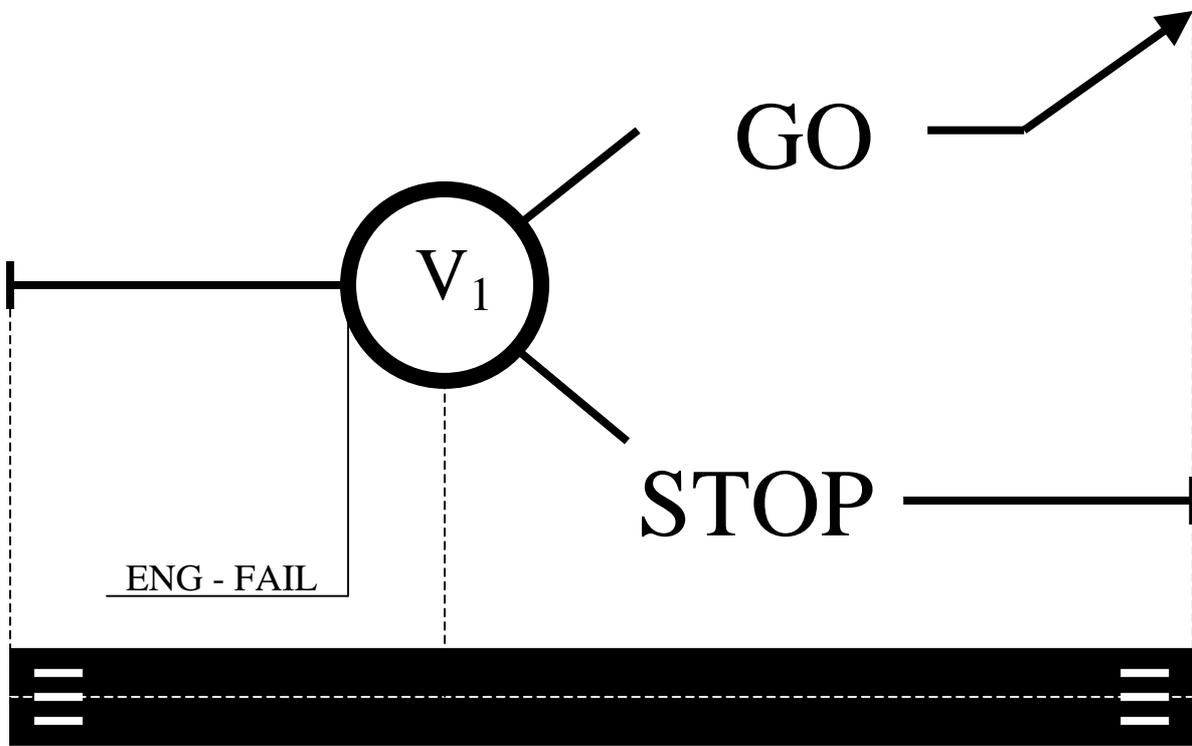


# STARTABBRUCH

jenseits der Theorie



**Claus Cordes**

Dipl.Ing.  
Flugkapitän

Am Beginn der Mission eines jeden Flugzeuges steht die Flugaufgabe „Start“. Dabei wird das Flugzeug auf einer dafür vorbereiteten Fläche, der Startbahn, durch den Schub seiner Triebwerke auf eine Geschwindigkeit beschleunigt, die das Fliegen unter den im Einzelfall gegebenen Umständen grundsätzlich und darüber hinaus den sich anschließenden Anfangssteigflug mit der Geschwindigkeit des besten Steigwinkels ermöglicht.

Die Zulassungsvorschriften, die in den JAR / FAR Part 25 zusammengefasst sind, befassen sich aber außer mit dem Fall eines „normal“ durchgeführten Starts mit den Alternativszenarien eines aus gravierenden Gründen abgebrochenen Startlaufes oder seiner Fortsetzung trotz des Auftretens schwerer technischer Probleme.

Der Abbruch oder die Fortsetzung des Startlaufes wird in den genannten Vorschriften davon abhängig gemacht, ob zum Zeitpunkt des Erreichens der sog. Entscheidungsgeschwindigkeit  $v_1$  der für die Startrechnung zugrunde gelegte Schub zur Verfügung steht, oder ob die Vortriebskraft durch Versagen eines Triebwerkes nicht mehr ausreicht, um ein sicheres Abheben und Überfliegen aller im Abflugsektor stehenden Hindernisse sicherzustellen.

Es gibt aber noch andere Gründe als den vergleichsweise eindeutigen Ausfall eines Triebwerkes, die den Abbruch eines Startes rechtfertigen, erforderlich machen oder verbieten können.

Dabei haben u.U. auch diverse operationelle Faktoren einen erheblichen Einfluss auf die von der Besatzung und namentlich vom Kapitän unter Umständen sehr schnell zu treffende Entscheidung.

Mit solchen Vorkommnissen und Einflussgrößen, die in jedem Einzelfall zu identifizieren und zu werten sind und von den relevanten Vorschriften nicht erfasst werden (können), befasst sich dieser Vortrag.

**Es sei aber deutlich hervorgehoben, dass Startabbrüche, die deutlich vor Erreichen von  $v_1$  eingeleitet werden, in der Regel unkritisch sind. Alle folgenden Betrachtungen beziehen sich daher auf das Auftreten von technischen oder operationellen Problemen im denkbar ungünstigsten Moment.**

## **Inhaltsübersicht**

- Einführung in das Thema
- Statistik / Ursachen für Startabbrüche
- technische Einrichtungen zur Verzögerung eines Flugzeuges
- Arbeitsverfahren der Besatzung
- Definitionen
- Forderungen für den Anfangssteigflug
- Startdatenberechnungen
- Wichtung einzelner Parameter
- Unwägbarkeiten der Startdatenberechnungen
- Mögliche Ursachen für Startabbrüche
- Schlusswort

## Einführung in das Thema

Der Start eines mehrmotorigen, nach JAR / FAR Part 25 zugelassenen Verkehrsflugzeuges kann ein

normaler Start (all engine case )

alle Systemfunktionen normal  
kein Auftreten unerwarteter Hindernisse auf der Bahn / im Abflugsektor  
keine signifikanten meteorologischen Erscheinungen

(die erforderliche Startbahnlänge beträgt 115 % der Strecke bis zum Erreichen von 35 ft Höhe über der Bahn)

fortgesetzter Start ( go case )

trotz gravierender Systemfehler (z.B. Triebwerk) unter z.T. erheblich geminderten Flugleistungen

( die erforderliche Startbahnlänge beträgt 100% der Strecke bis zum Erreichen von 35 ft (15 ft bei nasser oder kontaminierter Bahn) Höhe über der Bahn , weitere Limitierungen im Anfangssteigflug )

abgebrochener Start ( stop case )

wegen gravierender Systemfehler  
wegen Auftreten von Hindernissen auf der Bahn oder im Abflugsektor  
wegen gravierender meteorologischer Erscheinungen auf Anweisung der Flugsicherung

( Startbahnlänge muss ausreichen, um das Flugzeug bei eingeleitetem Startabbruch bei  $v_1$  mit / ohne Einsatz der Schubumkehr zum Stehen zu bringen )

sein.

**GRUNDREGEL :** Mit Annäherung an die Entscheidungsgeschwindigkeit  $v_1$  müssen die Gründe für einen Startabbruch immer gravierender werden, um diesen zu rechtfertigen !

Ein Startabbruch nahe der Entscheidungsgeschwindigkeit  $v_1$  ist ein Manöver, das Besatzungen und Flugzeuge an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit bringt.

Besatzungen werden durch

Erkennen und Analysieren eines auftretenden Problems  
Fällen einer Entscheidung  
Umsetzen einer Entscheidung in Maßnahmen

gefordert,

Flugzeuge werden durch

komplexe Systemfunktionen  
Grenzbelastung einzelner Baugruppen

belastet.

## Statistik / Ursachen

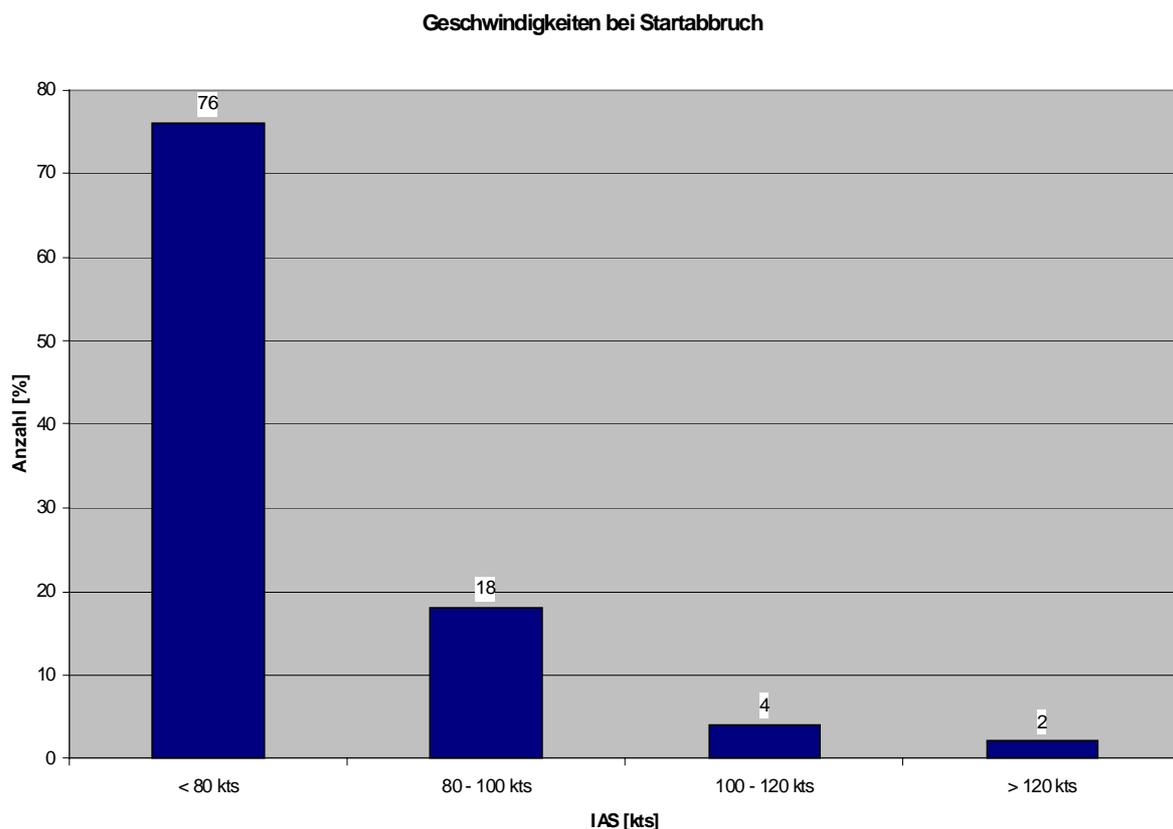
Die im folgenden aufgeführten Zahlen betreffen die „westliche“ Weltflotte von strahlgetriebenen, kommerziell eingesetzten Flugzeugen vom Beginn ihrer Indienststellung bis zum Jahr 1990.

