



Forschungsprojekt

Ermittlung der erforderlichen Streifenbreite von Code-Zahl 3 Flugplätzen

Schlussbericht: April 2021

BMVI-Auftragsforschung: FE-Nr. 50.380/2018



Erstellt durch:

Airsight GmbH

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen des Verfassers bzw. der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben. Die Verantwortung für den Inhalt liegt daher ausschließlich beim Autor.

Die Verwendung dieses Forschungsberichts oder Auszüge hieraus durch Dritte sind nur mit Quellenangabe zulässig.



BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI)

ERMITTLUNG DER ERFORDERLICHEN STREIFENBREITE VON CODE-ZAHL 3 FLUGPLÄTZEN

FE-PROJEKT

Abschlussbericht

Version 1.0

Datum: 13.04.2021

*© airsight GmbH
Gustav-Meyer-Allee 25
13355 Berlin
Deutschland
Telefon: +49 30 45803177
Fax: +49 30 45803188
www.airsight.de*

URHEBERRECHTSINFORMATIONEN

Der vorliegende Bericht ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Vervielfältigungen, zu denen auch das Fotokopieren zählt, sind nicht ohne Zustimmung erlaubt.

Version	Datum	Anmerkung
1.0	13.04.2021	Abschlussbericht

Dieser Bericht besteht aus:

59 Seiten und 9 Seiten Anhängen.

Berlin, 13.04.2021

Angefertigt von:

Dipl.-Ing. Malte Karger
Dipl.-Ing. Rainer Flicker
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Mayer

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	V	
Tabellenverzeichnis	VII	
Zusammenfassung	1	
Teil I	Einleitung	3
I.1	Problemstellung auf Aufgabenstellung	3
I.2	Rechtliche Rahmenbedingungen	5
Teil II	Methodik	15
II.1	Allgemeines	15
II.2	Sicherheitszielwerte	15
Teil III	Szenarioplan	17
III.1	Allgemeines	17
III.2	Auswahl Flugplatz, Luftfahrzeugmuster und Simulatoren	17
III.3	Auswahl relevanter Parameter	20
III.4	Szenarien- und Durchführungsplan	22
Teil IV	Flugversuche	26
IV.1	Allgemeines	26
IV.2	Durchführung	26
IV.3	Erzeugte Daten	29
IV.4	Piloten-Befragung	30
Teil V	Statistische Auswertung	32
V.1	Allgemeines	32
V.2	Statistisches Modell	34
V.3	Modellierung und Auswertung	36
V.3.1	Auswertung der Daten bzgl. der Szenarien und Flugzeugtypen	36
V.3.2	Statistische Bestimmung der erforderlichen SLB-Streifenbreite	41
V.4	Beurteilung der statistischen Aussagekraft	45
Teil VI	Ergebnisse und Diskussion	47

Abkürzungsverzeichnis	49
Quellenverzeichnis	51
Anhang A Szenarien- und Durchführungsplan	53
Anhang B Statistische Grundlagen des Risikomodells	55
Anhang C Piloten-Fragebogen	60
C.1 Allgemeines	60
C.2 Versuchsreihe	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Full-Flight-Simulator der Lufthansa Aviation Training (LAT)	18
Abbildung 2: Aerodrome Chart des Flugplatzes St. Gallen-Altenrhein (LSZR)	19
Abbildung 3: Flugplatzes St. Gallen-Altenrhein (LSZR) im Full-Flight-Simulator.....	19
Abbildung 4: Eindrücke aus den Simulator-Sessions I	28
Abbildung 5: Eindrücke aus den Simulator-Sessions II	28
Abbildung 6: Aufgezeichnete Flugspuren.....	29
Abbildung 7: Beispiel-Datensatz der aufgezeichneten Trajektorien	29
Abbildung 8: Horizontaler Flugverlauf bezogen auf die Schwelle der SLB 10	32
Abbildung 9: Vertikaler Flugverlauf bezogen auf die Schwelle der RWY 10	33
Abbildung 10: Horizontaler und vertikaler Flugverlauf bezogen auf die Schwelle der RWY 10 innerhalb des SLB-Streifens	33
Abbildung 11: Histogramm der maximalen seitlichen Abweichung innerhalb des SLB-Streifens unterhalb einer Höhe von 45 m.....	34
Abbildung 12: Vertikaler Flugverlauf innerhalb des SLB-Streifens und seitliche Übergangsfläche für Code-Zahl 2 und 3.....	35
Abbildung 13: Anzahl an Datensätze pro Szenario und Flugzeugtyp.....	37
Abbildung 14: Anzahl an Datensätze pro Anflugart, Horizontaler Sicht, Wolkenuntergrenze und Windbedingung.....	37
Abbildung 15: Box-plot des Relativwertes der seitlichen Abweichung in Abhängigkeit zum Flugzeugtypen	38
Abbildung 16: Box-plot des Relativwertes der seitlichen Abweichung in Abhängigkeit zu den Szenarien	39
Abbildung 17: Box-plot des Relativwertes der seitlichen Abweichung in Abhängigkeit zur Anflugart, horizontalen Sicht, Wolkenuntergrenze und Windbedingung	40
Abbildung 18: Histogramm der maximalen seitlichen Abweichung innerhalb der seitlichen Übergangsfläche und der angepassten Extremwertverteilung (in rot dargestellt).....	41
Abbildung 19: Halblogarithmische Darstellung der kumulierten Wahrscheinlichkeit den SLB-Streifen während eines späten Durchstartens seitlich zu verlassen	42
Abbildung 20: Halblogarithmische Darstellung der kumulierten Wahrscheinlichkeit den SLB-Streifen während einer Landung seitlich zu verlassen	43
Abbildung 21: Szenarien- und Durchführungsplan	53
Abbildung 22: Klassische Statistik versus Extremwerttheorie	56
Abbildung 23: Beispiel für die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für die drei verschiedenen Extremwertverteilungen Gumbel, Fréchet und Weibull	57

Abbildung 24: Wahrscheinlichkeitsplot zur Beurteilung der Güte der Anpassung des Modells an die Daten 58

Abbildung 25: Überschreitungswahrscheinlichkeit für das relative seitliche Abkommen bezogen auf die seitliche Übergangsfläche..... 59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: SLB-Streifenbreite gemäß ICAO Anhang 14	6
Tabelle 2: SLB-Streifenbreite gemäß nationalen Vorgaben.....	10
Tabelle 3: Basisbreite der Anflugfläche gemäß ICAO OLSTF	11
Tabelle 4: Auswertung Piloten-Fragebogen (Ausgewählte Werte).....	30
Tabelle 5: Übersicht über die ausgewerteten Szenarien	36
Tabelle 6: Erforderliche Gesamt-SLB-Streifenbreite für verschiedene Sicherheitszielwerte	44
Tabelle 7: Wahrscheinlichkeiten für verschiedene Gesamt-SLB-Streifenbreiten.....	44

Zusammenfassung

Der ICAO Annex 14 definiert Richtlinien für die Planung und den Betrieb eines Flugplatzes. Hierzu sind Standards und Empfehlungen (SARPs) definiert, u.a. Maßgaben zum Sicherheitsstreifen von Start- und Landebahnen (SLB). Die erforderlichen Streifenbreiten beziehen sich auf unterschiedliche SLB-Typen (non-instrument, non-precision approach, precision approach) und die Code-Zahl (1 bis 4).

Für die Breite des SLB-Streifens zwischen Code-Zahl 2 und 3 wurde eine diskontinuierliche Steigerung definiert. Die SLB-Streifenbreite für Code-Zahl 3 Flugplätze ist oftmals aufgrund des begrenzten Platzes jedoch nicht realisierbar. Im Allgemeinen operieren in der Praxis dennoch Code-Zahl 3 und 4 Luftfahrzeuge auf Code-Zahl 2 Flugplätzen. Aufgrund der Flugleistungsparameter und den tatsächlich zur Verfügung stehenden Längen der SLB allerdings mit betrieblichen Einschränkungen in Bezug auf Beladung, Reichweiten etc. Da der ICAO Anhang 14 keine Begrenzung oder Regulierung des Flugbetriebs darstellen soll, ist dieser Nutzung nicht zu widersprechen, sondern sie richtet sich nach den Erfordernissen der betrieblichen Vorschriften u.a. im ICAO Anhang 6.

Aufgrund der Diskontinuität der SLB-Streifenbreite werden mittelgroße SLB oftmals künstlich im Bereich Code-Zahl 2 gehalten. Es kann davon ausgegangen werden, dass mit Auflösung der Diskontinuität einige SLB auf Basis Code-Zahl 3 ausgebaut und damit dem Flugbetrieb letztendlich größere Flächen zur Verfügung gestellt werden können.

In mehreren ICAO Arbeitsgruppen (z.B. OLSTF, ARCTF) werden verschiedene Aspekte mit gleicher bzw. ähnlicher Aufgabenstellung beleuchtet. Während man dort über eine umfassende Datenbasis für „veer-offs“, also das unbeabsichtigte Verlassen der SLB verfügt, fehlt es teilweise an belastbaren Daten für den Überflug („overfly“). Besonders markant ist das Fehlen von Daten für Sichtanfluglandebahnen.

Das vorliegende Forschungsvorhaben soll deshalb Erkenntnisse über eine mögliche Reduzierung der SLB-Streifenbreite von Code-Zahl 3 Flugplätze mit Sichtanfluglandebahnen aufgrund des Flugverhaltens der Flugzeuge in SLB-Nähe gewinnen.

Hierzu werden kritische flugbetriebliche Randbedingungen identifiziert und Anflug-Trajektorien von Code-Zahl 3 Luftfahrzeugen auf Code-Zahl 2 Sichtanfluglandebahnen mit Full-Flight-Simulatoren der höchsten Zertifizierungsstufe gemäß EASA CS-FSTD sowie Piloten mit entsprechender CPL/ATPL Lizenz sowie entsprechende Musterberechtigung (Type Rating) aufgezeichnet.

Mit den aufgezeichneten Trajektorien wird eine statistische Analyse durchgeführt, um abzuleiten, inwieweit eine Reduzierung der benötigten SLB-Streifenbreite von Sichtanfluglandebahnen für Code-Zahl 3 Luftfahrzeuge möglich ist.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine signifikante Reduzierung der SLB-Streifenbreite möglich ist.

Je nach berücksichtigtem Sicherheitszielwert ergeben sich aus der statistischen Auswertung erforderliche Streifenbreiten für Sichtanfluglandebahnen und Luftfahrzeuge mit Code-Buchstabe C (Spannweite bis zu 36 m) von ca. 59 m (Sicherheitszielwert $1 \cdot 10^{-7}$) bis zu ca. 72 m (Sicherheitszielwert $1 \cdot 10^{-8}$) anstatt 150 m gemäß den Vorgaben des ICAO Annex 14.

Die Anzahl an aufgezeichneten und ausgewerteten Datensätze ist jedoch begrenzt. So empfiehlt es sich noch weitere Daten zu erheben und damit den Standardfehler zu reduzieren, insbesondere für Sicherheitszielwerte kleiner als 10^{-7} .

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sollen in die Arbeiten relevanter ICAO Arbeitsgruppen (insbesondere der ICAO OLSTF sowie der ARCTF) integriert und international weiterverarbeitet werden.

Teil I Einleitung

I.1 Problemstellung auf Aufgabenstellung

- I.1.1 Der Anhang 14 des Abkommens über die internationale Zivilluftfahrt, des sogenannten Chicagoer Abkommens, definiert Richtlinien für die Planung und den Betrieb eines Flugplatzes. Hierzu sind im Anhang 14 Standards und Empfehlungen (SARPs) definiert, die u.a. in Deutschland zur Anwendung kommen.
- I.1.2 Nach diesen Maßgaben befindet sich eine Start- und Landebahn (SLB) innerhalb eines Sicherheitsstreifens. Die erforderlichen SLB-Streifenbreiten beziehen sich auf unterschiedliche SLB-Typen (non-instrument, non-precision approach, precision approach) und die Code-Zahl (1 bis 4). Die Code-Zahl beruht auf die Bezugsstartbahnlänge eines Bemessungsflugzeuges.
- I.1.3 Für die SLB-Streifenbreite zwischen Code-Zahl 2 und 3 wurde eine diskontinuierliche Steigerung definiert, wohingegen die SLB-Streifenbreite für die Code-Zahl 1 und 2 sowie für die Code-Zahl 3 und 4 jeweils ähnlich oder meist gleich sind.
- I.1.4 Die SLB-Streifenbreite für Code-Zahl 3 Flugplätze ist oftmals aufgrund des begrenzten Platzes jedoch nicht realisierbar. Im Allgemeinen operieren in der Praxis dennoch Code-Zahl 3 und 4 Luftfahrzeuge auf Code-Zahl 2 Flugplätzen. Da der ICAO Anhang 14 keine Begrenzung oder Regulierung des Flugbetriebs darstellen soll, ist dieser Nutzung zunächst nicht zu widersprechen, sondern sie richtet sich nach den Erfordernissen der betrieblichen Vorschriften u.a. im ICAO Anhang 6.
- I.1.5 Wie also mit beschränkten SLB-Dimensionen (in diesem Fall SLB-Längen) umgegangen werden muss, ist im Wesentlichen ein flugbetriebliches Thema. So ergeben sich aufgrund der Flugleistungsparameter, den genannten Betriebsvorschriften und den tatsächlich zur Verfügung stehenden Längen der SLB aber durchaus betriebliche Einschränkungen in Bezug auf Beladung, Reichweite, Temperatur/Wind etc.
- I.1.6 Die derzeit im ICAO Anhang 14 angewandte Interrelation zwischen seitlichem Platzbedarf (SLB-Streifenbreite) und notwendiger Länge der Startbahn („reference field length“) wird von Experten regelmäßig als unzutreffend bezeichnet. Es liegen begründete Hinweise von „veer-off“-Flugunfällen vor, die die aktuell geforderte SLB-Streifenbreite für Flugplätze der Code-Zahl 3 in Frage stellen.

- I.1.7 In dem vorliegenden Forschungsvorhaben soll daher eine mögliche Reduktion der geforderten SLB-Streifenbreite für Sichtanfluglandebahnen der Code-Zahl 3 auf ein angemessenes Maß untersucht werden. Eine Anpassung dieser ICAO Anforderung auf den tatsächlichen Bedarf hätte allgemeine Vorteile für die Sicherheit an Flugplätzen, da dadurch die Möglichkeit, einen Flugplatz nach Code-Zahl 3 statt Code-Zahl 2 zu planen und zu genehmigen wahrscheinlicher wäre.
- I.1.8 Im Hinblick darauf würden auch weitere Bestandteile der Flugplatzinfrastruktur Beachtung finden. Insbesondere sind dabei die mit der Code-Zahl verknüpften Hindernisfreifächensysteme zu nennen, die im Zuge dessen an die tatsächlich-operierenden Luftfahrzeuge anzupassen sind.
- I.1.9 Instrumentenanfluglandebahnen (non-precision approach, precision approach) stehen ferner nicht im Fokus dieses Forschungsvorhabens, da bereits umfangreiche Daten in Form von realen Flugspuren für Instrumentenanfluglandebahnen vorliegen und durch die ICAO OLSTF (Obstacle Limitation Surfaces Task Force) analysiert werden.
- I.1.10 Zwar betrifft die aufgeworfene Problematik nicht nur Flugplätze in Deutschland, sondern weitere Mitgliedstaaten der ICAO, jedoch ist die Zahl betroffener Flugplätze in Deutschland besonders hoch.
- I.1.11 Die Air Navigation Commission (ANC) der ICAO hat das Aerodrome Design and Operation Panel (ADOP), das Flight Operation Panel (Flight-OPSP) und das Instrument Flight Procedures Panel (IFPP) gebeten, eine mögliche Anpassung der SLB-Streifendimensionierung an den tatsächlichen Bedarf zu untersuchen. Während die ICAO Aerodrome Reference Code Task Force (ARC-TF) die Fragen im Zusammenhang mit „veer-off“ klären soll, fällt der Obstacle Limitation Task Force (OLSTF) die Aufgabe zu, den Platzbedarf der Flugzeuge im Flug im direkten Nahbereich der SLB zu untersuchen.
- I.1.12 Die Bundesrepublik Deutschland wird in den relevanten Arbeitsgruppen und „Task-Forces“ repräsentiert. Daher werden die Ergebnisse des Forschungsvorhabens in die Task-Force-Untersuchungen integriert und international weiterverarbeitet.

I.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

- I.2.1 Zunächst werden die relevanten nationalen und internationalen Regelwerke zum Sicherheitsstreifen von Start- und Landebahnen (SLB) identifiziert und beschrieben.
- I.2.2 Hierbei wird auf die Vorgaben der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO, International Civil Aviation Organization), European Union Aviation Safety Agency (Europäische Agentur für Flugsicherheit, EASA) und die nationalen Vorschriften eingegangen.
- I.2.3 Darüber hinaus werden derzeit geführte Untersuchungen und Diskussionen von ICAO Arbeitsgruppen – der OLSTF (Obstacle Limitation Surfaces Task Force) sowie der ARCTF (Aerodrome Reference Code Task Force) – dargestellt.

International Civil Aviation Organization (ICAO)

- I.2.4 Die ICAO stellt eine Organisation innerhalb der Vereinten Nationen (UN) dar, die am 7. Dezember 1944 in Chicago gegründet wurde. Deutschland ist seit dem Jahre 1956 Vertragsstaat der ICAO. Deutschland ist prinzipiell an die von der ICAO vorgegebenen „Standards“ gebunden. Die Anwendung der Standards wird für die Sicherheit und Regelmäßigkeit der internationalen Luftfahrt als notwendig erachtet. Sofern diese Standards nicht eingehalten werden können, ist eine entsprechende Benachrichtigung der ICAO nach Artikel 38 verpflichtend. Im Falle der Abweichung von „Empfehlungen“ (Recommended Practices) besteht keine Verpflichtung zur Einhaltung oder Benachrichtigung der ICAO, allerdings wird von den Vertragsstaaten erwartet, dass diese wenn möglich berücksichtigt werden.
- I.2.5 Die in den ICAO Annexen festgelegten Standards and Recommended Practices werden wie folgt definiert:

„Standard: Any specification for physical characteristics, configuration, matériel, performance, personnel or procedure, the uniform application of which is recognized as necessary for the safety or regularity of international air navigation and to which Contracting States will conform in accordance with the Convention; in the event of impossibility of compliance, notification to the Council is compulsory under Article 38.“

„Recommended Practice: Any specification for physical characteristics, configuration, matériel, performance, personnel or procedure, the uniform application of which is recognized as desirable in the interest of safety, regularity or efficiency of international air navigation, and to which Contracting States will endeavour to conform in accordance with the Convention.“

- I.2.6 Neben „Standards“ und „Recommended Practices“ beschreibt die ICAO auch „Procedures for Air Navigation Services“ (PANS) sowie „Manuals“. Die Vorgaben der PANS Dokumente beinhalten i.A. detaillierte technische Vorschriften; Manuals stellen weiterführende Details zur einheitlichen Anwendung von ICAO Vorgaben bereit.
- I.2.7 ICAO PANS Vorgaben sind nicht zwingend von den ICAO Mitgliedstaaten in nationale Vorgaben umzusetzen, dennoch ist die Anwendung dieser empfehlenswert und wird üblicherweise vollzogen. ICAO Manuals stellen unterstützende Materialien und Leitfäden (Guidance Material) dar. Diese sind nicht verbindlich.
- I.2.8 Die Dokumente der ICAO werden in jedem Fall in englischer und daneben – je nach Dokument - auch in arabischer, chinesischer, französischer, russischer und spanischer Sprache publiziert. Deutsche Ausgaben gibt es nicht.
- I.2.9 Der ICAO Annex 14 Volume 1 “Aerodrome Design and Operations” stellt das weltweite Grundlagenwerk für die Planung und Konfiguration von Flugplätzen inklusive zugehöriger flugplatzbetrieblicher Aspekte dar und liegt derzeit in der achten Ausgabe (inkl. Amendment 16) von 2020 vor.
- I.2.10 Nach den Maßgaben des ICAO Annex 14 befindet sich eine Start- und Landebahn (SLB) innerhalb eines Sicherheitsstreifens, dem mehrere Funktionen zugeordnet werden. Der SLB-Streifen hat im Wesentlichen zwei Aufgaben:
- „veer-off“: Sicherheit für Luftfahrzeuge, die während des Start- oder Landevorgangs von der SLB abkommen
 - „overfly“: Sicherheit für Luftfahrzeuge beim Überflug in geringen Höhen während eines Starts und Durchstartmanövers
- I.2.11 Der ICAO Annex 14 definiert die SLB-Streifenbreite wie folgt:

Tabelle 1: SLB-Streifenbreite gemäß ICAO Anhang 14

Code-Zahl	Sichtanfluglandebahn				Instrumentenanfluglandebahn			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Bezugsstartbahnlänge [m]	<800	800 bis <1200	1200 bis <1800	≥1800	<800	800 bis <1200	1200 bis <1800	≥1800
Streifenbreite [m] (beidseitig der Bahnmitte)	30	40	75	75	70	70	140	140

- I.2.12 Hieraus ergibt sich eine signifikante Unterscheidung der SLB-Streifenbreite zwischen einerseits Sichtanflug- und Instrumentenanfluglandebahnen sowie andererseits zwischen Code-Zahl 1/2 und Code-Zahl 3/4.
- I.2.13 Es sei angemerkt, dass die SLB-Streifenbreite für Instrumentenanfluglandebahnen zuletzt angepasst wurde: von 150 m zu 140 m für Code-Zahl 3/4 bzw. von 75 m zu 70 m für Code-Zahl 1/2 jeweils beidseitig der Bahnmitte.
- I.2.14 Die Hindernisbegrenzungsflächen (OLS – Obstacle Limitation Surfaces) und insbesondere die seitliche Übergangsfläche schließt sich dem SLB-Streifen an.

