinienmarkierung**

Eine Start-/Landebahn-Mittellinienmarkierung ist entlang der Mittellinie der Start-/Landebahn zwischen den Start-/Landebahnbezeichnungsmarkierungen vorgesehen (Siehe Abb. 38) und besteht aus einer Linie gleichmäßig verteilter Streifen und Zwischenräumen. Die Länge eines Streifens soll zusammen mit einem Zwischenraum nicht weniger als 50 m und nicht mehr als 75 m sein. Die Breite der Streifen soll nicht weniger sein als:

- 0,9 m auf Präzisionsanflug-Landebahnen für Betriebsstufe II und III;
  - 0,45 m auf Nichtpräzisionsanflug-Landebahnen mit der Code-Zahl 3 oder 4 und auf Präzisionsanflug-Landebahnen für Betriebsstufe I;
  - 0,30 m auf Nichtpräzisionsanflug-Landebahnen mit der Code-Zahl 1 oder 2 und auf Sichtanflug-Landebahnen. [23]
- **Schwellenmarkierung**

Eine Schwellenmarkierung soll an der Schwelle einer befestigten Sichtanflug-Landebahn für die Code-Zahl 3 oder 4 sowie an den Schwellen einer unbefestigten Landebahn angebracht werden. Die Streifen der Schwellenmarkierung beginnen 6 m hinter der Schwelle. Weiters besteht die Schwellenmarkierung aus einem Muster von symmetrisch zur Mittellinie einer Start-/Landebahn angeordneten Längsstreifen. Die Anzahl der Streifen hängt von der Start-/Landebahnbreite ab. (Siehe Tabelle 9) [23]

Tabelle 9: Anzahl der Streifen entsprechend der Start-/Landebahnbreite [23]

Breite der Start-/Landebahn (m)	Anzahl der Streifen
18	4
23	6
30	8
45	12
60	16

Die Streifen erstrecken sich seitlich bis zu 3 m von dem Rand einer Start-/Landebahn oder bis zu einer Entfernung von 27 m zu beiden Seiten einer Start-/Landebahnmittellinie. Wenn z. B. die Start-/Landebahn-Bezeichnungsmarkierung oberhalb einer Schwellenmarkierung angebracht ist, sind die Streifen quer über die Start-/Landebahn anzuordnen. In diesem Fall müssen die Streifen 30 m lang und die Zwischenräume etwa 1,80 m sein. Falls sich die Streifen über die gesamte Breite einer Start-/Landebahn erstrecken, ist es notwendig zwischen den, neben der Mittellinie einer Start-/Landebahn liegenden Streifen einen doppelten Zwischenraum zu belassen. Falls die Bezeichnungsmarkierung innerhalb der Schwellenmarkierung ist, muss dieser Zwischenraum 22,5 m sein. [23]

### Zielhaltepunktmarkierung

Eine Zielhaltepunktmarkierung soll an jedem Ende einer befestigten Sichtanflug-Landebahn mit der Code-Zahl 3 oder 4 und am Ende einer befestigten Instrumenten-Landebahn mit Code-Zahl 1 eingerichtet sein. Die Zielhaltepunktmarkierung besteht aus zwei Streifen, deren Ausmaße und Längsabstände der Innenseiten zueinander in folgender Tabelle 10 gezeigt sind.

Tabelle 10: Lage und Maße der Zielhaltepunktmarkierung [23]

#### Verfügbare Landestrecke (m)

Lage und Abmessungen <sup>a</sup>	<800	800<1.200	1.200<2.40	≥2.400
	0			
Abstand vor der Schwelle bis zum Beginn der Markierung	150	250	300	400
Länge des Streifens	30-45	30-45	45-60	45-60
Breite des Streifens	4	6	6-10 <sup>b</sup>	6-10 <sup>b</sup>
Längsabstand zwischen den Innenseiten der Streifen	6 <sup>c</sup>	9 <sup>c</sup>	18-22,5	18-22,5

<sup>a</sup> Die größten Abmessungen der Auswahlbereiche sollen dort angewendet werden, wo eine erhöhte Sichtbarkeit erforderlich ist.

<sup>b</sup> Die Längsabstände dürfen innerhalb der Grenzen variiert werden, um Verunreinigungen durch Gummiabrieb zu begrenzen.

<sup>c</sup> Die Zahlenwerte werden in Bezug auf den Abstand der äußeren Räder des Hauptfahrwerks, welcher Code-Element 2 des Flugplatzbezugscode repräsentiert, abgeleitet.

- **Aufsetzzonenmarkierung**

Eine Aufsetzzonenmarkierung ist in der Aufsetzzone einer befestigten Präzisionsanflug-Landebahn mit der Code-Zahl 2,3 oder 4 und in einer befestigten Nicht-Präzisionsanflug- oder Sichtanflug-Landebahn mit der Code-Zahl 3 oder 4 eingerichtet. Die Aufsetzzonenmarkierung besteht aus Paaren rechteckiger Markierungen, die symmetrisch zu der Start-/Landebahnmittellinie liegen, wobei die Anzahl der Paare in einem Verhältnis zur Start-/Landebahnlänge ist. Die Markierungspaare müssen im Längsabstand von 150 m ab der Schwelle angebracht werden, außer wenn die Aufsetzzonenmarkierungen, mit der Zielhaltepunktmarkierung zusammenfällt. Auf einer Nicht-Präzisionsanflug-Landebahn mit

der Code-Zahl 2 wird ein zusätzliches Paar an Aufsetzzonenmarkierungsstreifen 150 m jenseits des Beginns der Zielhaltepunktmarkierung vorgesehen. [23]

- **Start-/Landebahn-Seitenlinienmarkierung**

Eine Start-/Landebahn-Seitenlinienmarkierung soll zwischen den Schwellen einer befestigten Start-/Landebahn angebracht werden, weil ein Mangel an Kontrast zwischen den Start- und Landebahnrändern und den Schultern oder dem umgebenden Gelände existiert. Die Start-/Landebahn-Seitenlinienmarkierung besteht aus zwei Streifen. Der Außenrand jedes Streifens fällt etwa mit dem Rand der Start-/Landebahn zusammen. Wenn die Start-/Landebahnbreite größer als 60 m ist, sind die Streifen 30 m von der Start-/Landebahnmittellinie entfernt. Die Gesamtbreite einer Start-/Landebahn-Seitenlinienmarkierung soll mindestens 0,9 m auf Start-/Landebahnen mit einer Breite von 30 m oder mehr und mindestens 0,45 m auf schmaleren Start-/Landebahnen sein. [23]

- **Rollbahn-Mittellinienmarkierung**

Eine Rollbahn-Mittellinienmarkierung ist auf einer befestigten Rollbahn, Enteisungsfläche und auf dem Vorfeld vorgesehen und dient dazu, ein LFZ von der Start-/und Landebahnmittellinie bis zu den Luftfahrzeug-Standplätzen zu führen. Die Breite der Rollbahn-Mittellinienmarkierung muss mindestens 0,15 m sein und in der Länge ununterbrochen weitergeführt sein, mit Ausnahme von dem Schneiden einer Start-/Landebahn-Rollhalt(eort)markierung mit einer Rollhalt(eort)markierung. [23]

- **Start-/Landebahn-Wendeflächenmarkierung**

Die Start-/Landebahn-Wendeflächenmarkierung sichert dem LFZ eine kontinuierliche Führung, eine Vervollständigung einer 180° Drehung und die Ausrichtung auf der Start-/Landebahn-Mittellinie. Die Start-/Landebahn-Wendeflächenmarkierung verläuft gekrümmt von der Start-/Landebahnmittellinie auf die Start-/Landebahn-Wendefläche. Dabei soll der Kurvenradius mit der Manövrierfähigkeit und der üblichen Rollgeschwindigkeit des Luftfahrzeuges vereinbar sein. Weiter soll die Start-/Landebahn-Wendeflächenmarkierung parallel zur Start-/Landebahn-Mittellinie bis auf eine Entfernung von 60 m jenseits des Berührungspunktes für Code-Zahl 3 oder 4 bzw. mindestens bis eine Entfernung von 30 m für Code-Zahl 1 oder 2 verlängert werden. Die Breite der Start-/Landebahn-Wendeflächenmarkierung ist mindestens 0,15 m. [23]