In dieser Zeit wurden 230 Millionen Starts durchgeführt, von denen 76.000, also etwa 0,033 % (jeder 3030.), abgebrochen wurden.

Im Jahr 1990 wurden 6.000 Startabbrüche gezählt, im Schnitt also 16 pro Tag.

Von den o.a. 76.000 Startabbrüchen führten 74 (0,1%) zu einem Verlassen der Startbahn als Zwischenfall oder Unfall.

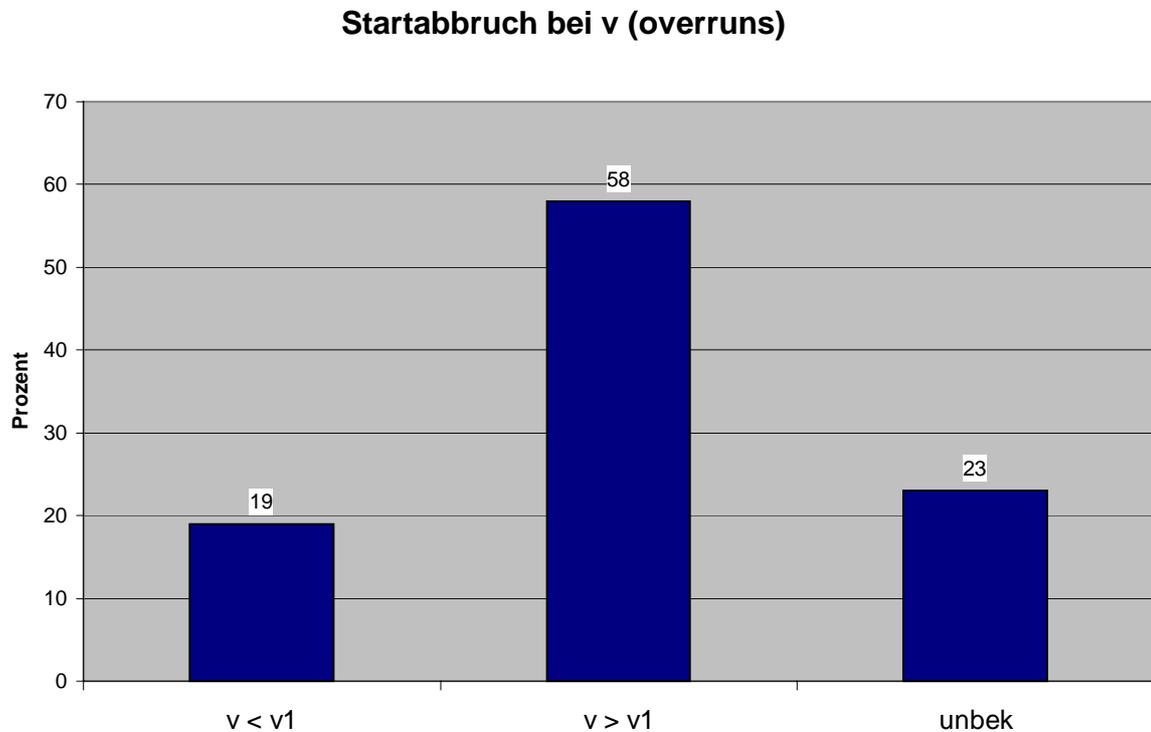
Diese 76.000 Startabbrüche wurden bei folgenden Geschwindigkeiten eingeleitet:



Im folgenden wird unterstellt, dass die Starts, deren Abbruch zu einem Vorfall / Unfall führte ausnahmslos zu den zwei Prozent gehören, die bei einer Geschwindigkeit von mehr als 120 kts abgebrochen wurden.

Das bedeutet dann, dass 74 von 1520 Startabbrüchen, die mit einer Geschwindigkeit von über 120 kts eingeleitet wurden, also 5 % missglückten.

Die Einleitung des Startabbruches erfolgte in den genannten 74 Fällen zu folgenden Prozentzahlen in Relation zur jeweiligen  $v_1$  :

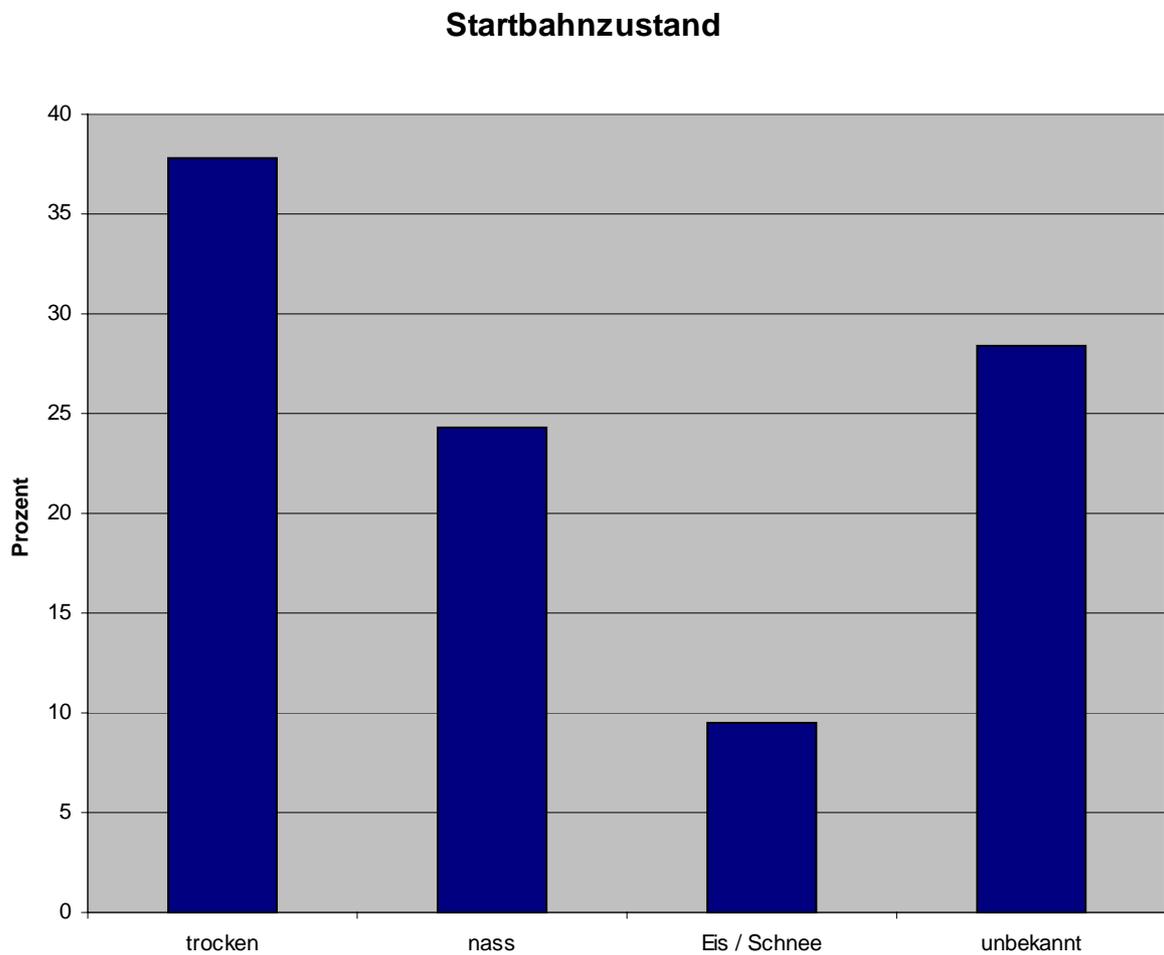


Aus diesen Zahlen können folgende Schlüsse gezogen werden :

In etwas mehr als der Hälfte der Fälle war die Entscheidung zum Startabbruch falsch, oder sie wurde zu spät getroffen. (Ausnahme : Flugzeug wurde unkontrollierbar oder Kontrollverlust war absehbar ). Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein zu spät abgebrochener Start nicht zu einem Überschieszen des Bahnendes führen muss, wenn die Länge der Bahn nicht limitierend ist, wie z.B. bei einem Kurzstreckenflug auf einer sehr langen Bahn.

