

# Gutachten

## Risikoanalyse zum Externen Risiko am Flughafen Basel-Mulhouse (EuroAirport)

Auftraggeber (AG):



Kanton Basel-Stadt | Departement für Wirtschaft, Soziales und Umwelt  
Kanton Basel-Landschaft | Volkswirtschafts- und Gesundheitsdirektion

– Dresden, 04.07.2024 –



## **Umfang:**

Dieser Bericht umfasst 72 Seiten (64 Seiten zuzüglich 8 Seiten Anhang).

Dokumentenname: Externes\_Risiko\_FH\_Basel\_4.0\_ct040724.docx



## **Gesellschaft für Luftverkehrsforschung mbH**

Hermann-Prell-Str. 8  
01324 Dresden

Tel.: +49 (0) 351 273260-3

Fax: +49 (0) 351 273260-4

URL: [www.gfl-consult.de](http://www.gfl-consult.de)

E-Mail: [info@gfl-consult.de](mailto:info@gfl-consult.de)



# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	5
Zusammenfassung .....	7
1 Auftrag und Fragestellung.....	9
2 Methodik zur Ermittlung des Externen Risikos .....	11
2.1 Begriffsbestimmungen.....	11
2.2 Rahmenbedingungen zur Bestimmung des Externen Risikos.....	12
2.2.1 Einzelrisiko .....	12
2.2.2 Gruppenrisiko.....	13
3 Modellierung des Externen Risikos.....	15
3.1 Einführung.....	15
3.2 Unfallrate – Accident Ratio (AR).....	15
3.2.1 Allgemeines.....	15
3.2.2 Unfallrate für Luftfahrzeuge größer als 5,7 t MTOM.....	16
3.2.3 Unfallrate für Luftfahrzeuge kleiner als 5,7 t MTOM.....	19
3.3 Unfallstreuung – Accident Location (AL).....	21
3.4 Unfallfolgen – Accident Consequence (AC).....	23
3.5 Mortalität .....	25
3.6 Zusammenführen der Teilmodelle und Ableitung des Gruppenrisikos .....	27
4 Eingangsdaten/Randbedingungen .....	29
4.1 Untersuchungsraum .....	29
4.2 Lagebeschreibung.....	29
4.2.1 Flughafenbezugspunkt .....	29
4.2.2 Start- und Landebahnen.....	29
4.2.3 Instrumentenabflugstrecken .....	29
4.2.4 Instrumenteneinflugstrecken .....	30
4.2.5 Sichtan- und -abflugverfahren .....	30
4.3 Demografie.....	31
4.4 Topografie .....	32
4.5 Gefährdende Anlagen nach Seveso/ StFV .....	32
4.6 Flugbewegungen / Szenarien.....	34
4.6.1 Allgemeines.....	34
4.6.2 Basisszenario 2019 .....	34
4.6.3 Istszenario 2022 .....	34
4.6.4 Prognoseszenario 2032.....	34
4.6.5 Prognoseszenario 2032+ .....	36
4.7 Modellierung der ELBEG7S-Abflugroute .....	37
4.7.1 Hintergrund .....	37
4.7.2 Radardatenanalyse .....	37

4.7.3	Ergebnisse .....	38
5	Ergebnisse Basisszenario 2019 .....	40
5.1	Ergebnisse zum Einzelrisiko .....	40
5.2	Ergebnisse zum Gruppenrisiko .....	41
6	Ergebnisse Istszenario 2022 .....	42
6.1	Ergebnisse zum Einzelrisiko .....	42
6.2	Ergebnisse zum Gruppenrisiko .....	46
7	Ergebnisse Prognoseszenario 2032 .....	47
7.1	Ergebnisse zum Einzelrisiko .....	47
7.2	Ergebnisse zum Gruppenrisiko .....	49
8	Ergebnisse Prognoseszenario 2032+ .....	50
8.1	Ergebnisse zum Einzelrisiko .....	50
8.2	Ergebnisse zum Gruppenrisiko .....	52
9	Ergebnisdiskussion zum Externen Risiko .....	53
9.1	Einzelrisiko .....	53
9.2	Gruppenrisiko .....	54
9.3	Fazit .....	55
	Glossar .....	56
	Abkürzungsverzeichnis .....	59
	Abbildungsverzeichnis .....	61
	Tabellenverzeichnis .....	62
	Literatur- und Quellenverzeichnis .....	63
	Anhang A .....	65
A1	Ergebnisse der Vorgängerstudie aus 2001 .....	65
A2	Weiterführende Erläuterungen .....	67
A3	Gefährdende Anlagen .....	70
A4	Luftfahrzeuggruppen nach AzB/AzD .....	71

## Zusammenfassung

Im Rahmen des Ausbaus des Flughafens Basel-Mulhouse (auch *EuroAirport*) von 1998 bis 2004 wurde in den Jahren 2000/2001 eine erste Risikoanalyse hinsichtlich der Gefährdung Dritter durch die Arbeitsgemeinschaft „GfL – Gesellschaft für Luftverkehrsforschung“ und „Arcadis Trischler & Partner GmbH“ durchgeführt.

Aufgrund der im Vergleich zur seinerzeitigen Studie erfolgten Verkehrszunahme und der in den letzten Jahren registrierten Steigerung der Anzahl an Starts nach Süden, der heute eingesetzten größeren Luftfahrzeuge, der veränderten Flugverfahren, sowie der eingetretenen Siedlungsentwicklung soll vorliegende Studie Aufschluss über das aktuelle sowie zukünftige flugbetrieblich induzierte Risiko für die Bevölkerung geben.

Die vorliegende Risikoanalyse ermittelt die durch den Luftverkehr mögliche Gefährdung von nicht am Flugverkehr beteiligten Personen, die sich im Nahbereich des Flughafens Basel-Mulhouse aufhalten (Externes Risiko), ausgedrückt durch die Risikokenngrößen *Einzelrisiko* und *Gruppenrisiko* (vgl. Kapitel 2.1).

Das Einzelrisiko gibt Auskunft darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Mensch, der sich fortwährend an einem bestimmten Ort im Untersuchungsraum aufhält, an den Folgen eines Flugunfalls, der mit dem Flugbetrieb am Flughafen Basel-Mulhouse im Zusammenhang steht, zu Tode kommt. Das Gruppenrisiko gibt weiterführend Auskunft darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Gruppe von Personen unterschiedlicher Anzahl an den Folgen eines solchen Flugunfalls im Untersuchungsraum (bei fortwährendem Aufenthalt) zu Tode kommt (vgl. Kapitel 3).

Die Berechnungen zum Externen Risiko erfolgten für einen ausreichend groß dimensionierten und um den Flughafen zentrierten Untersuchungsraum von 40 km x 40 km (vgl. Kapitel 4.1 und 4.2). Die Betroffenheitsanalyse berücksichtigte dabei die räumliche Bevölkerungsverteilung (Demografie, vgl. Kapitel 4.3), die Topographie (vgl. Kapitel 4.4) und relevante Störfallanlagen (vgl. Kapitel 4.5) im Untersuchungsgebiet.

Es wurden vier Verkehrsszenarien betrachtet wie folgt:

- *Basisszenario 2019*: basierend auf den Verkehrszahlen am Flughafen Basel-Mulhouse des Jahres 2019 (ca. 94'000 Flugbewegungen) vor Aktualisierung der Routengeometrie;
- *Istszenario 2022*: beschreibt die aktuelle Situation am Flughafen Basel-Mulhouse mit ggü. dem Basisszenario 2019 um ca. 16 % gesunkenen Flugbewegungen (ca. 78'000 Flugbewegungen) und aktueller Lage der An- und Abflugrouten. Zudem wurde eine Sensitivitätsanalyse bezüglich Südlandungen durchgeführt;
- *Prognoseszenario 2032*: unterstellt die vom Flughafen Basel-Mulhouse prognostizierten Verkehrszahlen für das Jahr 2032 (ca. 101'000 Flugbewegungen), somit eine Erhöhung der IFR-Flugbewegungen um 40 % und eine Verringerung des VFR-Verkehrs um 32 % ggü. dem Istscenario 2022;
- *Prognoseszenario 2032+*: unterstellt, dass die Anzahl der Flugbewegungen weiter auf 125'000 Flugbewegungen ansteigt, der Mix der eingesetzten LFZ-Muster, sowie deren Verteilung auf die Flugrouten im Vergleich zu 2032 aber konstant bleibt. (vgl. Kapitel 4.6).

Im Rahmen der Einführung von RNAV-Verfahren am Flughafen Basel-Mulhouse im Jahr 2019 wurde die Geometrie der Abflugrouten von der Startbahn 15 (also Starts in Richtung Süden) grundlegend überarbeitet: Dies führte für die Abflugrouten TORPA und MOROK zu engeren Radien der ersten Kurve - nach Passieren des sog. Wegpunktes BS 376 - und damit zu einer Verlagerung und Konzentration des Verkehrs über weniger dicht besiedeltes Gebiet. Für die Berechnungen zum Externen Risiko konnte auf den Abflugrouten ELBEG 7S und LASAT 7S nicht wie bei allen anderen Routenverläufen auf das AIP abgestellt werden, sondern es wurden

auf Basis von Radardatenanalysen die tatsächlich geflogenen Kurvenradien analysiert und die jeweiligen statistisch repräsentativen Routenverläufe berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.7).

Hinsichtlich der Risikobewertung ist festzustellen, dass spezifische, luftverkehrsbezogene und gesetzlich verankerte Richtwerte weder für das Einzelrisiko noch für das Gruppenrisiko in Deutschland, Frankreich oder der Schweiz existieren. Um dennoch eine Orientierung im Hinblick auf das akzeptierbare Ausmaß der Risiken zu erhalten, wird im Rahmen des vorliegenden Gutachtens auf Richtwerte abgestellt, die im Zusammenhang mit Arbeiten zur Genehmigung der Landebahn Nordwest am Flughafen Frankfurt/Main entwickelt wurden. Diese wiederum basieren auf Analogien zu Richtwerten für Industrieanlagen in Großbritannien und den Niederlanden (vgl. Kapitel 2.2): Hiernach liegt der Richtwert des Einzelrisikos für bewohnte Gebiete bei  $3,0 \times 10^{-5}$  pro Jahr (1 x in 33'333 Jahren). Derartige Risiken treten am Flughafen Basel-Mulhouse in keinem Szenario außerhalb des Flughafengeländes auf (vgl. Kapitel 9.1).

Im Einzelnen ist festzustellen, dass beide Effekte, Routenanpassungen und verändertes Verkehrsaufkommen, im Istscenario 2022 ggü. dem Basisszenario 2019 zu deutlich geringeren Einzelrisiken führen: Für Einzelrisikowerte  $\geq 1,0 \times 10^{-5}$  pro Jahr (1 x in 100'000 Jahren), verringert sich die Anzahl an Betroffenen von 11 auf 3. Zudem erfolgte eine Verlagerung geringerer Einzelrisiken von  $\geq 1,0 \times 10^{-7}$  pro Jahr (1 x in 10'000'000 Jahren) von dicht besiedelten Gebieten in der Agglomeration Basel (vornehmlich Allschwil) zu dünner besiedelten Gebieten in Frankreich (vgl. Kapitel 5 und 6). Für die Prognoseszenarien 2032 und 2032+ ergeben sich bei ggü. dem Istscenario 2022 unveränderter Routengeometrie infolge des jeweils erhöhten unterstellten Verkehrsaufkommens leicht höhere Einzelrisiken, aber stets unter dem o.g. Richtwert von  $3,0 \times 10^{-5}$  pro Jahr verbleibend (vgl. Kapitel 7 und 8). Die Sensitivitätsanalyse Südlandungen kommt zum Schluss, dass eine Verlagerung zu mehr Südanflügen zwar erheblich mehr Betroffenheiten nach sich ziehen würde, allerdings nur bezogen auf ein niedriges Risikoniveau ( $< 1 \times 10^{-6}$  pro Jahr) (vgl. Kapitel 6.1).

Auch die Gruppenrisiken liegen am Flughafen Basel-Mulhouse bezüglich der im vorliegenden Gutachten berücksichtigten Bewertungslogik, die im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens für die Landebahn Nordwest am Flughafen Frankfurt/Main entwickelt wurde, in allen Szenarien im tolerablen Risikobereich.

Im Weiteren ist festzustellen, dass die geänderte Abflugroutenführung im Istscenario 2022 im Vergleich zum Basisszenario 2019 zu einer geringfügigen Reduktion des Gruppenrisikos für Gruppenstärken über 1'000 Personen, in Entsprechung der Ergebnisse zum Einzelrisiko, führt. Für geringere Gruppenstärken hat die veränderte Routenführung keine erfassbare Auswirkung (vgl. Kapitel 9.2).

**Unter den o.g. Prämissen kommt das Gutachten zu dem Schluss, dass die Externen Risiken am Flughafen Basel-Mulhouse in einem Ausmaß sind, das im dargestellten Bewertungsmodell (Richtwerte, die im Zusammenhang mit Arbeiten zur Genehmigung der Landebahn Nordwest am Flughafen Frankfurt/Main entwickelt wurden) als tolerabel eingestuft wird.**



# 1 Auftrag und Fragestellung

Im Rahmen des Ausbaus des Flughafen (FH) Basel-Mulhouse (Euro Airport) von 1998 bis 2004 wurde in den Jahren 2000/2001 eine erste Risikoanalyse hinsichtlich der Gefährdung Dritter durch die Arbeitsgemeinschaft „GfL – Gesellschaft für Luftverkehrsforschung“ und „Arcadis Trischler & Partner GmbH“ durchgeführt [2].

Dieses Gutachten bezog sich auf das Luftverkehrsaufkommen des Jahres 1999, die seinerzeitige Struktur der An- und Abflugrouten und den seinerzeitigen Flottenmix. Als Prognosehorizont wurde das Jahr 2010 mit einem Zuwachsfaktor an Flugbewegungen von 1,45 angenommen. Im Ergebnis des Gutachtens wurde seinerzeit festgestellt, dass der Flugverkehr am FH Basel-Mulhouse sicher abgewickelt wird und tolerable externe Risiken für die Bevölkerung bestehen.

Als wesentliche Risikominderungsmaßnahme wurde die Einführung eines Instrumentenlandesystems (ILS) für Anflüge auf die Bahn 33 statt des damaligen Sichtanflugverfahrens vorgeschlagen, die unterdessen auch umgesetzt wurde.

Bei einem Vergleich zwischen der damaligen Studie und dem vorliegenden Gutachten ist zu beachten, dass methodisch seinerzeit bereichsweise Worst-Case Annahmen für einige Modellparameter, auf Grund damals unzureichender Datenlage, getroffen werden mussten, sodass eine direkte Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen des aktuellen Gutachtens nicht vollständig gegeben ist. Zudem erfolgt im aktuellen Gutachten eine Bewertung des Einzelrisikos sowie eine Einordnung des Gruppenrisikos gegenüber Richtwerten, die im PFV Flughafen Frankfurt/Main und weiteren, später durchgeführten PFV (bspw. PFV 3. Start-/Landebahn FH München) angewandt wurden. Eine derartige Bewertung ggü. definierten Richtwerten erfolgte im seinerzeitigen Gutachten nicht. In Anhang A1 sind die Ergebnisse des damaligen Gutachtens bezogen auf das Einzelrisiko und Gruppenrisiko (Begriffsdefinitionen siehe Glossar und Kapitel 2.1).

Aufgrund der Verkehrszunahme und der in den letzten Jahren registrierten Steigerung der Anzahl an Starts nach Süden, sowie der heute eingesetzten größeren Luftfahrzeuge, soll vorliegendes Gutachten Aufschluss über das aktuelle sowie zukünftige flugbetrieblich induzierte Risiko für die Bevölkerung (sog. Externes Risiko oder auch *Third Party Risk*) geben, sowie zu möglichen Veränderungen der Risikosituation im Zuge der künftigen Entwicklung des Flughafens.

Hierfür wurden insgesamt vier Szenarien mit unterschiedlicher Verkehrsmenge und Routenstruktur untersucht:

- *Basisszenario 2019:*
  - basierend auf den Verkehrszahlen am FH Basel-Mulhouse des Jahres 2019
  - vor Aktualisierung der Routengeometrie (RNAV).
  - Höchste, historische Verkehrsmenge am FH Basel-Mulhouse;
- *Istszenario 2022:*
  - spiegelt die aktuelle Situation am Flughafen Basel-Mulhouse im letzten Jahr wider
  - aktuelle Lage der Abflugrouten
  - inkl. Sensitivitätsanalyse erhöhter Anteil an IFR-Landungen auf der SLB 15/33
- *Prognoseszenario 2032:*
  - unterstellt die vom FH Basel-Mulhouse prognostizierten Verkehrszahlen für das Jahr 2032
  - Erhöhung der IFR-Flugbewegungen um 40 % und einer Verringerung des VFR-Verkehrs um 32 % ggü. dem Istscenario 2022;

- *Prognoseszenario 2032+:*

- Unterstellt eine weitere Steigerung der Verkehrsmenge
- Erhöhung der IFR-Flugbewegungen um ca. 70 % ggü. dem Istszenario 2022;

Details zu den getroffenen Annahmen und den spezifischen Verkehrsmengen zu jedem Szenario können dem Kapitel 4.6 entnommen werden.

Die Berechnungen zum Externen Risiko erfolgten für einen ausreichend groß dimensionierten um den Flughafen (FH) zentrierten Untersuchungsraum von 40 km x 40 km<sup>1</sup>. Die Betroffenheitsanalyse berücksichtigte dabei die räumliche Bevölkerungsverteilung, die Topographie und relevante Störfallanlagen im Untersuchungsgebiet.

Im Rahmen der Einführung von RNAV-Verfahren am FH Basel-Mulhouse im Jahr 2019 wurde die Geometrie der Abflugrouten von der Startbahn 15 (also Starts in Richtung Süden) grundlegend überarbeitet: Dies führte für die Abflugrouten TORPA und MOROK zu engeren Radien der ersten Kurve und damit zu einer Verlagerung und Konzentration des Verkehrs über weniger dicht besiedeltes Gebiet. Für die Berechnungen zum Externen Risiko wurden weiterführend auf Basis von Radardatenanalysen die tatsächlich geflogenen Kurvenradien auf den Abflugrouten ELBEG 7S und LASAT 7S analysiert und jeweilige statistisch repräsentative Routenverläufe berücksichtigt, da diese Verfahren auf Grund ihrer spezifischen Ausgestaltung eine hohe Varianz in den resultierenden Flugverläufen aufweisen (Details hierzu in Kapitel 4.7).

---

<sup>1</sup> Hiermit sind alle risikosensitiven Bereiche um den FH Basel-Mulhouse großzügig abgedeckt.

## 2 Methodik zur Ermittlung des Externen Risikos

### 2.1 Begriffsbestimmungen

Das Modell des Externen Risikos (ER) untersucht das durch den Flugbetrieb induzierte Gefährdungspotenzial von nicht am Luftverkehr beteiligten Personen, welche sich im Umfeld eines Flugplatzes aufhalten. Das ER liefert sowohl Erkenntnisse über die Gefährdung einzelner Personen als auch von Personengruppen (Kollektiven). Daher wird zwischen *Einzelrisiko* und *Gruppenrisiko* unterschieden.

Das **Einzelrisiko** (individuelles Risiko) ist als die auf ein Kalenderjahr bezogene Wahrscheinlichkeit definiert, dass eine Person, die ständig an einem Ort verbleibt, infolge eines Flugunfalls tödlich verletzt wird. Nach Annex 13 [3] der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (*International Civil Aviation Organisation*, ICAO) ist ein Flugunfall als ein Ereignis beim Betrieb eines Luftfahrzeugs (LFZ) definiert, bei dem entweder eine Person tödlich verletzt worden ist, das LFZ einen erheblichen Schaden erlitten hat oder das LFZ vermisst wird bzw. nicht zugänglich ist (vgl. Anhang A2). Das Einzelrisiko gibt Auskunft darüber, welches Risiko der Aufenthalt für Personen, die im Untersuchungsraum wohnen, arbeiten oder sich dort aus anderen Gründen aufhalten, mit sich bringt. Das Einzelrisiko ist ortsgebunden und folglich abhängig von der Lage des Aufenthaltsortes in Relation zum Flughafen (FH). Das an einem bestimmten Ort bestehende Einzelrisiko ist allerdings unabhängig davon, ob sich an diesem Ort tatsächlich jemand aufhält (sog. Risikopotenzial). Als Mass für die Gefährdung einer bestimmten, einzelnen Person ist es dabei unerheblich, ob neben dieser Person noch weitere Personen gefährdet werden oder nicht.

Das **Gruppenrisiko** (kollektives Risiko) ist als die auf ein Kalenderjahr bezogene Wahrscheinlichkeit definiert, mit der eine Gruppe von mehr als einer bestimmten Anzahl von Personen gleichzeitig an den Folgen eines Flugunfalls stirbt. Als integrale Größe, welche die Gesamtrisikosituation im Umfeld einer Risikoquelle beschreibt, gilt das Gruppenrisiko für den gesamten Untersuchungsraum und ist folglich innerhalb dieses Gebiets nicht ortsgebunden. Dem Gruppenrisiko liegt dabei die Summe aller möglichen Unfallszenarien im betrachteten Untersuchungsraum unter Berücksichtigung der Demographiedaten (lokale Personendichten) zugrunde. Die Personendichte hat beim Gruppenrisiko folglich einen entscheidenden Einfluss. Hält sich in dem betrachteten Gebiet bzw. in der betrachteten Zelle niemand auf, ist das Gruppenrisiko dort per Definition Null. Die errechnete FN-Kurve gibt dabei Auskunft über das größtmögliche Gruppenrisiko im betrachteten Untersuchungsraum.

Das Gruppenrisiko gibt entsprechend keinerlei Informationen darüber, wie die Risiken im Untersuchungsraum verteilt sind. Hierfür ist das Einzelrisiko ausschlaggebend. Mit dessen Begrenzung kann eine unzumutbar hohe Gefährdung einzelner Gruppen verhindert werden. Desweiteren ist darauf hinzuweisen, dass das Gruppenrisiko keinerlei Rückschlüsse auf das Einzelrisiko zulässt.

## 2.2 Rahmenbedingungen zur Bestimmung des Externen Risikos

### 2.2.1 Einzelrisiko

Es stellt sich die Frage, wie die ermittelten Einzelrisikowerte bewertet werden können. Spezifische, luftverkehrsbezogene gesetzliche Richtwerte gibt es dafür nicht. Um dennoch eine Orientierung im Hinblick auf das akzeptierbare Ausmaß der Risiken zu erhalten, wird im Rahmen des Gutachtens auf Richtgrößen abgestellt, die im Zusammenhang mit Arbeiten zur Genehmigung der vierten Landebahn am Frankfurt/Main entwickelt wurden. Diese wiederum basieren auf Analogien zu Risikogrenzwerten für Industrieanlagen in Großbritannien und den Niederlanden. In Großbritannien liegen gesetzliche Richtwerte vor: Es gilt sowohl für Gewerbebauten als auch für Wohngebäude der Richtwert von  $1,0 \times 10^{-4}$  pro Jahr (1 x in 10.000 Jahren).

Im Rahmen des sehr umfänglichen Planfeststellungsverfahrens (PFV) für die 4. Landebahn am Flughafen Frankfurt/Main, von dem ein großer störfallrelevanter Betrieb (nach BimschV [4], Deutschland) betroffen war, wurden infolge Vorschläge zur Bewertung des ER in Deutschland erarbeitet [1] und ein Richtwert für das Einzelrisiko festgelegt, welcher das maximal zulässige Risiko definiert, das einem unbeteiligten Dritten zugemutet werden darf. Hierbei wird unterschieden zwischen einer unterstellten Anwesenheit eines Menschen in gewerblichen Objekten und in Wohngebäuden (private Nutzung).

Aufgrund der im Normalfall kürzeren Aufenthaltsdauer in Gewerbebauten (unterstellt wird hierbei eine tägliche Arbeitszeit von acht Stunden, während in Wohngebäuden bis zu 24 Stunden Aufenthalt angenommen wird) gilt für den gemäß [5] für Deutschland vorgeschlagenen Richtwert für Wohngebäude ein um den Faktor 3 strengerer Wert von  $3,3 \times 10^{-5}$  pro Jahr ergibt ( $1,0 \times 10^{-4}$  geteilt durch 3). Dieser Richtwert für Wohngebäude wird in Anbetracht der gegebenen Unschärfen in den Modelleingangsdaten auf  $3 \times 10^{-5}$  pro Jahr gerundet. Das heisst, dass die beiden vorliegenden Grenzwerte überschritten werden, wenn ein Todesfall infolge eines Flugzeugabsturzes (bei theoretisch ununterbrochenem Aufenthalt während eines Jahres an diesem Ort) bei Wohngebäuden einmal in 33'333 Jahren überschritten wird.

Insofern werden für das vorliegende Gutachten die in nachfolgender Tabelle 1 ausgewiesenen Richtwerte für das Einzelrisiko übernommen, die so auch im PFV Flughafen Frankfurt/Main und weiteren, später durchgeführten PFV (bspw. PFV 3. Start-/ Landebahn FH München) angewandt wurden. Diese Richtwerte werden im Rahmen des vorliegenden Gutachtens in Bezug auf die Bewertung des Einzelrisikos zugrunde gelegt.

	Wohngebäude
<b>Avisierte Richtwerte für Einzelrisiken</b>	$3,0 \times 10^{-5}$ pro Jahr (1x in 33'333 Jahren)

Tabelle 1: Avisierte Richtwerte für Einzelrisiken um Flughäfen, Deutschland

In den oben genannten Ländern sollen bei Überschreitung dieser Werte keine Gebäude oder gewerblichen Objekte errichtet werden. Bestehende Objekte/Gebäude wären zurückzubauen. In den britischen und niederländischen Vorschriften ist weiterhin geregelt, dass bestehende Gebäude bei Zustimmung des Eigentümers Bestand haben können (teilweise freiwillige Risikoübernahme). In diesem Fall wäre ein höherer Gefährdungsgrad noch hinnehmbar, wenn privatrechtlicher Konsens zwischen Eigentümer und ggf. abweichendem Nutzer erreicht wird.

### 2.2.2 Gruppenrisiko

Bezüglich des Gruppenrisikos ist festzustellen, dass analog zum Einzelrisiko weder in Deutschland, in Frankreich noch in der Schweiz verbindliche Regelungen zur Bewertung vorliegen. Zwar existiert in der Schweiz eine Störfallverordnung (StFV) [6] mit Richtwerten für Störfallanlagen, jedoch ist der FH Basel-Mulhouse keine Störfallanlage. Hingegen wurden die Störfallanlagen im Betrachtungssperimeter des vorliegenden Gutachtens bei der Berechnung des Externen Risikos berücksichtigt (vgl. Kapitel 4.5). Auch in den Niederlanden und in Großbritannien gibt es derzeit kein explizites Kriterium zur Beschränkung des Gruppenrisikos an Flughäfen. In Deutschland wurden im Rahmen des PFV Flughafen Frankfurt/Main für die 4. Landebahn analog zur Verfahrensweise für das Einzelrisiko Vorschläge zur Bewertung des Gruppenrisikos erarbeitet. Nach [1] bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten, die Grenze des Gruppenrisikos zu definieren. Zum einen ist die Definition einer *absoluten Grenze* möglich, welche das Gruppenrisiko der betrachteten Aktivität auf ein bestimmtes Maß beschränkt. Zum anderen lässt sich alternativ ein relatives Kriterium definieren, welches auf das Verhältnis aus Gruppenrisiko (-zuwachs) und volkswirtschaftlichem Nutzen (-zuwachs) abstellt.