- **Luftfahrzeug-Standplatzmarkierungen**

Luftfahrzeug-Standplatzmarkierungen sollen auf einem befestigten Vorfeld oder Enteisungsflächen angebracht werden und den entsprechenden Hindernisfreiheiten genügen, wenn das Bugrad des Luftfahrzeuges den Standplatzmarkierungen folgt. Luftfahrzeug-Standplatzmarkierungen sollen Elemente wie Standplatzkennung, Einrolllinie, Drehbalken, Drehlinie, Ausrichtungsbalken, Haltelinie und Ausrolllinie umfassen, die aufgrund der Anordnung der Abstellplätze und zur Ergänzung anderer Parkhilfen erforderlich sind. Die Luftfahrzeug-Standplatzkennung (Buchstabe u./o. Nummer) ist kurz nach dem Beginn der Einrolllinie vorgesehen, wobei die Höhe der Kennung aus dem Führerraum von Luftfahrzeugen abgelesen werden soll. Zur flexibleren Nutzung des Vorfeldes ist es möglich, zwei Luftfahrzeug-Standplatzmarkierungen zu überlagern, wobei es aber schwierig zu unterscheiden sein kann, welcher Standplatzmarkierung zu folgen ist. Deshalb soll der Standplatzkennung die Bezeichnung der Luftfahrzeuge hinzugefügt werden. [23]

- **Vorfeldsicherheitslinien**

Vorfeldsicherheitslinien sollen auf einem befestigten Vorfeld aufgrund der Anordnung der Abstellplätze und der Bodenentrichtungen in erforderlichem Umfang vorhanden sein. Vorfeldsicherheitslinien sollen weiters die Bereiche für Benutzung von Bodenfahrzeugen und anderen Luftfahrzeugwartungsgeräte abgrenzen und sichere Abstände von Luftfahrzeugen herstellen. Vorfeldsicherheitslinien umfassen Elemente wie Tragflächenabstandslinien und Betriebsstraßenbegrenzungslinien. Eine Vorfeldsicherheitslinie soll der Länge nach durchgehend und mindestens 0,10 m breit sein. [23]

- **Fahrstraßen-Halt(eort)markierung**

Eine Fahrstraßen-Halt(eort)markierung ist an allen Fahrstraßenauffahrten zu einer Start-/Landebahn vorgesehen. Die Fahrstraßen-Halt(eort)markierung wird jenseits der Straße an der Halteposition angebracht oder auf dem Oberflächenbelag aufgebracht. (Siehe Abb. 40) Dabei darf eine Fahrstraßen-Halt(eort)markierung nicht von der örtlichen Straßenverkehrsordnung abweichen. [23]



Abbildung 40: Fahrstraßen-Halt(eort)markierung [23]

- **Gebotszeichenmarkierung**

Eine Gebotszeichenmarkierung wird links der Rollbahnmittellinienmarkierung und auf der Halteseite der Start-/Landebahn-Rollhalt(eort)markeirung angebracht (Siehe Abb. 41). Wo es betrieblich erforderlich ist, ergänzt die Gebotszeichenmarkierung das Gebotszeichen auf Rollbahnen mit einer Breite von mehr als 60 m. Der Abstand zwischen dem nächsten Rand der Markierung und der Start-/Landebahn-Rollhalt(eort)markeirung oder der Rollbahnmittellinienmarkierung darf nicht weniger als 1,0 m sein. Eine Gebotszeichenmarkierung besteht aus einer weißen Aufschrift auf rotem Grund. Die Schriftgröße soll 4,0 m sein und der Hintergrund der Aufschrift soll rechteckig und 0,5 m längs und vertikal der Aufschrift sein. [23]

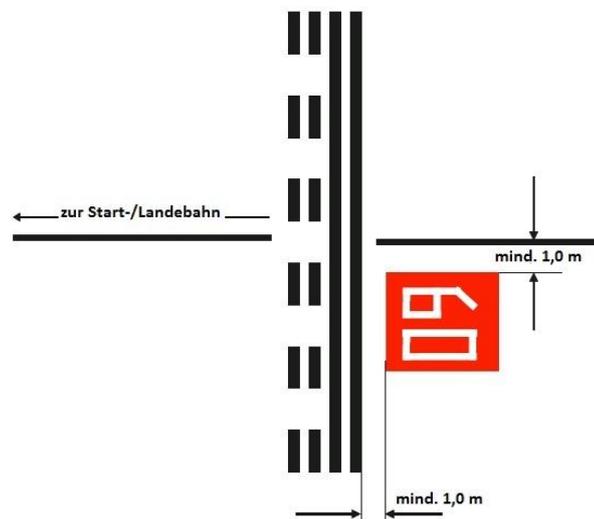


Abbildung 41: Gebotszeichenmarkierung [23]

- **Informationsmarkierung**

Eine Informations(lage-/richtungs-)markierung wird vor und nach komplizierten Rollbahnkreuzungen, auf Rollbahnen großer Länge in regelmäßigen Abständen auf dem

Oberflächenbelag aufgebracht. Die Informationsmarkierung muss so positioniert sein, dass sie aus dem Cockpit eines Luftfahrzeuges gut erkennbar und leserlich ist. Eine Informations(lage)markierung besteht aus einer Aufschrift in Gelb auf schwarzem Grund, wenn es ein Lagezeichen ersetzt oder ergänzt und aus einer Aufschrift in Schwarz auf gelbem Grund, wenn es ein Richtungs- und Zielzeichen ersetzt oder ergänzt. Die Schriftgröße soll 4,0 m sein. [23]

### **4.2.3 Zeichen**

Die Grundaufgaben von Zeichen sind über Gebote bzw. Verbote zu informieren, sowie Information über einen bestimmten Standort oder eine bestimmte Richtung auf den Flugbetriebsflächen und den sonstigen Bewegungsflächen darzustellen. Die Zeichen bestehen aus leichtem, brechbarem Material, wobei die Zeichen, die räumlich nahe an einer Start-/Landebahn oder einer Rollbahn installiert sind, niedrig genug sein müssen, um die Bodenfreiheit für Propeller und Triebwerksgondeln von strahlgetriebenen Flugzeuge zu gewährleisten. Zeichen müssen außerdem rechteckig sein, die längere Seite ist horizontal auszuführen. (Siehe Abb. 42 und Abb. 43). Die Zeichen müssen beleuchtet werden, wenn sie für die Nutzung:

- bei Start-/Landebahn-Sichtweiten unter 800 m;
- bei Nacht im Zusammenhang mit einer Instrumentenlandebahn;
- bei Nacht im Zusammenhang mit einer Sichtanflug-Landebahn der Code-Zahl 3 oder 4;
- bei Nacht im Zusammenhang mit einer Sichtanflug-Landebahn der Code-Zahl 1 oder 2,

vorgesehen sind. [23]

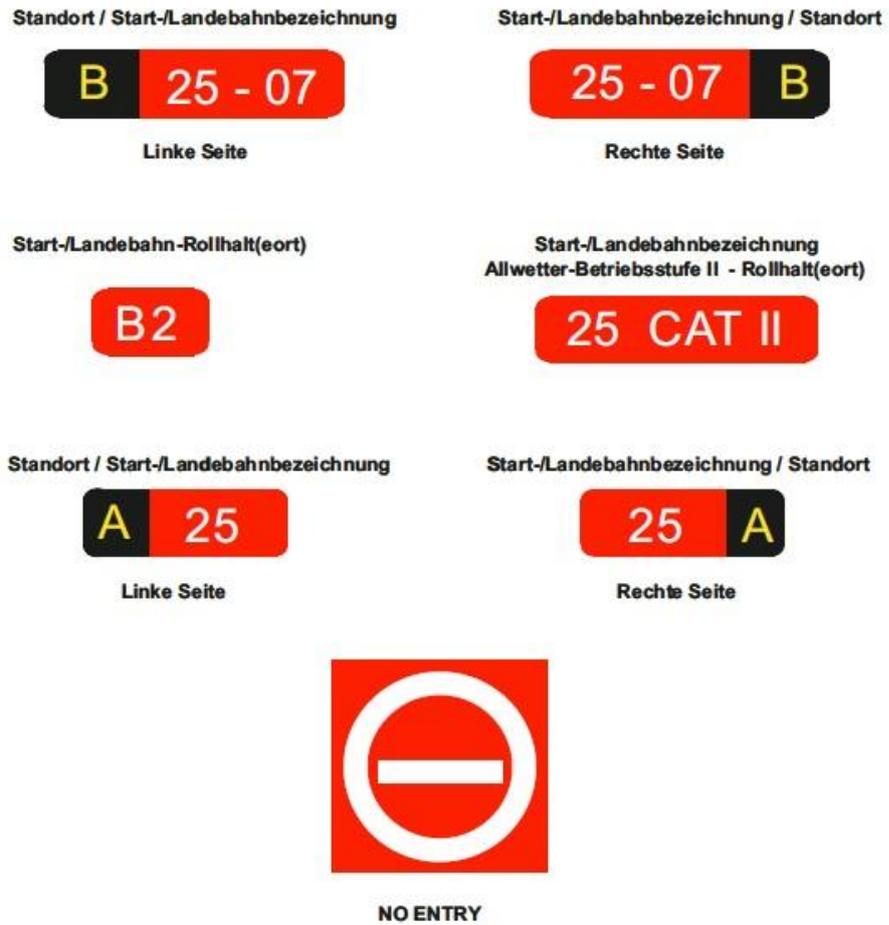


Abbildung 42: Verbots- und Gebotszeichen [23]

