

Rainer Konersmann

**Sicherheitstechnische  
Empfehlungen zum Luftverkehr  
unter dem Aspekt  
der Störfallverordnung  
und der Risikosteuerung**

260

**Forschungsbericht**



Die Aufgaben  
der Bundesanstalt  
stehen unter der Leitlinie:

## **Sicherheit und Zuverlässigkeit in Chemie- und Materialtechnik**

### **Die Aufgaben**

Die BAM ist im Aufgabenverbund „Material – Chemie – Umwelt – Sicherheit“ zuständig für:

- Hoheitliche Funktionen zur öffentlichen technischen Sicherheit, insbesondere im Gefahrstoff- und Gefahrgutrechtsbereich;
- Mitarbeit bei der Entwicklung entsprechender gesetzlicher Regelungen, z. B. bei der Festlegung von Sicherheitsstandards und Grenzwerten;
- Beratung der Bundesregierung, der Wirtschaft sowie der nationalen und internationalen Organisationen im Bereich der Materialtechnik und Chemie;
- Entwicklung und Bereitstellung von Referenzmaterialien und -verfahren, insbesondere der analytischen Chemie und der Prüftechnik;
- Unterstützung der Normung und anderer technischer Regeln für die Beurteilung von Stoffen, Materialien, Konstruktionen und Verfahren im Hinblick auf die Schadensfrüherkennung bzw. -vermeidung, den Umweltschutz und den Erhalt volkswirtschaftlicher Werte.

### **Die Tätigkeitsbereiche**

Das Tätigkeitsspektrum der BAM umfasst die sich ergänzenden und aufeinander bezogenen Tätigkeiten:

- Forschung und Entwicklung
- Prüfung, Analyse und Zulassung
- Beratung und Information.

### **Die nationale und internationale Zusammenarbeit**

Die Aufgaben der BAM für Technik, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft erfordern eine interdisziplinäre Zusammenarbeit. Insofern arbeitet die Bundesanstalt mit Technologieinstitutionen des In- und Auslandes, insbesondere den nationalen Schwesterinstituten eng zusammen. Sie berät Bundesministerien, Wirtschaftsverbände, Industrieunternehmen sowie Verbraucherorganisationen und unterstützt mit Fachgutachten Verwaltungsbehörden sowie Gerichte. Daneben ist sie in die internationale technische Zusammenarbeit eingebunden und im Bereich „Messwesen – Normung – Prüftechnik – Qualitätssicherung“ (MN PQ) als nationale Institution für die Prüftechnik zuständig. Die Mitarbeiter der Bundesanstalt wirken in zahlreichen Fachgremien, gesetzlichen Körperschaften und normensetzenden Institutionen an der Aufstellung von technischen Regeln und Sicherheitsbestimmungen mit und vertreten die Bundesrepublik in nationalen und supranationalen Einrichtungen.

### **Der Status**

Die BAM ist als technisch-wissenschaftliche Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit Nachfolgeinstitution des 1871 gegründeten Staatlichen Materialprüfungsamtes sowie der 1920 gebildeten Chemisch-Technischen Reichsanstalt (CTR). Sie hat dementsprechend die Funktion einer materialtechnischen und chemisch-technischen Bundesanstalt. In ihr sind etwa 1600 Mitarbeiter, darunter mehr als 700 Wissenschaftler und Ingenieure, auf dem Stammgelände in Berlin-Lichterfelde sowie auf den Zweiggeländen in Berlin-Steglitz und Berlin-Adlershof tätig.

Dr.-Ing. Rainer Konersmann

**Sicherheitstechnische Empfehlungen  
zum Luftverkehr unter  
dem Aspekt der Störfallverordnung  
und der Risikosteuerung**

**Forschungsbericht 260**

Berlin 2003

## **Impressum**

Forschungsbericht 260: **Sicherheitstechnische  
Empfehlungen zum Luftverkehr unter dem Aspekt der  
Störfallverordnung und der Risikosteuerung**  
2003

Herausgegeben von der Bundesanstalt für  
Materialforschung und -prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87  
12205 Berlin  
Telefon: +49 30 8104-0  
Telefax: +49 30 8112029  
E-mail: [info@bam.de](mailto:info@bam.de)  
Internet: [www.bam.de](http://www.bam.de)

Copyright © 2003 by Bundesanstalt für  
Materialforschung und -prüfung (BAM)

Herstellung und Verlag:  
Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
27568 Bremerhaven  
Telefon: +49 471 94544-0  
Telefax: +49 471 94544-77/-88

Umschlag: Lutz Mittenzwei  
Layout: BAM-Referat G.1

ISSN 0938-5533  
ISBN 3-89701-965-5

## Zusammenfassung

Industrieanlagen, die aufgrund ihres Stoffinhaltes der Störfall - Verordnung unterliegen und sich in der Nähe von Start - bzw. Einflugschneisen von Flugplätzen befinden, müssen einen bestimmten Abstand zum System der Start - und Landebahnen einhalten. Liegen diese Anlagen innerhalb der Start - bzw. Einflugschneise, muss eine Bewertung der „umgebungsbedingten Gefahrenquelle Luftverkehr“ vorgenommen werden. Dies ist um so mehr notwendig, weil die Abmessungen der Passagierflugzeuge kontinuierlich zugenommen haben, einhergehend mit höheren Startgewichten, mitgeführten Treibstoffmengen und Zuladungen. Auf Grund dieser Entwicklung ist es geboten, über die damit einhergehenden Risiken nachzudenken bzw. zu überprüfen, ob bestehende Regelungen überdacht und geändert werden sollten.

In der vorliegenden Arbeit wird durch Analyse und Auswertung von internationalen Unfallstatistiken der Zivilluftfahrt gezeigt, dass es nicht mehr gerechtfertigt ist, den Absturz eines Großraumflugzeuges im globalen Maßstab als seltenes Ereignis zu definieren. Durch die Verflechtung der Wirtschaftsräume, Öffnung der Grenzen und weltweiten Ausdehnung und Entwicklung der Handelsbeziehungen findet in zunehmenden Maße eine Erhöhung des Verkehrsaufkommens statt. Auch der Luftverkehr ist davon nicht ausgenommen, obwohl dies nach den Ereignissen des 11. September 2001 für einen Augenblick angenommen werden musste. Der vorliegende Forschungsbericht geht darum der Frage nach, wie die Risiken flugplatznaher Industriestandorte zu beurteilen sind. Dabei werden sowohl die Risiken für die Bewohner flugplatznaher Siedlungsgebiete als auch die Lebensrisiken der Passagiere und Besatzungen eines Flugzeuges untersucht und bewertet. Ein Kapitel beschäftigt sich mit dem Unfallfolgen durch Terrorakte.

Anhand statistischer Testverfahren ( $\chi^2$ - bzw. Kolmogoroff-Smirnov-Anpassungstest) wird gezeigt, dass es gerechtfertigt ist, eine Exponentialverteilung der Unfallhäufigkeit in der Hauptbewegungsrichtung der Luftfahrzeuge anzunehmen. Durch die Verknüpfung von zwei Wahrscheinlichkeitsaussagen, der spezifischen Absturzhäufigkeit und der spezifischen Trefferwahrscheinlichkeit, kann die Wahrscheinlichkeit eines Direkttreffers in ein definiertes Flächenelement in den Start- und Einflugschneisen angegeben werden. Es werden Flächenbereiche angegeben, innerhalb derer die Errichtung und der Betrieb von Anlagen mit gefährlichem Stoffinhalt ein erhöhtes Risiko darstellt und deshalb nicht empfohlen werden kann.

## Abstract

Industrial plants with a hazard potential that is regulated under the German Incident Ordinance (Störfall - Verordnung), and which are located in the vicinity of airports must have a defined distance to the runways for safety reasons. If these plants are located within the approach lanes a risk assessment of aircraft crash hazards is necessary. That's essential against the background of growing aircraft dimensions, together with increasing maximum take-off weights, fuel capacities and payloads. For this reason it's necessary to reflect about the involved risks and to check the existing regulations in case of modifications.

In the present thesis the international aircraft accident statistics for civil aviation have been analysed. It could be shown, that the crash of a big passenger aircraft is not longer warrantable to define as a rare event in a global scale. Due to the closer relationship of markets, opening of boundaries and worldwide expansion of trade connections an increasing volume of traffic occurs. The air traffic is also strucked by this development, although it seemed to be excepted for a moment after the events of the 11<sup>th</sup> of September in 2001. The present report gives an answer about the risks in the vicinity of large airports. This concerns both the inhabitants in the near of the runways and the passengers and crews on board the aircrafts. One chapter is dedicated the accident consequences as a result of terrorist activities.

Based on statistical tests methods ( $\chi^2$ -test and Kolmogoroff-Smirnov-adaption test) the suggestion of an exponential distribution of crash frequency in the main direction of aircraft traffic is justified. Due to the connection of two kinds of probabilities, the specific crash rate and the specific impact probability, the probability of direct impacts in defined areas in approach lanes is derived. Areas are indicated within the erection and the handling of plants with dangerous substances represents an increased risk and for that reason this location should not to be advised.

# Inhalt

1	Einleitung und Zielstellung	7
2	Einführende Bemerkungen / Rückblick / Zukunft	9
2.1	Die Entwicklung des maximalen Startgewichts, der Passagierzahlen und der Abmessungen	9
2.2	Die Entwicklung der Zuladung	10
3	Die Konsequenzen eines Flugzeugabsturzes	11
3.1	Die jährliche Unfallquote	11
3.2	Die Anzahl der Opfer im Luftfahrzeug und am Boden	12
4	Die Abscätzung der Unfallfolgen	14
4.1	Unfallfolgen durch Absturz	14
4.2	Unfallfolgen durch Terrorakte	16
5	Das akzeptable Risiko	18
6	Die Datenbasis	20
6.1	Analyse der Flugunfälle innerhalb der Flugphasen und Ursachenermittlung	23
6.2	Die Abhängigkeit zwischen der Anzahl der Opfer und der Geländecharakteristik	24
7	Die Ermittlung von Ausschlussflächen	26
7.1	Die Definition der Einflugschneisen	26
7.2	Strukturierung der untersuchten Flächenbereiche	27
7.2.1	Die Häufigkeitsverteilung der Absturzereignisse	28
8	Die Analyse der Absturzvektoren	28
8.1	Statistische Analyse der Absturzorte, Prüfung auf Exponentialverteilung	28
8.2	Die Abschätzung des Parameters $\lambda$	29
8.3	Der Kolmogoroff – Smirnov – Anpassungstest	30
8.4	Der $\chi^2$ - Anpassungstest	30
9	Die Ergebnisse der statistischen Tests	32
10	Zusammenfassende Bewertung	32
11	Literaturverzeichnis	34
	Anhang, Übersicht	35
	Tabellen A1 – A8	36-75

# 1 Einleitung und Zielstellung

Bedingt durch die Ereignisse des 11. September 2001 ist die Diskussion über technische Risiken wieder in die vorderste Position aller Themenkataloge gerückt. Man kann den Eindruck gewinnen, dass dem Thema „Risiko“ plötzlich ein hoher Stellenwert zugeschrieben wird und dass es nunmehr in besonderem Maße darauf ankommt, sich vor allen Unbilden zu schützen die irgendwie denkbar sind. Darüber wird jedoch vergessen, dass die Menschheit seit jeher mit Risiken leben musste, dass es eine risikofreie Existenz nie gegeben hat und nie geben wird.

Es wäre interessant die These zu überprüfen, dass die Summe aller Risiken zu jeder Zeit gleich ist bzw. dass die Summe aller Risiken konstant bleibt. Es scheint einiges dafür zu sprechen, dass dies nicht ganz von der Hand zu weisen ist. Wurden früher ganze Landstriche durch Fehlernten, Krankheiten, Naturkatastrophen oder Witterungseinflüsse verwüstet, so schützen uns heute ein weltumspannendes Handelsnetz, eine weiterentwickelte Medizin, Vorwarnsysteme, Wetter-satelliten und dergleichen mehr.

All diese Errungenschaften des Technikzeitalters sind jedoch wieder mit ihren eigenen, neuen Risiken ausgestattet. Handelsnetze können durch wirtschaftliche Interessen oder Kriege zerreißen, neuen Krankheiten stehen wir (noch) relativ machtlos gegenüber (z.B. Aids), Vorwarnsysteme sind zu ungenau und die Wettervorhersage mag wohl komplexe Systeme und Erscheinungen erklären können, doch hundertprozentig zufrieden ist wohl kaum jemand. Was sich heute vielleicht geändert hat ist, dass der Mensch durch sein Wirken eine neue Qualität der Risiken geschaffen hat.

Diese neue Qualität besteht darin, dass er Kräfte freisetzen kann, die weltumspannende Wirkungen verursachen können. Aber nicht nur in großem Maßstab trifft dies zu, auch lokale Risiken können die öffentliche Meinung erregen, z.B. ein Atomkraftwerk hinter einer Staatengrenze, ein Flughafenprojekt in dicht besiedeltem Umland, eine Chemieanlage mit zu geringen oder vermeintlich ungeeigneten Sicherheitsvorkehrungen usw.

Ausgangspunkt aller Risikodiskussionen waren dabei immer katastrophale Ereignisse, so z.B. die Chemie-katastrophen von Bophal und Seveso oder das Reaktorunglück von Tschernobyl. Die Folgen dieser Ereignisse hatten in diesem Fall ein Maß erreicht dass allen Fachleuten klar wurde, dass menschliches Tun und Wirken nicht widerspruchlos hingenommen oder erduldet werden kann, dass die Konsequenzen wirtschaftlicher Tätigkeit stärker bedacht werden müssen.

Dies führte in den vergangenen Jahren dazu, dass sich ein eigener Forschungszweig aufat, der sich mit den verschiedensten natürlichen und technischen Risiken

auseinandersetzt, die Risikoforschung. Es war jedoch von vornherein klar, dass es im wesentlichen zunächst dabei nur darum gehen kann, die Risiken sichtbar und „handhabbar“ zu machen, es zu lernen, mit ihnen zu leben (wenn es die Höhe des Risikos erlaubt – „Restri-siko“) bzw. es so zu gestalten, dass man mit ihnen bewusst umgehen kann, oder aber (auch mit Hilfe einer speziellen Gesetzgebung) diese völlig auszuschalten, indem man z.B. bestimmte Vorgehensweisen oder Praktiken einfach nicht zulässt. Die Durchsetzung der Erkenntnisse aus risikoorientierter Forschungstätigkeit gestaltet sich jedoch nicht immer einfach weil oftmals einschneidende, u. U. auch als unbequem aufgefasste Empfehlungen umzusetzen sind.

So müssen u.a. jahrelang eingeübte Praktiken und Gepflogenheiten geändert werden, es müssen neue Denksätze überzeugend präsentiert und begründet werden (Gentechnologie!). Wie will man z.B. die Bewohner eines betroffenen Territoriums überzeugen, dass sie aufgrund volkswirtschaftlicher Notwendigkeiten Risiken erdulden müssen, oder aber, wenn sie diese nicht akzeptieren können, Veränderungen in Kauf zu nehmen haben („Risikoflucht“, Absiedelung)? Hier spielen schwierige sozialökonomische Abwägungsprozesse eine große Rolle.

Zwei Hilfsmittel diesen Prozess für alle Seiten verträglich zu gestalten sind die Risikokommunikation und die Risikosteuerung. Zum einen ist es wichtig, den Betroffenen die Risiken begreifbar zu machen, ihnen zu erklären, was es bedeutet, einer speziellen Risikosituation ausgesetzt zu sein, bzw. sich dieser aufgrund selbstdefinierter Vorteile bewusst hinzugeben. Zum anderen ist es mit Hilfe der Risikosteuerung möglich, Risiken, die aufgrund ihres Nutzens eingegangen werden müssen (z.B. die Atomkraft), derart zu erklären bzw. darzustellen, dass diese akzeptiert werden können.

Nicht ohne Grund existieren deshalb in der Kerntechnik die höchsten Sicherheitsstandards. Standards bzw. technische Sicherheitsvorschriften stellen eine Möglichkeit der Risikosteuerung dar, die zweite Maßnahme ist als Vorsorgeprinzip / 1 / bekannt.

Diese „Vorsorge“, ist als eine Barriere gegen das Ungewisse zu verstehen. Dabei wird ganz bewusst zunächst auf die Anordnung sicherheitstechnischer Maßnahmen verzichtet. Dies ist zum einen damit begründet, dass sich bestimmte Dinge einfach nicht sicher verhindern lassen, aus welchen Gründen auch immer („Dennoch - Störfall“), zum anderen weil auf ein Produkt oder eine Technologie nicht verzichtet werden kann, weil der Nutzen eminent hoch ist. Der Grundgedanke des Vorsorgeprinzips besteht darin, im Wissen um die Folgen eines unerwünschten Ereignisses Vorkehrungen zu treffen, die die Auswirkungen dieses Ereignisses minimieren können.



Dieser Forschungsbericht widmet sich der Frage, wie dieses Vorsorgeprinzip im Hinblick auf den Luftverkehr und den damit verbundenen Risiken umgesetzt werden kann.

Am 3. Mai 2000 ist die neue Störfall-Verordnung in Kraft getreten. Dies geschah vor dem Hintergrund, dass die Seveso-II-Richtlinie (Richtlinie 96/82/EG des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen / 2 /) in deutsches Recht umzusetzen war. In der Störfallverordnung, bzw. im Punkt 3.2.4.2 ihrer Zweiten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift / 3 /, wurde auch dem Absturz eines Luftfahrzeugs auf eine sogen. Störfall-Anlage Rechnung getragen.

Verkürzt ausgedrückt besagt diese Regelung, dass diese Anlagen, d.h. Anlagen mit einem gefährlichen Stoffinventar, nicht ohne weitergehende Sicherheitsbetrachtungen in den Einflugschneisen errichtet werden dürfen. Erst wenn durch eine Sicherheitsanalyse nachgewiesen wird dass der „Lastfall Flugzeugabsturz“ kein sicherheitstechnisches Problem darstellt, d.h. keine Freisetzung gefährlicher Stoffe und den damit verbundenen Dominoeffekten auftreten kann, könnte eine derartige Anlage genehmigungsfähig sein. Es ist ohne Beweis einzusehen, dass diese Regelung quasi ein Bebauungsverbot für diese Anlagenkategorie darstellt da eine „absturzsichere“ Bauweise kaum zu finanzieren sein würde. Aber ist diese Regelung heutzutage noch relevant? Dabei ist es natürlich immer problematisch, Vorsorge gegen etwas zu treffen, was bislang noch nie beobachtet worden ist. Deutschland ist z.B. in den letzten Jahren von großen Luftfahrtunglücken (Luftfahrtschauen ausgeklammert) verschont geblieben, so dass viele davon ausgehen, dass dieses Ereignis Seltenheitswert hat. Aber man sollte bedenken, dass der Ruf nach Veränderung und Regelung weltweit fast immer erst dann erschallt, wenn „das Kind im Brunnen“ liegt. Dies trifft nicht nur für den Luftverkehr zu. Es kann darum nicht schaden „vorsorgend“ auf einige Dinge hinzuweisen, immer daran denkend, dass sich die Startgewichte der Luftfahrzeuge ständig erhöhen und auch die Passagierzahlen zunehmen. Jeder Absturz eines sogen. „Airliners“ ist damit an sich schon eine Katastrophe, wenn darüber hinaus noch besiedelte Gebiete betroffen sind, multipliziert sich das Leid um ein Vielfaches.

Es ist hinlänglich bekannt, dass der Start und die Landung die risikoreichsten Flugabschnitte sind. Dies ist auch ein Grund dafür, dass für die Errichtung bestimmter Baulichkeiten in den Einflugschneisen Auflagen existieren, so z.B. Bauhöhenbeschränkungen / 4 /. Diese sind aber in erster Linie zur sicheren Gestaltung des Flugbetriebs erlassen worden und nicht aus Sorge vor Schäden am Boden.

Für Industrieanlagen existieren zwar die vorgenannten Standortbeschränkungen / 3 /, diese sind jedoch mit den gelagerten Stoffen begründet, die sich im Frei-

setzungsfall weit verteilen und ungewisse Dominoeffekte verursachen könnten. Für Wohngebiete oder Gewerbeflächen mit hohem Publikumsverkehr gibt es derzeit in vielen Staaten, bis auf die Niederlande, noch keine genauen Vorstellungen, wie eine Risikosteuerung in bezug auf die Areale in den Einflugschneisen zu bewerkstelligen wäre.

Auch in Deutschland sucht man diese bislang vergeblich. Aus diesem Grund beschäftigt sich dieser Forschungsbericht, unter Berücksichtigung des Vorsorgegedankens, mit der Frage, wie die Risiken in der Nähe von Flughäfen zu bewerten sind. Diese werden unter drei Gesichtspunkten untersucht; als Risiko für einen Industriestandort, als Risiko für die in den Einflugschneisen wohnende Bevölkerung und als Todesfallrisiko für die Passagiere und Besatzungen. Insofern ist die vorliegende Arbeit als eine Weiterführung bzw. Ergänzung des Forschungsberichtes 231 der BAM / 5 / zu verstehen. Im Gegensatz zum vorgenannten Bericht beschäftigt sich dieser jedoch auch mit den Auswirkungen von Abstürzen von Großraumflugzeugen. Dies war aufgrund der fehlenden Datenbasis seinerzeit nicht möglich.

## 2 Einführende Bemerkungen / Rückblick / Zukunft

### 2.1 Die Entwicklung des maximalen Startgewichts, der Passagierzahlen und der Abmessungen

In den Pionierjahren des Luftverkehrs befanden sich die Flugplätze noch weit vor den Stadtgrenzen. Dort wurden die „Flugapparate“ erdacht und erprobt. Zahlreiche Werkstätten, oftmals nur bessere Bretterbuden, säumten die Areale und bildeten in vielen Fällen den Grundstein für namhafte Flugzeugfabriken. Sicherheitsfragen im Zusammenhang mit dem Gebrauch eines „Flugapparats“ spielten, wenn überhaupt, nur eine untergeordnete Rolle. Man wollte schließlich das Fliegen lernen, den uralten Menschheits Traum verwirklichen.

Das dies mit Risiken verbunden sein würde, war allen Beteiligten irgendwie klar, obwohl zu vermuten ist, dass man sich darüber nicht sonderlich den Kopf zerbrach. In einer derartigen Aufbruchstimmung ist die Bewertung eines Risikos aufgrund des Neuen und damit sowieso Unwägbareren wahrscheinlich nicht rational durchführbar und auch eher hinderlich, man denke nur an die Geschichte der Seefahrt.

Mit der Industrialisierung wuchs das wirtschaftliche Potenzial der Städte und ihr Flächenbedarf, die Stadtgrenzen verschoben sich in Richtung der Horizonte, die Flugplätze wurden in das Stadtbild integriert. Nun wurde es jedoch erforderlich, auf städtebauliche Aspekte einzuwirken, denn hohe Bauwerke in den Einflugschneisen waren und sind der Abwicklung des Flugbetriebs nach wie vor hinderlich.

Die Folgen eines Flugzeugabsturzes blieben in den Pionierjahren meist auf die Erfinder und Enthusiasten beschränkt. In der Mehrzahl der Fälle gab es nur Knochenbrüche und leichte Blessuren. Etwas später, mit steigenden Motorleistungen und Flughöhen, wurde dies anders.

Das Fluggerät war nunmehr zur Beförderung von Passagieren geeignet, so dass auch diese bald schmerzhaft Erfahrungen machen mussten. Es dauerte auch nicht lange, bis sich die Folgen des Luftverkehrs für Dritte bemerkbar machten, es kam zu Abstürzen über den herangerückten Städten oder vorgelagerten Ortschaften. Nunmehr hatten nicht nur die Passagiere eines Luftfahrzeugs ein Unfallrisiko zu tragen, auch Menschen am Boden zählten zu den Opfern, die zerstörten Sachwerte seien nur der Vollständigkeit halber erwähnt.

Die Konsequenzen eines Flugzeugabsturzes lassen sich anhand der kontinuierlichen Steigerung des maximalen Startgewichts gut darstellen, wie zum Beispiel in *Bild 1*. Das erste Passagierflugzeug in Ganzmetallbauweise, die Junkers F-13 aus dem Jahre 1919/20,

hatte ein maximales Startgewicht von 1.815 kg und konnte 4 Passagiere befördern. Zehn Jahre später, 1929, beförderte die Junkers G-38 mit einem Startgewicht von 24 Tonnen bis zu 34 Passagiere. Dies war der erste, wenn auch nur kleinere Entwicklungsknick in einer stetig ansteigenden Kurve des maximalen Startgewichts.

Im Jahre 1958 wurde mit der DC-8 ein Startgewicht von ca. 147 t erreicht, die Anzahl der Passagiere war längst im dreistelligen Bereich angelangt, sie lag nur wenig vor der 200 – Personen - Grenze. Diese Entwicklung setzte sich fort, wurde durch die Einführung der Boeing 747 im Jahre 1969 sogar noch überhört, denn nun konnten mit einem Startgewicht von 377 t bis zu 550 Passagiere befördert werden, durch technische Weiterentwicklungen sogar bis zu 626 Passagiere (Boeing 747-300, 1982).

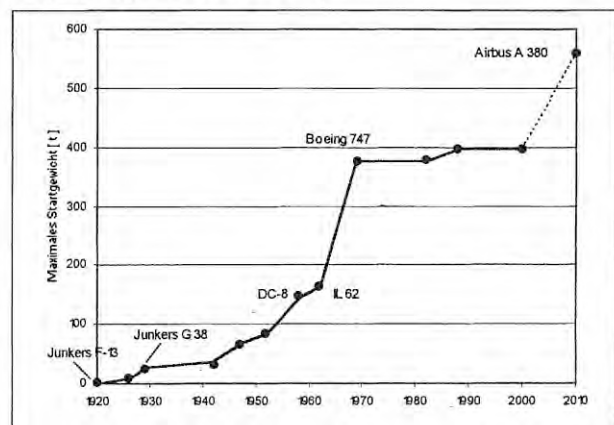


Bild 1: Die Entwicklung des maximalen Startgewichts von 1920 bis heute

Innerhalb von 80 Jahren vergrößerte sich das Startgewicht ca. um den Faktor 208, die Anzahl der Passagiere ca. um den Faktor 157. Und es ist noch kein Ende abzusehen. Es werden nicht einmal 100 Jahre vergangen sein, und das Startgewicht wird sich auf 560 t oder sogar noch mehr erhöht haben, mit Passagierzahlen, die auch einen ökonomischen Betrieb eines Kreuzfahrtschiffes ermöglichen würden (*Bild 2*).

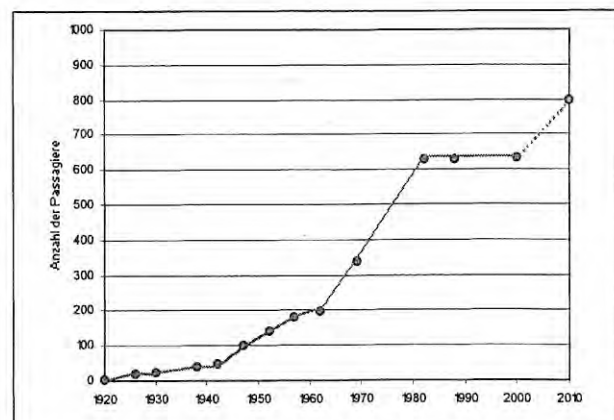


Bild 2: Die Entwicklung der Passagierkapazität von 1920 bis heute

Eine Variante des in der Entwicklung befindlichen Airbus A 380 soll einmal bis zu 800 Passagiere befördern können / 6 /.

Schon heute wäre es möglich das nur in einem Exemplar existierende größte Flugzeug der Welt, die An-225, mit einer Sitzkapazität für 1500 Passagiere auszustatten / 7 /. Dies wirft natürlich sofort Fragen auf, nicht nur hinsichtlich des Zeitmanagements, um diese Passagierzahlen abzufertigen. Selbst wenn nicht ernsthaft an eine derartige Version des Personentransports weiter nachgedacht wird ist zu erkennen, dass sich irgendwann ein vernünftiger Grenzwert herausbilden muss. Dieser könnte auch mit Hilfe der Risikoforschung ermittelt werden.

In Bild 3 ist die Entwicklung der geometrischen Abmessungen dargestellt, ermittelt aus dem Produkt aus Länge und Spannweite. Man sieht, dass der Kurvenverlauf der des Startgewichts ähnlich ist.

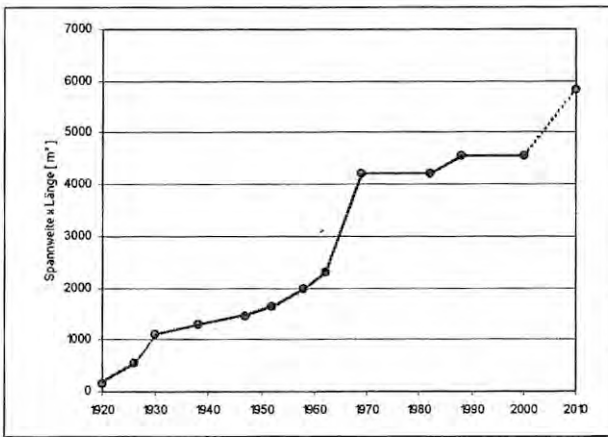


Bild 3: Die Entwicklung des geometrischen Abmessungen von 1920 bis heute

## 2.2 Die Entwicklung der Zuladung

Zwei wesentliche Aspekte, die bei einer Risikobetrachtung nicht ausgeklammert werden dürfen, sind die maximale Zuladung und die maximale Treibstoffkapazität der Luftfahrzeuge. Da diese Faktoren in einem direkten Zusammenhang mit dem maximalen Startgewicht stehen, bestimmen sie auch wesentlich die Konsequenzen eines möglichen Flugzeugabsturzes. In Bild 4 ist das Verhältnis maximales Startgewicht / maximale Zuladung für die derzeit gebräuchlichsten Großraumflugzeuge (Airbus, Boeing) und der sogenannten Business-Jets mit einem Startgewicht über 5.7 t dargestellt.

