

# **Planfeststellungsverfahren**

## **3. Start- und Landebahn**

---

### **Nachweis der erforderlichen Länge der 3. Start- und Landebahn**

GfL - Gesellschaft für Luftverkehrsforschung mbH

Helgolandstr. 4, 14199 Berlin

Dokumentenname:

Gutachten\_BahnlaengeMUC\_2.4\_hf100807.doc

Dieses Dokument umfasst 46 Seiten.

<u>Ersteller - Name</u>	<u>Tätigkeit</u>
Hartmut Fricke	Professor für Flugführung, Flugbetrieb und Technologien des Luftverkehrs
Hans-Günter Welke	Luftfahrtsachverständiger für Flugbetrieb und Flugsicherung

Gez.



Planfeststellungsverfahren  
3. Start- und Landebahn

Flughafen München GmbH  
Projektteam Kapazitäten  
Postfach 23 17 55

85326 München-Flughafen

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis und Glossar.....	5
1 Einleitung.....	9
1.1 Ausgangslage.....	9
1.2 Raumordnungsverfahren (ROV).....	9
1.3 Gegenstand der Untersuchung .....	10
2 Nachweisführung.....	11
2.1 Zielkriterien .....	11
2.2 Aspekt; Ausfall einer Start-/Landebahn .....	11
2.3 Aspekt: Komplexität des Flugbetriebes .....	13
2.3.1 Die Sicht der Luftverkehrsgesellschaften.....	13
2.3.2 Die Sicht der Flugsicherung.....	15
2.3.3 Die Sicht des Flughafensbetreibers.....	16
2.4 Fazit.....	17
3 Flugbetriebliche Berechnungen .....	19
3.1 Raumordnungsverfahren.....	19
3.2 Lokale Randbedingungen - Meteorologie.....	20
3.3 Konkrete Start- und Landebahnstreckenberechnungen im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens.....	22
3.3.1 Boeing B767-300 .....	24
3.3.1.1 Erforderliche Startstrecken .....	24
3.3.1.2 Erforderliche Landestrecke .....	24
3.3.2 Boeing B777-200ER .....	24
3.3.2.1 Erforderliche Startstrecken .....	25
3.3.2.2 Erforderliche Landestrecke .....	25
3.3.3 Airbus A340 – 300 .....	25
3.3.3.1 Erforderliche Startstrecken .....	25
3.3.3.2 Erforderliche Landestrecke .....	26
3.4 Ergebnisse der spezifischen Streckenberechnungen .....	26
4 Zusammenfassung .....	27
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	28
Literaturverzeichnis.....	29
Anlage 1: Flugbetriebliche Grundlagen.....	31

A-1	Anforderungen an Luftfahrzeuge.....	31
A-2	Anforderungen an den Start hinsichtlich erforderlicher Bahnlänge .....	31
A-2.1	Vorgaben und wesentliche Kenngrößen .....	31
A-2.2	Start ohne Triebwerksausfall bei trockener Startbahn.....	37
A-2.3	Start mit Triebwerksausfall bei trockener Startbahn.....	38
A-2.4	Startabbruch ohne Triebwerksausfall bei trockener Startbahn.....	38
A-2.5	Startabbruch mit Triebwerksausfall bei trockener Startbahn.....	39
A-2.6	Start ohne Triebwerksausfall bei nasser Startbahn.....	40
A-2.7	Start mit Triebwerksausfall bei nasser Startbahn .....	41
A-2.8	Startabbruch ohne Triebwerksausfall bei nasser Startbahn.....	41
A-2.9	Startabbruch mit Triebwerksausfall bei nasser Startbahn .....	42
A-3	Anforderungen an die Landung hinsichtlich erforderlicher Bahnlänge .....	43
A-3.1	Streckendefinitionen .....	43
A-3.2	Die Aufsetzstrecke.....	44
A-3.3	Landerollstrecke .....	45
A-3.4	Vorgaben zur Landestrecke im gewerblichen Einsatz.....	45

## Abkürzungsverzeichnis und Glossar

ADM	Aerodrome Design Manual (ICAO, 3.Auflage 2006), Part 1, Runways
AEO	All Engines Operative – alle Triebwerke laufend
AFM	Airplane Flight Manual (Flughandbuch)
ASD A/R	Accelerate Stop Distance Available / Required – verfügbare / benötigte Startabbruchstrecke
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Clearway	Freifläche (hinter der Startbahn) – darf neben der physischen Bahnlänge bei der TODA hinzugerechnet werden.
EASA	European Aviation Safety Agency
EASA CS-25	EASA Certification Specification – Nachfolger des JAR Part 25, Zulassungsvorschrift für „Large Aeroplanes“, EASA, Köln
EFRAS	Electronic Flight Report and Runway Weight Chart System: Flugleistungsberechnungsprogramm der Condor/Cook
ETOPS	Extended-Range Twin Engine Operation Performance Standard: Regularien, die Verkehrsflugzeugen mit nur zwei Triebwerken wie z.B. Boeing B767, B777 und A 330 erlauben, Strecken zu fliegen, bei denen der nächstgelegene, für ein Ausweichen oder Notlandungen geeignete Flughafen mehr als 60 Flugminuten entfernt ist (z.B. bei Nordatlantikflügen)
FAR	Federal Aviation Regulations
FCOM	Flight Crew Operating Manual: das auf Basis des AFM erstellte Betriebshandbuch für ein bestimmtes Luftfahrzeugmuster
Getrennter Betrieb	Betrieb von zwei Start- und Landebahnen, bei dem eine Bahn ausschließlich zum Starten und die andere ausschließlich zum Landen benutzt wird (engl. segregated)
Hold-Over-Time (auch Vorhaltezeit)	Zeitpunkt nach der Enteisung eines Luftfahrzeugs, bis zu dem der Start erfolgt sein muss. Nach Überschreiten dieses Zeitpunkts wäre für den Start eine erneute Enteisung erforderlich.
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IMC	Instrument Meteorological Conditions
ISA	Internationale Standard Atmosphäre
JAA	Joint Aviation Authorities – Europäische Vereinigung der nationalen Luftfahrtbundesämter
JAR	Joint Aviation Regulations
JAR-OPS 1	Joint Aviation Regulations: Bestimmungen über die gewerbsmäßige Beförderung von Personen und Sachen in Flugzeugen

	(deutsche Übersetzung in der Fassung vom 1. März 2006 gem. Bekanntmachung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung vom 10. April 2006)
zukünftig EU-OPS 1	VERORDNUNG (EG) Nr. 1899/2006 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 12. Dezember 2006 zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 3922/91 des Rates zur Harmonisierung der technischen Vorschriften und der Verwaltungsverfahren in der Zivilluftfahrt (ABl. EU Nr. L 377 vom 27. Dezember 2006 S. 1)
Koordinationsseckwert	Anzahl der pro Stunde für einen Flughafen planbaren Starts und Landungen (koordiniert durch den Flughafenkoordinator der Bundesrepublik Deutschland)
LD	Landing Distance - Landestrecke
LDR	Landing Distance Required - Benötigte Landestrecke
LFZ	Luftfahrzeug (Flugzeug)
Lineup-distance	Bahnlängenverlust bedingt durch Ausrichten des Flugzeugs vor Beginn des Startlaufs
Low Visibility Verfahren	Betriebsverfahren bei schlechten Sichtbedingungen (Allwetterflugbetrieb) mit besonders strengen Vorgaben für an- und abfliegende Flugzeuge sowie Flugzeuge und Fahrzeuge auf den Rollwegen und den Vorfeldern
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
MALW	Maximal zulässiges Landegewicht (bzw. Landemasse)
MATOW	Maximal zulässiges Startgewicht (bzw. Startmasse)
MCT	Minimum Connecting Time - Umsteigezeit
Mischbetrieb	Betrieb von zwei Start- und Landebahnen, bei dem beide Bahnen gleichzeitig zum Starten und zum Landen benutzt werden (engl. mixed mode)
MLW	Maximales strukturelles Landegewicht (bzw. Landemasse)
MTOW	Maximales strukturelles Startgewicht (bzw. Startmasse)
NN	Normalnull (Höhenlage auf Meeresniveau)
OEI	One Engine Inoperative - ein ausgefallenes Triebwerk
Payload	Nutzlast (Passagiere/Fracht/Post)
Piste	Start- und Landebahn (SLB)
Rollweg	Festgelegter Weg auf einem Flugplatz für das Rollen von Luftfahrzeugen, der eine Verbindung zwischen einem Teil des Flugplatzes und einem anderen herstellt (auch Rollbahn)
ROV	Raumordnungsverfahren
Startmasse	Masse (früher "Gewicht") des Flugzeugs beim Beginn des Startlaufs unter Einbeziehung aller an Bord befindlichen Personen

		und Sachen (engl. Take Off Mass, gebräuchlich auch noch Take Off Weight)
Stopway		Stoppfläche (hinter der Landebahn) – darf neben der physischen Bahnlänge bei der ASDA hinzugerechnet werden.
Strahlverkehrsflugzeuge		Verkehrsflugzeuge, die (im Gegensatz zu Propellermaschinen) von einem Jet-Triebwerk angetrieben werden
TOD A/R		Take Off Distance Available / Required - verfügbare / benötigte Startstrecke
TOR A/R		Take Off Run Available / Required - verfügbare / benötigte Startlaufstrecke
Unabhängiger Betrieb	Be-	Betrieb von zwei Start- und Landebahnen, bei dem Flugbewegungen auf einer Bahn ohne Einhaltung von Mindestabständen zu Flugbewegungen auf der anderen Bahn erfolgen dürfen (engl. independent)
$V_1$		Entscheidungsgeschwindigkeit bei einem Startvorgang = Geschwindigkeit, ab deren Erreichen ein Start nicht mehr abgebrochen werden darf
$V_2$		Mindestgeschwindigkeit, die nach einem Triebwerksausfall in 35 ft am Bahnende erreicht sein muss
$V_{EF}$		Geschwindigkeit, bei der das kritische Triebwerk eines startenden Luftfahrzeugs rechnerisch ausfällt
$V_{LOF}$		Abhebegeschwindigkeit bei einem Startvorgang
Vorfeld		Festgelegte Fläche auf einem Flugplatz für die Abfertigung von Luftfahrzeugen (Ein- und Aussteigen von Fluggästen, Ein- und Ausladen von Gepäck, Post oder Fracht, Be- und Enttanken) sowie zum Abstellen und zur Wartung von Luftfahrzeugen
$V_R$		Rotationsgeschwindigkeit = Geschwindigkeit, bei deren Erreichen ein Luftfahrzeug um die Querachse angestellt (Anstellwinkel) wird

### Indizes

Appr	Approach
B	Bremskonfiguration
BFW	Bugfahrwerk
Flare	Abfangvorgang (Flare)
HFW	Hauptfahrwerk
L	Landekonfiguration
max	Maximaler Wert
Ref	Referenz
TW	Triebwerk



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Der Flughafen München verfügt derzeit über zwei Start- und Landebahnen mit einer Länge von jeweils 4.000 m, die gemäß Internationaler Zivilluftfahrt Organisation (ICAO) Definition<sup>1</sup> als unabhängiges Zweibahnssystem (Achsabstand größer 1.035 m) betrieben werden und deren Länge sich im laufenden Betrieb bewährt haben. Die Kapazität des bestehenden Start-/Landebahnsystems des Flughafens liegt bei koordinierten 90 Flugbewegungen pro Stunde und wird zu Spitzenstunden bereits voll ausgeschöpft. Die Flughafen München GmbH plant daher eine 3. Start- und Landebahn, nördlich parallel zu den bestehenden liegend, um die Kapazität der weiter steigenden Verkehrsnachfrage anzugleichen.

## 1.2 Raumordnungsverfahren (ROV)

In den Raumordnungsunterlagen für die 3. Start- und Landebahn hat die Flughafen München GmbH zwei Untersuchungen vorgelegt, die zu dem Schluss kommen, dass aufgrund der Leistungsdaten der untersuchten Flugzeugmuster eine Länge von 4.000 m auch für die dritte Bahn erforderlich ist:

- Zum einen hat die DORSCH Consult Airports GmbH in der "Technischen Beschreibung des Vorhabens" vom 12.07.2006 die erforderliche Bahnlänge anhand von generalisierenden Flughafenplanungsempfehlungen<sup>2</sup> der ICAO ermittelt. Diese im Rahmen der Genauigkeitsanforderungen eines Raumordnungsverfahrens erstellte Untersuchung kam zu dem Ergebnis, dass für zahlreiche Flugzeugmuster eine Startbahnlänge von über 4.000 m für einen betrieblich uneingeschränkten Betrieb benötigt wird.
- In der Untersuchung "Erforderliche Länge für eine dritte S/L-Bahn in München" vom 26.06.2006 hat der Gutachter Jürgen Mißler untersucht, ob – zumindest unter typischen Betriebsbedingungen – eine Bahnlänge von 4.000 m als ausreichend eingestuft werden kann. Dazu wurden die erforderlichen Startstrecken ausgewählter Langstreckenflugzeugmuster bei re-

---

<sup>1</sup> ICAO, Aerodrome Design Manual (ADM), Abschnitt 2.1.17

<sup>2</sup> ICAO, Aerodrome Design Manual, Part 1, Runways, in der damals vorliegenden 2. Auflage aus dem Jahr 1984, die weitestgehend der geltenden 3. Auflage entspricht.

präsentativen meteorologischen Bedingungen für die geplante Bahnlage nach den Flughandbüchern ermittelt. Der Gutachter hält hiernach ebenfalls eine Ausbaulänge von 4.000 m für notwendig.

### **1.3 Gegenstand der Untersuchung**

Unter Berücksichtigung der vorliegenden, in Kap. 1.2 dargelegten Empfehlungen zur Bahnlänge, analysiert die vorliegende Untersuchung Anforderungen an die dritte Start- und Landebahn, die sich hinsichtlich betrieblicher Aspekte der Redundanz der neuen Bahn mit dem bestehenden Start-/Landebahnsystem sowie der hiermit zusammenhängenden Sicherheitsaspekte (siehe Kap. 2) ergeben.

Zusätzlich wird die notwendige Bahnlänge der dritten Start- und Landebahn von 4.000 m in der für ein Planfeststellungsverfahren notwendigen Tiefe anhand dreier unter flugbetrieblichen Aspekten ausgewählter Referenzflugzeuge (Boeing B767-300, Boeing B777-200 ER, Airbus A340-300) untersucht (siehe Kap. 3).