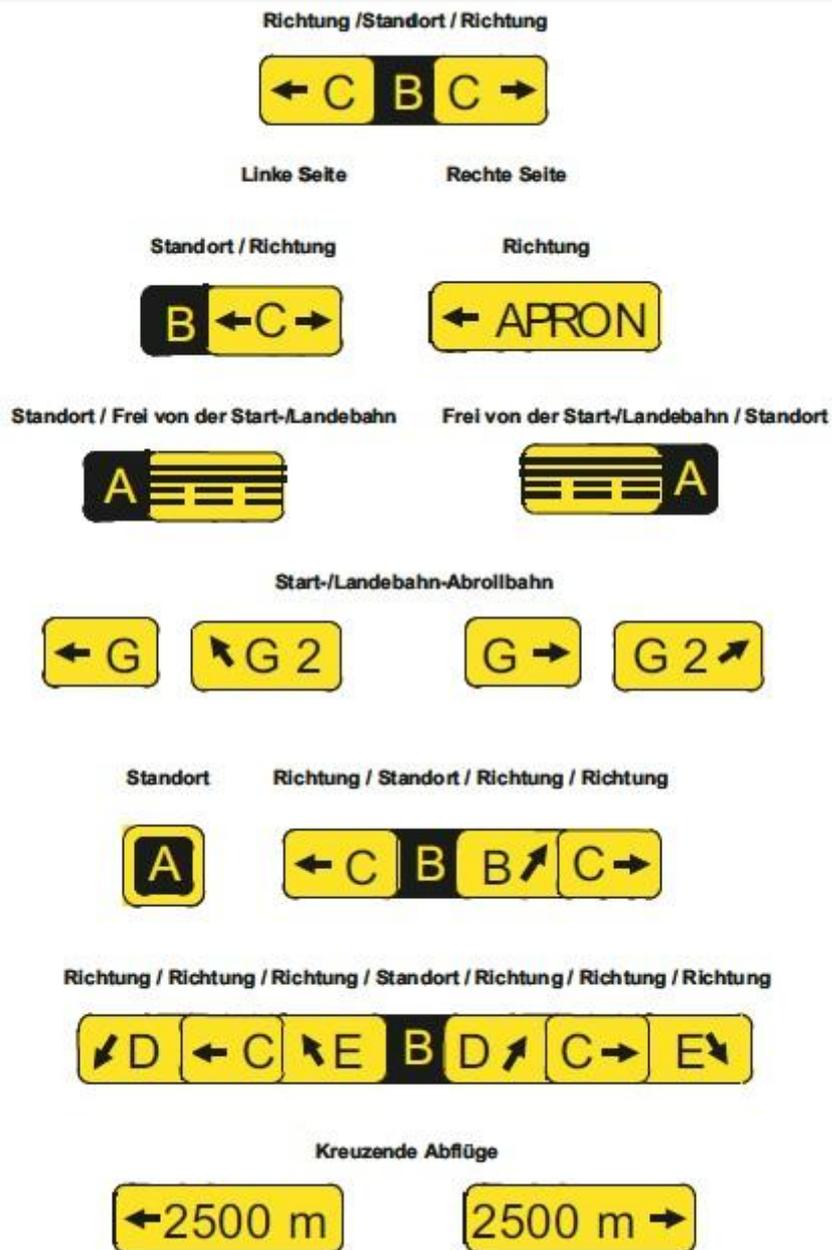


Abbildung 43: Informationszeichen [23]

Es ist anzumerken, dass ein Gebots- bzw. Verbotsszeichen vorzusehen ist, wenn ein Ort gekennzeichnet werden soll, über den ein LFZ oder anderes Fahrzeug ohne Erlaubnis der Flugverkehrskontrolle nicht hinausrollen darf. Zu den Gebots- bzw. Verbotsszeichen gehören die Zeichen zur Start- und Landebahnbezeichnung, Rollhalt(eort)zeichen für die ICAO-Allwetter-Betriebsstufe I, II und III, die Start-/Landebahn-Rollhalt(eort)zeichen, die Fahrstraßen-Rollhalt(eort)zeichen und die „NO ENTRY“ – Zeichen. Das Gebots- bzw. Verbotsszeichen trägt eine weiße Aufschrift auf rotem Grund. (Siehe Abb. 42) [23]

Weiterhin zeigt ein Hinweiszeichen einen bestimmten Ort oder ein bestimmtes Ziel auf einer Flugbetriebsfläche oder Bewegungsfläche an. Die Hinweiszeichen (Informationszeichen), die

in Abb. 43 dargestellt sind, beinhalten Richtungs-, Standort-, Start-/Landebahn-Abroll(weg/bahn)zeichen, „Frei von der Bahn“-Zeichen und „Kreuzende Abflüge“-Zeichen. Ein Start-/Landebahn-Abroll(weg/bahn)zeichen identifiziert die Start-/Landebahn-Abrollbahn und ist dort anzubringen, wo es aus betrieblicher Sicht notwendig ist. „Frei von der Bahn“-Zeichen sind da vorgesehen, wo der Abrollweg bzw. die Abrollbahn nicht mit Rollbahn-Mittellinienfeuern ausgestattet ist. Ein „Kreuzende Abflüge“-Zeichen wird dort eingerichtet, wo es notwendig ist, die verbleibende verfügbare Startlaufstrecke (TORA) für sich kreuzende Startläufe anzuzeigen. [23]

Die Hinweiszeichen an Rollbahnkreuzungen werden vor der Kreuzung in einer Reihe mit der Rollbahnkreuzungsmarkierung angebracht. Falls keine Rollbahnkreuzungsmarkierung vorliegt, sind die Zeichen mindestens 60 m bei der Code-Zahl 3 oder 4 bzw. mindestens 40 m bei der Code-Zahl 1 oder 2 von der Mittellinie der kreuzenden Rollbahnen entfernt.

Ein Hinweiszeichen darf nicht in Verbindung mit einem Gebots - bzw. Verbotssymbol aufgestellt werden. Das Hinweiszeichen trägt eine schwarze Aufschrift auf gelbem Grund. In Abb. 44 sind Beispiele für die Lage von Informationszeichen an Rollbahn und Start-/Landebahn-Kreuzungen gezeigt. [23]

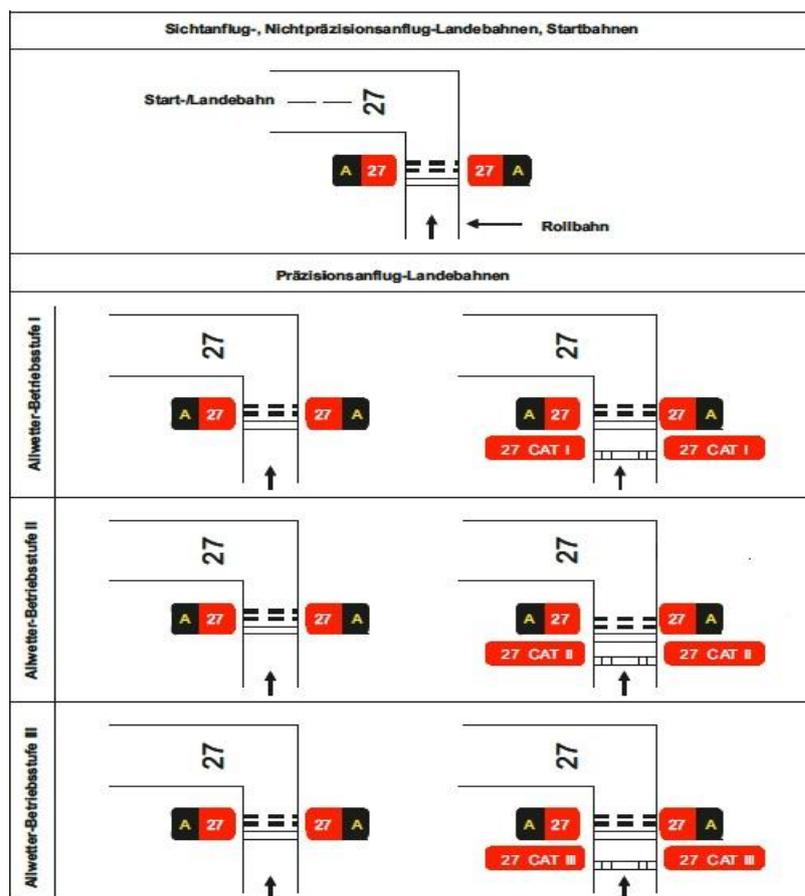


Abbildung 44: Beispiele für die Lage von Zeichen an Rollbahn und Start-/Landebahnkreuzungen [23]