An Hand dieser Darstellung ist auch zu erkennen, dass es eine Spezialisierung hinsichtlich des Personen- und Frachttransports gibt. Während es beim Frachttransport darauf ankommt, eine hohe Zuladung möglichst weit zu transportieren, geht es beim Personentransport darum, eine bestimmte Anzahl Passagiere (u.U. sehr viele) mit deren Gepäck und einer geringeren Zuladung schnell zu transportieren. Dies bedeutet, dass der di-

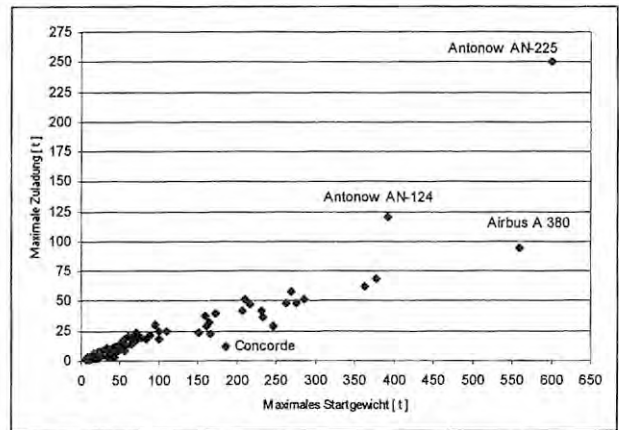


Bild 4: Zusammenhang zwischen maximalem Startgewicht und maximaler Zuladung

mensionslose Quotient aus maximalem Startgewicht und maximaler Zuladung bei Frachtflugzeugen zwischen 2,4 und 3,2 (AN-225, 124) liegt, bei Passagiermaschinen dagegen zwischen 3,5 und 5,8 (A 380). Bei der Concorde bzw. allen sogenannten Geschäftsreiseflugzeugen, deren Aufgabe es ist, eine begrenzte Anzahl Passagiere und eine begrenzte Menge Fracht (Gepäck / Post) sehr schnell über weite Entfernungen zu transportieren, liegt dieser Faktor zwischen 8 und 16.

Dies bedeutet, dass der Parameter „maximale Zuladung“ allein nicht geeignet ist, Informationen darüber zu erhalten, wie sich die Folgen eines Flugzeugabsturzes abschätzen lassen.

Zur Beurteilung der Konsequenzen eines Flugzeugabsturzes ist deshalb, wie schon erwähnt, eine weitere Größe heranzuziehen, die maximale Treibstoffkapazität, Bild 5.

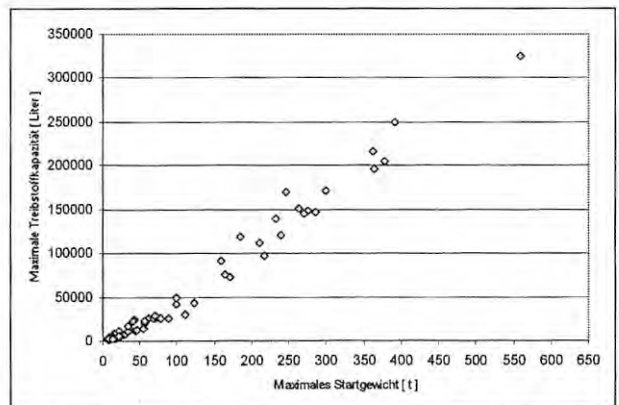


Bild 5: Zusammenhang zwischen maximalem Startgewicht und Treibstoffkapazität

Die Berücksichtigung der mitgeführten Treibstoffmenge ist in zweifacher Hinsicht sinnvoll. Zum einen ist dies zur Bestimmung der Einsatzmittel und Einsatzstrategien der Feuerwehren notwendig / 8 /, da die überwiegende Anzahl der Flugzeugabstürze mit Brandeinwirkungen (post crash fire) verbunden sind. Zum anderen sollte auch der Umweltschutz bedacht werden, auch jenseits einer Katastrophenlage. In einer Notsituation, z.B. einem Triebwerksausfall nach dem Start, kann es z.B. notwendig sein, soviel Treibstoff abzulassen, bis das

maximale Landegewicht, welches die Struktur der Flugzeugzelle nicht gefährdet, erreicht ist. Sollte dies nur in geringer Höhe möglich sein, ist davon auszugehen, dass die Treibstoffnebel den Boden erreichen und ihn kontaminieren können.

Aus Bild 5 ist zu sehen, dass fast von einer linearen Beziehung zwischen dem maximalen Startgewicht und der mitgeführten Treibstoffkapazität ausgegangen werden kann.

### 3 Die Konsequenzen eines Flugzeugabsturzes

#### 3.1 Die jährliche Unfallquote

Es ist immer wieder ein Problem, einen geeigneten Zeitrahmen für eine Betrachtung festzulegen. Grenzt man diesen zu stark ein könnte man z.B. eine Entwicklungsperiode nicht hinreichend berücksichtigen. Dehnt man den Betrachtungszeitraum zu stark aus, läuft man Gefahr, nicht mehr relevante Aspekte stärker zu betonen.

Aus technischen und auch historischen Gründen bietet es sich an, die Statistik der Flugzeugabstürze ab dem Jahr 1945 zu betrachten. In den Kriegsjahren konnte, zumindest in Deutschland, von keiner normalen gewerblichen Luftfahrt gesprochen werden, zivil genutzte Passagierflugzeuge waren eher eine Seltenheit. Im Jahre 1945 wurden 14 Flugzeugabstürze registriert, davon 7 mit Todesfolge für die Besatzungen und Passagiere. Schon im Jahre 1946 stieg die Anzahl der Abstürze auf 77, davon 48 mit Todesfolge. Im Jahre 1948 wurde erstmals die 100er – Marke überschritten, es wurden 101 Abstürze, davon 65 mit Todesfolge registriert.

Das Absinken der Anzahl der Flugzeugabstürze in den darauffolgenden Jahren deutet darauf hin, dass eine weitere technische Verbesserung der Flugzeuge stattgefunden hatte. Die vormals unter militärischen Gesichtspunkten konzipierten Maschinen wurden in vielen Fällen nach dem Krieg zu Passagiermaschinen umgerüstet. Diese wurden nun endgültig den zivilen Erfordernissen angepasst, auch unter dem Aspekt der Sicherheit und des Komforts.

Mit der weiteren Entwicklung der zivilen gewerblichen Luftfahrt, d.h. auch der ständigen Erweiterung der Liniennetze, der ständig wachsenden Passagierzahlen und der Luftfracht, erhöhte sich zwangsweise die Anzahl der Starts und Landungen. Die Folge war ein weiteres Anwachsen des Unfallgeschehens mit dem absoluten Höhepunkt in den Jahren 1967 – 1979, Bild 6. Korrespondierend zur Gesamtanzahl stieg natürlich auch die Anzahl der Todesfälle. Über den Zeitraum von 1945 bis 2002 lässt sich so ein jährliches Mittel von 94 Abstürzen pro Jahr weltweit ermitteln, davon sind über 50 % mit dem Verlust von Menschenleben begleitet.

An dieser Stelle muss bemerkt werden, dass diese Statistik alle Unfälle enthält, also auch jene, die auf den Flugplätzen ihren Ursprung oder ihr Ende fanden, die quasi außerhalb der Einflugschneisen keine Wirkungen

hinterließen. Bei einer jährlichen Unfallrate von 94 Unfällen pro Jahr weltweit kann der Absturz eines Passagierflugzeuges nicht mehr als seltenes Ereignis bezeichnet werden, obwohl dieses in vielen Ländern über Jahre nicht zu beklagen war.

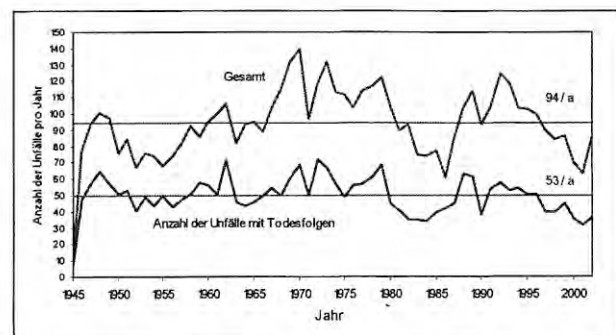


Bild 6:  
Die Entwicklung des jährlichen Unfallgeschehens 1945 - 2002

Setzt man die Anzahl der durch einen Flugzeugabsturz zu Tode gekommenen Passagiere und Besatzungen insgesamt ( weltweit ) zu den Opfern eines Einzelereignisses ins Verhältnis kann man festzustellen, dass ein einzelner Flugzeugabsturz mitunter zwischen 16 und 33 % zur Anzahl der Gesamtopfer beiträgt, Bild 7. Dazu seien einige Beispiele genannt :

Am 3. März 1974 kam es nach dem Start in Paris-Orly zu einem Absturz in der Startphase, verursacht durch eine sich lösende Frachtraumtür, 346 Tote waren die Folge ( 16,6 % ). Im Jahre 1977 gab es den bisher schwersten Unfall in der Geschichte der Zivilluftfahrt – der Startbahn-crash zweier Jumbos auf Teneriffa hatte 583 Todesopfer zur Folge ( 33,4 % ). Wer danach glaubte, dass sich eine derartig hohe Anzahl von Opfern nur dadurch ergeben konnte, weil zwei große Passagierflugzeuge gleichzeitig involviert waren, wurde im Jahre 1985 eines Besseren belehrt. Am 12. August 1985 verloren 520 der insgesamt 524 Passagiere und Besatzungsmitglieder einer Boeing 747-SR 46 ihr Leben. Da die Anzahl der Gesamtopfer in diesem Jahr recht hoch lag ( 2420 ) ergibt sich „nur“ ein Prozentsatz von 21,5 %. Spätestens seit 1985 musste allen Beobachtern der Entwicklung klar sein, dass eine weitere Steigerung der Passagierkapazitäten auch eine Erhöhung der Anzahl der Opfer nach sich ziehen würde. Im Jahre 1996 gab es dann den vorläufig letzten Höhepunkt – am 12.11.96 stießen eine Boeing 747 mit 312 Passagieren und Besatzungsmitgliedern und

eine IL-76 Frachtmaschine mit 37 Menschen an Bord in Indien in der Luft zusammen, 349 Tote waren die Konsequenz.

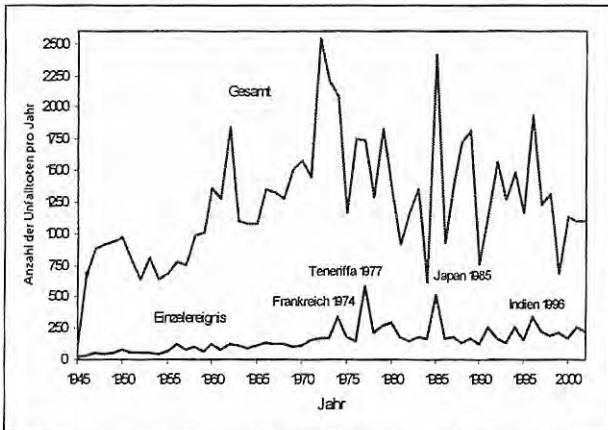


Bild 7: Gegenüberstellung – Anzahl der Gesamtopfer zu den Opfern eines Einzelereignisses

Wenn man die Entwicklung der Passagierkapazität (Bild 2) den Unfallopfern gegenüberstellt zeigt sich, dass die Anzahl der Opfer zwangsweise von dieser Entwicklung beeinflusst wird, Bild 8.

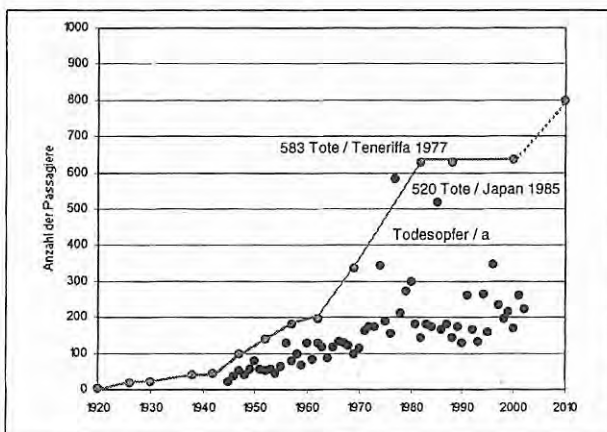


Bild 8: Die Entwicklung der Passagierkapazität und der Opferzahlen von 1920 bis 2002

Gegensteuernde Maßnahmen, z.B. sicherheitstechnische Entwicklungen im Flugzeugbau, haben noch nicht den gewünschten Erfolg erbracht. Dies kann auch nicht den Flugzeugherstellern angelastet werden, die durch die Zweckbestimmung, der zur Verfügung stehenden Mittel und der Konstruktionswerkstoffe an ihre Grenzen gestoßen sind.

Interessanterweise führen neuere gewichtsreduzierende Verarbeitungstechnologien im Flugzeugbau (z.B. Klebtechniken, Spritztechnologien), die hauptsächlich aus Gründen der Kostenersparnis, z.B. der Treibstoffkosten, entwickelt worden sind, oftmals auch dazu, dass die Nutzlasten, also die Passagierzahlen erhöht werden. Da es fraglich ist, ob es überhaupt ökonomisch machbar ist, ein Luftfahrzeug zu konstruieren, das jedem Passagier im Absturzfall eine hohe Überlebenschance bieten kann, sollte dieser Frage jedoch nicht weiter nachgegangen werden, hier müssen andere Lösungsansätze gefunden werden, z.B. wie dies in Kapitel 10 vorgeschlagen wird.

### 3.2 Die Anzahl der Opfer im Luftfahrzeug und am Boden

In Bild 9 sind die Anzahl der Todesopfer im Luftfahrzeug den Todesopfern am Boden gegenübergestellt. Es ist zu sehen, dass es auch am Boden opferreiche Ereignisse gegeben hat, die aber in den meisten Fällen nicht an die Anzahl der Opfer in den Luftfahrzeugen heranreichen.

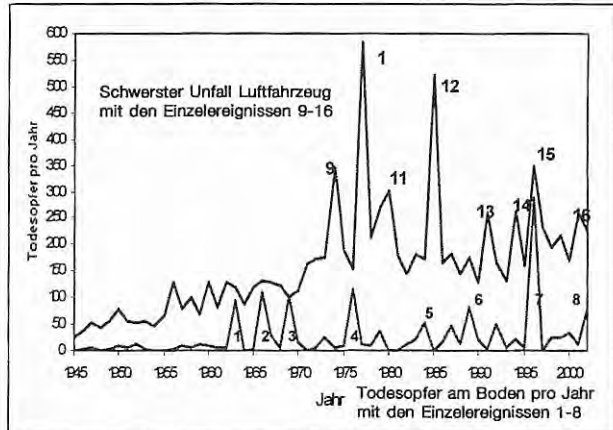


Bild 9: Gegenüberstellung Todesopfer pro Jahr im Luftfahrzeug und am Boden

Kurioserweise wird bei Todesopfern am Boden oftmals die Schließung des betroffenen Flugplatzes gefordert, obwohl der Standort eines Flugplatzes in den meisten Fällen nicht dafür verantwortlich gemacht werden kann. Es wird vergessen, dass stadtentwicklungsbedingte Phänomene als Ursache heranzuziehen sind. Oftmals werden auch besonders dramatische Absturzereignisse aus dem Ausland auf die eigene Befindlichkeit gespiegelt, so z.B. nach dem Flugzeugabsturz auf ein Wohnviertel in Amsterdam.

Als am 4. Oktober 1992 eine Boeing 747 - Frachtmaschine über Amsterdam zwei Triebwerke verlor und in ein Wohngebiet stürzte forderte diese Katastrophe 43 Todesopfer am Boden und Sachschäden in Millionenhöhe. Daraufhin bemerkte u.a. die „Berliner Zeitung“ vom 6.10.92, dass nun der Streit um die Sicherheit der Berliner Flughäfen wieder neu entfacht werden wird.

Eine sofortige Schließung der innerstädtischen Flughäfen Tempelhof und Tegel wurde vor allen Dingen von Bürgerinitiativen aufgegriffen, Landes- und Kommunalpolitiker wiesen diese Forderung als unrealistisch zurück („Der Tagesspiegel“ vom 6.10.92) und vertraten die Auffassung, dass nunmehr der Bau eines neuen Flughafens im Berliner Umland voranzutreiben sei. Noch konsequenter wurde die Schließung eines Flughafens in Brasilien gefordert. Am 31.10.1996 stürzte eine Fokker 100 während des Steigflugs in ein dichtbesiedeltes Wohngebiet von Sao Paulo und forderte 3 Menschenleben am Boden, ein Schulgebäude wurde knapp verfehlt. In der Maschine selbst kamen alle 96 Personen ums Leben. Die „Berliner Zeitung“ schrieb daraufhin in ihrer Ausgabe vom 2./3. November 1996, dass der Bürgermeister Sao Paulos, Paulo Maluf, die

Schließung und Umsiedlung des Flughafens forderte. Auch der Präsident Fernando Henrique Cardoso soll in diesem Zusammenhang kritisiert haben, dass die großen Flughäfen Brasiliens in dicht besiedelten Gebieten

liegen. Dass der Flughafen Congonhas im Jahre 1936 weit vor den Toren der Stadt errichtet worden war und nunmehr auf Grund einer verfehlten Flächennutzungs-politik inmitten der Stadt liegt, interessierte scheinbar

Tabelle 1: Die höchste Anzahl von Todesopfern am Boden infolge eines Flugzeugabsturzes und die verlustreichsten Luftfahrzeugunfälle im Zeitraum von 1945 – 2002

Nr.	Datum	Erläuterung
1	01.02.1963	Über Ankara stößt eine Vickers Viscount mit einer C-47 der türkischen Luftwaffe über bewohntem Gebiet zusammen. 87 Tote am Boden
2	24.12.1966	Während des Landeanflugs streift eine CL-44 einen Tempel und stürzt ca. 800 m vor dem Flugplatz Da Nang, Vietnam, ab. 107 Tote am Boden
3	16.03.1969	Nach dem Start stieß eine DC-9 in ca. 50 m Höhe gegen eine Hochspannungsleitung und stürzt in den Stadtteil La Trinidad ( Venezuela ), 74 Passagiere + 10 Besatzungsmitglieder sowie 71 Menschen am Boden verlieren ihr Leben. Mehr als 100 Personen werden verletzt und 20 Häuser zerstört.
4	13.10.1976	Nach dem Start stürzt eine Frachtmaschine vom Typ Boeing 707-131 F in ein Dorf, 88 Tote am Boden
	25.12.1976	Beim Landeanflug auf Bangkok stürzt eine Boeing 707 in eine Textilfabrik, 19 Tote am Boden
5	30.07.1987	Nach dem Start in Mexiko-City stürzt eine Frachtmaschine in ein dicht bewohntes Gebiet, am Boden sind mehr als 50 Tote zu beklagen
6	21.03.1989	Beim Landeanflug auf Sao-Paulo-Guarulhos stürzt eine Frachtmaschine in ein Wohngebiet, 22 Tote am Boden
	03.09.1989	Nach dem Start in Havanna, stürzt eine IL-62 in ein Wohngebiet, unter den 171 Opfern sind 45 am Boden
7	08.01.1996	Nachdem die Mannschaft einer Antonov 32-Frachtmaschine den Start in Kinshasa abbrechen muss, überrennt sie das Startbahnende und reißt auf einem Marktplatz 237 Menschen in den Tod
8	04.05.2002	Eine BAC One-Eleven stürzt während des Steigflugs in ein Wohngebiet, mehrere Häuser, eine Schule und eine Moschee werden zerstört. Es sind 78 Tote am Boden zu beklagen, 71 von 77 Insassen des Flugzeugs verlieren ihr Leben.
9	03.03.1974	Während des Steigflugs, nach dem Start in Paris-Orly, öffnet sich eine Frachttür der McDonnell Douglas DC-10 so dass die Crew die Kontrolle verliert, 346 Tote
10	27.03.1977	Eine KLM Boeing 747 startet in Teneriffa ohne entsprechende Freigabe und kollidiert mit einem Jumbo der Pan Am, der noch auf der Piste war, 580 Tote
11	19.08.1980	An Bord der Lockheed Tristar bricht ein Feuer aus. Nach geglückter Notlandung gelingt es nicht, die Passagiere zu evakuieren, 301 Tote
12	12.08.1985	Durch eine Dekompression an Bord einer 747 werden Hydraulikleitungen zerstört, die Maschine der Japan Air Lines ist somit unsteuerbar und prallt gegen einen Berg, 520 Tote
13	11.07.1991	Nach Problemen mit der Hydraulik und einem Druckabfall kehrt der Pilot einer DC-8 nach Jeddah zurück, ca. 1 km vor der Landebahnschwelle kommt es zu Bodenkontakt und Explosion, 261 Tote
14	26.04.1994	Ein Airbus A-300 stürzt bei der Landung direkt auf die Piste des Nagoya-Komaki Airports ( Japan ) und fängt Feuer, 271 Tote
15	12.11.1996	Eine Boeing 747 und eine Ilyuschin IL-76 Frachtmaschine stoßen in Indien in der Luft zusammen, 349 Tote
16	12.11.2001	Nach dem Start in New York fliegt ein Airbus A 300 in die Wirbelschleppe einer voraus gestarteten Boeing 747. Die Belastungen sind so hoch, dass das Höhenruder abreißt und der Airbus in den Stadtteil Queens abstürzt, 260 Tote an Bord, 5 Opfer am Boden

niemanden oder wurde nicht primär als die eigentliche Ursache für diese Katastrophe anerkannt. Im folgenden Fall war dies ähnlich:

Am 24. Mai 2001 stürzte eine Beechcraft 36 beim Landeanflug auf den Berliner Stadtflughafen Tempelhof ab. Alle 3 Insassen starben, Anwohner des Stadtteils Neukölln kamen nicht zu Schaden, der Sachschaden hielt sich in überschaubaren Grenzen. Am 25. Mai zitierte die „Berliner Morgenpost“ den Berliner Senator für Stadtentwicklung, der unter dem Eindruck dieses Unglücks die sofortige Schließung des Flughafens forderte. Auch andere politische Parteien schlossen sich einen Tag später dieser Forderung an, wohingegen nur wenige Personen vor Kurzschlussszenarien warnten, die dann auch dazu führen müssten, auch andere Flughäfen zu schließen. Man kann in diesen Fällen nur vermuten, dass die Betroffenheit zu derartigen Aktionismen verführt. Jeder, der die geschichtliche Entwicklung und die komplizierte Infrastruktur eines Flugplatzareals kennt weiß, dass ein Flugplatz nicht zeitnah und konfliktfrei umgesetzt werden kann.

## 4 Die Abschätzung der Unfallfolgen

### 4.1 Unfallfolgen durch Absturz

Von besonderem Interesse für die Empfehlung risikoreduzierender Maßnahmen ist die Abschätzung der möglichen Unfallfolgen hinsichtlich der beeinträchtigten Flächenbereiche durch den Trümmerflug, die Kerosinverteilung und der Aufschlag – bzw. Folgebrände. Die Unfallfolgen sind von vielen Faktoren abhängig:

- Von der Größe des Luftfahrzeugs, von seinen geometrischen Abmessungen, somit auch vom maximalen Startgewicht,
- Von der zum Zeitpunkt des Unfalls an Bord vorhandenen Treibstoffmenge,
- Von der Art der mitgeführten Fracht,
- Von der Absturzhöhe, vom Absturzwinkel, von der Geschwindigkeit,
- Von den Bodenverhältnissen bzw. dem zur Zeit des Unfalls vorhandenen Bodenfeuchte, von der Art des Bewuchses,
- Von der Art der Bebauung ( feste Mauerwerksbauten, Fertigteilbauten usw.).

Da diese Faktoren zum überwiegenden Teil nicht im Voraus bestimmbar sind, ist eine Unfallfolgenabschätzung nur bedingt möglich. Es ist z.B. nicht exakt vorhersagbar, welche Kratertiefe sich bei verschiedenen Absturzwinkeln ergeben wird. Die Modelle zur Abschätzung von Unfallfolgen orientieren sich daher an den bekannten Größen, an das maximale Startgewicht, an die geometrischen Abmessungen sowie der mitgeführten Treibstoffmenge.

Abhilfe im Sinne einer Katastrophenprävention schafft nur eine weitsichtige und bedarfsgerechte Flächenplanung. Aus *Bild 9* ist auch zu sehen, dass es eigentlich zuallererst notwendig wäre, die Anzahl der Todesopfer in den Luftfahrzeugen zu reduzieren. Dies ist jedoch mit konstruktiven Maßnahmen am Luftfahrzeug sehr schwierig bzw. vielleicht sogar unmöglich. Diesbezügliche Untersuchungen werden derzeit in den USA betrieben, ob sie von Erfolg gekrönt sein werden, wird frühestens im Jahre 2004 beurteilt werden können / 9 /. Eine zweifelsfrei derzeit schon umsetzbare Lösung könnte durch die Ausweisung von hindernisfreien Notlandeflächen erreicht werden. Die Todesopfer am Boden können durch vergleichsweise einfache Lösungen verringert werden, z.B. durch eine entsprechende Flächenplanung.

Die Einzelereignisse aus *Bild 9* sind in *Tabelle 1* noch einmal erläutert.

Ale und Piers / 10 / untersuchten konkrete Absturzeignisse und versuchten, die durch den Trümmerflug beeinträchtigten Flächen mit dem maximalen Startgewicht zu korrelieren. Während dies bis zu einem maximalen Startgewicht von ca. 75 t recht gut funktioniert, zeigt sich, dass dieses Verfahren für Luftfahrzeuge mit höherem Startgewicht zu große Flächenbereiche angibt.

In *Bild 10* ist die „Ale/Piers – Gerade“ eingetragen. Die anderen Punkte wurden als Vorschlag des Autors über die geometrischen Abmessungen erzeugt, durch das Zehnfache des Produkts aus der Spannweite und der Länge der Luftfahrzeuge.

Wie man sieht, ist die Übereinstimmung mit der Geraden bis im Bereich von ca. 125 t max. Startgewicht recht gut, für höhere Startgewichte kann ebenfalls kein linearer Anstieg angenommen werden. Eine andere Methode der Folgenabschätzung schlägt Meyer vor / 8 /, indem das maximale Startgewicht der maximal an Bord vorhandenen Treibstoffmenge gegenübergestellt wird.

Diese Variante ist vor allen Dingen für die Feuerwehren interessant, da in den meisten Fällen davon ausgegangen werden muss, dass Folgebrände, verursacht durch die Penetration der Tanks und Zündung des auslaufenden Treibstoff, entstehen werden, *Bild 11*.

Diese Flächen werden ermittelt, indem mit der maximalen Treibstoffkapazität eine Treibstoffschicht von 5 mm Höhe auf einer undurchlässigen Betonfläche an-

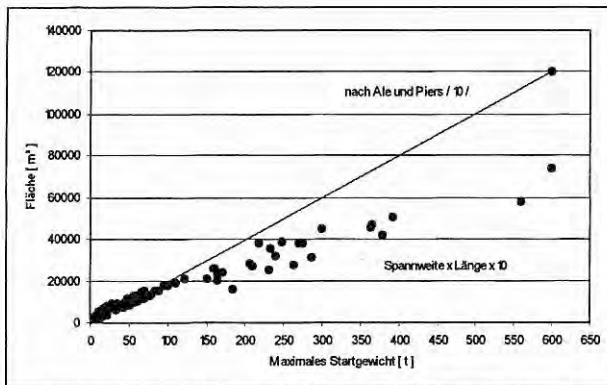


Bild 10: Abhängigkeit zwischen maximalem Startgewicht und beeinträchtiger Fläche

genommen wird. Aus Bild 11 ist zu sehen, dass mit dieser Methode Flächenbereiche bis zu 7350 m<sup>2</sup>, also der Größe eines Fußballfeldes, ermittelt werden können – allerdings ist diese Aussage auch nur bestenfalls als Anhaltswert zu begreifen, vermessene Schadensflächen realer Absturzereignisse können leicht die Größe von 17 Fußballfeldern erreichen. In Tabelle 2 sind einige Unfälle, bei denen auch die beeinträchtigten Flächen vermessen worden sind, aufgelistet.

Aus den Bildern 10 und 11 und der Tabelle 2 muss die Schlussfolgerung gezogen werden, dass eine exakte Unfallfolgenabschätzung nicht möglich ist.

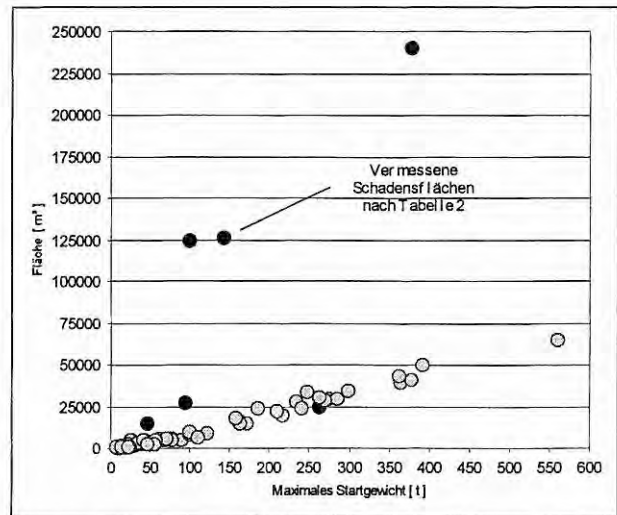


Bild 11: Abhängigkeit zwischen maximalem Startgewicht und beeinträchtiger Fläche, ermittelt über die maximalen Tankinhalte

Es sind Rutschstrecken von 900 m möglich (wenn kein Hindernis vorhanden ist), steile Absturzwinkel erzeugen auf weichem Untergrund tiefe Krater und sind weniger ausgedehnt, flache Absturzwinkel bewirken kaum eine Kraterbildung, verwüsten jedoch dafür mehr Fläche usw. Dieser Umstand muss bei der Definition einer risikovermindernden Vorsorgefläche unbedingt beachtet werden. Es wird also notwendig sein, die

Tabelle 2 : Vermessene Unfallflächen, Rutschstrecken und Kratertiefen

Datum	Ort	Flugzeugtyp	Maximales Startgewicht [ kg ]	Unfallphase	Beeinträchtigte Fläche [ m <sup>2</sup> ]	Rutschstrecke Kratertiefe [ m ]
25.07.78	Kalamazoo, USA	Convair 580	26.371	Anfangssteigflug	4.550	132 / -
25.05.79	Chicago, USA	DC - 10	263.085	Start	24.200	-
06.09.85	Milwaukee, USA	DC - 9	54.885	Anfangssteigflug	-	85 / -
12.12.85	Gander, Canada	DC - 8	161.000	Anfangssteigflug	16.000	-
13.03.86	Alpena, USA	E - 110 P1	5.900	Landeanflug	-	150 / -
12.12.86	Berlin SXF, D	TU - 134 A	47.000	Landeanflug	15.000	-
16.08.87	Detroit, USA	DC - 9	54.885	Start	-	900 / -
31.08.88	Dallas-FW, USA	Boeing 727	95.027	Start	26.680	580 / 4,8
03.03.91	Colorado Springs, USA	Boeing 737-291	52.391	Landeanflug	-	Krater 12 x 7 m 4,6 m tief
27.12.91	Gottröra, Sweden	MD MD-81	63.502	Anfangssteigflug	-	110 / -
04.10.92	Amsterdam, NL	Boeing 747	377.800	Steigflug	240.000	-
03.01.94	Mamony, Russia	TU-154 M	100.000	Steigflug	125.000	-
07.04.99	Ceyhan, Turkey	Boeing 737-400	56.470	Steigflug	500	- / 10,0 m tief
22.12.99	London, UK	Boeing 747	248.730	Anfangssteigflug	-	450 / Krater 43 x 13 m, 3,5 m tief
16.02.00	Sacramento, USA	DC - 8	142.884	Anfangssteigflug	126.500	-
26.07.02	Tallahassee, USA	Boeing 727	86.638	Landeanflug	-	335 / -
06.11.02	Luxembourg	Fokker 50	22.110	Landeanflug	-	186 / -



Vorsorgemaßnahmen so zu gestalten, dass auch die schlimmsten Fälle abgedeckt sind, dies auch vor dem Hintergrund stetig wachsender Startmassen und Flugzeugabmessungen.