## 2 Nachweisführung

### 2.1 Zielkriterien

Um das für einen internationalen Hub-Flughafen erforderliche Qualitätsniveau auch in Zukunft aufrecht erhalten zu können, muss die 3. Start- und Landebahn so ausgestaltet sein, dass neben den in der Konfigurationsanalyse ausgeführten Planungszielen und kapazitätsrelevanten Faktoren<sup>3</sup> folgende wesentliche Zielsetzungen erreicht werden können:

- **Redundanz: Unabhängiges Zweibahnssystem:**<sup>4</sup> Für den Fall der Sperrung einer der bestehenden Bahnen muss das dann noch verfügbare Zweibahnssystem einen weiterhin unabhängigen Flugbetrieb, insbesondere unabhängige Landungen, ermöglichen, um die derzeitige Kapazität der zwei Bahnen unter diesen Bedingungen weiterhin anbieten zu können. Hierdurch werden die unvermeidbaren Störungen des Betriebs zumindest minimiert. Dies wird erreicht, indem der Achsabstand der neuen Bahn einen Mindestabstand von 1.035 m zu den beiden bestehenden Bahnen einhält<sup>5</sup>.
- **Möglichst einfache Betriebsabläufe:** Der Luftverkehr wird in besonderem Maße nach Standards abgewickelt. Durch die 3. Start- und Landebahn wird das Gesamtsystem des Flughafens komplexer. Betriebsabläufe müssen daher so einfach wie möglich gestaltet und zusätzliche Einschränkungen, z.B. durch interne Präferenzbildung bei der Nutzung der Bahnen, minimiert werden.
- **Flexibilität der Bahnnutzung:** Die Länge der 3. Start- und Landebahn darf die Flexibilität hinsichtlich Betriebsrichtung, Verteilung von Starts und Landungen etc. nicht beeinträchtigen.
- **Hohes Sicherheitsniveau:** Die Konfiguration der 3. Start- und Landebahn soll ein weiterhin hohes Sicherheitsniveau garantieren, sowohl am Boden während der Rollvorgänge der Luftfahrzeuge von und zu den Bahnen als auch bei Starts und Landungen.

### 2.2 Aspekt: Ausfall einer Start-/Landebahn

Der Flughafen München verfügt derzeit über zwei 4.000 m lange Bahnen. Im Sinne einer Redundanzanalyse werden im nachfolgenden die Konsequenzen

---

<sup>3</sup> Vgl. FMG, Konfigurationsanalyse 3. Start- und Landebahn, Kapitel 2.

<sup>4</sup> Vgl. FMG, Konfigurationsanalyse 3. Start- und Landebahn, Kapitel 2.

<sup>5</sup> ICAO, Annex 14, Abschnitt 3.1.11

aufgezeigt, die der Ausfall einer der zukünftig drei Bahnen nach sich ziehen würde. Derartige Ausfälle sind neben flugbetrieblichen Ereignissen (z.B. Verbleiben des Luftfahrzeuges auf der Bahn durch technische Defekte), Wartungsarbeiten auf und im Sicherheitsbereich der Bahn sowie im nahen An- und Abflugbereich, insbesondere während der Winterdienstperiode (s. u.) durch Schneeräumungsmaßnahmen, zu erwarten.

Luftfahrzeuge dürfen auf einer Bahn nur starten und landen, wenn deren Zustand, ausgedrückt durch den regelmäßig zu messenden Reibungskoeffizienten (Griffigkeit der Bahn) im gültigen Bereich liegt. Insbesondere während der Winterzeit, die formal von November bis April im Luftverkehr währt, kann dieser Zustand aufgrund von Niederschlägen häufig nicht erfüllt sein und damit eine Sperrung der Bahn zum Zwecke der Räumung eintreten. Hier sei exemplarisch auf den Winter 2005/2006 verwiesen, an dem über 60 Mal entsprechender Niederschlag (Schneefall) gegeben war. Die folgende Übersicht zeigt die Anzahl und die Dauer von Bahnsperungen aufgrund von Winterdienst der letzten sechs Winter:

Periode	Anzahl der Sperrungen		Durchschnittliche Dauer der Sperrungen [Stunden]	Sperrdauer gesamt [Stunden]
	Nordbahn	Südbahn		
2001/02	28	28	00:27	25:19
2002/03	33	35	00:31	35:15
2003/04	33	35	00:32	36:30
2004/05	49	53	00:24	41:28
<b>2005/06</b>	<b>71</b>	<b>62</b>	<b>00:26</b>	<b>57:51</b>
2006/07	13	15	00:26	12:22

**Tab. 1 Häufigkeit und Dauer von Bahnsperungen am Flughafen München aufgrund von Winterdienst (Quelle: FMG)**

Die Tabelle zeigt für die einzelnen Winterperioden große Unterschiede in der Anzahl der Sperrungen und der gesamten Sperrdauer. Während im Winter 2006/07 die Sperrdauer auf ca. zwölf Stunden beschränkt blieb, ergab sich für den Winter 2005/06 eine Sperrdauer von insgesamt fast 58 Stunden. Dies entspricht rechnerisch etwa dreieinhalb Betriebstagen. In solchen Situationen, die in einem strengen Winter wie 2005/06 gehäuft auftreten, ist der Flughafen München in besonderer Weise auf eine **zumindest gleich lange 3. Start- und Landebahn gegenüber dem Bestand** angewiesen, um die negativen Auswirkungen (Verspätungen und Streichungen von Flügen) so gering wie möglich zu halten.

Im Fall einer verkürzten neuen Nordbahn, die nicht den Start sämtlicher Flugzeugtypen bei Ausschöpfung der maximal möglichen Zuladung gestattet, würde das Zweibahnssystem aus bestehender und neuer Nordbahn im getrennten Betrieb (eine Bahn für Starts, die andere Bahn für Landungen) be-

trieben werden, weil die für den Mischbetrieb nötige strikte Nord-Süd Trennung der Verkehre nicht aufrecht erhalten werden könnte<sup>6</sup>. So sind die Durchsatzraten auf einer Bahn im Mischbetrieb ca. 10% höher als im getrennten Betrieb<sup>7</sup>.

Diese Kapazitätsdifferenz hätte gravierende Auswirkung auf die bei Bahnsperren ohnehin unvermeidbare Verspätungssituation. Die Leistungsfähigkeit des Flughafens würde durch eine Beschränkung auf den getrennten Betrieb bei Bahnsperren zusätzlich gemindert.

## 2.3 Aspekt: Komplexität des Flugbetriebes

Der moderne Flugbetrieb besteht aus einem vielschichtigen und verzweigten Gesamtsystem mit zahlreichen voneinander abhängigen Komponenten. Bei Bildung von Allianzen der Luftfahrtgesellschaften spielen die Qualität und die Effizienz der jeweils um den Hub aufgebauten Verbindungsnetze zu einem globalen Netzwerk eine bedeutende Rolle. Dies führte in der Vergangenheit zu einer Bündelung des Verkehrs über Drehkreuzflughäfen, wie dem Flughafen München.

Der in das Luftverkehrsnetzwerk eingebettete Flughafenbetrieb umfasst zahlreiche miteinander vernetzte Abläufe, von denen hier einige aus Sicht der beteiligten Akteure dargestellt werden. Dabei wird jeweils auf die Bedeutung einer hinreichenden Bahnlänge in diesem System eingegangen.

### 2.3.1 Die Sicht der Luftverkehrsgesellschaften

Zur Auslastung ihrer Luftfahrzeuge benötigen die Luftverkehrsgesellschaften eine hohe Planungssicherheit. Die Rotationen der Luftfahrzeuge werden mit nur minimalen Pufferzeiten an den Start- und Zielflughäfen abgestimmt. Die Flugzeiten der eingesetzten Luftfahrzeuge zu den eingesetzten Destinationen, der dortige Aufenthalt und der Weiterflug zum nächsten Ziel werden zeitoptimal geplant, um sie schließlich nach einer gewissen Einsatzzeit einem Wartungstützpunkt zuzuführen. Gesetzlich vorgeschriebene Wartungsintervalle (auch tägliche) werden somit durch einen hohen logistischen Aufwand sichergestellt. Weiterhin gewährleistet nur der optimierte Einsatz der Flugbesatzungen – unter Berücksichtigung der Flugdienst- und Ruhezeiten – einen wirtschaftlichen Flugbetrieb. Wartungs- und Personalkosten sind für eine Fluggesellschaft in Zeiten harten Wettbewerbs von höchster Bedeutung.

Luftverkehrsgesellschaften achten bei ihren strategischen, also längerfristigen Planungen sehr genau auf die mit den Flughafenbetreibern jeweils vereinbar-

---

<sup>6</sup> Derzeit nutzen Nordabflüge konsequent die Nordbahn, Südabflüge die Südbahn. Bei angenommenen unterschiedlichen Bahnlängen für das zukünftige Dreibahnssystem und einer Bahnsperre wäre dieses Verfahren nicht mehr möglich.

<sup>7</sup> Vgl. IATA Airport Development Reference Manual 8<sup>th</sup> Edition 1995, S. 46; Janic, The Problem of Airport Capacity in Europe, S. 17 f.

ten Nutzungsrahmenbedingungen des Flughafens. Dabei spielt die zeitgerechte Abwicklung eines Fluges von der Landung bis zum Start eine bedeutenden Rolle. Es wird erwartet, dass übliche Störungen des Flugbetriebes innerhalb kürzester Zeit aufgefangen werden können. Ein wesentlicher Faktor dafür ist die Redundanzfähigkeit des Flughafens für den Fall von Bahnsperren, die von der Bahnlänge mitbestimmt wird (s. Anhang A-2.1).

Eine nicht ausreichende Bahnlänge führt dazu, dass ein Start nur mit einem reduzierten Abfluggewicht bzw. eine Landung mit reduziertem Landegewicht durchgeführt werden darf. Dies kann durch die Verringerung der „Payload“, also Passagiere und Gepäck, oder über die Reduzierung des Treibstoffes erreicht werden. Die Reduzierung des erforderlichen Treibstoffes führt in der Regel zu einer Zwischenlandung (Auftankung), bevor der Flug zum Bestimmungsflughafen fortgesetzt werden kann.

Die vorgeschriebene Mindesttreibstoffmenge für einen Flug besteht aus dem Treibstoffverbrauch für das Rollen zum Start, den Flug zum Bestimmungsflughafen („Trip Fuel“), zuzüglich eines Aufschlags von 5 Prozent für unvorhergesehenen Mehrverbrauch („Contingency Fuel“). Für bestimmte Langstreckenflüge (ETOPS) könnte noch zusätzlicher Kraftstoff erforderlich sein. Dazu kommt der Treibstoff, der benötigt würde, um nach einem Durchstarten am Bestimmungsflughafen zum Ausweichflughafen zu fliegen und dort unter Berücksichtigung einer 30-minütigen Warteschleife zu landen („Minimum Diversion Fuel“). Weiterhin bleibt es dem Kommandanten eines Verkehrsflugzeuges überlassen „Extra Treibstoff“ - für z.B. das weiträumige Umfliegen von Schlechtwettergebieten oder auch zu erwartende Anflugverzögerungen aufgrund schlechten Wetters am Bestimmungsflughafen - aufzunehmen. Nachfolgende Abb. 1 zeigt diese Abhängigkeiten grafisch auf:

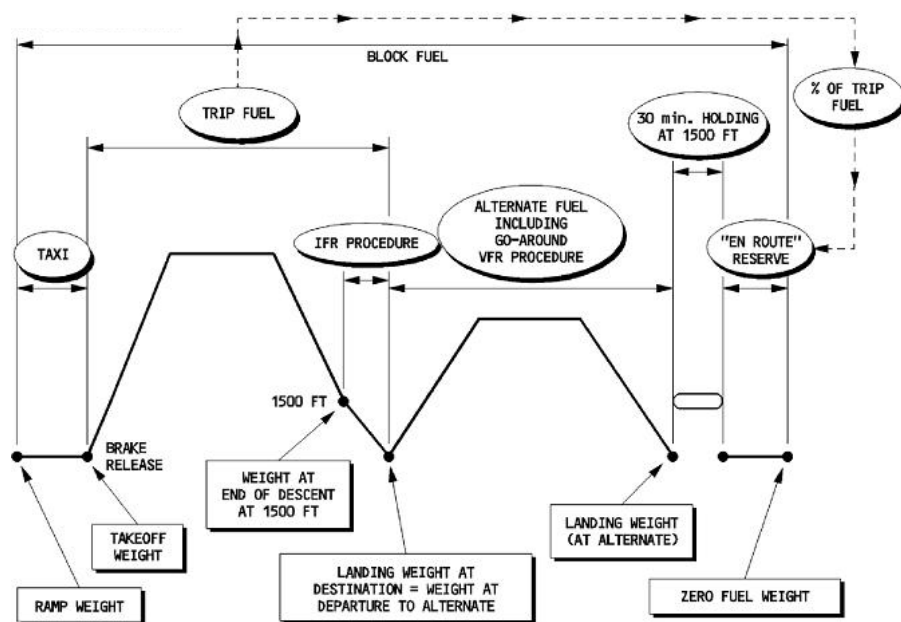


Abb. 1 Abhängigkeiten von Flugzeuggewicht und Kraftstoff<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Airbus, FCOM, A320, Band „Flight Preparation“

Bei einer gegenüber dem Bestand kürzeren 3. Bahn könnten zwar einzelne Luftfahrzeuge, die eine Startbahnlänge von bis zu 4.000 m benötigen, auf eine der bestehenden Bahnen verlegt werden, dadurch könnte eine Reduktion des Abfluggewichts in diesen Fällen vermieden werden. Auf die Länge der jeweiligen Start-/Landebahn abzustimmende Verlegungen von Luftfahrzeugen führen jedoch zu einem Mehraufwand und einer höheren Arbeitsbelastung der Vorfeldkontrolle, Flugsicherung und der Crew. Das Risikopotential durch Missverständnisse wird erhöht. Der Grundsatz möglichst einfacher Betriebsabläufe durch eine Abwicklung des Luftverkehrs nach Standards wäre nicht mehr vollumfänglich gegeben.

### 2.3.2 Die Sicht der Flugsicherung

Die am und um den Flughafen München für die Flugverkehrskontrolle verantwortliche Flugsicherung betreibt einen hohen Aufwand, um die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Luftverkehrs am Standort zu gewährleisten. Das bestehende im Mischbetrieb (mixed mode) betriebene Zweibahnssystem sichert diese Strategie durch zwei gleich lange und redundant nutzbare 4.000m lange Bahnen mit dem für einen unabhängigen Betrieb notwendigen Achsabstand.

Eine strikte Nord-Süd Trennung der Verkehre sichert einen optimalen Betriebsablauf dadurch, dass Luftfahrzeuge mit Abflugstrecken in nördlicher Richtung von der Nordbahn starten und umgekehrt Südabflüge die Südpiste benutzen. Die jetzigen gleich langen 4.000 m Bahnen ermöglichen dieses optimale Verfahren. Die erforderlichen Staffellungen zwischen an- und abfliegenden Luftfahrzeugen können somit in „einfachen, nachvollziehbaren Betriebsabläufen“ sichergestellt werden.