#### 4.2.4 Marker

Marker dienen dazu, die Bodenfreiheit für Propeller und Triebwerksgondeln von strahlgetriebenen Flugzeugen zu gewährleisten. Deshalb müssen Marker, die nahe an einer Start-/Landebahn oder Rollbahn angebracht sind, niedrig genug sein. Gelegentlich werden Anker oder Ketten verwendet, um zu verhindern, dass Marker, die aus ihrer Verankerung gerissen werden, durch Windeinfluss vom Standort entfernt werden. Marker müssen aus leichtem brechbarem Material bestehen. Es werden Randmarker auf unbefestigten Start-/Landebahnen, Stoppbahnrandmarker, Randmarker für schneebedeckte Start- und Landebahnen, Rollbahnrandmarker, Rollbahnmittellinienmarker, Randmarker auf unbefestigten Rollbahnen, Umgrenzungsmarker unterschieden. [23]

- **Randmarker auf unbefestigten Start-/Landebahnen**

Die Randmarker auf unbefestigten Start-/Landebahnen werden installiert, wenn die Ausdehnung einer unbefestigten Start-/Landebahn nicht deutlich zu erkennen ist. Beim Vorhandensein von Start- und Landebahnfeuer sollen die Marker in die Befehlszone einbezogen werden. Wenn keine Feuer vorhanden sind, sollen flache, rechteckige oder kegelförmige Marker so angeordnet sein, dass die Start-/Landebahn eindeutig begrenzt ist. Die flachen rechteckigen Marker sollen eine Mindestgröße von 1 m x 3 m haben und mit ihrer Längsseite parallel zur Start- und Landebahnmittellinie aufgestellt werden. Die kegelförmigen Marker sollen nicht höher als 50 cm sein. [23]

- **Stoppbahnrandmarker**

Die Stoppbahnrandmarker werden angebracht, wenn die Ausdehnung einer Stoppbahn nicht deutlich zu erkennen ist. Um eine Verwechslung der verschiedenen Marker zu vermeiden, müssen sich die Stoppbahnrandmarker von allen verwendeten Start- und Landebahnrandmarkern hinreichend unterscheiden. [23]

- **Randmarker für schneebedeckte Start- und Landebahnen**

Die Randmarker für schneebedeckte Start- und Landebahnen dienen dazu, die nutzbaren Teile einer schneebedeckten Start-/Landebahn anzuzeigen, falls die nutzbaren Teile nicht anderweitig gekennzeichnet sind. Randmarker für schneebedeckte Start-/Landebahnen sollen zu beiden Seiten der Start-/Landebahn in Abständen von nicht mehr als 100 m symmetrisch zur Start- und Landebahnmittellinie aufgestellt werden. [23]

- **Rollbahnrandmarker**

Rollbahnrandmarker sollen an einer Rollbahn bei Code-Zahl 1 oder 2 angebracht werden und wenn keine Rollbahnmittellinien- oder -randbefehlszone oder Rollbahnmittellinienmarker vorhanden sind. Rollbahnrandmarker müssen aus leichtem Material und brechbar sein. Die

vom Luftfahrzeugführer aus zu sehende markierte Fläche soll rechteckig sein und ein Sichtfeld von mindestens 150 cm<sup>2</sup> haben. [23]

- **Rollbahnmittellinienmarker**

Rollbahnmittellinienmarker werden auf einer Rollbahn angebracht, wenn die Code-Zahl 1 oder 2 ist und Rollbahnmittellinien- oder -randfeuer oder Rollbahnrandmarker nicht vorhanden sind und wenn die Code-Zahl 3 oder 4 ist und Rollbahnmittellinienfeuer nicht vorhanden sind. Weiters sollen die Rollbahnmittellinienmarker mindestens an denselben Stellen wie Rollbahnmittellinienfeuer angebracht werden. Rollbahnmittellinienmarker sind in reflektierender grüner Farbe ausulegen. Die vom Luftfahrzeugführer aus zu sehende markierte Fläche soll rechteckig sein und ein Sichtfeld von mindestens 20 cm<sup>2</sup> haben. [23]

- **Randmarker auf unbefestigten Rollbahnen**

Die Marker werden installiert, wenn die Ausdehnung einer unbefestigten Rollbahn nicht deutlich zu erkennen ist. Wenn Rollbahnfeuer vorhanden sind, sollen die Marker in die Befuerung einbezogen werden. Wenn keine Feuer vorhanden sind, sollen konische Marker die Rollbahn eindeutig begrenzen. [23]

- **Umgrenzungsmarker**

Umgrenzungsmarker werden an einem Flugplatz angebracht, dessen Landebereich keine ausgewiesene Start-/Landebahn hat. Umgrenzungsmarker sollen der in Abb. 45 dargestellten Form entsprechen oder die Form eines Kegels haben, der mindestens 50 cm hoch sein und dessen Grundfläche einen Durchmesser von mindestens 75 cm haben muss. Die Marker sollen farbig sein, um sich vom Umgebungshintergrund abzuheben. Die verwendeten Farben sind Orange oder Rot, oder zwei zueinander in Kontrast stehenden Farben, wie Orange und Weiß oder Rot und Weiß. [23]

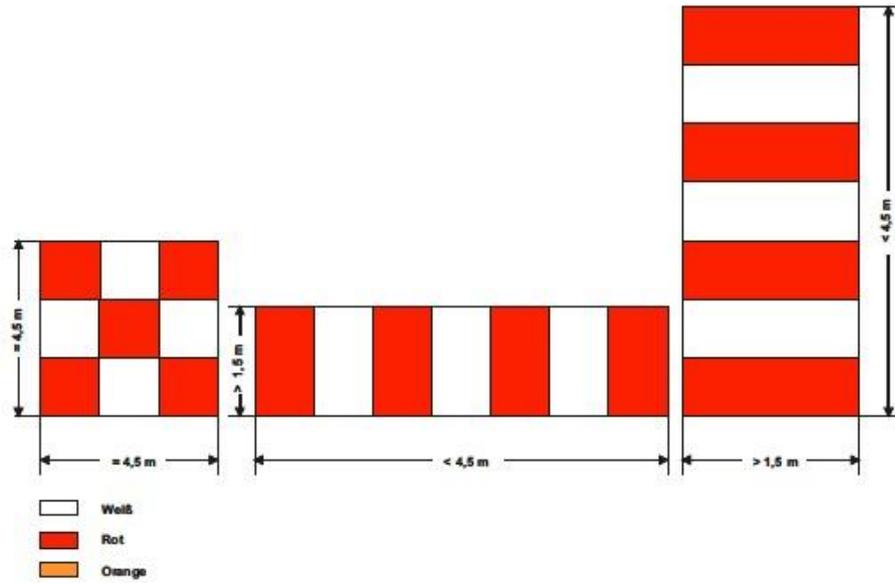


Abbildung 45: Grundmuster für Markierungen [23]

## 5 Ausführungsbeispiele von Flugbetriebsflächen an Flughäfen

In der vorliegenden Diplomarbeit wurde bereits eine Palette von Vorschriften, infrastrukturellen Einrichtungen und Systemen vorgestellt, die Flugsicherheit und die Flugsicherung betreffen. Aus diesem Grund ergibt sich in diesem Kapitel die Frage nach den Ausführungsbeispielen von Flugbetriebsflächen unter den behandelten Kriterien.