Das Gruppenrisiko wird grundsätzlich nach unterschiedlichen Akzeptanzniveaus, wie nachfolgend ausgeführt, bewertet:

- Nicht akzeptabel: Gruppenrisiken in diesem Bereich gelten als nicht akzeptierbar, weitergehende Maßnahmen zur Senkung des Risikos sind zwingend notwendig.
- Tolerabel: Übergangsbereich, Gruppenrisiken in diesem Bereich können toleriert werden, Maßnahmen zur Risikoreduktion im Sinne des sog. ALARP-Prinzips<sup>2</sup> sind allerdings angeraten.
- Akzeptabel: Das Gruppenrisiko ist unterhalb einer festgelegten Schwelle und ausreichend kontrollierbar. Weitergehende Maßnahmen sind nicht notwendig.

Die Grenzlinien zwischen diesen Akzeptanzniveaus werden mit „*oberer Akzeptanzlinie*“ (zwischen *nicht akzeptablen* und *tolerablen* Risiken) bzw. „*unterer Akzeptanzlinie*“ (zwischen *tolerablen* und *akzeptablen* Risiken) bezeichnet.

Die Grenz-FN-Kurven<sup>3</sup> nach [1] wurden basierend auf bereits bestehenden Richtwerten für Industrieanlagen in Großbritannien und den Niederlanden festgelegt. In [1] wurde zudem festgestellt, dass die „oberen Grenz-FN-Kurven“ aus Großbritannien für die Bewertung des Gruppenrisikos grundsätzlich geeignet sind. Es wurde weiterführend jedoch die Forderung formuliert, dass bei der Gruppenrisikobewertung im Allgemeinen als auch bei der Festlegung von Grenz-FN-Kurven der gesellschaftliche Nutzen einer Aktivität (bezogen auf den Risikoverursacher, hier also der Flugbetrieb am FH Basel-Mulhouse) zu berücksichtigen sei. Gleiches gilt auch bei der Auswahl bestehender Grenz-FN-Kurven, die zu Orientierungszwecken außerhalb des für sie vorgesehenen Anwendungsbereichs angewendet werden sollen. Hier ist auf die Vergleichbarkeit der betrachteten Aktivität mit der ursprünglichen Anwendung des jeweiligen Kriteriums zu achten.

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt die im Rahmen des PFV Flughafen Frankfurt/Main für die 4. Landebahn angewandten Grenz-FN-Kurven:

<sup>2</sup> ALARP – As Low As Reasonably Practicable: Dieses Prinzip besagt, dass bei Reduktion der Risiken auf Verhältnismäßigkeit von Kosten zu Nutzen geachtet werden sollte.

<sup>3</sup> F = gegebene Eintrittshäufigkeit (Frequenz), N = Anzahl Betroffener dieser Frequenz

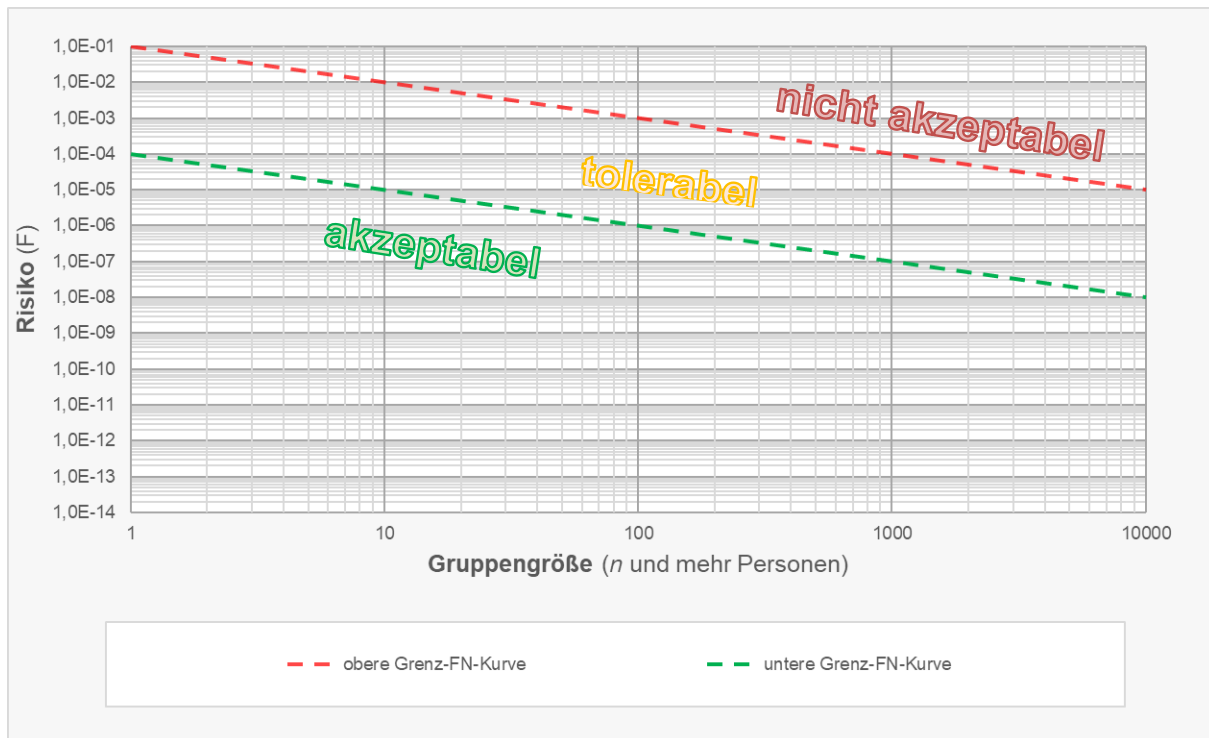


Abbildung 1: Grenz-FN-Kurven zum Gruppenrisiko

Es zeigt sich, dass für den Flughafen Basel-Mulhouse keine direkte gesetzliche Regelung zur Bewertung des Gruppenrisikos vorliegt, jedoch Kandidaten für die Bewertung der Ergebnisse bereitstehen. In den Ergebnisdarstellungen zum Gruppenrisiko werden die in Abbildung 1 dargestellten Grenz-FN-Kurven zu Vergleichszwecken aufgenommen.

## 3 Modellierung des Externen Risikos

### 3.1 Einführung

Das von GfL entwickelte, vom TÜV Süd qualitätsgesicherte Berechnungsverfahren zum Einzelrisiko basiert auf drei Teilmodellen:

- Unfallwahrscheinlichkeit (*Accident Ratio*, AR) für Flugunfälle mit Todesfolge, vgl. Kapitel 3.2,
- Unfallstreuung (*Accident Location*, AL), vgl. Kapitel 3.3 und
- Unfallfolgen (*Accident Consequence*, AC), vgl. Kapitel 3.4

In den nachfolgenden Ausführungen werden die drei Teilmodelle im Einzelnen beschrieben. Methodisch wurden in der seinerzeitigen Risikoanalyse aus dem Jahr 2000/2001 bereichsweise Worst-Case Annahmen für die Modellparameter getroffen, sodass eine direkte Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen des aktuellen Gutachtens nicht vollständig gegeben ist.

### 3.2 Unfallrate – Accident Ratio (AR)

#### 3.2.1 Allgemeines

Die Unfallwahrscheinlichkeit pro Flugbewegung, auch Unfallrate (AR) genannt, bezieht sich im vorliegenden Bericht grundsätzlich auf Flugunfälle<sup>4</sup> mit Todesfolge, also „schweren“ Unglücken mit Toten im Luftfahrzeug bzw. am Boden.

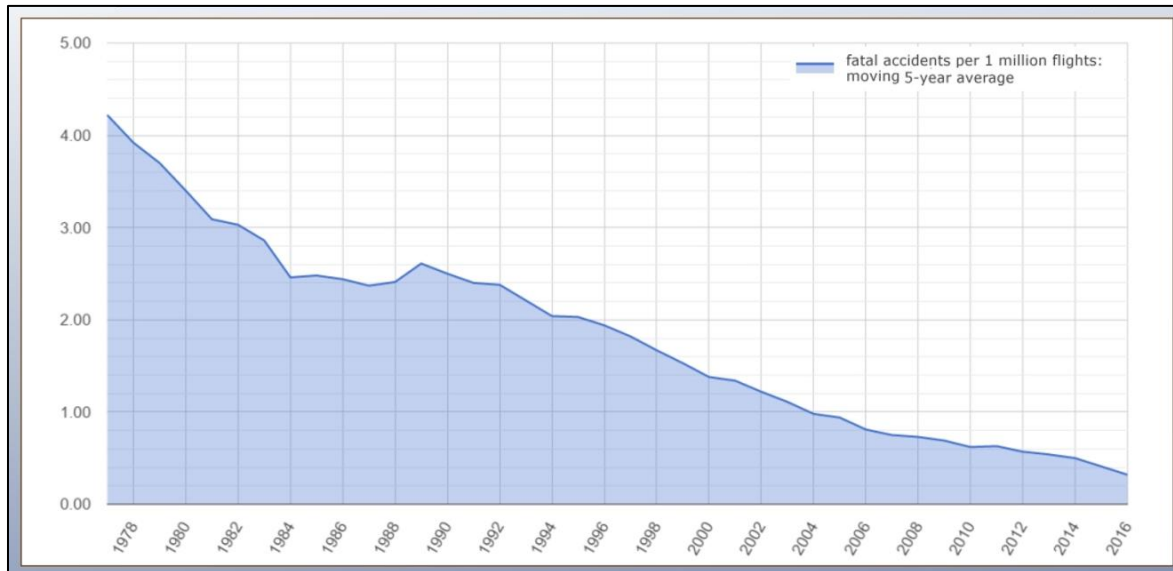
Die prognostizierte Unfallhäufigkeit im Untersuchungsraum ergibt sich aus der örtlichen Wahrscheinlichkeit eines Unfalls pro Flugbewegung (AR) multipliziert mit der Anzahl an Flugbewegungen (Starts und Landungen) im Bezugszeitraum, hier die Flugbewegungen eines Kalenderjahres am FH Basel-Mulhouse.

Die weltweiten Unfallzahlen und somit das AR weisen empirisch eine sinkende Tendenz über die letzten Jahrzehnte auf, allerdings mit mäßig ausgeprägtem Korrelationskoeffizienten (vgl. Abbildung 2). Aufgrund der offenkundig nur begrenzt möglichen Nachweisführung zur Fortführung dieses Trends in die Zukunft, wurde auf derartige Effekte in der Prognose des AR verzichtet. Folglich wird also ein ausschließlich auf Basis empirischer Erkenntnisse errechnetes Unfallpotenzial unterstellt.

---

<sup>4</sup> Ein Flugunfall wird durch ein Ereignis beim Betrieb eines Luftfahrzeuges beschrieben, bei dem entweder eine Person tödlich verletzt worden ist, das Luftfahrzeug einen erheblichen Schaden erlitten hat oder das Luftfahrzeug vermisst wird bzw. nicht zugänglich ist (siehe §2 Flugunfalluntersuchungsgesetz bzw. ICAO Annex 13 [3])



Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der Unfallrate (AR)<sup>5</sup>

Das lokale AR für den gewählten Untersuchungsraum wird aber nicht direkt auf Basis dieser weltweiten Zahlen, sondern mittels Analogieschlüssen zu vergleichbaren Verkehrsflughäfen bestimmt.

Aufgrund des geringen Anteils an Luftfahrzeugen mit einer maximalen Abflugmasse (MTOM) kleiner als 5,7 t am FH Basel-Mulhouse [7] erfolgt die Analogieschlussbetrachtung (vgl. Kapitel 3.2.2) unter Ausschluss von Unfällen mit Luftfahrzeugen kleiner als 5,7 t MTOM. Luftfahrzeuge dieser Größenordnung zeigen weltweit gesehen eine etwas höhere Unfallrate auf als größere Luftfahrzeuge. Dies begründet sich vor allen Dingen in einer anderen Verkehrszusammensetzung bei Verkehr mit kleinen Luftfahrzeugen, da hier hauptsächlich Verkehr der allgemeinen Luftfahrt stattfindet und der gewerbliche Verkehr mit Ausnahme des Geschäftsreiseverkehrs nur eine untergeordnete Bedeutung besitzt.

Die Ermittlung der Unfallrate für Luftfahrzeuge mit einem MTOM von weniger als 5,7 t erfolgt demnach gesondert auf Basis von Auswertungen von Flugunfallstatistiken der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung – BFU (vgl. Kapitel 3.2.3).

### 3.2.2 Unfallrate für Luftfahrzeuge größer als 5,7 t MTOM

Die Bestimmung der Unfallrate für Luftfahrzeuge mit einer maximalen Abflugmasse von mehr als 5,7 t erfolgt auf Basis von Analogieschlüssen zu vergleichbaren Verkehrsflughäfen. Hierzu wurden zunächst anhand einer Datenbank des Airports Council International (ACI)<sup>6</sup> diejenigen Flughäfen selektiert, die dem FH Basel-Mulhouse am ähnlichsten sind. Die ACI erstellt jedes Jahr umfassende Berichte, die über die Entwicklung der Luftfahrt anhand von Daten über Flugbewegungen, Passagierzahlen und beförderter Fracht für jeden in der ACI organisierten FH informieren.

Die aus diesen Daten erstellte Datenbank umfasst den Zeitraum von 2000 bis 2019 und enthält o.g. Verkehrszahlen für derzeit ca. 1'650 Flughäfen in 176 Staaten. Die Datenbank der ACI ist somit die umfassendste Datenquelle mit Verkehrszahlen die derzeit überhaupt verfügbar ist.

<sup>5</sup> Aviation Safety Network

<sup>6</sup> Die ACI, im Jahr 1991 gegründet, ist ein Zusammenschluss von Flughafenbetreibern, deren Aufgabe unter anderem darin besteht, die Interessen der Flughäfen weltweit zu vertreten und Kooperationen mit anderen Industriezweigen oder der ICAO zu fördern. Im Rahmen dessen wird u.a. an der Erstellung von neuen international gültigen Standards und Empfehlungen im Bereich Sicherheit und Umwelt mitgewirkt.



Da die Daten direkt durch die Flughäfen an die ACI gemeldet werden, ist auch die Qualität entsprechend hoch einzuordnen.

Aus dieser Datenbank wurden zur Bestimmung der Unfallrate diejenigen Flughäfen selektiert, die in den Merkmalen:

- Anzahl der jährlichen Flugbewegungen,
- Anzahl der jährlichen Passagiere und
- Anzahl der jährlich umgeschlagenen Fracht

dem FH Basel-Mulhouse am ähnlichsten sind.<sup>7</sup> Für Flughäfen in der hier maßgeblichen Größenordnung (internationaler Flughafen) gewährleisten diese Parameter die Selektion zu Basel-Mulhouse ähnlicher Flugplätze, da neben dem Verkehrsmengenbezug (Flugbewegungen pro Jahr) auch die Verkehrsstruktur (Größe und Art des eingesetzten Fluggerätes) statistisch über die Passagieranzahl sowie die Frachtmenge mitberücksichtigt wird. Hiermit resultiert – unter Zugrundelegung eines mehrjährigen Bezugszeitraums – eine stabile Datenbasis als Erfahrungsraum risikobeeinflussender Variablen zur Bestimmung der Unfallrate.

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt die für das Selektionsverfahren zugrunde gelegten Eingangsparameter des FH Basel-Mulhouse (Verkehrszahlen des Bezugsjahres 2019).

Flugbewegungen	Fracht [t]	Passagiere
99'300	63'600	9'081'400

Tabelle 2: Eingangsparameter der Clusteranalyse

Es wurden für sämtliche Flughäfen der ACI die Abweichungen (Distanzen) in den vorgenannten Größen gegenüber dem FH Basel-Mulhouse auf Grundlage der Durchschnittswerte (Anzahl an Flugbewegungen, Passagieren und Fracht) im Betrachtungszeitraum 2000 bis 2019 bestimmt.

Die Ermittlung der Distanzen und damit die Auswahl der entsprechenden Vergleichsflughäfen wurden anhand eines statistischen Verfahrens, der sog. multivariaten, hierarchischen Clusteranalyse, durchgeführt. Hierbei stellen die oben erwähnten Parameter Flugbewegungen, Passagiere und Fracht die zu untersuchenden Variablen dar, welche für jeden in der Datenbank vorhandenen Flughäfen als Mittelwert über die gewählte Zeitreihe mit denen des FH Basel-Mulhouse verglichen werden.

In der hierarchischen Clusteranalyse wird agglomerativ<sup>8</sup> vorgegangen und es werden Einheiten (hier Flughäfen mit den drei Parametern Flugbewegungen, Passagiere und Fracht) zu sog. Clustern<sup>9</sup> zusammengefasst. Das hier angewandte Verfahren ist die Clusteranalyse nach der Ward-Methode. Diese basiert auf der sog. Varianzanalyse, d.h. der Zusammenfassung von Einheiten, die zum kleinsten Anstieg der Varianz innerhalb der Cluster führen.

<sup>7</sup> Für diese Analogieschlussanalyse wurden nur jene Flughäfen berücksichtigt, welche in allen drei Parametern nahezu vollständige Datensätze aufweisen. Dies ist für alle Flughäfen der hier maßgeblichen Größenordnung gegeben. Insgesamt gingen somit Datensätze von ca. 900 Flughäfen in die Datenanalyse ein.

<sup>8</sup> Zu Beginn bildet jede Einheit (Flughafen) einen Cluster für sich, die Clusteranalyse läuft dann so lange, bis alle Einheiten zusammen einen einzigen Cluster bilden.

<sup>9</sup> Cluster (engl. *Cluster* = Traube, Bündel, Haufen); Gruppe von Objekten (hier: Flughäfen) mit ähnlichen Eigenschaften (hier: Anzahl von Flugbewegungen, Passagieren und Fracht)

Ist das Abbruchkriterium erreicht<sup>10</sup>, wird jener Cluster selektiert, in dem der FH Basel-Mulhouse enthalten ist. Dieses Cluster enthält die entsprechende Gruppe an Vergleichsflughäfen. Folgende Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse der Clusteranalyse als grafische Darstellung:

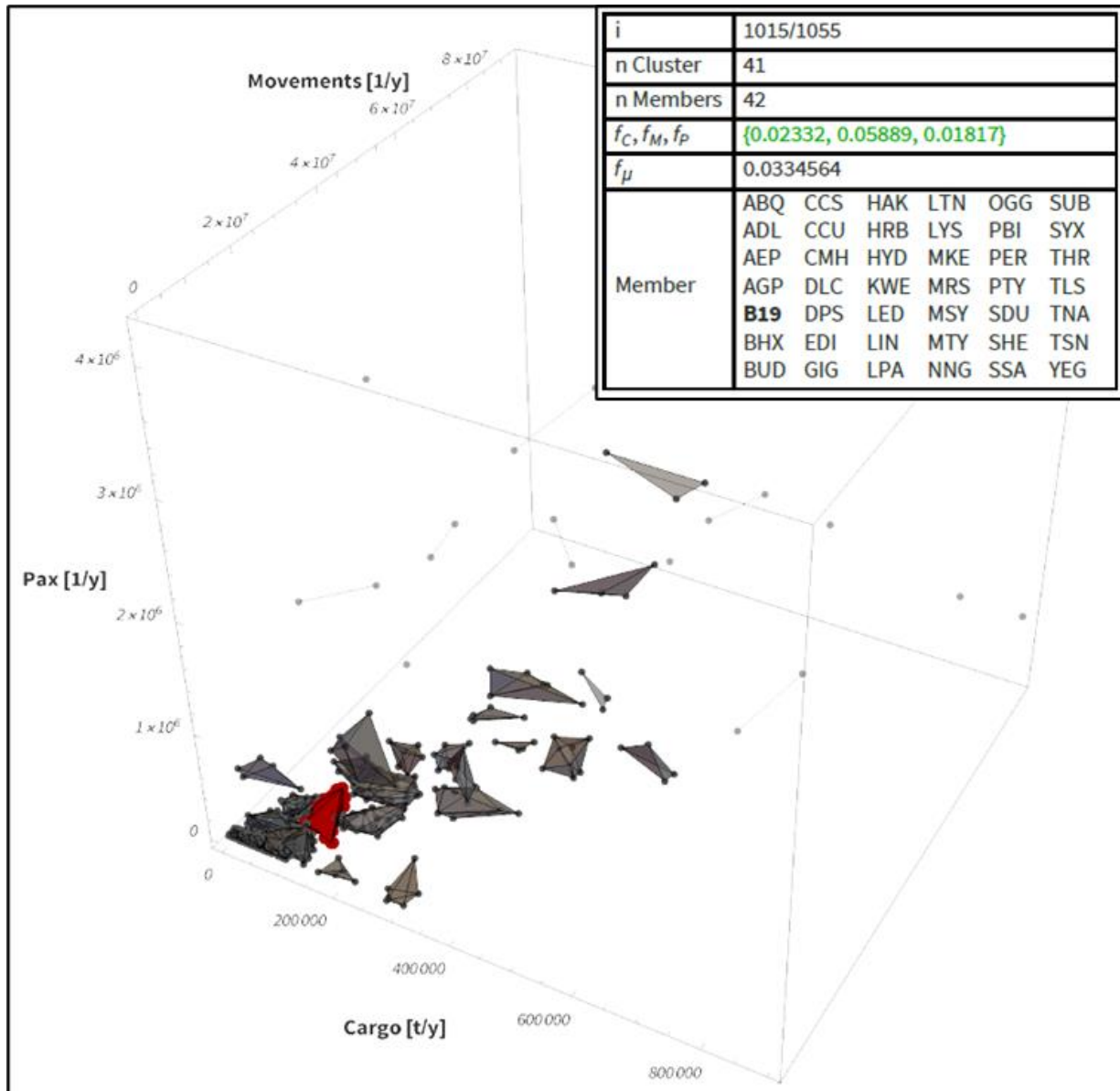


Abbildung 3: Bildung von Clustern zur AR-Bestimmung  
(Basel-Mulhouse-Cluster in Rot)

Für diese Gruppe (selektierter Cluster) von statistisch homogenen Vergleichsflughäfen, wird sodann die Anzahl an Gesamtflugbewegungen im Untersuchungszeitraum (20 Jahre) ermittelt. Diese sind für in nachfolgender Tabelle 3 dargestellt:

<sup>10</sup> Der Abbruch der Clusteranalyse, d. h. die Entscheidung, dass alle als ähnlich eingestufted Flughäfen aus der Datenmenge gefunden und in ein Cluster zusammengeführt wurden, erfolgte mittels Varianz-/Homogenitätsanalyse: Bei signifikanter Zunahme der internen Inhomogenität wird die Aggregation abgebrochen. Dabei wurde als Inhomogenitätsparameter die Varianz der Cluster festgelegt.

Anzahl der Vergleichsflughäfen	Flugbewegungen (2000- 2019)
41	78'300'000

Tabelle 3: Anzahl der Flugbewegungen und Vergleichsflughäfen im Zielcluster

Weitergehend wurden für sämtliche dieser Flughäfen in dem Zeitraum zwischen 2000 und 2019 die Flugunfälle mit Todesfolge (Typ „Fatal Accident“ nach FIUUG [8] bzw. ICAO Annex 13 [3] im gewerblichen Zivilluftverkehr recherchiert, die sich im Untersuchungsraum der jeweiligen Flughäfen ereignet haben. Die Daten hierzu wurden mittels einer umfangreichen Datenanalyse in mehreren internationalen Flugunfalldatenbanken<sup>11</sup> ermittelt. In einem weiteren Schritt erfolgte die expertenbasierte Prüfung, ob sich die Flugunfälle auch am FH Basel-Mulhouse hätten ereignen können. Hierbei wurde insbesondere auf die Vergleichbarkeit des entsprechenden Verkehrs mit dem am FH Basel-Mulhouse fokussiert. So sind z.B. Flugunfälle mit Luftfahrzeugen unter 5,7 t MTOM (gesonderte Modellierung), aber auch Flugunfälle auf Grund besonderer geografischer Gegebenheiten von der Analyse ausgenommen. Bei positiver Prüfung wurde der Unfall zur Ermittlung des AR herangezogen.

Die Ermittlung des AR erfolgte sodann mittels Division der ermittelten relevanten Flugunfälle mit den in Tabelle 3 angegebenen Bezugsflugbewegungen:

$$AR = \frac{\text{Anzahl Flugunfälle}}{\text{Anzahl Flugbewegungen}}$$

Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die Anzahl der ermittelten Flugunfälle und die daraus resultierende Unfallwahrscheinlichkeit:

Anzahl der Flugunfälle	Unfallrate (AR)
10	1,3 x 10 <sup>-7</sup>

Tabelle 4: Unfallrate (AR)

Ein AR von 1,3 x 10<sup>-7</sup> je Flugbewegung ist gleichbedeutend mit einem Flugunfall auf ca. 7,7 Millionen Flugbewegungen (1/(1,3 x 10<sup>-7</sup>)) am FH Basel-Mulhouse. Legt man die entsprechenden Flugbewegungen des Jahres 2019 (ca. 84'000 Flugbewegungen) zu Grunde, so ergibt sich eine Unfallwahrscheinlichkeit von 1,1 x 10<sup>-2</sup> pro Jahr, bzw. ein Flugunfall mit Todesfolge in ca. 92 Jahren.

### 3.2.3 Unfallrate für Luftfahrzeuge kleiner als 5,7 t MTOM

Zur Bestimmung der Unfallrate für Luftfahrzeuge kleiner als 5,7 t MTOM werden statistische Daten der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) sowie Daten des Statistischen Bundesamtes herangezogen [9–11].

Weiterhin lässt sich feststellen, dass die Unfallrate zeitlichen Schwankungen unterworfen ist und sich insgesamt – global gesehen – eine sinkende Tendenz nachweisen lässt (vgl. auch Abbildung 2). Diese sinkende Tendenz ist jedoch, wie die Statistiken der BFU bzw. des statistischen Bundesamtes zeigen [9–11], für die Luftfahrzeuge kleiner als 5,7 t nicht so stark ausgeprägt, wie für andere Verkehre. Die Unfallrate für Luftfahrzeuge kleiner als 5,7 t MTOM wird daher, der gutachtlichen Vorsicht folgend, für die Zukunft als konstant angenommen.