Aus vielen Unfallberichten kann man den Schluss ziehen, dass die größten Schäden in den meisten Fällen durch die Flugzeugtriebwerke verursacht worden sind. Diese stellen auf grund ihrer kompakten Konstruktion und der steifen Triebwerkswellen die größte Gefahr für ein Aufprallobjekt dar. Während die filigranen Rumpf- und Flügelkonstruktionen bei einem Absturz meist vollständig zerstört werden, bleiben die Triebwerke fast immer als vollständiges Bauteil erhalten. Ein ca. 26 m langes Flügelteil einer Boeing 747 wiegt ca. 7,5 t (leer), das 3,18 m lange Triebwerk mit einem Bläserdurchmesser von 2,19 m (Rolls Royce RB 211) weist dahingegen ein Gewicht von ca. 4,387 t auf (trocken).

Aus diesem Grund muss auch die Möglichkeit einkalkuliert werden, dass z.B. erdgedeckte Anlagen beschädigt bzw. zerstört werden können. Dies lässt sich anhand eines realen Beispiels belegen: Als am 6. August 1997 eine Boeing 747 beim Landeanflug auf den Flugplatz Guam-Agana (USA) abstürzte (ca. 4200 m vor der Start- und Landebahn), wurde eine Pipeline zerrissen. Der auslaufende Treibstoff behinderte darüber hinaus die Rettungsarbeiten („Early rescue efforts were delayed by a severed 12-inch metal fuel pipe which blocked access to the wreckage.“ / 11/).

## 4.2 Unfallfolgen durch Terrorakte

Nach den Terroranschlägen auf das World Trade Center ist die Diskussion um die Möglichkeit einer absichtlich herbeigeführten Penetration des Reaktorgebäudes eines Kernkraftwerkes wieder neu entfacht worden. Da dieses Szenario auch durch unabsichtliche Unfälle eintreten kann, etwa durch den Absturz eines tief-fliegenden Militärflugzeuges, wurden dazu entsprechende Versuche durchgeführt, so im Jahre 1982 in den USA.

Damals wurde ein Kampfflugzeug vom Typ Phantom F4 mit einer Geschwindigkeit von 215 m/s (774 km/h) auf eine 3 m dicke Betonwand geschossen. Es zeigte sich, dass die Betonwand nur im Bereich des Rumpfquerschnitts bzw. der Triebwerkseiniäufe beschädigt wurde. Die Tragflächen bzw. die „weiche“ Konstruktionsteile hinterließen einen kaum feststellbaren Abdruck auf der Betonoberfläche. Man nahm an, dass das steifste Konstruktionselement, die Triebwerkswelle, die schwersten Schäden verursachen würde. Da dies scheinbar bei diesem Versuch nicht der Fall war, wird dieses Resultat nunmehr qualitativ auch auf große Passagierflugzeuge übertragen und geschlussfolgert, dass ein Terroranschlag wohl kaum zum Erfolg führen würde / 12 /.

Es wird dabei jedoch nicht bedacht, dass die Triebwerke moderner Großraumflugzeuge konstruktiv und

konzeptionell einem völlig anderen Anforderungsprofil unterworfen sind und darum größere Abmessungen und höhere Gewichte aufweisen. Während die zwei Triebwerke der Phantom 4F (General Electric J79-GE10) zusammen ca. 3,5 t wiegen und auf grund der Geometrie als Punktlast angenommen werden können, wiegt ein Triebwerk einer Boeing 747 bis ca. 4,4 t, bzw. der Boeing 777-300 sogar 8,2 t! In Bild 12 ist das Triebwerk der im Test verwendeten Phantom 4 F als Schnittmodell dargestellt.

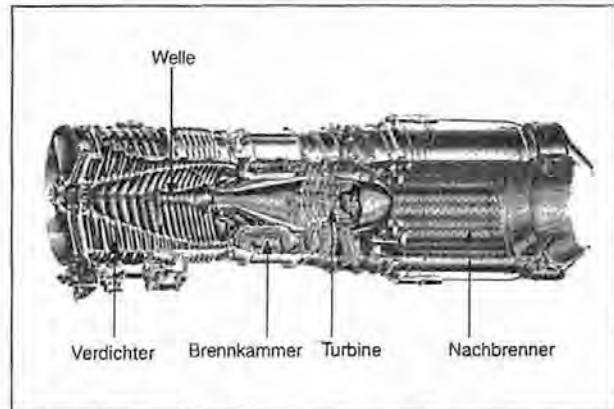


Bild 12: Das Triebwerk der McDonnell F4 „Phantom II“, J-79 GE10

Das von der Firma General Electric entwickelte Triebwerk J-79 war das erste, welches für einen Flug mit zweifacher Schallgeschwindigkeit konzipiert worden war. Der erste Probelauf im Prüfstand erfolgte im Jahr 1954, die erste Einsatzerprobung fand 1955 statt. Es wurde daraufhin zum Standardtriebwerk der „Phantom II“ und der Lockheed F-104 „Starfighter“. Es hat einen Durchmesser von 992 mm, eine Länge von 5301 mm und eine Masse von 1724 kg. Die Triebwerke der derzeit geflogenen Großraumflugzeuge unterscheiden sich beträchtlich von dieser Konstruktion.

In Tabelle 3 sind die technischen Daten der derzeit verwendeten Triebwerke aufgeführt. Diese Zwei-Kreis-Turbinenluftstrahltriebwerke stellen eine Kombination aus einem Turbojet bzw. einem Turboprop – Triebwerk dar. Der innere Kreis entspricht dabei dem Turbojet. Der äußere Kreis, der sogen. Bläser (Fan) am Einlauf, erzeugt einen Nebenstrom um das Kerntriebwerk herum. Da der Bläser einen größeren Durchmesser als das Kerntriebwerk hat, fließt der größte Teil der angesaugten Luft am Kerntriebwerk vorbei (Bypass) und liefert dabei den größten Teil der Schubkraft.

Diese Konzeption bedingt eine Zwei-Wellen-Bauweise, da sowohl die Hochdruck – als auch die Niederdruckkomponenten auf je einer separaten Welle sitzen müssen. Bild 13 zeigt eine Schnittdarstellung des derzeit schubstärksten Triebwerks, des PW 4084 von Pratt & Whitney.

Die innere Welle überträgt das größte Drehmoment. Sie ist als klassische Hohlwelle ausgebildet und hat einen Durchmesser von ca. 18 cm ( aus / 14 / ). Mit einer geschätzten Wanddicke von 2 cm, einer Länge

Tabelle 3: Triebwerksdaten moderner Verkehrsflugzeuge (aus / 13 /)

Hersteller / Typ	Bläserdurchmesser [ m ]	Länge [ m ]	Gewicht (trocken) [ kg ]	Eingebaut/vorgesehen für
<b>General Electric</b>				
CF6-8A/A3	2,19	3,99	3857	Airbus A 310, Boeing 767
CF6-80 C2	2,38	4,08	4147	A300-600, B 747-300/-400
GE90-90B	3,12	4,88	7556	B 777-200/-300
GE90-115B	3,25	-	8272	B 777-300ER
<b>Engine Alliance</b>				
GP 7270	2,95	4,75	?	A 380-800
<b>Pratt &amp; Whitney</b>				
PW 4060	2,46	3,37	4179	B 767
PW 4084	2,84	4,87	6759	B 777
PW 4098	2,84	4,94	7484	B 777-300
<b>Rolls-Royce</b>				
RB211-524G/H	2,19	3,18	4387	B 747-400, B 767-300
Trent 500	2,47	3,91	4719	A 340-500/ -600
Trent 700	2,47	3,91	4785	A 330
Trent 875 bis 895	2,79	4,37	5942	B 777-200/-300

von 4,5 m und einer Dichte von ca. 7,9 g/cm<sup>3</sup> für Edelstahl errechnet sich eine Masse von ca. 360 kg. Durch die Schnittdarstellungen ist zu erkennen, dass das Triebwerk der im Test untersuchten Phantom 4F eine gänzlich andere Bauart aufweist (Turbinen-Luftstrahltriebwerk, Verdichter und Turbine sitzen auf einer Welle). Bei dem Triebwerk J-79 besteht die Welle

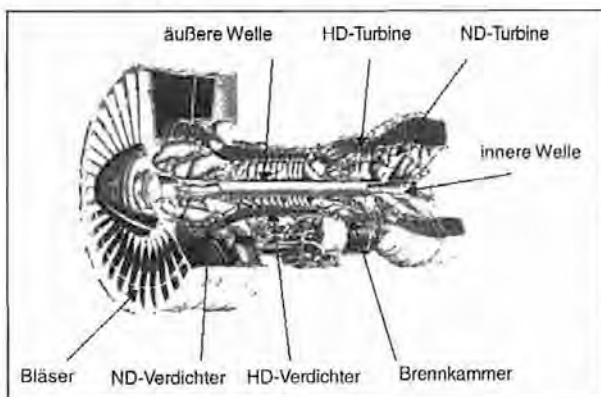


Bild 13: Das Triebwerk PW 4084

aus einem durch Spanten verstärkten Hohlkörper auf dem die Schaufeln des Verdichters und der Turbine befestigt sind. Somit kann in diesem Fall eigentlich von keiner steifen Welle gesprochen werden. Es handelt sich vielmehr um einen Rotationskörper in Leichtbauweise, der durch seine Kegelform die notwendigen Strömungsverhältnisse hervorruft. Insofern ist anzuzwei-

feldern, ob die damaligen Testergebnisse auch auf große Passagierflugzeuge übertragbar sind.

Ohne weiterführende Untersuchungen kann nicht sicher ausgeschlossen werden, dass eine Penetration einer Reaktorschutzhülle nicht zu befürchten ist. Es ist zu bedenken, dass im ungünstigsten Fall 2-4 Triebwerke, zeitversetzt im Millisekundenbereich, aufprallen können. Auch die Wirkungen eines Kerosinbrandes sind in diese Überlegungen einzubeziehen. Dessen ungeachtet besteht darüber hinaus nach wie vor das Problem, dass es nicht sicher zu verhindern ist, dass ein Passagierflugzeug als „fliegende Bombe“ missbraucht werden kann. Dabei muss das Ziel nicht einmal ein Kernkraftwerk darstellen, auch andere sensible Anlagen und Fabrikationseinrichtungen können als Ziel ausgewählt werden. Der beste Schutz ist daher die Prävention bzw. eine ausgeklügelte Standortwahl für sensible Objekte, die natürliche Hindernisse in die Sicherheitsüberlegungen einbezieht (Hügel, Bewaldung) und dadurch den Zielflug erschwert bzw. gänzlich verhindert.

## 5 Das akzeptable Risiko

Im allgemeinen wird das Risiko als Produkt aus der Häufigkeit (H) und der Konsequenz (K), also der Eintrittswahrscheinlichkeit des Auftretens eines unerwünschten Ereignisses und dem damit verbundenen Schadensausmaß definiert.

Die Formel  $R = H \times K$  ist nicht streng mathematisch zu interpretieren, sie soll eigentlich nur zum Ausdruck bringen, dass es dem naturgegebenen Sicherheitsempfinden des Menschen entspricht, wenn zwischen der Eintrittswahrscheinlichkeit eines unangenehmen Ereignisses und dem Schadensausmaß eine reziproke Abhängigkeit besteht. Nach dieser „Philosophie“ soll die Beschäftigung mit der Technik, jedwede industrielle Tätigkeit überhaupt, derart erfolgen, dass der Verlust extrem vieler Menschenleben, hohe Sachschäden und auch große Umweltschäden nur sehr selten vorkommen dürfen.

Hinsichtlich der Definition und Bewertung von Eintrittswahrscheinlichkeiten bestehen jedoch einige Schwierigkeiten. Unstrittig dürfte sein, dass ein häufig auftretendes Ereignis auch dadurch gekennzeichnet ist, dass die Mehrheit der Gesellschaft es nicht mehr bewusst wahrnimmt und sein Auftreten daher von den Medien nur in einem begrenzten Rahmen publiziert wird. Solche Ereignisse sind zum Beispiel der tagtägliche Auto-unfall mit Blechschäden und vielleicht einigen Toten und Verletzten. Demgegenüber werden Unfälle mit Reisebussen oder Personenzügen, die z.B. eine höhere Anzahl von Menschenleben fordern, in einem anderen Maße bewertet.

Dieser Umstand führt unmittelbar zum Problem der Risikoakzeptanz und der Grenzwertbildung im Sinne eines akzeptablen Risikos. Die Beantwortung der Frage, unter welchen Bedingungen ein Risiko tragbar ist, und unter welchen Umständen dies nicht mehr hinnehmbar ist, ist eine der größten Herausforderungen der Risikoforschung. Dies wird auch dadurch erschwert, dass Grenzwertsetzungen in den verschiedensten Bereichen der Technik eine unterschiedliche Bewertung verlangen. Bislang behilft man sich oft mit dem sogenannten „soziologischen Schwellenwert“ von  $1,0 \times 10^{-6}/a$ . Wird die Häufigkeit eines unerwünschten Ereignisses kleiner eingeschätzt, ist die Öffentlichkeit im allgemeinen beruhigt. Fachleute, die sich mit Sicherheitsfragen aus der Kerntechnik oder Raumfahrt befassen, dürften dies etwas differenzierter einschätzen und diesen Grenzwert ablehnen. Woran ist nun zu erkennen, dass Risikobewertungen anzustellen sind und dass u.U. in nächster Zukunft Präventivmaßnahmen vorgeschlagen und umgesetzt werden müssen? Welche gesellschaftliche Gruppe, welches wie zusammengesetzte Expertenteam soll (oder darf?) darüber entscheiden? Wer befindet darüber, ob diese Vorsorgemaßnahmen überhaupt sinnvoll sind? Dieser Fragenkomplex ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht ein-

deutig zu beantworten. Die Anstrengungen zur Schaffung einer risikobasierten Vorschriftenentwicklung stecken in Deutschland noch in den Kinderschuhen und werden noch weitere arbeitsintensive Jahre in Anspruch nehmen.

Nimmt die Häufigkeit des Ereignis „Flugzeugabsturz“ nun derart bedrohliche Ausmaße an, dass über Präventivmaßnahmen nachgedacht werden sollte?

Die meisten Bewohner eines europäischen Landes werden den Absturz eines Passagierflugzeuges wahrscheinlich als seltenes Ereignis einstufen, auch deshalb, weil sie dieses auf ihren unmittelbaren Lebensraum, das Landesterritorium, beziehen.

Ein „Weltbürger“ würde dem entgegenhalten, dass ein Ereignis, welches an einem Tag zweimal (!) eingetreten ist, wohl kaum als selten zu bezeichnen sei.

Zur Erinnerung: Am 7. Mai 2002 stürzten in Nordchina eine McDonnell Douglas MD-82 (112 Tote) und in Tunesien eine Boeing 737 ab (20 Tote), beide Maschinen waren nicht voll besetzt!

Um in dieser Frage „weiter zu kommen“ haben sich viele Fachleute Gedanken gemacht und versucht eine Beziehung zwischen der Eintrittshäufigkeit und der Konsequenz (ausgedrückt in Todesopfer pro Ereignis) herzustellen. Mit den sogenannten W-A-Diagrammen (**W**: Wahrscheinlichkeit des Eintretens; **A**: Ausmaß) wird versucht den sprichwörtlich „grünen Bereich“ zu definieren, der sich dadurch auszeichnet, dass keine besorgniserregenden Zustände bestehen bzw. Präventivmaßnahmen zu planen sind. Über dieser „sicheren“ Zone liegt ein Übergangsbereich der quasi andeutet, dass das Problem ständig weiter zu beobachten ist und dass in der nächsten Zeit eventuell risikoreduzierende Maßnahmen ergriffen werden müssen. Der darüber liegende Bereich ist zu vermeiden. Wenn sich ein Ereignis in diesem Feld befindet, sind unbedingt Maßnahmen zur Risikoreduktion einzuleiten. In *Bild 14* ist ein solches Diagramm dargestellt. Auf der Ordinate ist die Häufigkeit eines Ereignisses (pro Jahr) aufgetragen, während die Abszisse mit verschiedenen Maßeinheiten, die das Ausmaß (man kann auch sagen die Konsequenz) eines Ereignisses beschreiben, bezeichnet werden kann. Zu beachten ist, dass es sich um eine doppeltlogarithmische Skalierung handelt. Die Konsequenz wird in den meisten Fällen mit dem „schutzwürdigsten Gut“, dem menschlichen Leben skaliert. Der Vollständigkeit halber sei hier erwähnt, dass natürlich auch andere Schutzgüter, z.B. verunreinigte Flächen oder Gewässer als Maßstab herangezogen werden können. Zur Beschreibung der Konsequenz wird auch manchmal der sogen. Störfallwert herangezogen. Ein Störfallwert zwischen 0 und 0,3 wird z.B. als Unfall definiert, zwischen 0,3 und 0,5 ist dies ein Großunfall

und über 0,5 bis 1,0 spricht man von einer Katastrophe.

Aus diesem Diagramm, dass z.B. in der Schweiz zur Beurteilung eines Risikos herangezogen wird, kann man nun ablesen, dass ein Ereignis mit einer Häufigkeit von  $1,0 \times 10^{-10}/a$  welches eine Anzahl von bis zu 200 Todesopfern zur Folge hätte, nicht als besorgniserregend zu bezeichnen ist.

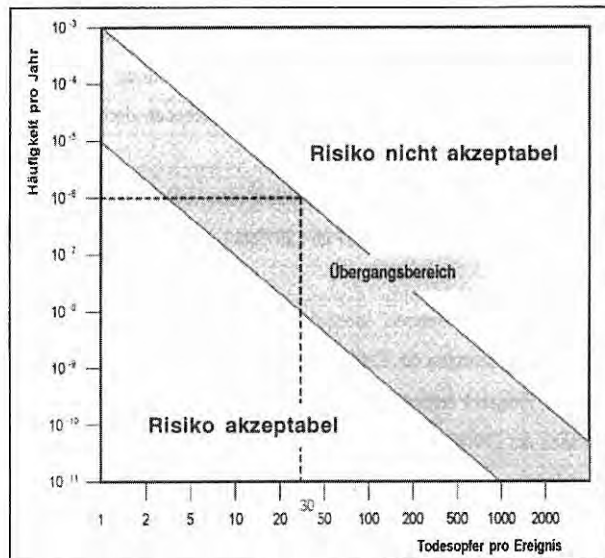


Bild 14: W-A-Diagramm ( vereinfachte Darstellung )

Diese Eintrittswahrscheinlichkeit ist derart gering, dass viele Generationen ein solches Ereignis u.U. nicht erleben werden. Der Flugzeughersteller Boeing / 15 / hat ermittelt, dass die Häufigkeit des Ereignisses „Unfall eines Airliners“  $1,0 \times 10^{-6}/a$  beträgt. Diese Unfallrate ist als systemimmanente Unfallrate zu verstehen die sich

über Jahrzehnte im Laufe der technischen Entwicklung des Transportmittels „Flugzeug“ entwickelt hat.

Mit Hilfe des W-A-Diagramms kann man nun ermitteln, ob die Anzahl der Todesopfer je Ereignis in einem Bereich liegt, die eine der vorgenannten Handlungsoptionen zur Folge haben würde. Dazu muss der Quotient zwischen der Gesamtanzahl der Todesfälle pro Jahr und der Anzahl der Unfälle, bei denen Todesfälle zu beklagen waren, ermittelt werden, Bild 15.

Aus Bild 15 ist zu sehen dass der Quotient  $T/A^*$ , abgesehen von einigen Schwankungen, die durch Absturzereignisse mit besonders hohen Opferzahlen verursacht sind, ständig zunimmt. Für den Zeitraum von 1945 bis 2001 ergibt sich ein Mittelwert von 25 Todesopfern pro Unfall und Jahr. Werden nur die letzten 25 Jahre zur Mittelwertbildung herangezogen, ergibt sich ein Wert von 28/a. Werden diese Werte in das W-A-Diagramm übertragen (Bild 14) ist zu sehen, dass die Grenze des Übergangsbereiches erreicht ist. Vor dem Hintergrund steigender Verkehrsleistungen und höherer Beförderungskapazitäten ist daraus der Schluss zu ziehen, dass unmittelbarer Handlungsbedarf besteht. Wie schon in Kapitel 3.2 erwähnt wurde, ist dies in den USA auch erkannt worden. Dort will man steigenden Opferzahlen durch ein „crashsicheres Flugzeug“ begegnen, indem man z.B. „Knautsch-Rümpfe“ konstruiert, d.h. Konstruktionen verwendet, die hohe Energien aufnehmen können. Ob diese Entwicklung von Erfolg gekrönt sein wird, bleibt abzuwarten. Auf jeden Fall wird diese Entwicklung bei einer durchschnittlichen Flugzeuglebensdauer von ca. 25 Jahren nicht sofort wirksam werden.

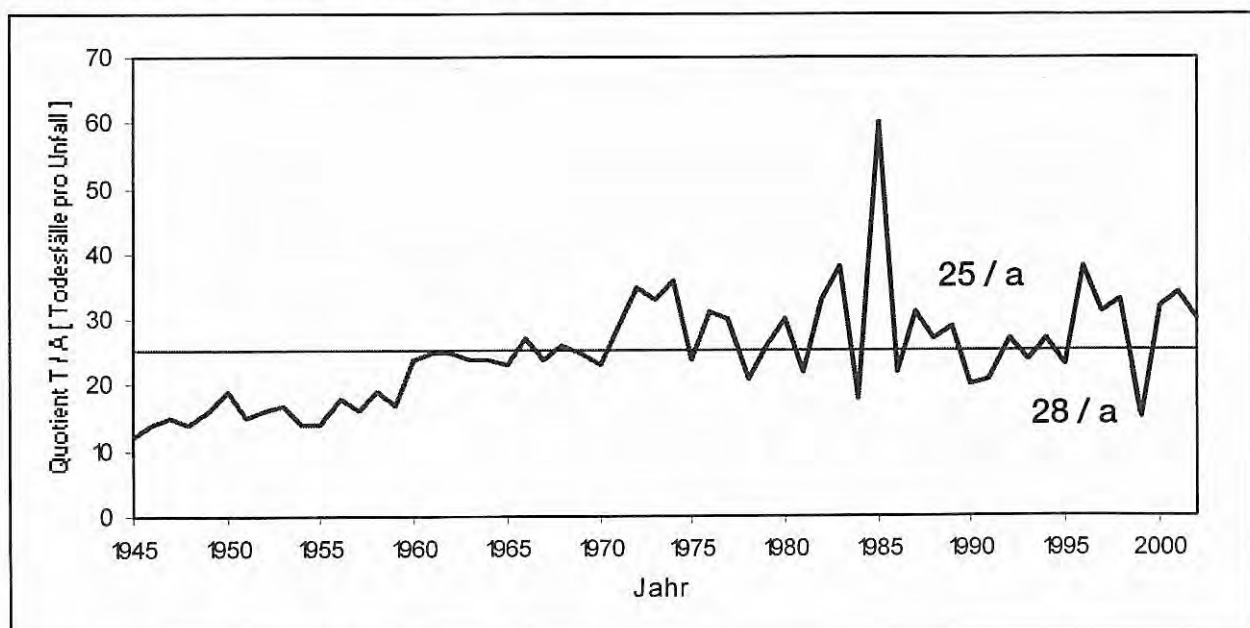


Bild 15: Die Entwicklung des Quotienten  $T/A$  im Zeitraum von 1945 – 2002

\*Beispiel:

Im Jahr 1980 kamen 1363 Personen bei einem Flugzeugabsturz ums Leben (nur Passagiere und Besatzungen). Die Anzahl der Flugzeugabstürze bei denen mindestens 1 Todesfall auftrat betrug 45. Daraus ergibt sich der Quotient  $T/A$  zu  $1363 \div 45 = 30$

## 6 Die Datenbasis

Die Beschreibung und Bewertung von Risiken kann grundsätzlich sowohl auf quantitativem als auch auf qualitativem Wege erfolgen. Für Technologien und Verfahren, deren systemimmanentes Ausfallverhalten noch nicht hinreichend genau bekannt ist (weil z.B. die Anzahl der benötigten Beobachtungen zu gering ist), können diese Untersuchungen nur durch qualitative Betrachtungsweisen erfolgen. Diesen haftet jedoch oft der Makel einer nicht hinreichenden Transparenz an da der zu untersuchende Gegenstand nur verbal, eben mit qualitativen Vokabeln, bewertet werden kann. Darüber hinaus, dies liegt in der Natur der Sache, kann eine qualitative Aussage durch persönliche Aspekte geprägt sein, je nach Einstellung und Befindlichkeit der damit betrauten Personen.

Bei dem hier vorliegenden Untersuchungsgegenstand treffen diese Einschränkungen nicht zu. Es existiert eine als gut zu bezeichnende Datenbasis, die eine quantitative Risikoanalyse mit Hilfe statistischer Methoden zulässt. Es muss natürlich erwähnt werden, dass die erforderliche Datenmenge, mit der das Unfallgeschehen großer Passagierflugzeuge beschrieben werden kann, nur über eine globale Erfassung und Auswertung gewonnen werden kann. Für einen einzelnen Staat ist eine derartige Betrachtung nicht möglich bzw. nicht sinnvoll. Aus diesem Grund war es bislang unmöglich, ähnliche Untersuchungen, wie sie mit den sogenannten Kleinflugzeugen bis 5,7 t Startgewicht durchgeführt werden konnten / 5 / vorzunehmen. Selbst im europäischen Maßstab existiert die dazu notwendige Datenmenge nicht.

Durch die weitere Entwicklung und Verbreitung des Internets, durch Rechercheangebote in den Datenbanken des National Transportation Safety Board (NTSB / 16 /) sowie des Aviation Safety Network (ASN / 17 /), war es nunmehr möglich, eine entsprechende Datenmenge zu generieren. Um übertragbare, d.h. für Mitteleuropa verwendbare Aussagen zu erhalten, musste jedes einzelne Unfallereignis hinsichtlich seiner Relevanz überprüft werden. Die Auswahlkriterien waren :

1. Der Unfallort musste vor oder hinter dem Ende der Start- bzw. Landebahn liegen, d.h. der Unfall stand in direktem Zusammenhang mit dem Start – bzw. Landevorgang,
2. Es erfolgte eine hinreichend genaue Beschreibung des Unfallortes in der Unfallakte des NTSB, des ASN, der ICAO bzw. in Pressemitteilungen,
3. Es wurden nur Unfälle mit zivilen Luftfahrzeugen betrachtet,
4. Aus der Unfallbeschreibung musste eine Abhängigkeit zwischen der Größe des verunfallten Luftfahrzeugs, der Folgeschäden infolge der Wrackteilstreuung und der beeinträchtigten Fläche sowie der Geländecharakteristik erkennbar sein.

5. Unfälle auf Grund der Topografie, sogenannten CFIT-Unfälle (Controlled Flight Into Terrain, d.h. Aufprall an einem Berg oder einer Geländeerhebung in der Start / Landerichtung), wurden ausgeschlossen.

In *Tabelle 4* sind die für diese Arbeit untersuchten Absturzereignisse aufgelistet.

*Tabelle 4: Datenbasis*

Jahr	Anzahl der Unfälle Quelle : ASN / NTSB	Für Auswertung erfasst	davon für statistische Tests
1977	127	6	6
78	129	7	7
79	135	3	2
1980	116	3	3
81	84	1	1
82	96	10	8
83	79	3	3
84	81	6	6
85	81	7	7
86	96	4	3
87	94	5	4
88	114	12	11
89	117	8	6
1990	118	10	9
91	123	6	3
92	133	5	4
93	128	13	11
94	117	8	7
95	114	8	5
96	114	15	14
97	114	15	13
98	109	11	8
99	106	12	8
2000	85	12	5
01	90	10	10
02	86	9	8
2003	-	1	1
Σ	2786	210	173

In den Jahren 1977 bis 2002 wurden also 2786 schwere Unfälle mit Luftfahrzeugen > 5,7 t Startgewicht, die einen Totalverlust des Luftfahrzeugs zur Folge hatten, registriert. Von diesen konnten 210 für die vorliegende Untersuchung nach den o.g. Kriterien verwendet werden.

Den 210 Absturzereignissen konnten 173 sogenannten Absturzvektoren\* zugeordnet werden, 97 für die Landephase und 76 für die Startphase. Nur diese wurden zur statistischen Untersuchung herangezogen. Die Kurzbeschreibungen dieser Unfälle ist in der Anlage in den *Tabellen A-1* enthalten.

Absturzvektor\* : Bezeichnet den Ort der ersten Bodenberührung, der absolute Betrag beschreibt den Abstand, der Winkel die seitliche Abweichung von der verlängerten Bahnachse, für Darstellung in kartesischem Koordinatensystem umgerechnet in x- bzw. y-Koordinaten (*Tabelle A-1*)

Da das Unfallgeschehen, vor allen Dingen in Afrika, einigen Staaten Südamerikas und Asiens, auch auf infrastrukturelle Besonderheiten hinsichtlich der vorhandenen sicherheitstechnischen Ausstattung der Flugplätze beeinflusst wird, ist es interessant festzustellen, zu welchen Prozentsätzen die einzelnen Kontinente vertreten sind, *Tabelle 5*.