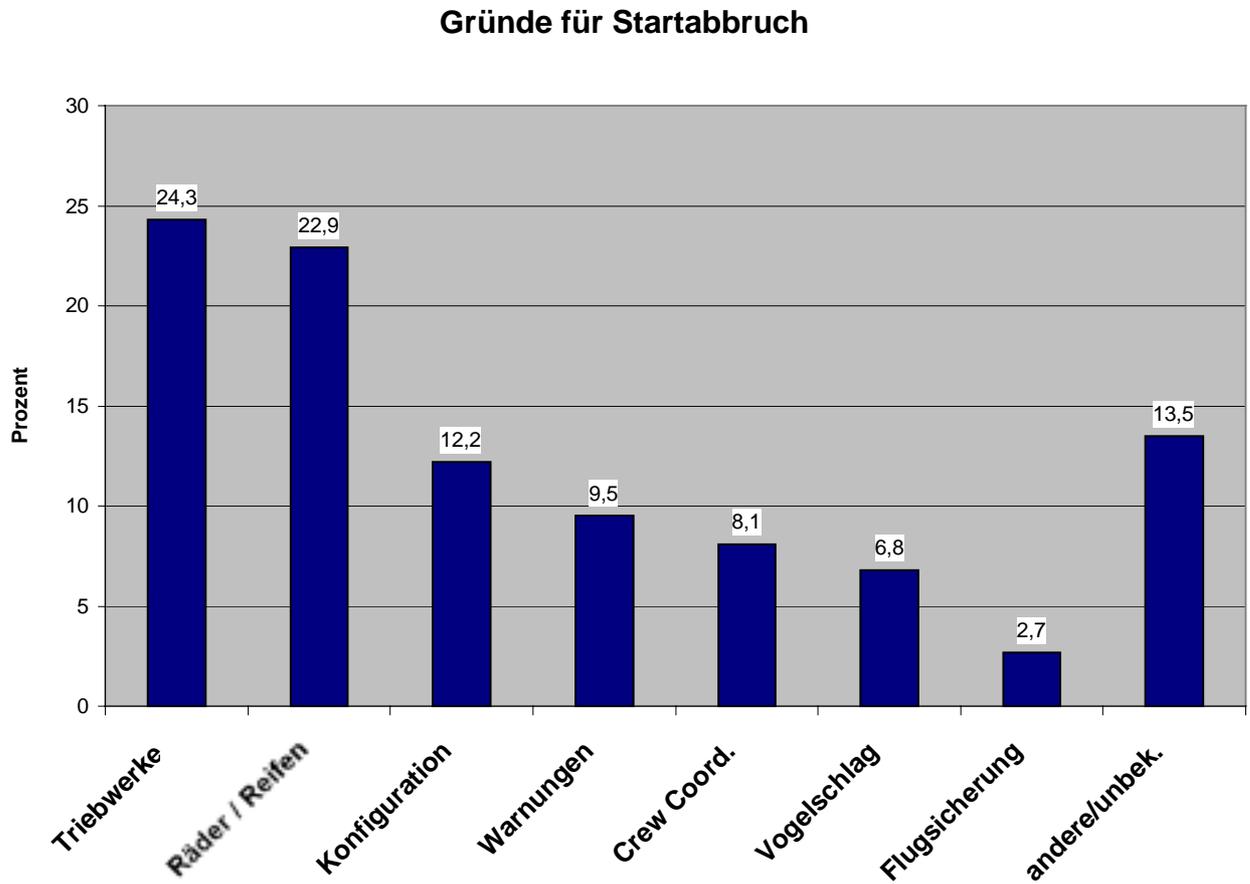
In etwa einem Fünftel der Fälle war der Abbruch nicht erfolgreich, obwohl die Entscheidungsgeschwindigkeit noch nicht erreicht war. Dafür sind als Gründe eine falsche Berechnung der  $v_1$ , falsche Berechnungsgrundlagen, die Nichtübereinstimmung der für die Rechnung zugrunde gelegten Daten mit den zum Zeitpunkt des Startes tatsächlich vorherrschenden, nicht erfasste oder nicht erfassbare Randbedingungen oder eine falsche Handlungsweise der Besatzung denkbar.

Die Zustandsbedingungen der Startbahnen bei den 74 Fällen, in denen der Abbruch nicht erfolgreich durchgeführt werden konnte, waren wie folgt :



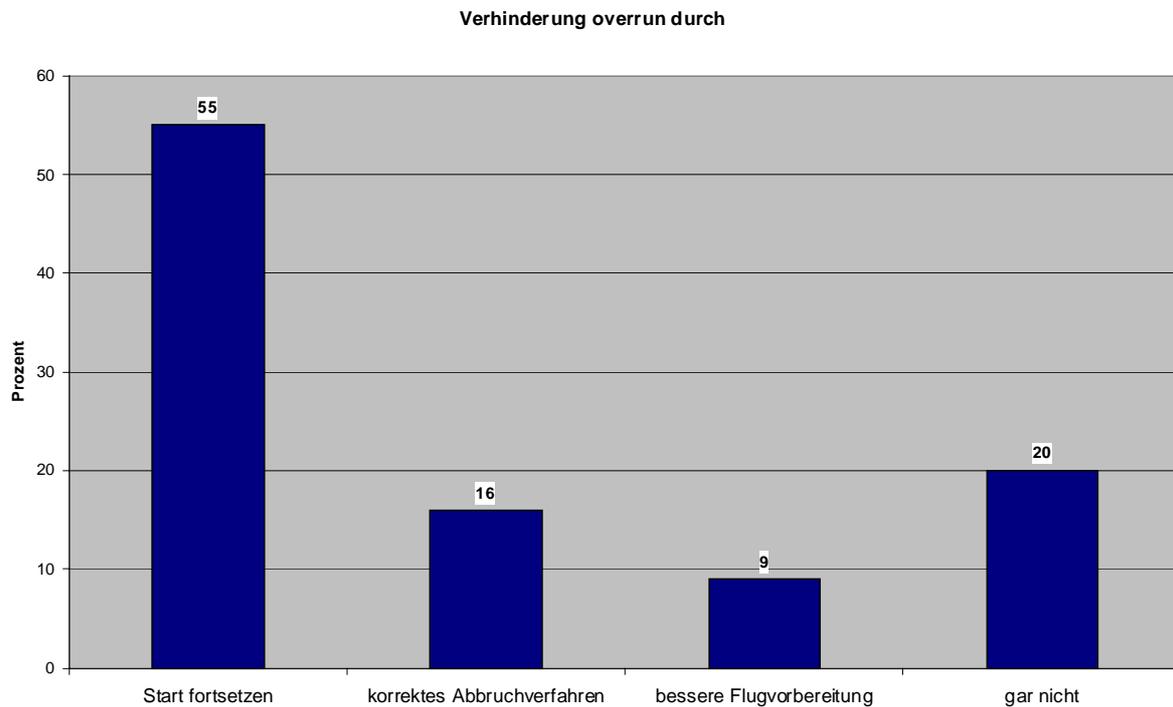
Bei Berücksichtigung der meteorologischen Gegebenheiten fällt auf, dass nasse und kontaminierte Bahnen hierbei überrepräsentiert sind.

Auslöser für die Startabbrüche waren :



Dabei ist zu beachten, dass der für die Berechnung zugrunde gelegte „Standardgrund“ Triebwerksschaden nur in einem knappen Viertel aller Fälle auslösende Ursache für den Startabbruch war.

Das Misslingen der 74 genannten Startabbrüche hätte verhindert werden können durch :



Hierbei ist auffällig, dass 20 % der overruns nicht hätten verhindert werden können, was auf nicht beherrschbare technische Probleme oder Umstände, die nicht ( angemessen ) berücksichtigt werden konnten, zurückzuführen ist.



**Ein Startabbruch nahe bei  $v_1$  bei einem Start, bei dem die maximale Startmasse durch die Bahnlänge im STOP – Fall limitiert ist, führt insbesondere bei nasser oder kontaminierter Bahn mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem seitlichen Verlassen oder Überschreiten der Startbahn.**

Für die Besatzung ist es daher ausgesprochen wichtig

den limitierenden Fall für jeden Start klar zu identifizieren

die unterstellten Randbedingungen für die drei genannten Fälle (normal / go / stop ) genau zu kennen

die im Augenblick des Starts herrschenden äusseren Bedingungen zu den in der Startdatenberechnung unterstellten in Beziehung zu setzen

die Toleranzen zu den anderen limitierenden Fällen zu kennen

Arbeitsverfahren so schnell und präzise wie möglich auszuführen !

Hierzu einige exemplarische Erläuterungen :

Ist der Start stop – limitiert und wenn, ist die Bahn als trocken oder nass angenommen? Im „Fall trocken“ ist der Einsatz der Schubumkehr bei Berechnung nicht berücksichtigt, ihr Einsatz verbessert das Bremsverhalten mithin und schafft so eine zusätzliche Reserve. Bei nasser Bahn wird dagegen der volle Einsatz der Schubumkehr unterstellt.

Ist der Teil der Bahn, in dem die Beschleunigung stattfindet, ansteigend oder absteigend, und wie ist das Gefälle am Bahnende ? In der Berechnung wird ein gleichbleibender Gradient, die Sehne an die Bahn angenommen.

Ist ein Hindernis im Abflugsektor die limitierende Größe , dessen Überfliegen nach Ausfall eines Motors gerade eben mit der im Zulassungsverfahren geforderten Mindesthöhe erfolgen kann ? Und wenn, wie groß ist dagegen der stop-margin bei einem Startabbruch?

Wird das Bahnende im Triebwerksfehlerfall bei trockener Bahn in 35 ft Höhe oder bei nasser Bahn nur in 15 ft Höhe überflogen ?

Wie ist das Verhältnis von Entscheidungsgeschwindigkeit zur Mindestgeschwindigkeit zur Aufrechterhaltung der Richtungskontrolle  $v_{MCG}$  ?

Welchen Betrag der kinetischen Energie haben die Bremsen im Startabbruchfall aufzunehmen ?

Ist nach Fortsetzung eines Starts trotz erheblicher Störung eine Landung auf demselben Flugplatz möglich oder welche Ausweichflughäfen stehen in welcher Entfernung zur Verfügung ?