Jeweils ein Platzverkehrslotse (Towerlotse) ist für eine Bahn verantwortlich. Die enge Koordination der Lotsen untereinander gewährleistet eine sichere und zügige Abwicklung des bestehenden Zweibahnsystems.

Unterstützt werden sie von den Rollverkehrslotsen, die in enger Abstimmung mit der Vorfeldkontrolle die Luftfahrzeuge zeitgerecht für die jeweilige Bahn zum Abflug bereitstellen. Bei schlechten Wetterbedingungen, die eine Anwendung der sog. „Low Visibility Verfahren“ mit sich bringen, erfordert dies ein Höchstmaß an zuverlässiger Koordination. Das gleiche gilt für Wetterlagen mit Vereisungsbedingungen, bei denen die Luftfahrzeuge innerhalb eines eng begrenzten Zeitraums enteist werden und starten müssen, damit ein wiederholtes Enteisen nicht nötig wird (bestimmt durch die sog. „Hold Over Time“ des Enteismittels).

Zusammen mit der Radar An- und Abflugkontrolle werden die Verkehrsströme entsprechend ihrer räumlichen Herkunft koordiniert und in der Regel Flüge aus dem Norden der Nordpiste und Flüge aus dem Süden der Südpiste zugeführt.

Mit einer 3. Start- und Landebahn werden die Betriebsabläufe komplexer, weil durch die Zunahme der beteiligten Luftfahrzeuge die Rollvorgänge auf dem Vorfeld und den Rollwegen noch präziser abzustimmen sein werden. Weiterhin entsteht durch den dritten Platzverkehrslotse zusätzlicher Koordinations-

aufwand. Eine verkürzte 3. Bahn würde dabei die Komplexität und damit die Störanfälligkeit der Betriebsabläufe erhöhen.

Das gilt bereits im Regelbetrieb: Verlegungen von Luftfahrzeugen führen zu einem Mehraufwand und einer höheren Arbeitsbelastung auch der Flugsicherung. Das Risikopotential durch Missverständnisse wird erhöht.

Im Übrigen werden Luftfahrzeugführer in der Realität häufig bei grenzwertigen Bedingungen, wie z.B. beim Erreichen des Startgewichtslimits und gleichzeitig hohen Temperaturen, immer darauf drängen, die längste Bahn zugewiesen zu bekommen, unabhängig davon, in welche Richtung sie abfliegen. Dies würde den Druck auf die Fluglotsen – deren Arbeit im hohen Maße von der Sicherheit, aber auch vom Servicegedanken geprägt ist – unnötig erhöhen. Die Kapazität der Fluglotsen, auf besondere Situationen flexibel zu reagieren, würde vorhersehbar vorausgelastet.

Besonders problematisch wäre ein redundanter Betrieb bei Sperrung der jetzigen Südpiste, wenn der Flugbetrieb auf der jetzigen 4.000 m langen Nordpiste und einer kürzeren neuen Nordpiste abgewickelt werden müsste. Luftfahrzeuge mit geplanten Nordabflugstrecken werden unter bestimmten Bedingungen auf die 4.000 m Bahn angewiesen sein und nach dem Start Richtung Norden drehen. Somit könnten Staffelungsprobleme mit den verkehrenden An- und Abflügen auf der neuen Bahn hervorgerufen werden. Der geplante unabhängige Zweibahnbetrieb im Redundanzfall (Mischbetrieb) wäre somit gefährdet und ein Rückgang des möglichen Durchsatzes um 10% (getrennter Betrieb) wahrscheinlich.

### **2.3.3 Die Sicht des Flughafenbetreibers**

Der Flughafen München ist bemüht und ökonomisch verpflichtet, seinen Nutzern einen hohen „level of service“ zu garantieren. Die Qualität der Dienstleistungen spielt eine entscheidende Rolle für die Attraktivität und damit für die Konkurrenzfähigkeit des Flughafens.

Der Flughafen München steht als Hubflughafen unmittelbar im internationalen Wettbewerb und muss daher seinen Kunden (Fluggesellschaften und Passagiere) eine möglichst große Zuverlässigkeit und Planbarkeit bieten.

Entscheidend hierfür ist die MCT (Minimum Connecting Time, Umsteigezeit von Flugzeug zu Flugzeug), die der Flughafen garantiert und die entscheidenden Einfluss auf die Planbarkeit der Flugzeug-Umläufe und damit auf die Wirtschaftlichkeit der den Flughafen München nutzenden Luftverkehrsgesellschaften ausübt.

Der Flughafen München garantiert derzeit eine MCT von nur 30 Minuten, die auch mit dem zukünftigen Eckwert für das Dreibahnssystem aufrecht erhalten werden soll, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit des Flughafens zu erhalten.

Dazu wurden bzw. werden die infrastrukturellen Voraussetzungen, auch durch den Bau einer weiteren uneingeschränkt nutzbaren Start- und Landebahn, geschaffen. Störungsfreie Betriebsabläufe sollen, unterstützt durch ausreichende technische Einrichtungen und durch optimalen Personaleinsatz

in Form verzögerungsfreier Passagier- und Flugzeugabfertigung, gewährleistet sein. Die Dienstleistungen in Form von Gepäck-, Reinigungs- und Tankdienst, Pushbackfahrern usw. müssen für den zeitlich befristeten Einsatz am Luftfahrzeug genau koordiniert sein. Abfliegende Luftfahrzeuge müssen zeitgenau innerhalb der Zeitraster der Flugsicherung zur Verfügung gestellt werden. Schnittstellen sind die Rollverkehrslotsen der Flugsicherung, die die Luftfahrzeuge entsprechend der Trennung der Nord-Südverkehre anfordern.

Sollte es - wie beispielsweise im reduzierten Redundanzbetrieb - zu **zusätzlichen Verzögerungen** kommen, können die zu dem Zeitpunkt bereits verplanten Parkpositionen nicht rechtzeitig bereitgestellt werden. Diese Positionsüberschneidungen führen ggf. zu weiteren Staus auf dem Vorfeld. Das Abarbeiten der zusätzlichen Verspätungen gestaltet sich schwierig, weil das gleichzeitige Zusammenführen der Abfertigungs-Dienstleister nicht mehr verlässlich zeitgerecht möglich ist. Auch das Umleiten bereits abgefertigter Passagiere auf andere Gates führt in der Regel zu weiteren Verzögerungen. Viele Passagiere treffen nicht an dem neu zugewiesenen Gate ein, z.B. weil sie die Ansage der kurzfristigen Gateänderung überhören, somit verspätet am Gate erscheinen und vom Flug ausgeschlossen werden. Aus Sicherheitsgründen darf Gepäck jedoch nur gemeinsam mit dessen Besitzer befördert werden. Daher muss das entsprechende Gepäckstück ausgeladen werden, wenn der Fluggast den Flug nicht wahrnimmt. Das Entladen ist nur über eine zeitaufwendige Gepäckidentifizierung möglich.

## 2.4 Fazit

Die im vorigen geschilderten Aspekte:

- Redundanz des Bahnsystems, insbesondere mit Blick auf regelmäßig eintretende Bahnsperren (vorrangig während des Winters),
- einfache und damit sichere Betriebsabläufe unter Beachtung des komplexen Wechselspiels zwischen Flughafenunternehmen, Flugsicherung und Kunden (Luftverkehrsgesellschaften)

führen zu dem Schluss, dass die 3. Start- und Landebahn gleichwertig zu den bestehenden Bahnen sein und damit eine befestigte Länge von 4.000 m aufweisen muss.



## 3 Flugbetriebliche Berechnungen

Im vorliegenden Kapitel 3 werden – in Ergänzung zu den in Kapitel 2 angeführten maßgebenden betrieblichen Gesichtspunkten - die physischen Anforderungen an die Länge der Start-/Landebahn anhand der technischen Eigenschaften der Referenzflugzeuge Boeing B767-300, B777-200 sowie Airbus A340-300 untersucht. Die im Raumordnungsverfahren von der Fa. Dorsch Airports GmbH angewandte Methode wird durch genaue flugbetriebliche Berechnungen für die benannten drei Flugzeugmuster konkretisiert.

### 3.1 Raumordnungsverfahren

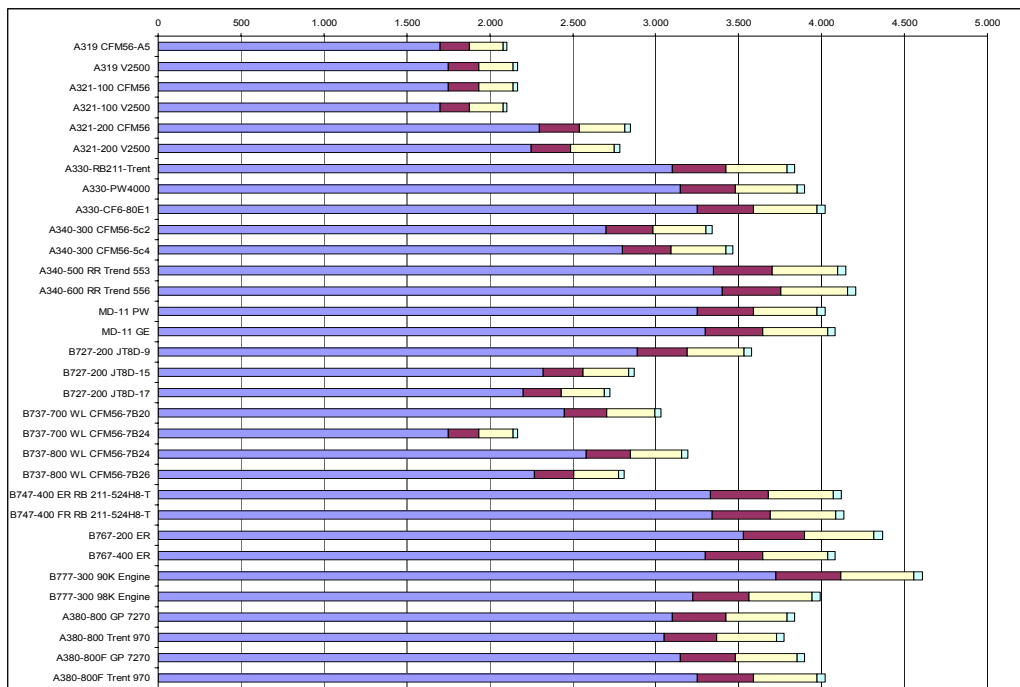
Im Rahmen der Planungstiefe eines Raumordnungsverfahrens wurde die erforderliche Bahnlänge gutachtlich von der Fa. Dorsch Airports GmbH anhand einer der im Flugplatzplanungsdokument Aerodrome Design Manual (ADM) Part 1, Runways, der ICAO enthaltenen Methoden ermittelt. Hier heißt es:

„Bei der ICAO-Methode wird auf Basis einer Bezugsstartbahnlänge eine fiktive erforderliche Startbahnlänge durch Addition von Zuschlägen für die Temperatur (Abweichung der Standardtemperatur zur Flughafenbezugstemperatur), die Höhenlage des Flughafens und die Bahnneigung (also Berücksichtigung einer positiven oder negativen Bahnneigung) ermittelt.“

Folgende Grafik zeigt die flugzeugbezogene erforderliche Startbahnlänge für den Flughafen München nach Dorsch<sup>9</sup> unter Anwendung des ADM:

---

<sup>9</sup> Dorsch, 2006, Abschnitt 1.2



**Blau:** Erforderliche Startbahnlängen aus „Airplane Characteristics for Airport Planning“ der Flugzeugindustrie (unter Berücksichtigung niedriger Triebwerksleistung)

**Rot:** Korrektur für die Höhenlage ( $300\text{ m}$ ) =  $1 + 0,07 * (h_{MUC} / 300\text{ m}) = 1,1045$

**Gelb:** Korrektur für die Bezugstemperatur =  $1 + (T_{MUC} - 12,1) * 0,01 = 1,107$

**Grün:** Korrektur für die Neigung der neuen Startbahn =  $1 + (s_{MUC} * 0,10) = 1,012$

**Abb. 2 Startbahnlänge mit Korrekturfaktoren in m, nach Dorsch (ROV)**

Die Untersuchungen nach diesem Verfahren kommen zu dem Ergebnis, dass für zahlreiche der untersuchten Luftfahrzeugmuster eine Startstrecke von 4.000 m erforderlich ist.

### 3.2 Lokale Randbedingungen - Meteorologie

Lufttemperatur und Luftdruck beeinflussen die Flugleistungen von Luftfahrzeugen, insbesondere die der Strahlverkehrsflugzeuge. Hohe Temperaturen und niedriger Luftdruck (große Höhen) mindern die Triebwerksleistungen, die erforderlichen Startstrecken verlängern sich. Niedriger Luftdruck und höhere Temperatur vermindert ferner die Steigleistung von Flugzeugen.

Die Lufttemperatur schwankt am Standort München zwischen  $-25^{\circ}\text{C}$  und  $37^{\circ}\text{C}$ . Bei einem Jahresmittel der Lufttemperatur von  $9^{\circ}\text{C}$  ist der Januar mit einem Monatsmittel von  $-1^{\circ}$  der kälteste, der Juli mit  $18,5^{\circ}\text{C}$  der wärmste Monat. Im Mittel muss jährlich mit 104 Frosttagen ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ ) und sieben heißen Tagen ( $T \geq 30^{\circ}\text{C}$ ) gerechnet werden.<sup>10</sup> Im bekannten heißen Sommer 2003

<sup>10</sup> DWD, Flugklimatologisches Gutachten, dortige Tabelle 1.

wurden insgesamt 27 heiße Tage verzeichnet. Die Elevation des Platzes beträgt 1.487ft<sup>11</sup>.

Das amtliche Gutachten über die flugklimatologischen Verhältnisse am Flughafen München des Deutschen Wetterdienstes kommt zu dem Ergebnis, dass die Flugplatzbezugstemperatur für den Flughafen München zwischenzeitlich aktualisiert bei 24°C liegen sollte. Insgesamt ist also mit heißeren Temperaturen zu rechnen. So beträgt das absolute Maximum bereits im Monat Juni rund 35°C, im August werden bis zu 37,1°C verzeichnet.

