

Rainer Konersmann

**Festlegung von Ausschluß-  
flächen in Start- und  
Einflugschneisen von Flug-  
häfen und Landeplätzen  
gemäß Störfallverordnung**

231

**Forschungsbericht**



Die Aufgaben  
der Bundesanstalt  
stehen unter der Leitlinie:

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

### **Die Aufgaben**

Die BAM hat gemäß ihrem Gründungserlaß die Zweckbestimmung, die Entwicklung der deutschen Wirtschaft zu fördern. Sie 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 Schwesterinstitutionen, 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“ (MNPQ) 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 Technologie 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 1700 Mitarbeiter, darunter mehr als 800 Wissenschaftler und Ingenieure, auf dem Stammgelände in Berlin-Lichterfelde sowie auf den Zweiggeländen in Berlin-Steglitz und Berlin-Adlershof tätig.

Dr. Rainer Konersmann

**Zur Festlegung von Ausschlußflächen  
in Start- und Einflugschneisen von  
Flughäfen und Landeplätzen gemäß  
Störfall-Verordnung**

**Forschungsbericht 231**

Berlin, Juli 1998

## Impressum

### Forschungsbericht 231

Herausgegeben von  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87, 12205 Berlin  
Telefon (030) 81 04-0  
Telefax (030) 8 11 20 29

Copyright © 1999 by Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Herstellung und Verlag:  
Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Bürgermeister-Smidt-Str. 74-76, 27511 Bremerhaven  
Postfach 10 11 10, 27611 Bremerhaven  
Telefon (0471) 9 46 44-0  
Telefax (0471) 9 45 44 77/88

D 468

Layout: R. Konersmann

ISSN 0938-5533

ISBN 3-89701-338-X

## 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. Es ist bislang nicht geregelt, wie die Resultate einer derartigen Risikoabschätzung zu interpretieren sind. Gegenwärtig wird eine ortsspezifische Absturzhäufigkeit ermittelt und diese einer fiktiven sensiblen Anlagenfläche gegenübergestellt. Als Resultat einer derartigen Abschätzung wird eine Trefferwahrscheinlichkeit ermittelt, die mit anderen zivilisatorischen Risiken verglichen wird, obwohl diese die Spezifiken des Luftverkehrs nicht adäquat abbilden können.

In Deutschland ( alte Bundesländer ) existieren z. Zt. ca. 550 Flughäfen und Landeplätze. Diese hohe Dichte hat zur Folge, daß ca. 24 % der Landesfläche unmittelbar vom Luftverkehr betroffen ist. Die meisten Flugzeugabstürze sind auf Unfallereignisse in der allgemeinen Luftfahrt zurückzuführen. Diese sind jedoch in 74 % der Fälle auf den unmittelbaren Platzbereich beschränkt. Die Einflugschneisen großer Flugplätze sind durch Zwischenfälle in der allgemeinen Luftfahrt weniger gefährdet, als dies bei Landeplätzen der Fall ist. Aus diesem Grund ist die in der 2. Verwaltungsvorschrift zur Störfall - Verordnung ( 2. StörfallVwV ) festgelegte Abstandsregelung zu überprüfen.

In der vorliegenden Arbeit wird durch Analyse und Auswertung von Unfallstatistiken der allgemeinen Luftfahrt gezeigt, daß eine Abhängigkeit zwischen der Unfallhäufigkeit, der Flugplatzgröße und der Anzahl der jährlichen Bewegungen besteht. 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 des Direktreffers eines definierten Flächenelements in den Start - und Einflugschneisen angegeben werden. Durch Vergleiche mit Risikoanalysen aus dem Bereich der Kerntechnik, der Lagerung von Gasen und natürlichen Risiken die eine vergleichbare Belastung darstellen, wird ein Flächenbereich angegeben, innerhalb dessen 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. At present there is no common practise in interpretation of the results of such a risk assesement. The current method is to determine the local crash rate and compare this with a fictive plant area. The estimated impact probability is compared with other civilization risks although these risks not at all cover the specific characteristics of air traffic.