European Union Aviation Safety Agency (EASA)

- I.2.15 Die Vorschriften des europäischen Luftrechts beruhen auf der „Basis-Verordnung“ VO (EG) Nr. 216/2008 der Europäischen Parlaments und des Rates – vom 20. Februar 2008 – zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Europäischen Agentur für Flugsicherheit. Mit dieser Verordnung wurde die Vereinheitlichung des europäischen Luftverkehrsrechts weiter vorangetrieben und die EASA gegründet. Zum 11. September 2018 wurde die Basis-Verordnung durch die VO (EU) 1139/2018 abgelöst. Damit sind Flugplätze, die lediglich über Sichtanfluglandebahnen verfügen aus dem Anwendungsbereich der Europäischen Verordnung entlassen worden. Da es aber einige Flugplätze gibt, die über beide SLB-Arten (Instrument und Nicht-Instrument) verfügen, bleibt die Sichtung der Europäischen Regelwerke trotzdem relevant.
- I.2.16 Basierend auf der VO (EG) 216/2008 wurde eine Reihe weiterer europäischer Verordnungen erlassen, die Regelungen für den europäischen Luftverkehr enthalten. Für Flughäfen finden sich wesentliche Vorgaben in der Verordnung 139/2014 der Kommission vom 12. Februar 2014 zur Festlegung von Anforderungen und Verwaltungsverfahren in Bezug auf Flugplätze gemäß der o.g. Basis-Verordnung. Für die Interpretation und Anwendung dieser Verordnung hat die EASA sog. „Certifications Specifications“ (CS), „Guidance Material“ (GM) und „Acceptable Means of Compliance“ (AMC) erlassen.
- I.2.17 Auf dieser Basis wurden von der EASA auch die „Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design CS-ADR-DSN“ veröffentlicht, die im Unterschied zur ICAO nicht zwischen „Standards“ und „Recommended Practices“ unterscheiden. Diese Vorgaben sind für die unter den Anwendungsbereich der Basis-Verordnung fallenden Flugplätze direkt anzuwenden.

- I.2.18 Hierbei handelt es sich gemäß Kapitel I, Artikel 2 Absatz 1e um die folgenden Flugplätze die:
- *der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen;*
 - *für den gewerblichen Luftverkehr genutzt werden und*
 - *über eine befestigte Instrumentenlandebahn von mindestens 800 m verfügen oder ausschließlich für Hubschrauber unter Verwendung von Instrumentenanflug- oder -abflugverfahren bestimmt sind;*
- I.2.19 Allerdings besteht gem. Absatz 7 dieser Verordnung die Möglichkeit, dass Flugplätze von dieser Verordnung auf Antrag freigestellt werden:
- *nicht mehr als 10.000 Fluggäste jährlich abfertigt und*
 - *nicht mehr als 850 Bewegungen jährlich im Zusammenhang mit Frachtbetrieb abfertigt.*
- I.2.20 In Deutschland haben etliche Flugplätze von dieser Freistellungsmöglichkeit Gebrauch gemacht und einen entsprechenden Antrag gestellt.
- I.2.21 Diese Situation führt dazu, dass zwischen drei Kategorien von Flugplätzen unterschieden werden muss:
- „EASA-Flugplätze“
Flugplätze, die unter den Anwendungsbereich der EU-Basisverordnung fallen und die anhand der EASA-Regularien zu zertifizieren sind. Die in den (nur in englischer Sprache verfügbaren) EASA-Regeln enthaltenen technischen Parameter sind direkt auf diese Flugplätze anwendbar.
 - „EASA-Ausnahme-Flugplätze“
Flugplätze, die zwar grundsätzlich unter den Anwendungsbereich der EU-Basisverordnung fallen, die jedoch eine Ausnahmegenehmigung gem. Absatz 3b bzw. 7 beantragt haben – und bewilligt bekommen haben. Für diese Flugplätze gelten die Standards des Annex 14 der ICAO sowie ergänzend die deutschen Regularien, allerdings nur solange dieser Ausnahmegenehmigung seitens der EU nicht widersprochen wird.
 - „Nicht-EASA-Flugplätze“
Flugplätze, die von vornherein nicht unter den Anwendungsbereich der EU-Basisverordnung fallen, z.B. Flugplätze für Verkehr nach Sichtflugregeln (VFR). Für diese gelten ebenfalls die Standards des Annex 14, soweit dieser entsprechende Regelungen enthält, sowie die deutschen Regularien.

I.2.22 Die Maßgaben der EASA CS-ADR-DSN zu SLB-Streifen entsprechen denen des ICAO Annex 14. Die Vorgaben zur SLB-Streifenbreite unterscheiden sich nicht. Jedoch führt die EASA im Guidance Material eine weitere Funktion explizit auf: Der SLB-Streifen soll außerdem für Fahrzeuge des Feuerlösch- und Rettungsdienstes befahrbar sein.

Nationale Vorgaben

I.2.23 Die in den „Nachrichten für Luftfahrer“ (NfL) vom Bundesministerium für Verkehr (in seinen diversen Benennungen) herausgegebenen deutschen Regelungen wurden zunächst als „Richtlinien“ und in jüngerer Zeit als „Gemeinsame Grundsätze des Bundes und der Länder“ veröffentlicht.¹ Der Übergang von den früher verwendeten „Richtlinien“ auf die „Gemeinsamen Grundsätze“ ist dem Föderalismus der deutschen Luftfahrt gem. § 31 LuftVG geschuldet.

I.2.24 Grundsätzlich werden die Aufgaben des Bundes gemäß LuftVG und den Verordnungen der Europäischen Union durch das Bundesministerium für Verkehr wahrgenommen. Allerdings werden gem. § 31 Abs. 2 bestimmte Aufgaben durch die Länder im Auftrag des Bundes ausgeführt, z.B. die Genehmigung von Flugplätzen (Nr. 4), die Bestimmung von beschränkten Bauschutzbereichen bei Landeplätzen und Segelfluggeländen etc. Diesem Umstand wird durch die zwischenzeitlich als „Gemeinsame Grundsätze“ bezeichneten Verwaltungsvorschriften inhärente Abstimmung zwischen „Bund und Ländern“ Rechnung getragen.

I.2.25 In Hinblick auf die vorliegende Studie sind die folgenden deutschen Regelungen von besonderem Interesse:

- „Gemeinsame Grundsätze des Bundes und der Länder für die Anlage und den Betrieb von Flugplätzen für Flugzeuge im Sichtflugbetrieb“ – nachfolgend als (nationale) „VFR-Grundsätze“ bezeichnet und
- „Richtlinien über die Hindernisfreiheit für Start- und Landebahnen für Instrumentenflugbetrieb“ – nachfolgend als (nationale) „IFR-Richtlinien“ bezeichnet

I.2.26 In diesen Verwaltungsvorschriften sind Teile des ICAO Annex 14 in deutsche Regelungen umgesetzt, wobei teilweise Abweichungen hiervon bestehen. Soweit Einzelheiten in diesen Richtlinien nicht geregelt sind, wird auf den (nicht in deutscher Sprache publizierten) ICAO Annex 14 verwiesen.

¹ Es wird davon ausgegangen, dass es sich in beiden Fällen um Verwaltungsvorschriften handelt.

I.2.27 Die o.g. nationalen Vorgaben definieren die SLB-Streifenbreite wie folgt:

Tabelle 2: SLB-Streifenbreite gemäß nationalen Vorgaben

Code-Zahl	Sichtanfluglandebahn				Instrumentenanfluglandebahn			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Bezugsstartbahnlänge [m]	<800	800 bis <1200	1200 bis <1800	≥1800	<800	800 bis <1200	1200 bis <1800	≥1800
Streifenbreite [m] (beidseitig der Bahnmitte)	30	40	75	-	150 bzw. 75 (ohne Präzisionsanflugverfahren)	150		

I.2.28 Es wird deutlich, dass sich die SLB-Streifenbreite von Sichtanfluglandebahnen nicht von denen der ICAO Annex 14 bzw. EASA CS-ADR-DSN Vorgaben unterscheidet; jedoch ist die Breite für Code-Zahl 4 nicht definiert.

I.2.29 Für Instrumentenanfluglandebahnen gibt es im Wesentlichen zwei Unterschiede: Einerseits ist für Code-Zahl 1/2 Präzisionsanfluglandebahnen eine SLB-Streifenbreite von 300 m anstatt 150 m vorgesehen, andererseits unterscheiden sich die Halbbreiten von 75 m bzw. 150 m von denen der ICAO Annex 14 bzw. EASA CS-ADR-DSN Vorgaben; hier gelten 70 m bzw. 140 m. Letzteres liegt darin begründet, dass die ICAO Annex 14 bzw. EASA CS-ADR-DSN Vorgaben erst kürzlich aktualisiert wurden, die nationalen Vorgaben seitdem jedoch nicht angepasst wurden.

ICAO Obstacle Limitation Surfaces Task Force (OLSTF)

I.2.30 Die im ICAO Annex 14 definierten OLS stammen im Wesentlichen aus den 1950er Jahren und es ist heute nicht immer klar, welche Annahmen der Dimensionierung der einzelnen Flächen zu Grunde liegen, da eine Vermischung von Zielstellungen (Sicherheit, betriebliche Effizienz) stattfindet. Die Geometrien nehmen keinen Bezug auf tatsächliche Bedarfe und sind somit künstliche Konstrukte mit geringem praktischem Bezug.

I.2.31 Ferner gibt es zahlreiche Konflikte der OLS mit weiteren Anforderungen des Flugbetriebs, bspw. der Navigation, Leistungsfähigkeit und Präzision moderner Luftfahrzeuge, Flugverfahren gemäß ICAO PANS-OPS und Anforderungen gemäß ICAO Annex 6.

I.2.32 Deshalb hat die ICAO eine Arbeitsgruppe, die Obstacle Limitation Surfaces Task Force (OLSTF), u.a. damit beauftragt, die bestehenden Hindernisbegrenzungsflächen zu analysieren und dichter an den tatsächlichen betrieblichen Anforderungen orientiert zu überarbeiten.

I.2.33 Gemäß den aktuellen Vorschlägen der ICAO OLSTF werden neue Hindernisbegrenzungsflächen definiert: Obstacle Free Surfaces (OFS) sowie Obstacle Evaluation Surfaces (OES). Die OFS – u.a. bestehend aus Anflugfläche und seitlicher Übergangsfläche – definieren den Luftraum im direkten Umfeld einer Landebahn, welcher frei von Hindernissen zu halten ist.

I.2.34 Damit einher geht auch eine inhaltliche Entkopplung der SLB-Streifenbreite für „veer-off“ und „overfly“. Die OFS definieren den freizuhaltenden Luftraum und damit auch die SLB-Streifenbreite für „overfly“.

I.2.35 Die OLSTF schlägt folgende Basisbreiten für die Anflugfläche vor, welche der SLB-Streifenbreite für „overfly“ entsprechen würde:

Tabelle 3: Basisbreite der Anflugfläche gemäß ICAO OLSTF

Design Group	Sichtanfluglandebahn					Instrumentenanfluglandebahn				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
<i>Aircraft category (approach speed)</i>	A	A-B	A-D	A-D	D _(L)	A	A-B	A-D	A-D	D _(L)
<i>Code letter (wingspan)</i>	A-B	A-C	A-C	A-E	F	A-B	A-C	A-C	A-E	F
Basisbreite der Anflugfläche [m]	60 ^{ab}	80 ^{cd}	80 ^{cd}	135	150	110	125	140 ^f	185	200
a 80 m für Start- und Landebahnen mit einer Breite von mehr als 23 m bis 30 m b 100 m für Start- und Landebahnen mit einer Breite von mehr als 30 m c 100 m für Start- und Landebahnen mit einer Breite von mehr als 30 m bis 45 m d 110 m für Start- und Landebahnen mit einer Breite von mehr als 45 m f 155 m für Start- und Landebahnen mit einer Breite von mehr als 30 m										

I.2.36 Es wird ersichtlich, dass für die Definition der neuen Hindernisbegrenzungsflächen die Referenz zur Code-Zahl durch eine neue Design Group abgelöst werden soll, welche sich durch die Fluggeschwindigkeit (approach speed category) sowie die Spannweite (Code-Buchstabe) ergibt. Hierauf soll an dieser Stelle jedoch nicht weiter eingegangen werden.

I.2.37 Die Design Group I entspricht weitestgehend der aktuellen Code-Zahl 1, Design Group II der Code-Zahl 2. Design Groups III-V entsprechend weitestgehend den Code-Zahlen 3 und 4.

I.2.38 Die Vorschläge der ICAO OLSTF sehen wie in der Tabelle oben dargestellt eine teils deutliche Verringerung der Basisbreite der Anflugfläche sowie der seitlichen Übergangsfläche und damit der SLB-Streifenbreite für „overfly“ vor. Darüber hinaus wird die eingangs erwähnte Diskontinuität deutlich entschärft.

I.2.39 Für Instrumentenlandebahnen konnte dazu auf einen umfangreichen Datensatz von in den USA aufgezeichneten Flugspuren zurückgegriffen werden. Für Sichtanfluglandebahnen war dies jedoch nicht in diesem Maße möglich.

I.2.40 Daher soll dieses Forschungsvorhaben auch die Tätigkeiten der ICAO OLSTF in der Dimensionierung der freizuhaltenen Flächen und Lufträume für Sichtanfluglandebahnen unterstützen.

ICAO Aerodrome Reference Task Force (ARCTF)

I.2.41 In einer weiteren relevanten Arbeitsgruppe der ICAO – der Aerodrome Reference Code Task Force (ARCTF) – werden die bisherigen Methoden der Flugplatz-/SLB-Gruppierungen überarbeitet.

I.2.42 Zur Vereinfachung der Konstruktion und Bewertung von Flugplätzen bzw. der jeweiligen SLB werden im ICAO Anhang 14 nahezu alle Konstruktions- und Ausstattungsmerkmale im Wesentlichen in ein zweistufiges Code-System eingeteilt. Außerdem wird nach verschiedenen Anflugverfahren bzw. Betriebsstufen unterschieden. Solange die Flugplatzanlagen diesem Code-System folgen, kann – so die Theorie – davon ausgegangen werden, dass der beabsichtigte Flugbetrieb im Wesentlichen ohne Einschränkung stattfinden kann (ICAO Anhang 14, Introduction: *„It is not intended that these specifications limit or regulate the operation of an aircraft“*). Der Nachweis der Geeignetheit der Maßnahmen ist dadurch relativ einfach zu führen.

I.2.43 Ein wesentlicher Nachteil dieser groben Vereinfachung ist, dass spezifische Bedingungen am Flugplatz bzw. im Flugbetrieb nur wenig Berücksichtigung finden und eine Abweichung von den SARPS ein komplexes Nachweisverfahren für die Geeignetheit der Flugplatzanlage bedingen. In der Praxis ist die Methode der groben Vereinfachung nur bedingt geeignet.

I.2.44 Die Entwicklung neuer Flugzeuge, Technologien, Flug- und Navigationsverfahren verstärkt diesen Effekt, wodurch das Flugplatzbezugscode-System zunehmend unter Druck gerät. Demzufolge wurde das Flugplatzbezugscode-System in der Vergangenheit bereits mehrfach aufwändig angepasst – zuletzt in erheblichem Umfang zur Einführung der Generation *„New Large Aircraft“* wie A380 und B747-800.

I.2.45 Während sich das zweite Code-Element (Code-Buchstabe A-F), das sich auf die Spannweite des Flugzeugs bezieht (inzwischen wurden Spannweite und Hauptfahrwerksbreite entkoppelt), als gut handhabbare Einstufung zeigt, bestehen regelmäßig Schwierigkeiten mit der Anwendung des ersten Code-Elements (erforderliche Startbahnlänge des Bezugsflugzeugs, Einstufung in Code-Zahlen 1-4). Das gilt insbesondere für die SLB-Streifenbreite und die Hindernisfreiflächen.

I.2.46 Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Europäischen Maßgaben (VO(EU) 139/2014) für die Zertifizierung von Flugplätzen lediglich bei systematischen Abweichungen vom Code-Buchstaben eine gesonderte Genehmigung verlangen, während die Abweichung von der Cods-Zahl keiner gesonderten Erlaubnis bedarf. Gleichzeitig wird – ganz im Sinne der *Introduction* des ICAO Anhang 14 – keine Limitierung der Nutzung durch Flugzeuge höherer Code-Zahl verlangt.

I.2.47 Die ARCTF untersucht derzeit u.a. intensiv eine Vielzahl zu „veer-off“ führende Parameter und überprüft damit die Designkriterien für die SLB-Streifenbreite hinsichtlich dieser Funktion. Die Datenbanken für Unfälle und Vorfälle in diesem Zusammenhang scheinen umfassend; die Auswertung der ARCTF ist nahezu abgeschlossen. Derzeit wird untersucht, ob die von der OLSTF favorisierte Kombination aus Anfluggeschwindigkeit und Spannweite zur Anwendung kommen kann und zu sinnvollen Designkriterien – insbesondere im ICAO Anhang 14, Kapitel 3 und 5 – führen kann. Ein Festhalten an der Flugplatzbezugscode-Zahl gilt als unwahrscheinlich. In jedem Fall werden die Erkenntnisse zur Verbesserung der Diskussion über angemessene SLB-Streifenbreiten führen.

Zwischenfazit

I.2.48 Nach den nationalen und internationalen Vorgaben werden dem SLB-Streifen mehrere Funktionen zugeordnet:

- „veer-off“: Sicherheit für Luftfahrzeuge, die während des Start- oder Landevorgangs von der SLB abkommen
- „overfly“: Sicherheit für Luftfahrzeuge beim Überflug in geringen Höhen während eines Starts und Durchstartmanövers

Darüber hinaus soll der SLB-Streifen für Fahrzeuge des Feuerlösch- und Rettungsdienstes befahrbar sein.

I.2.49 Die Schutzzwecke des SLB-Streifens sind als unabhängig zu betrachten. „veer-off“ und „overfly“ sind unterschiedliche Szenarien, welche getrennt voneinander untersucht werden können. Daher wird derzeit in den ICAO Arbeitsgruppen OLSTF und ARCTF auch eine Entkopplung des SLB-Streifens und angrenzenden (neuen) Hindernisbegrenzungsflächen diskutiert.

I.2.50 Für die Breite des Start- und Landebahnstreifens ergibt sich eine signifikante Unterscheidung zwischen einerseits Sichtanflug- und Instrumentenanfluglandebahnen sowie andererseits zwischen Code-Zahl 1/2 und Code-Zahl 3/4.

- I.2.51 Es ist Ziel dieses Forschungsvorhabens, diese diskontinuierliche Steigerung zwischen Code-Zahl 2 und 3 für Sichtanfluganfluglandebahnen zu untersuchen. Die Ergebnisse sollen auch den entsprechenden ICAO Arbeitsgruppen zur Verfügung gestellt werden.
- I.2.52 Hintergrund ist u.a., dass die ICAO OLSTF bei der Herleitung neuer Hindernisbegrenzungsflächen den freizuhaltenden Luftraum und damit „overfly“ analysiert. Für Instrumentenanfluglandebahnen steht ein umfangreicher Datensatz von aufgezeichneten Flugspuren zur Verfügung, nicht jedoch für Sichtanfluglandebahnen. Die ICAO ARCTF hingegen untersucht u.a. die notwendige SLB-Streifenbreite basierend auf „veer-off“.
- I.2.53 Es gilt zum Abschluss aller Untersuchungen, welche „veer-off“ und „overfly“ zweckmäßig einzeln und unabhängig voneinander untersuchen, für adäquate Maßgaben zur SLB-Streifenbreite diese wiederum zusammenzuführen, wobei der unterschiedliche Schutzzweck berücksichtigt werden soll.