Bereits heute können bestimmte Luftfahrzeugmuster bei höheren Temperaturen nicht mit maximalem Abfluggewicht auf den bestehenden Start und Landebahnen mit 4.000 m Länge starten. Wie in der nachfolgenden Tab. 2 bei zugrunde gelegter hoher Sommertemperatur von 32°C aufgezeigt, sind fast alle Langstreckenflugzeuge bei einer Temperatur in dieser Größenordnung auf Bahnlängen im Bereich von 4.000 m oder darüber angewiesen:

Muster	Triebwerke	MTOW (to)	Startstrecke [m]	
			RWY 27	RWY 09
B 747-400	CF6-80C2B1F	394,60	4.090	4.030
B 777-300ER	GE-115BL	351,54	3.996	3,950
B 767-400	CF6-80C2B7F	200,89	4.206	4.160
B 757-300 *	RB211-535E	123,60	3.845	3.880
B 787-9 *	GEnx-1B74/75	244,94	3.995 **	3.940 **
A 340-300	CFM56-5C4	271,00	3.784	3.690
A 340-600	Trent 556	368,00	3.854	3.787
A 330-343	Trent 772B	233,00	3.164	3.098
A 380-863F	GP 7277	620,00	4.380 **	4.340 **
MD 11F	CF6-80C2D1F	285,99	4.110	4.020

\* gegenüber dem ROV zusätzlich aufgeführte Muster

\*\* vorläufige, inoffizielle Angaben

**Tab. 2 Erforderliche Startstrecken bei 32°C nach Mihaln bzw. den Daten aus den Handbüchern der betreffenden Typen**

Gerade in der sommerlichen Ferienzeit werden besonders viele ausgebuchte Charterflüge, also Langstreckenflugzeuge mit maximalem Abfluggewicht, abgewickelt. Dabei haben sich Extremsommer, wie der Sommer 2003, als besonders problematisch erwiesen.

<sup>11</sup> DFS, AIP AD2 EDDM 2-5, 21.12.2006

### 3.3 Konkrete Start- und Landebahnstreckenberechnungen im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens

Wie die obigen Tabellen zeigen, haben sich die Anforderungen an die Start- und Landestreckenlängen im Rahmen der neueren Flugzeugentwicklungen nicht verringert. Die Start- und Landestrecken der neuesten Entwicklung, der Boeing B 787-9, korrespondieren beispielsweise weiterhin mit den bereits bisher betriebenen Flugzeugmustern des gleichen Segmentes, z.B. Boeing B777, Airbus A330 etc..

Startstreckenberechnungen nach dem Flughandbuch sind für eine Startbahnplanung vor allem zur Überprüfung ungünstigerer Situationen sinnvoll und im Rahmen der Anforderungen an ein Planfeststellungsverfahren notwendig. Aus diesem Grunde wird zur Präzisierung der im Raumordnungsverfahren durchgeführten ICAO-Berechnungen im Rahmen dieses Gutachtens zusätzlich untersucht, ob bei den ausgewählten, flugbetrieblich relevanten Flugzeugmustern Transatlantikflüge bzw. andere Langstreckenflüge auch in der sommerlichen Ferienzeit bei voller Auslastung starten können. Mit diesen Berechnungen wird auch der Empfehlung der ICAO Rechnung getragen, dass bei der Flughafenplanung die betrieblichen und technischen Eigenschaften der Luftfahrzeuge berücksichtigt werden, die die Start- und Landebahn voraussichtlich nutzen werden.

Beispielsweise muss gewährleistet sein, dass große Luftfahrzeugmuster auch unter ungünstigen Witterungsbedingungen ohne eine Reduzierung der zulässigen Startmasse planmäßig starten können.

Bezüglich der konkreten nachfolgenden Streckenbedarfsrechnungen werden die jeweils ungünstigen Verhältnisse angenommen, um sicherheitsseitig konservative Ergebnisse zu erhalten. Demnach sind

- hohe Temperaturen (ebenfalls am Beispiel 32°C)
- fehlender Gegenwind,
- niedriger Luftdruck (in den Berechnungen wird der Standard-Luftdruck 1013hpa angenommen, da geringerer Luftdruck bei 32°C unwahrscheinlich ist),
- Bahnzustand: trocken, nass, Schneematsch (hier Berechnungen für trockene und nasse Bahn, letztere für 25°C aufgrund von Abkühlungseffekten),
- Bahnneigung (hier -0,1° für Richtung 09, +0,1° für Richtung 27). Insofern erfolgen die nachfolgenden Berechnungen für Starts nur für Betriebsrichtung 27 sowie in Richtung 09 für Landungen.
- Klappenstellung und weitere, wie Klimaanlage und Enteisung (beides „AUS“ unterstellt),

die die Leistung eines Strahltriebwerks am nachhaltigsten beeinflussenden meteorologischen bzw. betrieblichen Konfigurationen.

Für die flugbetrieblichen Berechnungen wird im Weiteren unter Bezug auf die gesetzlichen Anforderungen, wie sie in Anhang A niedergelegt sind, auf der

Basis der Angaben der FMG davon ausgegangen, dass die An- und Abflugsektoren der neuen Start- und Landebahn hindernisfrei entsprechend den Erfordernissen der Hindernisrichtlinie<sup>12</sup> NfL 328/01 sind. Derzeit dort existierende Objekte sind demzufolge als entsprechend eingekürzt oder entfernt unterstellt.

Ergänzend zu den o. g. variablen Größen benötigen Luftfahrzeuge am Flughafen München weiterhin erhöhte Strecken für den Start aufgrund dessen Höhenlage (reduzierter Luftdruck und Luftdichte gegenüber NN):

- Die Schwelle 09 liegt 436,8 m über NN,
- Die Schwelle 27 liegt 441,6 m über NN.

So entspräche z.B. eine 3.800 m lange SLB am Flughafen Amsterdam leistungsseitig einer ca. 4.200 m langen Bahn in München.

Im Nachfolgenden werden die erläuterten Grundlagen zur Streckenbedarfsrechnung konkret auf die Konfiguration in München für flugleistungsseitig maßgebliche Luftfahrzeugmuster am konkreten Beispiel der Boeing B767-300, der B777-200 sowie dem Airbus A340-300 angewandt. Diese Flugzeuge dienen in der vorliegenden Untersuchung als Referenzflugzeuge im Hinblick auf die konkreten Flugleistungsberechnungen (im Gegensatz zu dem Referenzflugzeug für die geometrische Konfiguration, dem Airbus A380 (ICAO Code F)).

Die Ermittlung von Startstrecken **im täglichen Betrieb** erfolgt mit Hilfe des *Flight Crew Operating Manual* (FCOM) bzw. Betriebshandbuchs, Teil B oder des Flughandbuchs für das betreffende Luftfahrzeugmuster. Der Pilot eines Luftfahrzeugs ermittelt also die in der konkreten Situation notwendige Start- bzw. Landestrecke nach den in der Anlage 1 dargelegten Vorschriften. Bei großen Luftverkehrsgesellschaften übernehmen diese Tätigkeit der sog. *Flight Dispatch*, *Operations Control* bzw. die Flugplanungs- bzw. Flugleistungsabteilung. Diese Abteilungen verfügen in der Regel über Computerprogramme, die die entsprechenden Berechnungen automatisiert durchführen. In den nachfolgenden Berechnungen wurde zurückgegriffen auf das Programm EFRAS (*Electronic Flight Report and Runway Weight Chart System*) der Condor Flugdienst/Th. Cook, welches seinerseits auf das Programm AFM-DPI (*Boeing Airplane Flight Manual - Digital Performance Information*) von Boeing sowie auf das Programm B\_TKOF, ebenfalls von Boeing auf Basis des Boeing BTOPS (*Boeing Takeoff and Performance Software*) zurückgreift.

Für die 3. Start- und Landebahn wird im Einzelnen analog zu den bestehenden Bahnen eine Länge von 4.000 m für die Startlaufstrecke (TORA, Take-Off-Run Available) und für die Landestrecke (Landing Distance Available) sowie eine Startstrecke (TODA, Take Off Distance Available) von 4.060 m durch Einbeziehung einer 60 m langen Freifläche zugrunde gelegt. Für diese Strecken werden sodann Prüfungen angestellt, ob Nutzlastbeschränkungen

---

<sup>12</sup> BMVBS, Nachrichten für Luftfahrer, Nr. 328/01, veröffentlicht durch DFS

vorliegen bzw. welche „erforderliche“ Strecken notwendig sind, um ohne Beschränkungen im Start- und Landefall operieren zu können.

### 3.3.1 Boeing B767-300

Folgende Bahnlängen sind gemäß Anhang A erforderlich, um eine Boeing B767-300 mit Triebwerken des Typs PW4060 ohne Gewichtseinschränkungen am Flughafen München auf der geplanten 3. Bahn starten und landen zu lassen. Das MTOW dieses Modells beträgt 186.880 kg, Klappenstellung 5°, null Wind.

#### 3.3.1.1 Erforderliche Startstrecken

Die Betriebsrichtung 27 ist aufgrund der positiven Neigung (Steigung) der Bahn maßgebend:

Betriebsrichtung 27, keine Hindernisse:

Es ergeben sich folgende Strecken:

- $TOD_{\text{Trockene Bahn}}$  Required : > 4.000 m
- $TOR_{\text{Trockene Bahn}}$  Required : 3.825 m
- $ASD_{\text{Trockene Bahn}}$  Required: 3.470 m
- $TOD_{\text{Nasse Bahn}}$  Required : > 4.000 m
- $ASD_{\text{Nasse Bahn}}$  Required: 3.740 m

#### 3.3.1.2 Erforderliche Landestrecke

In diesem Fall ist die Betriebsrichtung 09 prinzipiell aufgrund der negativen Neigung der Bahn (Gefälle) maßgebend. Allerdings fordern die Vorschriften keine Berücksichtigung von Neigungen kleiner 2% (im Falle München vorliegend). Dennoch sei formal die Betriebsrichtung genannt. Weiterhin ist anzumerken, dass die nasse Strecke („standing water“) relevant für Dimensionierungsfragen ist.

Betriebsrichtung 09:

Es ergibt sich folgende Strecke:

- $LD_{\text{Nasse Bahn}}$  Required: 3.610 m

### 3.3.2 Boeing B777-200ER

Folgende Bahnlängen sind gemäß Anhang A erforderlich, um eine Boeing B777-200ER mit Triebwerken des Typs GE90-90B sowie des Typs Trent895 ohne Gewichtseinschränkungen am Flughafen München auf der geplanten 3.

Bahn starten und landen zu lassen. Das MTOW dieses Musters beträgt 297.560 kg, Klappenstellung 5°,  $V_1$  optimiert, null Wind. Die folgenden Werte beziehen sich auf die schwächeren GE90-90B Triebwerke, die insofern höhere Anforderungen an die Bahn stellen.

### 3.3.2.1 Erforderliche Startstrecken

Die Betriebsrichtung 27 ist aufgrund der positiven Neigung (Steigung) der Bahn maßgebend:

Betriebsrichtung 27, keine Hindernisse:

Es ergeben sich folgende Strecken:

- $TOD_{\text{Trockene Bahn}}$  Required: > 4.000 m
- $TOR_{\text{Trockene Bahn}}$  Required: 4.000 m
- $ASD_{\text{Trockene Bahn}}$  Required: 3.890 m
- $TOD_{\text{Nasse Bahn}}$  Required : 3.975 m
- $ASD_{\text{Nasse Bahn}}$  Required: > 4.000 m

### 3.3.2.2 Erforderliche Landestrecke

In diesem Fall ist die Betriebsrichtung 09 prinzipiell aufgrund der negativen Neigung der Bahn (Gefälle) maßgebend. Allerdings fordern die Vorschriften keine Berücksichtigung von Neigungen kleiner 2% (im Falle München vorliegend). Weiterhin ist anzumerken, dass die nasse Strecke („standing water“) relevant für Dimensionierungsfragen ist. Es ergibt sich:

- $LD_{\text{Nasse Bahn}}$  Required: 3.840 m

### 3.3.3 Airbus A340–300

Folgende Bahnlängen sind gemäß Anhang A erforderlich, um einen Airbus A340-300 mit Triebwerken des Typs CFG 56-5C4 ohne Gewichtsbeschränkungen am Flughafen München auf der geplanten 3. Bahn starten und landen zu lassen. Das MTOW dieses Musters beträgt 271.000 kg, Klappenstellung Config1+F, null Wind.

#### 3.3.3.1 Erforderliche Startstrecken

Die Betriebsrichtung 27 ist aufgrund der positiven Neigung (Steigung) der Bahn maßgebend:

Betriebsrichtung 27, keine Hindernisse:

Es ergeben sich folgende Strecken:

- $TOD_{\text{Trockene Bahn Required}} > 4.000 \text{ m}$
- $TOR_{\text{Trockene Bahn Required}} 3.785 \text{ m}$
- $ASD_{\text{Trockene Bahn Required}} 3.380 \text{ m}$
- $TOD_{\text{Nasse Bahn Required}} 3.875 \text{ m}$
- $ASD_{\text{Nasse Bahn Required}} 3.120 \text{ m}$

### 3.3.3.2 Erforderliche Landestrecke

In diesem Fall ist die Betriebsrichtung 09 prinzipiell aufgrund der negativen Neigung der Bahn (Gefälle) maßgebend. Allerdings fordern die Vorschriften keine Berücksichtigung von Neigungen kleiner 2% (im Falle München vorliegend). Weiterhin ist anzumerken, dass erneut die nasse Strecke relevant für Dimensionierungsfragen ist. Entgegen dem Betrachtungsfall „standing Water“, der für die Boeing Muster heranzuziehen war, liefert Airbus für den betrieblich günstigeren Fall „contaminated“:

- $LD_{\text{Nasse Bahn Required}} 2.360 \text{ m}$

## 3.4 Ergebnisse der spezifischen Streckenberechnungen

Die Ergebnisse der Streckenberechnungen liefern für diese drei exemplarisch berechneten Muster hinsichtlich der erforderlichen Startstrecke durchweg zumindest 4.000 m, da der jeweils höchste Wert von TOD, TOR und ASD maßgebend ist. Hinsichtlich der erforderlichen Landestrecke liegen die Werte bei bis zu 3.840 m

## 4 Zusammenfassung

Die Länge von 4.000 m ist für die 3. Start-/Landebahn am Flughafen München aus den folgenden Gründen unabdingbar:

- Die Komplexität des Luftverkehrs erfordert eine Abwicklung nach Standards. Mit einer 4.000 m Bahn werden Verlegungen einzelner An- oder Abflüge auf spezifische Bahnen vermieden. Dadurch können die ohnehin komplexen Betriebsabläufe im Rahmen des Möglichen vereinfacht und zusätzlicher Koordinierungsaufwand ausgeschlossen werden.
- Bei einer möglichen Sperrung der Südbahn wird mit einer 4.000 m langen 3. Start- und Landebahn ein Mischbetrieb (mixed mode) der beiden Nordbahnen erleichtert, die notwendige Redundanz gegenüber dem heutigen System sowie dem zukünftigen System untereinander bei dem Ausfall einer Bahn (regelmäßig und vorrangig während des Winters) wird gewährleistet.

Eine Länge der 3. Start- und Landebahn von 4.000 m reduziert die Komplexität und Störanfälligkeit eines erweiterten Flughafens München. Damit wird eine wesentliche Voraussetzung erfüllt, um die Funktionalität und die Konkurrenzfähigkeit des Flughafens München langfristig zu sichern.