<sup>11</sup> Aviation Safety Network (ASN); National Transportation Safety Board (NTSB); Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU)

Somit ergibt sich die Unfallwahrscheinlichkeit für LFZ kleiner als 5,7 t MTOM wie in nachfolgender Tabelle 5 dargestellt:

	AR für LFZ < 5,7 t MTOM
AR pro Flugbewegung	$5,9 \times 10^{-7}$

Tabelle 5: Unfallrate für Flugunfälle mit Todesfolge für LFZ < 5,7 t MTOM

Legt man die entsprechenden Flugbewegungen des Jahres 2019 (ca. 10.000 Flugbewegungen) zu Grunde, so ergibt sich eine Unfallwahrscheinlichkeit von  $5,9 \times 10^{-3}$  pro Jahr, bzw. ein Flugunfall mit Todesfolge in ca. 170 Jahren

### 3.3 Unfallstreuung – Accident Location (AL)

Die Unfallwahrscheinlichkeit ist im Untersuchungsraum nicht überall gleich groß. Sie ist empirisch belegt in der Nähe der Start- oder Landebahn (SLB) höher als in einer größeren Entfernung zur SLB. Die lokale Unfallwahrscheinlichkeit hängt gleichzeitig von der Nähe der für An- und Abflug definierten Standardstreckenführungen ab. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein LFZ in unmittelbarer Nähe der beflogenen Flugstrecke verunglückt, ist – wie die internationale Statistik zeigt – am größten und nimmt mit zunehmendem Abstand ab.

Die Unfallwahrscheinlichkeit an einem bestimmten Punkt ist dementsprechend von dessen Lage in Relation zum Flugplatz und zu den Flugstrecken abhängig (vgl. Abbildung 4 (Bahnkoordinate  $s$  entlang und  $t$  querab zur Flugbahn) und Abbildung 5). Diese Entfernungs- und Flugstreckenabhängigkeiten werden im Unfallstreuungsmodell (AL) beschrieben.

Das Streuungsmodell basiert auf historischen Daten von Unfallorten. Die Daten hierzu wurden aus einer umfangreichen Datenanalyse mehrerer internationaler Datenbanken gewonnen (z. B. National Transportation Safety Board<sup>12</sup>, Aviation Safety Network<sup>13</sup>, ICAO<sup>14</sup>, BFU<sup>15</sup>, AAIB<sup>16</sup> und BEA<sup>17</sup>), um hierdurch mögliche Beschreibungsdefizite von Unfallberichten in einzelnen Datenbanken kompensieren zu können.

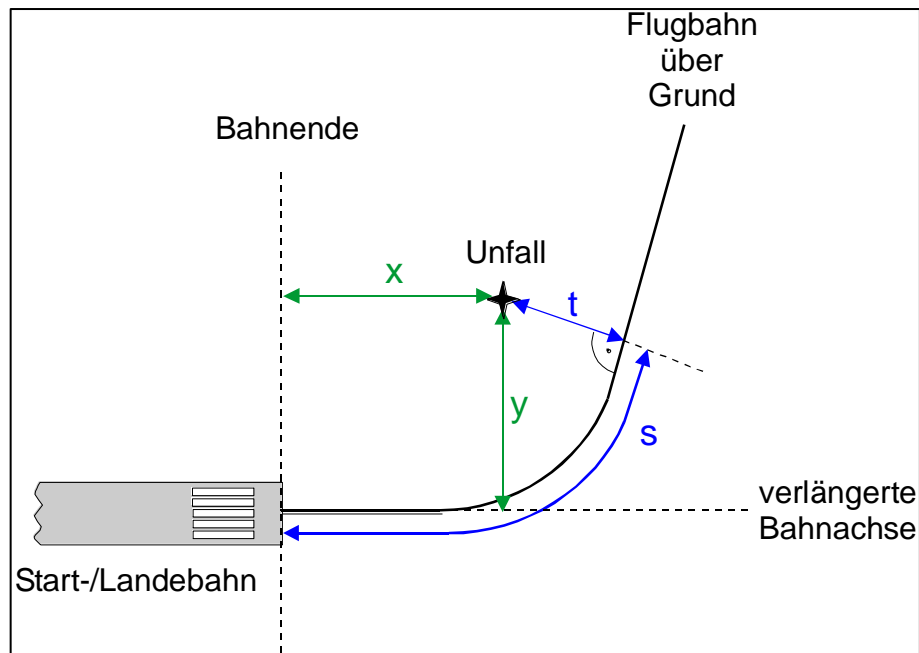


Abbildung 4: Verwendetes Koordinatensystem in der AL-Modellierung

Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt das modellierte Streuungsmodell für die Landung:

<sup>12</sup> NTSB: Aviation Accident Database

<sup>13</sup> ASN: Internet-Unfalldatenbank

<sup>14</sup> ICAO: ADREP-Database

<sup>15</sup> BFU: Jahresstatistiken

<sup>16</sup> United Kingdom Air Accidents Investigation Branch (AAIB): Unfalldatenbank

<sup>17</sup> Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la Sécurité de l'Aviation civile: Internet-Unfalldatenbank

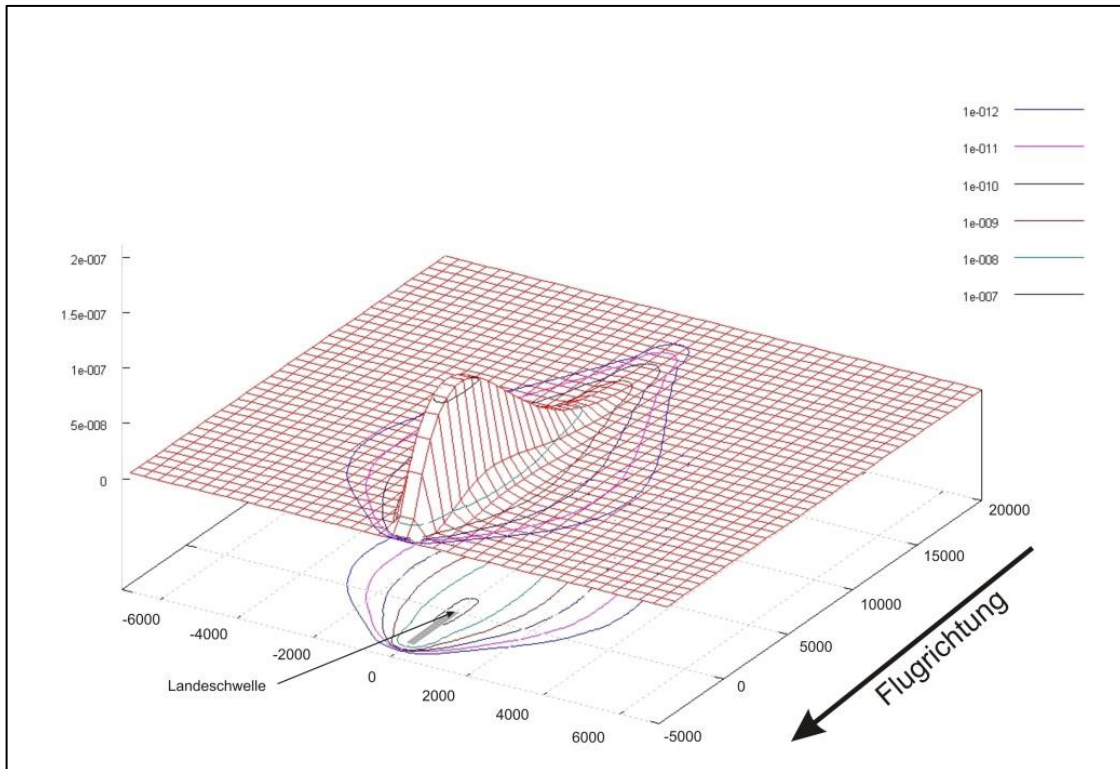


Abbildung 5: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, hier exemplarisch für Landeunfälle

Wie in Abbildung 5 zu sehen, breitet sich die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion entlang des Anflugpfades aus. Die Wahrscheinlichkeit bei der Landung zu verunglücken ist im Bereich der Landeschwelle am höchsten und nimmt mit zunehmender Entfernung zur Landeschwelle ab.

### 3.4 Unfallfolgen – Accident Consequence (AC)

Das Unfallfolgenmodell (AC) beschäftigt sich mit den Auswirkungen eines Flugunfalls am Boden. Das Modell beruht dabei auf empirischen Flugunfalluntersuchungen hinsichtlich der Größe des von den Flugunfallfolgen betroffenen Gebietes am Boden, dem Unfallfolgegebiet. Eine Person, die sich in der Umgebung eines Flughafens aufhält, ist nicht nur dann einem Risiko ausgesetzt, wenn ein LFZ exakt an dem Aufenthaltsort dieser Person verunfallt, sondern auch dann, wenn sich der Flugunfall in unmittelbarer Nähe des Aufenthaltsortes dieser Person ereignet, die Person sich also im Unfallfolgegebiet aufhält. Dieses steht in seiner Dimensionierung wesentlich unter dem Einfluss der topografischen Beschaffenheit des Geländes und der Masse des verunfallten LFZ. Das Unfallfolgegebiet setzt sich aus dem Primärschadensgebiet und dem Sekundärschadensgebiet zusammen. Das Primärschadensgebiet bildet das direkt durch den Flugunfall betroffene Teilgebiet ab, beinhaltet also z. B. die direkte Aufschlagszone und das Trümmerfeld eines verunfallten LFZ.

Ein Sekundärschadensgebiet ist nur dann vorhanden, sofern sich eine Anlage nach SEVESO-II-Richtlinie [12] (EU-Richtlinie, welche die Verhütung schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen und die Begrenzung der Unfallfolgen für Mensch und Umwelt behandelt) innerhalb des Primärschadensgebietes befindet. Die Betroffenheit eines solchen Objektes durch einen Flugunfall hätte unter Umständen eine signifikante Vergrößerung des Unfallfolgegebietes zur Konsequenz (z. B. bei Explosion eines Gastanks). Die von diesem Umstand betroffene Fläche ist das Sekundärschadensgebiet.

Innerhalb des Primärschadensgebietes des Unfallfolgegebietes wird eine gewisse Mortalität, also eine Sterblichkeitsrate in Prozent, einer definierten Gruppe von Personen (hier der Personen im Unfallfolgegebiet), modelliert. Die Mortalität hat direkten Einfluss auf das Einzel- und Gruppenrisiko. Der Ansatz einer Mortalität von 100 % innerhalb des Unfallfolgegebietes würde eine Überschätzung des Gefährdungspotenzials implizieren. Somit ist die Modellierung der Mortalität im Unfallfolgegebiet notwendig, welche in Kapitel 3.5 dargelegt ist.

Da die Masse eines verunglückten LFZ eine signifikante Rolle bei der räumlichen Dimensionierung eines Unfallfolgegebietes einnimmt, wird innerhalb des AC-Modells mit einem massespezifischem Ausbreitungsfaktor des Unfallfolgegebietes gerechnet (vgl. Abbildung 6).



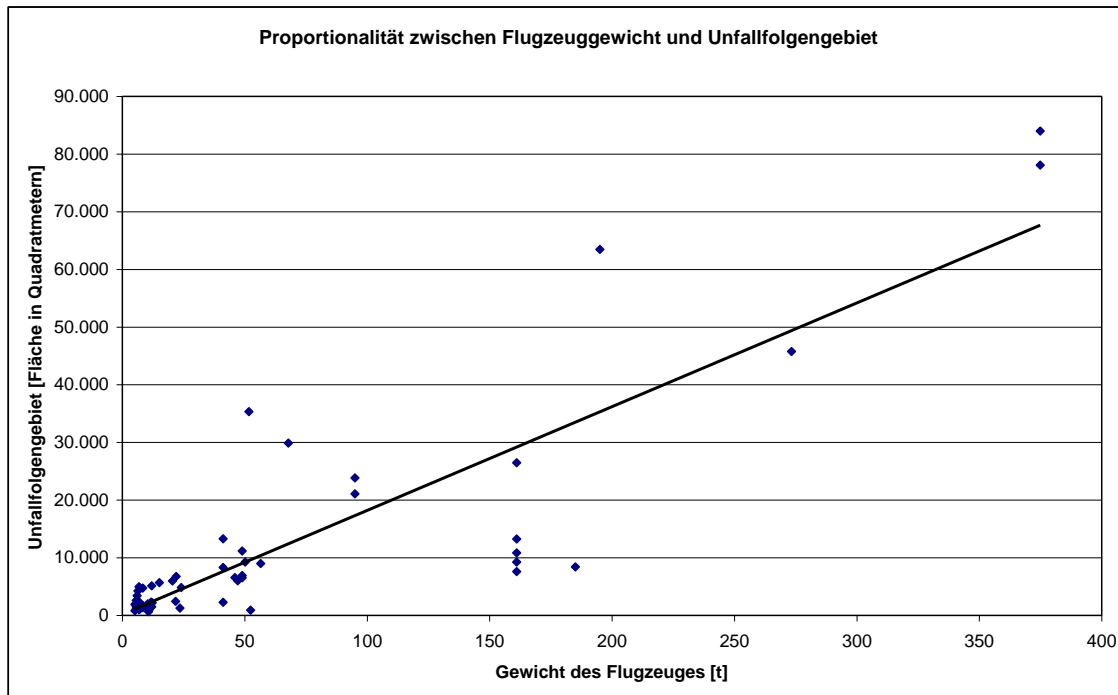


Abbildung 6: Empirischer Zusammenhang zwischen Luftfahrzeugmasse und Größe des Unfallfolgegebietes

Da Unfallfolgegebiete außerdem in ihrer Charakteristik in großem Maße von der Geländebeschaffenheit, also den topografischen Merkmalen innerhalb der Umgebung des Unfallortes abhängig sind, erfolgt modellseitig hierbei eine Differenzierung zwischen offenem (unbebautes, unbefestigtes, freies Gelände) und nicht-offenem Gelände (bebaut oder bewaldet) gemäß nachfolgender Tabelle 6.

Topografiemerkmal	Spezifische Fläche des Unfallfolgegebietes bezogen auf die LFZ-Masse
Offenes Gelände	290 m <sup>2</sup> /t
Nicht-offenes Gelände	180 m <sup>2</sup> /t

Tabelle 6: Geländeabhängige Dimensionen von modellierten Unfallfolgegebieten

Aus den modellierten spezifischen Flächen ergeben sich für zwei beispielhafte LFZ mit den Massen 20 t und 100 t die in der folgenden Tabelle 7 dargestellten Radii des Unfallfolgegebietes in offenem und nicht-offenem Gelände.

Topografiemerkmal	Spezifische Fläche des Unfallfolgegebietes bezogen auf die LFZ-Masse	Beispielhafter Unfallfolgenradius (LFZ-Masse 20 t)	Beispielhafter Unfallfolgenradius (LFZ-Masse 100 t)
Offenes Gelände	290 m <sup>2</sup> /t	43,0 m	96,1 m
Nicht-offenes Gelände	180 m <sup>2</sup> /t	33,9 m	75,7 m

Tabelle 7: Radii des Unfallfolgegebiets für zwei beispielhafte LFZ



### 3.5 Mortalität

Die Mortalität hat direkten Einfluss auf das Einzel- und Gruppenrisiko. Der Ansatz einer Mortalität (Sterblichkeitsrate in Prozent einer definierten Personengruppe; hier Personen im Unfallfolgegebiet) von 100% innerhalb des Unfallfolgegebietes würde eine Überschätzung des Gefährdungspotenzials implizieren. Zur empirischen Modellierung der Mortalität wären jedoch Flugunfälle zu recherchieren, die in bewohntem Gebiet stattgefunden haben und bei denen Angaben über die Anzahl der sich zum Absturzzeitpunkt im Unfallfolgegebiet aufhaltenden Personen sowie über die Opfer vorliegen. Diese Informationen sind allerdings nicht verfügbar, da es quasi unmöglich ist, die zum Zeitpunkt des Flugunfalls (innerhalb des in Kapitel 3.4 bestimmten Unfallfolgegebietes) anwesenden Personen zu bestimmen.

Die Modellbildung zur Mortalität muss daher konservativen Annahmen folgen. Die Modellbildung zur Mortalität ist wie folgt: An Bord der LFZ befindet sich je nach Muster eine bestimmte Menge an Kerosin, die als bekannt unterstellt wird. Hierfür wird die maximale Lachenfläche, also jene Fläche, die bei vollständigem Austritt dieser bekannten Kraftstoffmenge benetzt wird, wie folgt berechnet:

Für eine beispielhaft angenommene Menge von 50 t Kerosin<sup>18</sup> mit einer üblichen (wenn auch de facto im Flugbetrieb leicht schwankenden) Dichte von  $800 \text{ kg} / \text{m}^3$ <sup>19</sup> nimmt ein Volumen von  $62,5 \text{ m}^3$  ein. Für versiegelte Flächen ergibt sich auf Grund der Oberflächenspannung von Kerosin eine Lachentiefe von 5 mm gemäß [13], so dass sich eine Lachenfläche auf ebenem Untergrund von  $12'500 \text{ m}^2$  ergibt (bei kreisförmiger Ausprägung gleichbedeutend mit einem Radius von 63,1 m).

Es wird davon ausgegangen, dass sich das Kerosin entzündet (post crash fire). Somit ist für die Lachenfläche (im Folgenden als Kernfläche bezeichnet, vgl. Abbildung 7) konservativ eine Mortalität von 100 % zu unterstellen.

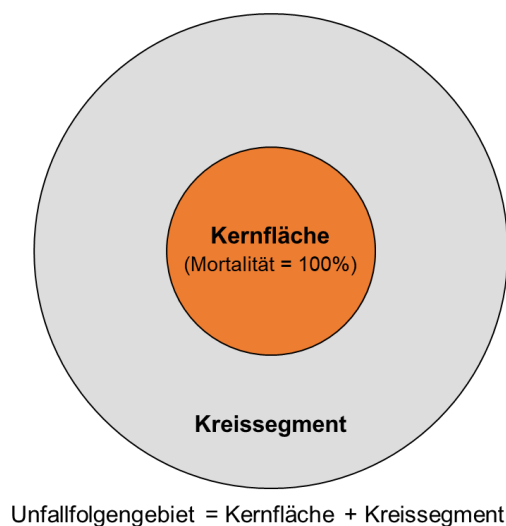


Abbildung 7: Kernfläche und Unfallfolgegebiet zur Bestimmung der Mortalität

<sup>18</sup> Der Wert von 50 t wird hier nur als beispielhafte Menge zur Verdeutlichung des grundsätzlichen Zusammenhangs angeführt. Bei der Berechnung werden die luftfahrzeuggruppenspezifischen Massen verwendet.

<sup>19</sup> Der Wert von  $800 \text{ kg} / \text{m}^3$  für Dodecan ( $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$  und Derivate) wird als Referenzdichte bezeichnet, da dieser Wert im Handel Anwendung findet, um den Preis einer aktuellen Charge mit einer gegebenen Dichte in Relation zur aktuellen Notierung zu setzen. Dieser Wert wird den Berechnungen zugrunde gelegt. Die Dichte von Kerosin schwankt je nach Sorte und Temperatur zwischen  $750$  und  $845 \text{ kg} / \text{m}^3$ .

Zur Bestimmung der Mortalität innerhalb des gesamten Unfallfolgegebietes nach Kapitel 3.4 ist bei bekannter Kernfläche und dortiger Mortalität von 100 % diese im Kreesegment (Unfallfolgegebiet ohne Kernfläche) zunächst nicht bekannt. Hier wird eine über den Radius des Kreesegmentes linear von 100% auf 0% abnehmende Mortalität unterstellt. Für den am FH Basel-Mulhouse vorliegenden Flotten-Mix ergibt sich basierend auf den jeweiligen Höchstabflugmassen (Parameter für die Größe des gesamten Unfallfolgegebietes) und den maximal mitführbaren Kraftstoffmengen (Parameter für die Größe der Kernfläche) der operierenden LFZ eine über alle Baumuster und das Unfallfolgegebiet gemittelte Mortalität von 60 %. Folgende Abbildung 8 verdeutlicht diesen Sachverhalt.

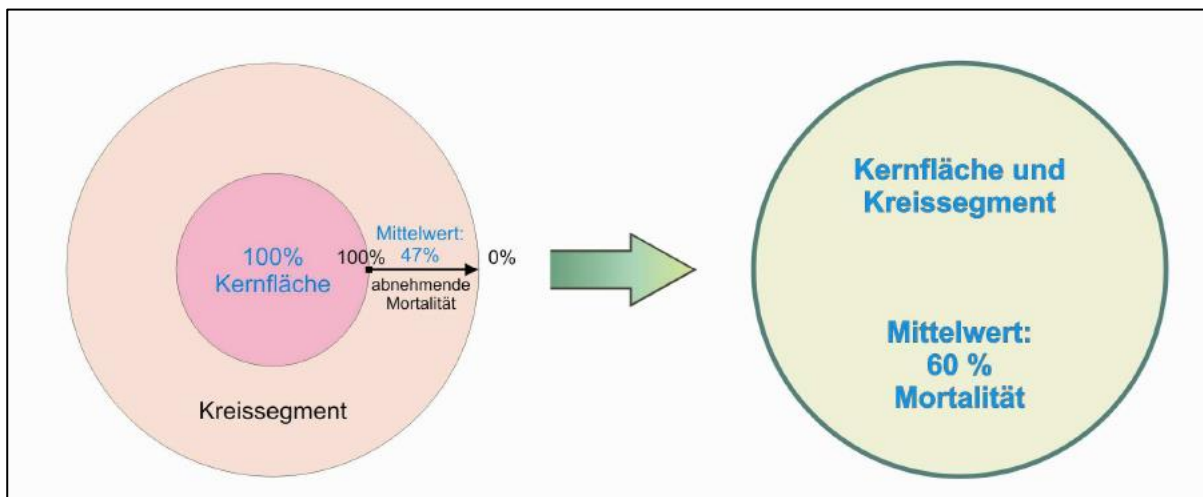


Abbildung 8: Schematische Bestimmung der Mortalität

Eine Mortalität von 60 % bedeutet schließlich, dass ca. 6 von 10 Personen, die sich irgendwo im Unfallfolgegebiet aufhalten, statistisch an den Folgen des Flugunfalls versterben. Demnach können Personen auch innerhalb des Unfallfolgegebietes unverletzt bleiben oder nur verletzt werden. Diejenigen Personen, die sich außerhalb des Unfallfolgegebietes aufhalten, werden nach Definition des Unfallfolgegebietes keine tödlichen Verletzungen davontragen (Mortalität = 0%).

### 3.6 Zusammenführen der Teilmodelle und Ableitung des Gruppenrisikos

Die zuvor beschriebenen Teilmodelle AR, AL und AC werden auf jede Rasterzelle des Untersuchungsraumes angewandt. Zur Berechnung des Einzelrisikos (Individuelles Risiko, engl. individual risk) in einer bestimmten Zelle wird die Summe der Wahrscheinlichkeiten bestimmt, mit der sich exakt in dieser Zelle ein Unfall ereignet sowie mit der ein Unfall in unmittelbarer Umgebung Auswirkungen auf die betrachtete Zelle hat. Das Berechnungsverfahren für das Gruppenrisiko (kollektives Risiko) ist methodisch eng an die Einzelrisikoberechnung gekoppelt. Hierbei sind allerdings Demografiedaten für den Untersuchungsraum erforderlich. Wenn diese nicht vorliegen, sind keine Aussagen zur Gefährdung von Kollektiven möglich (d. h. das Gruppenrisiko wäre per Definition gleich Null).

Das Gruppenrisiko setzt sich wie jedes Risiko aus Eintrittshäufigkeit und Schadensausmaß zusammen und wird bestimmt, indem für jede Zelle innerhalb des Untersuchungsraumes die Wahrscheinlichkeit von  $n$  oder mehr infolge eines Flugunfalls gestorbener Personen errechnet wird. Diese Wahrscheinlichkeit hängt von den Ausdehnungen des Unfallfolgegebietes, der Anzahl der sich innerhalb dieses Unfallfolgegebietes i.d.R. unterstellt aufhaltenden Personen und der Wahrscheinlichkeit ab, dass diese Personen infolge eines Unfalls sterben. Bei der Berechnung des Gruppenrisikos werden innerhalb des Untersuchungsraumes die einzelnen Rasterzellen sequenziell untersucht und für jede Rasterzelle das Wertepaar bestehend aus Einzelrisiko und betroffener Personenanzahl gebildet. Sollte eine bestimmte Anzahl von Personen innerhalb des Untersuchungsraumes mehrfach in den Demografiedatensätzen enthalten sein, so werden die zugehörigen Einzelrisikowerte addiert. Nach erfolgter Untersuchung des Untersuchungsraumes wird das Gruppenrisiko für eine Gruppe von  $n$  und mehr Personen durch Addition der Einzelrisikowerte aller Gruppen mit mehr als  $n$  Personen bestimmt.

Das Gruppenrisiko ergibt sich aus den berechneten Absturzwahrscheinlichkeiten je Berechnungszelle und der sich im Unfallfolgegebiet um diese Zelle aufhaltenden Personen (vgl. Kapitel 3.2).

Für jede Zelle ("Einzelszenario") wird die jeweilige Absturzwahrscheinlichkeit und die Anzahl der Personen der Wohnbevölkerung innerhalb des Unfallfolgegebietes ermittelt, welches deutlich größer als eine Berechnungszelle sein kann: Bei einer maximalen Abflugmasse von 100 t ergibt sich bspw. ein Unfallfolgenradius von mehr als 96 m (vgl. Kapitel 3.4). Nach Aufsummierung aller Zellen mit gleicher Betroffenenanzahl ergeben sich hieraus die einzelnen Punkte des Gruppenrisikodiagramms.

Das Gruppenrisiko wird in Form von F/N-Diagrammen dargestellt. Die folgende Abbildung 9 zeigt qualitativ den üblichen Verlauf einer Kurve zum Gruppenrisiko:

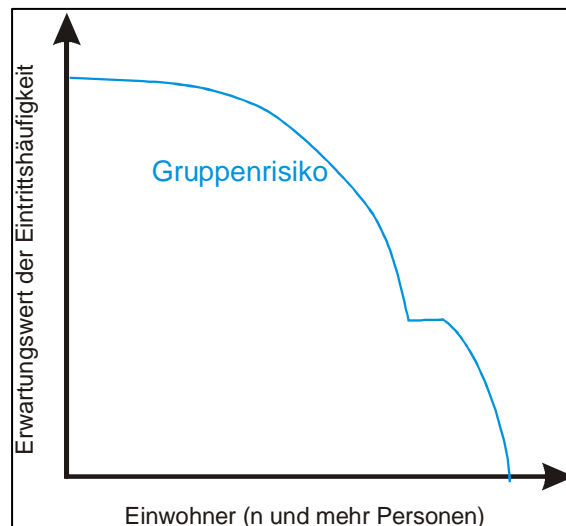


Abbildung 9: Gruppenrisiko (typischer Verlauf)

Bei den grafischen Darstellungen zum Gruppenrisiko in Form von F/N-Diagrammen ist zu beachten, dass diese doppelt logarithmisch skaliert sind. In den Gruppenrisikodiagrammen zeigen sich insbesondere für größere Gruppen häufig „Kurvenknicks“, die darauf zurückzuführen sind, dass gewisse Gruppengrößen im Untersuchungsraum nicht gleichzeitig von den Folgen eines Luftfahrzeugunfalls betroffen sein können und daher ein Risikowert für diese Gruppengröße nicht existiert. In solch einem Fall bleibt der Verlauf der Gruppenrisikokurve partiell konstant (horizontal).