In Germany ( the investigation is restricted to the former West-Germany ) exists about 550 large and small airports. As a consequence of this high airport density 24 % of the West-German territory is affected by air traffic. Most aircraft crashes are caused by general aviation accidents. But in 74 % of all cases the accident locations are directly within the airport area and not in the nearby - field. The approach lanes of large airports are less affected by general aviation incidents than in smaller airports. For this reason the distance requirements of the siting regulations have to be investigated for verification.

In the present thesis the aircraft accident statistics for general aviation have been analysed. As one result it is shown that there is a dependence between aircraft crash frequency, size of airports and annual take - offs. 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. Based upon a comparison with risk analyses from nuclear technology, gas storage facilities als well as natural risks of comparable effect, an area of increased risk is indicated. Industrial installations with high hazard potential are not recommended within these areas of increased risk, or need additional protections against aircraft crashes.

## INHALTSVERZEICHNIS

	<b>Seite</b>
<b>1 EINLEITUNG UND ZIELSTELLUNG</b>	1
<b>2 DAS AKZEPTANZPROBLEM</b>	2
2.1 Der Risikovergleich seltener Ereignisse	3
2.1.1 Der Aversionsfaktor	4
2.1.2 Die Ereignisklassen	5
2.2 Das Akzeptanzproblem, Grenzwerte	6
<b>3 DAS BUNDESIMMISSIONSSCHUTZGESETZ UND DER FLUGZEUGABSTURZ</b>	7
<b>4 DAS LUFTVERKEHRSRECHT</b>	11
4.1 Internationale Organisationen	11
4.2 Nationale Organisationen	12
4.3 Das nationale Luftverkehrsrecht	13
<b>5 GRUNDLAGEN</b>	13
5.1 Flugunfälle, Definitionen	17
5.2 Flughäfen und Landeplätze	18
5.2.1 Flughäfen	18
5.2.2 Landeplätze	20
5.3 Benutzung, Verkehrsvorschriften	21
5.4 Gewerblicher, nicht gewerblicher Luftverkehr, allgemeine Luftfahrt	22
<b>6 FLUGABSCHNITTE</b>	23
6.1 Der Luftfahrzeugführer und das Überfliegen von Industrieanlagen	24
<b>7 DIE STATISTIK DES LUFTFAHRT-BUNDESAMTES (LBA)</b>	26
<b>8 DER FLUGHAFEN MÜNCHEN - RIEM</b>	30

<b>9 AUSWAHL VON BEURTEILUNGSKRITERIEN, DEFINITIONEN, METHODIK</b>	<b>34</b>
9.1 Die Art des Flugplatzes und die Unfallhäufigkeit	37
9.1.1 Die Länge der Start - und Landebahnen	40
9.1.2 Die spezifische Absturzhäufigkeit und die Flugplatzgröße	41
9.1.3 Die spezifische Absturzhäufigkeit und die Anzahl der Bewegungen	44
9.1.4 Zusammenfassung	46
9.2 Der Luftfahrzeugbestand und die Unfallhäufigkeit	46
9.3 Trefferfläche und Wrackteilstreuung	48
9.4 Die Analyse der Absturzvektoren	53
9.4.1 Statistische Analyse der Absturzorte, Prüfung auf Exponentialverteilung	57
9.4.2 Die Abschätzung des Parameters $\lambda$	61
9.4.3 Der Kolmogoroff - Smirnov - Anpassungstest	64
9.4.4 Der $\chi^2$ - Anpassungstest	66
9.5 Ergebnisse der statistischen Tests	67
9.6 Die territoriale und die terrestrischen Trefferwahrscheinlichkeit	76
<b>10 VERGLEICH VON RISIKOAUSSAGEN BEZÜGLICH DES AKZEPTIERTEN RISIKOS UND DER RISIKEN INFOLGE EINES FLUGZEUGABSTURZES FÜR KERNKRAFTWERKE UND LAGERANLAGEN FÜR LPG / LNG</b>	<b>79</b>
10.1 Das akzeptierte Risiko, Risikowerte natürlicher und technischer Risiken	79
10.2 Risikoaussagen in Risikoanalysen für Kernkraftwerke	85
10.2.1 Biblis B	86
10.2.2 Unterweser	87
10.2.3 BASF - Mitte	87
10.2.4 Philippsburg	88
10.2.5 Zion / USA	89
10.2.6 Seabrock Generating Station	91
10.2.7 Millstone Unit 3	91
10.2.8 Oconee	91
10.2.9 Three Mile Island	92
10.2.10 Shoreham	92
10.2.11 Hartsville	93
10.2.12 Pickering Generating Station / Kanada	93