Teil II Methodik

II.1 Allgemeines

- II.1.1 Das Ziel des Forschungsprojektes besteht i.W. darin, Erkenntnisse über eine mögliche Reduzierung der Breite des Sicherheitsstreifen von Start- und Landebahnen (SLB) von Code-Zahl 3 Flugplätze mit Sichtanfluglandebahnen zu erlangen.
- II.1.2 Hierzu werden kritische flugbetriebliche Randbedingungen identifiziert und Anflug-Trajektorien von Code-Zahl 3 Luftfahrzeugen auf Code-Zahl 2 Sichtanfluglandebahnen analysiert.
- II.1.3 Die dafür benötigten Trajektorien wurden im Rahmen des Forschungsprojektes mit Full-Flight-Simulatoren der höchsten Zertifizierungsstufe gemäß EASA CS-FSTD sowie Piloten mit entsprechender CPL/ATPL Lizenz sowie entsprechende Musterberechtigung (Type Rating) aufgezeichnet.
- II.1.4 Mit den aufgezeichneten Trajektorien wird eine statistische Analyse unter Berücksichtigung von Sicherheitszielwerten durchgeführt, um abzuleiten, inwieweit eine Reduzierung der benötigten SLB-Streifenbreite von Sichtanfluglandebahnen für Code-Zahl 3 Luftfahrzeuge möglich ist.
- II.1.5 Darüber hinaus wird eine Befragung der Piloten ausgewertet, welche an den Flugversuchen teilgenommen haben.

II.2 Sicherheitszielwerte

- II.2.1 Für die SLB-Streifenbreite ist kein Sicherheitsziel (TLS – Target Level of Safety) definiert, weder international noch national. Im Rahmen der statistischen Analyse wird jedoch ein TLS benötigt, um Aussage zur benötigten SLB-Streifenbreite ableiten zu können. Daher werden im Folgenden verschiedene Ansätze diskutiert.
- II.2.2 Die ICAO definierte verschiedene Sicherheitszielwerte:
- $1 \cdot 10^{-7}$ pro Präzisionsanflug für die Kollision mit Hindernissen
 - $1 \cdot 10^{-7}$ pro Flugbewegung
 - $1 \cdot 10^{-8}$ pro Operation für Kollisionen am Boden
- II.2.3 Der **Sicherheitszielwert von $1 \cdot 10^{-7}$** pro Präzisionsanflug für die Kollision mit Hindernissen wird für die Bestimmung von Anflugminima (OCA/H) mittels dem ICAO Kollisionsrisikomodell (CRM – Collision Risk Model) für ILS- bzw. Präzisionsanflüge verwendet. Dieser TLS wurde bei der Entwicklung des CRM in den 1970iger Jahren unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit der damaligen Luftfahrzeuge definiert und findet im CRM weiterhin Anwendung.

- II.2.4 Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der tatsächliche Sicherheitswert für ILS-Anflüge heutzutage höher liegt, da die Leistungsfähigkeit und Präzision der Luftfahrzeuge zugenommen hat. Darüber hinaus werden teilweise Systeme eingesetzt, um die Sicherheit zu erhöhen (bspw. Enhanced Ground Proximity Warning Systems).
- II.2.5 In den ICAO Dokumenten 9476 (Manual of Surface Movement Guidance and Control Systems) und 9830 (Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems Manual) wird ein übergeordneter **Sicherheitszielwert von $1 \cdot 10^{-7}$** pro Flugbewegung für fatale Unfälle beschrieben. Dies beinhaltet den gesamten Flug inkl. Abflug, Reiseflug, Anflug, Landung und Rollmanöver am Boden.
- II.2.6 Hieraus wird für Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (ASMGCS) ein **Sicherheitszielwert von $1 \cdot 10^{-8}$** pro Operation für Kollisionen am Boden abgeleitet.
- II.2.7 Darüber hinaus wird im ICAO Document 9830 erwähnt, dass *"the total TLS defined in developing the approach and landing required navigation performance (RNP) was 1.5×10^{-7} per mission. The final approach and landing allocation was $1.0 \cdot 10^{-8}$ per operations"*.
- II.2.8 In der OLSTF wurde ebenfalls ein Sicherheitszielwert für die Modellierung der neuen Hindernisbegrenzungsflächen diskutiert. Wird berücksichtigt, dass ein Sicherheitszielwert ($1 \cdot 10^{-7}$) für den gesamten Flug gilt und wird berücksichtigt, dass während der Landung etwa 40-50% aller Unfälle passieren, so ergibt sich als **Sicherheitszielwert 0,4 Unfälle pro 10 Millionen Flugbewegungen ($4 \cdot 10^{-8}$)**. Dieser TLS findet in der ICAO OLSTF für die statistische Analyse von Flugspuren und die Modellierung der neuen Hindernisbegrenzungsflächen für Instrumentenanfluglandebahnen Anwendung.
- II.2.9 Es ist nicht Ziel dieser Studie o.g. Sicherheitszielwerte im Detail zu diskutieren oder in Farge zu stellen. Vielmehr soll eine mögliche Bandbreite von verschiedenen Sicherheitszielwerten aufgezeigt werden.
- II.2.10 Daher werden im Rahmen der statistischen Analyse dieses Forschungsprojektes verschiedenen Sicherheitszielwerte berücksichtigt: $1 \cdot 10^{-7}$, $4 \cdot 10^{-8}$ sowie $1 \cdot 10^{-8}$.

Teil III Szenarioplan

III.1 Allgemeines

- III.1.1 Um eine aussagefähige Analyse zu ermöglichen ist eine sorgfältige Planung und Durchführung der Simulator-Sessions notwendig, um hochwertige Trajektorien aufzuzeichnen. Hierbei ist die Bestimmung von relevanten Parametern und Szenarien für die Untersuchungen von besonderer Bedeutung.
- III.1.2 Da der Umfang der Simulator-Sessions und damit die Anzahl an aufzuzeichnenden Trajektorien begrenzt ist, ist auf eine sorgfältige Auswahl and zu untersuchenden Parametern und Szenarien zu achten. Nur so kann eine statistische Aussage im Sinne des Untersuchungsgegenstandes getroffen werden.
- III.1.3 Als erste Einschätzung wurde eine Mindestanzahl von 10 Trajektorien pro einzelnes Szenario bestimmt, um zumindest eine gewisse Aussage zur Relevanz des Parameters bzw. Szenarios treffen zu können.
- III.1.4 Im Folgenden werden die untersuchten Parameter und Szenarien dargestellt.

III.2 Auswahl Flugplatz, Luftfahrzeugmuster und Simulatoren

- III.2.1 Es ist vorgesehen, die für die statistische Auswertung benötigten Trajektorien mit Full-Flight-Simulatoren aufzuzeichnen.
- III.2.2 Ziel ist es, die diskontinuierliche Steigerung der SLB-Streifenbreite zwischen Code-Zahl 2 und 3 für Sichtanfluganfluglandebahnen zu untersuchen.
- III.2.3 Daher stehen Code-Zahl 3 Luftfahrzeuge im Fokus dieser Studie, welche auf einer Code-Zahl 2 Sichtanfluganfluglandebahnen operieren. So kann zielgerichtet untersucht werden, welche SLB-Streifenbreite einer Code-Zahl 3 Sichtanfluganfluglandebahnen – unter Berücksichtigung von Code-Zahl 3 Luftfahrzeugen sowie einer reduzierten Hindernisumgebung wie bei einer Code-Zahl 2 Sichtanfluganfluglandebahnen – tatsächlich notwendig ist.
- III.2.4 Für die Aufzeichnung der Trajektorien ist es insofern nötig, eine geeignete Kombination von Code-Zahl 3 Luftfahrzeuge und Code-Zahl 2 Sichtanfluganfluglandebahnen mittels verfügbarer Full-Flight-Simulatoren abzudecken.
- III.2.5 Für das Forschungsprojekt standen die nach EASA CS-FSTD zertifizierte Full-Flight-Simulatoren des Level D der Lufthansa Aviation Training (LAT) zur Verfügung, welche für die Typenausbildung von Verkehrspiloten eingesetzt werden. Die LAT hält Full-Flight-Simulatoren für fast alle gängigen Flugzeugmuster vor, bspw. die Airbus A320 Familie, A350 und A380, zahlreiche Boeing Modelle oder auch Muster von Bombardier und Embraer.



Abbildung 1: Full-Flight-Simulator der Lufthansa Aviation Training (LAT)

- III.2.6 Als Code-Zahl 3 Luftfahrzeuge standen für das Forschungsprojekt u.a. Full-Flight-Simulatoren für die Bombardier CRJ 200 sowie für die Bombardier Dash8 Q400 an den Standorten Berlin und Wien zur Verfügung. Auf diese beide Modelle hat man sich zusammen mit dem BMVI geeinigt, um Luftfahrzeuge mit Turbinen-Strahltriebwerken wie auch mit Turbinen-Propellertriebwerken abbilden zu können.
- III.2.7 Um den Untersuchungsgegenstand (Code-Zahl 3 Luftfahrzeuge auf Code-Zahl 2 Sichtanfluganfluglandebahnen) simulieren zu können ist ferner die Auswahl eines geeigneten Flugplatzes notwendig, der einerseits herausfordernd hinsichtlich der Hindernisumgebung ist, dieser andererseits auch als detaillierten „Real-Modell“ in der Datenbank der vorgesehenen Full-Flight-Simulatoren verfügbar ist.
- III.2.8 Als geeignet hat sich in Absprache mit dem BMVI der Flugplatz St. Gallen-Altenrhein (ICAO-Code: LSZR) in der Schweiz am Ufer des Bodensees herausgestellt.
- III.2.9 Der Flugplatz LSZR verfügt über eine 1 455 m lange Sichtanfluglandebahn sowie eine 810 m lange Graspiste. Ferner sind für den Flugplatz Instrumentenan- und abflugverfahren veröffentlicht (SIDs für RWY 10/28; ILS, LOC, LNAV und LPV Anflüge für RWY 10 sowie Circling).

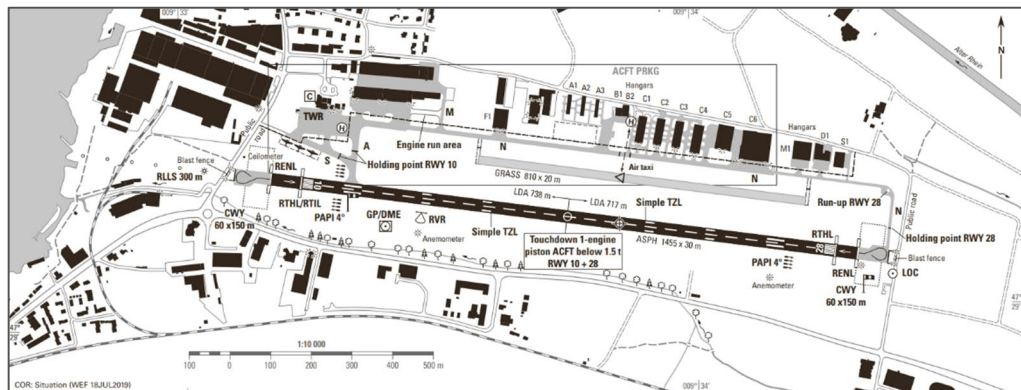


Abbildung 2: Aerodrome Chart des Flugplatzes St. Gallen-Altenrhein (LSZR)

- III.2.10 Die Hindernissituation in der Umgebung des Flughafens kann als anspruchsvoll angesehen werden (u.a. Baumreihe parallel zur SLB, die teilweise sogar die seitlichen Übergangflächen durchstoßen). Ferner entsprechen die Dimensionen des SLB-Streifens (1575 x 80 m) dem einer Code-Zahl 2 Sichtanfluglandebahn. Dennoch wird der Flugplatz regelmäßig von Code-Zahl 3 Luftfahrzeugen genutzt.
- III.2.11 Der Flugplatz LSZR ist als „Real-Modell“ in der Datenbank der vorgesehenen Simulatoren der LAT enthalten und wird somit in dieser Form vollständig in den Simulatoren abgebildet.



Abbildung 3: Flugplatzes St. Gallen-Altenrhein (LSZR) im Full-Flight-Simulator

- III.2.12 Der Flugplatz LSZR genügt somit höchsten Ansprüchen hinsichtlich Detailgrad und Realitätsnähe und eignet sich als Code-Zahl 2 Flugplatz mit Code-Zahl 3 Flugbetrieb für den Untersuchungsgegenstand des Forschungsprojektes.

III.3 Auswahl relevanter Parameter

- III.3.1 Für die Bestimmung der SLB-Streifenbreite auf Basis einer statistischen Auswertung von Trajektorien ist es notwendig, die wesentlichen Parameter bezüglich von Abweichungen vom Sollflugpfad zu identifizieren. Hierbei steht das finale Segment eines Endanfluges auf eine Sichtanfluglandebahnen im Fokus.²
- III.3.2 Zahlreiche Parameter und Gegebenheiten können das Flugverhalten beeinflussen und in Abweichungen des Sollflugpfades resultieren. Hierzu könnten bspw. gehören:
- Erfahrung des Piloten
 - Fluggeschwindigkeiten
 - Flugplatz- bzw. Landebahninfrastruktur
 - Flugverfahren
 - Hindernisumgebung
 - Luftfahrzeugmuster
 - Wetterbedingungen
 - und mehr.
- III.3.3 Der Grad der Erfahrung des fliegenden Piloten kann signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit der Flugpfade haben. Im Rahmen dieser Studie wurde auf Piloten mit CPL/ATPL Lizenz sowie Musterberechtigung (Type Rating) für die entsprechenden Full-Flight-Simulatoren zurückgegriffen.
- III.3.4 Fluggeschwindigkeiten haben ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf das Flugverfahren eines Luftfahrzeugs. So sind bspw. für die Flugverfahrensplanung gemäß ICAO Dokument 8168 PANS-OPS Luftfahrzeuge in verschiedene Geschwindigkeitskategorien basierend auf der Anfluggeschwindigkeit eingeteilt. Unabhängig davon variieren die tatsächlichen Geschwindigkeiten während eines Anflugs abhängig von zahlreichen Parametern, wie bspw. Wetterbedingung und insbesondere Wind.

² Starts stehen hingegen nicht im Fokus der Studie. Einerseits hat die ICAO OLSTF Daten zu Starts (Flugspuraufzeichnungen), andererseits werden im vorliegende Forschungsvorhaben Fehlanflüge bzw. Durchstartmanöver mit betrachten. Es kann davon ausgegangen werden, dass Starts nicht kritischer sind als solche Manöver. Es sei ferner angemerkt, dass die Streifenbreite für Startbahnen im ICAO 14 und in den EASA CS-ADR-DSN nicht definiert ist.

- III.3.5 Die Flugplatz- bzw. Landebahninfrastruktur hat ebenfalls einen maßgeblichen Einfluss auf die Flugverfahren und das Anflugverhalten. So unterscheiden sich bspw. Anflugverfahren nach ihren Navigationshilfen (visuell sowie instrument). Auch die Länge und Breite einer Landebahn kann das Verhalten eines Piloten beeinflussen – so kann bspw. erfahrungsgemäß davon ausgegangen werden, dass sich ein Pilot eines eher kleineren Luftfahrzeugs auf einer großen Landebahn anders als auf einer kleineren Landebahn verhält, was Unterschiede in den Abweichungen zum Sollflugpfad haben kann.
- III.3.6 Dem entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass sich Piloten in einer Umgebung mit kritischen Luftfahrthindernissen u.U. aufmerksamer verhalten und damit das Luftfahrzeug präziser steuern.
- III.3.7 Auch das Luftfahrzeug selbst hat Einfluss auf Abweichungen zum Sollflugpfad. Nicht nur wie bereits beschrieben aufgrund der Geschwindigkeiten, aber auch aufgrund der spezifischen Flugeigenschaften. So verhalten sich bspw. Luftfahrzeuge mit Turbinen- oder mit Propellertriebwerken grundsätzlich anders. Auch die Leistungsfähigkeit der Antriebe, die Aerodynamik, Größe und Masse des Luftfahrzeugs haben einen Einfluss auch das jeweilige Flugverhalten.
- III.3.8 Die ICAO OLSTF hat wie in Kapitel I.2 beschrieben statistische Auswertungen von mehr als 100.000 Trajektorien durchgeführt, um die Dimensionierung von Hindernisbegrenzungsflächen neu zu bestimmen. Teil der Analysen bestand darin, relevante Parameter zu bestimmen, welche einen Einfluss auf die Dimensionierung der Hindernisbegrenzungsflächen und insbesondere der Anflugflächen haben. Hierbei wurde festgestellt, dass insbesondere folgende Parameter eine statistische Signifikanz aufweisen:
- Breite der Landebahn
 - Landebahntyp (Sichtanflug- vs. Instrumentenanfluglandebahn)
 - Anfluggeschwindigkeit (Kategorien gemäß ICAO PANS-OPS)
- Zu den Parametern, welche keine statistische Signifikanz aufweisen, gehören u.a.:
- Landebahnlänge
 - Flugplatzhöhe
 - Flugplatztemperatur
- Andere potenziell relevante Parameter konnten hingegen nicht ausgewertet werden.

III.3.9 Gemäß dem Untersuchungsgegenstand der Studie und in Anlehnung an die Untersuchungen der ICAO OLSTF wurden folgende Parameter in dieser Studie aufgenommen:

- Luftfahrzeugmuster
- Flugverfahren
- Wetterbedingungen (Wolkenuntergrenze, Flugsicht und Wind)

Die Landebahn inkl. Breite, Typ und Hindernisumgebung wurden mit der Auswahl des Flugplatzes LSZR RWY 10 festgelegt und nicht variiert.

III.4 Szenarien- und Durchführungsplan

III.4.1 Im Szenarioplan werden die jeweiligen Szenarien zur Erfüllung der übergeordneten Projektziele erstellt und die Ausgangsparameter definiert. Diese beinhalten das jeweilige Luftfahrzeugmuster und den Flugplatz entsprechend des Untersuchungsgegenstandes. Außerdem werden die jeweiligen Wetterbedingungen und die resultierende aktive Landebahn festgelegt inklusive dem zu erfliegenden Flugverfahren (Endanflug, Einleiten des Fehlanfluges, etc.) sowie der Ausgangsposition und -konfiguration des Luftfahrzeugs (Typ, Triebwerke, etc.) zur Generierung der erforderlichen Trajektorien.

III.4.2 Der Durchführungsplan beinhaltet die Reihenfolge der verschiedenen Szenarien sowie die Aufteilung der Cockpitcrew in Pilot Flying und Pilot non Flying. Der Durchführungsplan soll eine optimierte Nutzung der vorhandenen Simulatorzeit gewährleisten und genau auf die zur Verfügung stehende Zeit angepasst sein. Dieser muss auch die Vorbereitung der jeweiligen Versuchsumgebung (Simulator) zur Aufzeichnung relevanter Luftfahrzeugparameter beinhalten.

III.4.3 Wichtig für die Entwicklung des Szenarienplans und Durchführungsplans ist eine vollständige Variation der zu berücksichtigen Parameter und eine Kontrolle bei der Zuweisung zu den Versuchspersonen.

III.4.4 Um aussagefähige statistische Untersuchungen durchführen zu können, ist eine Begrenzung der einzelnen Szenarien notwendig. So können nicht alle möglichen Parameter und Szenarien im Rahmen dieses Forschungsvorhaben untersucht werden. Vielmehr ist wie bei den zu untersuchenden Parametern auch eine Auswahl für kritische Szenarien notwendig.