## Technische Einrichtungen zur Verzögerung des Flugzeuges

Bei einem Startabbruch im Bereich der Entscheidungsgeschwindigkeit muss das Flugzeug maximal verzögert werden. Gleichzeitig muss wegen Schubasymmetrie und / oder Seitenwind die Bahnrichtung gehalten, bzw. auf die Bahnmittellinie zurückgesteuert werden.

Zur Verzögerung stehen der Besatzung folgende Hilfsmittel zur Verfügung :

- die Radbremsen

An allen Haupträdern ( bei B 727 zusätzlich am Bugfahrwerk ) sind Radbremsen montiert, die von zwei voneinander unabhängigen Hydrauliksystemen druckbeaufschlagt werden. Diese Bremsen sind mit Anti – Blockier – Anlagen ( anti – skid – systems ) ausgerüstet. Im Normalfall werden sie von der Besatzung mit den Füßen über die Seitenrudderpedale betätigt. Ein automatisches Bremssystem aktiviert die Radbremsen unter Einsatz des maximalen Bremsdruckes, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind.

(Schubhebel oberhalb definierter Geschwindigkeit in Leerlaufposition, Störklappen aktiviert )

- die Störklappen ( ground spoilers )

Alle auf der Oberseite der Tragflächen montierten Störklappen wirken als ground spoiler. Sie fahren auf den maximalen Winkel aus, wenn am Boden bestimmte Bedingungen ( Fahrwerk komprimiert, bestimmte Rollgeschwindigkeit überschritten, Schubumkehr betätigt ) erfüllt sind und mindern vorhandenen Auftrieb ganz erheblich, was zu einem höheren Anpressdruck der Räder führt.

- die Schubumkehr ( reverse thrust )

Je nach Bauausführung wird ein Teil des Strahles oder der gesamte Strahl umgelenkt, so dass eine bremsende Kraft entsteht. Schubumkehranlagen tragen in der Größenordnung von ca. zehn Prozent zur Verzögerung bei. Bei dreimotorigen Flugzeugen kann die Seitenrudderwirksamkeit durch Schubumkehr des Mittelmotors beeinträchtigt werden.



Das Bild eines MD 11 – Cockpits zeigt in der Mitte der Zentralkonsole die Schubhebel, an die vorne die Hebel für die Bedienung der Schubumkehr angeleitet sind. Links davon ist der Hebel zur Bedienung der Störklappen. Im Fussraum sind die Seitenrudderpedale zu erkennen, die mit Fussspitzenbremsen ausgerüstet sind.



rechtes Hauptfahrwerk einer MD 11 mit Bremsanlage



geöffnete Schubumkehr einer MD 11 ( Triebwerk Nr.1 )

Zur Richtungssteuerung stehen der Besatzung folgende Hilfsmittel zur Verfügung :

Seitenruder und Bugrad gesteuert durch Seitenruderpedale

Durch Betätigen der Seitenruderpedale wird das Seitenruder bis zum Vollausschlag betätigt, während der Einschlag des Bugrades nur wenige Grad ( typischerweise fünf bis zehn ) beträgt

Bugrad gesteuert durch Bugradtiller

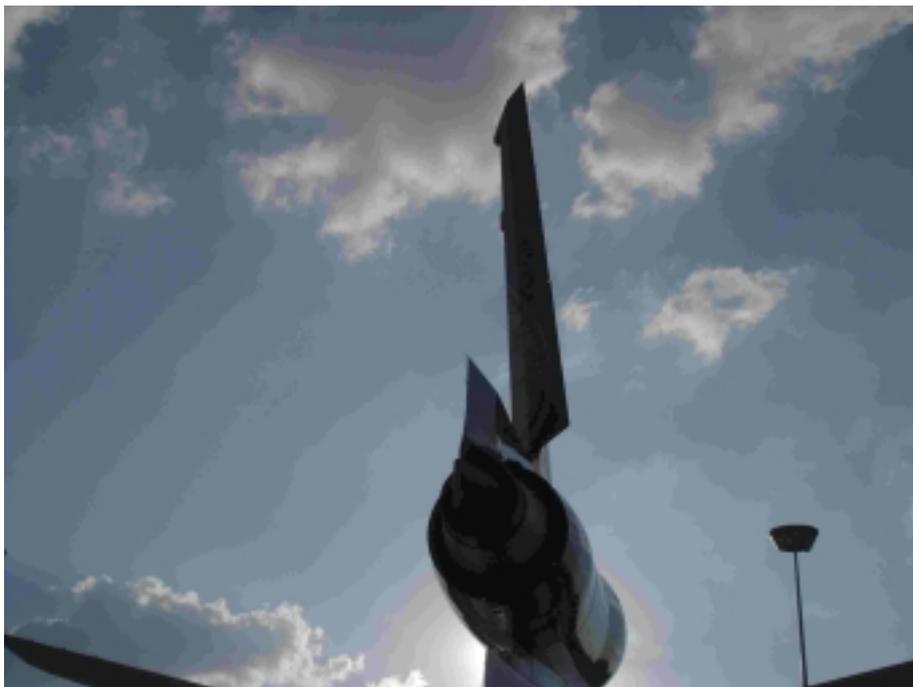
Durch den „Tiller“ kann das Bugrad unabhängig vom Seitenruder gesteuert werden. Dieser Teil der Steuerung ist aber für die Lenkung des Flugzeuges im Bereich der Rollgeschwindigkeiten ausgelegt und für eine Steuerung bei hohen Geschwindigkeiten ungeeignet.



Bugrad einer MD 11 mit Steuerungszyllindern und Landescheinwerfern



„linker Arbeitsplatz“ einer MD 11. Im Fußraum sind die Seitenruder- und Bremspedale zu erkennen, links am äußersten Bildrand der „Tiller“ für die Bugradsteuerung im Bereich niedriger Geschwindigkeiten.



ausgeschlagenes Seitenruder MD 11

## Arbeitsverfahren der Besatzung

### Rollenverteilung

Unabhängig davon, welcher der beiden Piloten im aktuellen Fall die Rolle des fliegenden Piloten ( pilot flying ) ausübt, verbleibt die Entscheidung einen Start abzubrechen immer beim Kapitän, der aus diesem Grunde bei den allermeisten Fluggesellschaften beim Start auch immer bis zum Erreichen der Entscheidungsgeschwindigkeit die Hände auf den Gashebeln hält. Bemerkt der CM 2 ( crew member 2 ) während des Startlaufes ein technisches Problem, ruft er den Fehler möglichst präzise aus, z.B. „ engine fire no. 3“. Da die Zeiten, die für das Fällen einer Entscheidung zur Verfügung stehen, zu kurz sind, um sich innerhalb der Besatzung abzustimmen, entscheidet der Kapitän allein über Fortsetzung oder Abbruch des Starts.

### Ausrufe

Mehrere festgelegte Ausrufe sollen sicherstellen, dass beide Piloten zu jedem Zeitpunkt über den Fortgang des Startlaufes sowie über die Absichten des Gegenübers im Bilde sind.

CM 1 : „Take – Off !“  
dies zeigt den Beginn des Starts an

PNF : „Take-Off Power set“  
Zeigt an, dass die TW-Parameter den Berechnungen entsprechen und in sich stimmig sind (z.B. Abgastemperatur und Brennstoffverbrauch zu Drehzahl )

PNF : „80 kts“  
Beide Piloten vergleichen ihre Fahrtanzeigen, PF gibt durch Antwort „checked“ zu erkennen, dass sein Fahrtmesser identische Anzeige hat, und er selbst bei vollem Bewusstsein ist.  
Eintritt in das high speed regime des Starts.

PNF : „G O ! “ (bei  $v_1 - 3$  kts )  
Ein Startabbruch ist nicht mehr möglich, CM 1 nimmt die Hände von den Schubhebeln.

PNF : pilot not flying  
PF : pilot flying

## Handlungen

Bei Entscheidung des Kapitäns, den Start abubrechen, sind folgende Handlungen sofort auszuführen :

- Ausruf „Stop !“, um den CM 2 über die Entscheidung zu informieren.  
gleichzeitig :      maximal bremsen  
                                 Schubhebel auf Leerlauf
- Störklappen ( ground spoiler ) voll ausfahren
- maximalen Umkehrschub wählen

Anm. : Bei den heutigen Flugzeugen löst das Schließen der Gashebel über einer definierten Geschwindigkeiten das Ausfahren der ground spoiler und damit auch die automatische Bremsanlage aus.

CM 2 überwacht diese Maßnahmen, weist auf evtl. Versäumnisse oder Fehlfunktionen hin und informiert die Flugsicherung über den Startabbruch, wenn alle Maßnahmen korrekt eingeleitet wurden und das Flugzeug maximal verzögert wird.

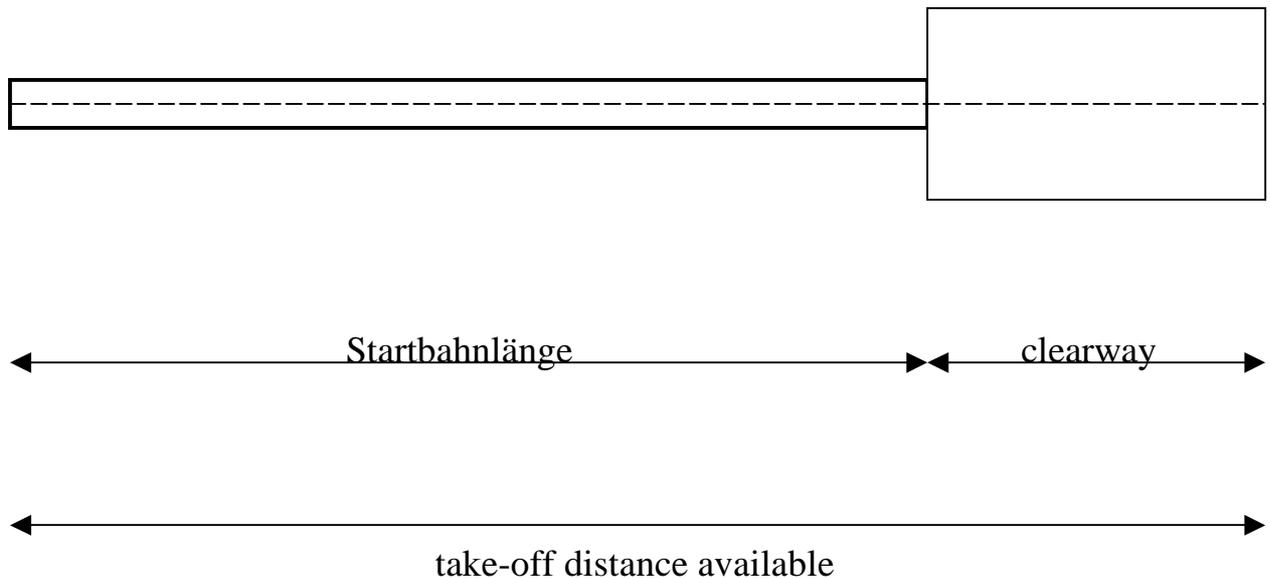
Sollte der Kapitän sich bei Auftreten eines technischen Problems für eine Fortsetzung des Starts entscheiden, teilt er dies dem CM 2 durch den Ausruf „continue !“ mit.