Tabelle 11 zeigt eine Liste der 15 gefährlichsten Flughäfen der Welt, die für die Planung der Flugsicherheit wegen ihrer Lage, Länge und Ausrüstung der Start- und Landebahnen die Ursache der möglichen Erscheinung von Gefahrenpotentialen geben. [25] Nach ICAO-Empfehlungen und ICAO-Standards treten bei diesen Flughäfen schwere Mängel in Bezug auf Projektierungsparameter und Sicherheitsparameter auf. Aus Sicht der Piloten ist es schwierig, einen sicheren Ablauf der Flugbewegungen an diesen Flughäfen zu gewährleisten. Dabei zeigt sich, wie wichtig es ist, das Regelwerk bei der Planung und Projektierung von Flugbetriebsflächen einzuhalten.

In einer detaillierten Untersuchung werden vier europäische Flughäfen untersucht. Diese Flughäfen sind: Flughafen Wien-Schwechat, Flughafen Dortmund, Flughafen Madeira und Flughafen Sofia. Die Flughäfen sind in Tabelle 12 in alphabetischer Reihenfolge zu sehen. Tabelle 12 beschreibt die Kennzeichen und Basisdaten der Flughäfen und vor allem die Projektierungsparameter der Start- und Landebahnen der Flughäfen, sowie die Allwetterflugbetriebsstufe und die Flugunfalldaten, die sich auf die Start- und Landephase beziehen.

**Tabelle 11: Die 15 gefährlichsten Flughäfen der Welt**

<b>Position</b>	<b>Flughafen</b>	<b>Land</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Fotodokumentation</b>
1	Juancho E. Yrausquin Airport of Saba	Karibik	Die Landebahn, die sich direkt an der Klippe befindet, hat eine Länge von 400 Metern, weshalb man die Piste nur mit einer Sondergenehmigung anfliegen darf.	
2	Princess Juliana International Airport auf St. Maarten	Karibik	Nur wenige Meter trennt die Landebahn des Airports auf der Karibikinsel vom Maho Beach, weshalb die Flugzeuge in etwa 10 bis 20 Metern Höhe über den Strand einfliegen.	
3	Flugplatz Courchevel	Frankreich	Die Landebahn ist extrem kurz und in 2000 Meter Höhe gelegen (nicht für schwache Nerven)	

4	Funchal Airport auf Madeira	Portugal	Die unmittelbare Lage an einem Steilküstenhang erfordert viel Geschick vom Piloten, wo er Fallwinde ausgleichen und eine scharfe Rechtskurve fliegen muss.	
5	Congonhas, Sao Paulo	Brasilien	Der Flughafen liegt mitten im Häusermeer von Sao Paulo, was eine Gefahr für die Anwohner und Flugpassagiere ist. Heute starten und landen nur noch Inlandsflüge.	
6	Toncontin International Airport in Tegusigalpa	Honduras	Der Flughafen liegt 1000 Meter über dem Meeresspiegel inmitten hoher Berge, weshalb Starts und Landungen in einem steileren Winkel als üblich zu absolvieren sind.	

7	Paro, Bhutan	Bhutan	<p>Der Paro Airport befindet sich auf einer Höhe von 2236 Metern in einem tiefen Tal, weshalb Starts und Landungen nur beim guten Wetter möglich sind. Die Landebahn wurde von 1400 Meter auf 1964 Meter verlängert.</p>	
8	Barra Eoilgarry Airport, Äußere Hebriden	Hebriden	<p>Kein asphaltiertes Rollfeld, auch keine Beleuchtung; die Länge der Landebahn ist zwischen 800 und 850 Metern; bei Flut ist sie ganz verschwunden, weshalb die schottische Insel Bara auf den Äußeren Hebriden nur bei Ebbe angefliegen werden kann.</p>	
9	Gustaff III Airport auf St. Barth	Karibik	<p>Die Piste liegt gefährlich zwischen Meer und Bergen mit einer Länge von 640 Meter. Die Landung ist auf der kurzen Bahn äußerst schwierig.</p>	

10	Tenzing - Hillary Airport Lukla	Nepal	Das Rollfeld ist nur 527 Meter lang, hat eine Hangneigung von rund 12% und bricht abrupt etwa 600 Meter tief ab.	
11	Male International Airport auf der Insel Hulhule	Malediven	Die Landebahn ist 3 Kilometern lang, hat keine Sicherheitszone und endet direkt im Indischen Ozean.	
12	JFK New York	USA	Der Flughafen liegt genau zwischen zwei anderen Flughäfen. Die Herausforderung ist anderen Flugzeugen nicht in die Quere zu kommen und umgekehrt.	

13	Ioannis Kapodistrias Flughafen auf Korfu	Griechenland	Die Start- und Landebahn liegt zwischen zwei Hügeln, der Meeresbucht und dem See Halikiopoulou. Hinter der Piste läuft eine Hauptstraße, wo bei Starts und Landungen der Verkehr über Ampeln gestoppt wird.	
14	Gibraltar Airport	Gibraltar	Die Piste des Flughafens kreuzt die Winston Churchill Avenue, die einzige Straßenverbindung mit Spanien.	
15	Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre in Quito	Ecuador	Die Lage des Flughafens war inmitten Wohngebieten und hatte eine abschüssige Landebahn. Am 19/2/2013 wurde er geschlossen und ein neuer Flughafen mit besseren Bedingungen für sichere Anflüge eröffnet.	

Tabelle 12: Detaillierte Untersuchung ausgewählter Flughäfen [1], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33]

<b>Kennzeichen von den betrachteten europäischen Flughäfen</b>							
<b>Flughäfen</b>	<b>Eröffnung</b>	<b>Start-/und Landebahn(en)</b>			<b>Allwetterflugbetriebsstufe</b>	<b>Zwischenfälle/Unfälle</b>	
		<b>Code-Buchstabe/und Nummer</b>	<b>Start-/und Landebahn(en) Länge x Breite (m)</b>	<b>Oberfläche</b>			<b>Entwässerungssysteme</b>
 Dortmund Airport 21	1960	4E	2000 m x 45 m	Asphalt	Mischsystem-gedrosselt in das Kanalsystem der Stadt	Betriebsstufe II 27.09.2008, 3.01.2010	
 Aeroportos da Madeira	1964	4E	2777 m x 45 m	Asphalt	-	fehlt 19.11.1977	
 Sofia Airport	1935	4E	3600 m x 45 m	Splittmastix - Asphalt	Dränage	Betriebsstufe III b 22.11.1975	
 Vienna International Airport	1954	gem. ZFV 1972 Klasse A, gem. ICAO 1. 4E; 2. 4E; 3. 4F	1. 3500 m x 45 m; 2. 3600 m x 45 m; 3. geplant: 3680 m x 60 m	Asphalt	Kanalsystem	Betriebsstufe III b 26.12.1971, 17.09.1984, 20.06.1987, 12.06.2000	

**Beschreibung der Zwischenfälle/Unfälle:**

**Dortmund:**

Am 27. September 2008 rollte ein Airbus A321 bei der Landung ca. 15 Meter über das Ende der Landebahn 24 hinaus und blieb mit dem Bugrad im Sicherheitsstreifen stecken. [1]

Im Jänner 2010 sank hier bei winterlichem Wetter eine über das Landebahnende hinausrollende Boeng 737 nach einem Startabbruch wegen abweichender Geschwindigkeitsanzeigen, unkontrolliert und weit tiefer als 15 cm in das abschüssige Erdreich ein. Nach ICAO ist eine maximale Einsenkung des Bugfahrwerks von nur 15 cm erlaubt. [1]

#### **Madeira:**

Am Abend des 19. November 1977 verunglückte eine Boeng 727-200 bei der Landung auf der damals noch kurzen Landebahn. Bei starkem Regen und schlechter Sicht hatte die Maschine bereits zwei Landeversuche abbrechen müssen. Beim dritten Anflug aus Nordost setzte sie zu schnell und etwa 600 Meter hinter der Landebahnschwelle auf. Wegen Aquaplanings auf der stark überschwemmten Piste konnte die Maschine auf den verbliebenen knapp 900 Metern dann nicht mehr zum Stehen gebracht werden und stürzte über das Ende der Landebahn 40 Meter tief auf die Klippen. [1]

#### **Sofia:**

Am 22.11.1975 rollte ein Antonov 24 wegen starken Schneefalls beim Start nach Varna über die Start- und Landebahn. Kurz nach dem Start ohne Enteisierung bei einer Höhe von 100 m stürzte die Maschine in die Schlucht des Flusses Iskar. [1]