- III.4.5 Die untersuchten Szenarien beinhalten daher:
- Flugplatz und Landebahn: ausschließlich LSZR RWY 10
 - Luftfahrzeugmuster: CRJ 200 / Dash8 Q400
 - Flugverfahren: visual / instrument
 - Wolkenuntergrenze: 1.200 ft über Flugplatz (2.500 ft AMSL) / 1.000 ft über Flugplatz (2.300 ft AMSL) / 500 ft über Flugplatz (1.800 ft AMSL)
 - Flugsicht: 5.000 m / 2.400 m / 1.500 m
 - Wind: kein Wind / 15 kt Wind (ca. 15 kt cross + 5 kt tail wind)
- III.4.6 Beide Piloten (Captain, First Officer) mit entsprechender CPL/ATPL Lizenz sowie entsprechende Musterberechtigung (Type Rating) wechselten sich ab, so dass alle Szenarien von beiden Piloten geflogen wurden.
- III.4.7 Der Fokus der durchgeführten Flugverfahren lag in visuellen Platzrundenflügen mit Variation der Sichtbedingungen. Darüber hinaus wurden auch – wenn auch in geringerem Umfang – Instrumentenanflüge erprobt.
- III.4.8 Basis der Flugverfahren bilden die im AIP veröffentlichten Flugverfahren.
- III.4.9 Für Platzrundenrundenflüge wurde im Rahmen des Pilotenbriefings angewiesen, mit runway heading (RWY 10, 100°) auf 1.000 ft über Platz zu steigen (2.300 ft AMSL) um im outbound (280°) mit 45 sec zu navigieren.
- III.4.10 Für die Versuche der Instrumentenanflüge wurde das im AIP veröffentlichte RNAV(GNSS) RWY 10 Anflugverfahren genutzt.
- III.4.11 Alle Flugversuche sind auf eine Fluggeschwindigkeit von max. 160 KIAS limitiert, was der im AIP veröffentlichten Limitierung der Circling Anflugverfahren entspricht. Darüber hinaus wurde die Piloten angewiesen, ein Durchstartmanöver mit dem Überflug der Landeschwelle einzuleiten, um die Aufzeichnung der relevanten Daten über dem SLB-Streifen mit geringen Flughöhen zu gewährleisten.

- III.4.12 Die Wolkenuntergrenze für die Platzrundenflüge von 1.200 ft über Flugplatz (2.500 ft AMSL) liegt etwas über den operativen Minima der Circling Anflugverfahren (2.270 ft AMSL)³. Die zunächst gewählte Wolkenuntergrenze von 2.300 ft AMSL erwies sich in einem geplanten Probelauf zu den Simulator-Sessions, bei dem der Szenarienplan getestet und optimiert wurde, für Platzrundenflüge als fliegerisch grenzwertig und für den Untersuchungsgegenstand als nicht zielführend. Daher wurde die Wolkenuntergrenze für die Platzrundenflüge von 1.000 ft über Flugplatz (2.300 ft AMSL) auf 1.200 ft über Flugplatz (2.500 ft AMSL) angehoben.
- III.4.13 Als Wolkenuntergrenze für Instrumentenflugverfahren wurden 1.000 ft über Flugplatz (2.300 ft AMSL) sowie 500 ft über Flugplatz (1.800 ft AMSL) festgelegt. Letzteres entspricht der allgemeinen zulässigen Wolkenuntergrenze für Sichtflüge im unkontrollierten Luftraum der Klasse G, wie auch in diversen Staaten als Untergrenze für Anflugminima von Instrumentenanflugverfahren auf Sichtanfluglandebahnen, weshalb dieser Parameter in der Studie mit aufgenommen wurde.
- III.4.14 Die Flugsicht von 5.000 m sowie 1.500 m entsprechen allgemeinen Mindestflugsichtbedingungen für Sichtflüge. Die Flugsicht von 2.400 m entspricht den operativen Minima der Circling Anflugverfahren (2.270 ft AMSL)⁴.
- III.4.15 Mit den oben aufgeführten Parametern für Wolkenuntergrenze von 500 ft über Flugplatz sowie 1.500 m Flugsicht ergeben sich Szenarien, welche Wetterbedingungen unterhalb der operativen Minima entsprechen. So beträgt wie bereits erwähnt das Minima der Circling Anflugverfahren 2.270 ft AMSL (ca. 1.000 ft über Flugplatz), was deutlich über 500 ft über Flugplatz liegt. Auch die Die Flugsicht von 2.400 m gemäß den operativen Minima der Circling Anflugverfahren beträgt mehr als 1.500 m.
- III.4.16 Da es sich jedoch bei den Parametern für Wolkenuntergrenze von 500 ft über Flugplatz sowie 1.500 m Flugsicht um allgemeine Mindestsichtbedingungen für Sichtflüge im unkontrollierten Luftraum der Klasse G handelt, wurde diese dennoch im Szenarienplan aufgenommen und die Piloten wurden darauf hingewiesen und gebeten, diese dennoch in den Simulator-Sessions zu erproben.
- III.4.17 Als Variation für den Wind wurde entweder kein Wind oder ein Windgeschwindigkeit entsprechend üblicher Limits von 15 kt (ca. 15 kt cross wind sowie 5 kt tail wind Komponente) gewählt. Instrumentenanflüge wurden aufgrund zu limitierender Szenarien nur mit Wind durchgeführt.

³ Operative Minima für LSZR RWY 10 gemäß LIDO-Anflugkarten.

⁴ Operative Minima für LSZR RWY 10 gemäß LIDO-Anflugkarten.

- III.4.18 Hieraus ergeben sich insgesamt 12 Szenarien mit Sicht- bzw. Platzrundenanflügen sowie 12 Szenarien für Instrumentenanflüge mit der Variation von: Flugverfahren (2), Wolkenuntergrenze (1 bzw. 2), Flugsicht (3), Wind (2 bzw. 1) und Pilot (2). Sofern noch Zeit in der Simulator-Session nach Durchführung der Szenarien verfügbar war, wurden die Szenarien mit den visuellen Platzrundenflügen wiederholt, um zusätzliche Trajektorien aufzuzeichnen.
- III.4.19 Aufgrund der Verfügbarkeiten der Full-Flight-Simulatoren der Lufthansa Aviation Training (LAT) wurden mehr Simulator-Sessions mit der CRJ 200 geplant als mit der Dash8 Q400. Hieraus ergibt sich auch eine Anpassung des Szenarien- und Durchführungsplans für die Dash8 Q400, um genügend Trajektorien pro Szenario aufzeichnen zu können. So wurden für diese keine Instrumentenanflüge erprobt, sondern sich auf die im Fokus der Studie stehenden Sichtanflüge konzentriert.
- III.4.20 Im Anhang A befindet sich eine Übersicht des entwickelten Szenarien- und Durchführungsplan.

Teil IV Flugversuche

IV.1 Allgemeines

- IV.1.1 Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Trajektorien mit Full-Flight-Simulatoren der höchsten Zertifizierungsstufe gemäß EASA CS-FSTD aufgezeichnet.
- IV.1.2 Mit den aufgezeichneten Trajektorien wird eine statistische Analyse unter Berücksichtigung von Sicherheitszielwerten durchgeführt. Hieraus soll abgeleitet werden, inwieweit eine Reduzierung der benötigten SLB-Streifenbreite von Sichtanfluglandebahnen für Code-Zahl 3 Luftfahrzeuge möglich ist.
- IV.1.3 Darüber hinaus wird eine Befragung der Piloten ausgewertet, welche an den Flugversuchen teilgenommen haben.
- IV.1.4 Für die Simulator-Sessions wurde auf zwei Full-Flight-Simulatoren der Lufthansa Aviation Training (LAT) zurückgegriffen:
- Bombardier CRJ 200 (Standort Berlin)
 - Bombardier Dash8 Q400 (Standort Wien)
- IV.1.5 Pro Simulator-Session wurden zwei Piloten mit der entsprechenden CPL/ATPL Lizenz sowie der entsprechenden Musterberechtigung (Type Rating) eingeladen, um die Flugversuche gemäß Szenarien- und Durchführungsplan durchzuführen.

IV.2 Durchführung

- IV.2.1 Die einzelnen Simulator-Sessions wurden jeweils mit einer Flight-Crew bestehend aus zwei Piloten (Pilot Flying und Pilot Monitoring) durchgeführt.
- IV.2.2 Die Flight-Crew verfügt über eine gültige Commercial Pilot License (CPL) bzw. Airline Transport Pilot License (ATPL) in Verbindung mit einer gültigen Musterberechtigung (Type Rating) für das entsprechende Luftfahrzeug- bzw. Simulator-Model.
- IV.2.3 Die einzelnen Simulator-Sessions sind jeweils zur Durchführung der Versuchsreihen vorbereitet worden. Dies beinhaltet vornehmlich die Vorbereitung des Simulators und das Pilotenbriefing für die Versuchsreihe.
- IV.2.4 Die Vorbereitung des Simulators beinhaltet u.a. den Aufbau des Setups gemäß Szenarien- und Durchführungsplan (Positionierung des Luftfahrzeugs, Fluggewichte, Wetter, etc.) sowie die Vorbereitung der Datenaufzeichnung (insbesondere der Trajektorien).

IV.2.5 Das Pilotenbriefing informierte die Flight-Crew im Vorfeld jeder Simulator-Session über die grundsätzliche Aufgabenstellung, das Basisszenario (Flugplatz, Fluggewichte, Flight Plan, etc.) sowie über den spezifischen Szenarien- und Durchführungsplan (Szenarien, Flugverfahren, Aufteilung der Flugführung in Pilot Flying und Pilot Monitoring, Wetterbedingungen, etc.).

IV.2.6 Insgesamt neun Simulator-Sessions fanden an folgenden Terminen statt:

- Bombardier CRJ 200 (Standort Berlin)
 - 18. & 19.02.2020
 - 21.02.2020
 - 19. & 20.03.2020
 - 28. & 29.05.2020
- Bombardier Dash8 Q400 (Standort Wien)
 - 18. & 19.07.2020

Aufgrund der der pandemischen Lage durch COVID-19 und damit verbundenen Schließungen der LAT-Simulatoren kam es zu Verzögerungen bei der Durchführung der Simulator-Sessions.

IV.2.7 Insgesamt standen 240 Minuten (vier Stunden) je Simulator-Session zur Verfügung. Unter Berücksichtigung der Dauer eines Platzrundenfluges und der benötigten Zeit für Vor- und Nachbereitung im Simulator konnten pro Simulator-Session 24 bis 32 Platzrundenflüge durchgeführt werden.

IV.2.8 Folgende Abbildungen zeigen Eindrücke aus den Simulator-Sessions.



Abbildung 4: Eindrücke aus den Simulator-Sessions I



Abbildung 5: Eindrücke aus den Simulator-Sessions II

IV.2.9

Nach der Durchführung der Versuchsreihen wurden die einzelnen Simulator-Sessions entsprechend nachbereitet. Dies beinhaltete u.a. den Abbau des Setups, den Datentransfer sowie eine allgemeine Nachbesprechung mit den Piloten.

IV.3 Erzeugte Daten

- IV.3.1 In den neun Simulator-Sessions konnten insgesamt 267 Flugtrajektorien erzeugt und aufgezeichnet werden. Folglich konnte die geforderte Anzahl von ca. 150 Trajektorien übertroffen werden.
- IV.3.2 Die Messdaten (insbesondere Trajektorien) aus den Simulator-Sitzungen wurden als .CSV-Datei(en) exportiert und zur statistischen Auswertung bereitgestellt.
- IV.3.3 Die folgenden Abbildungen stellen beispielhaft Daten der aufgezeichneten Trajektorien dar.

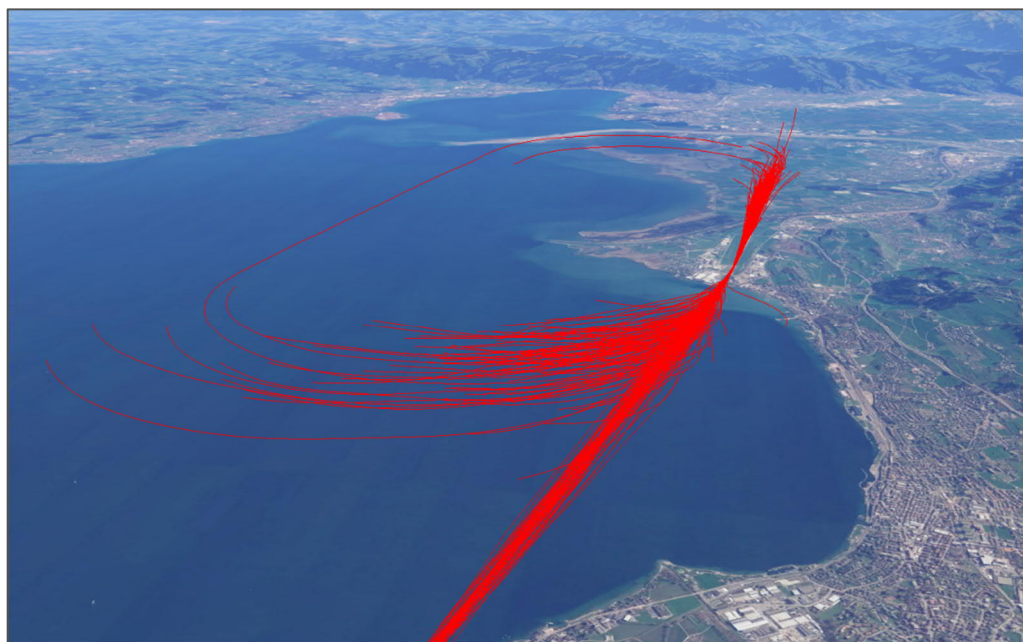


Abbildung 6: Aufgezeichnete Flugspuren

Timestamp [s]	A/C LATITUDE [degs]	A/C LONGITUDE [degs]	ABSOLUTE HEIGHT ABOVE SEALEVEL [ft]	CALIBRATED AIRSPEED [kts]	GROUND SPEED [kts]	TOTAL A/C VERTICAL SPEED [ft/sec]	A/C ROLL ANGLE [deg]	CORRECTED A/C HEADING [rad]	GROSS WEIGHT [lb]
25272,10132	47,49730921	9,509157456	2193,44	139,657	0	16,6941	-0,455207	2,56405	44534,4
25272,60132	47,49698598	9,509424786	2184,9	139,875	0	17,3553	-0,397863	2,53113	44534,4
25273,10132	47,49666757	9,509704029	2176,18	140,165	0	17,4261	-0,353938	2,50353	44534,4
25273,60132	47,49635367	9,509994106	2167,54	140,413	0	17,107	-0,338846	2,48265	44534,4
25274,10132	47,49604419	9,510294308	2159,1	140,666	0	16,6179	-0,330792	2,46508	44534,4
25274,60132	47,49573914	9,510604096	2150,95	140,87	0	16,0164	-0,326394	2,44721	44534,4
25275,10132	47,49543859	9,510923043	2143,1	141,069	0	15,3796	-0,325639	2,42803	44534,4
25275,60132	47,49514269	9,51125083	2135,58	141,2	0	14,7326	-0,327408	2,40718	44534,4
25276,10132	47,49485164	9,511587239	2128,38	141,333	0	14,0801	-0,330951	2,3849	44534,4
25276,60132	47,49456569	9,511932127	2121,51	141,4	0	13,4318	-0,335748	2,36152	44534,4
25277,10132	47,49428511	9,512285385	2114,96	141,479	0	12,7964	-0,341979	2,33746	44534,4
25277,60132	47,4940102	9,512646929	2108,72	141,492	0	12,1862	-0,349624	2,31295	44534,4
25278,10132	47,49374125	9,513016682	2102,78	141,526	0	11,6166	-0,358413	2,28806	44534,4
25278,60132	47,49347861	9,513394571	2097,1	141,495	0	11,0981	-0,367981	2,26271	44534,4
25279,10132	47,49322259	9,513790511	2091,67	141,498	0	10,6661	-0,375367	2,23742	44534,4
25279,60132	47,49297344	9,514174307	2086,41	141,435	0	10,436	-0,380079	2,21183	44534,4
25280,10132	47,49273138	9,514575626	2081,21	141,377	0	10,4028	-0,381943	2,18596	44534,4
25280,60132	47,49249658	9,514984018	2075,98	141,231	0	10,5237	-0,375692	2,15972	44534,4
25281,10132	47,49226906	9,515398973	2070,67	141,106	0	10,7141	-0,357741	2,13338	44534,4
25281,60132	47,49204862	9,515819827	2065,28	140,916	0	10,849	-0,324351	2,10794	44534,4
25282,10132	47,4918348	9,516245823	2059,82	140,779	0	10,9662	-0,29284	2,0852	44534,4
25282,60132	47,49162706	9,516676276	2054,31	140,614	0	11,0846	-0,272759	2,06707	44534,4
25283,10132	47,49142498	9,517110641	2048,69	140,481	0	11,4319	-0,268312	2,0531	44534,4
25283,60132	47,49122835	9,517548538	2042,82	140,314	0	12,0997	-0,274737	2,04056	44534,4
25284,10132	47,49103717	9,517989739	2036,55	140,167	0	12,9295	-0,283865	2,02641	44534,4
25284,60132	47,49085157	9,518434143	2029,88	139,978	0	13,7327	-0,2951	2,00958	44534,4
25285,10132	47,49067184	9,518881704	2022,82	139,808	0	14,4644	-0,319113	1,99065	44534,4
25285,60132	47,49049852	9,519332553	2015,42	139,608	0	15,0889	-0,347642	1,97019	44534,4
25286,10132	47,49033215	9,519786913	2007,71	139,491	0	15,8144	-0,361829	1,94955	44534,4
25286,60132	47,49017289	9,520244727	1999,45	139,393	0	17,3629	-0,368552	1,92882	44534,4
25287,10132	47,49002058	9,520705823	1990,19	139,417	0	19,6684	-0,3722	1,90611	44534,4

Abbildung 7: Beispiel-Datensatz der aufgezeichneten Trajektorien

IV.3.4 Die aufgezeichneten Trajektorien wurden mit einer Aufzeichnungsrate von weniger als 1 Hz aufgezeichnet und beinhalteten u.a. folgende Daten:

- Position (Latitude/Longitude in Dezimalgrad)
- Höhe (AMSL in ft)
- Fluggeschwindigkeit (Calibrated Airspeed in kt)
- Heading (Steuerkurs in Dezimalgrad)

IV.3.5 Darüber hinaus wurden die berücksichtigten Rahmenparameter gemäß Szenarien- und Durchführungsplan festgehalten.

IV.3.6 Plots der aufgezeichneten Trajektorien sind in Teil V dargestellt,

IV.4 Piloten-Befragung

IV.4.1 Die Nachbereitung der neun Simulator-Sessions beinhaltete u.a. ein De-Briefing sowie eine kurze Befragung der teilnehmenden Piloten.

IV.4.2 Hierfür wurde ein Fragebogen entwickelt, um sowohl relevante statistische Werte zu erfassen als auch die persönlichen Eindrücke der Piloten zu den Versuchsreihen auswerten zu können. Der Fragebogen befindet sich im Anhang C.

IV.4.3 Einige ausgewählte Resultate der Befragung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 4: Auswertung Piloten-Fragebogen (Ausgewählte Werte)

Frage	Mittelwert	Min	Max	Median
Flugstunden	4.150 h	300 h	14.500 h	2.800 h
Anteil IFR	98%	98% ⁵	99%	98%
Vorerfahrung in St. Gallen (Anflüge)	2,83	0	30	0

IV.4.4 Wie die Auswertung der Fragebögen zeigt, deckt die Flugerfahrung der Piloten in absolvierten Flugstunden das gesamte Spektrum von geringer bis viel Erfahrung (ca. 300 h bis 14.500 h) auf dem jeweiligen Flugzeugmuster ab.

IV.4.5 Die teilnehmenden Piloten fliegen im Wesentlichen Instrumentenanflüge. Der Anteil an durchgeführten Sichtanflügen ist bei den teilnehmenden Piloten sehr gering und betrifft fast ausschließlich private Flüge abseits der beruflich absolvierten Flüge.

⁵ Im Fragebogen gab es einen Ausreißer von 2% Instrumentenanflüge. Dies lässt die Vermutung zu, dass die Frage hier womöglich fehlinterpretiert wurde. Es erscheint realistischer, dass ein IFR-Anteil von 98% gemeint ist.

- IV.4.6 15 von 18 Piloten hatten keinerlei Vorerfahrung am Flugplatz St. Gallen. Drei Piloten hatten geringe bis mäßige Vorerfahrung hinsichtlich durchgeführter Anflüge auf den Flugplatz St. Gallen. (1-mal, 20-mal bzw. 30-mal)
- IV.4.7 Weitere Ergebnisse der Befragung umfassen:
- 4 von 18 Piloten (22%) haben angegeben, regelmäßig an vergleichbaren Flugplätzen wie St. Gallen zu operieren
 - 6 von 18 Piloten (33%) ist aufgefallen, dass es sich um eine Sichtanfluglandebahn (Non-instrument Runway) handelt
 - 6 von 18 Piloten (33%) ist aufgefallen, dass es sich um einen Code-Zahl 2 Flugplatz handelt
- IV.4.8 Alle 18 befragten Piloten schätzten die Anflüge auf den Flugplatz St. Gallen überwiegend als „anspruchsvoll“, aber „unkritisch“ ein. Die Hindernissituation am Platz wurde als „eng“ und „ungewohnt“ eingestuft. Eine ausführliche Vorbereitung der Anflüge wurde von den Befragten als notwendig erachtet, insbesondere bei marginalen Sichtbedingungen (Low Visibility).
- IV.4.9 Die häufigsten genannten Erwartungen der Piloten an Instrumentenflug- bzw. Sichtfluglandebahnen sind eine „ausreichende Hindernisfreiheit“ und eine „eindeutige Identifizierung der Hindernisse am Minimum“.