10.3	Risikoaussagen in Risikoanalysen für Lageranlagen zur Lagerung von LPG und LNG	93
10.3.1	LNG - Terminal Wilhelmshaven	94
10.3.2	LNG - Terminal Rotterdam / Eemshaven	94
10.3.3	Mossmorran - Braefoot Bay / Schottland	95
10.3.4	Kalifornien - Point Conception, Oxnard, Los Angeles	95
10.3.5	Canvey Island	96
10.3.6	Flüssiggas - Terminal Emden	97
10.4	Die Bewertung von natürlichen Risiken in Risikoanalysen	98
10.4.1	Tornados	98
10.4.2	Erdbeben	99
10.4.3	Meteoriten	100
10.5	Akzeptanzkriterien hinsichtlich des Flugzeugabsturzes in Europa und den USA	101
10.5.1	Europa	101
10.5.2	USA	103
10.5.3	Annahmen bei den Berechnungen	103
10.6	Die akzeptable territoriale Trefferwahrscheinlichkeit in den Start - und Einflugschneisen	107
<b>11</b>	<b>SCHLUSSBETRACHTUNG</b>	<b>113</b>
	<b>LITERATUR</b>	<b>116</b>



## 1 EINLEITUNG UND ZIELSTELLUNG

In einem dichtbesiedelten Industrieland ist es kaum mehr möglich, den gewerblichen und nicht gewerblichen Luftverkehr über unbesiedeltem Gebiet durchzuführen, so daß eine Gefährdung Dritter von vornherein auszuschließen wäre. Die Industriestandorte orientieren sich darüber hinaus auch in vielen Fällen an eine verkehrsgünstige Anbindung ( z.B. Wasserstraßen ) und an die vorhandene Infrastruktur. Diese ist in der Nähe eines Flugplatzes im allgemeinen gut ausgebildet. Die unmittelbare Nähe einer Luftverkehrsquelle muß darum einen Industriestandort nicht von vornherein ausschließen, in gewisser Weise begünstigt sie diesen sogar.

Lammert / 1 / bemerkt dazu : " Das System der für die allgemeine Luftfahrt ganzjährig geöffneten 158 Verkehrslandeplätze und zusätzlichen Sonderlandeplätze schließt fast alle deutschen Großstädte und ihre Regionen direkt an das internationale Luftverkehrsnetz an. Damit werden auch eventuell nachteilige Standortbedingungen verbessert. Insbesondere Geschäftsluftfahrt, Taxiflüge, Arbeitsluftfahrt ( mit Rettungs - und Krankenflügen ), Agrarluftfahrt und die Ausbildung des fliegenden Personals sind heute unverzichtbar für das wirtschaftliche und soziale Gefüge."

Bei einer Anzahl von ca. 550 zivilen Flugplätzen hat der sogen. Platzrundenbereich einen Anteil von ca. 24 % an der Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland ( alte Bundesländer ).