Zur einfacheren Interpretation werden die Gruppenrisiken signifikanter Personenanzahlen auch in Tabellenform ausgewiesen. Innerhalb der F/N-Diagramme lässt sich erkennen, mit welcher Wahrscheinlichkeit (Erwartungswert) eine Gruppe von  $n$  und mehr (am Luftverkehr unbeteiligten) Personen gleichzeitig an den Folgen eines Flugunfalls sterben. Umgekehrt ist es ebenfalls möglich, für ein vorgegebenes Risiko die hiervon betroffene Personenanzahl abzulesen.

## 4 Eingangsdaten/Randbedingungen

### 4.1 Untersuchungsraum

Es wurde ein quadratischer Untersuchungsraum von 40 km x 40 km, zentriert um den Flugplatzbezugspunkt (Airport Reference Point, ARP) des FH Basel-Mulhouse festgelegt. Dieses Gebiet ist ausreichend groß, um sämtliche durch Luftverkehr am FH Basel-Mulhouse betroffenen Gebiete in Bezug auf das Externe Risiko vollständig zu umfassen. In den kartografischen Ergebnisdarstellungen (ab Kapitel 5) wird dieser Untersuchungsraum abgebildet.

Der Untersuchungsraum wird im Rahmen der Berechnungen zum Externen Risiko in ein Raster mit einer Zellgröße von 100 m x 100 m zerlegt.<sup>20</sup>

### 4.2 Lagebeschreibung

#### 4.2.1 Flughafenbezugspunkt

Der derzeitige Flughafenbezugspunkt des FH Basel-Mulhouse, auf den sich das für die Berechnungen verwendete lokale Koordinatensystem bezieht, hat die folgenden Koordinaten [14]:

Flughafenbezugspunkt	
Östliche geografische Länge	Nördliche geografische Breite
007° 31' 45"	47° 35' 24"
UTM32-Koordinate [hoch]	UTM32-Koordinate [rechts]
5'271'780 m	389'417 m

Tabelle 8: Koordinaten Flughafenbezugspunkt

Die Referenz-Flughafenhöhe beträgt laut Luftfahrthandbuch (Aeronautical Information Publication, AIP) 885 ft (270,75 m) über NN [14].

#### 4.2.2 Start- und Landebahnen

Die folgende Tabelle 9 beschreibt unter Bezug auf Tabelle 8 die Start- und Landebahnen am FH Basel-Mulhouse [14]:

	Hauptbahn 15/33	Nebenbahn 07/25
<b>Rechtweisende Richtung</b>	155° / 335°	077° / 257°
<b>Gesamtlänge [m]</b>	3'900	1'715
<b>Abstand der Landeschwelle vom Flughafenbezugspunkt [m]</b>	3'400 m / 497 m	949 m / 765 m

Tabelle 9: Daten Start- und Landebahnsystem

#### 4.2.3 Instrumentenabflugstrecken

Die Standard-Instrumentenabflugstrecken (Standard Instrument Departures, SID) sind hinsichtlich ihrer jeweiligen Verkehrsanteile sowie ihrer lateralen Verläufe in den verkehrlichen

<sup>20</sup> Dies entspricht einer typischen Zellgröße für derartige Untersuchungen. Eine höhere Auflösung würde den Rechenaufwand exponentiell ansteigen lassen, jedoch die Ergebnisqualität kaum steigern. Zudem liegen die gerasterten Eingangsdaten (bspw. Demographie) in keiner höheren Auflösung vor.

Eingangsdatensätzen des FH Basel-Mulhouse entsprechend des jeweiligen Szenarios (vgl. Kapitel 4.6) niedergelegt und wurden in das Berechnungsmodell implementiert.

#### **4.2.4 Instrumenteneinflugstrecken**

Die Standard-Instrumenteneinflugstrecken (Standard Arrival Route, STAR) sind hinsichtlich ihrer jeweiligen Verkehrsanteile sowie ihrer lateralen Verläufe im Bereich der Gegenanflüge sowie der Eindrehbereiche auf den Endanflug in den Verkehrsdatensätzen niedergelegt.

#### **4.2.5 Sichten- und -abflugverfahren**

Die Routenführungen für Verkehr nach Sichtflugregeln (Visual Flight Rules, VFR) wurden ebenso in das Modell implementiert. Dabei wurden die gemäß AIP [14] speziell für VFR-Verkehr vorgesehenen Routen mit realen VFR-Flugspuren abgeglichen. Wo sich Differenzen zwischen offiziellen und tatsächlich geflogenen Routen in der lateralen Richtung ergeben, werden die real geflogenen Routen herangezogen, um das Externe Risiko möglich realitätsnah abbilden zu können.



### 4.3 Demografie

Zur Ermittlung der Betroffenheit von Personen wird die räumliche Bevölkerungsverteilung im Untersuchungsgebiet benötigt. Die Daten hierfür wurden vom AG bereitgestellt bzw. wurden aus offiziellen Quellen beschafft. Durch die Besonderheit, dass im Umfeld des FH Basel-Mulhouse Staatsgebiete der Schweiz, von Frankreich und von Deutschland liegen, lagen unterschiedliche Qualitäten der Daten vor. Die Daten mussten daher zunächst in ein einheitliches Datenformat überführt werden, d.h. in ein einheitliches Raster mit einer Zellgröße von 100 m x 100 m, mit anschließender Datenfusion.

In der folgenden Abbildung 10 ist die resultierende gerasterte Bevölkerungsdichte im Umfeld des FH Basel-Mulhouse dargestellt. Diese wurde für alle Szenarien zur Bestimmung der Gruppenrisiken verwendet.

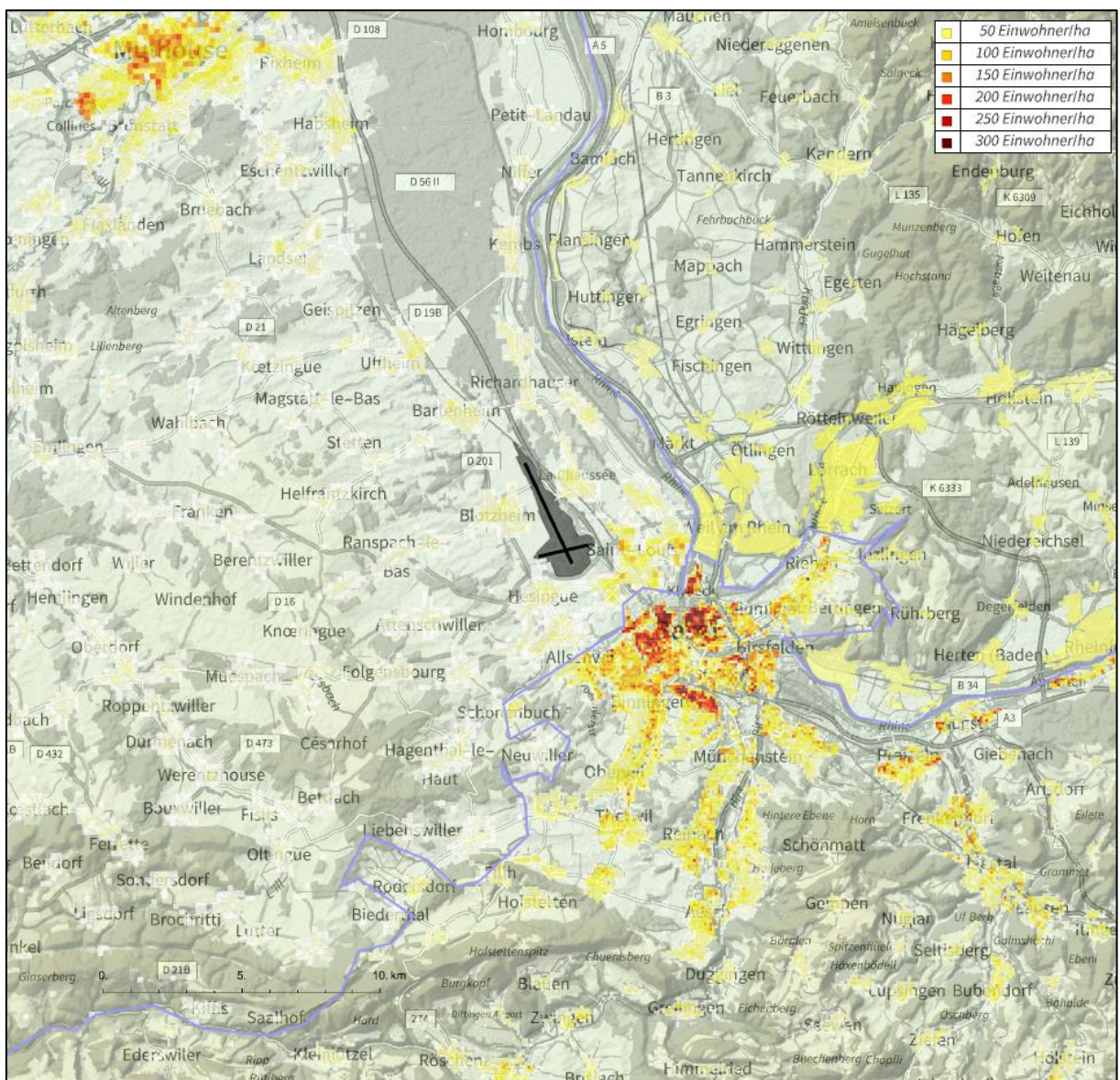


Abbildung 10: Gerasterte Bevölkerungsdichte im Umfeld des FH Basel-Mulhouse

## 4.4 Topografie

Zur Modellierung des Unfallfolgegebietes werden geländeabhängige spezifische Kennwerte angenommen (vgl. Kapitel 3.4). Diese unterscheiden sich zwischen offenem und nicht-offenem Gelände (siehe Tabelle 6). Der Geländetyp wurde im Umfeld des FH Basel-Mulhouse für ein Raster mit Rasterzellen 100 m x 100 m im Nahbereich des Flughafens, sowie 200 m x 200 m im weiteren Bereich ermittelt. Dazu wurden Luftbilder des betreffenden Gebiets analysiert und die Flächen mittels Bebauung, Vegetation oder Landschaft in offene und nicht-offenes Gelände kategorisiert. Die Ergebnisse dieser Topografieanalyse sind in der nachfolgenden Abbildung 11 dargestellt (grau: offenes Gelände, weiß: Bebauung oder Vegetation).

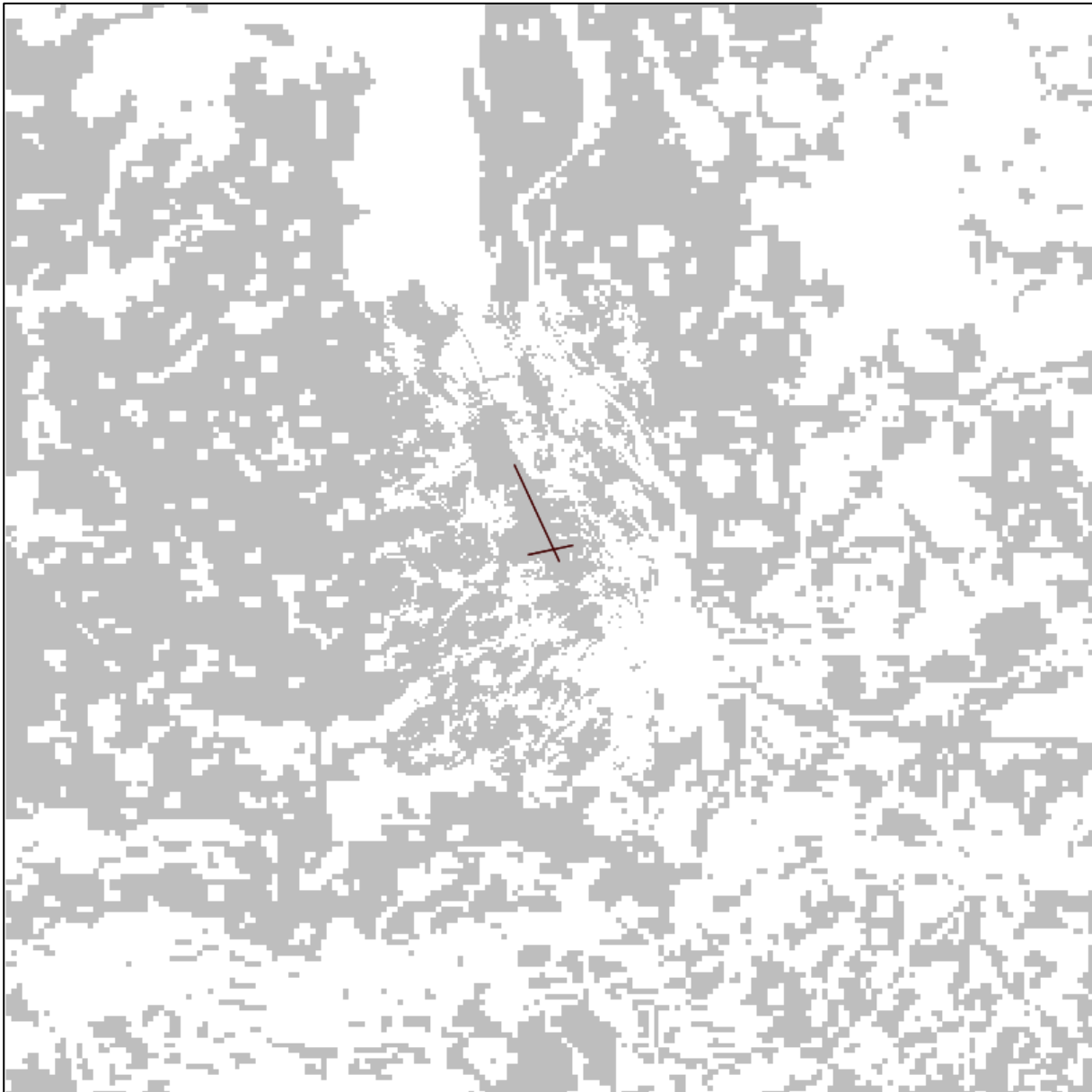


Abbildung 11: Gerasterte Topografie im Umfeld des FH Basel-Mulhouse

## 4.5 Gefährdende Anlagen nach Seveso/ StFV

Um zu ermitteln, ob durch einen Unfall ein Sekundärschadensgebiet erzeugt wird, wurden zunächst alle im 40x40 km Untersuchungsraum befindlichen gefährdenden Anlagen nach



Seveso/ StFV [6] recherchiert (vgl. Kapitel 3.4). Die Daten hierfür wurden vom AG bereitgestellt bzw. wurden aus offiziellen Quellen (bspw. für Deutschland über das Regierungspräsidium Freiburg) beschafft. Störfallanlagen, die weit außerhalb der hier relevanten Risikobereiche<sup>21</sup> liegen wurden jedoch nicht berücksichtigt.

Im Ergebnis wurden insgesamt 21 Störfallanlagen, wie in nachfolgender Tabelle 10 aufgeführt, berücksichtigt:

Nr	Anlagenbetreiber	Ort
1	ARaymond GmbH&Co.KG	Weil am Rhein
2	Streck Transportges. mbH, Lörrach	Lörrach
3	Streck Transportges. mbH, Steinen	Steinen
4	RUBIS TERMINAL	Village-Neuf
5	DSM Nutritional Products France	Village-Neuf
6	TFL France SAS	Huningue
7	Acino Pharma AG	Aesch BL
8	BWT AQUA AG	Aesch BL
9	Brenntag Schweizerhall AG	Muttenz 1
10	DSM Nutritional Products AG Zweigniederlassung Pentapharm	Aesch BL
11	Felix Transport AG	Arlesheim
12	Fiege Logistik (Schweiz) AG	Münchenstein
13	GABA Therwil GmbH	Therwil
14	Habasit AG	Reinach BL
15	Kunsteisbahn beim Margarethen	Binningen
16	Schmidlin - TSK AG	Aesch BL
17	Schwimmbad Reinach	Reinach BL
18	Viollier AG	Allschwil
19	Weleda AG	Arlesheim
20	Würth AG	Arlesheim
21	van Baerle AG	Münchenstein

Tabelle 10: Liste der gefährdenden Anlagen

Der Sekundärschadensradius wurde für alle Anlagen konservativ auf 250 m festgelegt. Eine detaillierte Auflistung der jeweiligen gefährdenden Anlagen, inkl. Verortung ist dem Anhang A3 zu entnehmen.

<sup>21</sup> Außerhalb der 10<sup>-10</sup> Iso-Risiko-Kontur.

## 4.6 Flugbewegungen / Szenarien

### 4.6.1 Allgemeines

Für die Untersuchungen zum Externen Risiko wurden insgesamt vier unterschiedliche Verkehrsszenarien untersucht. Jedes Verkehrsszenario umfasst dabei eine spezifische Verkehrsmenge je LFZ-Typ bzw. LFZ-Klasse, sowie eine spezifische Routenbelegung je LFZ-Klasse. Helikopter-, sowie militärische Flugbewegungen wurden in den Szenarien nicht einbezogen. Die jeweiligen Szenarien sind nachfolgend kurz dargestellt. Diese beruhen entweder auf historischen Flugbewegungs- oder auf Prognosedaten, die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden [15]. Leichte Abweichungen zu den von der EAP veröffentlichten Zahlen, hauptsächlich den VFR-Verkehr betreffend können auftreten, da in unten aufgeführten Verkehrszahlen Flugbewegungen mit Helikoptern nicht berücksichtigt sind.

### 4.6.2 Basisszenario 2019

Im Basisszenario wird das Externe Risiko auf Grundlage der im Jahr 2019 aufgezeichneten Verkehrszahlen ohne Aktualisierung der Routengeometrie berechnet. Aufgrund der Auswirkungen der COVID19-Pandemie stellt das Jahr 2019 die höchste historische Verkehrsmenge am FH Basel-Mulhouse dar. Die Anzahl der Flugbewegungen des Jahres 2019 ist in folgender Tabelle 11 für Verkehr im Instrumentenflug (Instrument Flight Rules, IFR) als auch VFR-Verkehr dargestellt.

	IFR	VFR	Gesamt
<b>Start</b>	41'909	4'596	46'505
<b>Landung</b>	42'261	5'209	47'470
<b>Gesamt</b>	84'170	9'805	93'975

Tabelle 11: Flugbewegungen FH Basel-Mulhouse, Basisszenario 2019

### 4.6.3 IstszENARIO 2022

Die Verkehrszahlen des Jahres 2022 spiegeln die aktuell verfügbaren Daten zum Flugbetrieb am FH Basel-Mulhouse wider. Aufgrund der Auswirkungen der COVID19-Pandemie ist die Gesamtzahl der Flugbewegungen jedoch geringer als im Basisszenario 2019. In der folgenden Tabelle 12 ist die Datengrundlage des Istszenarios 2022 dargestellt. Weiterhin wird die Veränderung ggü. dem Basisszenarios 2019 aufgeführt. Demnach nahm der VFR-Verkehr um 25 % zu, während der IFR-Verkehr um 21 % abnahm. Daraus ergibt sich eine Abnahme der Anzahl der gesamten Flugbewegungen um 16 %.

	IFR	VFR	Gesamt
<b>Start</b>	32'963	6'051	39'014
<b>Landung</b>	33'337	6'162	39'499
<b>Gesamt</b>	66'300	12'213	78'513
<b>Veränderung ggü. 2019</b>	<b>- 21 %</b>	<b>+ 25 %</b>	<b>- 16 %</b>

Tabelle 12: Flugbewegungen FH Basel-Mulhouse, IstszENARIO 2022

### 4.6.4 Prognoseszenario 2032

Zur Berechnung des Externen Risiko im Prognoseszenario 2032 wurden die vom FH Basel-Mulhouse prognostizierten Verkehrszahlen für das Jahr 2032 und die zugehörigen Routenverteilungen zugrunde gelegt. Wie in der nachfolgenden Tabelle 13 dargelegt, ist dieses Szenario durch eine Erhöhung der IFR-Bewegungen um 40 % und einer Verringerung des VFR-Verkehrs um 32 % ggü. dem IstszENARIO 2022 charakterisiert.

	IFR	VFR	Gesamt
<b>Start</b>	46'122	4'105	50'227
<b>Landung</b>	46'571	4'185	50'756
<b>Gesamt</b>	92'693	8'290	100'983
<b>Veränderung ggü. 2022</b>	<b>+ 40 %</b>	<b>- 32 %</b>	<b>+ 29 %</b>

Tabelle 13: Flugbewegungen FH Basel-Mulhouse, Prognoseszenario 2032

Neben den Änderungen in den Flugbewegungen findet zudem eine Verlagerung der IFR-Bewegungen in der Prognose für das Jahr 2032 statt. Abflüge und Landungen in Betriebsrichtung (BR) 33 nehmen mit einstelligen Prozentwerten nur leicht und somit weit unterdurchschnittlich – bezogen auf 40 % Zunahme des IFR-Verkehrs – zu, während der IFR-Verkehr in BR 15 und BR 25 überdurchschnittlich stark zunimmt. Dieser Sachverhalt ist in nachfolgender Abbildung 12 nach Start und Landungen aufgeschlüsselt dargestellt:

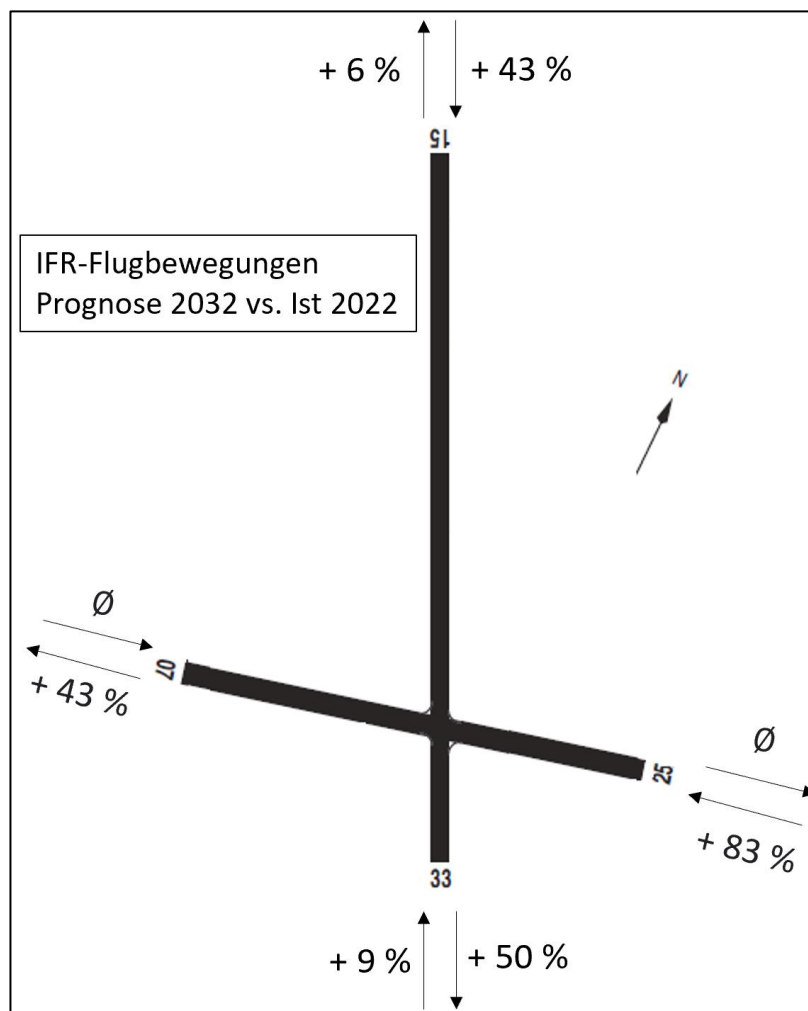


Abbildung 12: Änderung Flugbewegungen je Betriebsrichtung Prognoseszenario 2032 vs. Ist-Szenario 2022

#### 4.6.5 Prognoseszenario 2032+

Um eine mögliche, weitere Zunahme des Verkehrs im Vergleich zum Szenario 2032 abbilden zu können, wird für das Szenario 2032+ die Anzahl an Flugbewegungen nochmals auf 125.000 Flugbewegungen (hypothetischer Wert) hochskaliert. Dabei wird angenommen, dass der Mix der eingesetzten LFZ-Muster, sowie deren Verteilung auf die Flugrouten im Vergleich zu 2032 konstant bleiben.

Die nachfolgende Tabelle 14 zeigt die modellierten Verkehrszahlen für das Szenario 2032+:

	IFR	VFR	Gesamt
<b>Start</b>	56'233	6'051	62'284
<b>Landung</b>	56'867	6'162	63'029
<b>Gesamt</b>	113'100	12'213	125'313
<b>Veränderung ggü. 2022</b>	<b>+ 71 %</b>	<b>+ 0 %</b>	<b>+ 60 %</b>

Tabelle 14: Flugbewegungen FH Basel-Mulhouse, Prognoseszenario 2032+

## 4.7 Modellierung der ELBEG7S-Abflugroute

### 4.7.1 Hintergrund

Im Rahmen der Einführung der Flächennavigationsverfahren (Area Navigation, RNAV) Verfahren am FH Basel-Mulhouse im Jahr 2019 wurde die Routengeometrie der Abflugrouten von der Startbahn 15 (also Starts in Richtung Süden) grundlegend überarbeitet. Hierbei wurden für die Abflugrouten TORPA und MOROK abweichende Navigationsverfahren festgelegt, was zu engeren Kurvenradien der ersten Kurve nach Passieren der Wegpunktes BS 376 und damit zu einer Verlagerung und Konzentration des Verkehrs in weniger dicht besiedeltes Gebiet (vgl. Abbildung 13). Die Art der Navigation wurde dabei von einem „*course-to-fix*“, welches einen festgelegten Steuerkurs von 264° auf den nachfolgenden Wegpunkt SB 600 definiert, auf einen „*direct-to-fix*“ geändert, welches ein direktes Anfliegen des SB 600 definiert und damit einen kürzest möglichen Weg dorthin bedingt.

Hinsichtlich der Abflugrouten ELBEG 7S und LASAT 7S (Abflüge von der Startbahn 15 in Richtung Norden) wurde die Art der Navigation nicht geändert (vor und nachher „*direct-to-fix*“), womit sich keine Änderung des nominellen Flugpfades ergibt. Unbenommen ist die Darstellung der Abflugrouten in der AIP-Karte dahingehend angepasst worden, dass ein geringerer Kurvenradius verzeichnet ist, wie in nachfolgender Abbildung 13 dargestellt.