## Definitionen

T O D A    take-off distance available

ist die Strecke, die aus dem Startbahnstück vom möglichen Startpunkt bis zum Startbahnenende und, wenn vorhanden, dem sich daran anschließenden clearway zusammengesetzt ist.

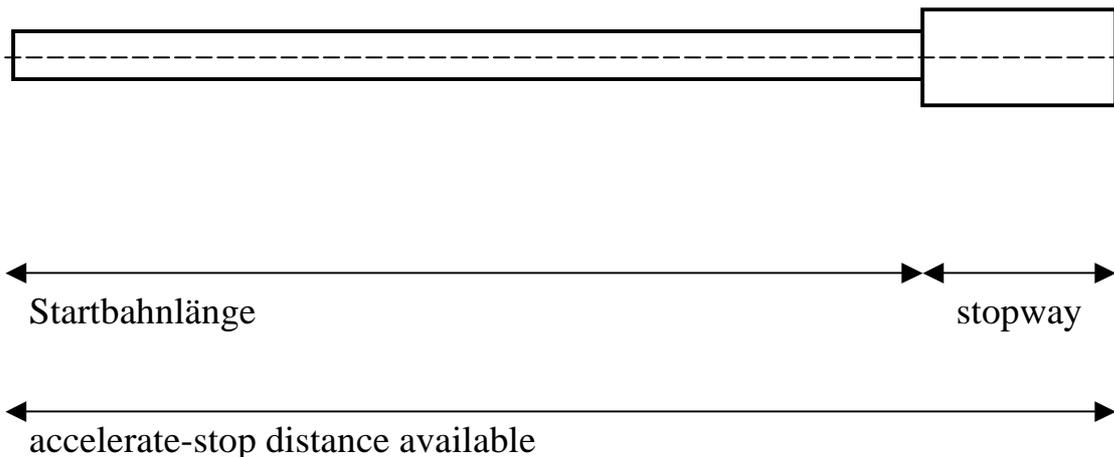
clearway : eine Fläche, die sich an die Startbahn anschließt, beiderseits der verlängerten Startbahnmittellinie 250 ft breit ist und unter Kontrolle des Flughafenbetreibers steht ( weitere Definitionsmerkmale ).



A S D A            accelerate-stop distance available

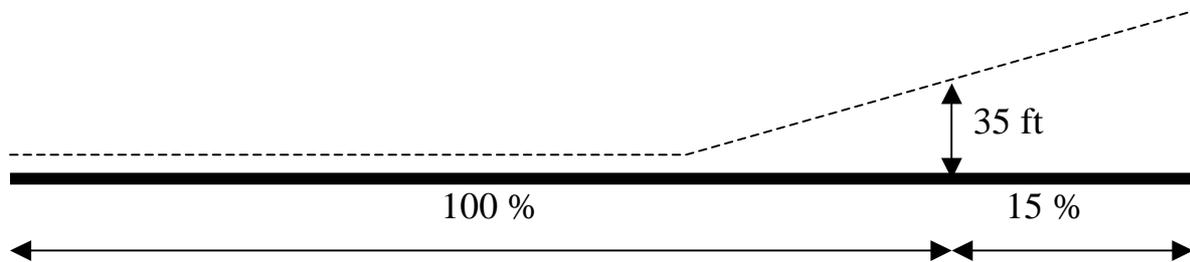
ist die in der beabsichtigten Startrichtung für den Beschleunigungs- und Abbremsvorgang verwendbare Strecke, die aus dem Startbahnstück vom möglichen Startpunkt bis zum Startbahnende und, wenn vorhanden, dem sich daran anschließenden stopway zusammensetzt.

stopway : eine Fläche, die sich an das Startbahnende anschließt, mindestens ebenso breit ist wie diese und deren Mittellinie gleich der Startbahnmittellinie ist. Sie muss vom Flughafen zum Abbremsen während eines Startabbruches bestimmt worden sein und das Flugzeug tragen können, ohne dass dieses Schaden nehmen kann.



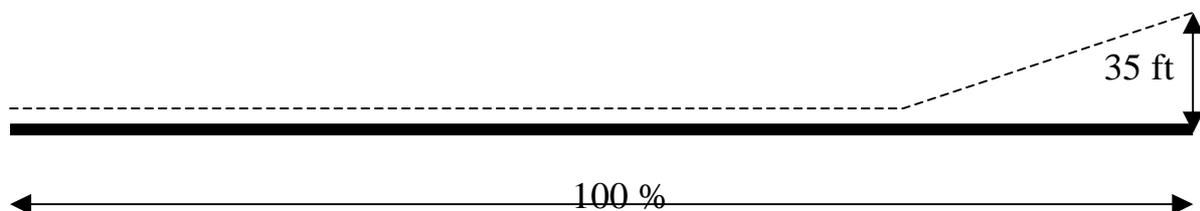
all engine take – off distance

sind 115 % der Strecke, die benötigt wird, um das Flugzeug mit allen Triebwerken zu einem Punkt, der 35 ft über der Startbahn liegt, zu fliegen.



engine-failure take- off distance

ist 100 % der Strecke, die benötigt wird, um das Flugzeug mit allen Triebwerken bis auf  $v_1$  zu beschleunigen und dann bei fortgesetztem Start nach einem Triebwerksausfall zu einem Punkt, der 35 ft über der Startbahn liegt, zu fliegen.



**Achtung !** Bei nasser oder kontaminierter Bahn wird die „screen height“ von 35 ft auf 15 ft abgesenkt. Damit werden Sicherheitsmargen reduziert. Hintergrund ist eine wegen schlechterer Bremswirkung reduzierte Entscheidungsgeschwindigkeit  $v_1$ , die dann im Fortsetzungsfall eine längere Beschleunigungsphase mit einem ausgefallenem Triebwerk bedingt, was zu einem späteren Abheben führt.

accelerate – stop – distance

ist die längere der beiden tatsächlichen Strecken.

Strecke bei Beschleunigung mit allen Triebwerken bis zur  $v_{EF}$   
( Geschwindigkeit des Auftretens eines Triebwerksausfalls )  
plus  
Strecke bei Beschleunigung mit den Resttriebwerken bis zu der  
Geschwindigkeit, wo der Startabbruch eingeleitet wird (  $v_1$  )  
plus  
Strecke, die in zwei Sekunden mit der Geschwindigkeit  $v_1$  zurückgelegt  
wird  
plus  
Strecke bis zum Stillstand des Flugzeuges

oder

Strecke beim Beschleunigen mit allen Triebwerken bis zur  $v_1$   
plus  
Strecke, die in zwei Sekunden bei dieser Geschwindigkeit zurückgelegt  
wird  
plus  
Strecke bis zum Stillstand des Flugzeuges

Dabei ist besonders zu beachten, dass bei trockener Bahn die Benutzung der Schubumkehr nicht eingerechnet wird.

Bei nasser oder kontaminierter Bahn ist die Benutzung der maximalen Schubumkehr eingerechnet !!!

Bei nasser oder kontaminierter Bahn erfolgt eine durch Rechnungen und praktische Versuche bestimmte Anpassung der Bremskoeffizienten.

## Startgeschwindigkeiten

$v_1$  take-off decision speed ( Entscheidungsgeschwindigkeit )

Ist bis zum Erreichen der Entscheidungsgeschwindigkeit der Startabbruch nicht eingeleitet, muss der Start fortgesetzt und das Flugzeug in die Luft gebracht werden.

Dem Einleiten des Startabbruches geht eine Zeit voraus, in der ein Triebwerksausfall eintritt, eine Analyse vorgenommen und eine Entscheidung gefällt werden muss. Dafür wird der Besatzung eine Zeitspanne von einer Sekunde zugebilligt.

Bei einer typischen Beschleunigung von etwa 6 kts / sec mit allen Triebwerken und 3kts / sec nach einem Triebwerksausfall wird damit die  $v_{EF}$ , die Geschwindigkeit bei der der nichtfliegende Pilot „GO“ ausruft, auf  $v_1 - 3$  kts festgelegt.

Die Entscheidungsgeschwindigkeit  $v_1$  wird durch folgende, andere Geschwindigkeiten begrenzt :

$V_{MCG}$  speed minimum control ground

Mindestgeschwindigkeit, um das Flugzeug am Boden unter Einsatz des Seitenruders bei Ausfall des ( kritischen ) Triebwerks in der Richtung kontrollieren zu können. Per Definition ist eine bestimmte laterale Abweichung von der Bahnmittellinie zulässig.

A C H T U N G : Seitenwind findet keine Berücksichtigung !