Darin ist nicht berücksichtigt, daß ein großer Flächenanteil von der allgemeinen Luftfahrt nicht genutzt werden kann ( Hochgebirgsregionen, Sperrgebiete ). Die hohe Besiedelungsdichte hat außerdem zur Folge, daß aus emissionsschutzrechtlichen Gründen Überflugverbote für sensible Wohnflächen und Industriestandorte erlassen werden mußten.

Vor diesem Hintergrund bestimmt das Bundesimmissionsschutzgesetz in seiner 12. Verordnung, der Störfall-Verordnung ( StörfallVO ) / 2 /, daß Betreiber von Industrieanlagen, die dieser Verordnung unterliegen, eine Sicherheitsanalyse anzufertigen haben. In dieser soll dargelegt werden, welche störfallbegrenzenden und störfallverhindernden Maßnahmen der Betreiber vorhält, um eventuellen Störfällen zu begegnen, bzw. sogenannte " Dennoch - Störfälle " in ihren Auswirkungen derart zu begrenzen, daß eine Schädigung der Umwelt weitestgehend vermieden werden kann. Dazu sind u.a. sämtliche umgebungsbedingten Gefahrenquellen in Betracht zu ziehen die vernünftigerweise nicht ausgeschlossen werden können.

Die Beschreibung der Gefahrenquelle "Luftverkehr" ist kompliziert da eine errechnete Trefferwahrscheinlichkeit hinsichtlich ihrer Akzeptanz interpretiert werden muß. Es werden daher Risikoermittlungen aus anderen Bereichen der Technik und Umwelt herangezogen, obwohl diese die Spezifiken des Luftverkehrs nicht adäquat abbilden können. Dieser Forschungsbericht soll die Frage beantworten, wie die Gefährdung von Industrieanlagen durch den Luftverkehr im Nahbereich der Flughäfen im Hinblick auf die Anforderungen der Störfall - Verordnung beschrieben und abgeschätzt

werden kann. Darüberhinaus sollen durch Risikobetrachtungen Empfehlungen begründet werden, warum bestimmte flugplatznahe Flächen für sensible Anlagenstandorte vermieden werden sollten.

## 2 DAS AKZEPTANZPROBLEM

C. Starr / 3 / stellte im Jahre 1969 die Frage, in welchem Umfang Sicherheitsmaßnahmen vorgesehen werden müßten, bis ein Unternehmen als sicher genug einzustufen sei. Mit dieser Fragestellung geht auch die Erkenntnis einher, daß es keine risikofreien Zustände gibt und sich diese auch nicht herstellen lassen werden. Die zweite Frage, die in diesem Zusammenhang jedoch dadurch noch interessanter wird ist die, bis zu welchem Punkt ein bekanntes Risiko hingenommen, akzeptiert werden kann.

Das Risiko hat zwei Optionen, einen Nutzen und einen Schaden. Ein risikofreudiges Verhalten kann z.B. den Gewinn als auch den Verlust materieller Werte bewirken. Aus diesem Grund spielen bei der Risikoabwägung komplizierte individuelle Abwägungsprozesse eine wichtige Rolle die auch in einem hohen Maß von der Sozialisation der Betroffenen beeinflußt werden. Starr hat verschiedene Tätigkeiten miteinander verglichen, deren Risiko und Nutzen ( ausgedrückt in Geld ) gegenübergestellt und daraus Folgerungen für das Risikoverhalten in der Gesellschaft abgeleitet. Er benutzte dabei die Methode der offenbarten Bewertung ( " revealed preference " ) d.h. er bewertete die in der Vergangenheit von der Gesellschaft akzeptierten Risiken, resultierend aus ihrem bisherigen Umgang mit Gefahren und stellt darauf ab, diese als akzeptiert, und somit als Grenzwert für zukünftige Entscheidungen, aufzufassen. Diese Methode ist nicht kritiklos anerkannt worden. Das Gegenstück ist die Methode der geäußerten Bewertung ( " expressed preference ", Fischhoff ) die auf einem Fragebogenprinzip aufbauend, sich an den augenblicklichen Wertvorstellungen der Befragten orientiert und dadurch mit dem Makel behaftet ist, daß nicht nach freiwillig und unfreiwillig eingegangenen Risiken unterschieden wird. Dadurch blieb die Option " Schaden oder Nutzen " weitestgehend unberücksichtigt. Darüberhinaus vermag niemand zu beurteilen, ob die augenblicklichen Wertvorstellungen auch wirklich die zukünftigen Vorstellungen reflektieren.