Der spezifische Nachweis für die erforderliche Bahnlänge für Starts und Landungen am Flughafen München in Kap. 3 anhand dreier flugbetrieblicher Referenzflugzeugmuster weist für die untersuchten, betrieblich relevanten Luftfahrzeugmuster unter den spezifizierten Randbedingungen ebenfalls eine erforderliche Bahnlänge von 4.000 m für die 3. Start-/Landebahn aus.

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1	Abhängigkeiten von Flugzeuggewicht und Kraftstoff.....	14
Abb. 2	Startbahnlänge mit Korrekturfaktoren in m, nach Dorsch (ROV).....	20
Abb. A-3	Beginn der Startstrecke: Startbahnlängenverlust durch Lineup-Distance .....	37
Abb. A-4	Start ohne Triebwerksausfall bei trockener Startbahn.....	37
Abb. A-5	Start mit Ausfall des kritischen Triebwerkes bei trockener Startbahn.....	38
Abb. A-6	Startabbruchstrecke (alle Triebwerke funktionstüchtig) bei trockener Startbahn.....	39
Abb. A-7	Startabbruchstrecke (mit Triebwerksausfall) bei trockener Startbahn.....	40
Abb. A-8:	Start mit Ausfall des kritischen Triebwerkes bei nasser Startbahn .....	41
Abb. A-9:	Startabbruchstrecke (alle Triebwerke funktionstüchtig) bei nasser Startbahn.....	42
Abb. A-10:	Startabbruchstrecke (mit Triebwerksausfall) bei nasser Startbahn .....	43
Abb. A-11:	Landestrecke.....	44
Abb. A-12:	Aufsetzstrecke.....	44
Abb. A-13	Landerollstrecke .....	45
Abb. A-14	Geforderte Landestrecke (trockene Bahn).....	46
Abb. A-15	Geforderte Landestrecke (trockene Bahn).....	46
Tab. 1	Häufigkeit und Dauer von Bahnsperungen am Flughafen München aufgrund von Winterdienst (Quelle: FMG) .....	12

## Literaturverzeichnis

Airbus Deutschland GmbH	Datenblatt A 380, im Internet <a href="http://www.airbus.com/product/a380f_specifications.asp">http://www.airbus.com/product/a380f_specifications.asp</a>
Airbus Industrie	Flight Crew Operating Manual A340-600 (FCOM), Band 2, Rev. 19, Stand 2006
BMVBS	Betriebsordnung für Luftfahrtgerät (LuftBO), Oktober 2001
BMVBS	Richtlinie über die Hindernisfreiheit für Start- und Landebahnen mit Instrumentenflugbetrieb“, NfL I 328/01, November 2001
Condor Flugdienst GmbH	Computergestützte Start- und Landestreckenberechnungen mit Hilfe von EFRAS, Dateien muc_rqtod_we040607.pdf und Condor_StartstreckenberechnungenB767B77_MUC_0927_310507.pdf
DFS (Deutsche Flugsicherung)	AIP, Luftfahrthandbuch der Bundesrepublik Deutschland, im Änderungsdienst, neueste Fassung, Langen
DFS	Funktionsnachweis der luftseitigen Verkehrsflüsse am Flughafen München im Jahr 2020, Langen 2007
Dorsch Consult Airports GmbH	Technische Beschreibung des Vorhabens (für das Raumordnungsverfahren 3. Start- und Landebahn), München, 12.07.2006
DWD (Deutscher Wetterdienst)	Klimatologische Erheblichkeitsabschätzung (Klimagutachten für das Raumordnungsverfahren 3. Start- und Landebahn), 31.05.2006
DWD	Amtliches Gutachten über die flugklimatologischen Verhältnisse am Flughafen München (Flugklimatologisches Gutachten), München 2007
EASA (European Aviation Safety Agency)	CS-25, Certification Specification, Part 25, Stand 12.12.2005, Update vom 02.10.2006, im Internet <a href="http://www.easa.eu.int/home/certspeccs_en.html">http://www.easa.eu.int/home/certspeccs_en.html</a>
European JAA (Joint Aviation Authorities )	JAR-OPS 1 (Joint Aviation Requirements) in der deutschen Übersetzung gem. Bekanntmachung des Bundesministeriums für Verkehr vom 10. April 2006.  Abschnitt A Geltungsbereich, JAR-OPS Abschnitt F 1.470 Flugleistungen allgemein, JAR-OPS Abschnitt G Flugleistungen Flugleistungsklasse A 1.485 /1.490/1.495

FMG (Flughafen München GmbH)	Konfigurationsanalyse 3. Start- und Landebahn, Gesamtdarstellung der vertieften Variantenprüfung, München 2007.
King, D. Prof. Waitz, Ian A	Gatwick Airports, July 2005, Report No. Partner-COE-2005-001 / July 2 <sup>nd</sup> 2005
IATA (International Air Transport Association)	Airport Development Reference Manual 8 <sup>th</sup> Edition 1995; sowie 9 <sup>th</sup> Edition 2004.
ICAO (International Civil Aviation Organisation)	Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation, Volume 1 Aerodrome Design and Operations, Montreal, July 2004
ICAO	Doc 9157, Aerodrome Design Manual (ADM), Part 1, Runways, Montreal, Stand 31.08.2006
Janic, Milan	The Problem of Capacity in Europe, A Case of London Heathrow Airport, Delft University of Technology, im Internet: <a href="http://www.flygforsk.lu.se/files/Milan.pdf">www.flygforsk.lu.se/files/Milan.pdf</a>
Mihlan, Jürgen	Erforderliche Länge für eine dritte S/L-Bahn in München (für das Raumordnungsverfahren 3. Start- und Landebahn), Erzhausen 26.06.2006.

## Anlage 1: Flugbetriebliche Grundlagen

### A-1 Anforderungen an Luftfahrzeuge

Die erforderliche Bahnlänge als auch weitere Konfigurationsparameter, wie Breite und Dimension der Sicherheitsflächen um die Bahn an einem Flugplatz, hängen zunächst davon ab, welches Luftfahrzeugmuster dort operieren soll. Hierzu hat die ICAO Design-Kategorien entwickelt, die entsprechend der Buchstaben A-F das für die Planung gewählte Referenzluftfahrzeugmuster nach seiner Größe einer dieser Kategorien zuordnet<sup>13</sup>. Der Flughafen München hat hiernach seine Planungen auf die größte Designkategorie F abgestellt, um insbesondere auch den Betrieb des größten kommerziellen Luftfahrzeuges, des Airbus A380, auf seinen Flugbetriebsflächen zu ermöglichen. Bereits im Bestand ist der Flughafen München, als einer der ersten Europas, offiziell als Kategorie F zugelassen.

Die Luftfahrzeuge ihrerseits induzieren weitere Anforderungen an die Infrastruktur, dies implizit durch den vorgeschriebenen Nachweis der jeweils benötigten Start- und Landestrecken, die durch vielfältige Leistungsparameter der Triebwerke und damit natürlich auch von ihrem aktuellen Gewicht diktiert werden. Plakativ verursachen hiernach „zu kurze“ Bahnlängen Beschränkungen im Abfluggewicht (maximal erlaubte Startmasse / Startgewicht, MATOW) oder auch im Landegewicht (maximal erlaubtes Landegewicht, MALW). Im Nachfolgenden werden diese Anforderungen differenziert nach Start- und Landefall dargelegt.

### A-2 Anforderungen an den Start hinsichtlich erforderlicher Bahnlänge

#### A-2.1 Vorgaben und wesentliche Kenngrößen

Die Berechnung von Startstrecken ist ein vielparimetrisches, komplexes Verfahren. Wesentlich ist dabei die Berücksichtigung der umfangreichen Richtlinien der EASA (vormals JAA) zur Gewährleistung der Flugsicherheit. Anzuwenden sind die Richtlinien der EASA Spezifikation CS-25. Sie betreffen neben den Forderungen zum minimalen Steigvermögen (Minimum Climb Gradient Requirements) und zur Gewährleistung der Hindernisfreiheit nach dem Abheben insbesondere die Richtlinien zur Bestimmung der benötigten Startstrecke (Take-Off Distance Required, TOD).

Zur Ermittlung der benötigten Bahnlänge auf Basis eines vorgegebenen Gewichtes sind folgende Strecken (jeweils für eine trockene sowie nasse Bahn) als rechnerisch benötigte (engl. „required“, abweichend zu den vorgenannten

---

<sup>13</sup> ICAO, Annex 14, Abschnitt 1.5, Tab. 1

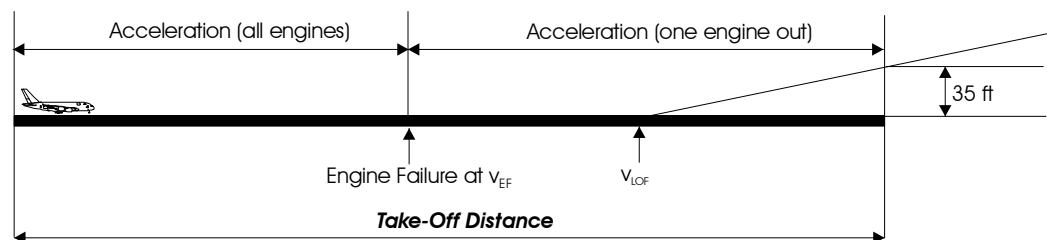
verfügbaren = engl. „available“) Strecken zu bestimmen<sup>14</sup>, die im Folgenden genauer beschrieben werden.

- Take-Off Distance (TOD),
- Take-Off Run (TOR) und
- Accelerate Stop Distance (ASD)

TOD und TOR repräsentieren hierbei die eigentlichen Startfälle, wohingegen die ASD den Startabbruch unterstellt.

Die erforderliche Take-Off Distance ist die längere der beiden folgenden Strecken:

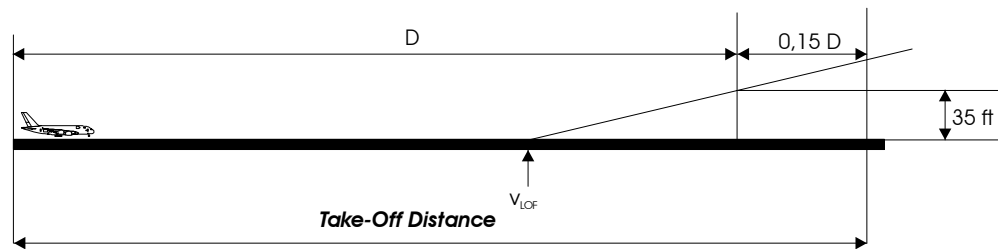
- Die Strecke, die benötigt wird, um das LFZ bis zur Geschwindigkeit  $V_1$  zu beschleunigen und unter Annahme des Ausfalls des kritischen Triebwerks<sup>15</sup> das LFZ zu einem Punkt zu bringen, in dem es im Fall einer trockenen Startbahn eine Höhe von 35 ft über Grund hat (Im Fall einer nassen Startbahn gilt eine reduzierte Höhe von 15 ft über Grund). Zudem ist die Steiggeschwindigkeit  $v_2$  zu erreichen.



- 115% der Strecke, die im Fall einer trockenen Startbahn benötigt wird, um das LFZ mit allen Triebwerken operativ zu einem Punkt zu bringen, in dem es eine Höhe von 35 ft über Grund hat (Im Fall einer nassen Startbahn gilt eine reduzierte Höhe von 15 ft über Grund). Zudem ist die Steiggeschwindigkeit  $v_2$  zu erreichen.

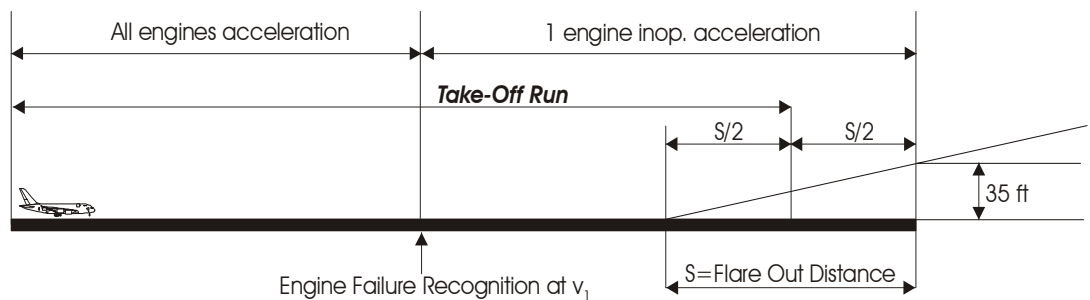
<sup>14</sup> EASA, CS-25, Abschnitt 25.109 und 25.113

<sup>15</sup> Kritisch bedeutet hier jenes Triebwerk, das bei Ausfall die ungünstigsten Momentbedingungen um die Hochachse und damit Widerstand erzeugt (i.d.R. die äußeren Triebwerke).

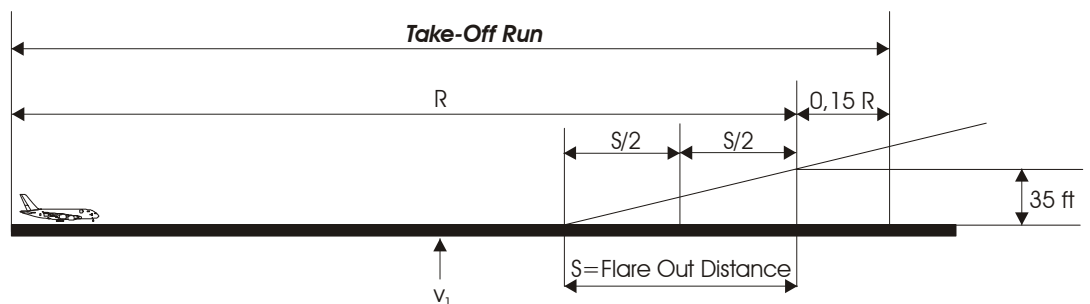


Als erforderlichen Take-Off Run bezeichnet man die längere der beiden folgenden Strecken:

- Die Strecke, die benötigt wird, um das LFZ bis zur Geschwindigkeit  $V_1$  zu beschleunigen und unter Annahme eines Ausfalls des kritischen Triebwerks das LFZ zu einem Punkt zu bringen, der in der Mitte liegt zwischen dem Punkt, an dem  $V_{LOF}$  erreicht wird, und dem Punkt, an dem sich das LFZ 35 ft über Grund befindet. Zudem ist die Steiggeschwindigkeit  $v_2$  zu erreichen.



- 115% der Strecke, die benötigt wird, um das LFZ mit allen Triebwerken zu einem Punkt zu bringen, der in der Mitte liegt zwischen dem Punkt, an dem  $V_{LOF}$  erreicht wird, und dem Punkt, an dem sich das LFZ 35 ft über Grund befindet. Zudem ist die Steiggeschwindigkeit  $v_2$  zu erreichen.