$V_{MBE}$  speed maximum brake energy

höchste Geschwindigkeit, bei der die Bremsanlage die kinetische Energie aufnehmen kann, abhängig von Startgewicht, Dichtehöhe, Neigung der Bahn und Windkomponente

$V_R$  speed rotation

Geschwindigkeit, bei der das Flugzeug zum Abhebeanstellwinkel rotiert wird, um in 35 ft ( 15 ft ) Höhe  $v_2$  zu erreichen

Eingehendere Erläuterung bereits genannter und weitere Geschwindigkeiten :

$V_{MCG}$  speed minimum control ground

ist die kalibrierte Geschwindigkeit, bei der es beim plötzlichen Versagen des kritischen Triebwerkes möglich ist, die Richtungskontrolle des Flugzeuges nur mit Einsatz des Seitenruders zu erhalten.

Die dabei auftretenden Betätigungskräfte für das Seitenruder dürfen 150 lbs ( 668 N ) nicht überschreiten.

Das Querruder ist dabei so zu halten, dass das Flugzeug ohne Hängewinkel abhebt.

Das Flugzeug darf sich um nicht mehr als 30 ft von der Bahnmittellinie entfernen.

Für den Start ist die ungünstigste Konfiguration einzunehmen.

Auf den verbleibenden Motoren ist maximaler Schub zu setzen.

Die ungünstigste Schwerpunktlage ist zu wählen.

Das Flugzeug ist für den Start zu trimmen ( Höhenleitwerksflosse ).

Das ungünstigste Startgewicht ist zu wählen.

$V_{MCA}$  speed minimum control air

ist die kalibrierte Geschwindigkeit, bei der es beim plötzlichen Versagen des kritischen Triebwerkes möglich ist, die Richtungskontrolle des Flugzeuges mit Einsatz der Ruder zu erhalten und mit nicht mehr als  $5^\circ$  Hängewinkel geradeaus zu fliegen.

Sie darf nicht höher als  $1,13 v_S$  ( stall speed ) liegen mit maximalem Schub der verbliebenen Motoren ungünstigster Schwerpunktlage für den Start ausgetrimmtem Flugzeug ungünstigster Konfiguration für den Start Seitenruderbetätigungs Kräften unetr 150 lbs ( 668 N ).

Während des Auftretens des Motorausfalls darf das Flugzeug nicht in eine gefährliche Fluglage geraten oder seine Führung außergewöhnliche fliegerische Fertigkeiten, Aufmerksamkeit oder physische Kräfte erfordern, um eine Richtungsänderung von mehr als  $20^\circ$  zu verhindern.

$V_R$  speed rotation

ist die kalibrierte Geschwindigkeit, bei der das Flugzeug zum Abheben angestellt wird.

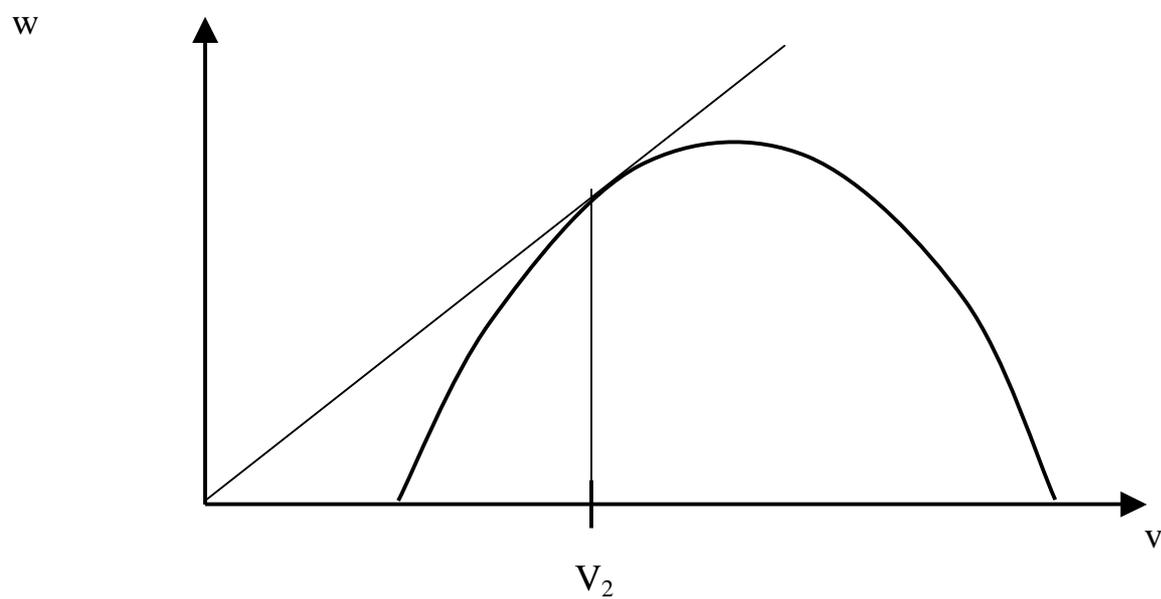
Sie darf nicht kleiner sein als

- die Entscheidungsgeschwindigkeit  $v_1$
- $1,05 V_{MCA}$
- eine Geschwindigkeit, die das Erreichen der  $v_2$  in 35 ft (15 ft) erlaubt
- eine Geschwindigkeit, die bei max. Rotationsgeschwindigkeit ein Abheben bei  $1,1 V_{MU}$  ( speed min unstick ) mit allen Motoren oder  $1,05 V_{MU}$  mit einem ausgefallenem Motor bewirkt.

$V_R$  beeinflusst somit auch die Abhebegeschwindigkeit, die durch die max. tire speed nach oben begrenzt wird.

$v_2$  take-off climb speed

Die take-off climb speed ergibt nach Ausfall eines Triebwerkes den besten Steigwinkel zum Überfliegen der Hindernisse im Abflugsektor.



Die Untergrenze für die  $v_2$  ist  $1,2 v_S$  und  $1,1 v_{MCA}$ .

## Forderungen für den Anfangssteigflug

Limitierung im zweiten Steigflugsegment

Der „take-off path“ setzt sich aus folgenden vier Segmenten zusammen.

1. Segment beginnt in 35 ft ( 15 ft) und endet, wenn das Fahrwerk vollständig eingefahren ist.
2. Segment beginnt an dem Punkt, an dem das Fahrwerk vollständig eingefahren ist und endet an dem Punkt, an dem mit dem Einfahren der Landeklappen begonnen wird, mindestens jedoch in 400 ft Höhe ( heute bei deutlich gestiegenen Flugleistungen meist in 1500 ft ).
3. Segment vom Beginn des Einfahrens der Landeklappen bis zum Erreichen der final climb configuration
- fianl segment vom Beginn der final climb configuration bis zum Erreichen von 1500 ft ( entfällt u.U. )

Für die einzelnen Segmente werden nach Ausfall eines Motors folgende Gradienten für den Steigflug gefordert.

Segment	Gradienten		
	2 mot	3 mot	4 mot
1	pos.	0,3 %	0,5 %
2	2,4 %	2,7 %	3,0 %
3	beschleunigen		
F	1,2 %	1,5 %	1,7 %

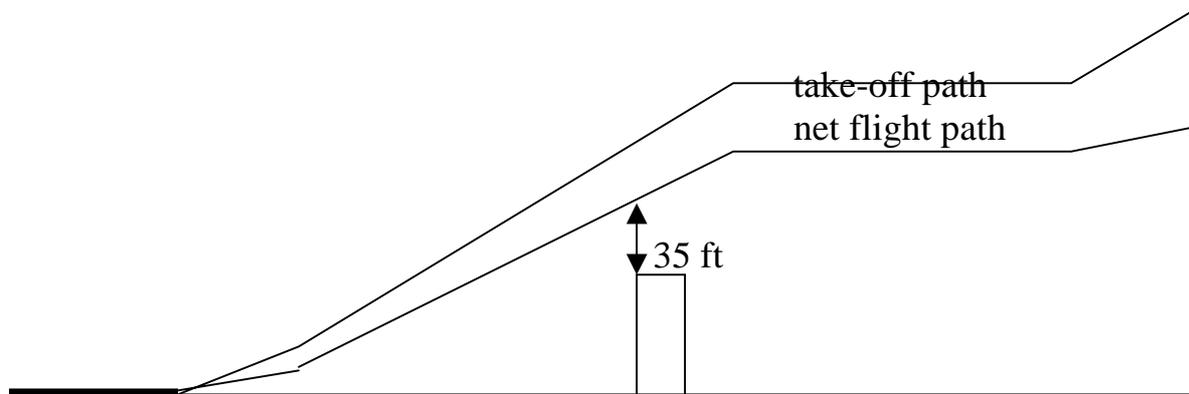
## Limitierungen durch Hindernisse im Abflugsektor

Um das sichere Überfliegen aller Hindernisse im Abflugsektor nach Ausfall eines Triebwerkes zu gewährleisten, muss der „net flight path“ betrachtet werden.

Der net flight path bzw. die net gradients ergeben sich aus dem tatsächlich nachgewiesenen Gradienten durch Abzug folgender Werte :

2 mot	3 mot	4 mot
0,8%	0,9%	1,0%

Der aus diesem Abzug resultierende net flight path muss über allen im lateral definierten Abflugsektor gelegenen Hindernissen eine Mindesthöhe von 35 ft haben.



oder

die Startmasse muss derart eingeschränkt werden, dass diese Forderung erfüllt wird.

## Startberechnungen

Für jeden Start sind diese Berechnungen durchzuführen, um die Einhaltung der vorgenannten Beschränkungen sicherzustellen. Sie können mit Tabellenwerken oder neuerdings auch mit Notebooks durchgeführt werden.

Dabei sind grundsätzlich zwei verschiedene Rechenwege zu unterscheiden :

- Bestimmung der maximal möglichen Startmasse unter den gegebenen äußeren Bedingungen.
- Bestimmung einer höchstmöglichen  $T_{ASS}$  oder  $T_{FLEX}$ , mit der die Bedingungen für eine bekannte Abflugmasse noch erfüllt werden.