Die Literatur zur Risikoakzeptanz, Risikowahrnehmung und Festlegung von Risikogrenzwerten ist kaum überschaubar. Ein Ansatz, der oft zu finden ist, ist der, daß " ... die Bestimmung eines akzeptablen Risikos in den Rahmen eines geeigneten, als Risikomanagement bezeichneten gesellschaftspolitischen Prozesses ... gehört " / 4 /. Das als akzeptabel empfundene Risiko ist als ein Abwägungsprozeß zwischen einem Nutzen und einem Schaden zu verstehen, es kann qualitativ als auch quantitativ beschrieben werden.

Qualitative Forderungen ( kleiner als, so gering wie möglich ) sind jedoch im konkreten Fall zu präzisieren da sie sonst das eigentliche Ziel, die Grenzwertbildung, nicht ermöglichen.

## 2.1 Der Risikovergleich seltener Ereignisse

Die Abschätzung eines Risikos und die Beurteilung seiner Akzeptanz ist oftmals nur über den Vergleich mit Risiken aus anderen Bereichen der Technik und auch der Natur möglich.

Dabei findet eine Transformation des bekannten, aus eigener Erfahrung beurteilbaren Risikos auf die zu beurteilende Risikosituation statt, jedoch oftmals unter falschen Randbedingungen.

Zulässige Risikovergleiche werden gefunden, indem die Bestandteile des Risikos, die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Schadensausmaß, die beide mit einer Ungewißheit behaftet sind, untersucht werden.

Kuhlmann / 5 / hält einen Risikovergleich für angemessen, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- a ) Eine zu beurteilende Anlage muß mit der gewählten Vergleichsanlage hinsichtlich ihrer technischen Ziele vergleichbar sein.
- b ) Diese Vergleichbarkeit soll auch für die Betriebs - und Umgebungsbedingungen gelten.
- c ) Das mit der Vergleichsanlage verbundene Risiko muß aufgrund ausreichender Erfahrungen vertretbar gering sein.

Der Punkt c ) ist jedoch nur zur erfüllen, wenn man die Methode der offenbarten Bewertung anwendet, d.h. auf Erfahrungen aus der Vergangenheit zurückgreift.

Diese Methode hat zwei wesentliche Vorteile :

1. Sie ermöglicht es, die positiven und negativen Erfahrungen zu sammeln und daher Entwicklungen in Gang zu setzen, die zu einer Risikominimierung beitragen ( Beispiel : Airbag ).
2. Sie verhindert den Verlust von positiven Erfahrungen aus der Vergangenheit, aufgrund von neuerlichen Wertsetzungen infolge ökonomischer Zwänge ( Beispiel : Schiffbau : Roll - On - Roll - Off - Fährschiffe ).

Risikovergleiche zwischen Schadensereignissen mit stark unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten sollten unterlassen werden ( vgl. Fritzsche / 4 / ).

Rowe / 6 / vertritt die Meinung, daß "... jeder Fall mit eigenen Überlegungen für sich angegangen werden " muß, und daß es "... keine einfache Universalmethode, die an die Stelle der sichtbar und mit gesundem Menschenverstand vorzunehmenden individuelle Werturteile treten kann, "... gibt.

Sind Flugzeugabstürze nun seltene Ereignisse ?