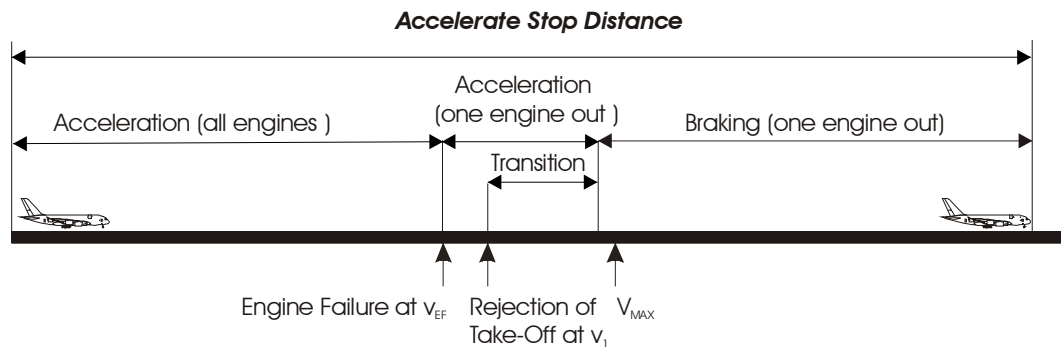


Die Bestimmungen zum Take-Off Run sind hier erwähnt, um einen umfassenden Überblick über die gesetzlichen Bestimmungen zu liefern. Da im vorliegenden Fall des FlughafenS München ein Clearway (hier: gleichzeitig Strei-

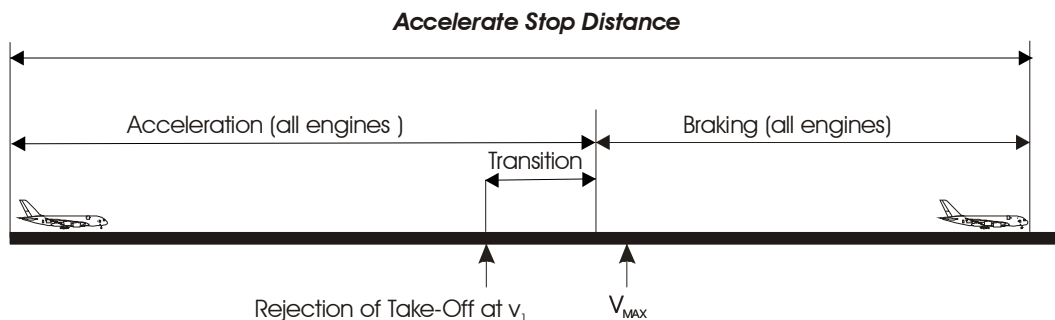
fen vor Kopf der Bahn) von je 60 m Länge vorgesehen bzw. vorhanden ist, sind die Untersuchungen zum TOR hier auch relevant<sup>16</sup>.

Die Accelerate Stop Distance ist die längere der beiden Strecken

- Die Strecke, die benötigt wird, um das LFZ bis zur Geschwindigkeit  $V_{max}$  zu beschleunigen und unter Annahme eines Ausfalls des kritischen Triebwerks bei  $V_{EF}$  das LFZ bis zum Stillstand abzubremsen.



- Die Strecke, die benötigt wird, um das LFZ bis zur Geschwindigkeit  $V_{max}$  zu beschleunigen und das LFZ wieder bis zum Stillstand abzubremsen.



In der Betriebsordnung für Luftfahrtgerät<sup>17</sup> finden sich im Einklang mit der EASA CS- 25<sup>18</sup>, die folgenden Mindestanforderungen für den Startvorgang:

Ein LFZ darf nur starten, wenn das Gewicht nicht überschritten wird, für das die Erfüllung nachstehender Forderungen nachgewiesen werden kann:

- Die erforderliche Take-Off Distance (TOD) darf die Take-Off Distance Available (TODA → Bahnlänge + Clearway, in München vorhanden) nicht überschreiten.

<sup>16</sup> ICAO, Annex 14, Kap. 3: Ein Clearway ist eine Hindernisfreie Fläche, die sich an das Bahndeck anschließen kann. Im Rahmen der Festlegung der „verfügbaren“ TOD kann diese Fläche hinzugerechnet werden. Die *Take-Off Distance Available* (TODA) ergibt sich somit zu Bahnlänge + Clearway, wobei gilt: erforderliche TOD ≤ verfügbare TOD.

<sup>17</sup> LuftBO, neueste Fassung

<sup>18</sup> EASA, CS-25, Abschnitt 25.107

- Die erforderliche Accelerate Stop Distance (ASD) darf nicht länger sein als die Accelerate Stop Distance Available (ASDA → Bahnlänge + Stopway<sup>19</sup>, der allerdings in München bisher nicht vorhanden ist).
- Der erforderliche Take-Off Run (TOR) darf nicht länger sein als der Take-Off Run Available (TORA → Bahnlänge)

Die erforderliche *Startstrecke* ergibt sich schließlich aus der längsten Strecke der eingangs erläuterten „erforderlichen“ TOR, TOD sowie ASD.

Für alle Berechnungen werden für das LFZ detaillierte Geschwindigkeiten gemäß EASA CS-25 festgelegt. Im Folgenden werden diese Geschwindigkeiten vorgestellt.

- Stall Speed  $V_{S1G}$

Dies ist die niedrigste Geschwindigkeit, bei der das LFZ in einer gegebenen Konfiguration noch fliegbar ist. Bei dieser Geschwindigkeit wird der maximale Auftriebsbeiwert  $C_{A,max}$  erreicht.  $V_{S1G}$  ist von den Klappenstellungen, dem Anstellwinkel und dem Fluggewicht abhängig.

- Minimum Control Speed  $V_{MC}$

Ab dieser Geschwindigkeit ist die Steuerbarkeit (am Boden =  $V_{MCG}$  bzw. in der Luft =  $V_{MCA}$ ) für den Fall des Ausfalls des kritischen Triebwerks gewährleistet.  $V_{MCA}$  darf höchstens 13%<sup>20</sup> über der Stall Speed liegen.  $V_{MCG}$  liegt unterhalb von  $V_1$  (s.u.).

- *Minimum Unstick Speed*  $V_{MU}$

Dies ist die Geschwindigkeit, bei der das LFZ abheben und der Start sicher fortgesetzt werden kann.

- *Engine Failure Speed*  $V_{EF}$

$V_{EF}$  ist die Geschwindigkeit, bei der der Ausfall des (kritischen) Triebwerks angenommen wird. Bei der Festlegung von  $V_{EF}$  ist zu beachten, dass im weiteren  $V_1$  nicht kleiner als  $V_{EF}$  sein darf zuzüglich der Geschwindigkeit, die in dem Zeitintervall zwischen Auftreten des Triebwerkfehlers und der Reaktion des Piloten erreicht wird (s.u.). Außerdem gilt  $V_{EF} \geq V_{MCG}$ .

- *Critical Engine Failure Recognition Speed*  $V_1$

$V_1$  ist die größte Geschwindigkeit, bei der der Pilot den Start noch abbrechen und das LFZ auf der noch verbleibenden Startbahn sicher wieder zum Stillstand bringen kann. Für das Bremsmanöver dürfen nur die Rad-

<sup>19</sup> Ein Stopway ist eine befestigte, berollbare Fläche, die sich an das Bahnende anschließen kann. Im Rahmen der Festlegung der „verfügbaren“ ASD kann diese Fläche hinzugerechnet werden. Die Accelerate Stop Distance Available (ASDA) ergibt sich somit zu Bahnlänge + Stopway, wobei gilt: erforderliche ASD ≤ verfügbare ASD.

<sup>20</sup> Bezogen auf  $V_{S1G}$

bremsen, Speed Brakes und Schubreduktion eingesetzt werden (keine Schubumkehr). Es gilt zusammenfassend  $V_{MCG} \leq V_{EF} \leq V_1$ .

- *Maximale Geschwindigkeit  $V_{max}$*

$V_{max}$  ist die maximale Geschwindigkeit, die während des Startabbruchs erreicht wird und bei der das Bremsmanöver beginnt. Die maximale Geschwindigkeit ergibt sich rechnerisch dadurch, dass das Triebwerk bei der Geschwindigkeit  $V_{EF}$  ausfällt, jedoch das LFZ aufgrund der Reaktionszeit des Piloten bis zum Einleiten des Bremsvorganges noch weiter beschleunigt wird.

- *Rotation Speed  $V_R$*

Bei der Rotationsgeschwindigkeit wird das Bugrad durch Anstellen des LFZ angehoben bzw. eine Drehung um das Hauptfahrwerk eingeleitet, um ein Abheben des LFZ bei der anschließenden Abhebegeschwindigkeit  $V_{LOF}$  zu gewährleisten. Es gilt  $V_R \geq 1,05 V_{MCA}$  und  $V_{MCG} \leq V_{EF} \leq V_1$  sein.

- *Lift-off-Speed  $V_{LOF}$*

Bei dieser Geschwindigkeit wird das LFZ erstmals aerodynamisch getragen.  $V_{LOF}$  ergibt sich folglich rechnerisch über die Beziehung Auftriebskraft = Gewichtskraft. Die obere Grenze ist durch die maximale Reifengeschwindigkeit gegeben.

- *Take-Off Climb Speed  $V_2$*

Dies ist die Mindestgeschwindigkeit, die ab Erreichen von  $H = 35$  ft auch im Fall eines Triebwerksausfalls für den gesamten Steigflug gehalten werden muss. Die unteren Grenzen für  $V_2$  sind  $V_2 = 1.13 V_{S1G}$  bzw.  $V_2 = 1.1 V_{MCA}$ .

Bezüglich des rechnerischen Beginns aller vorgenannten Strecken ist festzustellen, dass nicht der physische Anfang der Startbahn (TORA/TODA/ASDA) zugrunde gelegt werden darf. Vielmehr darf die zur Verfügung stehende Startlänge erst ab dem Bugrad des Luftfahrzeuges berücksichtigt werden. Bei einem Airbus A340-600 bedeutet dies beispielsweise einen Abzug von ca. 58 m (Line up-Distance) von der verfügbaren Bahnlänge. Dieser Verlust an Startbahnlänge wird in der nachfolgenden Grafik verdeutlicht.

Aircraft Model	Maximum effective steering angle	90 Degree Runway Entry			
		Minimum line up distance correction			
		On TODA ft (m)		On ASDA ft (m)	
A300	58.3°	70.6	21.5	132.0	40.2
A310	56°	66.9	20.4	117.8	35.9
A320	75°	35.9	10.9	77.3	23.6
A319	70°	37.8	11.5	74.0	22.6
A321	75°	39.5	12.0	94.9	28.9
A330-200	62°	73.7	22.5	146.5	44.7
A330-300	65°	75.1	22.9	158.4	48.3
A340-200	62°	76.3	23.3	152.5	46.5
A340-300	62°	80.1	24.4	164.0	50.0
A340-500	65°	77.4	23.6	169.1	51.6
A340-600	67°	80.7	24.6	189.6	57.8

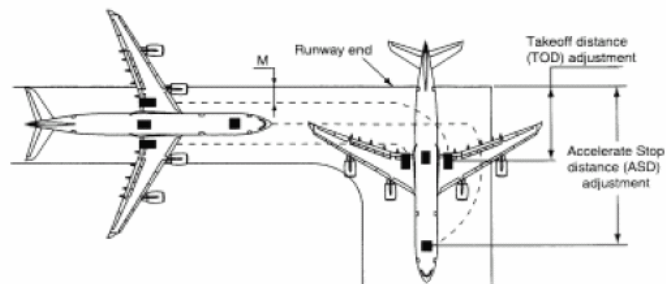


Abb. A-3 Beginn der Startstrecke: Startbahnlängenverlust durch Lineup-Distance

Die einzelnen Strecken werden in den nachfolgenden Unterkapiteln nochmals phasenspezifisch zusammengefasst.

### A-2.2 Start ohne Triebwerksausfall bei trockener Startbahn

Die Startstrecke (TOD)  $x_{S_0}$  beginnt bei Stillstand  $V = 0$  und endet beim Überfliegen einer Höhe von  $H = 35\text{ft}$  über Grund, die mit der Geschwindigkeit  $V_2$  überflogen werden muss. Sie setzt sich aus den folgenden Anteilen zusammen:

- **Beschleunigungsstrecke**  $x_{R_0}$  vom Stillstand bis zum Abheben mit der Abhebegeschwindigkeit  $V_{LOF}$  und
- **Transitionsstrecke**  $x_{T_0}$  vom Abheben bis zum Überfliegen der Höhe von 35 ft über Grund

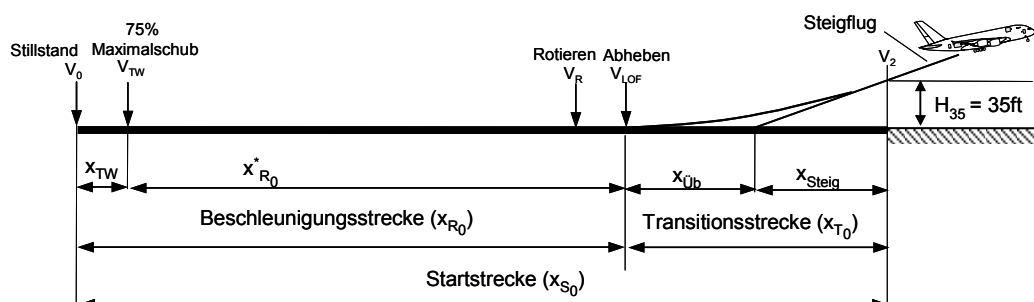


Abb. A-4 Start ohne Triebwerksausfall bei trockener Startbahn

### A-2.3 Start mit Triebwerksausfall bei trockener Startbahn

Der Start mit Triebwerksausfall entspricht dem Start ohne Triebwerksausfall, wobei hier angenommen wird, dass bei  $V_{EF}$  das sogenannte kritische Triebwerk<sup>21</sup> ausfällt. Der Start wird mit ausgefallenem Triebwerk fortgesetzt (Unterindex „1“). Die Startstrecke setzt sich in diesem Fall aus den folgenden Einzelstrecken zusammen:

- **Anlaufstrecke der Triebwerke**  $x_{TW}$  vom Stillstand bis zum Erreichen von  $V_{TW}$ , jener Geschwindigkeit, ab der die Leistungsentfaltung verlässlich bestimmt werden kann. Die Leistung muss zumindest 75% des Nennstartschubes der Triebwerke gemäß Herstellerspezifikation betragen<sup>22</sup>.
- **Beschleunigungsstrecke** vom Stillstand bis  $V_{EF}$  mit allen Triebwerken operativ (im Folgenden als  $x_{RA}$  bezeichnet),
- **Beschleunigungsstrecke** von  $V_{EF}$  bis  $V_{LOF}$  mit ausgefallenem kritischem Triebwerk und damit reduziertem Triebwerksschub (im Folgenden als  $x_{RB}$  bezeichnet),
- **Transitionsstrecke** vom Abheben mit  $V_{LOF}$  bis zum Überfliegen der Höhe von 35 ft mit  $V_2$ .