Teil V Statistische Auswertung

V.1 Allgemeines

- V.1.1 Alle geplanten neun Simulator-Sessions konnten erfolgreich abgeschlossen werden. Es wurden insgesamt 267 Trajektorien aufgezeichnet. Bei drei Trajektorien erfolgte nur ein Überflug, so dass insgesamt 264 Trajektorien ausgewertet werden konnten.
- V.1.2 Die Trajektorien wurden aus dem Flugsimulator in Form von geografischer Länge und Breite bezogen auf das WGS 84 Referenzsystem ausgelesen und im Nachgang auf die Koordinaten und Höhe der Schwelle 10 der Start- und Landebahn (SLB) mit der geografischen Ausrichtung von $99,75^\circ$ transformiert. Der horizontale und vertikale Flugverlauf ist in den folgenden Abbildungen dargestellt.

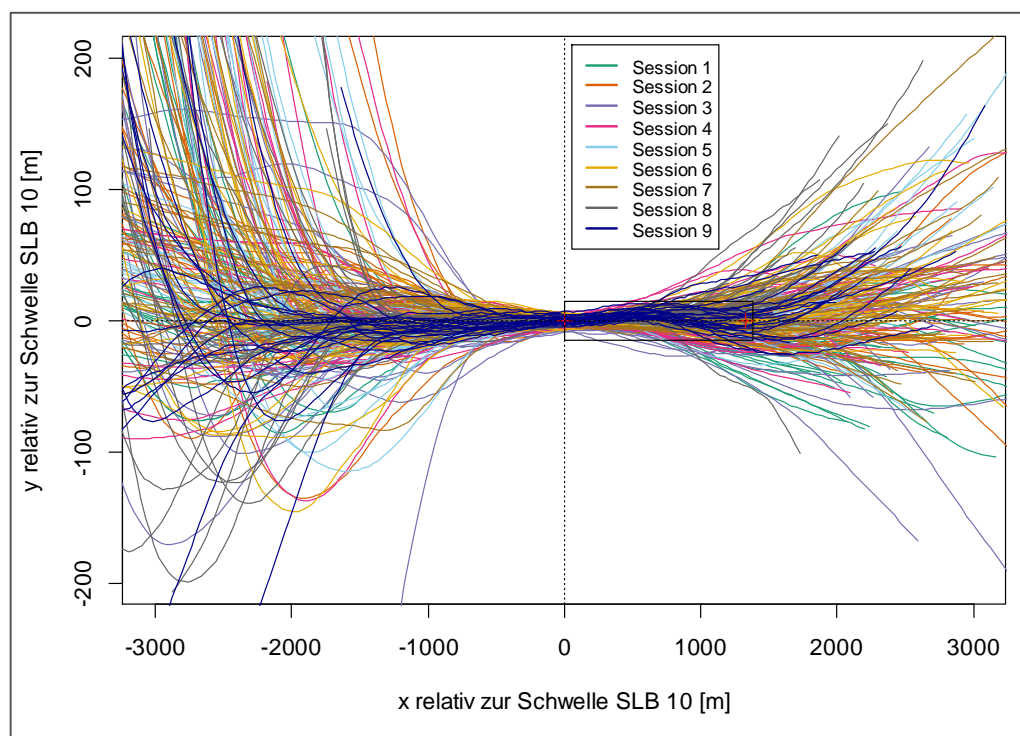


Abbildung 8: Horizontaler Flugverlauf bezogen auf die Schwelle der SLB 10

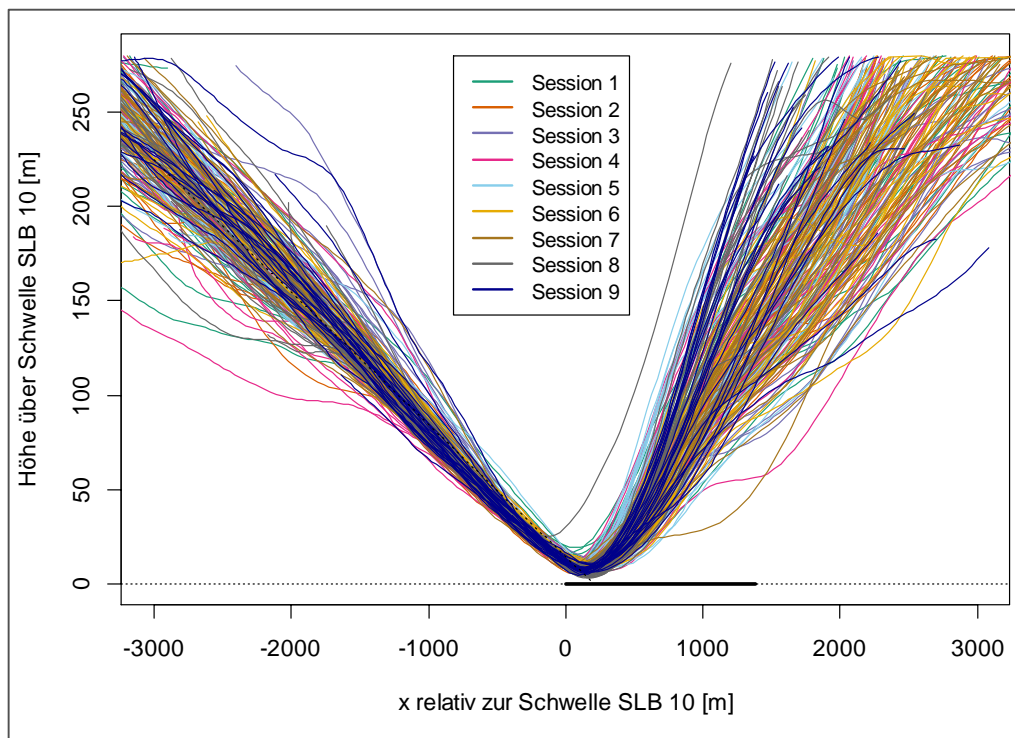


Abbildung 9: Vertikaler Flugverlauf bezogen auf die Schwelle der RWY 10

V.1.3

In der folgenden Abbildung ist der horizontale und vertikale Flugverlauf nur innerhalb der Länge des SLB-Streifens für die Landung auf der SLB 10 dargestellt.

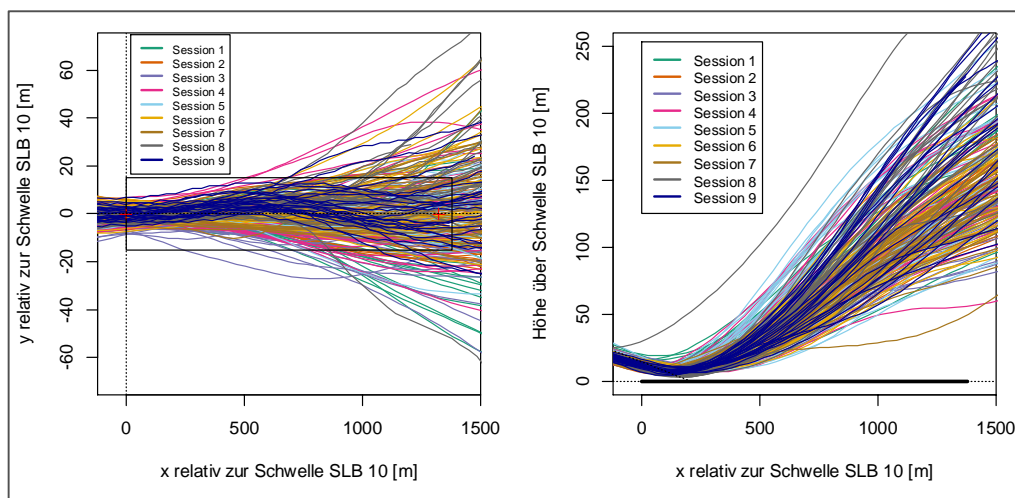


Abbildung 10: Horizontaler und vertikaler Flugverlauf bezogen auf die Schwelle der RWY 10 innerhalb des SLB-Streifens

V.1.4

Für die weitere Auswertung der Trajektorien Daten für die Abweichung innerhalb des SLB-Streifens ist es notwendig ein Höhenlimit festzulegen, bis zu dem die Daten auf den SLB-Streifen bezogen ausgewertet werden. Als Höhenlimit wird im Folgenden der Wert 45 m verwendet, da dies das obere Ende der seitlichen Übergangsfläche gemäß ICAO- und EASA-Vorgaben sowie der Beginn der inneren Horizontalfläche ist.

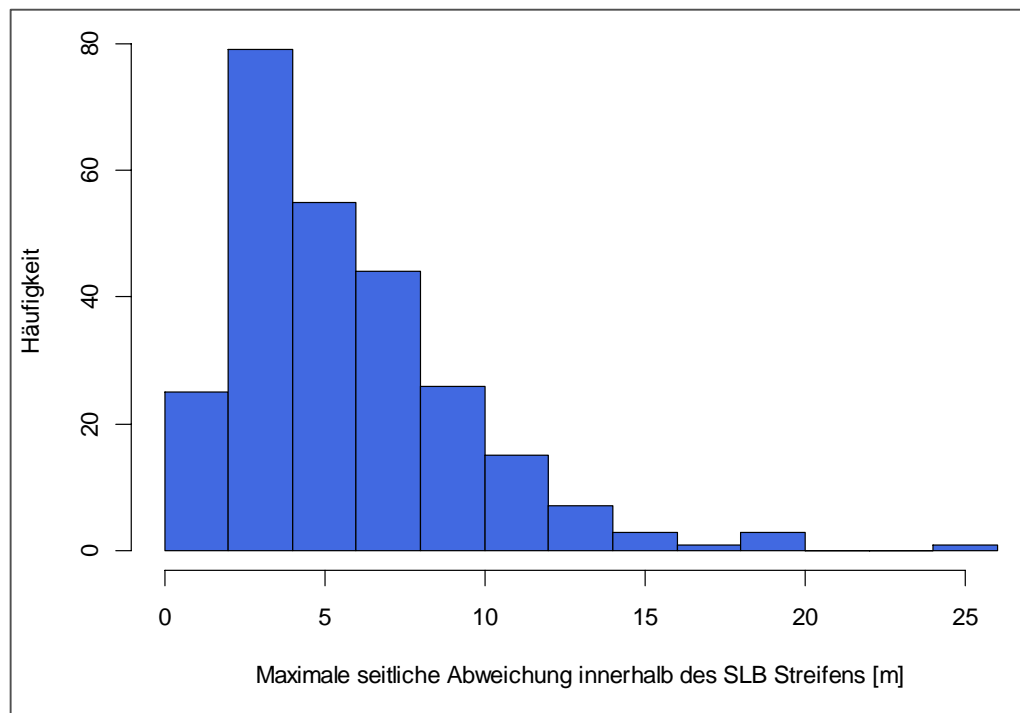


Abbildung 11: Histogramm der maximalen seitlichen Abweichung innerhalb des SLB-Streifens unterhalb einer Höhe von 45 m

V.1.5 In obiger Abbildung ist das Histogramm der maximalen seitlichen Abweichung innerhalb des SLB-Streifens unterhalb einer Höhe von 45 m für die 264 Trajektorien dargestellt. Die maximal aufgetretene Abweichung während der 9 Simulatorsitzungen beträgt 24,3 m in einer Höhe von 42,5 m über Grund.

V.2 Statistisches Modell

V.2.1 Da auf Basis der Daten aus den Flugsimulatorsitzungen Rückschlüsse hinsichtlich der erforderlichen SLB-Streifenbreite gezogen werden sollen, ist es notwendig, den gesamten Flugverlauf innerhalb des SLB-Streifens zu betrachten. Da bei allen simulierten Flügen vor der Landung durchgestartet wurde, ist es notwendig, die Daten auf die seitliche Übergangsfläche zu beziehen. Als Basis dient die seitliche Übergangsfläche für Sichtanfluglandebahnen und Code-Zahl 2 mit einer (Gesamt-)SLB-Streifenbreite von 80 m und einer Neigung der Fläche von 20%. In der folgenden Abbildung ist der vertikale Flugverlauf innerhalb des SLB-Streifens unterhalb einer Höhe von 45 m zusammen mit der seitliche Übergangsfläche für Code-Zahl 2 und Code-Zahl 3 (Sichtanfluglandebahnen) dargestellt.

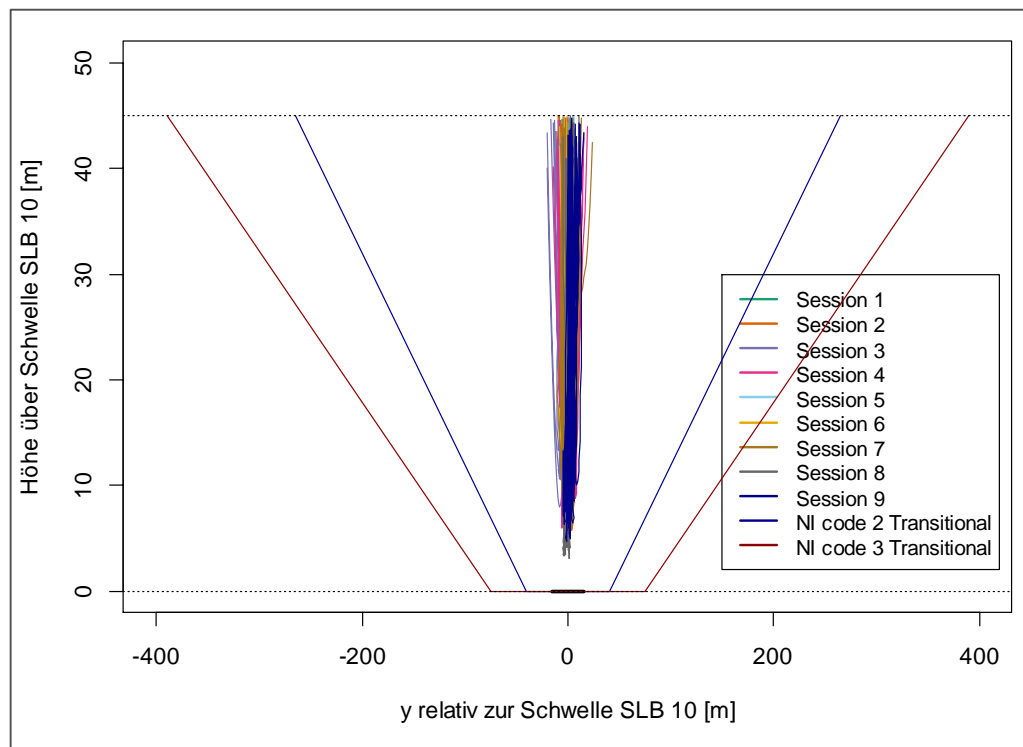


Abbildung 12: Vertikaler Flugverlauf innerhalb des SLB-Streifens und seitliche Übergangsfläche für Code-Zahl 2 und 3

- V.2.2 Für die weitere Auswertung werden die seitlichen Abweichungen auf die Gesamtbreite zwischen Mittellinie der SLB und der seitlichen Übergangsfläche für Code-Zahl 2 bezogen – abzüglich der Hälfte der maximalen Flügelspannweite eines Code C Luftfahrzeuges ($36 \text{ m} / 2 = 18 \text{ m}$). Befindet sich ein Luftfahrzeug direkt über der Mittellinie der SLB, so ergibt sich ein Wert von 0%. Befindet sich ein Code C Luftfahrzeug (36 m Spannweite) mit der Flügelspitze an der seitlichen Übergangsfläche, ergibt sich ein Wert von 100%. Ein solches Vorgehen wurde von der ICAO ebenso in der Balked Landing Study angewendet (ICAO Circular 301).
- V.2.3 In Abbildung 18 ist das Histogramm der relativen maximalen seitliche Abweichung innerhalb der seitlichen Übergangsfläche (Code-Zahl 2) dargestellt. Die maximal aufgetretene Abweichung während der 9 Simulatorsitzungen beträgt 14,5%.
- V.2.4 Für die statistische Modellierung wird die Extremwerttheorie verwendet. Dieses Werkzeug ist ein Teilgebiet mathematischen Statistik, welche u. a. von der ICAO im Circular 301 (New Larger Aeroplanes — Infringement of the Obstacle Free Zone: Operational Measures and Aeronautical Study) und von der FAA und Boeing für die Modellierung der seitlichen Abweichung beim Rollen von Luftfahrzeugen auf Rollbahnen verwendet wurde.

V.2.5 Die wesentliche Aussage der Extremwerttheorie ist (Theorem von Fisher und Tippett), dass die Maximalwerte einer Zufallsvariablen⁶ mit einer unbekanntem Verteilung zu einer der drei Extremwertverteilungen (Gumbel, Fréchet und Weibull) konvergieren. Diese drei Extremwertverteilungen können in einer verallgemeinerten Extremwertverteilung zusammengefasst werden. Eine ausführlichere Darstellung der Extremwerttheorie und des Risikomodells findet sich im Anhang B.

V.3 Modellierung und Auswertung

V.3.1 Auswertung der Daten bzgl. der Szenarien und Flugzeugtypen

V.3.1.1 Für die Auswertung werden insgesamt 12 Szenarien unterschieden (eine Unterscheidung zwischen den beiden Piloten erfolgte bei der Auswertung nicht). Mit dem Luftfahrzeug Bombardier CRJ 200 wurden alle 12 Szenarien geflogen und mit dem Luftfahrzeug Bombardier Dash8 Q400 wurden nur die ersten 6 Szenarien mit visuellen Platzrunden geflogen. In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Szenarien aufgeführt (siehe auch Teil III sowie Anhang A).

Tabelle 5: Übersicht über die ausgewerteten Szenarien

Szenarien Nummer	Anflugart	Wolkenuntergrenze	Horizontale Sicht	Wind
1	Visual	1200 ft AGL (2500 ft AMSL)	5.000 m	-
2	Visual	1200 ft AGL (2500 ft AMSL)	5.000 m	352°/15 kt (14,4 kt cross + 4,3 kt tail wind)
3	Visual	1200 ft AGL (2500 ft AMSL)	2.400 m	-
4	Visual	1200 ft AGL (2500 ft AMSL)	2.400 m	352°/15 kt (14,4 kt cross + 4,3 kt tail wind)
5	Visual	1200 ft AGL (2500 ft AMSL)	1.500 m	-
6	Visual	1200 ft AGL (2500 ft AMSL)	1.500 m	352°/15 kt (14,4 kt cross + 4,3 kt tail wind)
7	Instrument	1000 ft AGL (2300 ft AMSL)	5.000 m	352°/15 kt (14,4 kt cross + 4,3 kt tail wind)
8	Instrument	1000 ft AGL (2300 ft AMSL)	2.400 m	352°/15 kt (14,4 kt cross + 4,3 kt tail wind)
9	Instrument	1000 ft AGL (2300 ft AMSL)	1.500 m	352°/15 kt (14,4 kt cross + 4,3 kt tail wind)
10	Instrument	500 ft AGL (1800 ft AMSL)	5.000 m	352°/15 kt (14,4 kt cross + 4,3 kt tail wind)
11	Instrument	500 ft AGL (1800 ft AMSL)	2.400 m	352°/15 kt (14,4 kt cross + 4,3 kt tail wind)
12	Instrument	500 ft AGL (1800 ft AMSL)	1.500 m	352°/15 kt (14,4 kt cross + 4,3 kt tail wind)

⁶ Unter der Voraussetzung, dass die Daten der Zufallsvariablen unabhängig und identisch verteilt sind.

V.3.1.2 In der folgenden Abbildung ist die Anzahl an Datensätze pro Szenario und Flugzeugtyp ersichtlich. Die ersten vier Szenarien sind häufiger vertreten, da diese bei noch verbleibender Simulatorzeit wiederholt wurden. Bei den beiden Simulatorsitzungen mit der Q400 wurden nur die Szenarien 1 bis 6 abgeflogen.