*Tabelle 5: Datenbasis, globale prozentuale Verteilung der Unfälle*

Europa	Afrika	Asien / Australien	Nord Amerika	Süd und Zentralamerika
43	18	54	58	37
20,5 %	8,5 %	25,7 %	27,6 %	17,6 %

Die Unfalldaten aus Asien und Nordamerika haben einen Anteil von ca. 25 – 28 %. Angesichts der Luftverkehrsdichte in diesen Regionen ist dies nicht weiter verwunderlich. An dritter Stelle folgt der europäische Raum mit ca. 20 %. Der Luftverkehr in den mittleren und südlichen Regionen Afrikas ist nicht so hoch entwickelt und wohl auch durch die jahrelangen kriegerischen Auseinandersetzungen regional zum Erliegen gekommen. Dieser Umstand schlägt sich natürlich auch in der Datenlage nieder. Unter normalen Bedingungen und einer weiteren wirtschaftlichen Entwicklung ist auch hier eine 18 – 20% ige Beteiligung am Unfallgeschehen zu erwarten.

Ein weiterer Punkt, der für derartige Untersuchungen wichtig ist, ist die Festlegung des Betrachtungszeitraumes. Durch die technische Entwicklung der Luftfahrzeuge und Bodenanlagen auf den Flugplätzen kann dieser nicht beliebig weit „nach hinten“ gelegt werden, z.B. zwecks Vergrößerung des Datenpools. Andererseits fliegen auch noch heute Oldtimer wie z.B. die Junkers Ju-52 oder die Douglas DC-3 die noch vor dem zweiten Weltkrieg gebaut worden sind. Diese werden jedoch in den meisten Fällen für touristische Zwecke genutzt („Nostalgieflüge“) und stellen daher nur einen äußerst marginalen Anteil dar. Da es diese Besonderheit immer geben wird, kann dieses Problem nicht mit der durchschnittlichen Lebensdauer, also bis zur geplanten Ausmusterung, geklärt werden. Realistischer ist es, die Lebensdauer bis zum Absturzereignis zu ermitteln, *Tabelle 6*.

Da es zwischen den Passagierflugzeugen und den Frachtflugzeugen in dieser Hinsicht signifikante Unterschiede gibt, müssen beide Gruppen getrennt betrachtet werden.

Das höhere mittlere „Absturzalter“ der Frachtflugzeuge wird in einigen Quellen (z.B. / 18 /) darauf zurückgeführt, dass diese hinsichtlich ihrer „sicherheitstechnischen Fitness“ etwas nachlässiger behandelt werden, als dies bei Passagierflugzeugen der Fall ist.

*Tabelle 6 : Alter der verunfallten Luftfahrzeuge*

Alter [ a ]	Passagierflugzeug	Frachtflugzeug
< 1	+	
1	+++++	
2	++	
3	++++	+
4	++	
5	+++++	
6	+++	+
7	+++++	+
8	++++	+
9	++	+
10	+++++	+
11	++++	++
12	+++++	
13	++++	+
14	++++	+
15	+++++	
16	+++++	
17	+++++	++
18		+++
19	++	+
20	+++++	+
21	+++	++
22	+++++	+
23	++	+++
24	+++	++
25	+++	
26	++++	
27	+	+
28	+	+++
29	+	++
30		+
31		++
32	++	++++
33	+	+
34		
35		++
36		+
37		
38		+
39		
40		
	~ 13 Jahre	~ 23 Jahre

Bemerkung: Erhebung erfolgte ohne die lfd.Nrn. 139, 144 und 163 (diese Flugzeuge hatten ein Alter zwischen 50 und 60 Jahren)

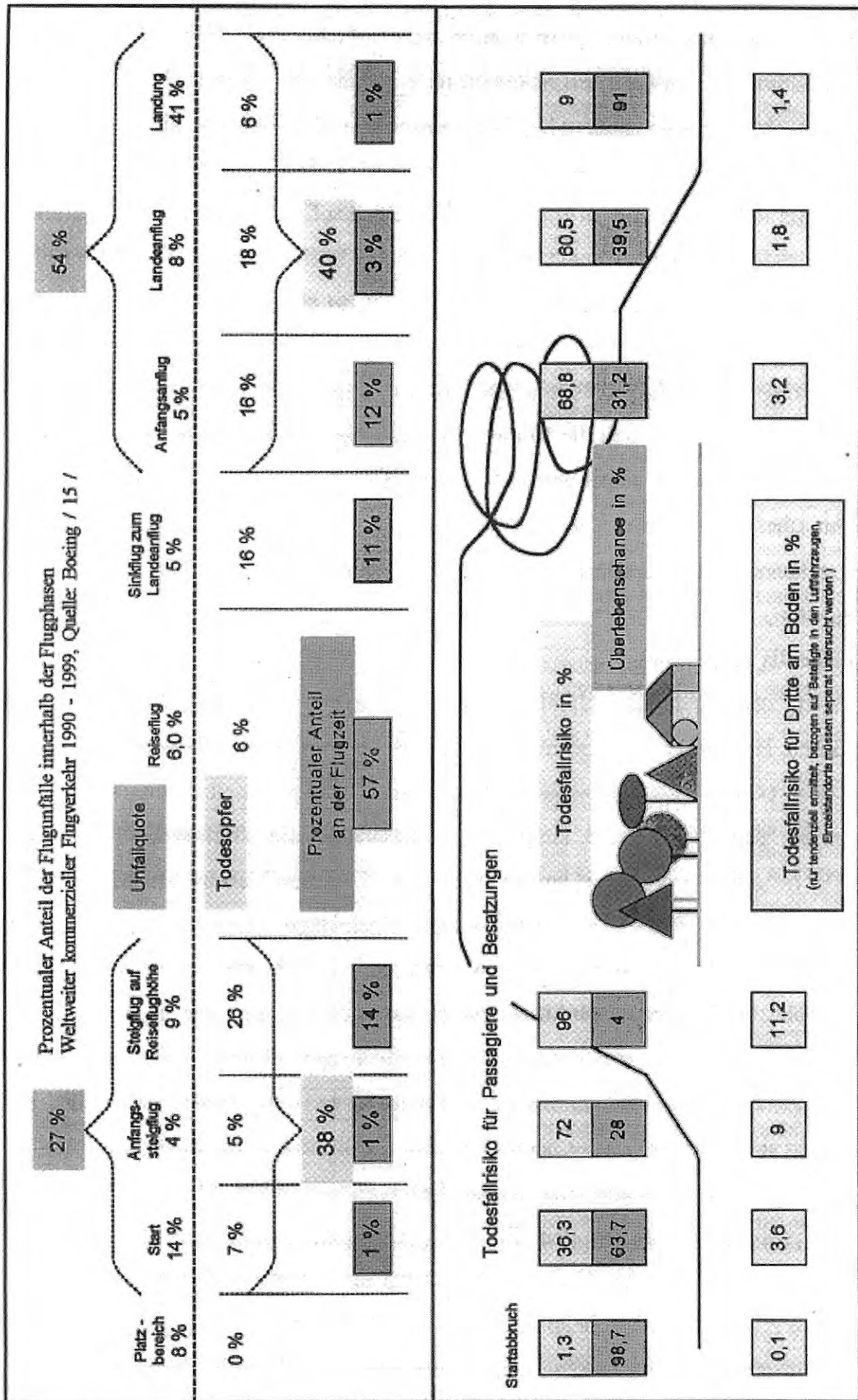


Bild 16: Prozentualer Anteil der Flugunfälle innerhalb der Flugphasen und Todesfallrisiko für Passagiere und Besatzungen, Todesfallrisiko für Dritte am Boden

Die Ursachen sind u.a. auch darin zu sehen, dass viele Frachtflugzeuge ihre „Karriere“ als Passagierjets beginnen, die aus ökonomischen Gründen, auch wegen der betriebsbedingten Abnutzung im Verlauf der Betriebsjahre (z.B. Inneneinrichtung), nicht ausgetauscht, sondern zu Frachtflugzeugen umgerüstet werden. Dass es unter den Betreibern von Frachtflugzeugen auch „schwarze Schafe“ gibt, ist nicht nur ein Phänomen des Luftverkehrs.

Darüber hinaus muss darauf hingewiesen werden, dass der Frachtverkehr vorwiegend in den Nachtstunden stattfindet und sich somit auch das Unfallgeschehen in die dunkle Tageszeit verlagert. Dies erschwert u.U. notwendige Bergungsaktionen und wirkt sich somit nachteilig aus. Weitere sicherheitstechnischen Überlegungen zu diesem Aspekt möchte der Autor in diesem Bericht nicht verfolgen.

Aus der Recherche des „Absturzalters“ kann somit der Schluss gezogen werden, dass es gerechtfertigt erscheint, den Untersuchungszeitraum auf die zurückliegenden 25 Jahre zu beschränken. Updates im 5-Jahres-Intervall sind denkbar.

## 6.1 Analyse der Flugunfälle innerhalb der Flugphasen und Ursachenermittlung

Die Mehrzahl der Flugunfälle sind auf menschliches Fehlverhalten (z.B. mangelhafte Cockpitkommunikation) Materialprobleme und Witterungseinflüsse zurückzuführen. Stellt man Anzahl der Flugunfälle den Flugphasen gegenüber, ergibt sich die folgende Bilanz, *Bild 16*. Auf dem Platz werden ca. 8 % aller Unfälle registriert.

Dies sind meistens Beschädigungen, wie sie auch ein Autofahrer nachvollziehen kann – also das Rammen und Anfahren anderer Luftfahrzeuge, aber auch solche Katastrophen, wie sie auf Teneriffa (27.3.1977, Startbahn-crash, 583 Tote) oder in Mailand (8.10.2001, 110 Tote) zu beklagen waren.

Dieses Unfallgeschehen hat im allgemeinen keine Auswirkungen auf Dritte außerhalb des Flugplatzgeländes. In der Startphase sowie dem darauf folgenden Anfangssteigflug verunfallen ca. 18 %, in der nachfolgenden Steigflugphase, die bis zum Erreichen der Reiseflughöhe zählt, werden 9 % der Unfälle registriert.

Der normale Reiseflug ist mit 6 % am Unfallgeschehen beteiligt, dies ist unter normalen Umständen die sicherste Flugphase. Hier sind es meist terroristische oder militärische Hintergründe, die zur Katastrophe führen (Lockerbie: Bombe; Schwarzes Meer: irrtümlicher Abschuss durch Rakete).

Der Abstiegsphase aus der Reiseflughöhe, dem Sinkflug zum Landeanflug, werden 5 % aller Unfälle zugeordnet, dem sogenannten Anfangsanflug nochmals 5 % und

dem direkten Landeanflug und der darauffolgenden Landung die restlichen 49 %. Die Landung ist nach wie vor der risikoreichste Flugabschnitt.

Im unteren Teil des *Bildes 16* sind die Todesfallrisiken bzw. Überlebenschancen den einzelnen Flugphasen zugeordnet. Diese wurden aus den Daten der *Tabelle A-1* gewonnen, sind also auf Grund der notwendigen Selektion nicht repräsentativ, geben aber die Tendenz richtig wieder. Mit zunehmender Flughöhe, sowohl in der Start – als auch in der Landerichtung, steigt das Todesfallrisiko bzw. sinkt die Überlebenschance. Wie in Kapitel 6.2 noch gezeigt werden wird, ist dies aber nicht ausschließlich auf die Flughöhe zurückzuführen. Auch die Geländecharakteristik spielt eine wesentliche Rolle. Werden die Unterschiede zwischen der Start – und Landephase genauer betrachtet, so ergibt sich für die 210 Unfälle das in den *Tabellen A2* dokumentierte Bild.

Die Beschränkung auf 9 Hauptfehlerquellen, deren einzelne Umfänge bzw. Inhalte große Unterschiede aufweisen, ist durch die Komplexität und Vielschichtigkeit der Unfallursachen begründet. Während z.B. der Vogelschlag (b = birdstrike) eine eindeutige Ursache darstellt, ist das technische Problem (tp = technical problems) nur als solches, quasi als Summe der Ursachen, gekennzeichnet. Dies ist jedoch für den Rahmen dieser Arbeit unwesentlich. Obwohl in vielen Fällen diese Mehrfachnennungen erfolgten (*siehe Tabellen A2*), ist die Tendenz eindeutig zu beschreiben:

In der Startphase sind die Unfallursachen vorwiegend auf technische Probleme zurückzuführen. Hier findet der Übergang von der „Ruhephase“ des Luftfahrzeugs auf seine vollste Beanspruchung statt; innerhalb einer relativ geringen Zeitspanne werden die Materialien höchsten Belastungen ausgesetzt, insbesondere die Triebwerke (Ausfallrate 27,4 %). Der hohe Prozentsatz des „human factor“ (19,5 %) resultiert in den meisten Fällen aus Fehlentscheidungen hinsichtlich eines zu spät eingeleiteten Startabbruchs, so dass das Überschießen der Startbahnschwelle (or = overrun) mit 14,2 % auch einen relativ hohen Anteil ausmacht. Die Witterungseinflüsse spielen kaum eine Rolle, hier ist es meist eine unterlassene Enteisierung des Luftfahrzeugs, die schließlich zum Absturz führte. Man könnte diese Prozente auch dem human factor zuschlagen, so dass dieser dann mit 24,8 Prozentpunkten aber trotzdem immer noch an zweiter Stelle steht.

In der Landephase sind die meisten Unfallursachen eindeutig dem human factor zuzuschreiben. Hier sind es oftmals Abstimmungsprobleme zwischen den Piloten („Cockpitkommunikation“), individuelle Schätzfehler usw., die zu einem Unfall führen. Auch die Witterungseinflüsse spielen eine große Rolle, so z.B. das Vereisen beim Abstieg aus der Reiseflughöhe, Windscherungen oder schlechte Sichtverhältnisse in der Region des Ziel-flughafens. In *Tabelle 7* sind die einzelnen Ursachen zusammenfassend dargestellt.





Tabelle 9: Bewertungsmatrix  
(Mittelwert aus Spalte (1) x Anzahl der Nennungen)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
0 - 10	15	15	-	10	-	20	10	5
10 - 20	-	15	-	-	15	15	-	15
20 - 30	25	-	-	50	-	-	-	-
30 - 40	105	35	-	140	35	35	-	35
40 - 50	-	45	-	90	-	90	45	-
50 - 60	110	-	-	110	-	-	-	55
60 - 70	65	-	130	130	-	-	65	-
70 - 80	75	-	75	150	-	-	-	-
80 - 90	85	85	-	170	-	-	85	-
90 - 100	2660	760	285	1520	380	95	190	190
Σ = 8335 in %	3140 37,7 %	955 11,4 %	490 5,9 %	2370 28,4 %	430 5,2 %	255 3 %	395 4,7 %	300 3,6 %

Aus dieser Bewertungsmatrix ist zu erkennen, dass die meisten Opfer immer dann auftraten, wenn der Absturz in ein Wohn- oder Waldgebiet erfolgte. Dies ist eigentlich nicht weiter verwunderlich, da in diesen Arealen in der Regel keine geeigneten Möglichkeiten für Notlandungen vorhanden sind. Bauwerke, Bäume, Dämme, auch Geländeprofile (Gräben, Böschungen) am Absturzort führen in den meisten Fällen zur Beschädigung des Rumpfes und/oder zum Abriss der Tragflächen. Die kinetische Energie wird über einen sehr kurzen Zeitraum abgebaut, ein Intaktbleiben des Flugzeugrumpfes ist sehr unwahrscheinlich. Dies bedeutet aber auch, dass in vielen Fällen eine Entzündung des Flugbenzins stattfindet, welches die Überlebenschance an Bord noch weiter einschränkt. In Tabelle 10 wird das Auftreten der sogen. Aufschlagbrände einzelnen Unfallphasen zugeordnet.

Tabelle 10: Auftreten von Aufschlagbränden (pcf = post crash fire)

	Start- abbruch	Start	Anfangs- steigflug	Steigflug	Anfangs- anflug	Land- anflug	Landung
pcf	2	13	20	6	2	32	7
ohne	-	4	3	3	3	12	6
?	13	6	17	2	5	47	7
Da ein Aufschlagbrand bzw. ein nachfolgendes Feuer in den Unfallberichten meistens erwähnt wird, wird im Folgenden die Nichtnennung (d.h. das Fragezeichen) als kein Feuer gewertet, so dass sich ergibt:							
pcf	2	13	20	6	2	32	7
kein pcf	13	10	20	5	8	59	13
Die Wahrscheinlichkeit (in %), dass es zu einem pcf in den jeweiligen Flugphasen kommt, beträgt demnach							
	13,3	56,5	50	54,5	20	35,1	35

Aus Tabelle 10 ist zu erkennen, dass die Wahrscheinlichkeit eines Unfallfeuers in der Startphase mit ca. 56 % am höchsten ist. Dies ist im wesentlichen auf zwei Gründe zurückzuführen: Zu einen haben die Tanks noch fast ihren vollen, für den Flugauftrag berechneten Inhalt, zum anderen ist eine sogen. Entscheidungshöhe, die einen gewissen Zeitvorrat zur Planung von Notlandungen bietet, noch nicht erreicht. Dies bedeutet, dass es in der Mehrzahl der Fälle schwierig bzw. fast nicht möglich ist, ein geeignetes, hindernisfreies Terrain im Rahmen der zur Verfügung stehenden Zeit auszuwählen. In der nachfolgenden Steigflugphase fällt die Wahrscheinlichkeit eines nachfolgenden Unfallfeuers auf ca. 50 % ab, dies ist auch aus dem o.g. Grund zu erklären, zunehmende Höhe bedeutet hier zunehmende Sicherheit. Diese Tendenz ist in der Landephase nicht erkennbar. Die Wahrscheinlichkeit eines Auf-

schlagbrandes scheint direkt von der Charakteristik des zur Verfügung stehenden Terrains abhängig zu sein.

Das es auch möglich ist, aus einer relativ hohen Flughöhe erfolgreich, d.h. ohne Todesopfer, eine Notlandung auszuführen, zeigen die Beispiel aus Tab. A1, lfd. Nr. 11, 91, 155.

Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass bestimmte, noch näher zu beschreibende Flächenbereiche in den Einflugschneisen, besondere Merkmale aufweisen sollten, z.B. :

- Keine Bebauung,
- Nur minimale Geländeerhebungen /-vertiefungen,
- Keine Querung durch Bahndämme o.ä., wenn Bahnquerung, dann nur ohne Oberleitung (Zündquelle !),
- Keine Hochspannungsleitungen parallel oder quer bis zu einem bestimmten Abstand,
- Keine Nutzwaldbebauung, nur Wiese, Feld, niedrige Büsche,
- Keine Gefahrgutpipelines im unmittelbaren Bereich der Einflugschneise, wenn nicht zu umgehen, dann mit entsprechender Erddeckung (s. S.16, / 11 /).

An Hand dieser Aufstellung ist unschwer zu erkennen, dass somit fast alle bestehenden Flughäfen, die während ihrer Entwicklungsgeschichte „zugewachsen“ bzw. „zugesiedelt“ worden sind, unter heutigen Gesichtspunkten ein Risiko darstellen. Eine Schließung ist natürlich aus vielerlei Gesichtspunkten unmöglich, dies bedarf keiner Diskussion. Es soll hiermit aber der Hinweis gegeben werden, dass zukünftige Bebauungspläne unter diesem Blickwinkel betrachtet werden sollten, vor allen Dingen dann, wenn Neubauten mit hohem Publikumsverkehr in den Einflugschneisen errichtet werden sollen bzw. Flughafenflächen zu erweitern sind. Im folgenden Kapitel werden die speziellen Anforderungen dieser Ausschlussflächen, d.h. ihre Abmessungen ermittelt.

## 7 Die Ermittlung von Ausschlussflächen

Der Anstoß zur Formulierung einer gesetzlichen Regelung im Hinblick auf die Schaffung von sogenannten Ausschlussflächen, d.h. Flächen, die einer eingeschränkten Nutzung unterliegen, wurde durch den Störfall in einer Chemieranlage in Seveso am 10.7.76 initiiert. Dieses Ereignis führte 1980 in Deutschland zur sogenannten Störfallverordnung / 20 /, der 1982 die sogenannte Seveso-Richtlinie der EG / 21 / folgte. In der Störfallverordnung, bzw. im Punkt 3.2.4.2 ihrer Zweiten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift / 3 / wurde, wie schon in Kapitel 1 ausgeführt, auch dem Absturz eines Luftfahrzeugs auf eine sogenannte Störfallanlage Rechnung getragen.

Der Luftverkehr wird in einen gewerblichen und in einen nichtgewerblichen Bereich unterteilt. Der letztere wird vor allen Dingen von privat genutzten Luftfahrzeugen und vom Luftsport (Ballonfahren, Gleitschirmfliegen, Fallschirmspringen usw.) dominiert. Die entsprechenden Flugzeuge sind in der Regel ein- bis zweimotorige Maschinen bis zu einem maximalen Startgewicht von 5,7 t. Die größeren Maschinen können natürlich auch gewerblich genutzt werden, z.B. für Taxi- und Zubringerdienste. Diesen Luftfahrzeugen ist gemeinsam, dass sie gegenüber den sogenannten Airlinern sehr manövrierfähig sind, nur kurze Start- und Landebahnen benötigen und in der Mehrzahl der Fälle unter Sichtflugregeln operieren. Die technische Ausstattung dieser kleinen und leichten Maschinen schließt eine allwettertaugliche Nutzung in der Mehrzahl der Fälle aus. Die Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) registriert jährlich ungefähr 100 Absturzereignisse, von denen die meisten jedoch relativ glimpflich verlaufen, da sie im unmittelbaren Flugplatzbereich stattfinden. Trotzdem ist der Absturz eines Kleinflugzeugs kein seltenes Ereignis, so dass eine statistisch auswertbare Datenbasis zur Verfügung steht. Trägt man nun alle Absturzorte, die relativ zum Beginn bzw. zum Ende einer Start- und Landebahn vermessen worden sind, in ein kartesisches Koordinatensystem ein, so ergibt sich eine Darstellung wie in *Bild 17*.

Die Abszisse stellt den Beginn bzw. das Ende der Start- und Landebahnen dar, die gestrichelten Linien bezeichnen den Bereich der Einflugschneisen bzw. die Vorsorgeflächen nach der 2. Störfallverwaltungsvorschrift (4000 m – Distanz) / 3 /.

### 7.1. Die Definition der Einflugschneisen

Laut ICAO – Anhang 14 / 22 / ist ein Flugplatz „ein festgelegtes Gebiet auf dem Lande oder Wasser (einschließlich der Gebäude, Anlagen und Ausrüstung), das ganz oder teilweise für Ankunft, Abflug und Bodenbewegungen von Luftfahrzeugen bestimmt ist.“ Die Definition der Einflugschneisen ist unmittelbar an den Festlegungen zur Bemessung des Bauschutzbereiches nach § 12 des Luftverkehrsgesetzes (LuftVG / 4 /) angelehnt. Dieser Bauschutzbereich umfasst folgende Flächen:

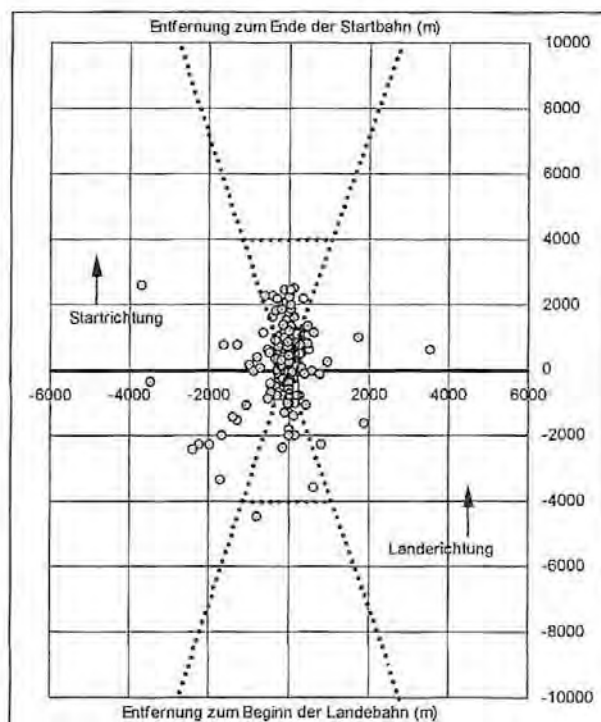
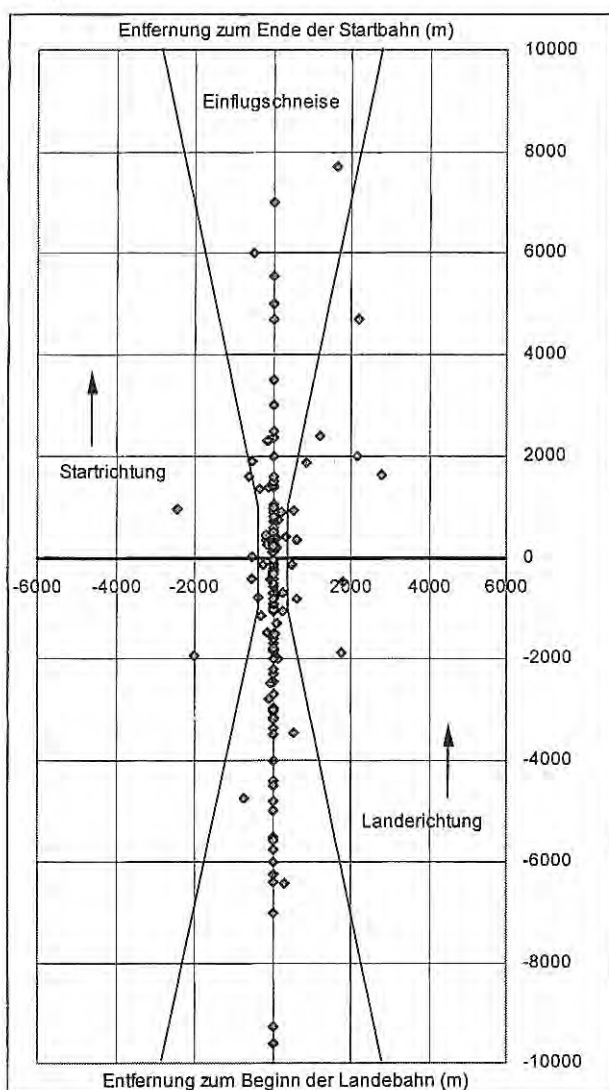


Bild 17: Absturzvektoren für Luftfahrzeuge bis 5,7 t Startgewicht (Deutschland 1973-1993)

1. Die Sicherheitsflächen an den Enden der Start- und Landebahnen. Sie sollen gem. LuftVG §12, Pkt. 2 / 4 / nicht länger als je 1000 m sein und eine Breite von  $2 \times 350$  m aufweisen, gerechnet beiderseits zuzüglich zur Bahnbreite. Zur Landebahnbreite sind im ICAO - Abkommen Kapitel 3, Pkt. 3.1.9 / 22 / Empfehlungen enthalten. Die Breite wird ermittelt aus der Flugzeug-Bezugsstartbahnlänge (d.h. der Startbahnlänge, die ein Flugzeug zum Start mit zulässiger Starthöchstmasse in Meereshöhe, bei Normatmosphäre, Windstille und Nullneigung der Startbahn benötigt), der Spannweite und dem Abstand zwischen den Außenkanten der Hauptfahrwerksräder. Die internationalen Verkehrsflughäfen in der Bundesrepublik Deutschland haben meist eine Startbahnbreite von 40 bis 60 m, so dass sich bei einer mittleren Startbahnbreite von 50 m eine rechteckige Fläche von  $1000 \times 750$  m ergibt.
2. Die Anflugsektoren, die sich beiderseits der unter Pkt. 1 genannten Sicherheitsflächen anschließen. Sie haben einen Öffnungswinkel von je  $15^\circ$  und eine Länge von 15 km bei Hauptstart / Landebahnen bzw. 8,5 km bei Nebenstart / Landebahnen.

Die Auswertung der Absturzvektoren aus *Bild 17* hat ergeben, dass sich 9 % der Abstürze in der Startrichtung außerhalb der Einflugschneisen ereigneten, in der Landerichtung waren es 15 %. Hinsichtlich der in der Zweiten Störfallverwaltungsvorschrift / 3 / beschriebenen Ausschlussflächen gelten die gleichen Aussagen, lediglich in einem Fall wird die 4000 m – Distanz über-

schritten. Die seitlichen Abweichungen könnten durch die Wahl einer anderen Ausschlussfläche, etwa durch eine parabelförmige Fläche / 5 /, „eingefangen“ werden. Wie schon erwähnt, existiert für das Unfallgeschehen sogen. Airliner in Deutschland keine Datenbasis. Aus diesem Grund war es bislang nicht möglich, ähnliche Untersuchungen, wie sie mit den sogen. Kleinflugzeugen bis 5,7 t Startgewicht durchgeführt werden konnten / 5 / vorzunehmen. Selbst im europäischen Maßstab war es nicht möglich, die dazu notwendige Datenmenge zu beschaffen. Durch eine Recherche in den Datenbanken des National Transportation Safety Board (NTSB) / 16 / sowie des Aviation Safety Network (ASN) / 17 /, war es jedoch möglich, eine entsprechende Datenmenge zu generieren. In *Bild 18* sind die Absturzorte in der Start- und Landerichtung dargestellt.



*Bild 18:* Absturzvektoren für Luftfahrzeuge größer 5,7 t Startgewicht (weltweit 1977-2002)

Im Vergleich zu den Kleinflugzeugen ist zu erkennen, dass die Streuung in der Landerichtung sehr gering ist, die meisten Abstürze ereigneten sich direkt in der Verlängerung des Gleitpfades bzw. der verlängerten Anfluglinie. In der Startrichtung ist die seitliche Streuung stärker ausgeprägt. Diese Unterschiede sind zum großen Teil durch die unterschiedlichen Unfallursachen zu

erklären, siehe Kapitel 6.1. In der Startphase enden ca. 13 % aller Unfälle außerhalb der Startschneise, die 4000 m – Distanz gemäß der 2. StörfallVwV / 3 / wird in 7 Fällen übertroffen, so dass ca. 21 % aller Ereignisse außerhalb der Vorsorgefläche liegen. In der Landerichtung ereignen sich ca. 8 % der Unfälle außerhalb der Einflugschneise, die 4000 m–Distanz wird in 20 Fällen übertroffen, somit verfehlen rund 30 % aller Abstürze die Vorsorgefläche. Für den Katastrophenschutz bzw. die Störfallprävention bedeutet dies, dass zur Ermittlung einer Ausschlussfläche die Untersuchung der Absturzvektoren in der Landerichtung Vorrang hat und dass die Flächenbereiche, wie sie bislang in der 2. StörfallVwV / 3 / angegeben sind, nicht ausreichend sind.