In der folgenden Abbildung ist der Start mit ausgefallenem Triebwerk mit den oben genannten Strecken (sowie den darin enthaltenen Phasen) dargestellt.

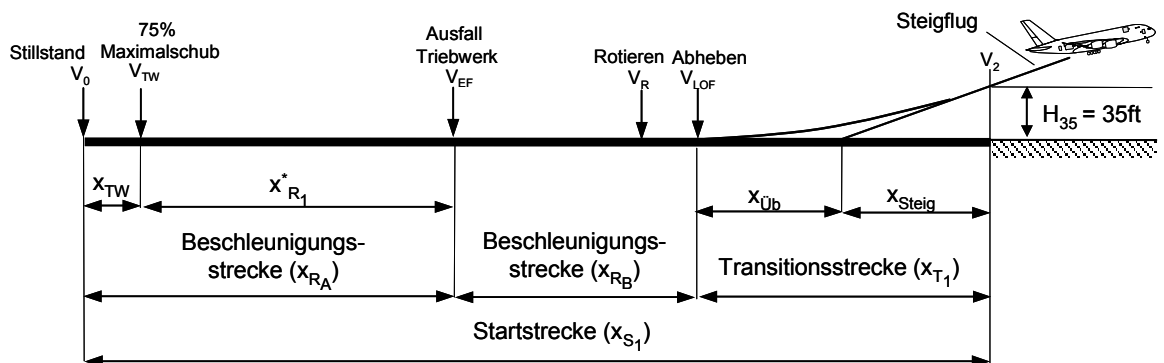


Abb. A-5 Start mit Ausfall des kritischen Triebwerkes bei trockener Startbahn

### A-2.4 Startabbruch ohne Triebwerksausfall bei trockener Startbahn

Um dem Sachverhalt Rechnung zu tragen, dass es neben Triebwerksausfällen auch andere Gründe geben kann, einen Start nicht fortzuführen, sondern abubrechen (Feuer, Systemausfälle oder andere Schäden), wird im Folgenden die sog. Startabbruchstrecke (ASD) zunächst für den Fall berechnet,

<sup>21</sup> Das „kritische“ Triebwerk ist hierbei jenes, das das maximale Giermoment um die Hochachse induziert; d.h. in der Regel das jeweils Äußere.

<sup>22</sup> EASA, CS-25, AMC 25

dass alle Triebwerke funktionstüchtig sind. Nach CS-25 ergibt sich die ASD für eine trockene Startbahn hierbei aus der Summe der folgenden Einzelstrecken:

- Der Strecke, die das Flugzeug benötigt, um vom Stillstand bis zur Geschwindigkeit  $V_{max}$  zu beschleunigen, wobei der Pilot bei der Geschwindigkeit  $V_1$  (für trockene Startbahn) die ersten Aktionen ergreift, um den Start abzubrechen.
- Der Strecke, die sich ergibt, wenn das LFZ mit einer Geschwindigkeit von  $V_1$  für 2 Sekunden rollt.
- Der Strecke, die das LFZ auf einer trockenen Startbahn benötigt, um von  $V_{max}$  wieder zum Stillstand zu kommen (wobei alle Triebwerke in Funktion sind).

Die Startabbruchstrecke setzt sich damit aus folgenden Einzelstrecken zusammen (Indexzusatz „'“ sowie Unterindex „0“):

- der **Beschleunigungsstrecke**  $x'_{R0}$  bis  $V_{max}$ ,
- der **Reaktionsstrecke**  $x_{RR}$  mit konstanter Geschwindigkeit  $V_1$  für 2 Sekunden,
- der **Bremsstrecke**  $x_{B0}$  von  $V_{max}$  bis zum Stillstand.

Zur vereinfachten Darstellung der Berechnungsweise wird im Folgenden die Reaktionsstrecke als letzter Streckenabschnitt dargestellt.

Die folgende Abbildung zeigt die beschriebenen Teilstrecken.

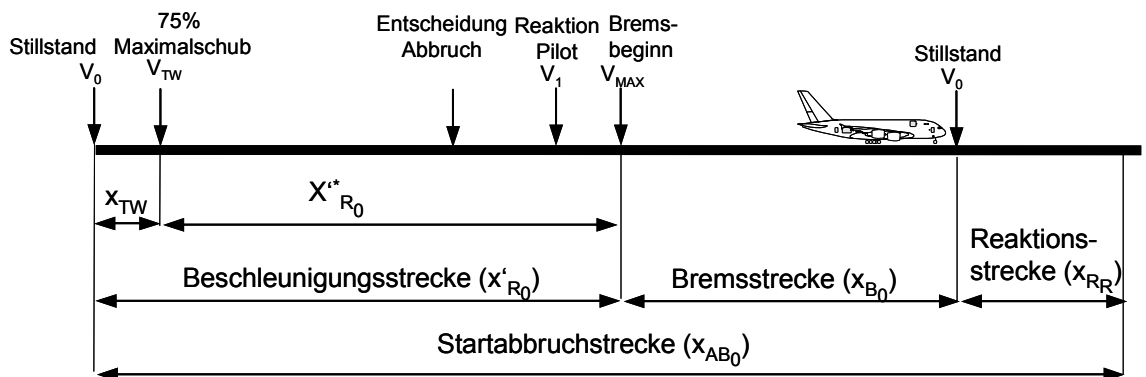


Abb. A-6 Startabbruchstrecke (alle Triebwerke funktionstüchtig) bei trockener Startbahn

### A-2.5 Startabbruch mit Triebwerksausfall bei trockener Startbahn

Im Fall eines Startabbruches mit Triebwerksausfall ergibt sich die ASD nach CS-25 für eine trockene Startbahn aus der Summe der folgenden Einzelstrecken:

- Der Strecke, die das LFZ benötigt, um es vom Stillstand bis  $V_{EF}$  zu beschleunigen,
- Der Strecke, die das LFZ benötigt, um von  $V_{EF}$  bis zur Geschwindigkeit  $V_{max}$  zu beschleunigen, wobei das kritische Triebwerk bei der Geschwindigkeit  $V_{EF}$  ausfällt und das LFZ aufgrund der Reaktionszeit des Piloten bis zum Einleiten des Bremsvorganges bis  $V_{max}$  weiter beschleunigt wird,
- Der Strecke, die sich ergibt, wenn das LFZ mit einer Geschwindigkeit von  $V_1$  für 2 Sekunden weiterrollt.
- Der Strecke, die das LFZ benötigt, um es mit ausgefallenem kritischem Triebwerk auf trockener Startbahn wieder zum Stillstand zu bringen,

Die Startabbruchstrecke für OEI setzt sich damit aus folgenden Einzelstrecken zusammen (Indexzusatz „'“ sowie Unterindex „1“):

- der **Beschleunigungsstrecke**  $x'_{RA}$  mit allen Triebwerken vom Stillstand bis  $V_{EF}$ ,
- der **Beschleunigungsstrecke**  $x'_{RB}$  von  $V_{EF}$  bis  $V_{max}$  mit reduziertem Schub (Ausfall des kritischen Triebwerks),
- der **Reaktionsstrecke**  $x_{RR}$  mit konstanter Geschwindigkeit  $V_1$  für 2 Sekunden.
- der **Bremsstrecke**  $x_{B1}$  bis zum Stillstand mit ausgefallenem Triebwerk,

Zur vereinfachten Darstellung der Berechnungsweise wird im Folgenden die Reaktionsstrecke als letzter Streckenabschnitt dargestellt.

Die folgende Abbildung zeigt die beschriebenen Teilstrecken.

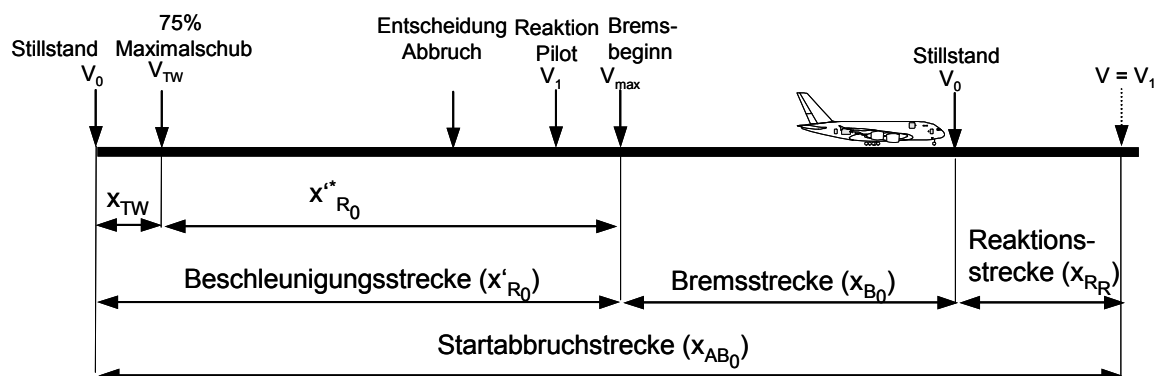


Abb. A-7 Startabbruchstrecke (mit Triebwerksausfall) bei trockener Startbahn

### A-2.6 Start ohne Triebwerksausfall bei nasser Startbahn

Die Startstrecke bei nasser Startbahn  $x_{S0,wet}$  beginnt beim Stillstand  $V = 0$  und endet beim Überfliegen einer reduzierten Höhe von  $H = 15$  ft. Unbenommen hiervon ist weiterhin zu gewährleisten, dass bei einer Höhe von  $H = 35$  ft e-

benfalls die Geschwindigkeit  $V_2$  erreicht wird. Sie setzt sich zusammen aus den Anteilen:

- **Beschleunigungsstrecke**  $x_{R_0,wet}$  vom Stillstand bis zum Abheben mit der Abhebegeschwindigkeit  $V_{LOF}$  und
- **Transitionsstrecke**  $x_{T_0,wet}$  vom Abheben bis zum Überfliegen der Höhe von 15ft über Grund.

### A-2.7 Start mit Triebwerksausfall bei nasser Startbahn

Der Start mit Triebwerksausfall bei nasser Startbahn entspricht dem Start mit Triebwerksausfall bei trockener Startbahn, wobei hier die Startstrecke durch Überfliegen einer Hindernishöhe von 15 ft begrenzt wird. Die Startstrecke (Unterindex „1,wet“) setzt sich in diesem Fall aus den folgenden Einzelstrecken zusammen:

- **Beschleunigungsstrecke** vom Stillstand bis  $V_{EF}$  mit allen Triebwerken operativ (im Folgenden als  $x_{R_{A,wet}}$  bezeichnet),
- **Beschleunigungsstrecke** von  $V_{EF}$  bis  $V_{LOF}$  mit ausgefallenem kritischem Triebwerk (im Folgenden als  $x_{R_{B,wet}}$  bezeichnet),
- **Transitionsstrecke** vom Abheben mit  $V_{LOF}$  bis zum Überfliegen der Höhe von 15 ft.

In Abb. A-8 ist der Start mit ausgefallenem Triebwerk mit den oben genannten Strecken (sowie den darin enthaltenen Phasen) dargestellt.

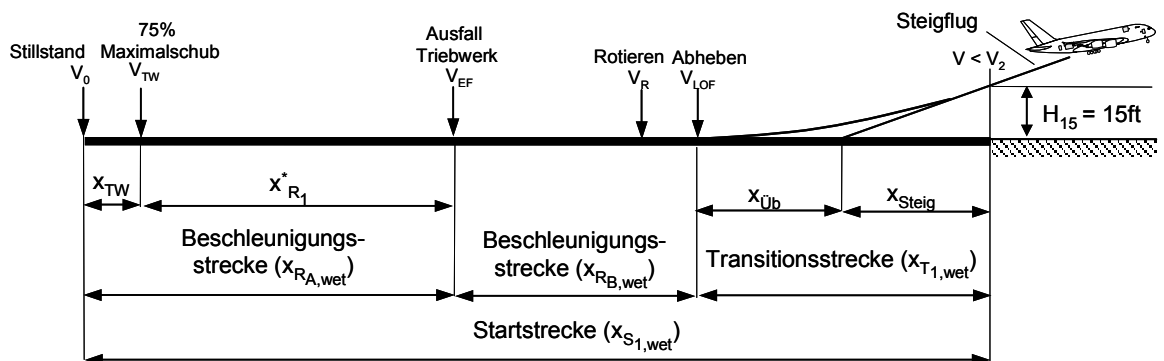


Abb. A-8: Start mit Ausfall des kritischen Triebwerks bei nasser Startbahn

### A-2.8 Startabbruch ohne Triebwerksausfall bei nasser Startbahn

Nach CS-25 ist die ASD für eine nasse Startbahn prinzipiell unter den gleichen Voraussetzungen zu berechnen, wie die ASD für eine trockene Startbahn, jedoch mit folgenden Änderungen:

- Für die Geschwindigkeiten  $V_1$  und  $V_{EF}$  sind die entsprechenden (reduzierten) Werte für die nasse Startbahn zu verwenden<sup>23</sup>.  $V_{EF}$  und  $V_1$  sind durch  $V_{MCG}$  nach unten limitiert (es gilt  $V_1 \geq V_{EF} \geq V_{MCG}$ ). Da  $V_{EF}$  und  $V_1$  im vorliegenden Fall sehr nah bei  $V_{MCG}$  liegen, ist eine nennenswerte Reduktion der beiden Geschwindigkeiten hier nicht möglich. Somit werden die Rechnungen ohne Geschwindigkeitsreduktion durchgeführt.
- Der für die Berechnung der Bremskraft verwendete Bremskoeffizient  $\mu_B$  ist durch den für die nasse Startbahn gültigen Wert  $\mu_{B,wet}$  zu ersetzen.

Die Startabbruchstrecke bei nasser Startbahn setzt sich analog zum Fall einer trockenen aus folgenden Einzelstrecken zusammen (Indexzusatz „'“ sowie Unterindex „0,wet“):

- der **Beschleunigungsstrecke**  $x'_{R0,wet}$  bis  $V_{max,wet}$ ,
- der **Reaktionsstrecke**  $x_{RR,wet}$  mit konstanter Geschwindigkeit  $V_1$  für 2 Sekunden,
- der **Bremsstrecke**  $x_{B0,wet}$  von  $V_{max,wet}$  bis zum Stillstand.

Zur vereinfachten Darstellung der Berechnungsweise wird im Folgenden die Reaktionsstrecke als letzter Streckenabschnitt dargestellt.