#### **Wien:**

Am 26. Dezember 1971 kollidierte eine Douglas DC-9 beim Start frühmorgens in dichtem Nebel mit einer Beechcraft Baron. Die DC-9 streifte beim Start mit der rechten Tragfläche das Cockpit der Beech, welche sich ohne Freigabe ebenfalls auf der Start- und Landebahn befand. Beim darauf folgenden Startabbruch brach das Bugrad der DC-9, und die abgerissene rechte Tragfläche fing Feuer, als die Maschine nach 200 m zum Stehen kam. [1]

Am 17. September 1984 geriet eine Maschine des Typs Swearingen SA.226TC Metro II der österreichischen Fluggesellschaft Austrian Air Service mit dem Kennzeichen OE-LSA im Endanflug zu tief, streifte die Anflugbefeuerung und machte eine „Bauchlandung“. Das Flugzeug musste aufgrund der erheblichen Beschädigungen als Totalschaden abgeschrieben werden. [1]

Am 20. Juni 1987 streifte eine Boeing 747 SP der South African Airways auf dem Weg zur Startbahn eine abgestellte Boeing 747-200 der jordanischen Alia. Bei dem Zwischenfall wurde eine Person leicht verletzt und die rechte Tragfläche des südafrikanischen Jumbos, bzw. die Bugspitze des jordanischen Großraumflugzeugs erheblich beschädigt. [1]

Am 12. Juli 2000 musste Hapag-Lloyd-Flug 3378, ein Airbus A310 auf dem Weg von Chania nach Hannover, wegen Treibstoffmangels notlanden. Beim Aufsetzen abseits der

Piste wurde das Instrumentenlandesystem zu einem großen Teil zerstört, das Flugzeug schwer beschädigt und einige Passagiere verletzt. [1]

Infolge der Daten in Tabelle 12 ist anzumerken, dass im Vergleich zu anderen Flughäfen der Flughafen Wien-Schwechat den ICAO-Standards und Empfehlungen und der enormen Entwicklung des zivilen Luftverkehrs entspricht. Außerdem wird in Wien eine zusätzliche Piste geplant, um dem steigenden Flugaufkommen gerecht werden zu können. Zu Spitzenzeiten finden über 60 Flugbewegungen pro Stunde statt, das heißt jede Minute startet oder landet ein Flugzeug am Flughafen Wien-Schwechat. [34] Gute Sichtverhältnisse sind in der Luftfahrt von großer Bedeutung für das Sicherheitsniveau der Flughäfen. Die Flughäfen in Wien und Sofia weisen Betriebsstufe IIIb auf, weshalb Landungen bis zu einer Sichtweite von 75m erlaubt sind. Der Flughafen Dortmund entspricht der Kategorie II und erlaubt den Piloten bei schlechten Wetterbedingungen mit Sichtweiten bis 400 m zu landen. Der Flughafen Madeira zählt wegen seiner Lage an einem Steilküstenhang zu den schwierig anzufliegenden und gefährlichsten Flughäfen der Welt, zumal ein Instrumentenlandesystem fehlt und beim Anflug in der Endphase eine enge Rechtskurve geflogen werden muss.

Weiter kennzeichnend für die Projektierungsparameter sind die Oberflächen und die Entwässerungssysteme der Start-Landebahnen der betrachteten Flughäfen. Der am häufigsten verwendete Baustoff bei oben genannten Ausführungsbeispielen ist Asphalt. Asphalt bietet aufgrund seiner vergleichsweise kurzen Verarbeitungszeit und seines reparaturfreundlichen lagenweisen Aufbaues oftmals wesentliche Vorzüge gegenüber Betondecken. Dabei richtet sich die Wahl der Bitumenart und -sorte nach der Art der Beanspruchung unter der Berücksichtigung der Verarbeitbarkeit. Die Zusammensetzung ist der Belastung anzupassen. Der verwendete Splittmastixasphalt von Flughafen Sofia ist im Vergleich zu Asphaltbeton durch ein Gesteinskörnungsgemisch mit sehr hohem Anteil gebrochener grober Gesteinskörnungen mit Ausfallkörnung und hohem Bindemittelgehalt gekennzeichnet. [35]

In Bezug auf die Entwässerungssysteme übertrifft der Flughafen Wien die anderen Flughäfen (für den Flughafen Madeira stehen keine Informationen zur Verfügung). Aus den einzelnen Einzugsgebieten des Flughafens – allein Pisten, Vorfelder und Rollwege machen mehr als 2,4 Millionen Quadratmeter Oberfläche aus – führen Niederschlagsabwasser zu einer zentralen Abwasserentsorgungsanlage. Am Eintritt der Hauptsammler in die zentrale Abwasserentsorgungsanlage wird die Belastung der Abwässer gemessen und über deren weitere Behandlung entschieden. Sind die Abwässer unbelastet, so werden sie direkt in die Vorfluter ausgeleitet, belastete Abwässer werden wiederum über eigene Leitungen zur VKA-Schwechat gepumpt. Da diese Abwässer stoßweise anfallen und dies zu einer Überbelastung der VKA-Schwechat führen kann, sind zum Mengen- und Konzentrationsausgleich am Ort der zentralen Abwasserentsorgungsanlage Speicherbecken zwischengeschaltet. In diese Speicherbecken erfolgt auch die Ableitung des Tauwassers der enteisungsmittelbelasteten Schneedeponie. Durch die gezielte Trennung belasteter und von unbelasteten Abflüssen konnten die in der VKA-Schwechat zu behandelnden Abwassermengen reduziert werden. Das nunmehrige Entwässerungssystem entspricht in allen Punkten den behördlichen Auflagen. [33]

Tabelle 13 veranschaulicht die Zielsetzung der Diplomarbeit und eben die Bereitstellung eines Kriterienkatalogs, der auf Analyse von Schäden basiert. Es werden wieder dieselben europäischen Flughafen in alphabetischer Reihenfolge, aber dieses Mal im Hinblick auf die Sicherheitsparameter behandelt. Die gewählten Sicherheitsparameter beziehen sich auf die Flugbetriebsflächen, die Start-und Landebahn(en), die Rollwegen und das Vorfeld. Die einzelnen Sicherheitsparameter sind im dritten und vierten Kapitel betrachtet. Die festgestellten Mängel der Flughäfen sind durch einen Mangelstern bezeichnet. Die Analysen sind mit Hilfe der Vereinigung Cockpit [36], des Weltpilotenverbands IFALPA [36], [39], und genau betrachteter Videos vom Cockpit bei Starten und Landungen an allen vier Flughäfen festgestellt. Die Einzelinformationen beschreiben zwar bestimmte Schäden an den Flugbetriebsflächen, lassen jedoch keine Beurteilung des Gesamtzustandes bzw. einen Vergleich der Schadensschwere anderer Merkmale zu.

Tabelle 13: Kriterienkatalog und seinem Verwendung im europäischen Flughafenbau [36], [37], [38]

<b>Kriterienkatalog: Ausführungsbeispiele von Flugbetriebsflächen in europäischen Flughafenbau</b>					
<b>Flughäfen</b> 	<b>Schadenstypen/Mängel</b>				
	<b>Sicherheitsparameter</b>				
	kein Rollweg zu jedem Bahnkopf	keine vollständige RESA	Runway Guard Lights	fehlender Windsack	kein redundantes Docking Guidance System
 Dortmund (DTM)		★	★		★
 Madeira	★	★	★		★
 Sofia (SOF)		★	★		★
 Wien (VIE)		★			

Die Tabelle 13 lässt sich entnehmen, dass alle behandelten Flughäfen durch die erhaltenen Mangelsterne fast identische Mängel aufweisen. Weiters ist auffällig, dass bei den Kriterien – „keine vollständige RESA“ vier Mangelsterne der einzelnen Flughäfen zu sehen sind. Außerdem ist anzumerken, dass für den Flughafen Wien-Schwechat dies den einzigen Mangelstern darstellt. Nach ICAO soll die Sicherheitsfläche (RESA) am Start-Landebahnende vom Ende des Start- und Landebahnstreifens mindestens 240 m für die Code-Zahl der Ausführungsbeispiele entfernt sein. Die Breite von RESA soll doppelt so groß wie die Breite der dazugehörigen Start- und Landebahn. (Siehe Kapitel 3.2) Aus Sicht des Weltpilotenverbands IFALPA soll die Länge der Sicherheitsfläche am Start-/Landebahnende bei doppelter Landebahnbreite insgesamt 300 m betragen. Dies wird durch die Tatsache bewiesen, dass beim Großteil der Vorfälle, bei denen es zu einem Überschießen der Landebahn kommt, die Flugzeuge genau in diesem Bereich zum Stehen kommen. [39]

Außerdem ist interessant, dass die Flughäfen Dortmund und Sofia nach den beschriebenen Kriterien dieselben Mangelsterne erhalten. Die beiden Flughäfen verfügen über keine Runway Guard Lights und redundantes Docking Guidance System. Runway Guard Lights sind gelb blinkende Warnlichter, die auf jeder Einmündung eines Rollweges auf einer Start-Landebahn installiert sein müssen. Diese signalisieren allen Luft- und anderen am Flugbetrieb teilnehmenden Fahrzeugen, dass die Start- Landebahn unmittelbar voraus liegt. Die redundanten Andockführungssysteme (redundante Docking Guidance Systems) helfen den Piloten die exakte Parkposition im Abstellbereich zu erkennen und so z. B. einen möglichen Zusammenstoß mit der Passagierbrücke verhindern zu können. [39]

Danach folgt der Flughafen Madeira mit seinen vier Mangelsternen, der bestimmt einer der gefährlichsten Flughäfen nicht nur in Europa, sondern auch der Welt ist.