## 7.2 Strukturierung der untersuchten Flächenbereiche

Im Forschungsbericht 231 der BAM / 5 / wurde zur mathematisch-statistischen Untersuchung absturzrelevanter Flächenbereiche eine sogen. Trefferfläche definiert, die sich aus der Wrackteilstreuung und der Rutschstrecke zusammensetzt. Dies schien im Hinblick darauf, dass die Schäden, die durch Kleinflugzeuge verursacht werden können, relativ gering sind, eine zufriedenstellende Approximation zu sein.

In Kapitel 4.1 wurde erläutert, dass die Abschätzung einer Schadensfläche für Großraumflugzeuge nur in sehr unsicheren Grenzen möglich ist, da sie von zu vielen nicht vorher absehbaren Faktoren abhängig ist. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, die Geometrie der Ausschlussflächen an den § 12 des Luftverkehrsgesetzes (LuftVG / 4 /) anzulehnen (siehe 7.1). Als einzig frei wählbare Größe soll lediglich die Länge dieser Schadensfläche, eine „mittlere Rutschstrecke“ angenommen werden.

Aus der *Tabelle 2* kann ein arithmetischer Mittelwert, von ca. 350 m ermittelt werden. Da dies u.U. eine zu starke Beschränkung darstellt, werden in der mathematisch-statistischen Analyse auch 300- und 400-m-Intervalle untersucht. Die Einflugschneisen erhalten somit in der Startrichtung 20, 23 und 26 Intervalle, in der Landerichtung sind es 26, 28 bzw. 33 (siehe *Bild 26 – 31/Anlage*). Diese Intervalle schließen sich dabei direkt an den tatsächlichen Anfang bzw. Ende der Start- und Landebahnen an.

Diese Untersuchung soll „in der Tiefe“ bis zu dem Absturzvektor mit dem höchsten Betrag vorgenommen werden. Für die Startrichtung ist dies Ereignis-Nr. 197 (*Tabelle A1-14*), für die Landerichtung Ereignis-Nr. 56 (*Tabelle A1-5*). Beide Ereignisse liegen innerhalb des 15-km-Sektors für Hauptstart / Landebahnen gem. Luftverkehrsgesetz / 4 /. Die Sicherheitsflächen, die eine Länge von max. 1000 m aufweisen sollen (siehe Seite 26), werden dabei ebenfalls berücksichtigt. Sie werden als Bestandteil der Einflugschneise aufgefasst.

### 7.2.1 Die Häufigkeitsverteilung der Absturzereignisse

In *Bild 19* sind die Anzahl der Abstürze in der Startrichtung als Balkendiagramm dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass die Absturzereignisse mit wachsendem Abstand von der Bahnschwelle abnehmen. Die schwarzen Balken im Intervall 24 und 26 bedeuten, dass diese Absturzereignisse für die statistischen Tests nicht mehr relevant waren, dass nur bis zu einer Tiefe von  $21 \times 300 \text{ m} = 6300 \text{ m}$  keine signifikante Abweichung von einer Exponentialverteilung angenommen werden durfte.

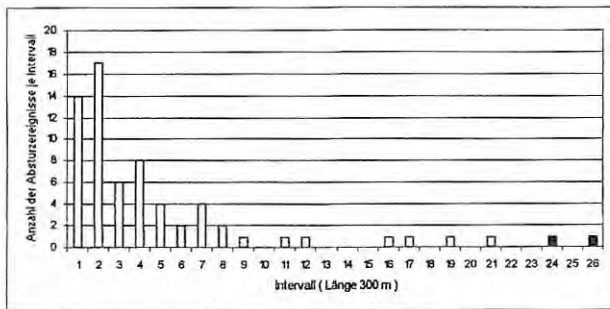


Bild 19: Häufigkeitsverteilung der Absturzorte in Startrichtung

Die Untersuchung der Absturzvektoren in der Startrichtung hat ergeben, dass bei Verwendung von höheren Intervalllängen, also von 350 bzw. 400 m, kein

Testverfahren zu einer Bestätigung einer exponentiell verteilten Häufigkeit der Absturzorte führt. Dies ist vor allen Dingen auf die vergleichsweise geringere Anzahl von Daten zurückzuführen, andererseits auch auf die hohe Absturzdichte im Bereich von 0 – 1000 m.

In *Bild 20* ist dieselbe Vorgehensweise für die Landerichtung, also für die Einfugschneise, dargestellt. Im Gegensatz zur Startrichtung sind die Absturzorte gleichmäßiger verteilt, d.h. es existieren auch relativ viele Einzelereignisse im Bereich zwischen 4000 und 6400 m. Dadurch führen die statistischen Testverfahren zu einer Bestätigung einer Exponentialverteilung bis in einen Bereich von  $18 \times 400 \text{ m} = 7200 \text{ m}$ .

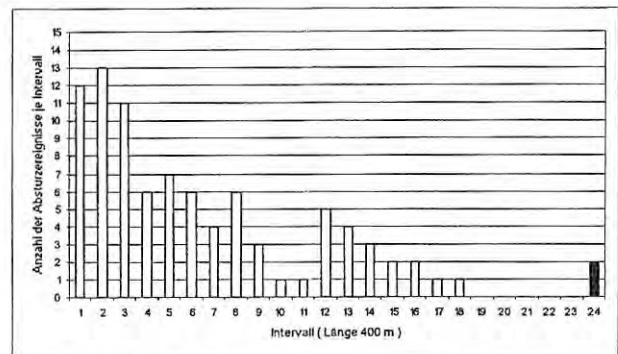


Bild 20: Häufigkeitsverteilung der Absturzorte in Landerichtung

## 8 Die Analyse der Absturzvektoren

### 8.1 Statistische Analyse der Absturzorte, Prüfung auf Exponentialverteilung

Die Gefährdung eines Objektes in den Start – und Einfugschneisen infolge eines Flugzeugabsturzes ist auf zwei miteinander verknüpfte, jedoch formal unabhängige Ereignisse zurückzuführen. Zum einen durch die systemimmanente spezifische Absturzhäufigkeit  $P_{SA}$  der betrachteten Startgewichtsklasse von Luftfahrzeugen und zum anderen durch die spezifische Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{ST}$ , d.h. der Wahrscheinlichkeit, dass dieses Objekt entweder durch einen Direkttreffer oder die Wrackteilstreuung zerstört oder beschädigt wird. Die systemimmanente spezifische Absturzhäufigkeit kann auch als die Versagenswahrscheinlichkeit des „Systems Besatzung / Luftfahrzeug“ aufgefasst werden, sie beträgt nach  $15 / \text{ca. } 10^{-6}/a$ , d.h. bei einer Million Starts und Landungen muss mit einem Unfallereignis gerechnet werden. Beide Ereignisse, der Absturz des Luftfahrzeugs (A) und der Treffer eines bestimmten Gebietes (T), sind miteinander verknüpft; man sagt, sie stellen zwei Ereignisse aus einem gemeinsamen Grundraum dar. Das Ereignis „Treffer“ (T) kann nur dann eintreten, wenn das Ereignis „Absturz“ (A) erfolgt ist, so dass gilt

$$P(T/A) = P(T \cap A) / P(A)$$

d.h. als bedingte Wahrscheinlichkeit des Ereignisses T unter der Bedingung A. Daraus folgt mit dem Multiplikationssatz für bedingte Wahrscheinlichkeiten:

$$P(T \cap A) = P(A) \times P(T/A)$$

der besagt, dass die Wahrscheinlichkeit  $P(T \cap A)$ , ein bestimmtes Flächenelement zu treffen, gleich dem Produkt der Einzelereignisse  $P(A)$  und  $P(T/A)$  ist. Da die systemimmanente spezifische Absturzhäufigkeit  $P_{SA}$  bekannt ist, muss jetzt nur noch versucht werden, die Wahrscheinlichkeit  $P_{ST}$  zu ermitteln. Dies kann jedoch unter Zugrundelegung der gesammelten Daten (Absturzvektoren, Tabelle A) erfolgen. Aus *Bild 18* ist zu sehen, dass die Absturzorte nach einem bestimmten Muster angeordnet sind, d.h. sie sind entlang des Gleitpfades, auch mit seitlichem Versatz, angeordnet. Diese Absturzorte (identisch mit dem Punkt der ersten Bodenberührung) können als Zufallsgröße X aufgefasst und mit dem Ziel untersucht werden, die Verteilungsfunktion  $F(x)$  dieser Zufallsgröße zu ermitteln. Bei der hier betrachteten Zufallsgröße X können die Wahrscheinlichkeiten der Ereignisse  $X \leq t$  zur Grundlage genommen werden. Man erhält so die Funktion

$$F_x(t) = P(X \leq t),$$

die als Verteilungsfunktion der Zufallsgröße X bezeichnet wird. Mit Hilfe dieser Verteilungsfunktion

$F_x(t)$  ist es dann möglich, aus den beobachteten Absturzereignissen des Untersuchungszeitraumes auf die Grundgesamtheit zu schließen, d.h. auch auf zukünftige Realisierungen der Zufallsgröße  $X$ . Da es sich bei dieser Zufallsgröße um eine stetige Zufallsgröße handelt (sie kann innerhalb eines Intervalls beliebig viele Werte annehmen), kann durch die Angabe einer Dichte, die durch die Ableitung der Verteilungsfunktion gewonnen werden kann, eine Wahrscheinlichkeitsverteilung ermittelt werden. Durch die Angabe der Dichte ist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung eindeutig bestimmt. Aus der Verteilungsfunktion der Exponentialverteilung  $F_x(t) = 1 - e^{-\lambda t}$  mit dem einzigen Parameter  $\lambda$  erhält man durch differenzieren die entsprechende Dichte

$$f_x(t) = F'_x(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t} & \text{für } t \geq 0 \\ 0 & \text{für } t < 0 \end{cases}$$

Daraus ergibt sich die Wahrscheinlichkeit zu:

$$P(a < X \leq b) = \int_a^b \lambda e^{-\lambda t} dt$$

Die Bedeutung des Parameters  $\lambda$  lässt sich anhand *Bild 21* erläutern. Ein hoher  $\lambda$ -Wert bedeutet, dass die Dichte nahe des Koordinatenursprungs sehr hoch ist und mit wachsendem Abstand schneller fällt, als dies bei niedrigen  $\lambda$ -Werten der Fall ist.

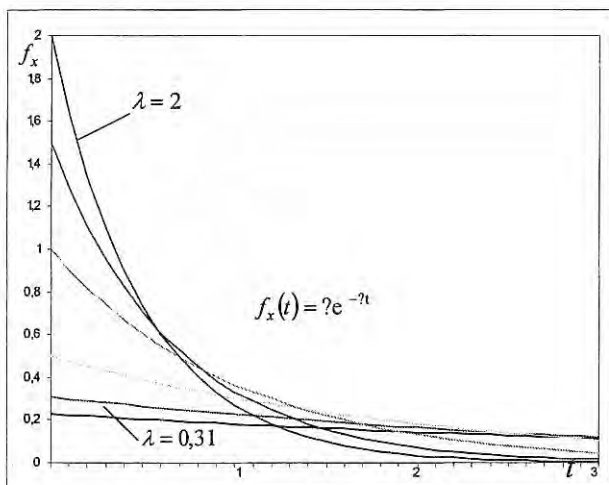


Bild 21: Dichtefunktionen verschiedener Ex-Verteilungen

Die Dichtefunktion einer stetigen Zufallsgröße ist als ein Maß für die Häufigkeit des Eintritts eines Ereignisses zu verstehen. Im hier vorliegenden Fall bedeutet dies, dass z.B. der Kurvenverlauf der Dichtefunktion einer Exponentialverteilung die Ereignishäufigkeit der Anzahl der Abstürze in Start- und Landerichtung besser als die Verteilungsfunktion beschreibt. Werden z.B. die Kurvenverläufe der Dichtefunktionen und die Darstellung der Häufigkeitsverteilungen der Abstürze (*Bilder 19 und 20*) verglichen, so sind die Ähnlichkeiten in den Kurvenverläufen unverkennbar. In *Bild 22* sind zum Vergleich einige Verteilungsfunktionen dargestellt.

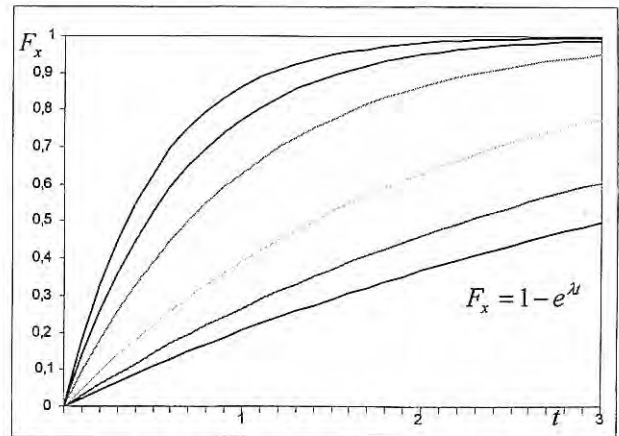


Bild 22: Verteilungsfunktionen verschiedener Ex-Verteilungen

## 8.2 Die Abschätzung des Parameters $\lambda$

Die  $x_1, \dots, x_n$  beobachteten Absturzereignisse in ein 400-m-Intervall sind als Realisierung der Zufallsgrößen  $X_1, \dots, X_n$  aufzufassen. Kennt man die Verteilungen dieser Zufallsgrößen, so ist es möglich, Annahmen über künftige Ereignisse zu treffen. Es muss darum versucht werden, eine möglichst genaue Schätzung des unbekanntes Parameters  $\lambda$  der Verteilungen der Zufallsgrößen  $X_i$  anzugeben.

Es ist also eine Schätzfunktion  $\theta'(x_1, \dots, x_n)$  zu bestimmen, die den  $x_1, \dots, x_n$ -Ereignissen einen Wert zuordnet, der dem Wert des gesuchten Parameters  $\theta$  möglichst nahe kommt. Da die Zufallsgrößen  $X_1, \dots, X_n$  Realisierungen von zufälligen Ereignissen sind, unterliegen statistische Schätzungen ebenfalls dem Zufall. Deshalb ist an die Schätzfunktion die Forderung zu stellen, dass sie die Tendenz richtig beschreibt, d.h., dass sie erwartungstreu ist und im Mittel den richtigen Wert liefert:

$$E\theta'(X_1, \dots, X_n) = \theta$$

Eine weitere Eigenschaft einer Schätzmethode muss sein, dass sie mit steigender Anzahl von Beobachtungen immer genauere Werte liefert, man sagt dass sie konsistent sein muss.

Darüber hinaus gibt es noch eine weitere Forderung, welche die Güte einer Schätzfunktion beurteilen soll, den mittleren quadratischen Fehler. Die Frage der Güte ist immer dann interessant, wenn Erwartungstreue und Konsistenz aufgrund mangelhafter Auswertungen bezweifelt werden müssen. Auf die sogen. Verzerrung der Schätzfunktion soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Der Erwartungswert einer  $Ex(\lambda)$ -Verteilung ist  $1/\lambda$ , so dass sich als Punktschätzer für  $\lambda$  die Größe eignet.

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} = \frac{1}{\bar{x}}$$

Die  $x_i$  bezeichnen die Anzahl der Treffer in ein Intervall  $i$ ,  $n$  bezeichnet die Anzahl der getroffenen Intervalle.

Für die Angabe einer Wahrscheinlichkeit des Treffers in ein Intervall  $i$  müssen also die Parameter  $\lambda$  für die Start – und Landerichtung nach o.g. Verfahren abgeschätzt und danach durch geeignete statistische Tests bestätigt werden.

### 8.3 Der Kolmogoroff–Smirnov–Anpassungstest

Der Kolmogoroff - Smirnov - Anpassungstest wird vor allen Dingen bei kleinen Stichprobenumfängen angewendet um festzustellen, ob die Beobachtungen  $x_1, \dots, x_n$  Realisierungen einer Zufallsvariablen mit stetiger Verteilungsfunktion sind. Im Folgenden wird der Algorithmus erläutert.

Zunächst wird der Parameter  $\lambda$  aus der Stichprobe geschätzt. Unter Stichprobe sind hier die Absturzereignisse in die Start – bzw. Einfugschneise, zu verstehen (siehe Bild 19 und 20 in Kap. 7.2.1).

Für die Startrichtung (15 getroffene Intervalle mit insgesamt 64 Absturzereignissen) erhält man z.B.:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} = \frac{1}{\frac{1}{15} \times 64} = 0,23$$

Danach wird zu jedem  $x_i$  die empirische Verteilungsfunktion  $S_n(x_i)$  berechnet. Es folgt die Ermittlung der hypothetischen Verteilungsfunktion  $F_0(x_i)$ , errechnet mit  $F_0(x_i) = 1 - e^{-\lambda x_i}$ . Diese Vorgehensweise ist für Start – bzw. Einfugschneise in Bild 23 und 24 dargestellt. Schließlich erfolgt die Bildung der Differenz zwischen hypothetischer und empirischer Verteilungsfunktion nach

$$F_0(x_i) - S_n(x_{i-1}) \text{ und } S_n(x_i) - 1 + e^{-\lambda x_i}$$

Der größte Wert wird zur Errechnung der Prüfgröße

$$\sqrt{n} L_n^{\text{exp}}$$

benutzt und mit den kritischen Werten  $L_{n;1-\alpha}^{\text{exp}}$  zum Test auf nicht spezifizierte Exponentialverteilung verglichen. Ist diese Prüfgröße kleiner als der kritische Wert, so ist aus den Daten keine zum Niveau  $\alpha = 0,05$  signifikante Abweichung von einer Exponentialverteilung zu erkennen. Die kritischen Werte können aus Tafelverzeichnissen bzw. Fachbüchern / 23 / entnommen werden. Die Ergebnisse der Tests sind in den Tabellen A4-1 und A4-2 bzw. A6-1 bis A6-3 dokumentiert.

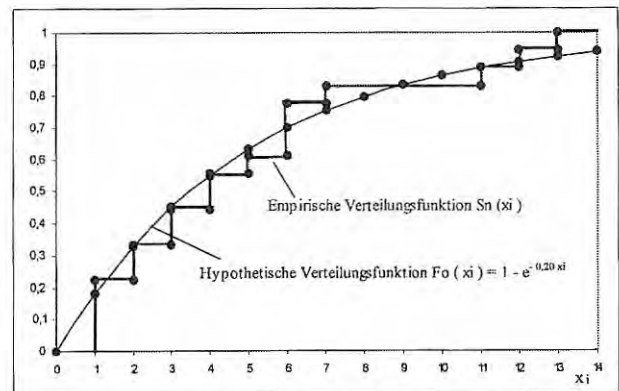


Bild 23: Hypothetische und Empirische Verteilungsfunktion einer Ex (0,20)–Verteilung

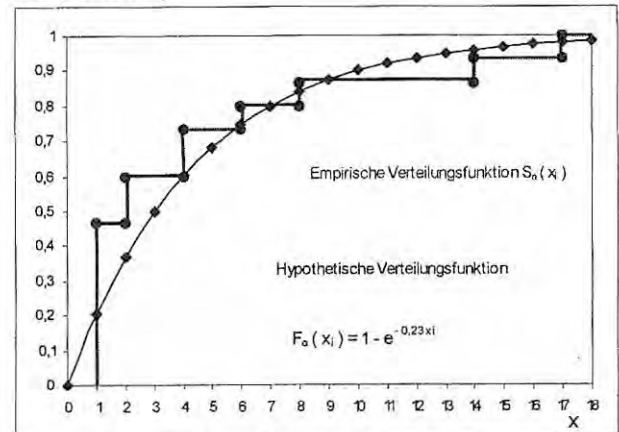


Bild 24: Hypothetische und Empirische Verteilungsfunktion einer Ex (0,23)–Verteilung

### 8.4 Der $\chi^2$ - Anpassungstest

Nachdem mit dem Kolmogoroff–Smirnov–Test eine erste Vorstellung über die Größe des Parameters  $\lambda$  gewonnen wurde kann nun mit einem parameterfreien Testverfahren dieses Ergebnis evaluiert werden.

Mit Hilfe des  $\chi^2$ -Anpassungstestes kann die Hypothese

- $H_0$  :  $x_1, \dots, x_n$  sind Realisationen einer exponentialverteilten Zufallsvariablen  $X$  mit der Verteilungsfunktion  $F(x)$  gegen die Alternative (Nullhypothese)
- $H_1$  :  $x_1, \dots, x_n$  sind keine Realisationen einer exponentialverteilten Zufallsvariablen Alternativhypothese)

zum Signifikanzniveau  $\alpha$  getestet werden. Damit ist gemeint, dass bei Gültigkeit der Nullhypothese diese höchstens mit einer kleinen Irrtumswahrscheinlichkeit, die mit  $\alpha$  bezeichnet wird, behaftet ist. Wird jedoch die Nullhypothese verworfen, dann wird dieser Unterschied signifikant. Dieser zulässige Wert  $\alpha$  wird deshalb auch als Signifikanzniveau bezeichnet und hat eine übliche Größe von 0,05 bzw. 5 %.

Dabei wird im vorliegenden Fall zweckmäßigerweise derart vorgegangen:

1. Auflistung aller Intervalle entlang der Starttrichtung bis zu demjenigen, das noch ein Ereignis enthält.
2. Zuordnung der im Intervall  $i$  beobachteten Ereignisse  $O_i$  ( $O$  = Observed).
3. Berechnung der unter der Exponentialverteilungshypothese erwarteten Anzahl  $E_i$  der Beobachtungen im  $i$ -ten Intervall mit  $E_i = n \times p_i$  ( $E$  = Expected), wobei  $p_i$  die Wahrscheinlichkeit angibt, mit der die Zufallsvariable  $X$  unter der Hypothese  $H_0$  Werte aus dem Intervall  $I_i$  annimmt, z.B.

$$p_1 = P(X \in (0;1)) = F(1) - F(0) = (1 - e^{-\lambda \times 1}) - (1 - e^{-\lambda \times 0})$$

bzw.

$$p_7 = P(X \in (6;7)) = F(7) - F(6) = (1 - e^{-\lambda \times 7}) - (1 - e^{-\lambda \times 6})$$

$$= e^{-\lambda \times 6} - e^{-\lambda \times 7} \text{ usw.}$$

4. Berechnung der Prüfgröße

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Die Nullhypothese muss verworfen werden, wenn gilt:

$$\chi^2 > \chi^2_{k-1;1-\alpha}$$

Mit anderen Worten, das Prinzip dieses Anpassungstests besteht darin, die empirischen Klassenhäufigkeiten mit denjenigen zu vergleichen, die man erhalten würde, wenn man eine hypothetische Verteilungsfunktion  $F(x)$  annimmt. Da die hierzu verwendete Testgröße eine  $\chi^2$ -Verteilung hat, wird dieses Testverfahren  $\chi^2$ -Anpassungstest genannt. Dabei ist jedoch folgendes zu beachten: Die Approximation durch die  $\chi^2_{k-1}$ -Verteilung ist nur dann hinreichend genau, wenn kein  $E_i = n \times p_i$  kleiner als 5 und kein Wert  $E_i$  kleiner als 1 ist. Gegebenenfalls muss eine Zusammenfassung der Intervalle erfolgen.

Die Werte der  $\chi^2$ -Verteilung sind statistischen Tafelwerken zu entnehmen. Sämtliche  $\chi^2$ -Tests sind in den Tabellen A4-4, A7-1 und A7-2 des Anhangs aufgeführt.



## 9 Die Ergebnisse der statistischen Tests

Gemäß der in Kap. 7.2 dargelegten Vorgehensweise werden die Start- und Einflugschneise (siehe auch Bild 18, Seite 27) systematisch mit dem Test auf Vorliegen einer Exponentialverteilung nach Kolmogoroff - Smirnov und dem  $\chi^2$ -Anpassungstest untersucht. Dabei wird zunächst nach dem in Kap. 8.2 dargelegten Verfahren der Parameter  $\lambda$  abgeschätzt und mit diesem der Kolmogoroff - Smirnov-Test durchgeführt. Nach Bestätigung wird mit diesem Parameter der  $\chi^2$ -Test vorgenommen.

Nur wenn durch beide Testaussagen übereinstimmend ermittelt wurde, dass mit einer Exponentialverteilung gerechnet werden darf, können nun gemäß

$$f_x(t) = F'_x(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t} & \text{für } t \geq 0 \\ 0 & \text{für } t < 0 \end{cases}$$

die Wahrscheinlichkeit eines Treffers in ein vorgegebenes Gebiet abgeschätzt werden. Die Verteilungsfunktionen sind gegeben mit:

$$F_x(X) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

Die Wahrscheinlichkeit des Absturzes in das Intervall  $i = 0 - 400$  m ergibt sich z.B. dann zu:

$$P(0 \leq i \leq 400) = F_x(1) - F_x(0) = (1 - e^{-\lambda \cdot 1}) - (1 - e^{-\lambda \cdot 0}) = 1 - e^{-\lambda}$$

bzw. in das Intervall 400 - 800 m :

$$P(400 \leq i \leq 800) = F_x(2) - F_x(1) = 1 - e^{-\lambda \cdot 2} - 1 + e^{-\lambda \cdot 1} = e^{-\lambda \cdot 1} - e^{-\lambda \cdot 2}$$

und

$$P(5600 \leq i \leq 6000) = F_x(16) - F_x(15) = 1 - e^{-\lambda \cdot 16} - 1 + e^{-\lambda \cdot 15} = e^{-\lambda \cdot 15} - e^{-\lambda \cdot 16}$$

Auf diese Weise ergeben sich in Anlehnung an / 5 / die in den Tabellen A-5 und A-8 aufgeführten spezifischen Trefferwahrscheinlichkeiten  $P_{ST}$ . Definitionsgemäß errechnet sich daraus eine territoriale Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{TT}$  indem diese mit der spezifischen Absturzhäufigkeit  $P_{SA}$  multipliziert wird (siehe auch Kap. 8.1). Da  $P_{SA}$  bekannt ist / 15 /, und die akzeptable territoriale Trefferwahrscheinlichkeit nach / 5 / mit  $1,5 \times 10^{-8}$  anzunehmen ist, ergibt sich in der Startrichtung eine ca. 3600 m tiefe Ausschlussfläche, in der Landerichtung ist diese 5200 m lang. Da es grundsätzlich möglich ist, die Start- und Landerichtung witterungsbedingt zu wechseln bzw. auferlegten Gegebenheiten anzupassen (z.B. Lärmschutz), ist die neue Ausschlussfläche mit 5200 m, jeweils in beide Richtungen, vorzusehen.

## 10 Zusammenfassende Bewertung

Die Zielstellung dieses Forschungsberichtes bestand darin, Erkenntnisse darüber zu vermitteln, wie die Risiken des Luftverkehrs unter dem Aspekt der Störfallvorsorge und des Katastrophenschutzes in den Einflugschneisen von Flughäfen einzuschätzen und zu bewerten sind. Dabei waren drei Gesichtspunkte zu untersuchen:

- Das Risiko für einen Anlagenstandort gem. Störfallverordnung,
- das Risiko für die in den Einflugschneisen wohnende oder tätige Bevölkerung und
- das Risiko für die Passagiere und Besatzungen.

Darüber hinaus wurden Feststellungen zur Anlagensicherheit unter dem Aspekt von Terroranschlägen mit Großraumflugzeugen getroffen.

Zusammenfassend sind folgende Empfehlungen auszusprechen :

**A )** Die Ausschlussfläche gem. Pkt. 3.2.4.2 der Zweiten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift / 3 /, die bislang

das Areal der nach § 12 des Luftverkehrsgesetzes / 4 / definierten Einflugschneise bis zu einer Tiefe von 4000 m umfasste, ist auf 5200 m zu vergrößern. Innerhalb dieser Fläche ist die Errichtung von sogen. Störfallanlagen nicht zu empfehlen. Diese Regelung sollte jedoch nur für neu zu errichtende Anlagen umgesetzt werden. Anlagen, die sich auf Grund der in diesem Forschungsbericht veröffentlichten Erkenntnisse in diesem erweiterten Bereich befinden würden, sollten einen Bestandsschutz erhalten.

**B )** Wie die Untersuchungen gezeigt haben, ist das Todesfallrisiko der in den Einflugschneisen angesiedelten bzw. tätigen Bevölkerung insgesamt geringer als das der in den Luftfahrzeugen befindlichen Personen einzuschätzen. In den Einflugschneisen befindliche Siedlungsgebiete, die sich an der Bauhöhenbeschränkung des Luftverkehrsgesetzes orientieren, sind darum nicht grundsätzlich zu verwerfen und können im allgemeinen toleriert werden.

**C )** Im vorliegenden Forschungsbericht wurde festgestellt, dass sich die Absturzorte in der Mehrzahl der Fälle in direkter Verlängerung der Start – und Landebahnen befinden. Aus diesem Grund sollten sich in ei-

nem 100 m breiten Streifen, jeweils 50 m beiderseits der verlängerten Achse der Start- und Landebahnen, keine Baulichkeiten befinden, die auf Grund ihrer Zweckbestimmung eine hohe Bevölkerungsdichte bzw. einen hohen Publikumsverkehr aufweisen, siehe dazu Bild 25. Dies sind insbesondere Einkaufszentren, Stadien, Hotels, Schulen, Heime usw. Auch hier ist auf Grund wirtschaftlicher Erwägungen auf eine Bestandschutzregelung zu verweisen.

Wie in Kapitel 2.1 und 3.2 dargelegt wurde, ist die derzeitige Flächennutzung in der Umgebung großer Verkehrsflughäfen auf geschichtliche Hintergründe und Besonderheiten zurückzuführen. Auf Grund dieser Tatsache ist es nicht angemessen, bestehende Bebauungsverhältnisse zu verändern bzw. bestehende Bauten abzureißen. Dies ist auf Grund der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit nicht vernünftig und wirtschaft-

lich vermittelbar. Es ist jedoch sehr zu empfehlen, die Resultate dieses Forschungsberichtes zur Flächenplanung in der Peripherie von neu zu errichtenden Verkehrsflughäfen heranzuziehen. Durch diese Vorsorgemaßnahmen ist eine längerfristige und vor allen Dingen nachhaltige Minimierung des Risikos für alle Betroffenen erreichbar. Der Missbrauch von Großraumflugzeugen für terroristische Ziele muss durch technische und organisatorische Maßnahmen kompensiert bzw. abgewendet werden.

Hinsichtlich des Zerstörungspotentials ist die Übertragung älterer Untersuchungen auf die aktuelle Situation nur mit Abschlägen möglich, dazu besteht weiterer Forschungsbedarf. In Kap. 4.2 wurde dies aus der sich im Laufe der Zeit veränderten Triebwerkskonstruktionen abgeleitet. Weitere Erkenntnisse zu diesem Aspekt sollten mit separaten Untersuchungen gestützt werden.