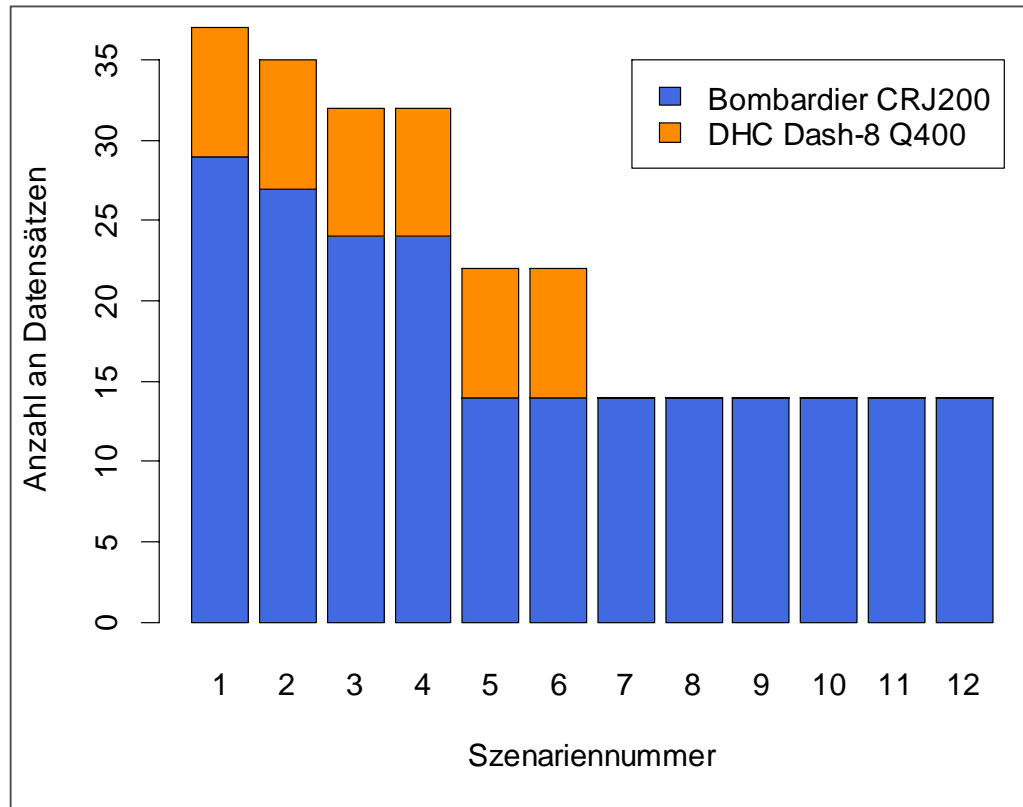


Abbildung 13: Anzahl an Datensätze pro Szenario und Flugzeugtyp

V.3.1.3 In der folgenden Abbildung sind die Anzahl an Datensätzen pro Anflugart, Horizontaler Sicht, Wolkenuntergrenze und Windbedingung dargestellt.

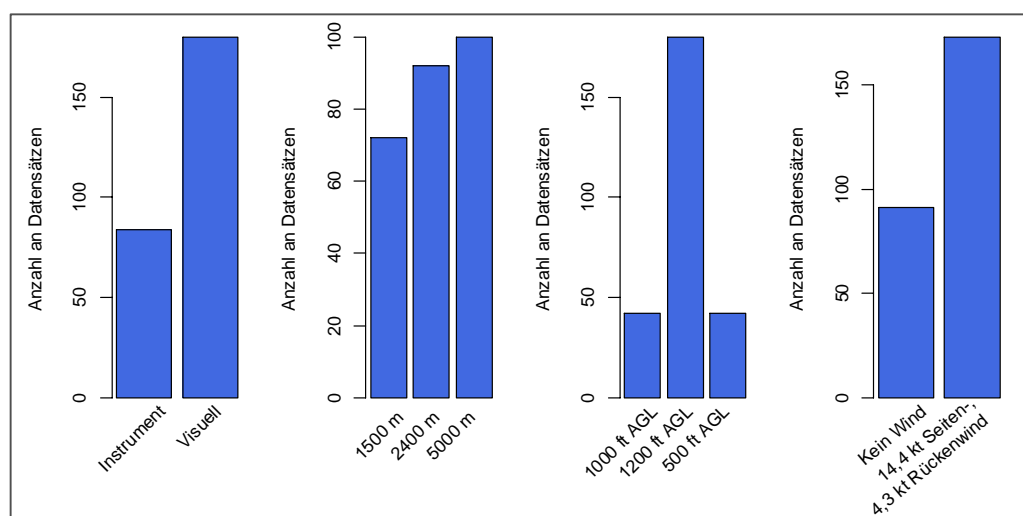


Abbildung 14: Anzahl an Datensätze pro Anflugart, Horizontaler Sicht, Wolkenuntergrenze und Windbedingung

V.3.1.4 In der folgenden Abbildung ist der Box-plot des Relativwertes der seitlichen Abweichung in der seitlichen Übergangsfläche in Abhängigkeit zum Flugzeugtypen dargestellt. Der sogenannte Box-plot ist eine grafische Darstellung der Verteilung der Daten. Die Maße des Rechtecks sind dadurch bestimmt, dass 25% (unteres Quartil) der Daten kleiner und 75% (oberes Quartil) der Daten größer sind. Die horizontale Linie in der Mitte des Rechtecks stellt den Median dar, bei dem 50 % der Daten größer und 50% der Daten kleiner sind. Die Länge der vertikalen Linie beträgt das 1,5 fache des Abstandes zwischen dem unteren und dem oberen Quartil (Interquartilsabstand) und deckt ungefähr einen Bereich von 95% der Daten ab. Daten außerhalb der vertikalen Linie werden als Punkte dargestellt und dienen der Identifikation von möglichen Ausreißern.

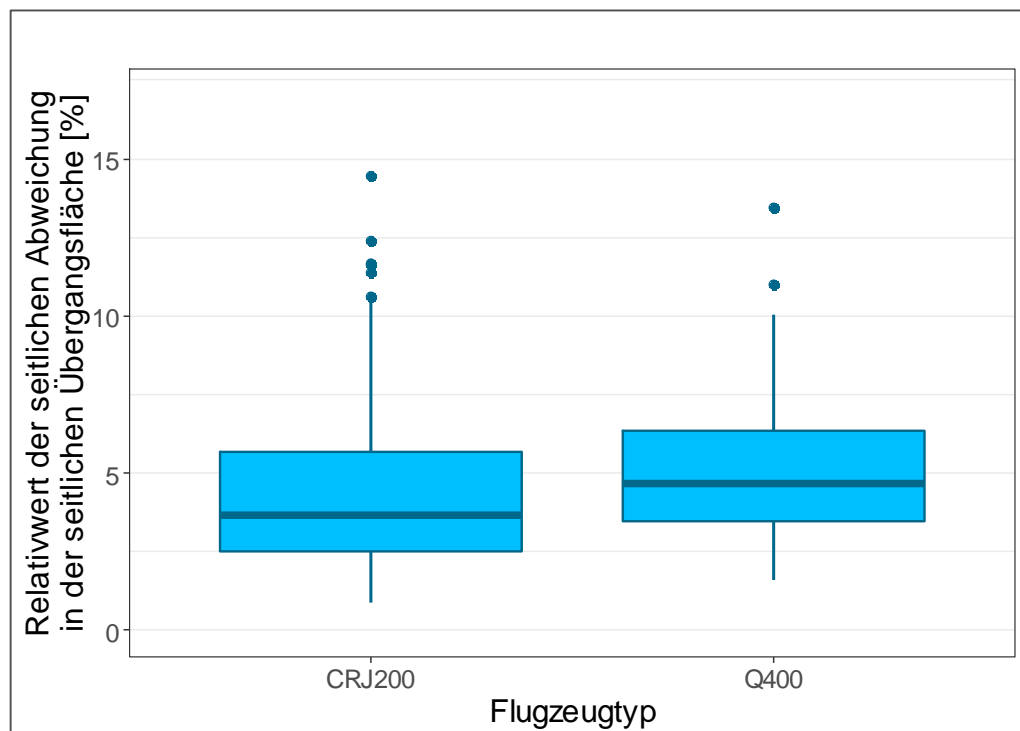


Abbildung 15: Box-plot des Relativwertes der seitlichen Abweichung in Abhängigkeit zum Flugzeugtypen

V.3.1.5 Aus der Abbildung ist ein grafischer Unterschied zwischen den beiden Flugzeugtypen ersichtlich. Ein statistischer Test wurde verwendet, um numerisch zu überprüfen, ob es einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Extremwerten beider Flugzeugtypen existiert. Ein statistischer Test⁷ hat dabei gezeigt, dass ein statistisch signifikanter Einfluss des Flugzeugtyps auf die Extremwerte vorhanden ist ($\chi^2 = 9,2$, df-Differenz = -1, p-Wert = 0,0024).

⁷ Ein statistisches Modell namens "Vector Generalized Linear Model" mit einer Extremwertverteilungsfamilie wurde an die Daten angepasst, und für das angepasste Modell der Unterschied zu einem Modell ohne den untersuchten Parameter (Nullmodell) berechnet, für das ein statistischer Test (Likelihood-Quotienten-Test) angewandt wurde, um zu prüfen, ob das statistische Modell verwendet werden kann.

V.3.1.6 Ein Unterschied zwischen den Flugzeugtypen – es handelt sich um Luftfahrzeuge mit Turbinen-Strahltriebwerken und mit Turbinen-Propellertriebwerken – ist aufgrund des unterschiedlichen Verhaltens der Antriebstechnologie nachvollziehbar.

V.3.1.7 In der folgenden Abbildung ist der Box-plot des Relativwertes der seitlichen Abweichung in der seitlichen Übergangsfläche in Abhängigkeit zu den Szenarien dargestellt. Graphisch ist eine gewisse Differenz zwischen den Szenarien auszumachen, die aber nicht statistisch signifikant sind ($\chi^2 = 8,4$, df-Differenz=-11, p-Wert = 0,67).

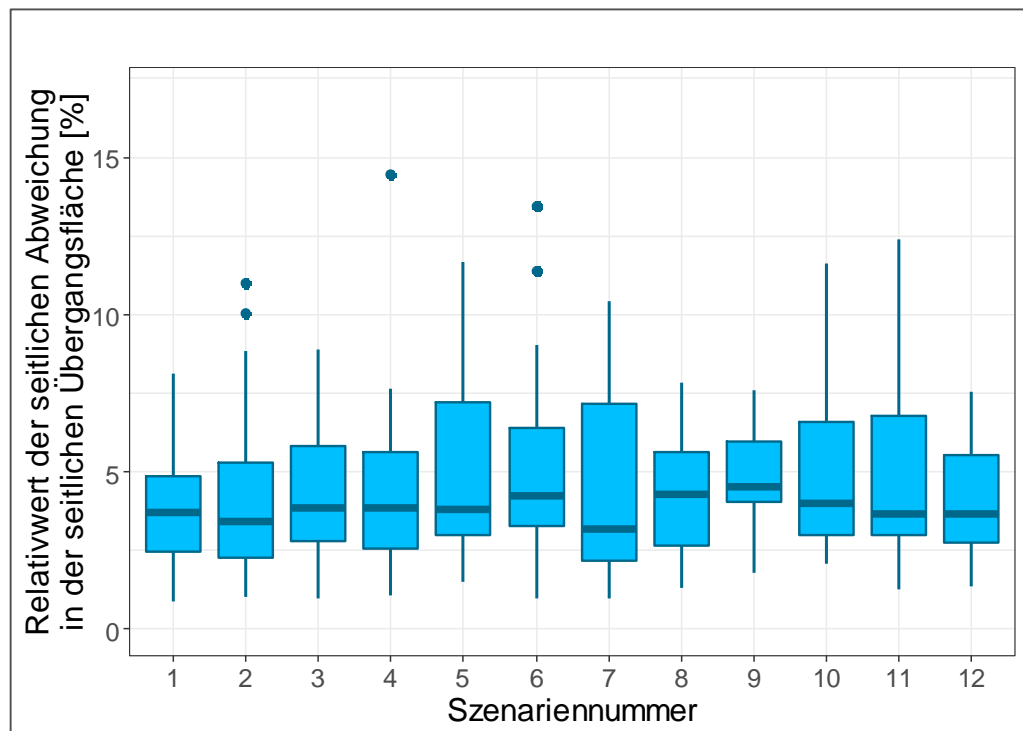


Abbildung 16: Box-plot des Relativwertes der seitlichen Abweichung in Abhängigkeit zu den Szenarien

V.3.1.8 In der folgenden Abbildung ist der Box-plot des Relativwertes der seitlichen Abweichung in der seitlichen Übergangsfläche in Abhängigkeit zur Anflugart, Horizontalen Sicht, Wolkenuntergrenze und Windbedingung dargestellt. Die Unterschiede bei der Anflugart, der horizontalen Sicht, der Wolkenuntergrenze und der Windbedingung sind nur gering und statistisch nicht signifikant⁸.

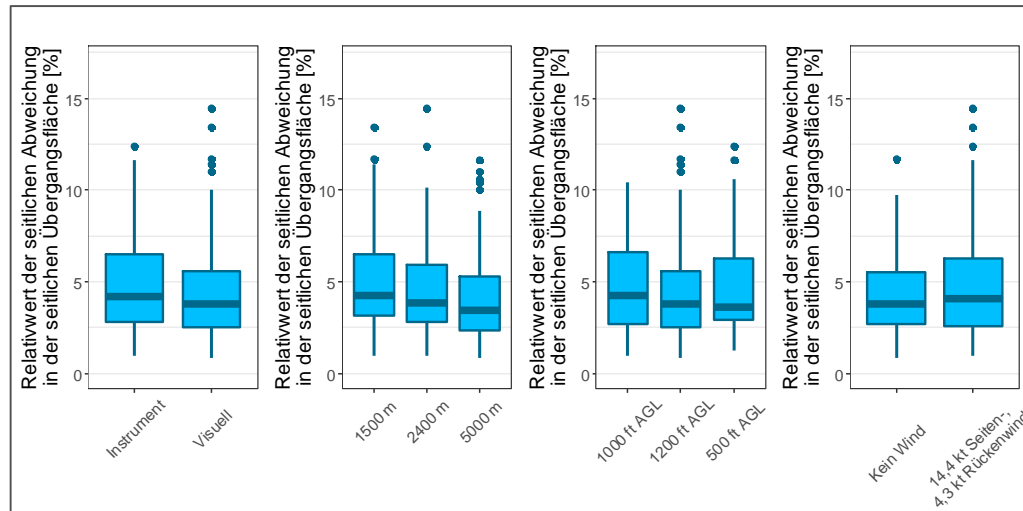


Abbildung 17: Box-plot des Relativwertes der seitlichen Abweichung in Abhängigkeit zur Anflugart, horizontalen Sicht, Wolkenuntergrenze und Windbedingung

V.3.1.9 Für die statistische Bestimmung der erforderlichen SLB-Streifenbreite im folgenden Kapitel wird – unabhängig von der statistischen Signifikanz – nicht nach den einzelnen Parametern differenziert. Das vorliegende Forschungsvorhaben soll Erkenntnisse über eine mögliche Reduzierung der SLB-Streifenbreite von Code-Zahl 3 Flugplätze mit Sichtanfluglandebahnen gewinnen. Insofern ist eine Differenzierung nicht zielführend, da der SLB-Streifen alle Luftfahrzeuge schützen soll. Falls die SLB-Streifenbreite nach anderen Auslegungsparametern als der Code-Zahl ausgelegt werden soll, so wäre jedoch eine differenzierte Betrachtung für signifikante Parameter vorzunehmen.

⁸ Anflugart: $\chi^2 = 0,6$, df-Differenz=-1, p-Wert = 0,46
 Horizontalen Sicht: $\chi^2 = 4,2$, df-Differenz=-2, p-Wert = 0,12
 Wolkenuntergrenze: $\chi^2 = 0,9$, df-Differenz=-2, p-Wert = 0,65
 Windbedingung: $\chi^2 = 0,04$, df-Differenz=-1, p-Wert = 0,83

V.3.2 Statistische Bestimmung der erforderlichen SLB-Streifenbreite

V.3.2.1 Aus der Anwendung der Extremwerttheorie auf die maximale seitliche Abweichung innerhalb der Länge des SLB-Streifens unterhalb einer Höhe von 45 m ergibt sich die in der folgenden Abbildung in rot dargestellte angepasste Extremwertverteilung.

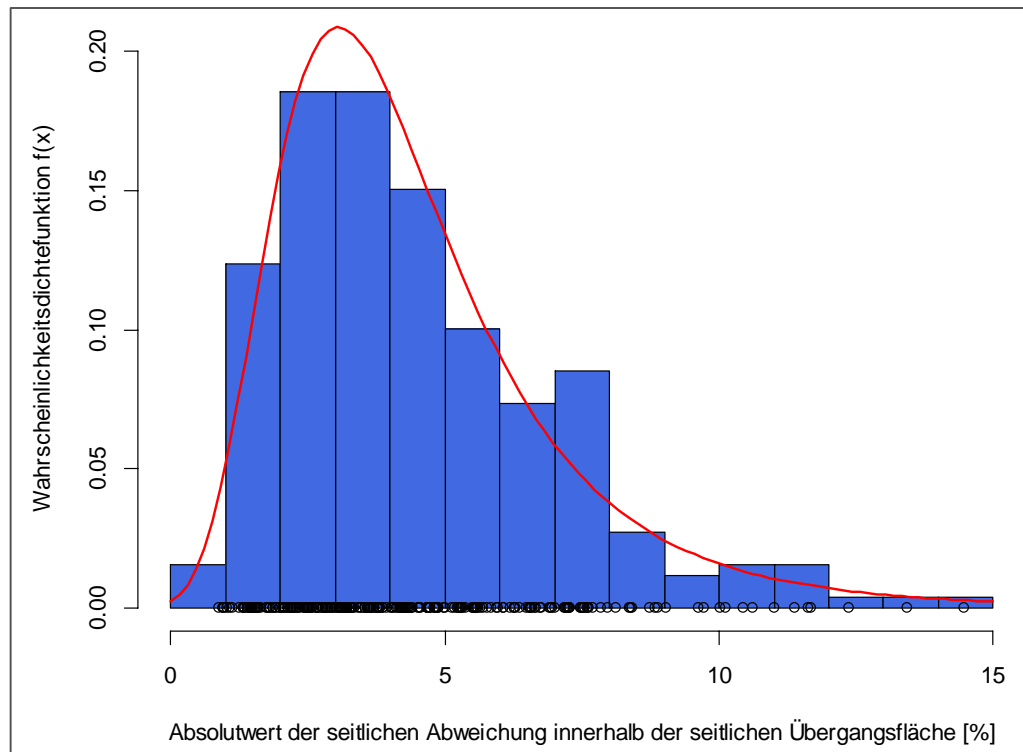


Abbildung 18: Histogramm der maximalen seitlichen Abweichung innerhalb der seitlichen Übergangsfläche und der angepassten Extremwertverteilung (in rot dargestellt)

V.3.2.2 In der folgenden Abbildung ist die kummulierte Wahrscheinlichkeit basierend auf der zuvor angepassten Extremwertverteilung dargestellt, den SLB-Streifen während eines späten Durchstartens seitlich zu verlassen. Wird die kummulierte Wahrscheinlichkeit mit der Wahrscheinlichkeit für ein spätes Durchstarten multipliziert, so ergibt sich die gesuchte Wahrscheinlichkeit, den SLB-Streifen während einer Landung zu verlassen.