Tabelle 13 zeigt deutlich, dass es bei der Planung und Projektierung von Flugbetriebsflächen bezüglich der Sicherheitsparameter notwendig ist, sowohl die Standards der Zivilluftfahrtorganisation ICAO einzuhalten, als auch die Erfahrungen von Piloten als Maßstab zu erachten, da deren Erfahrungen wichtig und sicherheitsrelevant sind. Um weltweit einen gleichen Sicherheitsstandard an den Flughäfen herzustellen, sollte man die ICAO-Standards und die Pilotensicht gleichwertig zu berücksichtigen.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Der Flugverkehr ist international eines der am stärksten wachsenden Verkehrsegmente. Für die Bewältigung des anfallenden Verkehrs werden immer größere und schwerere sowie immer mehr Flugzeuge eingesetzt. Aus steigendem Flugaufkommen resultieren erhöhte Beanspruchung und Gefahrenpotenziale für FBF. Um die reibungslose Abwicklung des Flugverkehrs auch in Zukunft zu gewährleisten, sind innovative Konzepte für Planung, Projektierung und Bau von FBF erforderlich. Hierüber wurde in fünf Kapiteln referiert. Die vorgelegte Diplomarbeit ist so aufgebaut, dass sie zuerst das notwendige Basiswissen zur Planung und Projektierung von Flugbetriebsflächen mit den damit verbundenen Kriterien und Merkmalen zur Verfügung stellt. In den Kapiteln 1 und 2 werden wertvolle Informationen über die Phasen und Ursachen der meisten Unfälle auf FBF laut Aviation Safety Network und die rechtlichen Grundlagen und Vorschriften zur Projektierung des Rollfeldes und Vorfeldes geliefert. Es beinhaltet Expertenwissen und aktuelle Angaben. Ausgangsbasis sind Literatur- und Onlinerecherchen, aufgrund deren eine durchgehende Systematik der Planung und Projektierung der Start- und Landebahnen, Rollwege und Vorfeld vervollständigt wird.

Laut einer Analyse des Aviation Safety Network kommt es vermehrt zu Unfällen, die eine Erhöhung der Flugsicherheit erfordern. Häufig angewandte Maßnahmen sind vollständige Runway End Safety Area (RESA), das Engineered Material Arresting System (EMAS), ein gut einsehbarer Windsack zu jedem Bahnende und moderne Flugsicherung. Alle diesen Maßnahmen werden ausführlich im Kapitel 3 und 4 beschrieben. Es hat sich erwiesen, dass die Sicherheit auf Flugplätzen, die Flugsicherung und die Erfahrungen der Piloten in dem Begriff „Flugsicherheit“ verallgemeinert werden können. Die Hauptziele der Flugsicherheit sind, die technische und operationelle Verlässlichkeit von Zivilflugplätzen zu gewährleisten und die konkrete Unfallgefahr, die beim Bewegen eines Flugzeuges auf den Start- und Landebahnen, Rollwegen sowie bei den Abstellpositionen auftritt, so gering wie möglich zu halten. Diesbezüglich werden im Kapitel 5 vier europäische Flughäfen betrachtet und deren Mängel, die mit Hilfe der Sicht und der Erfahrung der Flugzeugführer und vieler beobachteter Videos aus dem Cockpit in der Start- und Landephase festgestellt wurden, verglichen. Die häufigsten Mängel sind in Form eines Kriterienkatalogs zusammengefasst. Die Ergebnisse können als Eingangsdaten in einem Safety Management System genutzt werden, das auf dem Flugbetrieb von Flugplätzen basiert und nach einem systematischen ganzheitlichen Ansatz zur Flugsicherheit strebt.

## I. Literaturverzeichnis

- [1] „Aviation Safety network“ [Online]. Available: <http://aviation-safety.net/database/dblist.php?Year=2013> – Unfallanalyse und Daten, Regelwerke /23.10.2014/
- [2] Flughäfen der Welt: alle wichtigen Airports: Geschichte, Fakten und Funktionen, Verfasserangabe: Brigitte Rothfischer, Verlag: München: GeraMond, 2007
- [3] Donschev, M.: Präsentation in Flugbetriebsflächenbau, Teil 5, S.10, Sofia, UABG, 2013
- [4] Verkehrsregeln und Zulassungsbestimmungen für das Betriebsgelände, Flughafen Hamburg, 2012
- [5] [Online] Available: <http://www.eng.mu.edu/~drakopoa/courses/FRESH/index.htm/airside.gif> - Abbildung von Flugbetriebsflächen /1.11.2014/
- [6] [Online] Available:  
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011441> – Fassung der Zivilflugplatz-Verordnung 1972 /20.01.2015/
- [7] Flugbetriebsflächen und bauliche Anlagen - Planfeststellung, Flughafen Frankfurt-Hahn, 2003
- [8] Verlag Ernst & Sohn – Special Dezember 2012
- [9] Planung, Anlage und Betrieb von Flugplätzen, 2. Auflage, Heinrich Mensen, 2013
- [10] Hofko: Präsentation: Flugbetriebsflächen, Kapitel A: Planung und Projektierung, 2014
- [11] ICAO, Anhang 14, Volume I, 2013
- [12] [Online] Available:  
<http://topicstock.pantip.com/wahkor/topicstock/2009/08/X8267571/X8267571-7.jpg> -  
Abbildung von Stoppbahnen /12.11.2014/
- [13] [http://aviation\\_dictionary.enacademic.com/pictures/aviation\\_dictionary/f0151-01.gif](http://aviation_dictionary.enacademic.com/pictures/aviation_dictionary/f0151-01.gif) -  
Abbildung von Freiflächen /12.11.2014/
- [14] <http://www.air.flyingway.com/up/uploads/99c62bf75f.gif> - Abbildung von Start-und  
Landestrecken /12.11.2014/
- [15] Ausbau Flughafen Frankfurt Main, Unterlagen zum Planfeststellungsverfahren, 2006
- [16] [http://www.sat-roads.com/databases/internet/\\_public/content.nsf/web/DE-SATROADS.COM-groovinggrinding.html](http://www.sat-roads.com/databases/internet/_public/content.nsf/web/DE-SATROADS.COM-groovinggrinding.html) - Information über Grooving /21.11.2014/