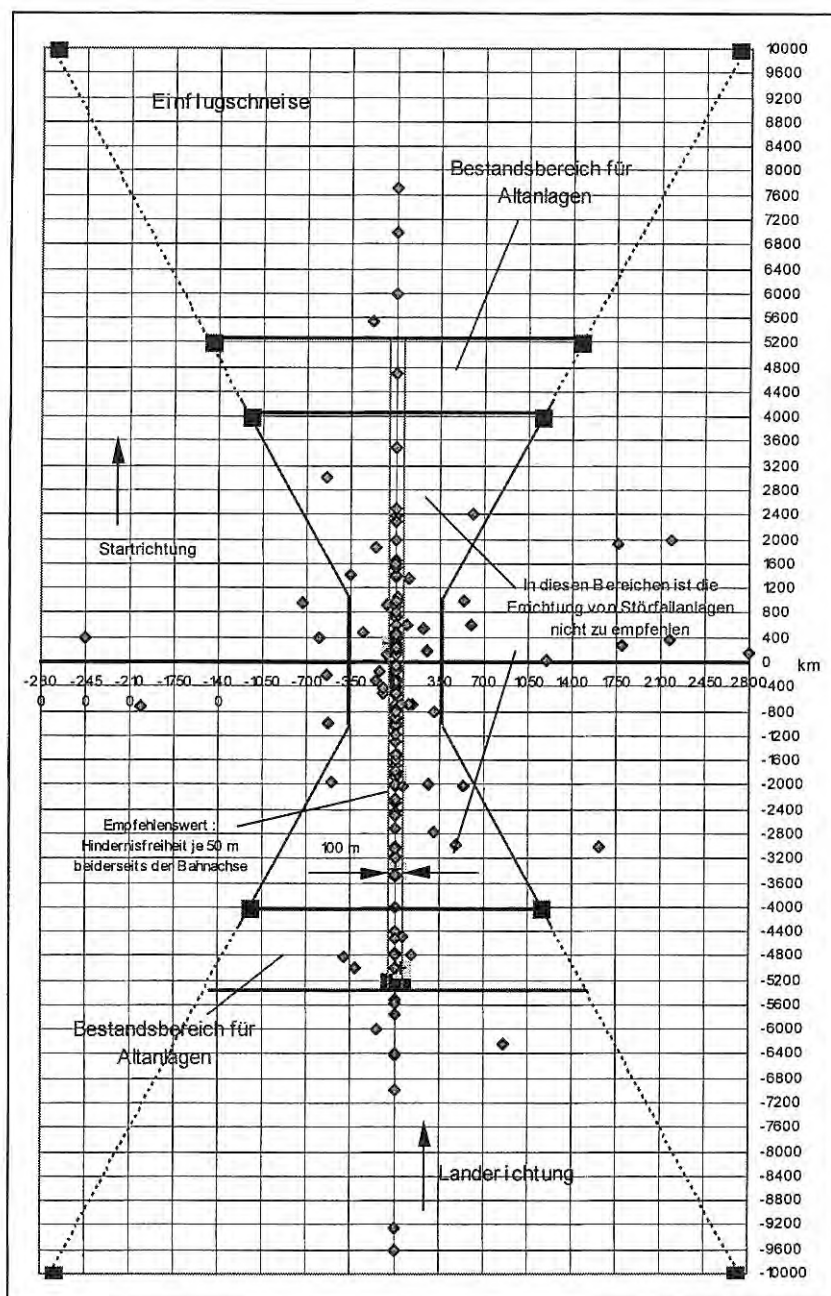


Bild 25: Ausschlussfläche in den Einfugschneisen von Verkehrsflughäfen beim Betrieb von Luftfahrzeugen > 5.700 kg Startgewicht

## 11 Literaturverzeichnis

- / 1 / Kommission der europäischen Gemeinschaften : Die Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips, Brüssel 02.02.2000
- / 2 / Richtlinie 96/82/EG des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen; Abl. EG Nr.L 10 vom 14.Januar 1997
- / 3 / Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Störfall – Verordnung( 2. StörfallVwV ) vom 27. April 1982 ( GMBI. S. 205 ) bzw. Entwurf einer Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Störfall-Verordnung ( StörfallVwV ), Pkt. 9.2.6.1.2 b), Referat IG I 4(G), Bonn, 05.07.2002
- / 4 / Luftverkehrsgesetz ( LuftVG ) vom 14. Januar 1981 ( BGBl. I S.61 ); § 12
- / 5 / Bundesanstalt für Materialforschung und – prüfung; Forschungsbericht 231 : Festlegung von Ausschlussflächen in Start – und Einflugschneisen von Flughäfen und Landeplätzen gemäss Störfallverordnung, Berlin 1999
- / 6 / Kreuzer, H.: Moderne Verkehrsflugzeuge & Business Jets, Air Gallery Edition, Erding 2001/2002
- / 7 / Pletschacher, P.; Sattlberger, Ch.: „ Das größte Flugzeug der Welt - jetzt fliegt es wieder !“, P.M. 5/2002, S. 56-62
- / 8 / Meyer, J.: Brandschutz auf Flughäfen, brandschutz / Deutsche Feuerwehr-Zeitung 7/1972, S. 228 – 235
- / 9 / Goede, W.C.: „ Das crash sichere Flugzeug“, P.M. 6/2002, S.32-33
- / 10 / Ale, B.J.M.; Piers,M.: "The assessment and management of third party risk around a major airport", Journal of Hazardous Materials 71 (2001), 1-16
- / 11 / <http://ns.gov.gu/guam/>: Korean Air Flt 801
- / 12 / VDI nachrichten, 19.Okttober 2001, Nr.42, Seite 28 : "Flugzeugattentate auf Kernkraftwerke bieten Terroristen nur geringe Erfolgschancen"
- / 13 / Hoeveler, P.: „ Giganten - die stärksten zivilen Turbofans der Welt“, FLUG REVUE, November 2001, S.94-99
- / 14 / Dräger, P.: Zur Widerstandsfähigkeit von Sicherheitsbehältern für Kernkraftwerke gegen Terror-attacken mit großen Verkehrsflugzeugen, [www.energie-fakten.de](http://www.energie-fakten.de), 21.01.2002
- / 15 / Boeing: Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, Worldwide Operation 1959-1999 ;[www.boeing.com/news/techissues](http://www.boeing.com/news/techissues), June 2000
- / 16 / The National Transportation Safety Board, NTSB : <http://www.nts.gov/aviation>
- / 17 / Ranter,H.; Lujan, F : Aviation Safety Network : <http://aviation-safety.net>.
- / 18 / Roelen, A.L.C.; Pikaar,A.J.; Ovaa,W.: "An analysis of the safety performance of air cargo operators, National Aerospace Laboratory NLR-TP-2000-210, March 2000
- / 19 / Matthews, S.: Presidents´s Remarks; <http://www.flightsafety.org/president>
- / 20 / Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes(Störfall-Verordnung-12.BImSchV) in der Fassung vom 27.6.1980 ( BGBl. I S.772 )
- / 21 / Richtlinie 82/501/EWG des Rates vom 24.Juni 1982 über die Gefahren schwerer Unfälle bei bestimmten Industrietätigkeiten
- / 22 / Internationale Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) : Flugplätze – Anhang 14 zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt, Quebec, Kanada, übersetzt bei der Bundesanstalt für Flugsicherung, Frankfurt/Main, März 1983
- / 23 / Hartung, J.: „ Statistik – Lehr – und Handbuch der angewandten Statistik“,R.Oldenbourg Verlag München Wien, 1993

## Anhang

- Tabellen A1 - 1 bis A1 - 16 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977-2002
- Tabellen A2 - 1 bis A2 - 5 : Impact coordinates in take-off and approach direction, age of aircraft at that time of accident, nature of flight and causes of accidents
- Tabellen A3 - 1 bis A3 - 7 : Unfallphasen, Tote und Verletzte im Luftfahrzeug und am Boden
- Bild 26 – 28 : Häufigkeitsverteilung der Absturzorte in Startrichtung
- Bild 29 – 31 : Häufigkeitsverteilung der Absturzorte in Landerichtung
- Tabelle A4 - 1 : Test auf Exponentialverteilung nach Kolmogoroff-Smirnov;  $\lambda = 0,25$
- Tabelle A4 - 2 : Test auf Exponentialverteilung nach Kolmogoroff-Smirnov;  $\lambda = 0,24$
- Tabelle A4 - 3 : Test auf Exponentialverteilung nach Kolmogoroff-Smirnov;  $\lambda = 0,23$
- Tabelle A4 - 4 :  $\chi^2$  - Anpassungstest für die Exponentialverteilung  $Ex(0,23)$
- Tabelle A - 5 : Territoriale Trefferwahrscheinlichkeit in die 300-m-Intervalle / Startrichtung
- Tabelle A6 - 1 : Test auf Exponentialverteilung nach Kolmogoroff-Smirnov;  $\lambda = 0,21$
- Tabelle A6 - 2 : Test auf Exponentialverteilung nach Kolmogoroff-Smirnov;  $\lambda = 0,20$
- Tabelle A7 - 1 :  $\chi^2$  - Anpassungstest für die Exponentialverteilung  $Ex(0,21)$
- Tabelle A7 - 2 :  $\chi^2$  - Anpassungstest für die Exponentialverteilung  $Ex(0,20)$
- Tabelle A - 8 : Territoriale Trefferwahrscheinlichkeit in die 400-m-Intervalle / Landerichtung

Tab A1-1: Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 - 2002 SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer ( an Bord )	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built	Maximum Take-off- weight (MTOW)	Phase of accident	Nature of flight	Fatalities ( on board )	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ]      y [ m ]
1	13.01.77	Anchorage, USA	MD DC-8-62AF 1971	142.884	Initial Climb	F	5 (5)			0                      + 300
2	15.01.77	Kalvesta, Sweden	Vickers Viscount 1961	29.260	Initial Approach	SP	22 (22)		Parking lot	0                      - 5000
3	11.02.77	Bratislava, Slovak R.	Ilyushin 14 1960	18.000	Final Approach	F	4 (5)		Trees	0                      - 1800
4	14.05.77	Lusaka, Zambia	Boeing 707-321C 1963	151.000	Final Approach	F	6 (6)		pcf	0                      - 3360
5	25.08.77	Keahole, USA	Shorts Skyvan 1968	10.387	Final Approach	F	2 (2)		pcf	0                      - 1067
6	12.09.77	Yakutat, USA	Douglas DC-7BF 1957	48.534	Initial Climb	F	4 (4)		Logged area	0                      + 4700
7	01.03.78	Los Angeles, USA	MD DC-10-10 1972	263.085	Take - off overran	SP	2 (200)			+ 12                      + 200
8	04.04.78	Gosselies, Belgium	Boeing 737-229 C 1975	52.3910	Take - off overran	T	0 (3)			0                      + 300
9	08.05.78	Escambia Bay, USA	Boeing 727-235 1968	83.820	Final Approach	SP	3 (58)			0                      - 5500
10	26.06.78	Toronto, Canada	MD DC-9-62 1968	54.885	Take - off overran	SP	2 (107)			0                      + 190
11	25.07.78	Kalamazoo, USA	Convair 580 1956	26.371	Initial Climb	SP	0 (43)		Wreckage trail 175 x 26 m, disintegrated over a 132 m distance, cornfield	- 2450                      + 970
12	15.11.78	Colombo, Sri Lanka	MD DC-8-63F 1968	161.025	Final Approach	NSP	183 (262)		Coconut plantation	0                      - 1810
13	17.12.78	Hyderabad, India	Boeing 737-2A8 1971	52.391	Take - off	SP	1 (132)		pcf	+ 105                      + 390
14	10.03.79	Los Angeles, USA	Nord 262A-33 1967	10.800	Climb	SP	3 (7)			+2176                      + 1990

Tab.A1-2 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 – 2002 SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg) Maximum Take-off- weight (MTOW)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer (an Bord)	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built	Maximum Take-off- weight (MTOW)	Phase of accident	Nature of flight	Fatalities (on board)	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ]      y [ m ]
15	25.05.79	Chicago, USA	MD DC-10-10 1972	263.085	Take-off	SP	271 (271)	2	Trailer park, pcf, wreckage trail 220 x 110 m	- 350      +1370
16	08.10.79	Athens, Greece	MD DC-8-62 1967	161.000	Landing, overran	SP	14 (154)		pcf	0      + 80
17	21.06.80	Chiang Rai, Thailand	HS-748-243 1970	21.092	Take-off overran	SP	0 (21)			- 160      + 351
18	22.06.80	Columbus, USA	Lockheed L-1049 ?	62.368	Initial climb	F	3 (8)		Soyabean field, pcf	- 97      + 1402
19	07.08.80	Nouadhibou, Mauretania	Tupolev 154 1978	100.000	Final Approach	SP	1 (168)			0      - 300
20	25.07.81	Caruru, Colombia	Douglas C-53D ?	11.500	Final Approach	SP	4 (9)			0      - 500
21	13.01.82	Washington, Potomac River, USA	Boeing 737-222 1969	52.391	Initial Climb	SP	74 (79)	4	Bridge, 7 cars	0      + 1390
22	20.03.82	Tanjung, Indonesia	Fokker F-28 1974	33.110	Landing	SP	27 (27)		Field, pcf	0      + 700
23	22.05.82	Florianapolis, Brasil	Embraer 110 P	5.900	Final Approach	SP	0 (4)		Crashed into a swamp	0      - 1850
24	22.06.82	Bombay, India	Boeing 707-437 1960	151.315	Landing	SP	19 (111)			0      - 400
25	09.07.82	New Orleans, USA	Boeing 727-235 1968	83.820	Initial Climb	SP	145 (145)	8	6 houses destroyed, 5 substantially, pcf	0      + 1405
26	11.07.82	Jolo, Philippines	HS-748-209 1967	21.092	Take-off overran	SP	1 (30)		Some vehicles	0      + 270
27	13.09.82	Malaga, Spain	MD DC-10-30 CF 1977	263.085	Take-off	NSP	50 (394)		Railway embankment, pcf	0      + 450
28	17.09.82	Shanghai, China	MD DC-8-61 1971	142.884	Landing	SP	0 (124)		Drainage ditch	+ 884      + 102

Tab. A1-3: Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 - 2002 SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg) Maximum Take-off- weight (MTOW)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer (an Bord)	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built		Phase of accident	Nature of flight	Fatalities (on board)	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ]      y [ m ]
29	09.12.82	La Serena, Chile	Fairchild F-27A 1959	20.820	Final Approach	SP	46 (46)		pcf	0              - 2010
30	23.12.82	Rostov, Russia	Antonov 26 ?	21.000	Initial Climb	?	16			+ 2796              + 1645
31	15.02.83	Hailey, USA	DHC-6 TO 300 1973	5.670	Final Approach	SP	0 (8)		Crash landing on a highway	0              - 3150
32	02.06.83	Tanjung, Indonesia	Fokker F-28 1978	33.110	Take-off, overran	SP	3 (61)			0              + 138
33	29.06.83	Kuhului, USA	Douglas C-54 G 1945	11.500	Final Approach	F	0 (3)		Cane field	+ 1774              - 1865
34	10.01.84	Sofia, Bulgaria	Tupolev 134 A 1974	47.999	Final Approach	SP	50 (50)		Powerline, forest	0              - 4400
35	30.01.84	Hulman Field, USA	Fairchild Metro III ?	7.257	Initial Climb	T	3 (3)			- 550              + 1920
36	05.08.84	Dakha, Bangladesh	Fokker F-27 1971	20.410	Final approach	SP	49 (49)			0              - 550
37	11.08.84	Memphis, USA	Douglas DC-3C ?	11.430	Initial climb	NSP	3 (3)		Warehouse roof	0              + 3000
38	18.09.84	Quito, Ecuador	MD DC-8-55F ?	142.884	Take-off	F	4 (4)	49	25 houses	+ 612              + 355
39	06.12.84	Jacksonville, USA	Embraer 110 P1 ?	5.900	Initial Climb	SP	13 (13)		pcf	+ 26              + 2377
40	21.01.85	Reno, USA	Lockheed L-188 1960	52.664	Initial Climb	NSP	70 (71)		Store, some mobile homes, pcf	+ 1207              + 2400
41	21.01.85	Johnstown, USA	Gates Learjet 25D ?	8.300	Take-off	?	0 (2)			0              + 1067
42	31.05.85	Nashville, USA	Grumman G-159 1967	16.329	Initial Climb	F	2 (2)			- 524              + 30

Tab. A1-4 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 - 2002 SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg) Maximum Take-off- weight (MTOW)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer (an Bord)	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built		Phase of accident	Nature of flight	Fatalities (on board)	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ] y [ m ]
43	19.06.85	Trenton, USA	Convair VT-29B 1953	22.543	Initial Climb	F	0 (2)		pcf	- 610 + 1609
44	23.06.85	Juara, Brazil	Embraer 110P 1976	5.900	Final Approach	SP	17 (17)			0 - 1000
45	06.09.85	Milwaukee, USA	MD DC-9-14 1968	54.885	Initial Climb	SP	31 (31)		Partially wooded field, 85 m long wreckage path, pcf	+ 317 + 402
46	12.12.85	Gander, Canada	MD DC-8-63F 1969	161.000	Initial Climb	NSP	256 (256)		Wreckage trail: 40x400m, pcf	+ 220 + 910
47	13.03.86	Alpena, USA	Embraer 110P1 ?	5.900	Final Approach	SP	3 (9)		Forest, wreckage path 150 m long	- 90 - 2780
48	10.06.86	Cairo, Egypt	Fokker F-27 1983	20.410	Final Approach	SP	23 (26)		1 building, pcf	? ?
49	22.06.86	Penza, Russia	Tupolev 134 A 1978	47.000	Take-off overran	SP	1 (59)			0 + 530
50	12.12.86	Berlin-SXF, Germany	Tupolev 134 A ?	47.000	Final Approach	SP	70 (82)		Forest, wreckage trail : 50 x 300 m	- 550 - 410
51	06.01.87	Stockholm, Sweden	SE-210 Caravelle 1970	46.000	Take-off	NSP	0 (27)		pcf	0 + 300
52	08.05.87	Mayaguez, Puerto Rico	CASA 212 1982	7.700	Final Approach	SP	2 (6)		pcf	+ 20 - 196
53	16.08.87	Detroit, USA	MD DC-9-82 1981	54.885	Take-off	SP	154 (155)		2 fatalities on ground, one building and some cars damaged by impact and pcf, crash path 900 m long, traversed a railroad embankment and overpasses two highways	0 + 1525



Tab. A1-5 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 - 2002SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer (an Bord)	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built	Maximum Take-off- weight (MTOW)	Phase of accident	Nature of flight	Fatalities (on board)	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ]      y [ m ]
54	30.07.87	Mexico-City, Mexico	Boeing C-97 ?	79.380	Initial-climb	F	5 (12)	44	Highway	?      ?
55	21.12.87	Bordeaux, France	Embraer 120 RT 1986	12.000	Final Approach	SP	16 (16)		Trees	0      - 1500
56	19.01.88	Durango, USA	Swearingen Metro III, 1981	7.484	Initial Approach	SP	8 (17)		Forest, wreckage path 305 m	0      - 9260
57	21.05.88	Dallas-Fort Worth, USA	MD DC-10-30 1973	263.085	Take-off overran	SP	0 (254)			0      + 430
58	26.05.88	Hannover, Germany	Fokker F-27 1970	20.820	Final Approach	F	2 (2)		pcf	0      - 940
59	12.06.88	Posadas, Argentina	MD DC-9-81 1981	54.885	Final Approach	SP	22 (22)		Forest, pcf	0      - 3000
60	02.08.88	Reykjavik, Iceland	CASA 212 1982	7.700	Final Approach	?	3 (3)		pcf	0      - 100
61	31.08.88	Dallas-Fort Worth, USA	Boeing 727-232 1973	95.027	Take-off	SP	14 (108)		Ground depression 46 m wide and 4,8 m deep, wreckage track 580 m long, pcf	0      + 975
62	09.09.88	Bangkok, Thailand	Tupolev 134 A ?	47.000	Final Approach	SP	76 (90)		Disintegrated over a 500 m distance	0      - 5500
63	07.10.88	Linfen, China	Ilyushin 14P 1956	18.000	Initial Climb	NSP	42 (46)		1 Hotel	?      ?
64	17.10.88	Rome, Italy	Boeing 707-338C 1968	151.315	Final Approach	SP	33 (62)		2 Buildings, pcf	+ 100      - 1300
65	25.10.88	Juliac, Peru	Fokker F-28 1972	33.110	Initial Climb	SP	12 (69)			0      + 2500
66	18.11.88	Montlucon, France	Fairchild Metro II 1980	5.700	Initial Climb	SP	4 (4)		pcf	0      + 600
67	07.12.88	Kodinsk, Russia	Let 410UVP 1979	6.400	Final Approach	SP	6 (14)			- 735      - 4750

Tab. A1-6: Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 – 2002SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer (an Bord)	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built	Maximum Take-off- weight (MTOW)	Phase of accident	Nature of flight	Fatalities (on board)	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [m] y [m]
68	08.01.89	Kegworth, UK	Boeing 737-4Y0 1988	62.828	Final Approach	SP	47 (126)	M 1 motorway (?), wooded embankment		0 - 900
69	10.03.89	Dryden, Canada	Fokker F-28 1972	33.110	Initial Climb	SP	24 (69)		Forest, pcf	0 + 960
70	21.03.89	Sao-Paulo, Brazil	Boeing 707-349C 1966	151.315	Final Approach	F	3 (3)	22	Residential area, pcf	0 - 2010
71	26.04.89	Barranquilla, Colombia	SE-210 Caravelle 1967	46.000	Initial Climb	F	5 (5)	2	Houses	? ?
72	17.06.89	Berlin SXF, Germany	Ilyushin 62 MK 1988	164.996	Take-off	SP	21 (113)		pcf	+ 131 + 739
73	27.07.89	Tripoli, Lybia	MD DC-10-30 1973	251.742	Final Approach	SP	75 (199)		4 houses, cars	? ?
74	31.07.89	Auckland, New Zealand	Convair CV-580 1954	26.371	Initial Climb	F	3 (3)			0 + 710
75	21.11.89	Tjuman, Russia	Antonov 24 1969	21.000	Final Approach	SP	34 (42)			+ 250 - 700
76	14.02.90	Bangalore, India	Airbus A 320-230 1989	77.400	Final Approach	SP	92 (146)		Golf club	+ 70 - 700
77	22.04.90	Luang Namtha, Laos	Antonov 24RV 1976	21.000	Take-off overran	SP	0 (3)	1	1 Building	0 + 170
78	10.05.90	Tuxtla-G., Mexico	Fokker F-27 1963	20.820	Final Approach	SP	21 (38)		Trees	0 - 4500
79	18.05.90	Manila, Philippines	Beechcraft 1900 ?	7.530	Initial Climb	SP	21 (21)	4	Residential area	? ?
80	06.06.90	Altamira, Brazil	Fairchild FH- 227B, 1967	20.820	Final Approach	SP	22 (42)		Trees	0 - 1010
81	25.07.90	Bole, Ethiopia	Boeing 707-379C 1968	151.315	Take-off	F	0 (4)			0 + 435

Tab. A1-7: Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 - 2002 SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer (an Bord)	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built	Maximum Take-off- weight (MTOW)	Phase of accident	Nature of flight	Fatalities (on board)	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ]      y [ m ]
82	14.09.90	Sverdlovsk, Russia	Yakovlev 42 ?	57.000	Final Approach	SP	4 (128)		Trees	0                      - 1700
83	24.10.90	Punta Jardinero, Cuba	Yakovlev 40 1976	16.000	Initial Approach	NSP	11 (31)			0                      - 4000
84	14.11.90	Stadlerberg, Switzerland	MD DC-9-92 1974	54.885	Final Approach	SP	46 (46)		Trees	0                      - 9600
85	04.12.90	Nairobi, Kenya	Boeing 707-321C 1968	151.315	Final Approach	F	10 (10)		pcf, electricity pole	0                      - 4800
86	03.03.91	Colorado Springs, USA	Boeing 737-291 1982	52.391	Final Approach	SP	25 (25)		The size of the impact crater measured appr. 39 feet by 24 feet and was about 15 feet deep, pcf	+ 315                      - 6426
87	23.03.91	Navoi, Uzbekistan	Antonov 24 B 1972	21.000	Landing overran	SP	34 (63)		concrete obstacles, pcf	0                      + 317
88	05.04.91	Brunswick, USA	Embraer 120 RT 1990	12.000	Final Approach	SP	23 (23)		Trees, pcf	0                      - 3040
89	11.11.91	Recife, Brazil	Embraer 110P1 ?	5.900	Initial Climb	SP	15 (15)	2	1 House, electrical wires	?                      ?
90	26.11.91	Bugulma, Russia	Antonov 24 1971	21.000	Final Approach	NSP	41 (41)			+ 600                      - 800
91	27.12.91	Gottröra, Sweden	MD MD-81 1991	63.502	Initial Climb	SP	0 (129)		Trees, slid along the ground for approx. 110 m	?                      ?
92	12.03.92	Alcoa, USA	BA-3101 ?	7.350	Final Approach	NSP	2 (2)			0                      - 2300
93	31.07.92	Nanjing, China	Yakovlev 42 D ?	57.000	Initial Climb	SP	106 (126)		Pond, pcf	0                      + 600
94	27.08.92	Ivanovo, Russia	Tupolev 134 A ?	47.000	Final Approach	SP	84 (84)		1 House, trees, pcf	0                      - 2450

Tab. A1-8 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 – 2002SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer ( an Bord )	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built	Maximum Take-off- weight (MTOW)	Phase of accident	Nature of flight	Fatalities ( on board )	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ]      y [ m ]
95	04.10.92	Amsterdam, Netherlands	Boeing 747-258F 1979	377.800	Climb	F	4 (4)	43	Residential area, pcf, aircraft debris and fuel spilling about 400 x 600 m	?      ?
96	18.12.92	McCall, USA	Dassault-Breguet Falcon 10, ?	8.754	Take-off overran	?	0 (4)		Field	0      + 150
97	06.01.93	Paris-Charles de Gaulle, France	DHC-8-301 ?	14.968	Final Approach	SP	4 (23)			0      - 1790
98	09.01.93	Surabaya, Indonesia	HS-748-234 1968	21.092	Initial Climb	SP	15 (44)		Residential area, pcf	0      + 2000
99	05.03.93	Skopje, Macedonia	Fokker 100 1992	45.850	Initial Climb	SP	83 (97)		Acre, pcf	0      + 382
100	06.04.93	Guatemala City, G.	Boeing 767 1986	156.488	Landing overran	SP	0 (236)	3 injured	2 unoccupied houses	0      + 500
101	26.04.93	Aurangabad, India	Boeing 737-2A 8 1974	52.391	Take-off	SP	55 (118)		Collided with a cotton truck, pcf	0      + 7000
102	23.07.93	Yinchuan, China	Bae-146-300 ?	43.998	Take-off	SP	55 (113)			0      + 268
103	18.08.93	Guantanamo, Cuba	MD DC-8-61 1969	158.760	Final Approach	F	0 (3)		pcf	- 60      - 425
104	26.08.93	Aldan, Russia	Let 410 UVP-E 1990	6.400	Landing overran	SP	24 (24)			0      + 273
105	25.09.93	Tyumen, Russia	Antonov 12V ?	61.000	Initial Approach	F	0 (4)			0      - 7000
106	10.11.93	Sandy Lake, Canada	HS-748-234 1967	21.092	Initial Climb	SP	7 (7)		Forest	+ 546      + 946
107	13.11.93	Urumqi, China	MD MD-82 1991	72.575	Final Approach	SP	12 (102)		Field, Power lines, pcf	+ 140      - 2000
108	01.12.93	Umiujaq, Canada	Shorts 330-UTT 1988	10.387	Final Approach	NSP	0 (13)		Trees	0      - 2010

Tab. A1-9 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 - 2002 SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg) Maximum Take-off- weight (MTOW)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer (an Bord)	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built		Phase of accident	Nature of flight	Fatalities (on board)	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ]      y [ m ]
109	01.12.93	Hibbing, USA	BA 3100 Jetstream, ?	7.350	Final Approach	?	18 (18)		Trees	0              - 4800
110	03.01.94	Mamony, Russia	Tupolev 154 M 1989	100.000	Climb	SP	125 (125)	1 injured	Farm buildings, affected area 125.000 m <sup>2</sup> , pcf	?              ?
111	07.01.94	Columbus, USA	BA Jetstream 41 1993	6.900	Final Approach	SP	5 (9)		1 Building, pcf	0              - 2220
112	24.02.94	Nalchik, Russia	Antonov 12V 1971	61.000	Final Approach	F	13 (13)			0              - 4510
113	18.06.94	Chantilly, USA	Learjet 25D 1977	8.301	Final Approach	NSP	12 (12)		Trees	+ 266        - 1067
114	26.06.94	Abidjan, Ivory Coast	Fokker F-27 1978	20.820	Final Approach	SP	17 (17)		Wooded area	0              - 5560
115	29.10.94	Ust Ilimsk, Russia	Antonov 12BP 1961	61.000	Final Approach	F	23 (23)			0              - 2000
116	13.12.94	Morrisville, USA	BA 3201 Jetstream 32, 1990	7.350	Final Approach	SP	15 (20)		Trees	0              - 6400
117	21.12.94	Coventry, UK	Boeing 737-2D6C 1973	62.828	Final Approach	F	5 (5)		Residential area, power pole, pcf	- 131        - 1494
118	25.01.95	Rostov na Donu, Russia	Yakovlev 40 1974	16.000	Landing overran	SP	0 (10)			0              + 870
119	16.02.95	Kansas City, USA	MD DC-8-63F 1968	161.025	Take-off	F	3 (3)		pcf, \$ 474.000 to clean environment	- 150        + 2300
120	28.04.95	Guatemala City, G.	MD DC-8-54 F 1964	161.025	Landing	F	0 (3)	6	Residential area	?              ?
121	03.12.95	Douala, Cameroon	Boeing 737-2K9 1985	52.391	Final Approach	SP	71 (76)		Mangrove swamp	0              - 5990
122	05.12.95	Nakhichevan, Azerbaijan	Tupolev 134B-3 1980	47.000	Initial Climb	SP	44 (82)			+ 868        + 1877
123	13.12.95	Verona, Italy	Antonov 24 B 1967	21.000	Take-off	NSP	49 (49)		pcf	?              ?