Bei der letzten Methode wird der Schub für den Start mittels der Annahme einer höheren Außenlufttemperatur ( temperature assumed oder temperature flexible ) reduziert, um die Triebwerke zu schonen.

Ziel der Berechnungen ist es immer, eine Konfiguration (Landeklappenstellung / Schubreduzierung ) zu finden, die die möglichst gleichmäßige Einhaltung der Startforderungen ermöglicht.

Bei der Verwendung von Tabellen für die Bestimmung einer Schubreduzierung ergibt sich eine Reserve dadurch, dass die Luftdichte in Wirklichkeit höher als unterstellt ist. Notebooks nutzen diesen Spielraum nicht mehr und ermöglichen damit eine noch weitere Reduzierungen der Startschübe.

Parameter für die Startdatenberechnungen

Die Tabellenwerke oder die Eingabemasken der Notebooks sind nach Flughäfen und Startbahnen sortiert. Mit der Auswahl einer Piste sind alle unveränderlichen Daten dann erfasst. Dazu zählen die Erhebung über dem Meeresspiegel, die Startbahnlänge, das Bahngefälle und alle relevanten Hindernisse im Abflugsektor. Von der Besatzung werden dann der Wind, der auf Meereshöhe reduzierte Luftdruck, die Außentemperatur, der Bahnzustand, die Konfiguration der Enteisungs- und Druck-Klima – Anlage und die Landeklappenstellung oder die diesbezügliche Auswahl „optimum“ eingegeben.

Als Ergebnis wird entweder die maximal mögliche Abflugmasse mit den gesuchten Startdaten angegeben, oder es werden zu einer nach dem Ladeplan eingegebenen Startmasse die gesuchten Werte angezeigt.

Diese Angabe umfasst folgende Daten :

- aktuelle und maximal mögliche Startmasse
- Limitierung, die für diesen Start relevant ist
- Seitenwind- und Gegen/Rückenwindkomponente
- Landeklappenstellung
- ggfls.  $T_{ASS}$  /  $T_{FLEX}$
- Geschwindigkeiten  $v_1$ ,  $v_R$ ,  $v_2$
- stop margin für den Fall eines Startabbruches bei  $v_1$

Selbstverständlich werden diese Berechnungen von beiden Piloten unabhängig voneinander durchgeführt und verglichen, insbesondere um evtl. Einschränkungen der möglichen Flugleistungen bei Minder- oder Fehlfunktion einzelner Systeme oder Systemkomponenten angemessen zu berücksichtigen, wie z.B. Stilllegung einer einzelnen Bremse oder Ausfall einzelner Störklappen an den Tragflächen.

## Wichtung einzelner Parameter

Wind :	Gegenwind wird nur mit 50 % für die Rechnung berücksichtigt, Rückenwind mit 150 %
Luftfeuchtigkeit	bis zur jew. Außentemperatur nach ISA wird eine relative Luftfeuchtigkeit von 80 % unterstellt, bei ISA + 50°C eine von 34 %, dazwischen wird linear interpoliert
Kontamination	es wird eine 100 %ige Bedeckung der Bahn mit der gewählten Art und Stärke der Kontamination unterstellt
Bahn feucht	eine Bahn gilt als feucht, wenn sie nicht mehr trocken ist und der Niederschlag nicht glänzt. Es wird wie bei trockener Bahn gerechnet.
Bahn nass	die Bahnoberfläche glänzt
Grenzwerte	stehendes Wasser von 3 mm bis 15 mm nasser Schnee von 3 mm bis 15 mm Schneematsch von 3 mm bis 15 mm trockener Schnee bis 150 mm

In Abhängigkeit von Bahnzustand und gemeldeten Bremskoeffizienten sind für jeden Flugzeugtyp maximale Seitenwindkomponenten für Start und Landung empfohlen.

Beispiel MD 11 :

Bremswirkung	empf. max. SWK [kts]
gut	25
gut / mittel	20
mittel	15
mittel / schlecht	10
schlecht	5

## Unwägbarkeiten der Startdatenberechnung

Bestimmung der tatsächlichen Abflugmasse

Passagierflüge : Es wird mit durchschnittlichen Werten für Passagiere gerechnet, z.Zt. 78 kg / Passagier. Diese Masse beinhaltet auch mitgeführtes Handgepäck. Für ein Flugzeug, das 180 Passagiere transportieren kann, sei hier eine Beispielrechnung durchgeführt.

180 Passagiere à 78 kg	14.040 kg
davon 120 Männer (incl. Winterbekl und Aktentasche) à 90 kg	10800 kg
davon 60 Frauen (incl. Winterbekl und Handgepäck ) à 70 kg	4200 kg
dazu 90 Stücke zweites Handgepäck à 10 kg	900 kg
	<hr/> <hr/> 15900 kg

Es ergibt sich ein Unterschied von nahezu 2000 kg oder bei einem typischen Flugzeug dieser Größenordnung bei normalem Frachtaufkommen und typischer Kraftstoffmenge für einen einstündigen Kurzstreckenflug eine Erhöhung des Startgewichtes von etwa 2,5 %.

Wind

Für die Berechnung der Startdaten wird der über ATIS ( Automatic Terminal Information Service ) ausgestrahlte Wind angenommen. Dieser wird in Abständen von 30 Minuten ermittelt und gesendet. Es ist dies der Mittelwert über 2 min zum Zeitpunkt der Messung. Eine Korrektur dieser Angabe findet dann statt, wenn sich bei einer Windstärke, die größer als 10 kts ist, die Windrichtung um mehr als 60° ändert. Aus einem Wind, der als genau von der Seite kommend veröffentlicht wird, und der damit für die Startleistungsberechnung irrelevant wäre, kann im Extremfall ohne Korrektur der entsprechenden Wettermeldung ein Rückenwind von 9 kts Stärke werden. Wesentlich genauer ist der vom Kontrollturm mit Erteilung der Startfreigabe genannte Wind, der aus den letzten 10 sec gemittelt wird. Allerdings ist dies der Wind in der Aufsetzzone der Startbahn, der durch orographische Randbedingungen deutlich von dem am anderen Bahnende abweichen kann. Auch ist dabei eine Windänderung mit der Höhe durch Abnahme des Bodenreibungseffektes oder durch bodennahe Inversionen nicht erfasst.

## Temperatur

Die Bodentemperatur ändert sich im normalen Tagesgang vormittags bei Sonnenschein um etwa plus ein Grad pro halbe Stunde.

## Bahnneigung

Als Bahnneigung wird die der an Bahnanfang und Bahnende gelegte Sehne angenommen. Das aktuelle Profil der Bahn kann deutlich davon abweichen. Sogenannte integrative Rechenmodelle, die den jeweiligen örtlichen Gradienten ( „dz/dx“ ) in Rechnung stellen, befinden sich in der Entwicklung. Bei probeweiser Anwendung dieser Modelle haben sich für Großflugzeuge Abweichungen zu den Ergebnissen bisheriger Rechenmodelle von mehreren Tonnen für das maximal mögliche Startgewicht ergeben.

Vorteilhaft sind Bahnprofile mit einem „Tal“ in der Mitte, da die Beschleunigungsphase dann bergab, die Verzögerungsphase bergauf stattfindet. Entsprechend nachteilig sind Bahnen mit einem Buckel in der Mitte.

## Niederschlag

Gemessene Niederschlagshöhen ( Schnee etc.) sind Momentaufnahmen, die bei fortgesetztem Niederschlag kontinuierlichen Veränderungen unterliegen.

## Gummiabrieb in der Aufsetzzone

Die Aufsetzzone der entgegengesetzten Landerichtung liegt genau dort, wo bei einem Startabbruch maximale Verzögerung unterstellt wird. Bei gerade einsetzendem Regen werden die hierbei unterstellten Bremskoeffizienten nicht erreicht (Schmierseife).

All diese Unwägbarkeiten sind von der Besatzung angemessen zu berücksichtigen, was meist nur qualitativ, selten jedoch quantitativ erfolgen kann. Eine Reduktion der Höchstabflugmasse kann immer auch erhebliche kommerzielle Einbussen bedeuten und ist daher behutsam anzuwenden ( so viel wie nötig, so wenig wie möglich ). Dies ist immer eine Gratwanderung.

## Mögliche Ursachen für Startabbrüche

### Triebwerke

Bei einem plötzlichen Ausfall eines Triebwerkes entweder durch einen flame-out oder einen massiven mechanischen Schaden ( severe damage ) ist die Entscheidung ziemlich eindeutig. Vor Erreichen von  $v_1 - 3$  kts wird der Startlauf abgebrochen, danach fortgesetzt und abgehoben. Jedoch kann auch hier, wenn der Start stop-limitiert, der Abflug aber sofort über Wasser führt und garantiert hindernisfrei ist, eine Fortsetzung des Starts erfolversprechender sein. Insbesondere bei nasser Bahn, wenn die Benutzung der Schubumkehr eingerechnet ist, kann ein Abbruch auf einer „Flugzeugträgerpiste“ die schlechtere Entscheidung sein.

Es gibt aber noch eine Reihe weiterer Fehlfunktionen von Motoren, bei denen die Entscheidung nicht so eindeutig ist.

Kommt es z.B. zu einem Kompressorstall, besteht die Gefahr einer nachfolgenden mechanischen Zerstörung des Triebwerkes, gleichzeitig liefert es aber noch Schub. Es ist z.B. denkbar, nach dem Abheben den Schub auf diesem Triebwerk soweit zu reduzieren, dass das Pumpen aufhört. Ein solcher Motor kann dann noch reduzierten aber konstanten Schub zur Verfügung stellen, der die Steigleistung im Anfangssteigflug gegenüber der berechneten nachhaltig verbessert. Nach Erreichen des final segments kann ein solcher Motor dann abgestellt und zum Flughafen zurückgekehrt werden.