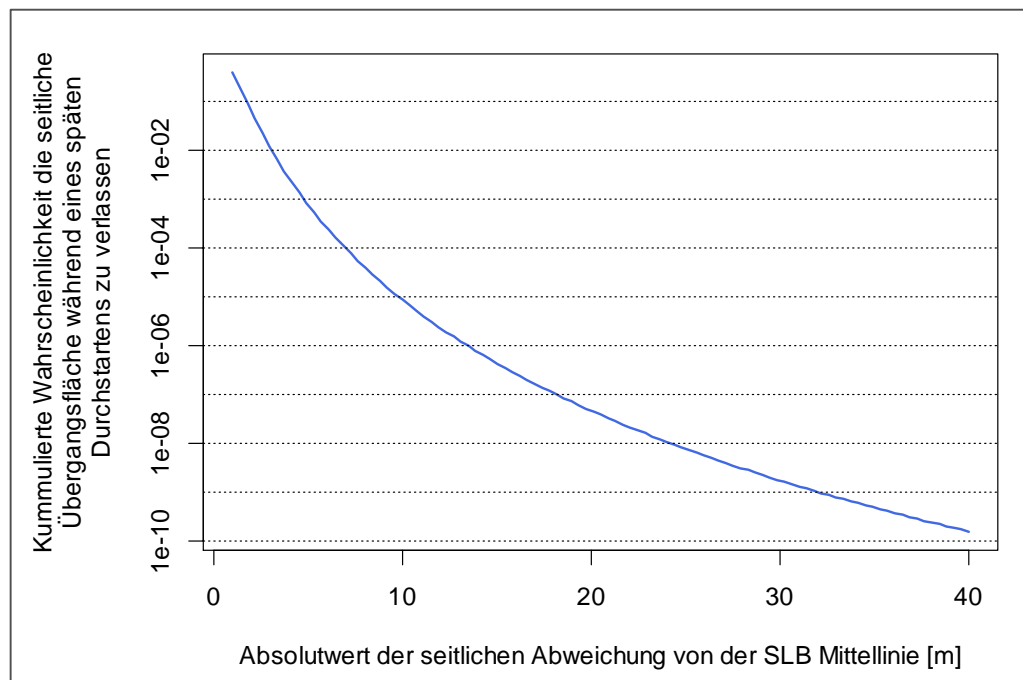


Abbildung 19: Halblogarithmische Darstellung der kumulierten Wahrscheinlichkeit den SLB-Streifen während eines späten Durchstartens seitlich zu verlassen

V.3.2.3 Zur Ableitung von absoluten Werten ist die Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit unterhalb der Entscheidungshöhe durchzustarten (balked landing, abgebrochene Landung) zu berücksichtigen. In der zuvor zitierten Studie "New Larger Aeroplanes — Infringement of the Obstacle Free Zone: Operational Measures and Aeronautical Study" wurde die Wahrscheinlichkeit unterhalb der Entscheidungshöhe durchzustarten mit $1,9 \cdot 10^{-3}$ abgeschätzt. Mit dieser Wahrscheinlichkeit ergibt sich der in der folgenden Abbildung dargestellte Verlauf der kumulierten Wahrscheinlichkeit, den SLB-Streifen während einer Landung seitlich zu verlassen.



Abbildung 20: Halblogarithmische Darstellung der kumulierten Wahrscheinlichkeit den SLB-Streifen während einer Landung seitlich zu verlassen

- V.3.2.4 Wird ein Sicherheitszielwert von 1 Unfall pro 10 Millionen Flugbewegungen ($1 \cdot 10^{-7}$) verwendet, wie er z.B. in ICAO Annex 10 (Volume 1 – Attachment C) und ICAO Doc 9365 „Manual of All-Weather Operations“ (Appendix C) verwendet wird, so ergäbe sich aus der Auswertung mit den Daten - wie auch in Tabelle 6 aufgeführt – eine erforderliche SLB-Streifenbreite von 51,4 m. Ein Maß für die statistische Ungenauigkeit liefert das sogenannte Konfidenzintervall. Bei einem 95% Konfidenzintervall liegen 95% aller Werte in diesem Intervall und 5% (Irrtumswahrscheinlichkeit) liegen außerhalb. Unter Berücksichtigung einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% ergibt sich ein Wert von 59,0 m als erforderliche SLB-Streifenbreite für Code C Luftfahrzeuge für den Fall eines verspäteten Durchstartens.
- V.3.2.5 Wird berücksichtigt, dass der zuvor aufgeführte Sicherheitszielwert ($1 \cdot 10^{-7}$) für den gesamten Flug gilt, und wird berücksichtigt, dass während der Landung etwa 40-50% aller Unfälle passieren, so ergibt sich als Sicherheitszielwert 0,4 Unfälle pro 10 Millionen Flugbewegungen ($4 \cdot 10^{-8}$). Für diesen Sicherheitszielwert ergibt sich folglich die erforderliche SLB-Streifenbreite von 53,6 m, wie auch in Tabelle 6 aufgeführt. Unter Berücksichtigung einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% ergibt sich ein Wert von 63,5 m als erforderliche SLB-Streifenbreite für Code C Luftfahrzeuge für den Fall eines verspäteten Durchstartens.

V.3.2.6 Ein strengerer Sicherheitszielwert als die beiden zuvor aufgeführten wurde von der ICAO im A-SMGCS Manual (Doc 9830) Appendix D hergeleitet. Für die Entwicklung von approach- und landing-required navigation performance (RNP) wurde ein Gesamtsicherheitszielwert von $1.5 \cdot 10^{-7}$ verwendet, und für Endanflug und Landung beträgt der Sicherheitszielwert $1 \cdot 10^{-8}$. Für diesen Sicherheitszielwert ergibt sich folglich die erforderliche SLB-Streifenbreite von 57,5 m, wie auch in Tabelle 6 aufgeführt. Unter Berücksichtigung einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% ergibt sich ein Wert von 71,8 m als erforderliche SLB-Streifenbreite für Code C Luftfahrzeuge für den Fall eines verspäteten Durchstartens.

Tabelle 6: Erforderliche Gesamt-SLB-Streifenbreite für verschiedene Sicherheitszielwerte

Sicherheitszielwert	Erforderliche SLB-Streifenbreite für Code C	Geschätzter Standard-fehler ⁹	Obere Grenze eines 95% Konfidenzintervall für die erforderliche SLB-Streifenbreite für Code C
$1 \cdot 10^{-7}$	51,4 m	4,1 m	59,0 m
$4 \cdot 10^{-8}$	53,6 m	5,5 m	63,5 m
$1 \cdot 10^{-8}$	57,5 m	8,1 m	71,8 m

V.3.2.7 Umgekehrt sind in folgender Tabelle die ermittelten Wahrscheinlichkeiten für bestimmte SLB-Streifenbreiten zwischen 60 m (Code-Zahl 1) und 150 m (Code-Zahl 3 und 4) aufgeführt.

Tabelle 7: Wahrscheinlichkeiten für verschiedene Gesamt-SLB-Streifenbreiten

Streifenbreite für Code C	Ermittelte Wahrscheinlichkeit
50 m	1.83E-07
55 m	2.36E-08
60 m	4.44E-09
65 m	1.09E-09
70 m	3.21E-10
75 m	1.10E-10
80 m und mehr	<1.0E-10

⁹ Der Standardfehler ist ein Maß für die Abweichung eines mit einer Stichprobe (in dem Fall die Flugversuche) geschätzten Wertes vom tatsächlichen Wert. Je mehr Flugversuche durchgeführt werden, umso geringer wird der Standardfehler. Da für die erforderliche SLB-Streifenbreite bisher keine theoretische statistische Verteilung existiert, mit der der Standardfehler hätte berechnet werden können, wurde das Bootstrap-Verfahren (eine statistische Methode der Stichprobenwiederholung) mit 9999 Wiederholungen verwendet.

- V.3.2.8 Es sei darauf hingewiesen, dass die zuvor bestimmte erforderliche SLB-Streifenbreite sich ausschließlich auf ein verspätetes Durchstarten („overfy“) bezieht und andere Gefahren wie das seitliche Abweichen von der SLB während des Starts oder der Landung („veer-off“) nicht berücksichtigen kann.
- V.3.2.9 Bezogen auf die Gefahr eines verspäteten Durchstartens ergibt sich somit, dass die erforderliche Gesamt-SLB-Streifenbreite von 140 m für Luftfahrzeuge mit Code-Zahl 1 und 2 auch für Code-Zahl 3 angewendet werden könnte.

V.4 Beurteilung der statistischen Aussagekraft

- V.4.1 Aus den neun durchgeführten Simulator-Sessions mit 18 Piloten haben sich insgesamt 264 auswertbare Trajektorien ergeben.
- V.4.2 Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Szenarien konnte nicht identifiziert werden, wohl aber zwischen den Flugzeugtypen. Dabei sind die maximal zu erwartenden Abweichungen bei dem Luftfahrzeug Dash8 Q400 etwas höher als bei dem Luftfahrzeug CRJ 200 (1,2 m bei $1 \cdot 10^{-7}$, 1,6 m bei $4 \cdot 10^{-8}$ und 2,3 m bei 57,5 m). Die statistische Relevanz der Luftfahrzeugtypen findet jedoch bei den derzeit gültigen Vorgaben zur SLB-Streifenbreite keine Rolle.
- V.4.3 Die Anzahl an Datensätze für die Bestimmung der SLB-Streifenbreite für einen Sicherheitszielwert von $1 \cdot 10^{-7}$ kann ausgehend vom geschätzten Standardfehler als ausreichend betrachtet werden. Für einen Sicherheitszielwert von $1 \cdot 10^{-8}$ ist der geschätzte Standardfehler (mittlere Abweichung des geschätzten von dem tatsächlichen Wert) von 8 m dagegen relativ hoch. Falls dieser Sicherheitszielwert verwendet werden sollte, empfiehlt es sich noch weitere Daten zu erheben und damit den Standardfehler zu reduzieren.
- V.4.4 Bei der Pilotenauswahl wurde aufgrund der gewählten Luftfahrzeugmuster ausschließlich auf Piloten mit einer CPL oder ATPL Lizenz zurückgegriffen. Bei kleineren Luftfahrzeugmustern sind auch Piloten mit einer Private Pilot License üblich, deren Flugerfahrung sich deutlich von den Piloten mit einer CPL oder ATPL unterscheiden kann. Dem entsprechend könnten sich die Trajektorien von kleineren Luftfahrzeugen mit wenig erfahrenen Privatpiloten deutlich von den Trajektorien der größeren Luftfahrzeugmuster unterscheiden, wobei hierzu keine generelle Aussage getroffen werden kann. Da die Spannweite der kleineren Luftfahrzeugmuster aber auch deutlich geringer ist, dürfte deren Einfluss auf die benötigte SLB-Streifenbreite von Code-Zahl 3 Flugplätzen auch folglich gering sein.

- V.4.5 Aufgrund des Designs der Szenarien mit überwiegend schlechten Sicht- und Windbedingungen kann davon ausgegangen werden, dass der normale operative Betrieb gut abgedeckt ist. Der nicht normale Betrieb (Notfallbetrieb), der u.a. die folgenden Punkte enthält, ist dagegen nicht abgedeckt:
- Feuer an Bord des Luftfahrzeugs
 - Ausfall oder Fehlfunktion von Flugzeugkomponenten (z.B. Triebwerksausfall oder Fehlfunktion des Fahrwerks)
 - Mangel an Treibstoff (oder anderen wesentlichen Verbrauchssubstanzen)
 - Mangelnde Orientierung der Cockpitbesatzung
 - Menschliche Fehler der Cockpitbesatzung aufgrund von besonderen Umständen (z.B. Krankheit)
 - Beschädigung des Luftfahrzeugs (z.B. als Folge einer Kollision, eines Vogelschlags oder extremer Wetterbedingungen)
 - Illegale Aktivität (z.B. Bombendrohung, mutwillige Beschädigung oder Flugzeugentführung)
- V.4.6 Die zuvor genannten Punkte sind für sich jeweils sehr speziell und können sich in ihrer jeweiligen Ausprägung sehr stark unterscheiden, so dass es schwierig ist, diese in Szenarien zu normieren. Die Folge wäre eine sehr große Zahl an Szenarien (>>100) die untersucht werden müssten, um hierzu eine verlässliche Aussage zu erreichen. Des Weiteren ist die Eintrittswahrscheinlichkeit für jedes Szenario sehr gering, so dass die Untersuchung von so vielen Szenarien in einem schlechten Kosten-Nutzen-Verhältnis stehen würde.
- V.4.7 Eine andere mögliche Herangehensweise besteht darin, Unfälle und Vorfälle zu untersuchen und daraus Schlüsse zur SLB-Streifenbreite zu ziehen. Durch Analyse von Unfalldaten, bei denen Luftfahrzeuge während der Start oder der Landung seitlich von der SLB abgekommen sind, lassen sich bei gegebenen Sicherheitszielwert mit Hilfe von statistischen Modellen Rückschlüsse auf die benötigte SLB-Streifenbreite ziehen. Wie eingangs erwähnt, arbeitet die ICAO ARCTF an der Auswertung der weltweiten Datenbanken für „veer-off“. Zwar ist die Analyse der Rohdaten abgeschlossen, aber es herrscht noch kein Einvernehmen bei der Interpretation. Es lässt sich allerdings bereits eindeutig ableiten, dass der heutige diskontinuierliche Sprung zwischen Code-Zahl 2 und 3 in den Anforderungen für die Breite des SLB-Streifens nicht zu rechtfertigen ist.

Teil VI Ergebnisse und Diskussion

- VI.1 Das Ziel des Forschungsprojektes besteht i.W. darin, Erkenntnisse über eine mögliche Reduzierung der Breite des Sicherheitsstreifens von Start- und Landebahnen (SLB) von Code-Zahl 3 Flugplätze mit Sichtanfluglandebahnen zu erlangen.
- VI.2 Hierzu werden kritische flugbetriebliche Randbedingungen identifiziert und Anflug-Trajektorien von Code-Zahl 3 Luftfahrzeugen auf Code-Zahl 2 Sichtanfluglandebahnen analysiert.
- VI.3 Die dafür benötigten Trajektorien wurden im Rahmen des Forschungsprojektes mit Full-Flight-Simulatoren der höchsten Zertifizierungsstufe gemäß EASA CS-FSTD und Piloten mit entsprechender CPL/ATPL Lizenz sowie entsprechender Musterberechtigung (Type Rating) aufgezeichnet.
- VI.4 Mit den aufgezeichneten Trajektorien wurde eine statistische Analyse unter Berücksichtigung von Sicherheitszielwerten durchgeführt, um abzuleiten, inwieweit eine Reduzierung der benötigten SLB-Streifenbreite von Sichtanfluglandebahnen für Code-Zahl 3 Luftfahrzeuge möglich ist.
- VI.5 Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine signifikante Reduzierung der SLB-Streifenbreite für Code-Zahl 3 Flugplätze mit Sichtanfluglandebahnen möglich ist. Je nach berücksichtigtem Sicherheitszielwert ergeben sich aus der statistischen Auswertung erforderliche SLB-Streifenbreite für Luftfahrzeuge mit Code-Buchstabe C (Spannweite bis zu 36 m) von ca. 59 m (Sicherheitszielwert $1 \cdot 10^{-7}$) bis zu ca. 72 m (Sicherheitszielwert $1 \cdot 10^{-8}$) anstatt 150 m gemäß den Vorgaben des ICAO Annex 14 bzw. EASA CS-ADR-DSN. Selbst die in ICAO Arbeitsgruppen diskutierte Reduzierung auf 110 m scheint zumindest hinsichtlich des Aspekts „overfly“ als zu konservativ. Immerhin löst dieser Wert die vorhandene Diskontinuität auf und stellt für das im Flug befindliche Luftfahrzeug offensichtlich kein Gefährdung dar.
- VI.6 Die Anzahl an aufgezeichneten und ausgewerteten Datensätze ist jedoch begrenzt. So empfiehlt es sich, noch weitere Daten zu erheben und somit den Standardfehler zu reduzieren, insbesondere für Sicherheitszielwerte kleiner als 10^{-7} .
- VI.7 Darüber hinaus bildet das Design der Szenarien mit überwiegend schlechten Sicht- und Windbedingungen im Wesentlichen den normalen operativen Betrieb ab, nicht jedoch den nicht-normalen Betrieb (Notfallbetrieb). Letzteres ist schwierig in Szenarien zu normieren wobei eine große Zahl an Szenarien untersucht werden müsste, um eine verlässliche Aussage zu erreichen.

- VI.8 Die aufgeführten SLB-Streifenbreiten beziehen sich lediglich auf das Szenario des Überflugs („overfly“) und nicht auf das seitliche Abkommen von der SLB am Boden („veer-off“).
- VI.9 Gemäß den Analysen der ICAO ARCTF, welche statische Auswertungen für das „veer-off“ Szenario basierend auf über 5.600 Vorkommnissen durchgeführt hat, erscheint ebenfalls eine Reduktion der SLB-Streifenbreite von Sichtanfluglandebahnen für Code-Zahl 3 Luftfahrzeuge möglich. So wurde bspw. eine SLB-Streifenbreite von 110 m anstatt 150 m diskutiert.
- VI.10 Aufgrund der sich unterscheidenden Schutzzwecke des SLB-Streifens („overfly“, „veer-off“) sowie einer sich unterscheidenden Analysemerhode (Trajektorien, Unfalldaten), ist eine differenzierte Betrachtung zur Festlegung der erforderlichen SLB-Streifenbreite notwendig.
- VI.11 Grundsätzlich kann die Dimensionierung des SLB-Streifens und der Hindernisbegrenzungsflächen (insbesondere der seitlichen Übergangsfläche, welche bisher am SLB-Streifen beginnt und ebenso die Flugphase schützt) entkoppelt werden.
- VI.12 So könnte beispielsweise der Ansatzpunkt der Hindernisbegrenzungsflächen und insbesondere der seitlichen Übergangsfläche nicht mittels SLB-Streifen, sondern anhand einer Distanz zur SLB-Mittellinie definiert werden.
- VI.13 Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die SLB-Streifenbreite stets mindestens der Distanz des Ansatzpunktes der seitlichen Übergangsfläche entspricht. Nur so kann ein gesamtheitlicher Schutz für „overfly“ ermöglicht werden. Hierbei sei nochmals erwähnt, dass in dieser Studie die SLB-Streifenbreite mittels Auswertung der Trajektorien und deren Abstände zur seitlichen Übergangsfläche ermittelt wurde.
- VI.14 Andererseits ist es denkbar, dass die SLB-Streifenbreite – zum Schutz für „veer-off“ – größer als der Ansatzpunkt der seitlichen Übergangsfläche ist, d.h. sich der SLB-Streifen bis unter diese Fläche erstreckt, was derzeit nicht der Fall ist.
- VI.15 Unter Annahme der oben aufgeführten Werte für die SLB-Streifenbreite – ca. 59 m bzw. 72 m für „overfly“, was auch dem Ansatzpunkt der seitlichen Übergangsfläche entspricht sowie 110 m für „veer-off“ – erscheint das zuletzt skizzierte Szenario zumindest für Sichtanfluglandebahnen für Code-Zahl 3 Luftfahrzeuge denkbar.

Abkürzungsverzeichnis

ADOP	Aerodrome Design and Operation Panel
AGL	Above Ground Level
AIP	Aeronautical Information Publication
AMC	Acceptable Means of Compliance
AMSL	Above Mean Sea Level
ANC	Air Navigation Commission
ARCTF	Aerodrome Reference Code Task Force
A-SMGCS	Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems
ATPL	Airline Transport Pilot License
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
COVID-19	Coronavirus SARS-CoV-2
CPL	Commercial Pilot License
CRM	Collision Risk Model
CS	Certifications Specifications
CS-ADR-DSN	Certification Specifications for Aerodromes Design
CS-FSTD	Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EU	Europäische Union
Flight-OPSP	Flight Operation Panel
ft	Feet
GM	Guidance Material
GNSS	Global Navigation Satellite System
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFPP	Instrument Flight Procedures Panel
IFR	Instrument Flight Rules
ILS	Instrument Landing System
KIAS	Knots Indicated Air Speed
kt	Knoten
LAT	Lufthansa Aviation Training
LNAV	Lateral Navigation
LOC	Localizer
LPV	Localizer Performance with Vertical Navigation
LSZR	Flugplatz St. Gallen-Altenrhein
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
m	Meters
NfL	Nachrichten für Luftfahrer
OCA/H	Obstacle Clearance Altitude/Height

OES	Obstacle Evaluation Surfaces
OFS	Obstacle Free Surfaces
OLS	Obstacle Limitation Surfaces
OLSTF	Obstacle Limitation Surfaces Task Force
PANS	Procedures for Air Navigation Services
PANS-OPS	Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations
RNAV	Area Navigation
RNP	Required Navigation Performance
RWY	Runway
SARPs	Standards and Recommended Practices
SLB	Start- und Landebahn
TLS	Target Level of Safety
UN	United Nations
VFR	Visual Flight Rules
WGS 84	World Geodetic System 1984

Quellenverzeichnis

A. C. Davison und D. V. Hinkley, *Bootstrap Methods and their Application*, Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

Boeing, *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents - Worldwide Operations | 1959 – 2018, 50th Edition*, September 2019.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, *Gemeinsame Grundsätze des Bundes und der Länder für die Anlage und den Betrieb von Flugplätzen für Flugzeuge im Sichtflugbetrieb*, 2019.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, *Richtlinien Zeitweilige Hindernisse in den Hindernisfreiräumen von Instrumentenbahnen auf Flugplätzen*, 1999.

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, *Richtlinien über die Hindernisfreiheit für Start- und Landebahnen mit Instrumentenflugbetrieb*, 2001.

Coles, Stuart, *An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values*, 2001.

EASA, *CS-ADR-DSN, Issue 5*, 2021.

EASA, *CS-FSTD, Issue 2*, 2018.

EASA, *Easy Access Rules for Air Operations, Revision 14*, 2019.

ICAO, *Annex 6 Operation of Aircraft, Volume I, 10th Edition* 2016.

ICAO, *Annex 6 Operation of Aircraft, Volume II, 9th Edition* 2016.