Tab. A1-10 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 – 2002SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer (an Bord)	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built	Maximum Take-off- weight (MTOW)	Phase of accident	Nature of flight	Fatalities (on board)	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ]      y [ m ]
124	30.12.95	Eagle River Airport, USA	Cessna 560 Citation V, ?	9.072	Final Approach	?	2 (2)			0      - 400
125	31.12.95	East Naples, USA	Cessna 550 Citation II, ?	6.486	Initial Approach	?	2 (2)			0      - 6240
126	08.01.96	Kinshasa, Congo	Antonov 32 B 1988	21.000	Initial Climb	F	0 (6)	>250	Market square, pcf	0      + 600
127	04.02.96	Asuncion, Paraguay	MD DC-8F-55 1966	142.884	Initial Climb	F	4 (4)	20	Playing field	0      + 2000
128	19.02.96	Freilassing, Germany	Cessna 550 Citation II, 1987	6.486	Final Approach	?	10 (10)		Forest, pcf	0      - 3200
129	01.05.96	Quito, Ecuador	Boeing 727-2B6 1976	83.820	Take-off overran	NSP	0 (90)		Residential area	0      + 130
130	01.05.96	Albuquerque, USA	Rockwell NA- 265-80, ?	10.443	Take-off overran	NSP	0 (5)		Encountered soft terrain	- 2      + 107
131	13.06.96	Fukuoka, Japan	MD DC-10-30 1979	251.742	Take-off overran	SP	3 (275)		Rice field, pcf	0      + 490
132	24.07.96	Mergui, Myanmar	Fokker F-27 1970	20.820	Landing	SP	8 (49)			0      - 240
133	19.08.96	Beograd, Serbia and Montenegro	Ilyushin 76 T 1978	210.000	Final Approach	F	12 (12)		Corn field	0      - 800
134	08.10.96	San Francisco al Campo, Italy	Antonov 124-100 1993	392.000	Final Approach	F	2 (23)	2	1 House	?      ?
135	22.10.96	Manta, Ecuador	Boeing 707-323C 1967	151.315	Climb	F	4 (4)	23	Residential area, pcf	+ 2190      + 4700
136	23.10.96	Buenos Aires, Argentina	Boeing 707-372C 1968	151.315	Landing	F	2 (8)		pcf	+ 65      - 747
137	31.10.96	Sao Paulo, Brazil	Fokker 100 1993	45.850	Initial Climb	SP	96 (96)	3	Residential area, pcf	0      + 2000
138	07.12.96	Banjarmasin, Indonesia	CASA 212 Aviocar, 1981	7.700	Final Approach	SP	16 (17)	2	Wing struck a gas factory	0      - 2015

Tab. A1-11 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 - 2002 SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg) Maximum Take-off- weight (MTOW)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer (an Bord)	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built		Phase of accident	Nature of flight	Fatalities (on board)	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ] y [ m ]
139	09.12.96	Boise-Gowen Field, USA	Douglas DC-3 1944	11.500	Final Approach	F	2 (2)		pcf	+ 1790 - 480
140	21.12.96	Rio Negro, Colombia	Antonov 32 B ?	21.000	Final Approach	F	4 (4)		Explosion	0 - 5760
141	25.01.97	Anadyr, Russia	Ilyushin 76TD 1992	170.000	Take-off	NSP	0 (26)		Building	- 120 + 270
142	31.01.97	Yola, Nigeria	Embraer 110PIA 1985	5.900	Final Approach	NSP	5 (16)		Trees, power lines	0 - 700
143	12.03.97	Lucapa, Angola	Antonov 12B 1966	60.998	Final Approach	F	16 (16)			0 - 150
144	04.04.97	Griffin-Spalding County, USA	Douglas C-54A- DC, 1944	28.123	Take-off overran	F	2 (2)		Residential area, pcf	0 + 410
145	14.04.97	Brazzaville, Congo	Fokker F-27 1969	20.820	Take-off	F	3 (7)		pcf	0 + 300
146	19.04.97	Tanjung Pandan, Indonesia	British Aerospace ATP, 1992	23.678	Final Approach	SP	15 (53)		Coconut grove	0 - 1600
147	09.07.97	Ambon-Pattimura, Indonesia	CASA 212 1981	7.700	Final Approach	NSP	3 (3)			0 - 270
148	29.07.97	Calabar, Nigeria	BAC One-Eleven 1965	47.401	Landing overran	SP	1 (55)		Bush, pcf	0 + 1500
149	30.07.97	Florence, Italy	ATR 42 1996	18.600	Landing overran	SP	1 (17)		A 11 highway	0 + 600
150	07.08.97	Miami, USA	MD DC-8-61 F 1968	158.760	Initial Climb	F	4 (4)	1	Trade centre, pcf, 12 cars	0 + 915
151	03.09.97	Phnom Penh, Cambodia	Tupolev 134B 1984	47.000	Final Approach	SP	65 (66)		Trees, rice field	0 - 300
152	05.12.97	Irkutsk, Russia	Antonov 124 1986	392.000	Initial Climb	F	23 (23)	66 ?	Residential area, pcf	0 + 1610
153	09.12.97	Little Grand Rapids, Canada	Embraer 110PI 1980	5.900	Final Approach	SP	4 (17)		Forest	+ 490 - 125
154	13.12.97	La Veriente, Bolivia	Swearingen SA- 226TC, 1980	7.257	Initial Climb	NSP	10 (19)			0 + 300

Tab. A1-12 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 – 2002SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer ( an Bord )	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built	Maximum Take-off- weight (MTOW)	Phase of accident	Nature of flight	Fatalities ( on board )	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ] y [ m ]
155	22.12.97	Sylhet, Bangladesh	Fokker F-28 1981	33.110	Final Approach	SP	0 (89)		Paddy field	0 -2990
156	13.01.98	Brno, Czech Republic	Let 410UVP-E3 1987	6.400	Final Approach	NSP	2 (2)			0 -3500
157	16.02.98	Taipei, Taiwan	Airbus A300- 622R, 1990	171.700	Final Approach	SP	196 (196)	7	Residential area, pcf	-60 -2500
158	18.02.98	Barcelona, Spain	Swearingen SA- 226TC, 1975	7.257	Final Approach	F	2 (2)		pcf	0 -5000
159	22.03.98	Bacolod, Philippines	Airbus A320-214 1997	77.400	Landing overran	SP	0 (127)	3 fatal 89 injured	Residential area	0 +200
160	28.03.98	Primavera, Peru	Antonov 32 1987	21.000	Initial Approach	NSP	21 (55)	1	Residential area	? ?
161	30.03.98	London-Stansted, UK	HS-748-378 1982	21.092	Take-off	NSP	0 (44)			0 +120
162	29.08.98	Quito, Ecuador	Tupolev 154M 1985	100.000	Take-off	SP	71 (90)	10	Soccer field, pcf	+116 +205
163	02.10.98	Canaima, Venezuela	Douglas DC-3C 1938	11.431	Final Approach	NSP	1 (25) co-pilot		Swampland	0 -990
164	21.10.98	Fortaleza, Brazil	Embraer 120 1988	11.500	Final Approach	F	2 (3)	1, 7 injured	Residential area	? ?
165	11.12.98	Surat Thani, Thailand	Airbus A 310-204 1986	164.000	Final Approach	SP	101 (146)		Rubber plantation, pcf	0 -700
166	22.12.98	Rio Negro, Colombia	Antonov 32 ?	27.000	Final Approach	F	5 (5)			0 -1010
167	04.01.99	St. Augustin, Canada	Beechcraft 1900C-1, 1989	7.530	Final Approach	SP	0 (11)		Crashlanded on a frozen river	0 -900
168	12.01.99	Guernsey, UK	Fokker F-27-600 1975	20.410	Final Approach	F	2 (2)		1 House, pcf	-310 -1160
169	02.02.99	Luanda, Angola	Antonov 12 1963	61.000	Final Approach	F	11 (11)	19	7 Houses, pcf	? ?



Tab. A1-13 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 - 2002SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg) Maximum Take-off- weight (MTOW)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer ( an Bord )	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built		Phase of accident	Nature of flight	Fatalities ( on board )	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ] y [ m ]
170	07.02.99	Bratislava, Slovak Republic	Boeing 707-328C 1967	151.315	Take-off overran	F	0 (4)			0 +200
171	11.02.99	Saint Mary's, USA	Beechcraft 1900C-1, 1988	7.530	Final Approach	F	0 (1)			0 -5000
172	07.04.99	Ceyhan, Turkey	Boeing 737-400 6/95	56.470	Climb	NSP	6 (6)		Debris area 500m <sup>2</sup> , 10 m deep hole	? ?
173	15.04.99	Shanghai, China	MD MD-11 1992	285.955	Climb	F	3 (3)	5, 37 injured	Residential area, pcf	? ?
174	22.06.99	Agen, France	CASA 212-100 1975	7.700	Final Approach	NSP	2 (2)			0 -500
175	12.08.99	Sept-Îles, Canada	Beechcraft 1900D 6/1999	7.530	Final Approach	SP	1 (4)			0 -1500
176	31.08.99	Buenos Aires, Argentina	Boeing 737-204C 1970	78.220	Take-off	SP	63 (103)	1	Golf centre, 8 cars pcf	- 178 + 444
177	21.12.99	Guatemala-City, Guatemala	MD DC-10-30 1973	263.085	Landing, overran	NSP	16 (314)	9	Residential area, 6 houses	? ?
178	22.12.99	London-Stansted, near village Great Hallingbury, UK	Boeing 747-2B5F 1980	248.730, incl. 31.000 kg fuel and 199 kg dangerous goods	Initial climb	F	4 (4)	Field near M11 motorway, explosion, large fireball, impact crater 43 m long, 13 m wide, max. dept 3,5 m, wreckage trail to a distance of approx. 450 m		0 + 3500
179	10.01.00	Zürich-Kloten, near Nassenwil, Switzerland	Saab 340 B 1990	12.927	Climb	SP	10 (10)		Field, pcf	0 + 5550
180	15.01.00	San Jose, Costa Rica	Let 410UVP-E 1986	6.400	Climb	NSP	5 (20)	1 injured	Residential area	? ?
181	30.01.00	Abidjan, Ivory Coast	Airbus A-310-304 1986	164.000	Climb	SP	169 (179)		Offshore crash	0 + 1000
182	16.02.00	Sacramento, USA	MD DC-8-71F 1968	142.884	Initial Climb	F	3 (3)	Crashed into an auto salvage yard, wreckage path 550 m, debris area 126.500 m <sup>2</sup> , pcf		? ?

Tab. A1-14 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 - 2002SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer (an Bord)	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built	Maximum Take-off- weight (MTOW)	Phase of accident	Nature of flight	Fatalities (on board)	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ] y [ m ]
183	05.03.00	Burbank, USA	Boeing 737-3T5 1984	78.220	Landing, overrun	SP	0 (142)		Highway, near a petrol station	+ 150 + 50
184	24.03.00	Kadirana, Sri Lanka	Antonov 12BP 1968	61.000	Final Approach	F	6 (8)	4	2 houses, some cars	? ?
185	21.05.00	Wilkes-Barre, USA	BAe Jetstream 31 1988	6.950	Initial Approach	NSP	19 (19)		Fireball, wooded area	? ?
186	22.06.00	Sitai, China	Y-7-100C ( An24) 1988	21.000	Initial Approach	SP	44 (44)	7	Farmhouse	? ?
187	17.07.00	Patna, India	Boeing 737-2 A8 1980	52.391	Final Approach	SP	55 (58)	5, 5 injured	Residential area, houses, fireball	- 395 - 775
188	25.07.00	Gonesse, France	Concorde 101 1975	185.070	Initial Climb	NSP	109 (109)	4, 6 injured	Hotel, pcf	- 500 + 6000
189	06.10.00	Renosa, Mexico	MD DC-9-31 1979	54.885	Landing overrun	SP	0 (88)	5	Some houses	0 + 200
190	15.11.00	Luanda, Angola	Antonov 24 ?	21.000	Climb	NSP	57 (57)		Field	0 + 5000
191	31.01.01	Yopal, Colombia	SE-210 Caravelle 1966	56.000	Final Approach	F	3 (6)	Crashed in a meadow, pcf, Cargo : dangerous goods		0 - 4810
192	08.02.01	Beaver Island, USA	Swearingen SA227, 1981	7.484	Final Approach	NSP	2 (6)		Trees	- 2014 - 1945
193	08.02.01	Nürnberg, Germany	Learjet LR 35 ?	8.165	Final Approach	NSP	3 (3)		Wooded area, pcf	- 260 - 150
194	29.03.01	Aspen-Pitkin, USA	Gulfstream III 1980	31.615	Final Approach	NSP	18 (18)			0 - 730
195	14.07.01	Chkalovsky, Russia	Ilyushin 76TD 1984	170.000	Take-off	F	10 (10)			0 + 495
196	29.08.01	Malaga, Spain	CASA CN-235 1990	15.100	Final Approach	SP	4 (47)		Motorway	0 - 318
197	12.11.01	New York, USA	Airbus A-300-600 1987	171.700	Climb	SP	260 (260)	5 (+?)	Residential area, pcf	+ 1625 + 7725

Tab. A1-15 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 – 1/2003SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfl. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht (kg) Maximum Take-off- weight (MTOW)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer ( an Bord )	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built		Phase of accident	Nature of flight	Fatalities ( on board )	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ]      y [ m ]
198	23.11.01	Kärdla, Estonia	Antonov 28 1986	6.500	Final Approach	SP	2 (17)			+ 52      - 1500
199	24.11.01	Zürich-Kloten, Switzerland	Avro RJ.100 1996	43.998	Final Approach	SP	24 (33)		Forest, pcf	0      - 3000
200	27.11.01	Port Harcourt, Nigeria	Boeing 747-246F 1980	377.800	Final Approach	F	1 (13)		pcf	0      - 700
201	14.01.02	Pekanbaru, Indonesia	Boeing 737-291 1969	58.333	Take-off	SP	0 (96)		Some fences	0      + 240
202	04.05.02	Kano, Nigeria	BAC One-Eleven 1980	47.000	Initial Climb	SP	71 (77)	78	Residential area, some 23 houses, along with a school and a mosque, pcf	0      + 1000
203	20.05.02	Oklahoma City, USA	Cessna 550 II ?	6.486	Take-off	NSP	0 (6)		Fences, came to rest in a muddy field	0      + 800
204	26.07.02	Tallahassee, USA	Boeing 727-232 F 1974	86.638	Landing	F	0 (3)		Field, pcf, Cargo: some hazardous materials; slide way 335 m	0      - 807
205	30.08.02	Rio Branco, Brazil	Embraer 120 ER 1987	12.000	Initial Approach	SP	23 (31)			0      - 2700
206	07.10.02	Santa Cruz do Sul Airport, Brazil	Learjet 60 ?	10.659	Landing overran	?	1 (5)		Collision with an obstacle	0      + 50
207	06.11.02	Luxembourg, near Niederanven	Fokker 50 1991	22.110	Initial Approach	SP	20 (22)		Slide way 186 m, pcf	+ 550      - 3477
208	09.11.02	Antalya, Turkey	Antonov 26B 1980	21.000	Landing	NSP	0 (28)		Clipped a power line and crashed in an empty field	0      - 500

Tab. A1-16 : Aircraft accidents in the vicinity of airports, 1977 - 1/2003SP = scheduled passenger; NSP = non scheduled passenger; F = freight; T = training; pcf = post crash fire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Lfd. Nr.	Datum	Ort	Flugzeugtyp Baujahr	Maximales Startgewicht ( kg ) Maximum Take-off- weight (MTOW)	Unfallphase	Art des Fluges	Todesopfer ( an Bord )	Opfer am Boden	Schäden am Boden	Absturzkoordinaten
Ser. no.	Date	Location	Type of aircraft Year built		Phase of accident	Nature of flight	Fatalities ( on board )	Ground casualties	Damage to environment, buildings & residences	Impact coordinates x [ m ]      y [ m ]
209	10.11.02	Manila, Philippines	Fokker F-27	20.820	Take-off	SP	21 (34)	Crashlanding short after take-off in the Manila Bay		0              + 1000
210	08.01.03	Diyarbakir, Turkey	BAe RJ-100 1994	46.040	Final Approach	SP	75 (80)	Area with obstacles, pcf		0              - 50

Tab. A2-1: Impact coordinates in take-off and approach direction, age of aircraft at that time of accident, nature of flight and causes of accidents

Lfd.Nr. Ser. no.	Absturzkoordinaten Startphase Impact coordinates take-off and climb		Absturzkoordinaten Landephase Impact coordinates approach and landing		Age, nature of flight and causes of accidents
	x [ m ]	y [ m ]	x [ m ]	y [ m ]	
1	0	300			6, F, hf
2			0	- 5000	16, SP, e
3			0	- 1800	17, F, hf, w
4			0	- 3360	14, F, m
5			0	- 1067	9, F, hf
6	0	4700			20, F, o
7	12	200			6, SP, t, hf, or
8	0	300			3, T, b, or
9			0	- 5500	10, SP, hf
10	0	190			10, SP, t, or
11	- 2450	970			22, SP, b, hf
12			0	- 1810	7, NSP, hf
13	105	390			7, SP, e ?
14	2176	1990			12, SP, e, hf
15	- 350	1370			7, SP, e
16			0	80	12, SP, hf, or
17	- 160	351			10, SP, e ?, or
18	- 97	1402			?, F, e, o, hf
19			0	- 300	2, SP, hf
20			0	- 500	?, SP, e
21	0	1390			13, SP, ?
22			0	700	8, SP, w, or
23			0	- 1850	?, SP, ?
24			0	- 400	22, SP, hf
25	0	1405			14, SP, w
26	0	270			15, SP, e, or
27	0	450			5, NSP, tp, hf
28			884	102	11, SP, tp, or
29			0	- 2010	23, SP, e, hf
30	2796	1645			?
31			0	- 3150	10, SP, tp
32	0	138			5, SP, hf, or
33			1774	- 1865	38, F, e
34			0	- 4400	10, SP, hf, w
35	- 550	1920			?, T, ?
36			0	- 550	13, SP, hf
37	0	3000			?, NSP, e
38	612	355			?, F, o, hf
39	26	2377			?, SP, tp
40	1207	2400			25, NSP, tp, hf
41	0	1067			?, ?, tp
42	- 524	30			18, F, e, hf

Not used for statistical test, overran after landing

**b** birds / birdstrike  
**e** engine failure  
**hf** human factor

**m** fatigue of material  
**o** overweight, misloading  
**or** overran

**t** tyre  
**tp** technical problems  
**w / i** weather / icing

Tab. A2-2: Impact coordinates in take-off and approach direction, age of aircraft at that time of accident, nature of flight and causes of accidents

Lfd.Nr. Ser. no.	Absturzkoordinaten Startphase Impact coordinates take-off and climb		Absturzkoordinaten Landephase Impact coordinates approach and landing		Age, nature of flight and causes of accidents
	x [ m ]	y [ m ]	x [ m ]	y [ m ]	
43	- 610	1609			32, F, e
44			0	- 1000	9, SP, e
45	317	402			17, SP, e, hf
46	220	910			16, NSP, e,w/i
47			- 90	- 2780	?, SP, w, hf
48			?	?	3, SP, w
49	0	530			8, SP, e, or
50			- 550	- 410	?, SP, hf
51	0	300			17, NSP, tp, w/i
52			20	- 196	5, SP, e, hf
53	0	1525			6, SP, tp, hf
54	?	?			?, F, o
55			0	- 1500	1, SP, hf, w
56			0	- 9260	7, SP, hf
57	0	430			15, SP, tp, or
58			0	- 940	18, F, hf, o
59			0	- 3000	7, SP, hf, w
60			0	- 100	6, ?, ?
61	0	975			6, SP, hf, tp
62			0	- 5500	?, SP, hf, w
63	?	?			32, NSP, ?
64			100	- 1300	20, SP, hf
65	0	2500			16, SP, ?
66	0	600			8, SP, ?
67			- 735	- 4750	10, SP, hf
68			0	- 900	1, SP, e
69	0	960			17, SP, hf
70			0	- 2010	23, F, ?
71	?	?			22, F, ?
72	131	739			1, SP, tp, hf
73			?	?	16, SP, hf, w
74	0	710			35, F, hf
75			250	- 700	20, SP, w, hf
76			70	- 700	1, SP, hf
77	0	170			24, SP, or
78			0	- 4500	27, SP, hf
79	?	?			?, SP, e
80			0	- 1010	23, SP, hf
81	0	435			22, F, b
82			0	- 1700	?, SP, hf
83			0	- 4000	24, NSP, hf, w
84			0	- 9600	26, SP, hf

b birds / birdstrike  
e engine failure  
hf human factor

m fatigue of material  
o overweight, misloading  
or overrun

t tyre  
tp technical problems  
w / i weather / icing

Tab. A2-3: Impact coordinates in take-off and approach direction, age of aircraft at that time of accident, nature of flight and causes of accidents

Lfd.Nr. Ser. no.	Absturzkoordinaten Startphase Impact coordinates take-off and climb		Absturzkoordinaten Landephase Impact coordinates approach and landing		age, nature of flight and causes of accidents
	x [ m ]	y [ m ]	x [ m ]	y [ m ]	
85			0	- 4800	32, F, w
86			315	- 6426	9, SP, tp
87			0	317	19, SP, or
88			0	- 3040	1, SP, e, tp
89	?	?			?, SP, ?
90			600	- 800	20, NSP, w/i
91	?	?			1, SP, w/i, e
92			0	- 2300	?, NSP, hf
93	0	600			?, SP, ?
94			0	- 2450	?, SP, hf
95	?	?			13, F, tp, e
96	0	150			?, ?, tp, hf, or
97			0	- 1790	?, SP, hf
98	0	2000			25, SP, e
99	0	382			1, SP, hf, w/i
100			0	500	7, SP, w, or
101	0	7000			19, SP, tp
102	0	268			?, SP, tp
103			- 60	- 425	24, F, hf
104			0	273	3, SP, or
105			0	- 7000	?, F, tp
106	546	946			26, SP, tp, hf
107			140	- 2000	2, SP, tp
108			0	- 2010	5, NSP, w/i
109			0	- 4800	?, ?, hf
110	?	?			5, SP, e, tp
111			0	- 2220	1, SP, hf
112			0	- 4510	23, F, w/I
113			266	- 1067	17, NSP, hf
114			0	- 5560	16, SP, ?
115			0	- 2000	33, F, w/I
116			0	- 6400	4, SP, hf
117			- 131	- 1494	21, F, hf
118			0	870	21, SP, hf, or
119	- 150	2300			27, F, hf
120			?	?	31, F, hf, or
121			0	- 5990	10, SP, e
122	868	1877			15, SP, e
123	?	?			28, NSP, o, w/i
124			0	- 400	?, ?, hf, w/I
125			0	- 6240	?, ?, hf
126	0	600			8, F, o, or

Not used for statistical test, overran after landing

**b** birds / birdstrike  
**e** engine failure  
**hf** human factor

**m** fatigue of material  
**o** overweight, misloading  
**or** overran

**t** tyre  
**tp** technical problems  
**w / i** weather / icing

Tab. A2-4: Impact coordinates in take-off and approach direction, age of aircraft at that time of accident, nature of flight and causes of accidents

Lfd.Nr. Ser. no.	Absturzkoordinaten Startphase Impact coordinates take-off and climb		Absturzkoordinaten Landephase Impact coordinates approach and landing		age, nature of flight and causes of accidents
	x [ m ]	y [ m ]	x [ m ]	y [ m ]	
127	0	2000			30, F, e, hf
128			0	- 3200	9, ?, ?
129	0	130			20, NSP, o, or
130	- 2	107			?, NSP, t, tp, or
131	0	490			17, SP, e, or
132			0	- 240	26, SP, w
133			0	- 800	18, F, tp
134			?	?	3, F, hf, e
135	2190	4700			29, F, e
136			65	- 747	28, F, w
137	0	2000			3, SP, e
138			0	- 2015	15, SP, e
139			1790	- 480	52, F, e
140			0	- 5760	?, F, hf
141	- 120	270			5, NSP, hf
142			0	- 700	12, NSP, w
143			0	- 150	31, F, w
144	0	410			53, F, e, hf, or
145	0	300			28, F, ?
146			0	- 1600	5, SP, e, hf
147			0	- 270	16, NSP, w, tp
148			0	1500	32, SP, w, or
149			0	600	1, SP, hf, or
150	0	915			29, F, o, e
151			0	- 300	13, SP, hf, w
152	0	1610			11, F, e
153			490	- 125	17, SP, o,w, hf
154	0	300			17, NSP, e
155			0	- 2990	16, SP, w
156			0	- 3500	11, NSP, w
157			- 60	- 2500	8, SP, w, hf
158			0	- 5000	23, F, tp
159			0	200	1, SP, e, or
160			?	?	11, NSP, e, o
161	0	120			16, NSP, e, m
162	116	205			13, SP, e
163			0	- 990	60, NSP, ?
164			?	?	10, F, ?
165			0	- 700	12, SP, w
166			0	- 1010	?, F, w
167			0	- 900	10, SP, w
168			- 310	- 1160	24, F, o

Not used for statistical test, overran after landing

b birds / birdstrike  
e engine failure  
hf human factor

m fatigue of material  
o overweight, misloading  
or overran

t tyre  
tp technical problems  
w / i weather / icing



Tab. A2-5: Impact coordinates in take-off and approach direction, age of aircraft at that time of accident, nature of flight and causes of accidents

Lfd.Nr. Ser. no.	Absturzkoordinaten Startphase Impact coordinates take-off and climb		Absturzkoordinaten Landephase Impact coordinates approach and landing		Age, nature of flight and causes of accidents
	x [ m ]	y [ m ]	x [ m ]	y [ m ]	
169			?	?	36, F, e
170	0	200			32, F, e, or
171			0	- 5000	11, F, hf, w
172	?	?			4, NSP, ?
173	?	?			7, F, ?
174			0	- 500	24, NSP, ?
175			0	- 1500	0, SP, w
176	- 178	444			29, SP, hf
177			?	?	26, NSP, hf, w, or
178	0	3500			19; F, e
179	0	5550			10, SP, ?
180	?	?			14, NSP, o
181	0	1000			14, SP, ?
182	?	?			32, F, o
183			150	50	16, SP, or, hf
184			?	?	32, F, w, ?
185			?	?	12, NSP, e
186			?	?	12, SP, ?
187			- 395	- 775	20, SP, e
188	- 500	6000			25, NSP, t, tp,
189			0	200	21, SP, w, or
190	0	5000			?, NSP, ?
191			0	- 4810	35, F, ?
192			- 2014	- 1945	20, NSP, ?
193			- 260	- 150	?, NSP, e
194			0	- 730	21, NSP, hf
195	0	495			17, F, ?
196			0	- 318	11, SP, e
197	1625	7725			14, SP, tp, m ?
198			52	- 1500	15, SP, w
199			0	- 3000	5, SP, tp, hf, ?
200			0	- 700	21, F, tp ?
201	0	240			33, SP, ?
202	0	1000			22, SP, tp
203	0	800			?, NSP, tp
204			0	- 807	28, F, ?
205			0	- 2700	15, SP, w
206			0	50	?, ?, w
207			550	- 3477	11, SP, e ?
208			0	- 500	22, NSP, w ?
209	0	1000			?, SP, e
210			0	- 50	7, SP, tp ?, w ?