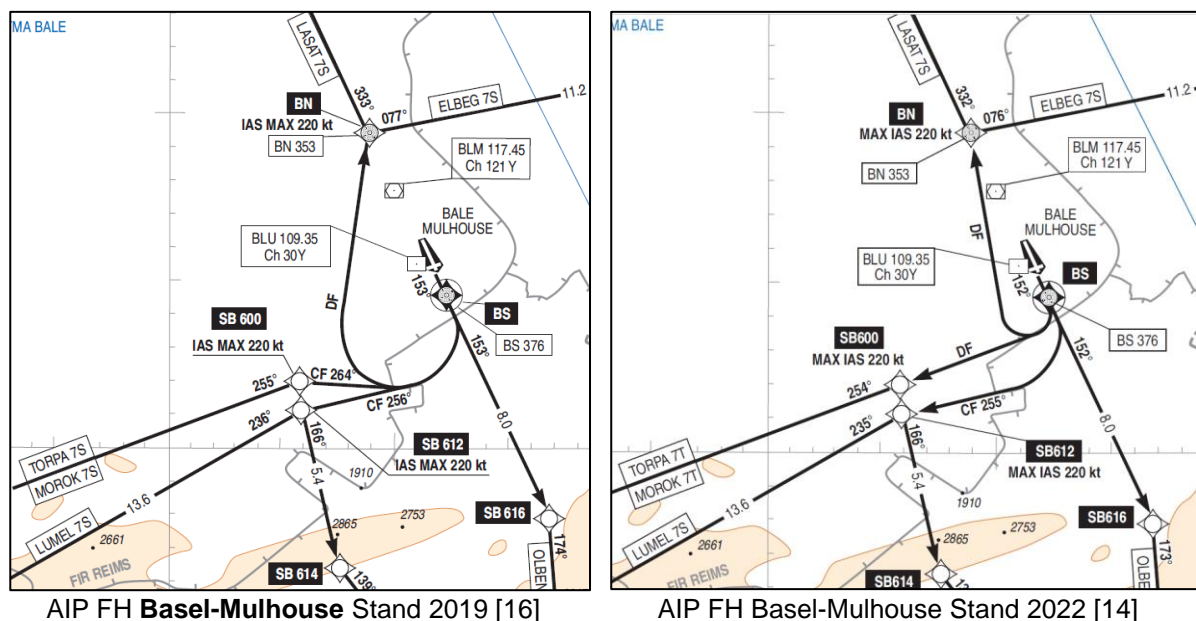


Abbildung 13: Vergleich Abflugrouten ELBEG 7S und LASAT 7S, AIP, 2019 vs. 2022

Dies könnte nun suggerieren, dass auch hinsichtlich der Abflugrouten ELBEG 7S und LASAT 7S geringere Kurvenradien resultieren, was nicht der Fall ist, da wie oben erläutert sich die Art der Navigation nicht verändert hat. Vielmehr ist der Kurvenradius einer solchen „*direct-to-fix*“ hauptsächlich von der Geschwindigkeit und dem Querneigungswinkel der abfliegenden Luftfahrzeuge abhängig.

### 4.7.2 Radardatenanalyse

Um die nun in der Praxis tatsächlich geflogenen Kurvenradien auf den Routen ELBEG 7S und LASAT 7S zu bestimmen, wurde eine Radardatenanalyse durchgeführt.

Hierzu wurden ADS-B-Daten (*Automatic Dependent Surveillance–Broadcast*) des gesamten Flugverkehrs am FH Basel-Mulhouse über sechs Monate (November 2022 bis April 2023) von FlightRadar24 beschafft. Aus der Gesamtzahl der Flugspuren (29'896) wurden zuerst die Abflüge (15'884) und daraus dann die Spuren, die zuerst den Wegpunkt BS 376 und danach den Wegpunkt BN 353 (vgl. Abbildung 13) passieren (3'388), extrahiert. Dieses

Identifizierungsmerkmal wurde genutzt, da dieses nur für die zu untersuchenden Routen ELBEG 7S und LASAT 7S zutrifft und somit als sehr treffsicher eingeordnet wird. Die folgende Abbildung 14 zeigt die in Gesamtzahl der Flugspuren identifizierten Spuren auf der Route ELBEG 7S.

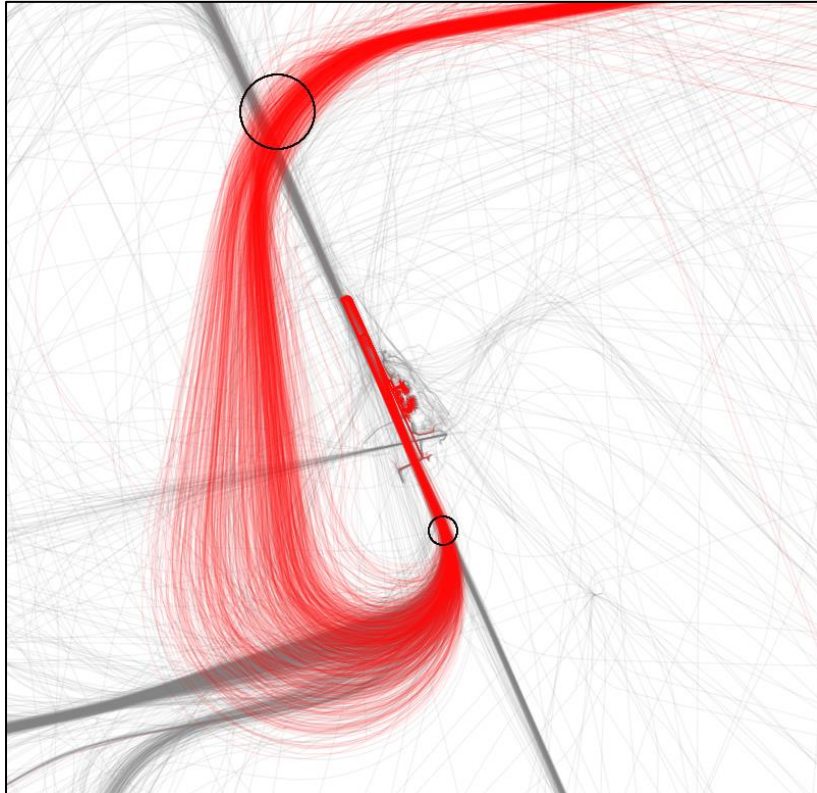


Abbildung 14: Identifizierte ADS-B Flugspuren auf Abflugroute ELBEG 7S

Für jede einzelne dieser 3'388 Flugspuren wurde sodann der Kurvenradius an 400 zufällig gewählten Punkten entlang der Kurve ermittelt und auf Basis dieser Werte mittels statistischer Methoden der tatsächlich geflogene Kurvenradius dieses Einzelfluges geschätzt. Für 2'660 Spuren (78 %) war dieser mit hoher statistischer Sicherheit bestimmbar, während die Spuren bei denen der Radius nicht sicher geschätzt werden konnte, für die weiteren Untersuchungen ausgeschlossen wurden.

#### 4.7.3 Ergebnisse

Für die ermittelten Kurvenradien wurde dann eine statistische Verteilung ermittelt, aus welcher sich eine bimodale Verteilung, mit einer ersten Häufung (Maximum) bei **ca. 1700 m** und einer zweiten Häufung bei **ca. 2800 m** Kurvenradius, herauskristallisierte. Das Histogramm dieser Verteilung mit den beiden Modi ist in der nachfolgenden Abbildung 15 dargestellt.



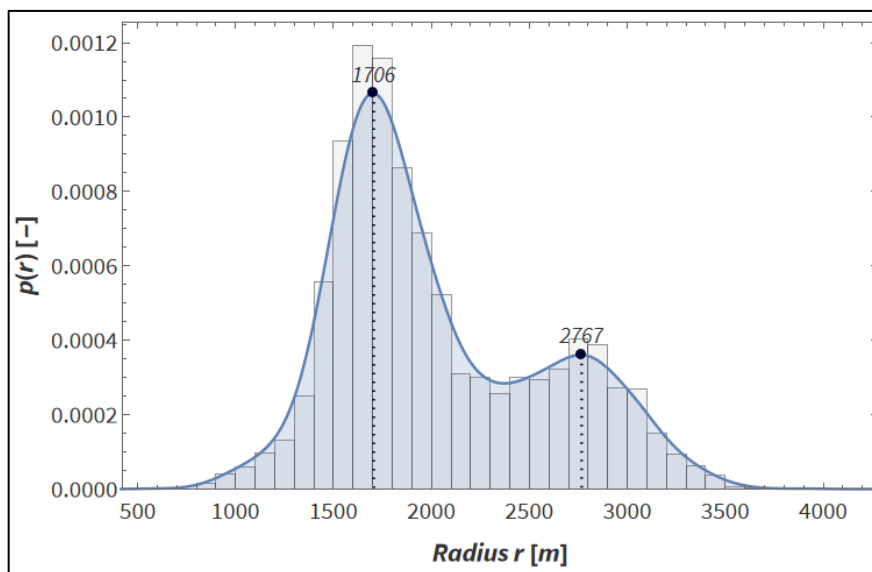


Abbildung 15: Histogramm der Kurvenradien der Route ELBEG 7S

Die statistischen Maxima bei 1'700 m und 2'800 m Kurvenradius wurden nun als Kategorisierungsmerkmal der Flugspuren, zu denen ein Kurvenradius sicher bestimmt werden konnte, genutzt. Die Flugspuren wurden außerdem, basierend auf dem genutzten LFZ-Muster, nach LFZ-Größe (AzB-Lärmklasse, vgl. Anhang A4) klassifiziert. Für jede der AzB-Lärmklassen konnte dann ermittelt werden, mit welcher Verteilung welcher Kurvenradius bei ELBEG-7S-Abflügen genutzt wurde. Die Ergebnisse dieser Analyse sind nachfolgender Tabelle 15 zu entnehmen.

Lärmklasse	absolute Verteilung			Lärmklasse	prozentuale Verteilung	
	1700 m Radius	2800 m Radius	Summe		1700 m Radius	2800 m Radius
P 1.3	4	0	4	P 1.3	100%	0%
P 1.4	18	0	18	P 1.4	100%	0%
P 2.1	48	2	50	P 2.1	96%	4%
S 5.1	420	29	449	S 5.1	94%	6%
S 5.2	1334	741	2075	S 5.2	64%	36%
S 6.1	38	35	73	S 6.1	52%	48%

Tabelle 15: Verteilung der Kurvenradien nach Lärmklasse, vgl. Anhang A4

Ausgehend von den Ergebnissen ist anzumerken, dass generell die Nutzung des größeren Kurvenradius mit steigender LFZ-Größe zunimmt. Kleinere LFZ (Lärmklassen P 1.3, P 1.4, P 2.1, S 5.1) fliegen fast ausschließlich Radien von 1'700 m, während LFZ ab der Größe von Mittelstreckenjets (Lärmklassen S 5.2 und S 6.1) in ca. ein Drittel bis der Hälfte der Flugbewegungen dem größeren der beiden Kurvenradien folgen. Dies folgt physikalischen Aspekten der Massenträgheit und Kurvenbeschleunigung.

Zur Berechnung des Externen Risikos wurden diesen Erkenntnissen folgend die betreffenden Abflugrouten mit den beiden statistisch ermittelten Radien für alle Szenarien implementiert und die LFZ-Bewegungen, die gemäß der Eingangsdaten (vgl. Kapitel 4.6) diesen Routen zuzuordnen sind, entsprechend der aus Tabelle 15 ersichtlichen Verhältnisse der Radien Nutzung auf die beiden Routen verteilt.

## 5 Ergebnisse Basisszenario 2019

### 5.1 Ergebnisse zum Einzelrisiko

Die nachfolgende Abbildung 16 zeigt die Ergebnisse zum Einzelrisiko im Basisszenario 2019.

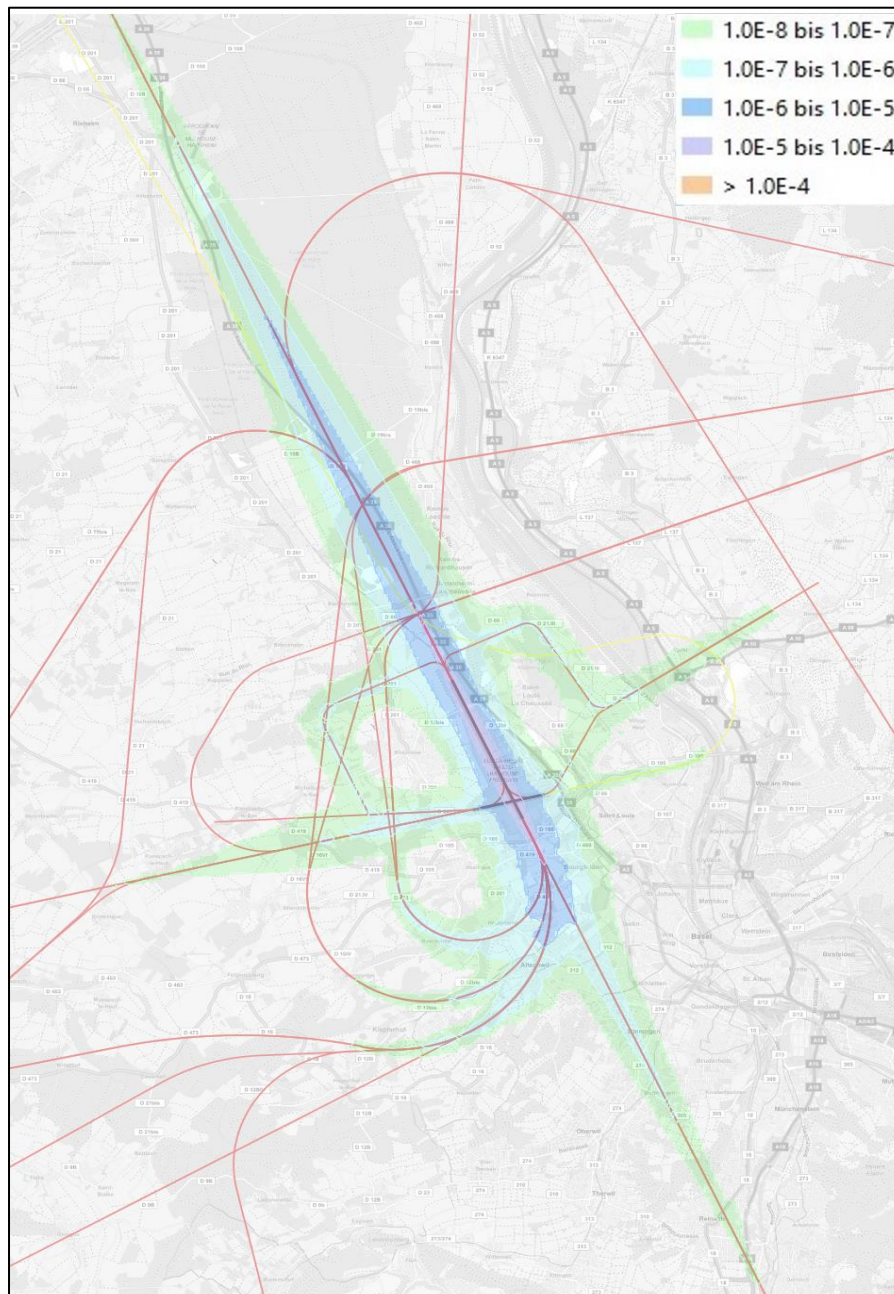


Abbildung 16: Ergebnisse zum Einzelrisiko Basisszenario 2019

Gemäß Abbildung 16 ergeben sich Einzelrisiken größer als  $1 \times 10^{-6}$  pro Jahr in einem begrenzten Bereich nördlich und südlich in Verlängerung der Start-/ Landebahn (SLB) 15/33. Dieser Bereich erstreckt sich nördlich entlang der Autobahn A35 außerhalb des Flughafengeländes, sowie südlich der SLB 15/33 – aufgrund der abknickenden Routenstruktur – nur bis zur französisch-schweizerischen Grenze. Das Gebiet der Agglomeration Basel ist nur am äußersten Rand im Bereich Allschwil betroffen (vgl. Abbildung 19). In diesem Gebiet beträgt die Anzahl der betroffenen Wohnbevölkerung 451 Personen.



Einzelrisiken größer als  $1 \times 10^{-5}$  pro Jahr beschränken sich nördlich des Flughafens auf das unbebaute Gebiet entlang der A35 bis zur Abfahrt Bartenheim und südlich des Flughafens bis zum Lertzbach südlich der Rue de Saint-Louis. In diesem Gebiet beträgt die Anzahl der betroffenen Wohnbevölkerung 11 Personen.

**Einzelrisiken von  $\geq 3,0 \times 10^{-5}$  pro Jahr, dem hier angewandten Richtwert für das Einzelrisiko, sind außerhalb des Flughafengeländes nicht festzustellen.**

## 5.2 Ergebnisse zum Gruppenrisiko

In der nachfolgenden Abbildung 17 ist das Gruppenrisiko mit Bezug zur Wohnbevölkerung dargestellt.

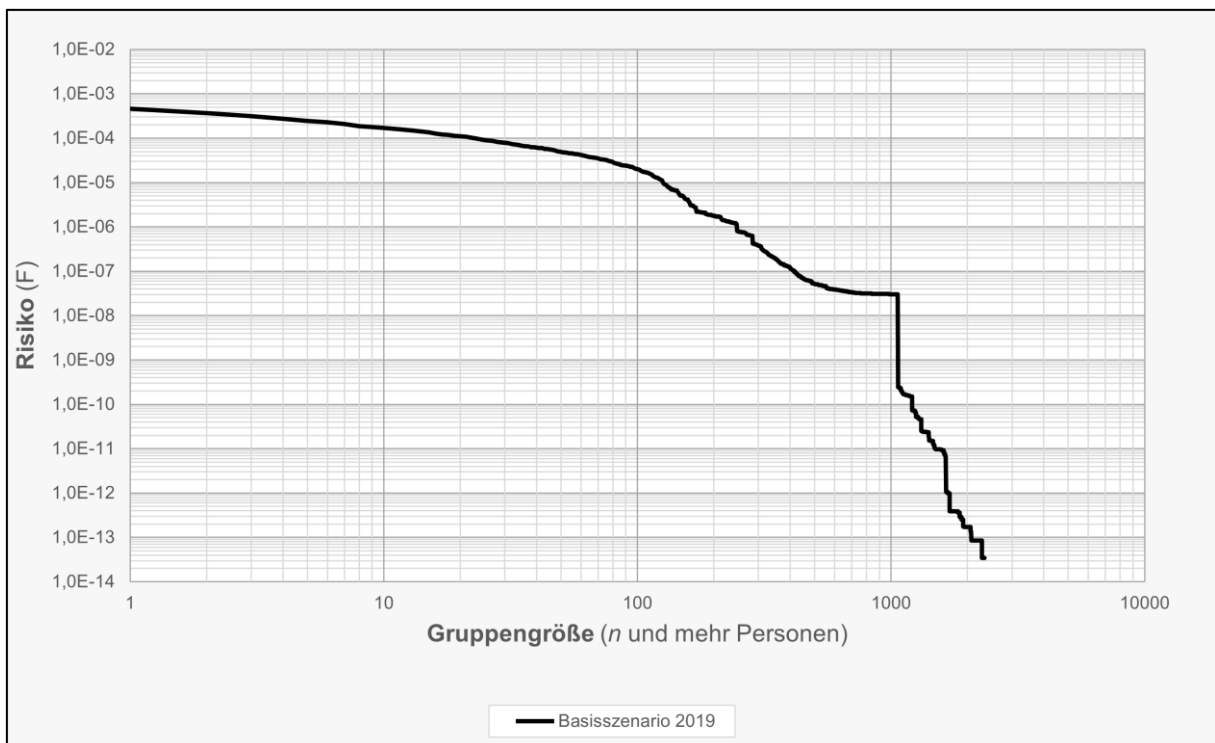


Abbildung 17: Gruppenrisiko, Basisszenario 2019

## 6 Ergebnisse Istszenario 2022

### 6.1 Ergebnisse zum Einzelrisiko

Die nachfolgende Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse zum Einzelrisiko im Istszenario 2022.

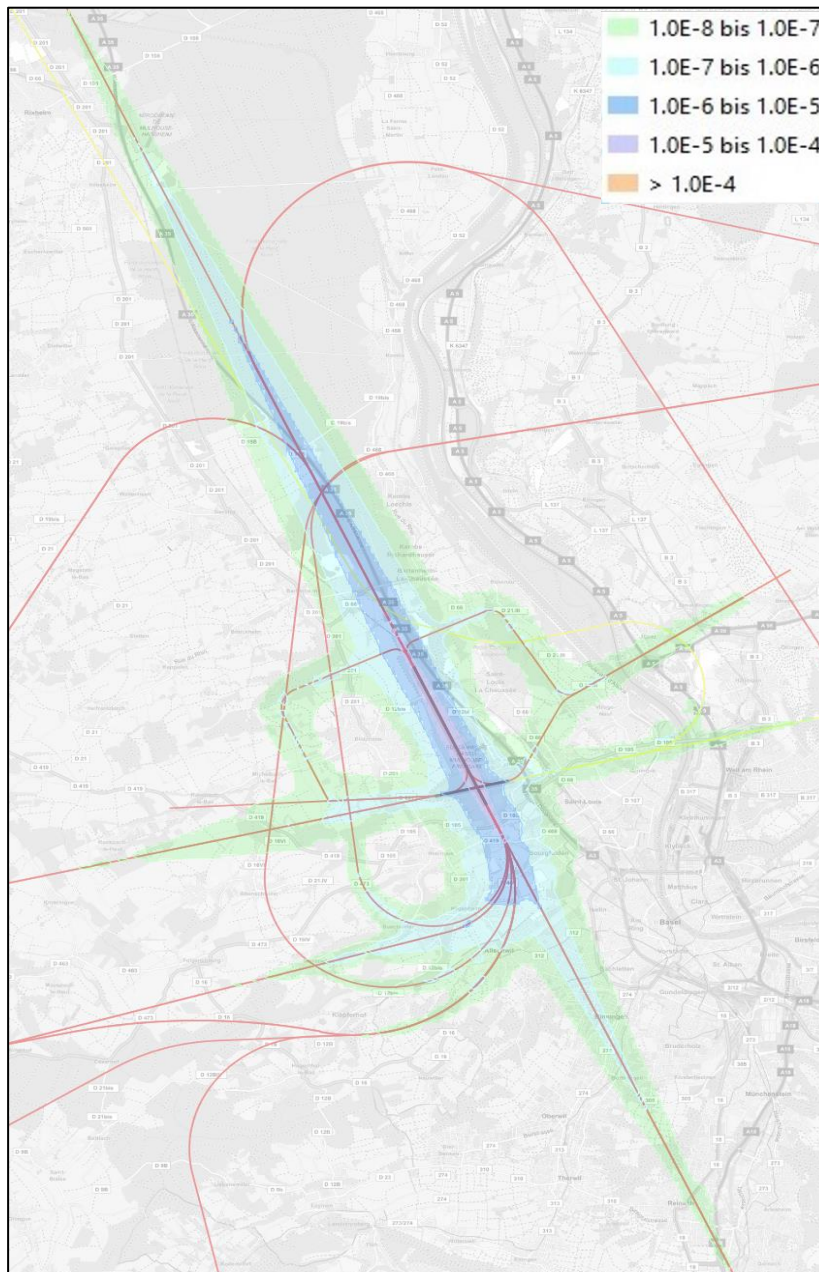


Abbildung 18: Ergebnisse zum Einzelrisiko, Istszenario 2022

Analog zum Einzelrisiko im Basisszenario 2019 (vgl. Kapitel 5.1) ergeben sich im Istszenario 2022 Einzelrisiken größer als  $1 \times 10^{-6}$  pro Jahr nur in einem begrenzten Bereich nördlich und südlich in Verlängerung der SLB 15/33. Im südlichen Teil ist ein geringer Unterschied feststellbar: Im Ist-Szenario 2022 wird die französisch-schweizerische Grenze nicht überschritten, sondern die Zone endet in Hégenheim zwischen Rue de Bourgfelden und Rue de Bâle (vgl. Abbildung 19). Daher geht die Anzahl der Betroffenen um 21 % auf 357 zurück.

Dies ist vor allem auf die reduzierte Anzahl der IFR-Flugbewegungen im Jahr 2022 zurückzuführen.

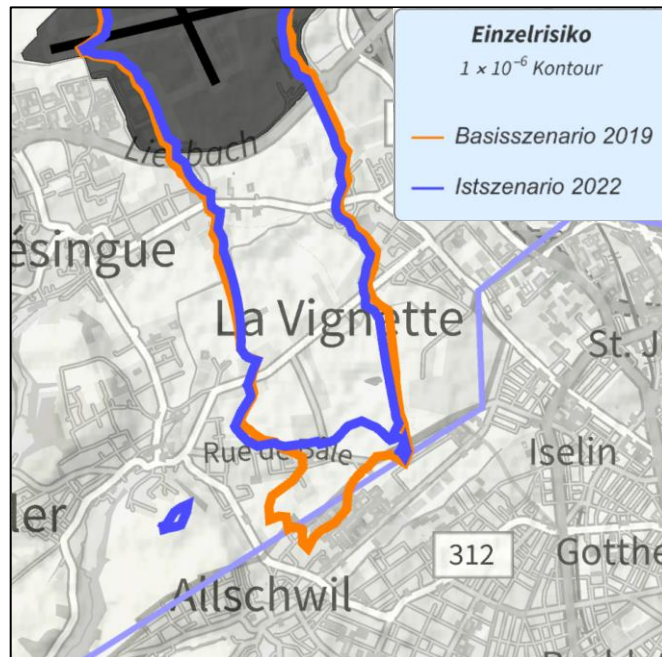


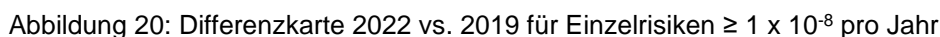
Abbildung 19: Detailansicht Einzelrisikokonturen  $1 \times 10^{-6}$  pro Jahr, 2022 vs. 2019

Einzelrisiken größer als  $1 \times 10^{-5}$  pro Jahr beschränken sich nördlich des Flughafens auf das unbebaute Gebiet entlang der A35 bis zur Abfahrt Bartenheim und südlich des Flughafens bis zum Lertzbach. In diesem Gebiet beträgt die Anzahl der betroffenen Wohnbevölkerung 3 Personen.

**Einzelrisiken von  $\geq 3,0 \times 10^{-5}$  pro Jahr sind außerhalb des Flughafengeländes nicht festzustellen.**

Die nachfolgende Abbildung 20 fasst die Änderungen in den Einzelrisiken aufgrund veränderter Verkehrsmenge und Routenführungen der Abflüge im Vergleich der Szenarien 2022 v. 2019 zusammen:





## Sensitivitätsanalyse Südlandungen

Dazu erfolgte eine statistische Analyse des täglichen Anteils der Südlandungen an der Gesamtzahl der Landungen auf der SLB 15/33. Aus dem in der nachfolgenden Abbildung 21 dargestellten Histogramm ist erkenntlich, dass in den Sommermonaten mehr Landungen aus Süden als in den Wintermonaten stattfinden. Der für das hypothetische Südszenario zu nutzende Verteilungsschlüssel für Landungen auf der SLB 15/33 wurde anhand des 95%-Quantils der Verteilung, d.h. ein an weniger als 18 Tagen im Jahr auftretender hoher Anteil an Südlandungen soll hypothetisch für alle Tage des Jahres unterstellt werden. Dieser Wert konnte zu 60,5 % Südlandungen und 39,5 % Nordlandungen bestimmt werden, während im

Istszenario 2022 88,5 % der Landungen aus Norden und nur 11,5 % der Landungen aus Süden erfolgen.