ICAO, *Annex 10 Aeronautical Telecommunications, Volume I, 6th Edition*; 2006.

ICAO, *Annex 14 Aerodromes, Volume I, 8th Edition*; 2018.

ICAO, *Circular 301, New Larger Aeroplanes — Infringement of the Obstacle Free Zone: Operational Measures and Aeronautical Study*, December 2005.

ICAO, *Document 8168, PANS-OPS, Volume 2, 7th Edition*; 2020.

ICAO, *Document 9137, Airport Services Manual, Part 6, 1st Edition*; 1983.

ICAO, *Document 9157, Aerodrome Design Manual, Part 1, 3rd Edition*; 2006.

ICAO, *Document 9365, Manual of All-Weather Operations, 3rd Edition*; 2013.

ICAO, *Document 9830, Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS) Manual, 1st Edition*; 2004.

J. Beirlant, Y. Goegebeur, J. Teugels, J. Segers, D. De Waal und C. Ferro, *„Statistics of Extremes - Theory and Applications,“* John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England, 2004.

L. Fahrmeir, C. Heumann, R. Künstler, I. Pigeot und G. Tutz, *Statistik - Der Weg zur Datenanalyse*, Berlin: Springer-Verlag, 8. Auflage; 2018.

M. R. Leadbetter, G. Lindgren und H. Rootzén, *Extremes and Related Properties of Random Sequences and Series*, New York: Springer-Verlag, 1983.

T. W. Lee, *Vector Generalized Linear and Additive Models: with an implementation in R*, Springer-Verlag, New York, 1st edition; 2015.

The Federal Aviation Administration (FAA) and The Boeing Company, *Statistical Extreme Value Analysis of ANC Taxiway Centerline Deviations for 747 Aircraft*, 2003.

The Federal Aviation Administration (FAA) and The Boeing Company, *Statistical Extreme Value Analysis of JFK Taxiway Centerline Deviations for 747 Aircraft*, 2003.

Anhang B Statistische Grundlagen des Risikomodells

- B.1 Das Risikomodell basiert auf statistischen Modellen, da diese Modelle einen mathematischen Hintergrund zur Beurteilung zur Güte der Anpassung des Modells an die Daten und die Validität des Modells liefern.
- B.2 Bei den statistischen Modellen lassen sich zwei Ansätze unterscheiden. Der nicht-parametrische Ansatz wird verwendet, wenn die Art der empirischen Daten nicht klar ist. Der parametrische Ansatz ist zu bevorzugen, wenn zusätzliche Informationen über die empirischen Daten verfügbar sind. Der parametrische Ansatz wird für das Risikomodell verwendet, da bei der Auswertung der Daten innerhalb des SLB-Streifens nur der maximale Wert pro Anflug verwendet wurde und es sich daher um seltene Ereignisse und damit Extremereignisse handelt. Die Extremwerttheorie wird anstelle von Methoden der klassischen Statistik angewendet, wie in Abbildung 22 dargestellt.
- B.3 Bei der klassischen Statistik verursacht selbst eine kleine Änderung des Varianzparameters einer Verteilungsfunktion eine große Änderung an den Enden der Verteilung. Daher wird die Extremwerttheorie verwendet, die speziell für die Beurteilung von Rändern einer Verteilung entwickelt wurde.
- B.4 Die Extremwerttheorie ist in der Hydrologie, insbesondere bei der Vorhersage des Hochwasserrisikos, der Meteorologie und im Versicherungsbereich weit verbreitet. Sie wurde auch von der ICAO in ihrer Balked Landing-Studie sowie von Boeing und der FAA in ihren Studien über das Abweichen beim Rollen auf Rollbahnen angewandt.

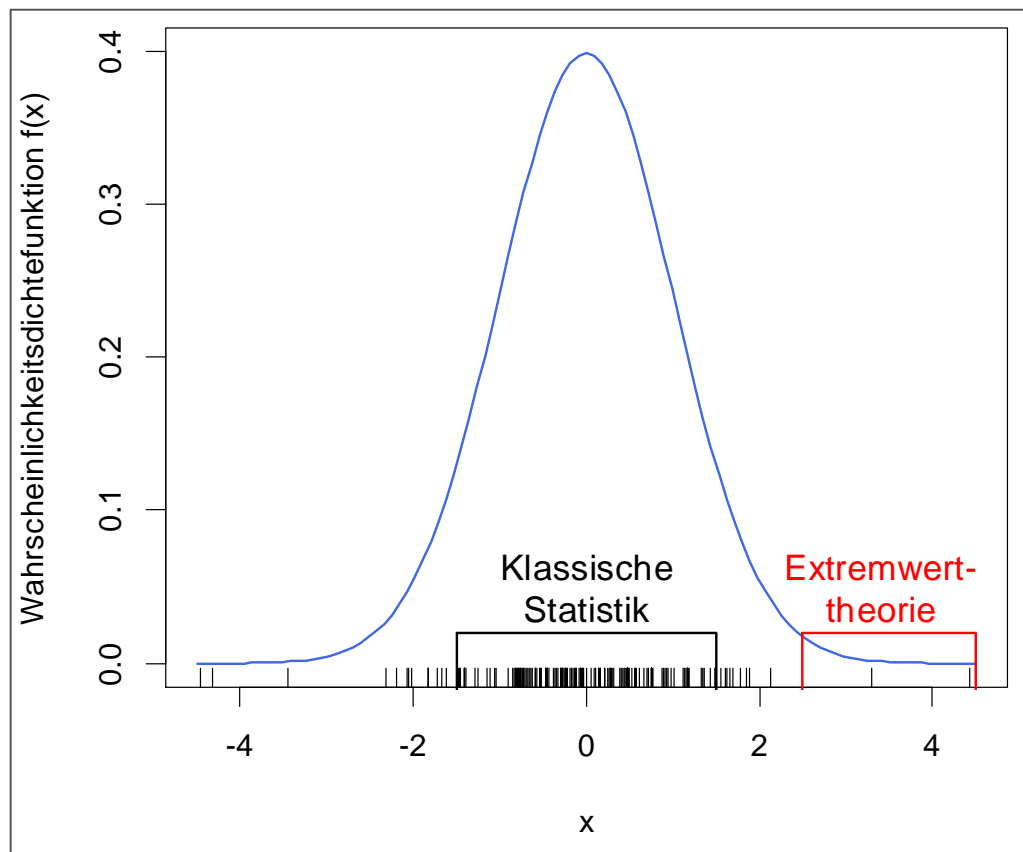


Abbildung 22: Klassische Statistik versus Extremwerttheorie

B.5

Die Grundlage der Extremwerttheorie ist das Fisher-Tippett-Theorem, das besagt, dass die Extremwerte einer unbekanntem Verteilungsfunktion F einer identisch unabhängig verteilten (identically independently distributed, i.i.d.) Zufallsvariablen, durch eine verallgemeinerte Extremwertverteilung G beschrieben werden kann, wenn sie nicht entartet ist. Die verallgemeinerte Extremwertverteilung ist eine Verallgemeinerung der drei Extremwertverteilungen:

- Typ I: Gumbel
- Typ II: Fréchet
- Typ III: Weibull

- B.6 Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der drei Extremwertverteilungen ist in folgender Abbildung dargestellt.

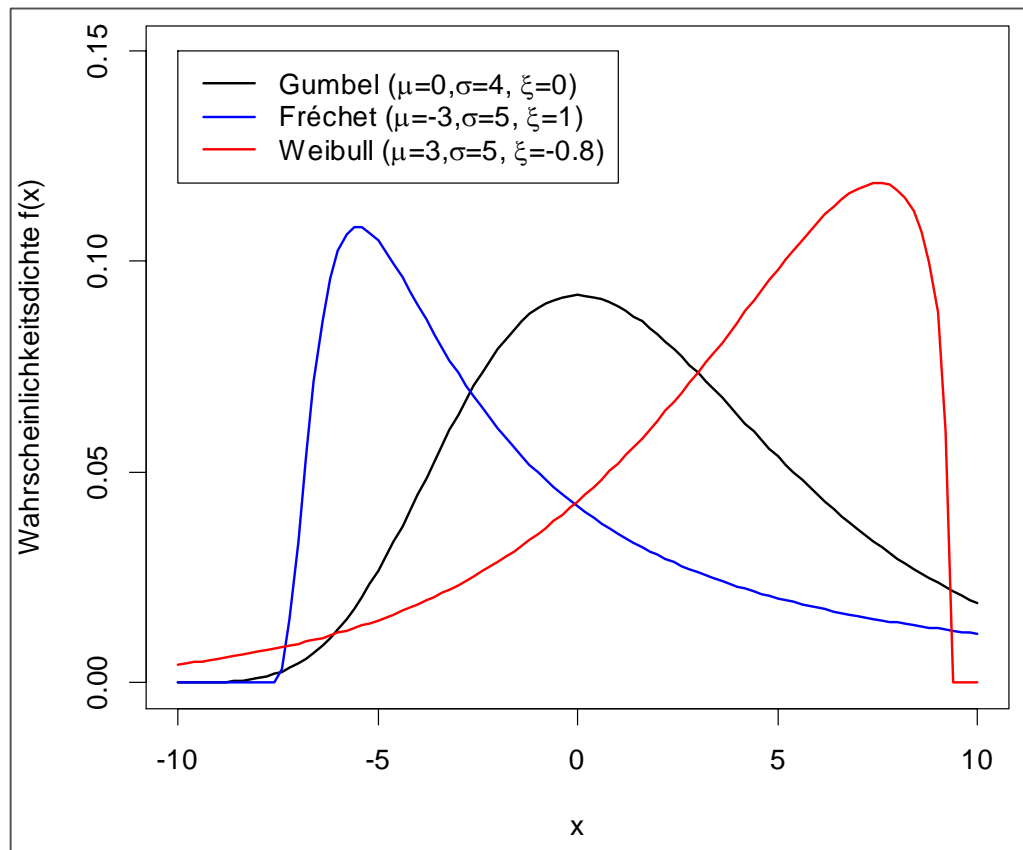


Abbildung 23: Beispiel für die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für die drei verschiedenen Extremwertverteilungen Gumbel, Fréchet und Weibull

- B.7 Die unten aufgeführte Verteilungsfunktion der verallgemeinerten Extremwertverteilung ist mit den Lageparameter μ , dem Skalenparameter σ und dem Formparameter ξ gegeben:

Formel 1:

$$F(z) = \begin{cases} \exp\left(-\left[1 + \xi\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right) & \text{if } \xi \neq 0 \\ \exp\left(-\exp\left(-\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)\right)\right) & \text{if } \xi = 0 \end{cases}$$

- B.8 Die Parameter der verallgemeinerten Extremwertverteilung für das Risikomodell werden mit einem Maximum Likelihood Schätzer bestimmt. Die Maximum-Likelihood-Methode ist ein weit verbreitete statistische Schätzmethode, die die Parameter eines statistischen Modells so bestimmt, dass die Wahrscheinlichkeit, die empirischen Daten zu beobachten, maximal wird.

B.9 Die Güte der Anpassung der verallgemeinerten Extremwertverteilung für die gegebenen Daten wurde mit einem so genannten Wahrscheinlichkeitsplot (probability plot) grafisch ausgewertet, siehe Abbildung 24. Der Wahrscheinlichkeitsplot vergleicht die theoretische mit der empirischen Wahrscheinlichkeit der Daten. Die Hauptdiagonale stellt eine perfekte Übereinstimmung des Modells mit den Daten in Bezug auf die Wahrscheinlichkeiten dar. Der in folgender Abbildung dargestellte Wahrscheinlichkeitsplot zeigt eine gute Übereinstimmung des statistischen Modells mit den Daten.

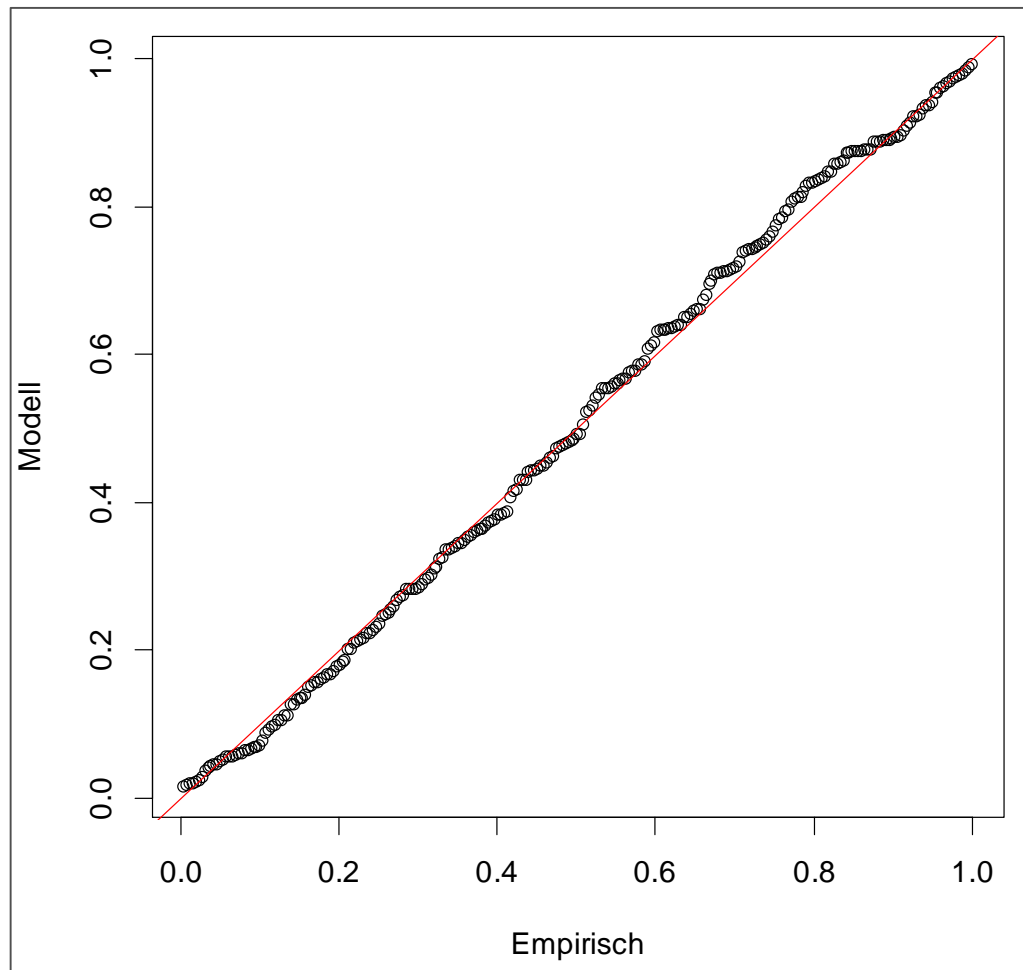


Abbildung 24: Wahrscheinlichkeitsplot zur Beurteilung der Güte der Anpassung des Modells an die Daten

- B.10 Die folgende Abbildung zeigt die Wahrscheinlichkeit für ein Luftfahrzeug seitlich von der Mittellinie der Start- und Landebahn abzuweichen und einen gegebenen Wert zu überschreiten, die Überschreitungswahrscheinlichkeit (sog. Überlebensfunktion, survival function). Die Wahrscheinlichkeit der Abweichung basiert auf der Verteilungsfunktion $F(z)$ aus Formel 1:

Formel 2:

$$P_{\text{Abweichung}} = 1 - F(z)$$

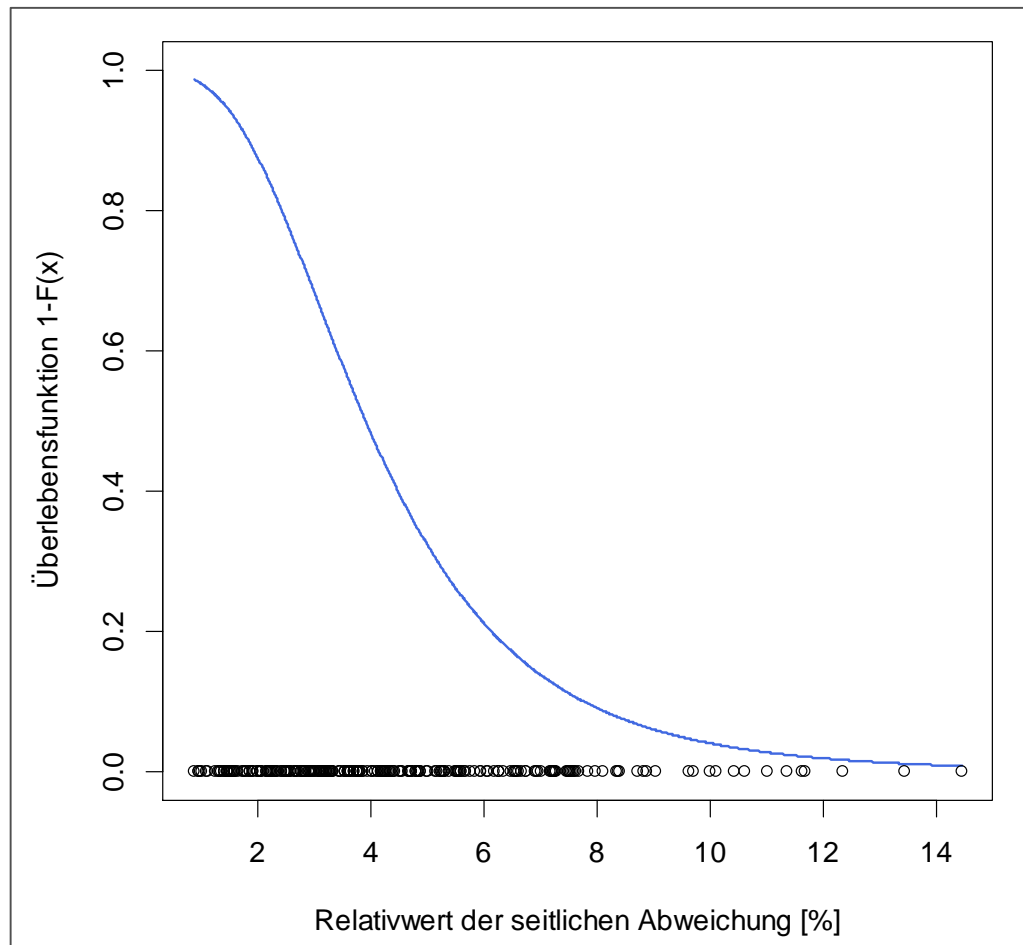


Abbildung 25: Überschreitungswahrscheinlichkeit für das relative seitliche Abkommen bezogen auf die seitliche Übergangsfläche

- B.11 Eine detailliertere Einführung in die Extremwerttheorie findet sich in „Coles - An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values, 2001“ und „Leadbetter et al. - Extremes and Related Properties of Random Sequences and Series, 1983“.

Anhang C Piloten-Fragebogen

C.1 Allgemeines

- C.1.1 Wie viele Flugstunden haben Sie im Flugzeugmuster absolviert?
- C.1.2 Wie häufig fliegen Sie Instrumentenanflüge und Sichtanflüge im Verhältnis?
- C.1.3 Sind Sie den Flugplatz St. Gallen-Altenrhein (LSZR) vorher bereits angefliegen?
Wenn ja, wie oft?
- C.1.4 Operieren Sie regelmäßig an Flugplätzen, die dem Flugplatz St. Gallen-Altenrhein (LSZR) vergleichbar sind?

C.2 **Versuchsreihe**

- C.2.1 Welchen Eindruck hatten Sie von den Anflügen und vom Flugplatz St. Gallen-Altenrhein (LSZR)?
- C.2.2 Ist Ihnen aufgefallen, dass es sich am Flugplatz St. Gallen-Altenrhein (LSZR) um eine Sichtanfluglandebahn (non-instrument runway) handelt?
- C.2.3 Ist Ihnen aufgefallen, dass es sich am Flugplatz St. Gallen-Altenrhein (LSZR) um eine Code-Zahl 2 Sichtanfluglandebahn handelt (bspw. beträgt die Streifenbreite 80 m und kleinere Hindernisbegrenzungsflächen)?
- C.2.4 Wie empfanden Sie die nähere Flugplatzumgebung, insb. in Hinblick auf die Hindernisumgebung (bspw. es ragen Bäume in die Hindernisbegrenzungsflächen)?
- C.2.5 Welche Erwartungen haben Sie an eine Instrumentenanfluglandebahn bzw. Sichtanfluglandebahn, insb. in Hinblick auf die Hindernisumgebung (bspw. Navigationshilfen, Streifenbreite, Dimensionierung der Hindernisbegrenzungsflächen, Abhängigkeiten von Wolkenuntergrenzen, Sichtweitem, etc.)?