- [17] [Online] Available: <http://www.vcockpit.de/> - Flugsicherheit /24.11.2014/
- [18] [Online] Available: <http://www.mw.niedersachsen.de/> - Flugsicherheit /24.11.2014/
- [19] [Online] Available: [http://www.skybrary.aero/index.php/Engineered\\_Materials\\_Arresting\\_System\\_%28EMAS%29](http://www.skybrary.aero/index.php/Engineered_Materials_Arresting_System_%28EMAS%29) – Information über EMAS /26.11.2014/
- [20] [Online] Available: <http://www.seton.de/> - Charakteristik des Windsackes /26.11.2014/
- [21] [Online] Available: <http://www.meteorologyshop.eu/> - Charakteristik des Windsackes /26.11.2014/
- [22] [Online] Available: [http://wolkschnueffler.de/media//DIR\\_62701/da60c7944ca1da33ffff9141ac14422f.pdf](http://wolkschnueffler.de/media//DIR_62701/da60c7944ca1da33ffff9141ac14422f.pdf) - Allwetterflugbetrieb und Betriebsstufe /14.01.2015/
- [23] Moderne Flugsicherung, Organisation, Verfahren, Technik, 4. Auflage, Heinrich Mensen, 2014
- [24] [http://www.flightlight.com/airportlighting/4.0/pilots\\_view\\_HR.jpg](http://www.flightlight.com/airportlighting/4.0/pilots_view_HR.jpg) - Abbildung von PAPI und APAPI Systeme /14.01.2015/
- [25] [Online] Available: <http://www.travelbook.de/welt/Kurze-Rampen-hohe-Berge-hinten-das-Meer-Die-gefaehrlichsten-Landebahnen-der-Welt-246203.html> - Die 15 gefährlichsten Flughäfen der Welt /5.12.2014/
- [26] [Online] Available: <https://www.dortmund-airport.de/510cedcf1df083e9/passagiere-besucher> - Daten vom Flughafen Dortmund /9.12.2014/
- [27] [Online] Available: <http://www.dfld.de/Presse/PMitt/2010/100526c9.pdf> - Entwässerung vom Flughafen Dortmund /9.12.2014/
- [28] [Online] Available: <http://www.ana.pt/pt-PT/Paginas/Homepage.aspx> - Daten vom Flughafen Madeira /12.12.2014/
- [29] [Online] Available: <http://www.sofia-airport.bg/> - Daten vom Flughafen Sofia /12.12.2014/
- [30] [Online] Available: <http://www.flughafen-sofia.de/> - Betriebsstufe vom Flughafen Sofia /12.12.2014/
- [31] [Online] Available: [http://www.viennaairport.com/unternehmen/flughafen\\_wien\\_ag/3\\_piste/bauprojekt\\_3\\_piste](http://www.viennaairport.com/unternehmen/flughafen_wien_ag/3_piste/bauprojekt_3_piste) -

Projekt der dritten Piste vom Flughafen Wien Schwechat /14.12.2014/

[32] [Online] Available: Zivilflugplatz – Benützungsbedingungen, Juli 2013 – Projektierungsparameter vom Flughafen Wien Schwechat

[33] [Online] Available: <http://www.vie-umwelt.at/umweltschutz/abwasser> - Entwässerung vom Flughafen Wien Schwechat /14.12.2014/

[34] [Online] Available: [http://www.viennaairport.com/business\\_partner/aviation/facts\\_aviation](http://www.viennaairport.com/business_partner/aviation/facts_aviation) - Daten vom Flughafen Wien Schwechat /14.12.2014/

[35] Der Leitfaden für Planung, Bau und Erhaltung von Flugbetriebsflächen aus Asphalt, Herausgeber- Deutscher Asphaltverband, April 2012

[36] Flughafen-Mängelliste 2014, Vereinigung Cockpit, Berufsverband der Verkehrsflugzeugführer in Deutschland, 2014 – Mängel am Flughafen Dortmund

[37] [Online] Available: <http://images.fotocommunity.de/bilder/portugal/madeira/nachts-am-funchal-airport-e8393e19-317c-43c8-b84e-5999bbd17101.jpg> - Befeuern vom Flughafen Madeira /16.12.2014/

[38] [Online] Available: <http://www.madeira-web.com/PagesD/airport.html> - Information über Flughafen Madeira /16.12.2014/

[39] Flughafen-Mängelliste 2010, Vereinigung Cockpit, Berufsverband der Verkehrsflugzeugführer in Deutschland, 2010

## II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zahl der Unfälle von 2000 bis 2013 [1] .....	8
Abbildung 2: Phasen der Unfälle [1].....	9
Abbildung 3: Beispiele für die Anordnung von Start-und Landebahnen [3].....	10
Abbildung 4: Start- und Landebahn, Rollwege, Vorfeld [5] .....	12
Abbildung 5: Beispiel Airbus – Flugzeugfamilie (Bestuhlung vs. Reichweite) [9].....	15
Abbildung 6: Beispiel – Pistenlänge nach ZFV 1972 [10] .....	18
Abbildung 7: Hindernisbegrenzungsflächen (2 – dim. Darstellung) [9].....	22
Abbildung 8: Schutzbereiche nach ZFV 1972 [3].....	24
Abbildung 9: Einbahnsystem mit den theoretisch möglichen Jahreskapazitäten [9] .....	26
Abbildung 10: Parallelbahnsystem mit den theoretisch möglichen Jahreskapazitäten [9].....	27
Abbildung 11: Kreuzbahnsystem mit den theoretisch möglichen Jahreskapazitäten [9] .....	28
Abbildung 12: Konvergierendes Bahnsystem mit den theoretisch möglichen Jahreskapazitäten [9]..	29
Abbildung 13: Start-und Landebahn mit Wendeflächen [9].....	32
Abbildung 14: Darstellung einer Stoppbahn (Stopway) [12] .....	36
Abbildung 15: Darstellung einer Freifläche (Clearway) [13].....	37
Abbildung 16: Darstellung von Start- und Landestrecken [14] .....	38
Abbildung 17: Verbreitung der Rollbahn [10].....	40
Abbildung 18: Schnellabrollbahn [9] .....	44
Abbildung 19: Querprofil [15] .....	46
Abbildung 20: Schlitzrinne [15] .....	47
Abbildung 21: Querschnitt des Ablaufs mit Drosselblende [15] .....	48
Abbildung 22: Grooving [16].....	49
Abbildung 23: Anforderungen an RESA [17] .....	55
Abbildung 24: Darstellung von EMAS [17].....	56
Abbildung 25: Verwendung von EMAS [17].....	56
Abbildung 26: Windsack [17] .....	58
Abbildung 27: Anforderungen gem. Anflugkategorie [10] .....	61
Abbildung 28: Überflurfeuer [23].....	63
Abbildung 29: Mittellinie-Unterflurfeuer [23] .....	63
Abbildung 30: Präzisionsanflugbefeuerung für Betriebsstufe II und III [23].....	65
Abbildung 31: Gleitwinkelbefeuerungssysteme [23] .....	67
Abbildung 32: Darstellung von PAPI-und APAPI-Systeme [24] .....	68
Abbildung 33: Schwellenkennfeuer [23] .....	68
Abbildung 34: Schnellabrollbahn-Hinweisfeuer [23].....	71
Abbildung 35: Darstellung von Rollbahnbefeuerung [23] .....	73
Abbildung 36: Start-/Landebahn-Schutzfeuer [23] .....	75
Abbildung 37: Prinzip von “Azimuth Guidance for Nose-In Stands System” [23] .....	77
Abbildung 38: Start-/Landebahnbezeichnungen, Mittellinien-/Schwellenmarkierungen [23] .....	78
Abbildung 39: Start-und Landebahnbezeichnungsmarkierungen [23] .....	79
Abbildung 40: Fahrstraßen-Halt(eort)markierung [23] .....	84
Abbildung 41: Gebotszeichenmarkierung [23] .....	84
Abbildung 42: Verbots- und Gebotszeichen [23] .....	86
Abbildung 43: Informationszeichen [23] .....	87

Abbildung 44: Beispiele für Lage und Zeichen an Rollbahn und Start-/Landebahnkreuzungen [23] ... 88  
Abbildung 45: Grundmuster für Markierungen [23] ..... 91

### III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Flugzeugdaten und Flughafen Code [8] .....	14
Tabelle 2: Flugzeugcharakteristika ausgewählter Airbus und Boeing Flugzeuge [9] .....	15
Tabelle 3: ICAO Aerodrome Runway Ref. Codes/Code-Elemente des Flugplatzbezugscodes [9] .....	17
Tabelle 4: Projektierungsparameter einer Start-/Landebahn nach ZFV 1972 [6] .....	18
Tabelle 5: Maße und Neigungen von Hindernisbegrenzungsflächen [10].....	23
Tabelle 6: Rollbahnmindestabstände nach ZFV 1972 [6] .....	41
Tabelle 7: Rollbahnmindestabstände nach ICAO [9] .....	42
Tabelle 8: Mindestabstände LFZ – Standplätze[9] .....	45
Tabelle 9: Anzahl der Streifen entsprechend der Start-/ Landebahnbreite [23] .....	80
Tabelle 10: Lage und Maße der Zielhaltepunktmarkierung [23] .....	81
Tabelle 11: Liste der 15 gefährlichsten Flughäfen der Welt [25] .....	93
Tabelle 12: Kennzeichen von den betrachteten Flughäfen [1],[26],[27],[28],[29],[30],[31],[32],[33]..	98
Tabelle 13: Kriterienkatalog und seine Verwendung im europäischen Flughafenbau [36],[37],[38] .	103