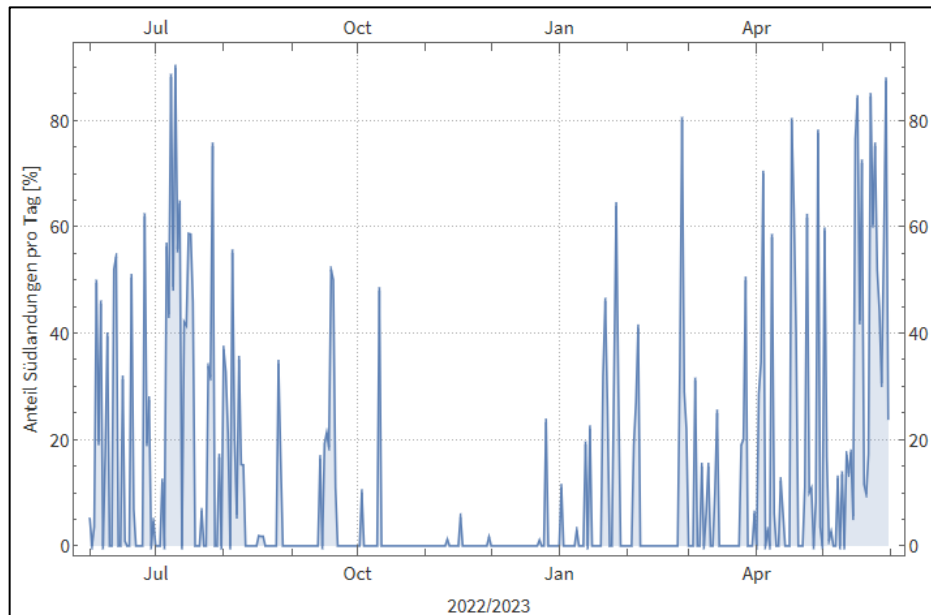


Abbildung 21: Histogramm des Anteils der Südlandungen auf der SLB 15/33

Aus der geänderten Verteilung ergäbe sich erwartungsgemäß eine Risikoerhöhung im südlichen Bereich, also der Agglomeration Basel, insbesondere Kanton Basel-Landschaft. Allerdings würde in diesem hypothetischen Fall auch keine Richtwertüberschreitung des Einzelrisikos für Wohnbevölkerung vorliegen, da die Kontur des Gebiets mit Einzelrisiken über  $3 \times 10^{-5}$  pro Jahr weiterhin innerhalb des Flughafengeländes läge. Auch für Einzelrisiken über  $1 \times 10^{-5}$  pro Jahr würde sich nur eine marginale Erhöhung der Betroffenheit in der Wohnbevölkerung (von 3 auf 11 Personen) abzeichnen. Erst ab Risiken, die  $10^{-6}$  pro Jahr übersteigen, wäre eine erhebliche Zunahme der betroffenen Personen von 357 auf dann 6.350 betroffene Einwohner zu verzeichnen.

Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass eine Verlagerung auf mehr Südanflüge zwar erheblich mehr Betroffenen nach sich ziehen würde, allerdings nur bezogen auf ein niedriges Risikoniveau ( $< 1 \times 10^{-6}$  pro Jahr). **Eine Bevorzugung von Nordlandungen (unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Rückenwindkomponente) sollte jedoch in Bezug auf das Externe Risiko stets angestrebt werden.**

## 6.2 Ergebnisse zum Gruppenrisiko

In der nachfolgenden Abbildung 22 ist das Gruppenrisiko mit Bezug zur Wohnbevölkerung dargestellt.

Im Vergleich zum Basisszenario 2019 ist festzustellen, dass eine leichte Entlastung von Gruppen über 1'000 Personen festzustellen ist, was auf die Einzelrisikoverschiebung von dichter hin zu dünner besiedeltem Gebiet (vgl. Abbildung 20) zurückzuführen ist.

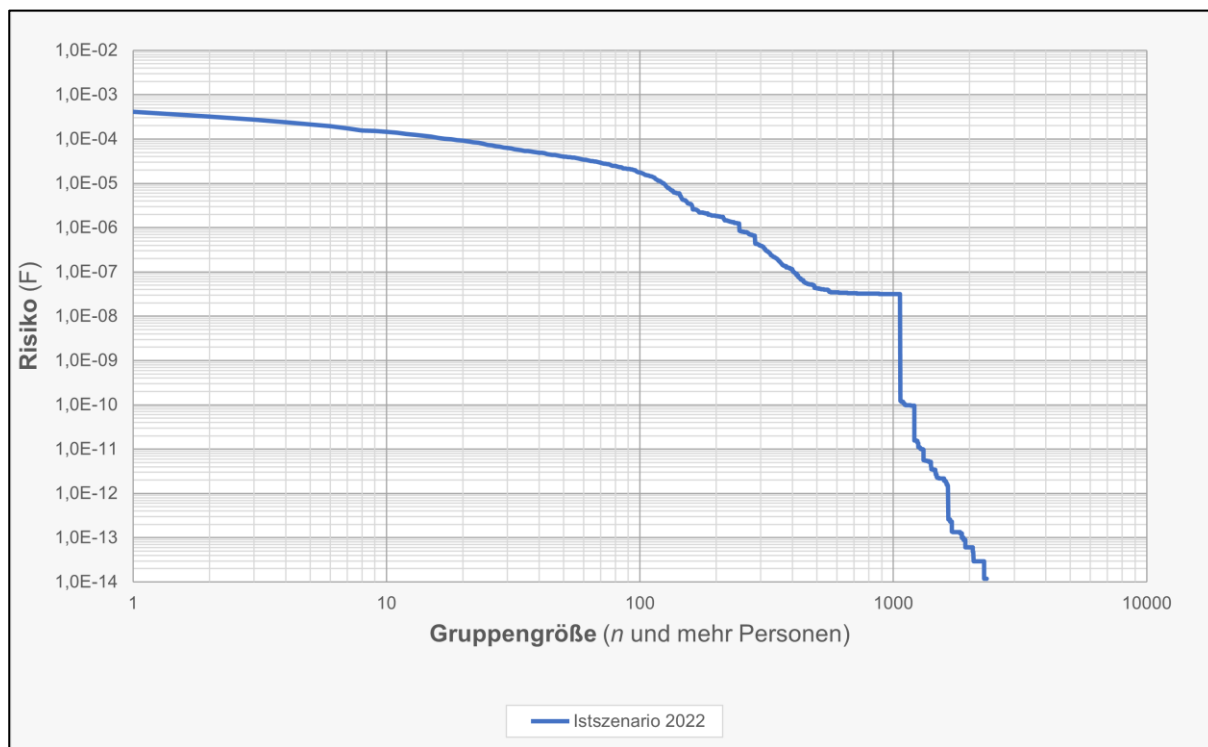


Abbildung 22: Gruppenrisiko, Istszenario 2022



## 7 Ergebnisse Prognoseszenario 2032

### 7.1 Ergebnisse zum Einzelrisiko

Die nachfolgende Abbildung 23 zeigt die Ergebnisse zum Einzelrisiko im Prognoseszenario 2032.

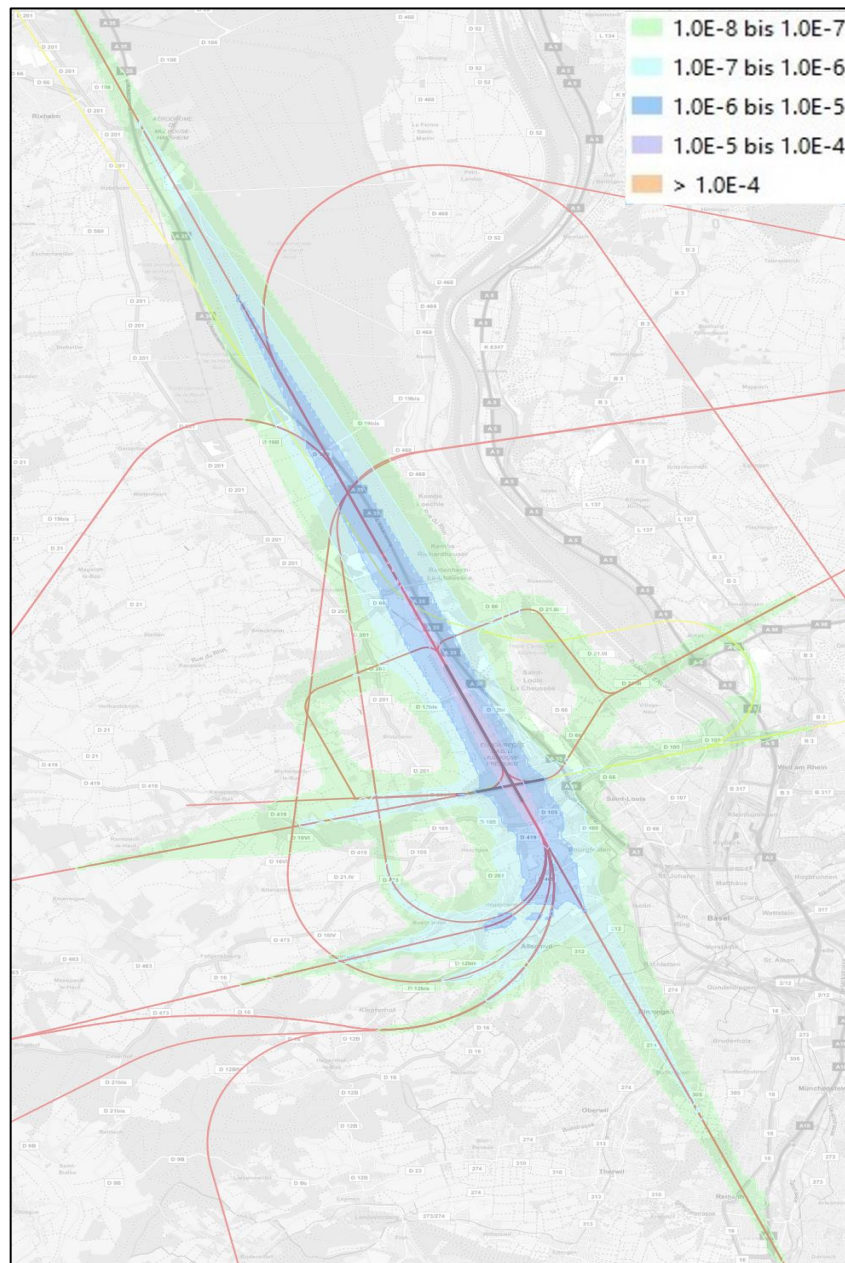


Abbildung 23: Ergebnisse zum Einzelrisiko, Prognoseszenario 2032

Durch die höheren Flugbewegungszahlen im Prognoseszenario 2032 findet eine leichte Ausdehnung der von den jeweiligen Risiken betroffenen Gebiete statt. Größere Änderungen der Risikokonturen bilden sich nicht aus, da in der Prognose 2032 dieselben Routenführungen für An- und Abflüge wie im Istzenario 2022 angenommen wurden. Einzelrisiken größer als  $1 \times 10^{-6}$  pro Jahr treten größtenteils auf französischem Gebiet auf, im Gegensatz zum Istzenario 2022 ragt die Risikobegrenzungskontur jedoch minimal in das Schweizer Gebiet hinein (vgl. Abbildung 24). Durch diese Verschiebung der Außenkanten der Kontur steigt die



Anzahl der von Einzelrisiken größer als  $1 \times 10^{-6}$  pro Jahr betroffenen Personen auf 592. Dies entspricht einem Zuwachs von 66 % im Vergleich zum Istscenario 2022.

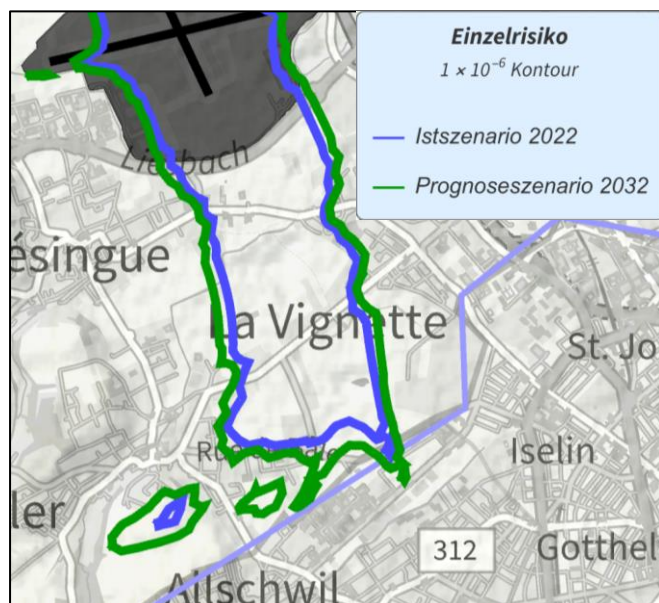


Abbildung 24: Detailansicht Einzelrisikokonturen  $1 \times 10^{-6}$  pro Jahr, 2032 vs. 2022

Die stark auf die unmittelbare Flughafennähe beschränkte Kontur des mit Einzelrisiken größer als  $1 \times 10^{-5}$  pro Jahr belasteten Gebiets wächst durch die Zunahme der Flugbewegungen in dem Prognoseszenario 2032 minimal, mit dann 11 anstatt 3 betroffenen Personen.

**Einzelrisiken von  $\geq 3,0 \times 10^{-5}$  pro Jahr sind außerhalb des Flughafengeländes erneut nicht festzustellen.**

## 7.2 Ergebnisse zum Gruppenrisiko

In der nachfolgenden Abbildung 25 ist das Gruppenrisiko mit Bezug zur Wohnbevölkerung dargestellt.

Bedingt durch die dieselben Routenführungen im Vergleich zum Istscenario 2022 zeigt sich ein nahezu identischer Verlauf des Gruppenrisikos auf einem leicht erhöhten Level (1/20 einer Zehnerpotenz).

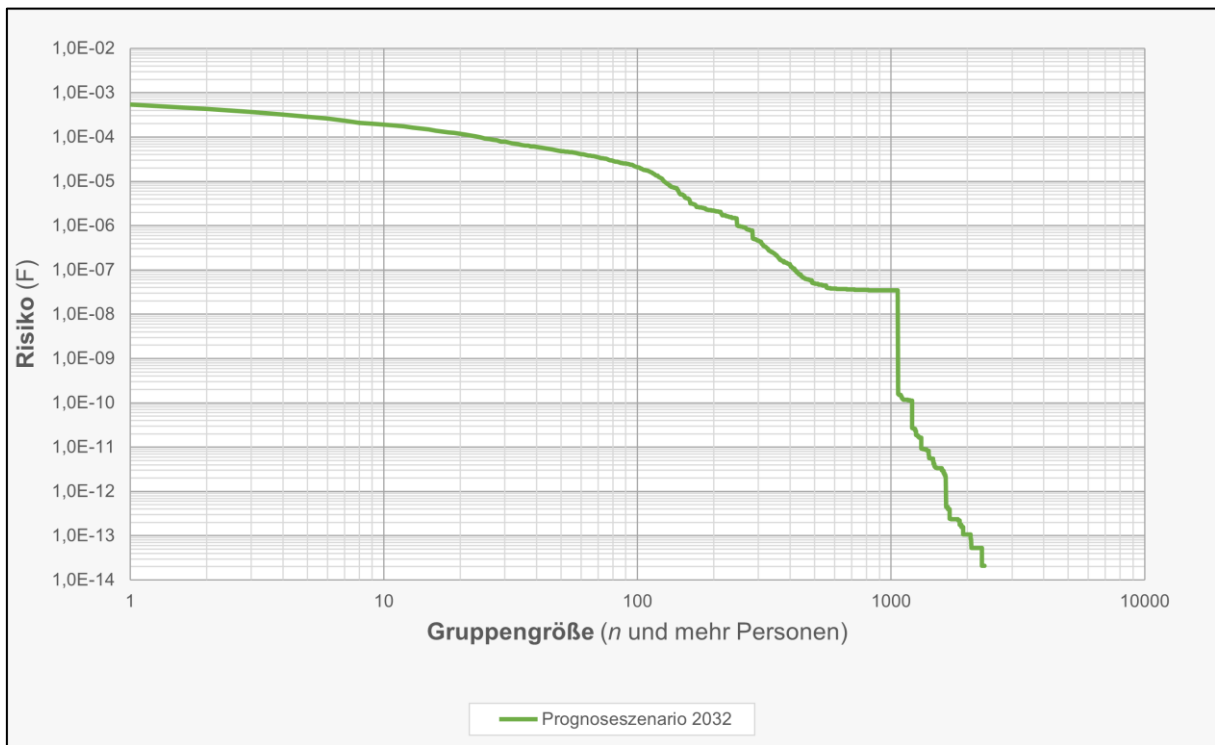


Abbildung 25: Gruppenrisiko, Prognoseszenario 2032

## 8 Ergebnisse Prognoseszenario 2032+

### 8.1 Ergebnisse zum Einzelrisiko

Die nachfolgende Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse zum Einzelrisiko im Prognoseszenario 2032+.

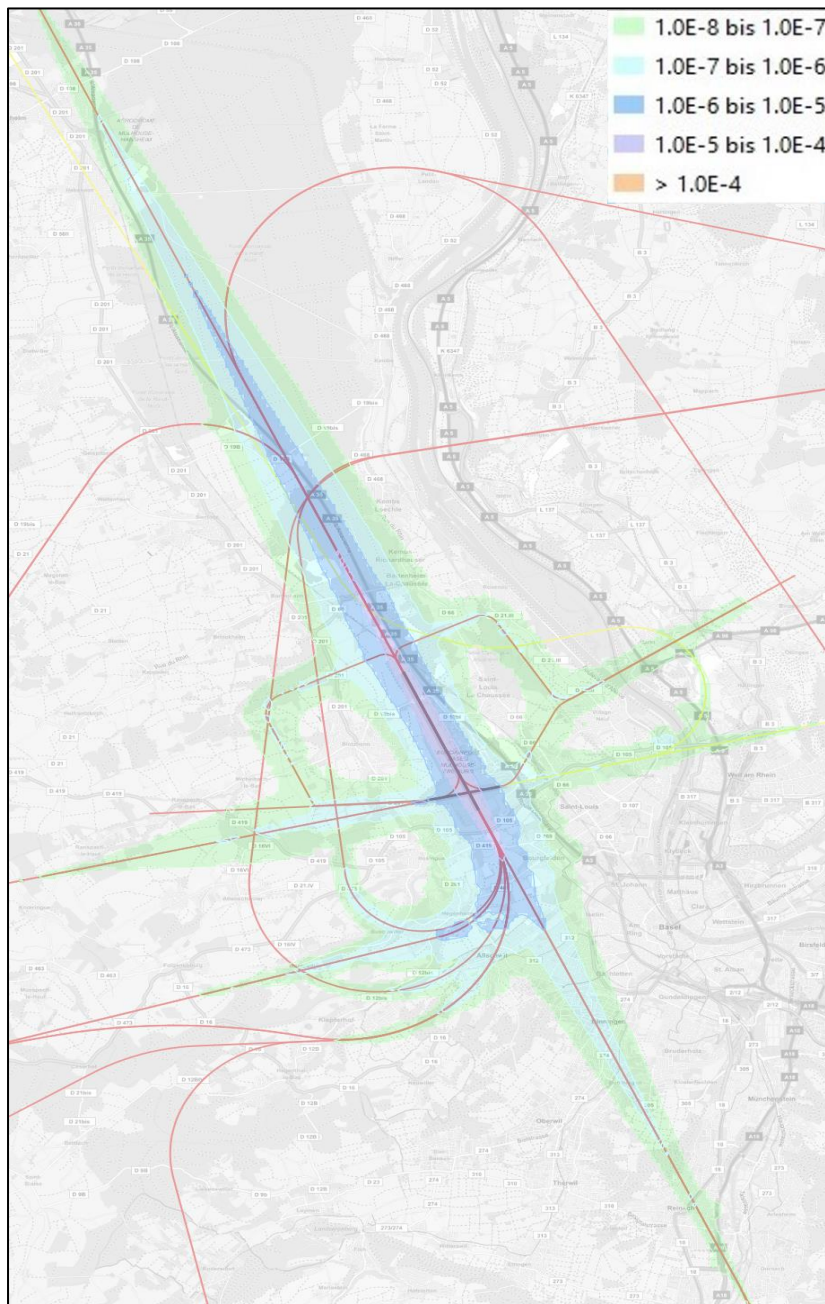


Abbildung 26: Ergebnisse zum Einzelrisiko, Prognoseszenario 2032+

Die Einzelrisikokonturen im Szenario 2032+ nehmen aufgrund der identischen An- und Abflugroutenverläufe, sowie gleichen Verteilungen von LFZ-Mustern auf die Routen den gleichen Verlauf wie im Istscenario 2022 an, erfahren aufgrund der hochskalierten Anzahl an Flugbewegungen jedoch eine laterale Ausdehnung. Einzelrisiken größer als  $1 \times 10^{-6}$  pro Jahr treten weiterhin größtenteils auf französischem Gebiet auf, die Kontur ragt jedoch in das dicht

besiedelte Gebiet auf Schweizer Seite, namentlich Allschwil, hinein, wodurch die Betroffenheit von Einzelrisiken größer als  $1 \times 10^{-6}$  pro Jahr in der Wohnbevölkerung um 39 % auf 820 Personen steigt (vgl. Abbildung 27).

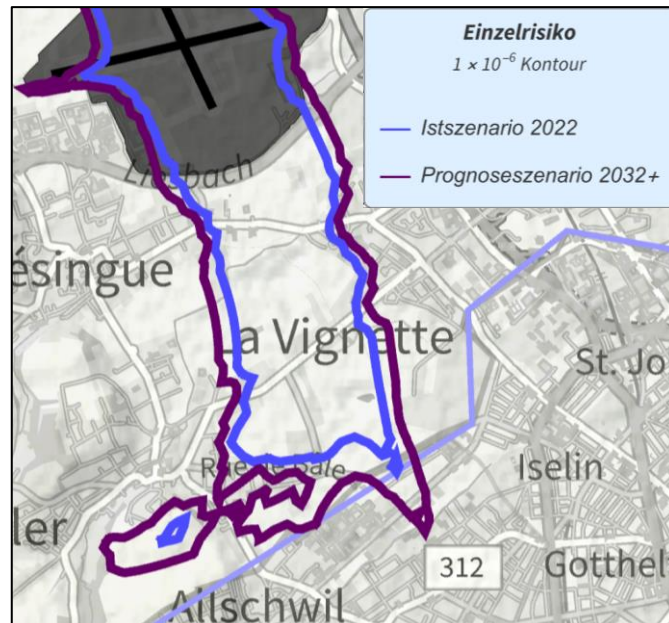


Abbildung 27: Detailansicht Einzelrisikokonturen  $1 \times 10^{-6}$  pro Jahr, 2032+ vs. 2022

Im Prognoseszenario 2032+ sind 17 Personen der Wohnbevölkerung von Einzelrisiken größer als  $1 \times 10^{-5}$  pro Jahr betroffen, was eine Verhundertfachung im Vergleich zum Istszenario 2022 darstellt.

**Einzelrisiken von  $\geq 3,0 \times 10^{-5}$  pro Jahr sind außerhalb des Flughafengeländes wiederum nicht festzustellen.**

## 8.2 Ergebnisse zum Gruppenrisiko

Der Verlauf des Gruppenrisikos im Prognoseszenario 2032+ folgt dem des Ist szenarios 2022, jedoch minimal – um ein bis vier Zehntel einer Zehnerpotenz – nach oben versetzt. Dies ist auf die mit einem Skalierungsfaktor besetzte, jedoch ansonsten identische Routenstruktur und -belegung im Prognoseszenario 2032+ im Vergleich zum Ist szenario 2022 zurückzuführen. Analog zu allen anderen Szenarien liegen die Risiken stets unter der oberen Risikogrenzkurve. Dies ist aus der folgenden Abbildung 28 ersichtlich. Die Risikosituation ist wiederum mit dem aktuellen Zustand sowie historischen Werten zum Gruppenrisiko am FH Basel-Mulhouse vergleichbar.

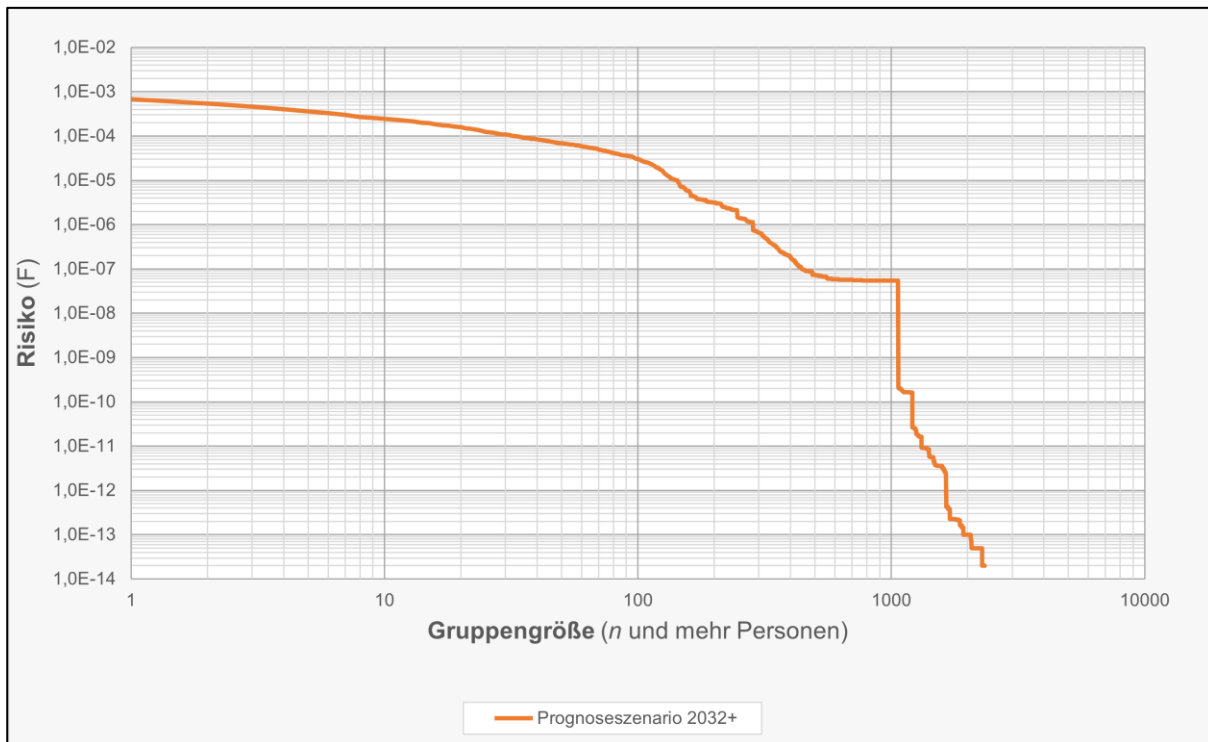


Abbildung 28: Gruppenrisiko, Prognoseszenario 2032+



## 9 Ergebnisdiskussion zum Externen Risiko

### 9.1 Einzelrisiko

Für die Bewertung des Externen Risikos gibt es bis dato in keinem der drei Länder Frankreich, Schweiz und Deutschland verbindliche Richtwerte noch zugehörige Verfahrensvorgaben. Ersatzweise werden anderenorts (z.B. PFV Flughafen Frankfurt/Main) existierende Richtwerte für die Bewertung herangezogen: Hiernach liegt der Richtwert des Einzelrisikos für bewohnte Gebiete bei  $3,0 \times 10^{-5}$  pro Jahr (1 x in 33'333 Jahren, siehe [1]) Dieser Grenzwert wurde auch in vorliegendem Gutachten übernommen.