Zeigt ein Motor im Startlauf eine zu hohe Abgastemperatur deutet dies ebenfalls auf einen bestehenden oder sich anbahnenden Schaden hin, die Flugleistungen bleiben davon zunächst aber unberührt. Auch hier kann korrigierend eingegriffen werden, sobald das Flugzeug abgehoben hat. Als erste Maßnahme kommt auch hier eine Reduzierung des Schubes in Betracht.

Eine ansprechende Feuerwarnung bedeutet auch nicht unmittelbar eine Reduzierung des Schubes. Ursachen einer solchen Warnung können tatsächliches Feuer am Triebwerk oder ein Austreten von Heißluft aus einer Druckluftleitung sein. Warnungen, die durch einen solchen Bruch einer Luftleitung ausgelöst werden, lassen sich auch meist durch Rücknahme des Schubes abstellen. Insbesondere bei diesem Fall spielt es auch eine erhebliche Rolle, ob eine Rückkehr zum Starflugplatz möglich, oder ob eine Landung wegen schlechten Wetters unmöglich ist und zu einem Ausweichplatz, der bei drei- und viermotorigen Flugzeugen zwei Flugstunden, bei zweimotorigen eine Flugstunde entfernt liegen darf, geflogen werden muss. Genauso ungünstig wie

ein Abbruch eines stop-limitierten Startes wegen einer geplatzten Luftleitung ist ein längerer Flug mit einem tatsächlich brennendem Triebwerk.

## Räder / Reifen

Das Versagen von Rädern und / oder Reifen ist heimtückisch. Das Geräusch eines platzenden Reifens verleitet zu der Annahme, dass ein Triebwerksschaden eingetreten ist. Das starke Vibrieren der Flugzeugzelle nach einem Rad- oder Reifenschaden suggeriert u.U. einen Schaden an der Zelle, den Flügeln oder Rudern. Durch den erhöhten Rollwiderstand eines geplatzten Reifens verschlechtert sich die Beschleunigung des Flugzeuges, außerdem entsteht durch den notwendigen Seitenruderausschlag ein erhöhter Luftwiderstand. Das Bremsvermögen eines Flugzeuges mit einem geplatzten Reifen ist aber ungleich stärker beeinträchtigt, da außerdem Richtungsprobleme zu erwarten sind, die sich mit Seitenwind in ungünstiger Weise ergänzen können. Es gibt eine sehr allgemein gehaltene Empfehlung, die besagt, dass ein Startabbruch mit einem geplatzten Reifen ab  $v_1 - 20$  kts mit hoher Wahrscheinlichkeit misslingt. Als besonders heimtückisch hat es sich in aktuellen Fällen erwiesen, dass Reifenplatzer durch wegschleudernde Reifenteile weitere, oftmals schwerwiegende Folgefehler auslösen, die dann noch schwerer zu beherrschen sind. Auch der Umstand, dass ein eingeleiteter Startabbruch die automatischen Bremssysteme aktiviert, ist für die Richtungskontrolle nicht gerade vorteilhaft. Demgegenüber steht bei einer Fortsetzung des Startlaufes der Vorteil, dass bei einer Landung dasselbe Problem am Anfang und nicht etwa in der Mitte einer Bahn durch die geringere geforderte Verzögerung ein kleineres Problem darstellt.

## Konfiguration

Heutige Warnsysteme in Verkehrsflugzeugen erzeugen einen Alarm bei Setzen des Startschubes, wenn die Konfiguration des Flugzeuges nicht dem Sollzustand entspricht. Allerdings beschränkt sich diese Warnung auf eine qualitative Überprüfung und erfolgt nicht quantitativ. Es wird also ein Alarm ausgelöst, wenn die Landeklappen nicht ausgefahren sind, allerdings nicht, wenn sie ausgefahren, aber dennoch nicht in die für die Startdatenrechnung angenommene Position gefahren sind.

Vereinzelt ist es auch zu unkommandierten Veränderungen der Konfigurationen gekommen ( Einfahren von Vorflügeln). Wird dies vor Erreichen von  $v_1$  bemerkt und erkannt, ist der Start abubrechen. Nach  $v_1$  ist der Start fortzusetzen und in Bodennähe Fahrt aufzuholen. Bei zu spätem Abheben kann es zum Überschreiten der maximal zulässigen Rollgeschwindigkeit der Reifen kommen.

## Warnungen

Moderne Flugzeuge unterdrücken bestimmte Warnungen in bestimmten Flugphasen oder bei bestimmten Geschwindigkeiten. So ist der Ausfall eines von drei Hydrauliksystemen sicher kein Grund, einen Startlauf bei hoher Geschwindigkeit abubrechen, weswegen diese Warnung ab beispielsweise 80 kts unterdrückt und erst in einer sicheren Höhe weitergegeben werden wird. Besonders kritisch ist allerdings der ( unwahrscheinliche ) gleichzeitige Ausfall aller Generatoren, der sich wegen der Umschaltung der Stromversorgung der primären Instrumente des Kapitäns und des völligen Ausfalls aller Instrumente auf der Copilotenseite als Totalausfall aller Systeme darstellt. Wird dann der Start abgebrochen, kommt es garantiert zu einem Überschreiten der Startbahn, da auch das Anti-Blockier-System der Radbremsen versagt und der volle Bremsdruck durch manuelles Bremsen zu Reifenplatzern führt.

## Vogelschlag

Die Kollision mit Vögeln kann gravierende Folgen für die Flugdurchführung haben, wenn der Start fortgesetzt wird. Diese reichen von Sichtbehinderung durch verschmutzte Scheiben über Fehlanzeigen des Pitot-Statik-Systems, die durch die hohe Verknüpfung der verschiedenen Systeme sehr umfangreiche Fehlwarnungen oder Fehlfunktionen auslösen können, bis zu Beschädigungen an einem oder auch mehreren Triebwerken. Demgegenüber zu stellen sind die Auswirkungen eines abgebrochenen Starts nahe  $v_1$ , wie evtl. Überhitzung der Bremsen mit Auslösen der Schmelzsicherungen in den Radfelgen. Ein Vogelschlag zieht in jedem Fall aufwendigere Wartungskontrollen nach sich.

## Flugsicherung

Eine Anweisung der Flugsicherung, einen Start abubrechen hat in jedem Fall gravierende Gründe. Dennoch kann dieser Aufforderung nach passieren der  $v_1$  nicht mehr nachgekommen werden, in diesem Fall ist schnellstmöglich der Grund zu erfragen, um evtl. noch angemessen reagieren zu können. Besonders heikel ist ein solcher, durch die Umstände bedingter Verstoß gegen eine Anweisung der Flugsicherung, der juristisch durch die nautische Gewalt des Kommandanten gedeckt ist, unter Bedingungen tiefer Wolken oder schlechter Sicht.

## Signifikante meteorologische Erscheinungen

Hier sind insbesondere Windscherungen während des Startlaufes zu nennen, die durch in der Nähe des Flugplatzes stehende Regen- oder Gewitterschauer ausgelöst werden können. Eine plötzliche Abnahme des Gegenwindes oder Zunahme einer Rückenwindkomponente macht die gesamte Startdatenrechnung obsolet. Da die genannten Geschwindigkeiten  $v_1$ ,  $v_R$  und  $v_2$  angezeigte / kalibrierte Geschwindigkeiten sind, steht die  $v_1$  in einem solchen Fall in keinem Zusammenhang mehr zu der tatsächlichen accelerate-stop- oder engine-failure-take-off-distance. Tritt ein solcher Sprung in der Fahrtanzeige vor  $v_1$  auf, sollte der Start sofort abgebrochen werden. Nach dem Passieren von  $v_1$  sollte ein reduzierter Startschub unbedingt auf maximalen Startschub erhöht werden.

Es soll hier ganz klar angesprochen werden, dass der Einflug in eine negative Windscherung nach Ausfall eines Motors mit einiger Wahrscheinlichkeit nicht mehr beherrschbar ist, wenn der Abflug hindernislimitiert ist.

Der mündliche Vortrag setzt an dieser Stelle mit einigen ausgesuchten und hinfrisierten Fallbeispielen fort, die durchaus dem fliegerischen Alltag entnommen sind, und anhand derer aufgezeigt werden kann, wie sehr die tatsächlich vorgefundenen Umstände von denen in den Zulassungsvorschriften abweichen können, bzw. wie sehr andere operationelle Umstände eine Entscheidung zum Abbruch oder zur Fortsetzung eines Startes beeinflussen können.

Die ausführliche Darstellung dieser Fälle sprengt aber den Rahmen dieser schriftlichen Zusammenfassung, weswegen an dieser Stelle darauf verzichtet werden muss.

Der klare Fall eines plötzlichen Versagens eines Triebwerkes ist im Alltag eher die Ausnahme. Tritt dieser Fall jedoch auf, ist die fällige Reaktion durch die Geschwindigkeit im Moment des Erkennens vorgegeben. In allen anderen Fällen, die nicht dem Fall per Definition entsprechen, ist die Reaktion entsprechend den gegebenen Randbedingungen und den vorhandenen Toleranzen zu den verschiedenen Limitierungen vorzunehmen. Das setzt allerdings voraus, dass die Besatzung die vorhandenen Optionen vorher durchdacht hat, und dass möglichst viele denkbare Szenarien im Simulatortraining kennen gelernt wurden.

Die Entscheidung über einen Startabbruch nahe  $v_1$  gehört sicher zu den schwierigsten, mit denen ein Flugzeugführer konfrontiert werden kann.

In der Hoffnung, das Bewusstsein der geschätzten Leserinnen und Leser für die Problematik des Themas „Startabbruch“ erweitert und geschärft, sowie einen Einblick in den Alltagsbetrieb gegeben zu haben, verbleibe ich mit den besten Grüßen und der Bereitschaft, das Thema weiter zu diskutieren !

Ihr *Claus Cordes*

cordes.claus@t-online.de