Not used for statistical test, overran after landing

**b** birds / birdstrike  
**e** engine failure  
**hf** human factor

**m** fatigue of material  
**o** overweight, misloading  
**or** overran

**t** tyre  
**tp** technical problems  
**w / i** weather / icing

Tabelle A3-1 : Unfallphasen, Tote und Verletzte im Luftfahrzeug und am Boden

Lfd.Nr.	Unfallphase Startabbruch / Zuweitkommen ( aborted take – off / overran )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl	in %	Tote	Verletzte
Schäden am Boden / pcf ( post crash fire )	Überlebende: Anzahl		in %			
7	?/?	200	2	1	-	-
			198	99		
8	?/?	3	0	-	-	-
			3	100		
10	?/?	107	2	1,9	-	-
			105	98,1		
17	?/?	21	0	-	-	-
			21	100		
26	Einige PKW / ?	30	1	3,3	-	-
			29	96,7		
32	?/?	61	3	4,9	-	-
			58	95,1		
49	?/?	59	1	1,7	-	-
			58	98,3		
57	?/?	254	0	-	-	-
			254	100		
77	1 Gebäude / ?	3	0	-	1	-
			3	100		
96	Feld / ?	4	0	-	-	-
			4	100		
129	Wohngebiet / ?	90	0	-	-	-
			90	100		
130	?/?	5	0	-	-	-
			5	100		
131	Feld / pcf	275	3	1,1	-	-
			272	98,9		
144	Wohngebiet / pcf	2	2	100	-	-
			0	-		
170	?/?	4	0	-	-	-
			4	100		
	15 Ereignisse	1118	14	1,3	1	-
			1104	98,7		

Tabelle A3-2 : Unfallphasen, Tote und Verletzte im Luftfahrzeug und am Boden

Lfd.Nr.	Unfallphase Start ( take – off )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl	in %	Tote	Verletzte
Schäden am Boden / pcf ( post crash fire )	Überlebende: Anzahl		in %			
13	?/ pcf	132	1	0,7	3	-
			131	99,3		
15	Parkplatz/ pcf	271	271	100	2	-
			0	-		

Tabelle A3-2 : Fortsetzung

Lfd.Nr.	Unfallphase Start ( take - off )  Schäden am Boden / pcf ( post crash fire )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl	in %	Tote	Verletzte
			Überlebende: Anzahl	in %		
			0	-		
27	Bahndamm / pcf	394	50	12,7	-	-
			344	87,3		
38	25 Häuser / ?	4	4	100	49	-
			0	-		
41	? / ?	2	0	-	-	-
			2	100		
51	? / pcf	27	0	-	-	-
			27	100		
53	1 Haus, einige PKW, Bahndamm, Straßen / pcf	155	1	0,6	2	-
			154	99,4		
61	? / pcf	108	14	13,0	-	-
			94	87,0		
72	? / pcf	113	21	18,6	1	-
			92	81,4		
81	? / ?	4	0	-	-	-
			4	100		
101	LKW / pcf	118	55	46,6	-	-
			63	53,4		
102	? / ?	113	55	48,7	-	-
			58	51,3		
119	? / pcf	3	3	100	-	-
			0	-		
123	? / pcf	49	49	100	-	-
			0	-		
141	Gebäude / ?	26	0	0	-	-
			26	100		
145	? / pcf	7	3	42,9	-	-
			4	57,1		
161	- / -	44	0	-	-	-
			44	100		
162	Fußballplatz / pcf	90	71	78,9	10	-
			19	21,1		
176	Golfplatz, einige PKW / pcf	103	63	61,2	1	-
			40	28,3		
195	? / ?	10	10	100	-	-
			0	-		
201	Zäune / -	96	0	-	-	-
			96	100		
203	Zäune / -	6	0	-	-	-
			6	100		
209	Wasserung / -	34	21	62	-	-
			13	38		
	23 Ereignisse	1909	692	36,3	68	-
			1217	63,7	3,6 v. 1909	-

Tabelle A3-3 : Unfallphasen, Tote und Verletzte im Luftfahrzeug und am Boden

Lfd.Nr.	Unfallphase Anfangssteigflug ( initial climb )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl	in %	Tote	Verletzte
Schäden am Boden / pcf ( post crash fire )	Überlebende: Anzahl		in %			
1	? / ?	5	5	100		
			0	-		
6	Waldgebiet / ?	4	4	100	-	-
			0	-		
11	Kornfeld / -	43	0	-	-	-
			43	100		
18	Feld / pcf	8	3	37,5	-	-
			5	62,5		
21	Brücke, 7 PKW / -	79	74	93,7	4	-
			5	6,3		
25	11 Häuser / pcf	145	145	100	8	-
			0	-		
30	? / ?	16	16	100	-	-
			0	-		
35	? / ?	3	3	100	-	-
			0	-		
37	Gebäude / ?	3	3	100	-	-
			0	-		
39	? / pcf	13	13	100	-	-
			0	-		
40	Gebäude, Caravans / pcf	71	70	98,6	-	-
			1	1,4		
42	? / ?	2	2	100	-	-
			0	-		
43	? / pcf	2	0	-	-	-
			2	100		
45	Wald / pcf	31	31	100	-	-
			0	-		
46	? / pcf	256	256	100	-	-
			0	-		
54	Autobahn / ?	12	5	41,7	44	-
			7	58,3		
63	Gebäude / ?	46	42	91,3	-	-
			4	8,7		
65	? / ?	69	12	17,4	-	-
			57	82,6		
66	? / pcf	4	4	100	-	-
			0	-		
69	Wald / pcf	69	24	34,8	-	-
			45	65,2		
71	Häuser / ?	5	5	100	2	-
			0	-		

Tabelle A3-3 : Fortsetzung

Lfd.Nr.	Unfallphase Anfangssteigflug ( initial climb )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl	in %	Tote	Verletzte
Schäden am Boden / Pcf ( post crash fire )	Überlebende: Anzahl		in %			
74	? / ?	3	3	100	-	-
			0	-		
79	Wohngebiet / ?	21	21	100	4	-
			0	-		
89	Gebäude, Hochspannungsleitungen / ?	15	15	100	2	-
			0	-		
91	Feld / -	129	0	-	-	-
			129	100		
93	Teich / pcf	126	106	84,1	-	-
			20	15,9		
98	Wohngebiet / pcf	44	15	34,1	-	-
			29	65,9		
99	Feld / pcf	97	83	85,6	-	-
			14	14,4		
106	Wald / ?	7	7	100	-	-
			0	-		
122	? / ?	82	44	53,7	-	-
			38	46,3		
126	Wohngebiet, Marktplatz / pcf	6	0	-	( 250 )	-
			6	100		
127	Sportplatz ? / ?	4	4	100	20	-
			0	-		
137	Wohngebiet / pcf	96	96	100	3	-
			0	-		
150	Einkaufszentrum, 12 PKW / pcf	4	4	100	1	-
			0	-		
152	Wohngebiet / pcf	23	23	100	66	-
			0	-		
154	? / ?	19	10	52,6	-	-
			9	47,4		
178	Feld / pcf	4	4	100	-	-
			0	-		
182	Schrottplatz / pcf	3	3	100	-	-
			0	-		
188	Gebäude / pcf	109	109	100	4	6
			0	-		
202	Wohngebiet / pcf	77	6	7,8	-	-
			71	92,2		
Σ	40 Ereignisse	1755	1270	72	158	6
			485	28	9 v. 1755	0,3 v. 1755

Tabelle A3-4 : Unfallphasen, Tote und Verletzte im Luftfahrzeug und am Boden

Lfd.Nr.	Unfallphase Steigflug auf Reiseflughöhe ( climb )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl	in %	Tote	Verletzte
			Überlebende: Anzahl	in %		
14	Wasser / -	7	3	42,9	-	-
			4	57,1		
95	Wohngebiet / pcf	4	4	100	43	?
			0	-		
110	Bauernhof / pcf	125	125	100	-	1
			0	-		
135	Wohngebiet / pcf	4	4	100	23	-
			0	-		
172	? / ?	6	6	100	-	-
			0	-		
173	Wohngebiet / pcf	3	3	100	5	37
			0	-		
179	Feld / pcf	10	10	100	-	-
			0	-		
180	Wohngebiet / -	20	5	25	-	1
			15	75		
181	Wasser / -	179	169	94,4	-	-
			10	5,6		
190	Feld / ?	57	57	100	-	-
			0	-		
197	Wohngebiet / pcf	260	260	100	> 5	?
			0	-		
	11 Ereignisse	675	646	96	76	39
			29	4		

Tabelle A3-5 : Unfallphasen, Tote und Verletzte im Luftfahrzeug und am Boden

Lfd.Nr.	Unfallphase Anfangsanflug ( initial approach )  Schäden am Boden / pcf ( post crash fire )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl Überlebende: Anzahl	in % in %	Tote	Verletzte
2	Parkplatz / -	22	22 0	100 -	-	-
56	Wald / -	17	8 9	47 53	-	-
83	? / ?	31	11 20	35,5 64,5	-	-
105	? / ?	4	0 4	- 100	-	-
125	? / ?	2	2 0	100 -	-	-
160	Wohngebiet / -	55	21 34	38,2 61,8	1	-
185	Wald / pcf	19	19 0	100 -	-	-
186	Gebäude / ?	44	44 0	100 -	7	-
205	? / ?	31	23 8	74 26	-	-
207	Feld / pcf	22	20 2	91 9	-	-
	10 Ereignisse	247	170 77	68,8 31,2	8 3,2 v. 247	- -

Tabelle A3-6 : Unfallphasen, Tote und Verletzte im Luftfahrzeug und am Boden

Lfd.Nr.	Unfallphase Landeanflug ( final approach )  Schäden am Boden / pcf ( post crash fire )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl Überlebende: Anzahl	in % in %	Tote	Verletzte
3	Bäume / ?	5	4 1	80 20	-	-
4	? / pcf	6	6 0	100 -	-	-
5	? / pcf	2	2 0	100 -	-	-
9	Wasser / -	58	3 55	5,2 94,8	-	-
12	Kokosnuss - Plantage / ?	262	183 79	69,8 30,2	-	-
19	Wasser / -	168	1 167	0,6 99,4	-	-

Tabelle A3-6 : Fortsetzung

Lfd.Nr.	Unfallphase Landeanflug ( final approach )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl	in %	Tote	Verletzte
Schäden am Boden / pcf ( post crash fire )	Überlebende: Anzahl		in %			
20	- / ?	9	4	44,4	-	-
			5	55,6		
23	Sumpfland / -	4	0	-	-	-
			4	100		
29	? / pcf	46	46	100	-	-
			0	-		
31	Straße / -	8	0	-	-	-
			8	100		
33	Feld / -	3	0	-	-	-
			3	100		
34	Wald, Hochspannungsleitungen / ?	50	50	100	-	-
			0	-		
36	Wasser / -	49	49	100	-	-
			0	-		
44	? / ?	17	17	100	-	-
			0	-		
47	Wald / ?	9	3	33,3	-	-
			6	66,7		
48	Gebäude / pcf	26	23	88,5	-	-
			3	11,5		
50	Wald / pcf	82	70	85,4	-	-
			12	14,6		
52	Zaun / pcf	6	2	33,3	-	-
			4	66,7		
55	Wald / ?	16	16	100	-	-
			0	-		
58	Feld / pcf	2	2	100	-	-
			0	-		
59	Wald / pcf	22	22	100	-	-
			0	-		
60	? / pcf	3	3	100	-	-
			0	-		
62	? / ?	90	76	84,4	-	-
			14	15,6		
64	Gebäude / pcf	62	33	53,2	-	-
			29	46,8		
67	? / ?	14	6	42,9	-	-
			8	57,1		
68	Straße, Erdwall / -	126	47	37,3	-	-
			79	62,7		
70	Wohngebiet / pcf	3	3	100	22	-
			0	-		
73	Gebäude, PKW / ?	199	75	37,7	-	-
			124	62,3		



Tabelle A3-6 : Fortsetzung

Lfd.Nr.	Unfallphase Landeanflug ( final approach )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl	in %	Tote	Verletzte
Schäden am Boden / pcf ( post crash fire )	Überlebende: Anzahl		in %			
75	? / ?	42	34	81	-	-
			8	19		
76	Golfplatz / ?	146	92	63	-	-
			54	37		
78	Bäume / ?	38	21	55,3	-	-
			17	44,7		
80	Bäume / ?	42	22	52,4	-	-
			20	47,6		
82	Bäume / ?	128	4	3	-	-
			124	97		
84	Bäume / ?	46	46	100	-	-
			0	-		
85	Strommast / pcf	10	10	100	-	-
			0	-		
86	? / ?	25	25	100	-	-
			0	-		
88	Bäume / pcf	23	23	100	-	-
			0	-		
90	? / ?	41	41	100	-	-
			0	-		
92	? / ?	2	2	100	-	-
			0	-		
94	Gebäude, Bäume / pcf	84	84	100	-	-
			0	-		
97	? / -	23	4	17,4	-	-
			19	82,6		
103	? / pcf	3	0	-	-	-
			3	100		
107	Hochspannungsleitung, Feld / pcf	102	12	11,8	-	-
			90	88,2		
108	Kleine Bäume / ?	13	0	-	-	-
			13	100		
109	Bäume / ?	18	18	100	-	-
			0	-		
111	Gebäude / pcf	9	5	55,6	-	-
			4	44,4		
112	? / ?	13	13	100	-	-
			0	-		
113	Bäume / ?	12	12	100	-	-
			0	-		

Tabelle A3-6 : Fortsetzung

Lfd.Nr.	Unfallphase Landeanflug ( final approach )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl	in %	Tote	Verletzte
Schäden am Boden / pcf ( post crash fire )	Überlebende: Anzahl		in %			
114	Wald / ?	17	17	100	-	-
			0	-		
115	? / ?	23	23	100	-	-
			0	-		
116	Bäume / ?	20	15	75	-	-
			5	25		
117	Strommast, Wohngebiet / pcf	5	5	100	-	-
			0	-		
121	Sumpfgebiet / ?	76	71	93,4	-	-
			5	6,6		
124	? / ?	2	2	100	-	-
			0	-		
128	Wald / pcf	10	10	100	-	-
			0	-		
133	Feld / ?	12	12	100	-	-
			0	-		
134	Wohngebiet / ?	23	2	8,7	2	-
			21	91,3		
138	Fabrikgebäude / ?	17	16	94,1	-	-
			1	5,9		
139	? / pcf	2	2	100	-	-
			0	-		
140	? / pcf	4	4	100	-	-
			0	-		
142	Bäume, Stromleitungen / ?	16	5	31,3	-	-
			11	68,7		
143	? / ?	16	16	100	-	-
			0	-		
146	Kokosnussplantage / ?	53	15	28,3	-	-
			38	71,7		
147	? / ?	3	3	100	-	-
			0	-		
151	Bäume, Feld / ?	66	65	98,5	-	-
			1	1,5		
153	Bäume / ?	17	4	23,5	-	-
			13	76,5		
155	Reisfeld / -	89	0	-	-	-
			89	100		
156	? / ?	2	2	100	-	-
			0	-		
157	Wohngebiet / pcf	196	196	100	7	-
			0	-		
158	? / pcf	2	2	100	-	-
			0	-		

Tabelle A3-6 : Fortsetzung

Lfd.Nr.	Unfallphase Landeanflug ( final approach )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl	in %	Tote	Verletzte
Schäden am Boden / pcf ( post crash fire )	Überlebende: Anzahl		in %			
163	Sumpfgebiet / ?	25	1	4	-	-
			24	96		
164	Gebäude / ?	3	2	66,7	1	7
			1	33,4		
165	Gummibaum-Plantage / pcf	146	101	69,2	-	-
			45	30,8		
166	? / ?	5	5	100	-	-
			0	-		
167	Fluss / -	11	0	-	-	-
			11	100		
168	Gebäude / pcf	2	2	100	-	-
			0	-		
169	Wohngebiet / pcf	11	11	100	19	-
			0	-		
171	? / ?	1	1	100	-	-
			0	-		
174	? / ?	2	2	100	-	-
			0	-		
175	? / ?	4	1	25	-	-
			3	75		
184	Gebäude, PKW / -	8	6	75	4	-
187	Wohngebiet / pcf	58	55	94,8	5	5
			3	5,2		
191	Flurschaden / pcf	6	3	50	-	-
			3	50		
192	Bäume / ?	6	2	33,3	-	-
			4	66,7		
193	Bäume / pcf	3	3	100	-	-
			0	-		
194	? / ?	18	18	100	-	-
			0	-		
196	Autobahn / -	47	4	8,5	-	-
			43	91,5		
198	? / ?	17	2	11,8	-	-
			15	88,2		
199	Wald / pcf	33	24	72,7	-	-
			9	27,3		
200	? / pcf	13	1	7,7	-	-
			12	92,3		
210	Hindernis / pcf	80	75	94	-	-
			5	6		
Σ	91 Ereignisse	3337	2020	60,5	60	12
			1317	39,5		

Tabelle A3-7 : Unfallphasen, Tote und Verletzte im Luftfahrzeug und am Boden

Lfd.Nr.	Unfallphase Landing ( landing )	Luftfahrzeug			Boden	
		An Bord	Tote: Anzahl	in %	Tote	Verletzte
Schäden am Boden / pcf ( post crash fire )	Überlebende: Anzahl		in %			
16	? / pcf	154	14	9	-	-
			140	91		
22	Feld / pcf	27	27	100	-	-
			0	-		
24	? / ?	111	19	17	-	-
			92	83		
28	Drainagegraben / ?	124	0	-	-	-
			124	100		
87	Betonteile / pcf	63	34	54	-	-
			29	46		
100	Gebäude / pcf	236	0	-	-	3
			236	100		
104	? / ?	24	24	100	-	-
			0	-		
118	? / ?	10	0	-		
			10	100		
120	Wohngebiet / ?	3	0	-	6	-
			3	100		
132	? / ?	49	8	16		
			41	84		
136	? / pcf	8	2	25	-	-
			6	75		
148	Flurschaden / pcf	55	1	2	-	-
			54	98		
149	Straße / -	17	1	6	-	-
			16	94		
159	Wohngebiet / ?	127	0	-	3	89
			127	100		
177	Wohngebiet / -	314	16	5	9	-
			298	95		
183	Straße / -	142	0	-	-	-
			142	100		
189	Wohngebiet / -	88	0	-	5	-
			88	100		
204	Feld / pcf	3	0	-	-	-
			3	100		
206	Hindernis / -	5	1	20	-	-
			4	80		
208	Feld / -	28	0	-	-	-
			28	100		
Σ	20 Ereignisse	1588	147	9	23	92
			1441	91	1,4 v. 1588	5,8

Tabelle A4-1 : Test auf Exponentialverteilung nach Kolmogoroff – Smirnov mit der Belegung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	Σ	
14	17	6	8	4	2	4	2	1	-	1	1	-	-	-	1	1	-	1	-	1	-	-	1	-	1	66	
Main-take-off and climb direction Hauptstartrichtung ; r = 300 m, D = 7800 m; λ = 0,25																											
(1)		(2)		(3)		(4)		(5)		(6)																	
9,11,12,16 17,19,21,24,26		1		0,5294		0,2211		0,2211		0,3082																	
6,8		2																									
5,7		4																									
3		6																									
4		8																									
1		14																									
2		17																									
Σ = 17 Σ x <sub>i</sub> = 66		Prüfgröße / Test statistic : $\sqrt{17} \times 0,3082 = 1,27$										Größter Wert / max. value : 0,3082 Kritischer Wert / critical value : $I_{n;0,95}^{exp} = 1,05$															

Signifikante Abweichung von einer Exponentialverteilung zum Niveau α = 0,05

Tabelle A4-2 : Test auf Exponentialverteilung nach Kolmogoroff – Smirnov mit der Belegung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	Σ	
14	17	6	8	4	2	4	2	1	-	1	1	-	-	-	1	1	-	1	-	1	-	-	1	-	1	65	
Main-take-off and climb direction Hauptstartrichtung ; r = 300 m, D = 7800 m; λ = 0,24																											
(1)		(2)		(3)		(4)		(5)		(6)																	
9,11,12,16 17,19,21,24		1		0,5000		0,2133		0,2133		0,2866																	
6,8		2																									
5,7		4																									
3		6																									
4		8																									
1		14																									
2		17																									
Σ = 16 Σ x <sub>i</sub> = 65		Prüfgröße / Test statistic : $\sqrt{16} \times 0,2866 = 1,14$										Größter Wert / max. value : 0,2866 Kritischer Wert / critical value : $I_{n;0,95}^{exp} = 1,05$															

Signifikante Abweichung von einer Exponentialverteilung zum Niveau α = 0,05

mit (1) = Nr. i  
(2) = x<sub>i</sub>  
(3) = S<sub>n</sub>(x<sub>i</sub>)

(4) = 1 - e<sup>-λ·x<sub>i</sub></sup>  
(5) = 1 - e<sup>-λ·x<sub>i</sub></sup> - S<sub>n</sub>(x<sub>i-1</sub>)  
(6) = S<sub>n</sub>(x<sub>i</sub>) - 1 + e<sup>-λ·x<sub>i</sub></sup>

Tabelle A4-3 : Test auf Exponentialverteilung nach Kolmogoroff – Smirnov mit der Belegung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Σ
14	17	6	8	4	2	4	2	1	-	1	1	-	-	-	1	1	-	1	-	1	64
Main-take-off and climb direction Hauptstartrichtung ; r = 300 m, D = 6300 m; λ = 0,23																					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)																
9,11,12,16 17,19,21	1	0,4666	0,2054	0,2054	< 0																
6,8	2	0,6000	0,3687	< 0	0,2312																
5,7	4	0,7333	0,6014	0,0014	0,1318																
3	6	0,8000	0,7484	0,0151	0,0515																
4	8	0,8666	0,8411	0,0411	0,0254																
1	14	0,9333	0,9600	0,0934	< 0																
2	17	1,0000	0,9799	0,0466	0,0200																
Σ = 15 Σ x <sub>i</sub> = 64	Prüfgröße / Test statistic : $\sqrt{15} \times 0,2312 = 0,89$										Größter Wert / max. value : 0,2312 Kritischer Wert / critical value : $I_{n,0,95}^{exp} = 1,04$										

Keine signifikante Abweichung von einer Exponentialverteilung zum Niveau α = 0,05

mit (1) = Nr. i

(2) = x<sub>i</sub>

(3) = S<sub>n</sub>(x<sub>i</sub>)

(4) = 1 - e<sup>-λ·x<sub>i</sub></sup>

(5) = 1 - e<sup>-λ·x<sub>i</sub></sup> - S<sub>n</sub>(x<sub>i-1</sub>)

(6) = S<sub>n</sub>(x<sub>i</sub>) - 1 + e<sup>-λ·x<sub>i</sub></sup>

Tabelle A4-4 : χ<sup>2</sup> - Anpassungstest für die Exponentialverteilung Ex (0,23)

Intervall r = 300 m; Distanz D = 6300 m; λ = 0,23; n = 64				
I <sub>i</sub>	O <sub>i</sub>	p <sub>i</sub>	E <sub>i</sub>	(O <sub>i</sub> - E <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> / E <sub>i</sub>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	14	0,2054	13,1456	0,0555
2	17	0,1632	10,4448	4,1140
3	6	0,1297	8,3008	0,6377
4	8	0,1031	6,5984	0,2977
5	4	0,0819	5,2416	0,2941
6	2	0,0650	4,1600	7,4624
7	4		3,3024	
8	2	0,0410	2,6240	6,3680
9	1		2,0864	
10	-		1,6576	
11	1	0,0206	1,3184	5,8816
12	1		1,0432	
13	-		0,8320	
14	-		0,6592	
15	-		0,5248	
16	1		0,4160	
17	1	0,3264		
18	-	0,2624		
19	1	0,2048		
20	-	0,1664		
21	1	0,1280		
	64			7,4691

$$T(x) = \sum_{i=1}^8 (O_i - E_i)^2 / E_i = 7,46$$

χ<sup>2</sup><sub>k-1; 1-α</sub> = χ<sup>2</sup><sub>7; 0,95</sub> = 14,07 → T(x) > χ<sup>2</sup><sub>7; 0,95</sub> : Die Hypothese Ex (0,23) wird nicht verworfen

Tabelle A-5: Territoriale Trefferwahrscheinlichkeit in die 300 - m - Intervalle / Startrichtung

Intervall Nr.	von - bis ( m )	Spezifische Trefferwahrscheinlichkeit $P_{ST}$ unter der Annahme $\lambda = 0,23$	Territoriale Trefferwahrscheinlichkeit $P_{TT}$ unter der Annahme $P_{SA} = 1,0 \times 10^{-6}$
( 1 )	( 2 )	( 3 )	( 4 ) = ( 3 ) x $P_{SA}$
1	0000 – 0300	0,2054	$2,1 \times 10^{-7}$
2	0300 – 0600	0,1632	$1,6 \times 10^{-7}$
3	0600 – 0900	0,1297	$1,3 \times 10^{-7}$
4	0900 – 1200	0,1031	$1,0 \times 10^{-7}$
5	1200 – 1500	0,0819	$8,2 \times 10^{-8}$
6	1500 – 1800	0,0650	$6,5 \times 10^{-8}$
7	1800 – 2100	0,0516	$5,2 \times 10^{-8}$
8	2100 – 2400	0,0410	$4,1 \times 10^{-8}$
9	2400 – 2700	0,0326	$3,3 \times 10^{-8}$
10	2700 – 3000	0,0259	$2,6 \times 10^{-8}$
11	3000 – 3300	0,0206	$2,0 \times 10^{-8}$
12	3300 – 3600	0,0163	$1,6 \times 10^{-8}$
13	3600 – 3900	0,0130	$1,3 \times 10^{-8}$
14	3900 – 4200	0,0103	$1,0 \times 10^{-8}$
15	4200 – 4500	0,0082	$0,8 \times 10^{-8}$
16	4500 – 4800	0,0065	$0,7 \times 10^{-8}$
17	4800 – 5100	0,0051	$0,5 \times 10^{-8}$
18	5100 – 5400	0,0041	$0,4 \times 10^{-8}$
19	5400 – 5700	0,0032	$0,3 \times 10^{-9}$
20	5700 – 6000	0,0026	$0,3 \times 10^{-9}$
21	6000 – 6300	0,0020	$0,2 \times 10^{-9}$

Tabelle A6-1 : Test auf Exponentialverteilung nach Kolmogoroff – Smirnov mit der Belegung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ
12	13	11	6	7	6	4	6	3	1	1	5	4	3	2	2	1	1	-	-	-	-	-	2	90

Main approach and landing direction Landerichtung ; r = 400 m, D = 9600 m; λ = 0,21					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
10,11,17,18	1	0,2105	0,1894	0,1894	0,0210
15,16,24	2	0,3684	0,3429	0,1324	0,0254
9,14	3	0,4736	0,4674	0,0990	0,0062
7,13	4	0,5789	0,5682	0,0946	0,0106
12	5	0,6315	0,6500	0,0711	< 0
4,6,8	6	0,7894	0,7163	0,0848	0,0730
5	7	0,8421	0,7700	< 0	0,0720
3	11	0,8947	0,9007	0,0586	< 0
1	12	0,9473	0,9195	0,0248	0,0277
2	13	1,0000	0,9347	< 0	0,0652
Σ = 19 Σ x <sub>i</sub> = 90	Prüfgröße / Test statistic : $\sqrt{19} \times 0,1894 = 0,83$			Größter Wert / max. value : 0,1894	
				Kritischer Wert / critical value : $I_{n;0,95}^{exp} = 1,05$	

Keine signifikante Abweichung von einer Exponentialverteilung zum Niveau α = 0,05

mit (1) = Nr. i  
(2) = x<sub>i</sub>  
(3) = S<sub>n</sub>(x<sub>i</sub>)

(4) = 1 - e<sup>-λ·x<sub>i</sub></sup>  
(5) = 1 - e<sup>-λ·x<sub>i</sub></sup> - S<sub>n</sub>(x<sub>i-1</sub>)  
(6) = S<sub>n</sub>(x<sub>i</sub>) - 1 + e<sup>-λ·x<sub>i</sub></sup>

Tabelle A6-2 : Test auf Exponentialverteilung nach Kolmogoroff – Smirnov mit der Belegung

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Σ
12	13	11	6	7	6	4	6	3	1	1	5	4	3	2	2	1	1	-	-	-	-	-	2	88

Main approach and landing direction Landerichtung ; r = 400 m, D = 7200 m; λ = 0,20					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
10,11,17,18	1	0,2222	0,1812	0,1812	0,0409
15,16	2	0,3333	0,3296	0,1074	0,0036
9,14	3	0,4444	0,4511	0,1734	< 0
7,13	4	0,5555	0,5506	0,1062	0,0048
12	5	0,6111	0,6321	0,0766	< 0
4,6,8	6	0,7777	0,6988	0,0877	0,0788
5	7	0,8333	0,7534	< 0	0,0798
3	11	0,8888	0,8891	0,0558	< 0
1	12	0,9444	0,9092	0,0204	0,0351
2	13	1,0000	0,9257	< 0	0,0742
Σ = 18 Σ x <sub>i</sub> = 88	Prüfgröße / Test statistic : $\sqrt{18} \times 0,1812 = 0,77$			Größter Wert / max. value : 0,1812	
				Kritischer Wert / critical value : $I_{n;0,95}^{exp} = 1,05$	

Keine signifikante Abweichung von einer Exponentialverteilung zum Niveau α = 0,05



Tabelle A7-1:  $\chi^2$  - Anpassungstest für die Exponentialverteilung  $Ex(0,21)$

Intervall $r = 400$ m; Distanz $D = 9600$ m; $\lambda = 0,21$ ; $n = 90$						
$I_i$	$O_i$		$p_i$	$E_i$		$(O_i - E_i)^2 / E_i$
(1)	(2)		(3)	(4)		(5)
1	12		0,1894	17,046		1,4937
2	13		0,1535	13,815		0,0480
3	11		0,1244	11,196		0,0034
4	6		0,1008	9,072		1,0402
5	7		0,0817	7,353		0,0169
6	6		0,0662	5,958		0,0003
7	4	10	0,0537	4,833	8,748	0,1791
8	6		0,0435	3,915		
9	3	4	0,0353	3,177	5,751	0,5331
10	1		0,0286	2,574		
11	1	10	0,0231	2,079	5,139	4,5980
12	5		0,0188	1,692		
13	4		0,0152	1,368		
14	3	11	0,0123	1,107	5,256	6,2773
15	2		0,0100	0,900		
16	2		0,0081	0,729		
17	1		0,0065	0,585		
18	1		0,0053	0,477		
19	-		0,0043	0,387		
20	-		0,0035	0,315		
21	-		0,0028	0,252		
22	-		0,0023	0,207		
23	-		0,0018	0,162		
24	2		0,0015	0,135		
	90					14,19

$$T(x) = \sum_{i=1}^{10} (O_i - E_i)^2 / E_i = 14,19$$

$\chi^2_{k-1; 1-\alpha} = \chi^2_{9; 0,95} = 16,92 \rightarrow T(x) < \chi^2_{9; 0,95}$  : Die Hypothese  $Ex(0,21)$  wird nicht verworfen

Bemerkung : Da in den Intervallen 19-23 keine Beobachtungen vorliegen, wird der Test ohne diese Intervalle, d.h. mit  $\lambda = 0,20$  wiederholt.

## **Die Entwicklung der BAM in Daten und Stichworten**

- 1870** Das Preußische Ministerium für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten veranlasst die Errichtung einer Mechanisch-technischen Versuchsanstalt mit der Aufgabe, Versuche im allgemeinen wissenschaftlichen und öffentlichen Interesse sowie Festigkeitsprüfungen durchzuführen.
- 1904** Das Königliche Materialprüfungsamt wird durch Vereinigung der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt mit der Königlichen Prüfungsstation für Baumaterialien (gegr. 1875) und der Königlichen chemisch-technischen Versuchsanstalt (gegr. 1877) in Berlin-Dahlem errichtet.
- 1919** Das neu benannte Staatliche Materialprüfungsamt (MPA) ressortiert beim Preußischen Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung; ab 1936 wird die ReichsRöntgenstelle in das MPA einbezogen.
- 1920** Die Chemisch-Technische Reichsanstalt (CTR) wird beim Reichsministerium des Innern errichtet; sie ging hervor aus dem 1889 als Zentralversuchsstelle für Explosivstoffe geschaffenen Militärversuchsamts.
- 1945** MPA und CTR werden unter Betreuung durch den Magistrat von Berlin zusammengefasst.
- 1954** MPA/CTR werden als Bundesanstalt für mechanische und chemische Materialprüfung (BAM) – ab 1956 Bundesanstalt für Materialprüfung – von der Bundesrepublik Deutschland übernommen. Die BAM wird zusätzlich mit der Wahrnehmung amtlicher Materialprüfungsaufgaben für das Land Berlin beauftragt.
- 1969** Die BAM wird durch das Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz) Bundesoberbehörde; bei der Gesetzesnovellierung 1986 wird der Begriff Forschung in den Namen der BAM aufgenommen.
- 1975** Durch das Gesetz über die Beförderung gefährlicher Güter werden der BAM weitere Aufgaben im Bereich der öffentlichen technischen Sicherheit übertragen.
- 1990** Mit der deutschen Vereinigung wird entsprechend einer Empfehlung des Wissenschaftsrates die Funktion der BAM als chemisch-technische Bundesanstalt verstärkt. Dazu wird Personal des aufgelösten Amtes für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung (ASMW) und der aufgelösten Akademie der Wissenschaften der DDR eingestellt. Die amtlichen Materialprüfungsaufgaben für das Land Berlin werden schrittweise aufgegeben.
- 1995** Die BAM erhält nach externer Evaluierung und umfassender Reorganisation durch Erlass des Bundesministeriums für Wirtschaft ein neues Statut, neue Managementinstrumente und ein zukunftsorientiertes Profil als Bestandteil der technisch-wissenschaftlichen Infrastruktur der Bundesrepublik Deutschland.