Die Risikoanalyse liefert im Ergebnis die von einem bestimmten Risiko betroffene Fläche sowie die Anzahl betroffener Personen (hier untersuchte Wohndemographie) für verschiedene Risikobereiche. Nachfolgende Tabelle 16 fasst die Ergebnisse für alle untersuchten Szenarien zusammen.

Einzelrisiko pro Jahr $\geq$	2019	2022		2032		2032+	
	Betroffene Personen	Betroffene Personen	Änderung ggü. 2019	Betroffene Personen	Änderung ggü. 2022	Betroffene Personen	Änderung ggü. 2022
$1,0 \times 10^{-8}$	69'951	70'065	+ 0,2 %	73'619	+ 5,1 %	81'319	+ 16,1 %
$1,0 \times 10^{-7}$	23'435	19'625	- 16,3 %	24'249	+ 23,6 %	30'029	+ 53,0 %
$1,0 \times 10^{-6}$	451	357	-20,8 %	592	+ 65,8 %	820	+ 129,7 %
$1,0 \times 10^{-5}$	11	3	-72,7 %	11	+ 266,7 %	17	+ 466,7 %
<b>Grenzwert <math>3,0 \times 10^{-5}</math></b>	0	0	$\pm 0$ %	0	$\pm 0$ %	0	$\pm 0$ %

Tabelle 16: Anzahl und Trend der von Einzelrisiken betroffenen Personen

Im Rahmen der Einführung von RNAV-Verfahren am FH Basel-Mulhouse im Jahr 2019 wurde die Geometrie der Abflugrouten von der Startbahn 15 (also Starts in Richtung Süden) grundlegend überarbeitet: Dies führte für die Abflugrouten TORPA und MOROK zu engeren Radien der ersten Kurve - nach Passieren des sog. Wegpunktes BS 376 - und damit zu einer Verlagerung und Konzentration des Verkehrs in weniger dicht besiedeltes Gebiet. Für die Berechnungen zum Externen Risikos wurden weiterführend auf Basis von Radardatenanalysen die tatsächlich geflogenen Kurvenradien auf den Abflugrouten ELBEG 7S und LASAT 7S analysiert und jeweilige statistisch repräsentative Routenverläufe berücksichtigt.

Im Einzelnen ist festzustellen, dass beide Effekte, Routenanpassungen und verändertes Verkehrsaufkommen, im Istscenario 2022 ggü. dem Basisszenario 2019 zu deutlich geringeren Einzelrisiken führen: Für Einzelrisikowerte  $\geq 1,0 \times 10^{-5}$  (= 1 x in 100'000 Jahren kommt eine Person, die sich während eines ganzen Jahres am selben Ort aufhält zu Tode), verringert sich die Anzahl an Betroffenen von 11 auf 3. Zudem erfolgte eine Verlagerung geringerer Einzelrisiken von  $\geq 1,0 \times 10^{-7}$  (1 x in 10'000'000 Jahren) von dicht besiedelten Gebieten in der Agglomeration Basel (vornehmlich Allschwil) zu dünner besiedelten Gebieten in Frankreich. Für die Prognoseszenarien 2032 und 2032+ ergeben sich bei ggü. dem Istscenario 2022 unveränderter Routengeometrie infolge des jeweils erhöhten unterstellten Verkehrsaufkommens Einzelrisiken größer als  $1 \times 10^{-6}$  pro Jahr (1 x in 1'000'000 Jahren, aber stets unter dem o.g. Richtwert von  $3,0 \times 10^{-5}$  pro Jahr) überwiegend auf weniger dicht besiedeltes Gebiet. Im Prognoseszenario 2032+ findet sich hingegen eine gesteigerte Betroffenheit um Allschwil auf Schweizer Seite.

**Einzelrisiken von  $\geq 3,0 \times 10^{-5}$  pro Jahr sind für alle Szenarien außerhalb des Flughafengeländes nicht festzustellen.**

## 9.2 Gruppenrisiko

In der nachfolgenden Abbildung 29 ist der Gruppenrisikoverlauf für alle Szenarien inkl. der Grenz-FN-Kurven<sup>22</sup> dargestellt (vgl. Kapitel 2.2.2). Es ist ersichtlich, dass die Gruppenrisikokonturen für alle untersuchten Szenarien im tolerablen Bereich liegen (vgl. Kapitel 9.2).

In Deutschland wurden bei spezifischen Planfeststellungsverfahren Vorschläge zur Bewertung des Gruppenrisikos erarbeitet (vgl. [1]). Es wird hier eine obere sog. Grenz-FN-Kurve definiert, die in der dafür vorgesehenen Anwendung nicht überschritten werden darf. Sie stellt somit das hierfür maximal zulässige Gruppenrisiko dar und ist das entscheidende Bewertungskriterium des maximal zulässigen Gruppenrisikos. Gemäß [1] ist für Flughäfen die obere Grenz-FN-Kurve, die in Großbritannien für einzelne Industriebetriebe formuliert wurde für die Bewertung des Gruppenrisikos an Flughäfen geeignet (vgl. Abbildung 29). Auch für vorliegendes Gutachten wird diese Bewertung angewendet.

**Nach diesen Prämissen liegen alle ermittelten Gruppenrisikokonturen vollständig unterhalb der oberen Grenz-FN-Kurve und das Gruppenrisiko ist als tolerabel einzustufen (vgl. Abbildung 29).**

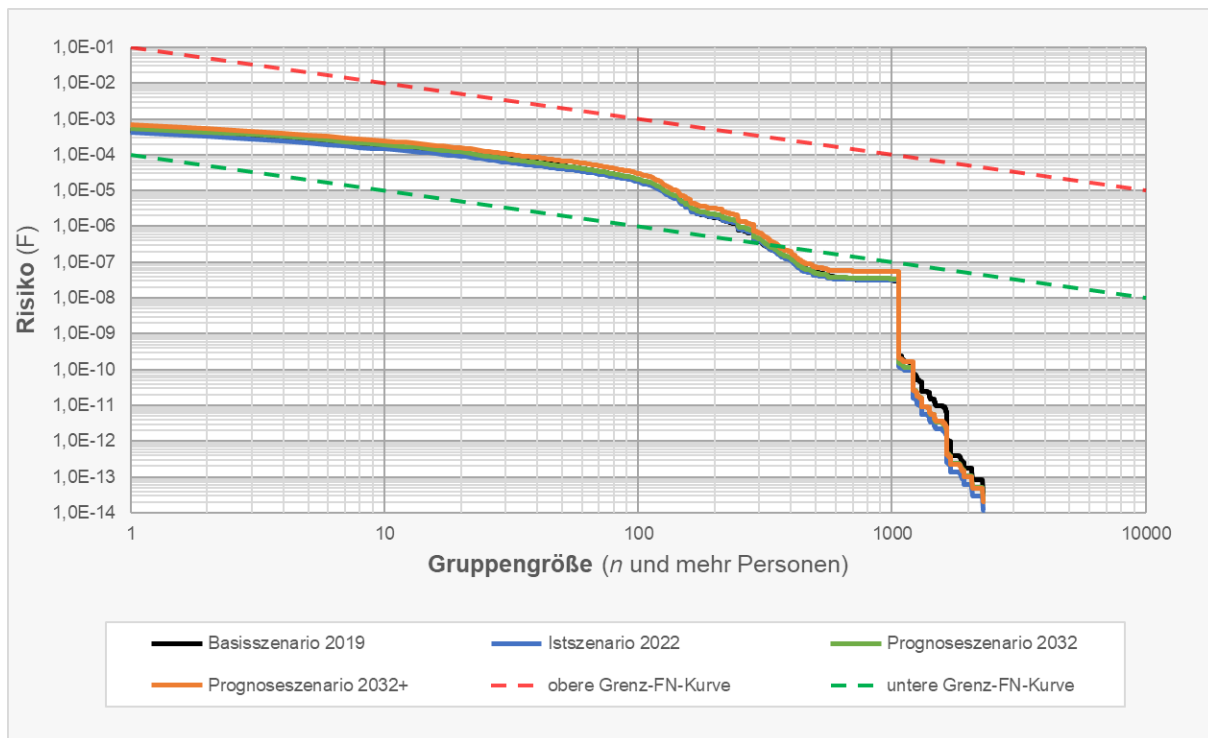


Abbildung 29: Gruppenrisikoverlauf mit Grenz-FN-Kurven für alle Szenarien

Die veränderte Abflugroutenführung führt beim Istszenario 2022 im Vergleich zum Basisszenario 2019 zu einer geringfügigen Entlastung von Gruppen über 1'000 Personen, in Entsprechung der Ergebnisse zum Einzelrisiko. Für Gruppengrößen unterhalb von 1'000 Personen hat die veränderte Routenführung quasi keine Auswirkung.

Die Ergebnisse zum Gruppenrisiko nach Tabelle 17 zeigen, dass mit einer Steigerung der Risikowerte für die Prognoseszenarien 2032 und 2032+ im Vergleich zum Istszenario 2022 zu rechnen ist.

<sup>22</sup> F = gegebene Eintrittshäufigkeit (Frequenz), N = Anzahl Betroffener dieser Frequenz



betroffene Personen/Grup penrisiko	Basisszenario 2019	Istszenario 2022	Prognose- szenario 2032	Prognose- szenario 2032+
<b>1</b>	$4,63 \times 10^{-4}$	$4,14 \times 10^{-4}$	$5,42 \times 10^{-4}$	$6,75 \times 10^{-4}$
<b>5</b>	$2,46 \times 10^{-4}$	$2,11 \times 10^{-4}$	$2,85 \times 10^{-4}$	$3,58 \times 10^{-4}$
<b>10</b>	$1,71 \times 10^{-4}$	$1,45 \times 10^{-4}$	$1,92 \times 10^{-4}$	$2,46 \times 10^{-4}$
<b>50</b>	$4,91 \times 10^{-5}$	$4,00 \times 10^{-5}$	$4,81 \times 10^{-5}$	$6,82 \times 10^{-5}$
<b>100</b>	$2,00 \times 10^{-5}$	$1,77 \times 10^{-5}$	$2,09 \times 10^{-5}$	$3,02 \times 10^{-5}$
<b>500</b>	$5,25 \times 10^{-8}$	$4,29 \times 10^{-8}$	$5,00 \times 10^{-8}$	$7,29 \times 10^{-8}$
<b>1000</b>	$3,06 \times 10^{-8}$	$3,19 \times 10^{-8}$	$3,45 \times 10^{-8}$	$5,44 \times 10^{-8}$
<b>2000</b>	$1,73 \times 10^{-13}$	$6,04 \times 10^{-14}$	$1,07 \times 10^{-13}$	$9,98 \times 10^{-14}$

Tabelle 17: Gruppenrisiko je Szenario und Gruppengrößen

### 9.3 Fazit

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Externen Risiken am Flughafen Basel-Mulhouse in einem Ausmaß sind, das im dargestellten Bewertungsmodell als tolerabel eingestuft werden kann. Tolerabel bedeutet, dass Maßnahmen zur Risikoreduktion im Sinne des sog. ALARP-Prinzips<sup>23</sup> zu prüfen sind. Risikominderung des hier maßgeblichen Gruppenrisikos lässt sich grundsätzlich durch Verringerung der betroffenen Personen im Gefahrenbereich (also Absiedlungen) oder durch Verringerung des induzierten Risikos erreichen. Letzteres kann wiederum durch eine Vielzahl von Maßnahmen erreicht werden, wie beispielsweise Verringerung des Verkehrs oder auch Verlagerung des Verkehrs aus dicht besiedelten in dünner besiedelte Gebiete.

Die Sensitivitätsanalyse der Südlandungen (vgl. Kapitel 6.1) hat so beispielsweise gezeigt, dass eine Verlagerung auf mehr Südanflüge erheblich mehr Betroffenen nach sich ziehen würde, allerdings nur bezogen auf ein niedriges Risikoniveau ( $< 1 \times 10^{-6}$  pro Jahr). Eine Bevorzugung von Nordlandungen (unter Berücksichtigung der maximal zulässigen Rückenwindkomponente) sollte daher in Sinne der Risikominderung grundsätzlich angestrebt werden.

Als Risikominderungsmaßnahmen kommen demnach risikooptimierte Betriebsverfahren bzw. Pistennutzungskonzepte für den Flughafen Basel-Mulhouse in Betracht.

<sup>23</sup> ALARP – As Low As Reasonably Practicable: Dieses Prinzip besagt, dass bei Reduktion der Risiken auf Verhältnismäßigkeit von Kosten zu Nutzen geachtet werden sollte.

## Glossar

<b>Annex</b>	Anhang
<b>Basisszenario 2019</b>	Grundlage sind die im Jahr 2019 aufgezeichneten Verkehrszahlen ohne Aktualisierung der Routengeometrie der Abflugrouten TORPA und MOROK
<b>Betriebsrichtung</b>	Aktuelle Nutzungsrichtung einer Start-/ Landebahn - Richtung, in die der Anflug bzw. Abflug erfolgt
<b>Betrachtungsraum</b>	Der Betrachtungsraum besteht aus dem definierten (↑) Untersuchungsraum von 40 × 40 km. Hiervon ausgenommen ist das Gelände des Flughafens Basel-Mulhouse, da in diesem Bereich keine Gefährdungspotenziale für unbeteiligte Dritte (externe Risiken) existieren. Dieses Gebiet wird in den Plänen gesondert ausgewiesen und bleibt in den tabellarischen (Ergebnis-) Ausführungen unberücksichtigt.
<b>Betroffenheit / Mortalität</b>	Die Mortalität bezeichnet hier die Folgen eines Flugunfalls für (↑) Drittparteien. Im Einzelnen wird hierunter das Verhältnis zwischen der Anzahl Personen, die von Trümmern eines Flugunfalls tödlich getroffen werden und der Anzahl Personen, die sich im (↑) Unfallfolgegebiet aufhalten verstanden. Die Mortalität kann folglich als Rate oder Prozentsatz dargestellt werden.
<b>Dritte</b>	Als Dritte bzw. unbeteiligte Dritte werden Personen bezeichnet, die weder direkt noch indirekt am Luftverkehr beteiligt sind.
<b>Einzelrisiko</b>	Das Einzelrisiko gibt Auskunft darüber, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Mensch, der sich ununterbrochen an einem bestimmten Ort im Untersuchungsraum aufhält, an den Folgen eines Flugunfalls zu Tode kommt. Das an einem bestimmten Ort bestehende (↑) Einzelrisiko ist unabhängig davon, ob sich an diesem Ort tatsächlich jemand aufhält (so genanntes Risikopotenzial). Eine ausführlichere Definition ist in Kapitel 2.2.1 zu finden.
<b>Externes Risiko</b>	Das Externe Risiko beschreibt das durch den Luftverkehr induzierte Gefährdungspotenzial von sich im (↑) Untersuchungsraum des Flughafens Basel-Mulhouse aufhaltenden Personen, differenziert nach den Risikokenngrößen (↑) Einzel- und (↑) Gruppenrisiko.
<b>Flughafenbezugspunkt</b>	Bezugspunkt, der i. d. R. in der Mitte des Systems der Start- und Landeflächen liegen soll, veröffentlicht im Luftfahrthandbuch des Landes.
<b>Flugunfall mit Todesfolge</b>	Ereignisse beim Betrieb eines Luftfahrzeuges, wenn mindestens eine Person tödlich verletzt worden ist. Um eine vergleichbare statistische Aussage zu gewährleisten, wird eine Verletzung mit Todesfolge innerhalb von 30 Tagen nach dem Tag des Unfalls von der ICAO als Flugunfall mit Todesfolge bezeichnet.

<b>Gefährdende Anlagen nach Störfall-Verordnung</b>	Anlagen, die aufgrund der Art und des Umfanges an gelagerten gefährlichen Stoffen einer besonderen Genehmigung / Überwachung bedürfen. Ein Absturz auf derartige Anlagen kann eine deutliche Vergrößerung des (↑) Unfallfolgegebietes zur Folge haben.
<b>Gruppenrisiko</b>	Das Gruppenrisiko ist als die Wahrscheinlichkeit definiert, mit der n und mehr Personen (Gruppe) gleichzeitig an den Folgen eines Flugunglücks sterben. Das Gruppenrisiko und damit die Gesamtheit aller möglichen Betroffenen bezieht sich auf den gesamten (↑) Untersuchungsraum. Hält sich in dem betrachteten Gebiet niemand auf, ist das dortige Gruppenrisiko per Definition Null. Eine ausführlichere Definition ist in Kapitel 2.2.2 zu finden.
<b>Istszenario 2022</b>	Grundlage sind die Verkehrszahlen des Jahres 2022 inkl. der aktualisierten RNAV-Verfahren am FH Basel-Mulhouse
<b>Kernfläche</b>	Gleichbedeutend mit der Lachenfläche, die sich durch Ausbreitung des an Bord eines havarierten Luftfahrzeuges befindlichen Kerosins ausbilden kann.
<b>Risiko</b>	Risiko versteht sich als das Produkt der Eintrittshäufigkeit eines unerwünschten Ereignisses (hier (↑) Flugunfall) mit dem resultierenden Schadensausmaß (hier (↑) Unfallfolgegebiet).
<b>Prognoseszenario 2032</b>	Grundlage sind die prognostizierten Verkehrszahlen für das Jahr 2032 und die zugehörigen Routenverteilungen inkl. der aktualisierten RNAV-Verfahren am FH Basel-Mulhouse
<b>Prognoseszenario 2032+</b>	Im Prognoseszenario 2032+ wird davon ausgegangen, dass die Anzahl an Flugbewegungen weiter, bis auf 125.000 Flugbewegungen ansteigt (hypothetisches Szenario). Dabei wird angenommen, dass der Mix der eingesetzten LFZ-Muster, sowie deren Verteilung auf die Flugrouten im Vergleich zu 2032 konstant bleiben.
<b>Sekundärschadensgebiet</b>	(↑) Unfallfolgegebiet
<b>Seveso II</b>	Die Richtlinie 96/82/EG des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen (Seveso II, geändert am 16.11.2017) dient der Verhütung schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen und der Begrenzung der Unfallfolgen für Mensch und Umwelt und soll in der Europäischen Union (EU) konsequent und wirksam ein hohes Maß an Schutz gewährleisten.
<b>Unfallfolgegebiet</b>	Räumliche Abgrenzung eines Gebietes, in dem mit tödlichen Verletzungen ((↑) Mortalität) von Personen zu rechnen ist. Außerhalb des Unfallfolgegebietes wird eine (↑) Mortalität von 0 % unterstellt. Es ist zwischen primärem (bedingt durch das Flugzeug) und sekundärem (bedingt durch eine risikoerhöhende Infrastruktur, z.B. (↑) gefährdende Anlagen nach Störfall-Verordnung) zu unterscheiden.

<b>Untersuchungsraum</b>	Der Untersuchungsraum für den vorliegenden Bericht umfasst einen Bereich von 40 × 40 km zentriert um den (↑) Flughafenbezugspunkt des Flughafens Basel-Mulhouse (typische Größe für derartige Untersuchungen).
<b>Verkehrsszenarien</b>	<p>Beschreibung einer Verkehrsnachfrage für ein Jahr, differenziert nach IFR und VFR, genutzter Start- und Landebahn inklusive Abflugweg bei Abflügen und klassifiziertem Luftfahrzeugtyp. Im vorliegenden Bericht werden die vier folgenden Szenarien berücksichtigt:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• „Basisszenario 2019“,</li><li>• „Istszenario 2023“ sowie</li><li>• „Prognoseszenario 2032“ sowie</li><li>• „Prognoseszenario 2032+“.</li></ul>
<b>Wahrscheinlichkeitsdichte (-funktion)</b>	Mathematische Funktion zur funktionalen Beschreibung einer spezifischen Streuung/Verteilung. Mittels Integration der Wahrscheinlichkeitsdichte ergibt sich die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt eines Ereignisses.

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AAIB</b>	United Kingdom Air Accidents Investigation Branch
<b>AC</b>	Accident Consequence (Unfallfolgen)
<b>ACI</b>	Airports Council International
<b>ADREP</b>	Accident/Incident Data Reporting
<b>ADS-B</b>	Automatic Dependent Surveillance–Broadcast
<b>AIP</b>	Aeronautical Information Publication (Luftfahrthandbuch)
<b>AL</b>	Accident Location (Unfallstreuung)
<b>ALARP</b>	As Low As Reasonable Practicable
<b>AR</b>	Accident Ratio (Unfallwahrscheinlichkeit)
<b>ARP</b>	Airport Reference Point (Flughafenbezugspunkt)
<b>ASN</b>	Aviation Safety Network
<b>AzB</b>	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
<b>BFU</b>	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
<b>BImSchV</b>	Bundes-Immissionsschutzverordnung
<b>BR</b>	Betriebsrichtung
<b>CH</b>	Schweiz
<b>ER</b>	Externes Risiko
<b>FH</b>	Flughafen
<b>FIUUG</b>	Flugunfalluntersuchungsgesetz
<b>GfL</b>	Gesellschaft für Luftverkehrsforschung
<b>IFR</b>	Instrument Flight Rules (Instrumentenflugregeln)
<b>ILS</b>	Instrumentenlandesystem
<b>ICAO</b>	International Civil Aviation Organization (Internationale Zivilluftfahrtorganisation)
<b>LFZ</b>	Luftfahrzeug
<b>MTOM</b>	Maximum Takeoff Mass (maximale Abflugmasse)
<b>NL</b>	Niederlande
<b>NN</b>	Normalnull
<b>NTSB</b>	National Transportation Safety Board (US-amerikanische Behörde für Transportsicherheit)
<b>PFV</b>	Planfeststellungsverfahren
<b>RNAV</b>	Area Navigation (Flächennavigation)
<b>SID</b>	Standard Instrument Departure (Standard-Instrumentenabflugstrecke)
<b>SLB</b>	Start- und Landebahn
<b>STAR</b>	Standard Arrival Route (Standard-Instrumenteneinflugstrecke)
<b>StFV</b>	Störfallverordnung

<b>TÜV</b>	Technischer Überwachungsverein
<b>UK</b>	United Kingdom (Vereinigtes Königreich)
<b>VFR</b>	Visual Flight Rules (Sichtflugregeln)

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grenz-FN-Kurven zum Gruppenrisiko .....	14
Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der Unfallrate (AR) .....	16
Abbildung 3: Bildung von Clustern zur AR-Bestimmung (Basel-Mulhouse-Cluster in Rot) ..	18
Abbildung 4: Verwendetes Koordinatensystem in der AL-Modellierung .....	21
Abbildung 5: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, hier exemplarisch für Landeunfälle .....	22
Abbildung 6: Empirischer Zusammenhang zwischen Luftfahrzeugmasse und Größe des Unfallfolgegebietes.....	24
Abbildung 7: Kernfläche und Unfallfolgegebiet zur Bestimmung der Mortalität.....	25
Abbildung 8: Schematische Bestimmung der Mortalität .....	26
Abbildung 9: Gruppenrisiko (typischer Verlauf) .....	28
Abbildung 10: Gerasterte Bevölkerungsdichte im Umfeld des FH Basel-Mulhouse.....	31
Abbildung 11: Gerasterte Topografie im Umfeld des FH Basel-Mulhouse.....	32
Abbildung 12: Änderung Flugbewegungen je Betriebsrichtung Prognoseszenario 2032 vs. Istszenario 2022.....	35
Abbildung 13: Vergleich Abflugrouten ELBEG 7S und LASAT 7S, AIP, 2019 vs. 2022 .....	37
Abbildung 14: Identifizierte ADS-B Flugspuren auf Abflugroute ELBEG 7S .....	38
Abbildung 15: Histogramm der Kurvenradien der Route ELBEG 7S .....	39
Abbildung 16: Ergebnisse zum Einzelrisiko Basisszenario 2019.....	40
Abbildung 17: Gruppenrisiko, Basisszenario 2019 .....	41
Abbildung 18: Ergebnisse zum Einzelrisiko, Istszenario 2022.....	42
Abbildung 19: Detailansicht Einzelrisikokonturen $1 \times 10^{-6}$ pro Jahr, 2022 vs. 2019 .....	43
Abbildung 20: Differenzkarte 2022 vs. 2019 für Einzelrisiken $\geq 1 \times 10^{-8}$ pro Jahr .....	44
Abbildung 21: Histogramm des Anteils der Südlandungen auf der SLB 15/33 .....	45
Abbildung 22: Gruppenrisiko, Istszenario 2022.....	46
Abbildung 23: Ergebnisse zum Einzelrisiko, Prognoseszenario 2032 .....	47
Abbildung 24: Detailansicht Einzelrisikokonturen $1 \times 10^{-6}$ pro Jahr, 2032 vs. 2022 .....	48
Abbildung 25: Gruppenrisiko, Prognoseszenario 2032.....	49
Abbildung 26: Ergebnisse zum Einzelrisiko, Prognoseszenario 2032+ .....	50
Abbildung 27: Detailansicht Einzelrisikokonturen $1 \times 10^{-6}$ pro Jahr, 2032+ vs. 2022 .....	51
Abbildung 28: Gruppenrisiko, Prognoseszenario 2032+.....	52
Abbildung 29: Gruppenrisikoverlauf mit Grenz-FN-Kurven für alle Szenarien .....	54
Abbildung 30: Ergebnisse zum Einzelrisiko für das Prognoseszenario der Studie aus 2001 [2] .....	65
Abbildung 31: Ergebnisse zum Gruppenrisiko für das Prognoseszenario der Studie aus 2001 [2].....	66



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Avisierte Richtwerte für Einzelrisiken um Flughäfen, Deutschland .....	12
Tabelle 2: Eingangsparameter der Clusteranalyse .....	17
Tabelle 3: Anzahl der Flugbewegungen und Vergleichsflughäfen im Zielcluster .....	19
Tabelle 4: Unfallrate (AR) .....	19
Tabelle 5: Unfallrate für Flugunfälle mit Todesfolge für LFZ < 5,7 t MTOM .....	20
Tabelle 6: Geländeabhängige Dimensionen von modellierten Unfallfolgegebieten .....	24
Tabelle 7: Radii des Unfallfolgegebiets für zwei beispielhafte LFZ .....	24
Tabelle 8: Koordinaten Flughafenbezugspunkt .....	29
Tabelle 9: Daten Start- und Landebahnsystem .....	29
Tabelle 10: Liste der gefährdenden Anlagen .....	33
Tabelle 11: Flugbewegungen FH Basel-Mulhouse, Basisszenario 2019 .....	34
Tabelle 12: Flugbewegungen FH Basel-Mulhouse, Istszenario 2022 .....	34
Tabelle 13: Flugbewegungen FH Basel-Mulhouse, Prognoseszenario 2032 .....	35
Tabelle 14: Flugbewegungen FH Basel-Mulhouse, Prognoseszenario 2032+ .....	36
Tabelle 15: Verteilung der Kurvenradien nach Lärmklasse, vgl. Anhang A4 .....	39
Tabelle 16: Anzahl und Trend der von Einzelrisiken betroffenen Personen .....	53
Tabelle 17: Gruppenrisiko je Szenario und Gruppengrößen .....	55
Tabelle 18: Beispiele von Vor-/ Unfällen zur Klassifizierung von Schadensausmaßen (nach [18]) .....	69
Tabelle 19: Gefährdende Anlagen .....	70
Tabelle 20: Luftfahrzeuggruppen nach AzB/AzD) .....	72