Die folgende Abbildung zeigt die beschriebenen Teilstrecken:

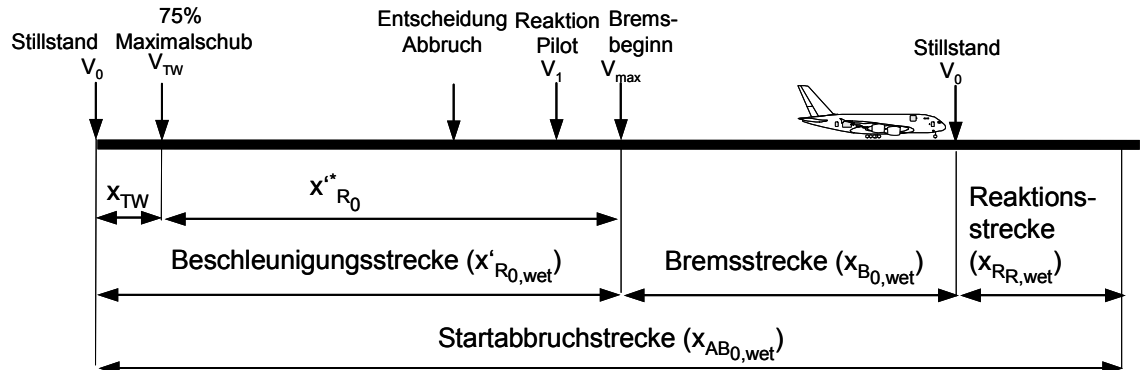


Abb. A-9: Startabbruchstrecke (alle Triebwerke funktionstüchtig) bei nasser Startbahn

### A-2.9 Startabbruch mit Triebwerksausfall bei nasser Startbahn

Im Fall eines Startabbruches mit Triebwerksausfall ergibt sich die ASD nach CS-25 für eine nasse Startbahn aus der Summe der folgenden Einzelstrecken (Indexzusatz „'“ sowie Unterindex „1,wet“):

<sup>23</sup> Die reduzierten Werte ergeben sich durch den Vorgang des „balancen“ aufgrund der verkürzten TOD bis zu einer Höhe von 15 ft.

- **Beschleunigungsstrecke**  $x'_{RA,wet}$  mit allen Triebwerken vom Stillstand bis  $V_{EF}$ ,
- **Beschleunigungsstrecke**  $x'_{RB,wet}$  von  $V_{EF}$  bis  $V_{max,wet}$  mit reduziertem Schub (Ausfall des kritischen Triebwerks),
- **Reaktionsstrecke**  $x_{RR,wet}$  mit konstanter Geschwindigkeit  $V_1$  für 2 Sekunden,
- **Bremsstrecke**  $x_{B1,wet}$  bis zum Stillstand mit ausgefallenem Triebwerk.

Zur vereinfachten Darstellung der Berechnungsweise wird im Folgenden die Reaktionsstrecke als letzter Streckenabschnitt dargestellt.

Die einzelnen Teilstrecken sind in Abb. A-10 dargestellt.

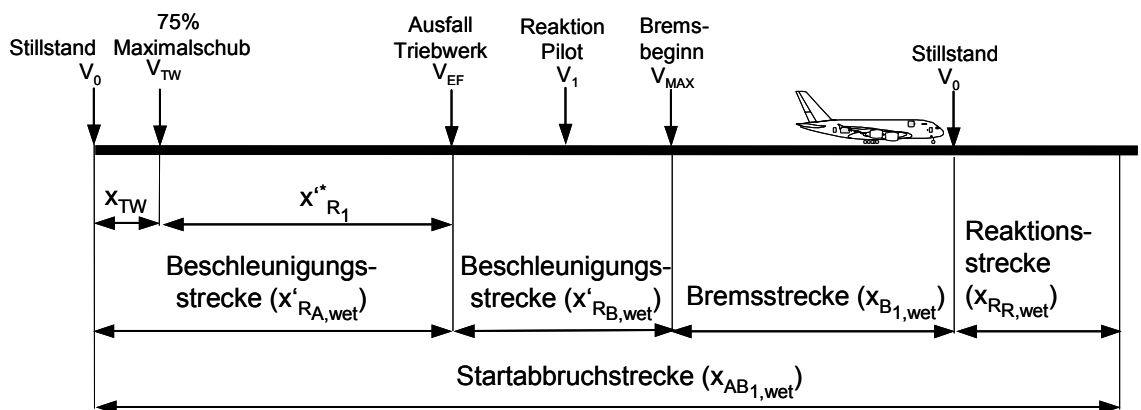


Abb. A-10: Startabbruchstrecke (mit Triebwerksausfall) bei nasser Startbahn

### A-3 Anforderungen an die Landung hinsichtlich erforderlicher Bahnlänge

#### A-3.1 Streckendefinitionen

Gemäß CS-25<sup>24</sup> umfasst die sogenannte Landestrecke (LD – Landing Distance) den letzten Teil des Fluges vom Überfliegen der Landebahnschwelle in einer Höhe von 50 ft bis zum Stillstand auf der Landebahn. Die dabei zurückgelegte Entfernung ist die Landestrecke. Sie besteht aus einem aerodynamisch getragenen Bahnabschnitt, der als Aufsetzstrecke bezeichnet wird, und der Landerollstrecke am Boden.

Die **Aufsetzstrecke**  $x_A$  kann in folgende zwei Phasen unterteilt werden:

- Phase 1: Sinkflug bis zum Beginn des Abfangens (Screen-Height until start of Flare)
- Phase 2: Abfangen und Aufsetzen (Flare until Touchdown).

<sup>24</sup> EASA, CS-25, Abschnitt 25.125

Die **Landerollstrecke**  $x_B$  lässt sich ebenfalls in zwei Phasen unterteilen:

- Phase 3: Aufsetzen und Derotation (Touch Down until Nose Down - Derotation)
- Phase 4: Rollen am Boden bis zum Stillstand (Nose Down until Full Stop – Deceleration).

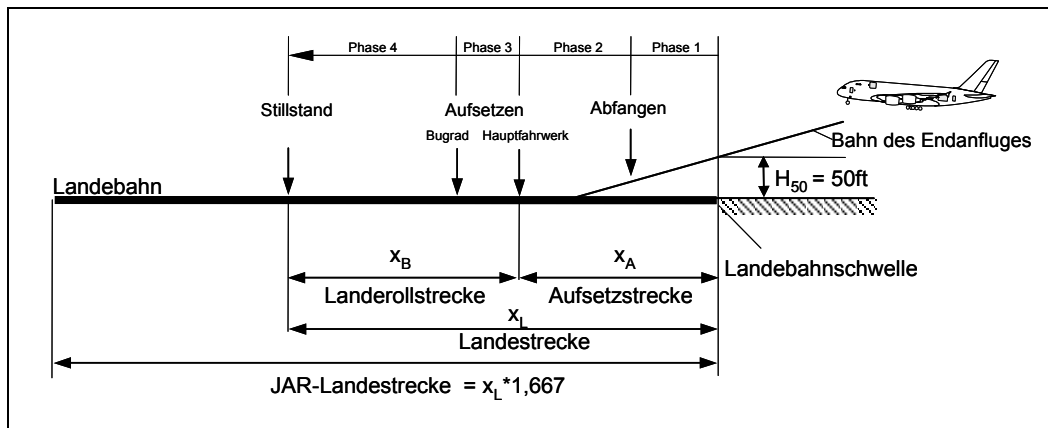


Abb. A-11: Landestrecke

Phase 3 spiegelt dabei den Sachverhalt wieder, dass durch den Anstellwinkel des LFZ Hauptfahrwerk und Bugrad nicht zeitgleich aufsetzen.

### A-3.2 Die Aufsetzstrecke

Bei der Berechnung der Aufsetzstrecke  $x_A$  wird angenommen, dass sich das Luftfahrzeug beim Überfliegen der Landebahnschwelle auf dem Leitstrahl in der vorgeschriebenen Höhe von 50 ft befindet und der Anflug mit konstant gehaltenem Gleitwinkel fortgesetzt wird. Kurz vor dem Aufsetzen werden die Triebwerke auf Leerlauf gedrosselt und das Luftfahrzeug durch "Ziehen" abgefangen. Hierbei wird der Auftrieb durch Vergrößerung des Anstellwinkels erhöht, um eine Krümmung der Flugbahn zu erreichen. Die folgende Abb. Abb. A-12 veranschaulicht die Teilstrecken von einer Höhe von 50 ft bis zum Aufsetzen:

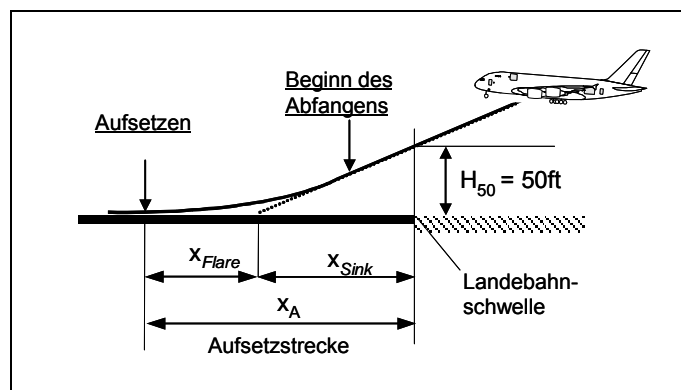


Abb. A-12: Aufsetzstrecke

Die Phase bis zum Beginn des eigentlichen Abfangmanövers ist sehr kurz (nur wenige Sekunden), so dass in einer ersten Näherung mit einer *geradlinigen Sinkflugstrecke* mit konstanter Geschwindigkeit gerechnet werden kann, so auch unterstellt in den gesetzlichen Anforderungen.

### A-3.3 Landerollstrecke

Die Landerollstrecke  $x_B$  setzt sich aus zwei Teilstrecken zusammen. Zum einen aus der *Übergangsstrecke*  $x_1$ , die den Übergang von der Landekonfiguration in die Bremskonfiguration beinhaltet (Ausfahren von Bremsklappen, Aktivieren der Bremsen) und zum anderen aus der sich anschließenden *Bremsstrecke*  $x_2$ , die den Bremsvorgang bis zum Stillstand beschreibt.

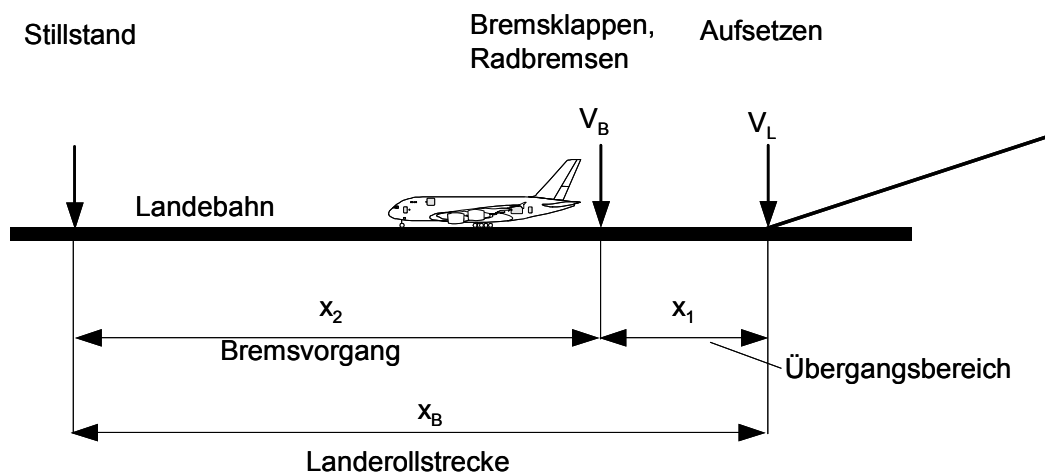


Abb. A-13 Landerollstrecke

### A-3.4 Vorgaben zur Landestrecke im gewerblichen Einsatz

Die für ein Luftfahrzeug erforderliche Landestrecke (*Landing Distance Required*) LDR ist unter folgenden Bedingungen zu bestimmen<sup>25</sup>:

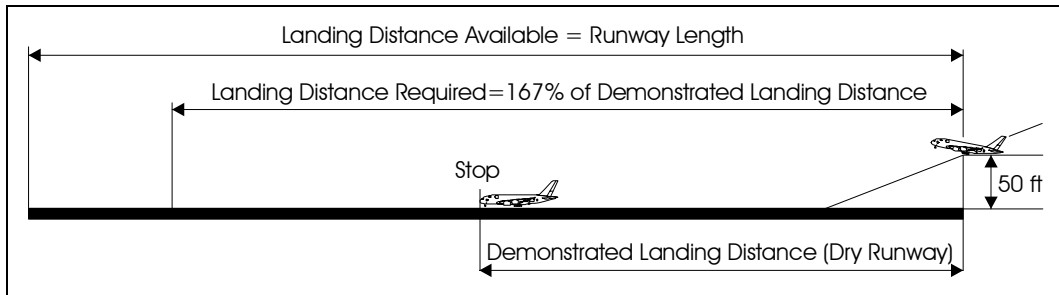
- Trockene Landebahn,
- ISA-Temperatur (ISA + 15),
- Anfluggeschwindigkeit in 50ft Höhe mit  $V_{Ref} = 1,23 V_{S1G}$   
keine Schubumkehr aktiv.

Nach den Vorgaben des CS-25 muss die erforderliche Landestrecke mindestens das 1.67-fache der benötigten (berechneten, engl. *demonstrated*) Landestrecke<sup>26</sup> betragen. Außerdem ist für eine nasse Landebahn ein Zuschlag

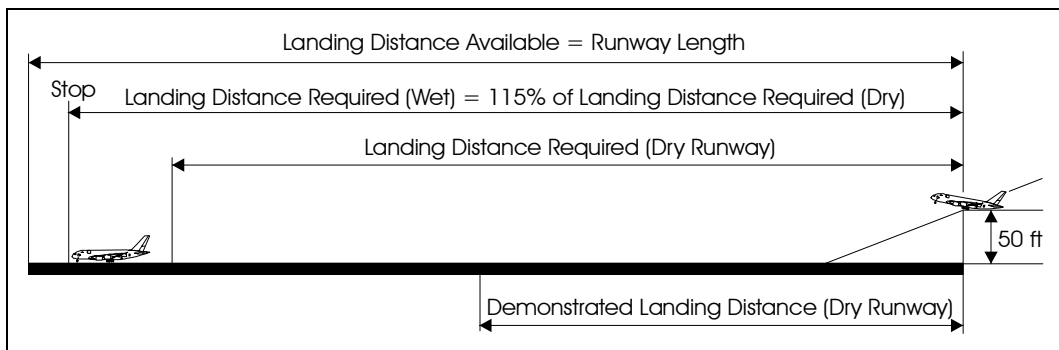
<sup>25</sup> EASA, CS-25, Abschnitt 25.125

<sup>26</sup> Die *Demonstrated Landing Distance* wird in verschiedenen Quellen auch als *Actual Landing Distance* bezeichnet.

von 15% zu berücksichtigen – hier relevant im Rahmen der Bestimmung der Bahnauslegung, die witterungsunabhängig nutzbar sein muss.



**Abb. A-14 Geforderte Landestrecke (trockene Bahn)**



**Abb. A-15 Geforderte Landestrecke (trockene Bahn)**