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] KHP: *Referenzierung des Externen Risikos infolge neuer Landebahn am Flughafen Frankfurt Main*. G 16.4. Frankfurt am Main, 13.12.2006
- [2] GfL: *Risikoaanalyse für den Flughafen Basel-Mülhausen*. Dresden, 2001
- [3] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO): *Annex 13, Aircraft Accident and Incident Investigation*. International Standards and Recommended Practices. 12th Edition. Montreal, Juli 2020 (ISBN 978-92-9249-968-6)
- [4] *Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26. Januar 2010 (BGBl. I S. 38), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Oktober 2021 (BGBl. I S. 4676) geändert worden ist*
- [5] GfL: *Stellungnahme zum Externen Risiko am Flughafen München*. Dresden, 15.03.2010
- [6] BUNDESAMT FÜR UMWELT - BAFU: *Handbuch zur Störfallverordnung (StFV) : Allgemeiner Teil*. Bern, 2018
- [7] BUNDESAMT FÜR STATISTIK (BFS): *Luftverkehr: Linien- und Charterverkehr, Jahresresultate 2022 (su-b-11-LFS-2022-K0)*. 27.02.2023
- [8] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ UND FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ (BMJV): *Flugunfall-Untersuchungs-Gesetz vom 26. August 1998 (BGBl. I S. 2470), das zuletzt durch Artikel 153 des Gesetzes vom 20. November 2019 (BGBl. I S. 1626) geändert worden ist (idF v. Änderung durch Art. 5 Abs. 9 G v. 10. 3. 2017 I 410)*. In: *BGBl. I (Bundesgesetzblatt Teil I)* November 2019, S. 1626. URL <https://www.gesetze-im-internet.de/fluug/>
- [9] BUNDESSTELLE FÜR FLUGUNFALLUNTERSUCHUNG (BFU): *Jahresberichte über Unfälle und schwere Störungen beim Betrieb ziviler Luftfahrzeuge 1999-2018*
- [10] BUNDESSTELLE FÜR FLUGUNFALLUNTERSUCHUNG (BFU): *Unfälle und schwere Störungen mit Luftfahrzeugen unter 5,7 t in Deutschland ab 2011 bis 2022*
- [11] BUNDESSTELLE FÜR FLUGUNFALLUNTERSUCHUNG (BFU): *Unfälle und schwere Störungen mit Luftfahrzeugen unter 5,7 t in Deutschland 1998 - 2010*
- [12] RAT DER EUROPÄISCHEN UNION: *Richtlinie 96/82/EG des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen*
- [13] DALDER, Thomas; SEMMLER, Ralph (Mitarb.): *Bebauungsplan "Wohnen und Freizeit Nackerhausen Nord" : Vorhabenbezogene Beurteilung der Einhaltung des angemessenen Sicherheitsabstandes im Sinne des § 3 Abs. 5 c i. V. m. § 50 BImSchG*. Bericht Nr. M150665/01. Karlsruhe, 19.08.2020
- [14] SERVICE DE L'INFORMATION AÉRONAUTIQUE: *AIP France : AD-2.LFSB-1*. 02.12.2021
- [15] EUROAIRPORT BASEL ; DIRECTION GÉNÉRALE DE L'AVIATION CIVILE (DGAC): *Verkehrsdaten Flughafen Basel : Pourcentage d'utilisation des procédures par catégorie d'appareil Pourcentage d'utilisation des procédures par catégorie d'appareil, Tours de piste, départs/arrivées rectilignes, départs/arrivées selon procédures, MVI/MVL*
- [16] SERVICE DE L'INFORMATION AÉRONAUTIQUE: *AIP France : AD-2.LFSB-1*. 20.06.2019

- [17] UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (USDOT): *Code of Federal Regulations: Title 49 – Transportation, Chapter VIII – National Transportation Board, Part 830 – Notification and Reporting of Aircraft Accidents or Incidents and Overdue Aircraft, and Preservation of Aircraft Wreckage, Mail, Cargo, and Records* (idF v. 23. 9. 1988 (53 FR 36982), geändert am 7. 8. 1995 (60 FR 40112), aktuelle Version vom 1. 10. 2011). URL <https://www.govinfo.gov/app/details/CFR-2011-title49-vol7/CFR-2011-title49-vol7-part830>
- [18] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO): *Doc 9981, Procedures for Air Navigation Services – Aerodromes (PANS-ADR)*. 2nd Edition. Montreal, 2016 (ISBN 978-92-9258-123-7)



## Anhang A

### A1 Ergebnisse der Vorgängerstudie aus 2001

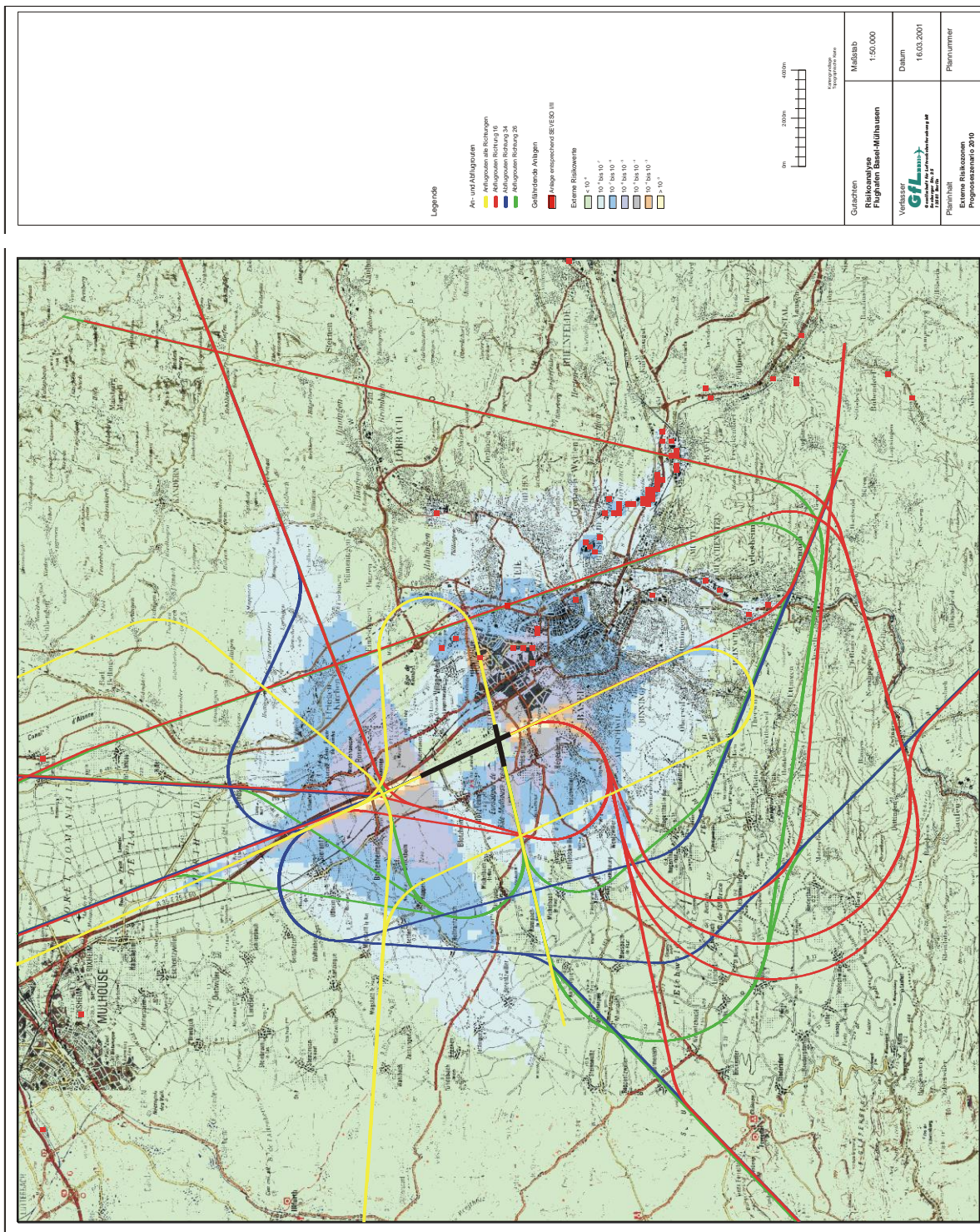


Abbildung 30: Ergebnisse zum Einzelrisiko für das Prognoseszenario der Studie aus 2001 [2]

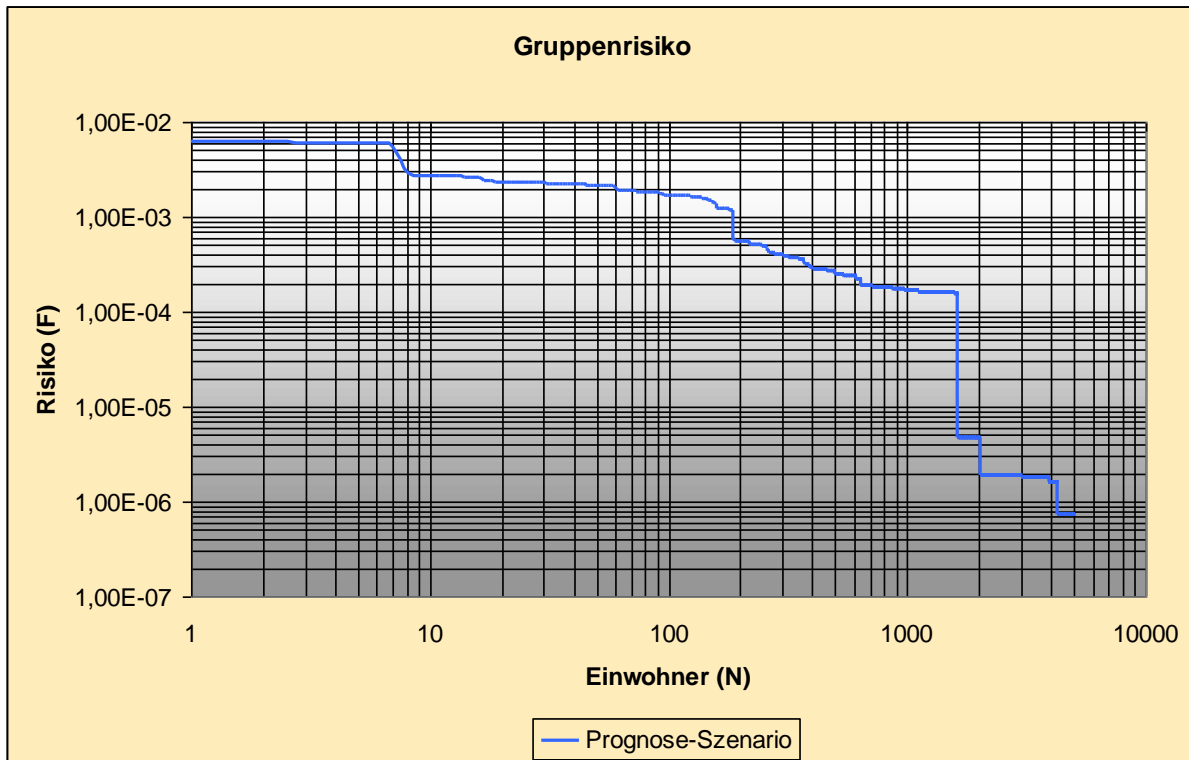


Abbildung 31: Ergebnisse zum Gruppenrisiko für das Prognoseszenario der Studie aus 2001 [2]

## A2 Weiterführende Erläuterungen

### Definition von Vor- und Unfällen

Entsprechend ICAO Annex 13 [3] sind Vor- und Unfälle wie folgt definiert:

#### **Accident**

*An occurrence associated with the operation of an aircraft which, in the case of a manned aircraft, takes place between the time any person boards the aircraft with the intention of flight until such time as all such persons have disembarked, or in the case of an unmanned aircraft, takes place between the time the aircraft is ready to move with the purpose of flight until such time as it comes to rest at the end of the flight and the primary propulsion system is shut down, in which:*

*a) a person is fatally or seriously injured as a result of:*

- being in the aircraft, or*
- direct contact with any part of the aircraft, including parts which have become detached from the aircraft, or*
- direct exposure to jet blast,*

*except when the injuries are from natural causes, self-inflicted or inflicted by other persons, or when the injuries are to stowaways hiding outside the areas normally available to the passengers and crew; or*

*b) the aircraft sustains damage or structural failure which:*

- adversely affects the structural strength, performance or flight characteristics of the aircraft, and*
- would normally require major repair or replacement of the affected component,*

*except for engine failure or damage, when the damage is limited to a single engine (including its cowlings or accessories), to propellers, wing tips, antennas, probes, vanes, tires, brakes, wheels, fairings, panels, landing gear doors, windscreens, the aircraft skin (such as small dents or puncture holes), or for minor damages to main rotor blades, tail rotor blades, landing gear, and those resulting from hail or bird strike (including holes in the radome); or*

*c) the aircraft is missing or is completely inaccessible.*

#### **Incident**

*An occurrence, other than an accident, associated with the operation of an aircraft which affects or could affect the safety of operation.*

#### **Serious incident**

*An incident involving circumstances indicating that there was a high probability of an accident and associated with the operation of an aircraft which, in the case of a manned aircraft, takes place between the time any person boards the aircraft with the intention of flight until such time as all such persons have disembarked, or in the case of an unmanned aircraft, takes place between the time the aircraft is ready to move with the purpose of flight until such time as it comes to rest at the end of the flight and the primary propulsion system is shut down.*

### Definition von Sach- und Personenschäden

#### **Sachschäden:**

Bei Flugunfällen ohne Sachschäden ist die Gesamtstruktur des LFZ inklusive aller Bauteile frei von Defekten. Bei einem wesentlichen Schaden handelt es sich entsprechend dem „Code of Federal Regulations: Title 49 – Transportation, Volume 7, Chapter VIII – National Transportation Board, Part 830“ [17] um:



*“Substantial Damage means damage or failure which adversely affects the structural strength, performance, or flight characteristics of the aircraft, and which would normally require major repair or replacement of the affected component. Engine failure or damage limited to an engine if only one engine fails or is damaged, bent fairings or cowling, dented skin, small punctured holes in the skin or fabric, ground damage to rotor or propeller blades, and damage to landing gear, wheels, tires, flaps, engine accessories, brakes, or wingtips are not considered “substantial damage” for the purpose of this part.”*

Daraus abgeleitet handelt es sich bei geringfügigen Schäden um all diejenigen, die in obiger Definition von „Substantial Damage“ nicht zusammengefasst sind. Die Begriffsbestimmung „Destroyed“ wird innerhalb der NTSB folgendermaßen definiert:

*“NTSB defines “destroyed” as damaged due to impact, fire, or in-flight failures to an extent not economically repairable.” [17].*

### **Personenschäden:**

Gemäß FIUUG [8] sind schwere Verletzungen definiert als:

*„Eine Verletzung, die eine Person bei einem Unfall erlitten hat und die*

- 1. einen Krankenhausaufenthalt von mehr als 48 Stunden innerhalb von 7 Tagen nach der Verletzung erfordert oder*
- 2. Knochenbrüche zur Folge hat (mit Ausnahme einfacher Brüche von Fingern, Zehen oder der Nase) oder*
- 3. Risswunden mit schweren Blutungen oder Verletzungen von Nerven, Muskel- oder Sehnensträngen zur Folge hat oder*
- 4. Schäden an inneren Organen verursacht hat oder*
- 5. Verbrennungen zweiten oder dritten Grades oder von mehr als fünf Prozent der Körperoberfläche zur Folge hat oder*
- 6. Folge einer nachgewiesenen Aussetzung gegenüber infektiösen Stoffen oder schädlicher Strahlung ist.“*

Abgesehen von Punkt 6 (nicht enthalten) stimmt diese Einordnung mit jener der NTSB nach [17] überein.

Tödliche Verletzungen sind nach FIUUG [8] und NTSB [17] wie folgt definiert:

*„Eine Verletzung, die eine Person bei einem Unfall erlitten hat und die unmittelbar bei dem Unfall oder innerhalb von 30 Tagen nach dem Unfall ihren Tod zur Folge hat.“*

Verletzungen, die nicht den beiden beschriebenen Kategorien zugeordnet werden können, entsprechen demnach der Gruppe von keinen bzw. leichten Verletzungen.

Nachfolgende Tabelle 18 erläutert die Schadensausmaße im Detail und ordnet beispielhafte Vor-/Unfälle zu:



Index	Klassifikation (qualitativ)	Erläuterung	Sach-schaden	Personen-schaden	Beispielhafter Vor-/Unfall
A	Katastrophal ( <i>Catastrophic</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zerstörung von Ausrüstung</li> <li>Vielzählige Todesfälle</li> </ul>	Totalverlust des LFZ bzw. Ausrüstung zerstört	mehrere Todesopfer	<ul style="list-style-type: none"> <li>LFZ-Kollision in der Luft</li> <li>Kollision zwischen LFZ und LFZ bzw. Objekt während Start/Landung</li> </ul>
B	Schwer-wiegend ( <i>Hazardous</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erhebliche Reduktion der Sicherheitsmargen, physischer Disstress oder Arbeitsbelastung in einer Weise, in der die Betreiber/Anwender ihre Aufgaben nicht zuverlässig fehlerfrei bzw. vollständig ausführen können</li> <li>Schwerwiegende Verletzungen</li> <li>Erheblicher Schaden an Ausrüstungen</li> </ul>	Wesentliche Schäden an LFZ bzw. Ausrüstung	Schwer-verletzte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Start-/Landeabbruch auf belegter/geschlossener SLB</li> <li><i>RWY Undershoot, Overrun oder RWY Incursion</i> (signifikantes Kollisionspotenzial: sofortiges Handeln erforderlich, um Kollision zu vermeiden)</li> <li><i>Controlled Flight Into Terrain (CFIT)</i> nur knapp verhindert</li> </ul>
C	Bedeutend ( <i>Major</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bedeutende Reduktion der Sicherheitsmargen sowie der Fähigkeit des Betreibers/Anwenders, ungünstige Betriebsbedingungen aufgrund steigender Arbeitsbelastung oder von Bedingungen, die deren Effizienz beeinträchtigen, zu bewältigen</li> <li>Schwerwiegender Vorfall</li> <li>Personenverletzungen</li> </ul>	Geringfügige Schäden an LFZ bzw. Ausrüstung	Leicht- bis Schwer-verletzte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kollision mit Hindernissen auf dem Vorfeld (harte Kollision)</li> <li>Fehlflug mit Bodenkontakt der Tragflächen beim Aufsetzen</li> <li><i>RWY Incursion</i> (geringes Kollisionspotenzial: ausreichend Zeit und Abstand zum Ausweichen)</li> <li>Kraftstoffpfütze in unmittelbarer Nähe eines mit Passagieren besetzten LFZ</li> <li>Personensturz von erhöhter Position</li> </ul>
D	Gering ( <i>Minor</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Allgemeine Störfaktoren</li> <li>Betriebseinschränkungen</li> <li>Anwendung von Notfallmaßnahmen</li> <li>Kleinerer Vorfall</li> </ul>	Keine signifikanten Schäden an LFZ bzw. Ausrüstung	Leicht-verletzte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hartes Bremsen während des Rollvorgangs</li> <li>Schäden durch Jet Blast</li> <li>Objekte/Material auf Standplätzen (<i>Foreign Objects Damage, FOD</i>)</li> <li>Kollision von Servicefahrzeugen auf dem Vorfeld</li> <li>Leichte Schäden an LFZ auf dem Vorfeld bzw. während des Pushback-Vorgangs</li> <li>Ausfall von Kommunikationsanlagen</li> <li>Geringfügige Überschreitung des MTOM (ohne Sicherheitsauswirkungen)</li> <li>Komplexe Rollverkehrsanweisungen</li> </ul>
E	Unbedeutend ( <i>Negligible</i> )	–	Keine Schäden an LFZ bzw. Ausrüstung	keine Verletzten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erhöhte Arbeitsbelastung der LFZ-Besatzung während des Rollvorgangs</li> <li>Geringfügig verlängerter Bremsweg</li> <li>Verlieren von Gepäck aus Gepäckwagen</li> </ul>

Tabelle 18: Beispiele von Vor-/ Unfällen zur Klassifizierung von Schadensausmaßen (nach [18])

## A3 Gefährdende Anlagen

Nachfolgende Tabelle liefert Detailinformationen zu den erfassten gefährdenden Anlagen:

Nr.	Anlagenbetreiber	Straße	Hausnummer	PLZ	Ort	Land	Lat	Long
1	ARaymond GmbH&Co.KG	Hegenheimerstrasse	22	79576	Weil am Rhein	D	47,609712	7,592020
2	Streck Transportges. mbH, Lörrach	Brombacher Str.	61	79539	Lörrach	D	47,621034	7,672424
3	Streck Transportges. mbH, Steinen	Daimlerstr.	14	79585	Steinen	D	47,640191	7,592020
4	RUBIS TERMINAL	Rue du Rhône	3	68128	VILLAGE-NEUF	F	47,603154	7,585502
5	DSM Nutritional Products France	Bd d'Alsace	1	68128	VILLAGE-NEUF	F	47,608207	7,580888
6	TFL France SAS	Rue de l'Industrie	4	68330	HUNINGUE	F	47,585620	7,580293
7	Acino Pharma AG	Pfeffingerring	205	4147	Aesch	CH	47,477733	7,589836
8	BWT AQUA AG	Hauptstrasse	192	4147	Aesch BL	CH	47,478430	7,595988
9	Brenntag Schweizerhall AG	Rothausstrasse	61	4132	MuttENZ 1	CH	47,574928	7,573564
10	DSM Nutritional Products AG Zweigniederlassung Pentapharm	Dornacherstrasse	112	4147	Aesch BL	CH	47,481459	7,604832
11	Felix Transport AG	Talstraße	47	4144	Arlesheim	CH	47,498464	7,608191
12	Fiege Logistik (Schweiz) AG	Genuastrasse	11	4142	Münchenstein	CH	47,531169	7,609841
13	GABA Therwil GmbH	Grabetsmattweg	10	4106	Therwil	CH	47,503896	7,553791
14	Habasit AG	Römerstrasse	1	4153	Reinach BL	CH	47,496716	7,597735
15	Kunsteisbahn beim Margarethen	St. Margarethen	10	4102	Binningen	CH	47,540774	7,586087
16	Schmidlin - TSK AG	Andlauring	69	4147	Aesch BL	CH	47,476234	7,594824
17	Schwimmbad Reinach	Mühlemattweg	24	4153	Reinach BL	CH	47,494637	7,602454
18	Viollier AG	Hagmattstrasse	14	4123	Allschwil	CH	47,557568	7,542717
19	Weleda AG	Dychweg	14	4144	Arlesheim	CH	47,495308	7,607388
20	Würth AG	Dornwydenweg	11	4144	Arlesheim	CH	47,496969	7,607174
21	van Baerle AG	Schützenmattstrasse	21	4142	Münchenstein	CH	47,510785	7,616688

Tabelle 19: Gefährdende Anlagen

## A4 Luftfahrzeuggruppen nach AzB/AzD

LFZ-Gruppe	Definition
<b>P1.0</b>	Ultraleichtflugzeuge
<b>P1.1</b>	Motorsegler
<b>P1.2</b>	Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (Maximum Take-Off Mass, MTOM) bis 2 t oder Motorsegler beim Segelflugschlepp.
<b>P1.3</b>	Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) bis 2 t.
<b>P1.4</b>	Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 2 bis 5,7 t.
<b>P2.1</b>	Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 5,7t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 3, Kapitel 4 oder Kapitel 10 entsprechen.
<b>P2.2</b>	Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 5,7 t, die nicht der Flugzeuggruppe P 2.1 zugeordnet werden können.
<b>S1.0</b>	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) bis 34t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 2 entsprechen.
<b>S1.1</b>	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 34 t bis 100 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 2 entsprechen (ohne die Luftfahrzeugmuster Boeing 737 und Boeing 727).
<b>S1.2</b>	Flugzeuge des Luftfahrzeugmusters Boeing 737, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 2 entsprechen.
<b>S1.3</b>	Flugzeuge des Luftfahrzeugmusters Boeing 727, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 2 entsprechen.
<b>S 2</b>	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) bis 100 t, die nicht den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1 entsprechen.
<b>S3.1</b>	<p>Strahlflugzeuge mit zwei oder drei Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 100 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 2 entsprechen, bzw. die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 3 entsprechen und nicht in die Flugzeuggruppe S 5.2, S 6.1 oder S 6.2 fallen.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>a. Starts mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 3.1, deren aktuelle Startmasse bis 85 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt.</p> <p>b. Starts mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 3.1, deren aktuelle Startmasse mehr als 85 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt.</p> </div> <p>a/b) Landungen mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 3.1</p>

LFZ-Gruppe	Definition
<b>S3.2</b>	<p>Strahlflugzeuge mit vier Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 100 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 2 entsprechen, bzw. die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 3 entsprechen und nicht in die Flugzeuggruppe S 5.2 oder S 6.2 fallen.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>a. Starts mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 3.2, deren aktuelle Startmasse bis 85 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt.</p> <p>b. Starts mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 3.2, deren aktuelle Startmasse mehr als 85 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt</p> </div> <p>a/b) Landungen mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 3.2.</p>
<b>S 4</b>	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 100 t, die nicht den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1 entsprechen.
<b>S5.1</b>	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) bis 50 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen.
<b>S5.2</b>	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 50 t bis 120 t und einem Triebwerks Nebenstromverhältnis größer als 3, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen.
<b>S5.3</b>	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 50t bis 120t und einem Triebwerks Nebenstromverhältnis bis 3, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen.
<b>S6.1</b>	Strahlflugzeuge mit zwei Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 120 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt; Band 1, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen. Die Luftfahrzeuge müssen im Verzeichnis lärmarmen Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse über 120 t enthalten sein (s. u.).
<b>S6.2</b>	<p>Strahlflugzeuge mit drei oder vier Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 120 t bis 300t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen (ohne das Luftfahrzeugmuster Airbus A340). Die Luftfahrzeuge müssen im Verzeichnis lärmarmen Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse über 120 t (Anlage) enthalten sein (s. u.).</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>a. Starts mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 6.2, deren aktuelle Startmasse bis 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt.</p> <p>b. Starts mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 6.2, deren aktuelle Startmasse mehr als 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt</p> </div> <p>a/b) Landungen mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 6.2.</p>
<b>S6.3</b>	Flugzeuge des Luftfahrzeugmusters Airbus A340.
<b>S 7</b>	<p>Strahlflugzeuge mit drei oder vier Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 300 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band 1, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>a. Starts mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 7, deren aktuelle Startmasse bis 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt:</p> <p>b. Starts mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 7, deren aktuelle Startmasse mehr als 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt.</p> </div> <p>a/b) Landungen mit Flugzeugen der Flugzeuggruppe S 7.</p>

Tabelle 20: Luftfahrzeuggruppen nach AzB/AzD)