Die Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke / 7 / stellt fest, daß sehr kleine Wahrscheinlichkeiten nur sehr schwer in die menschliche Erfahrung einzuordnen sind. Auch nach schwersten Katastrophen der zivilen Luftfahrt werden diese lediglich zur Kenntnis genommen und haben keinen Einfluß auf die Benutzung des Verkehrsmittels Flugzeug.

Die Studie resümiert : " Das bedeutet mit anderen Worten, daß eine Absturzwahrscheinlichkeit von etwa eins zu einer Million pro Flug, wie sie heute weltweit gegeben ist, weitgehend als tragbares Risiko hingenommen wird. "

Der Risikovergleich zur Beurteilung der Gefährdung von Anlagen in den Einflugschneisen ist somit nur dann als ein geeignetes Mittel zur Begründung einer Akzeptanzentscheidung anzusehen, wenn das " Vergleichsrisiko " aus einer ähnlichen Belastung herrührt.

Dies betrifft sowohl die Eintrittshäufigkeit als auch die Konsequenz. Starr / 3 / beziffert im Jahre 1969 das freiwillig eingegangene Risiko bezüglich seines Nutzens, ausgedrückt in Geld, beim Luftverkehr ( Commercial Aviation ) auf  $10^{-6}$ , und stimmt darin mit der Deutschen Risikostudio Kernkraftwerke / 7 / aus dem Jahre 1979 und auch anderen Quellen ( vgl. Kramer 1993 / 8 / ) überein.

### 2.1.1 Der Aversionsfaktor

Es sind einige Fälle aus der Literatur bekannt, die sich mit der Frage beschäftigen, wie man die bekannte Risikoformel um einen "Aversionsfaktor" erweitern könnte, um dem Umstand Ausdruck zu verleihen, daß Katastrophen mit vielen Menschenleben in einer anderen Form zu berücksichtigen sind, als dies bei nur marginalen Schäden der Fall wäre.

Kuhlmann / 5 / sagt dazu : " Wo einer sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeit ein außerordentlich großer Schadensumfang gegenüber steht, ist es offenbar schwer, in der herkömmlichen Rechenweise zu einem allseits auch gesellschaftlich akzeptierten Risiko - Ergebnis zu kommen. " Er plädiert in diesem Zusammenhang für die Einführung des " Aversionsfaktors ", der vielleicht das Szenario abdecken soll, daß in der Deutschen Risikostudio Kernkraftwerke / 7 / eindrucksvoll geschildert wurde : der Flugzeugabsturz eines voll aufgetankten Flugzeuges ( die Größe ist nicht erwähnt ) in ein dicht besetztes Stadion. Man kann nicht von der Hand weisen, daß dieses Beispiel übertrieben gewählt sei, der Absturz einer Boeing 747 / Frachtversion in ein Wohngebiet in Amsterdam am 04.10.1992, bestätigte 13 Jahre später, daß diese Annahme durchaus in Erwägung zu ziehen war.

Mauch et al. / 9 / beschreiben die Gefährdung des Lebensraumes durch zwei Hauptgruppen, durch die mittelbare und langfristige Gefährdung, dadurch gekennzeichnet, daß ein zeitlicher Unterschied zwischen Ursache und Wirkung zu erkennen ist ( Wasserverschmutzung, Luftverschmutzung ) und durch die unmittelbare oder kurzfristige Gefährdung, die sich sofort, ohne

großen zeitlichen Unterschied offenbart ( Unfall beim Gefahrguttransport, Flugzeugabsturz ). Die Einführung einer Aversionsfunktion soll den "... quantitativen Ausdruck eines subjektiven moralisch - psychologischen Wertsystems ..." berücksichtigen, sie soll darauf hinweisen, daß ein Ereignis mit vielen Toten schlimmer empfunden wird, als ein Ereignis mit wenigen Toten, wie sie der Bevölkerung täglich durch die Presse mitgeteilt werden. Eine wissenschaftliche Quantifizierung und Begründung dieses Aversionsfaktors ist bisher nicht gelungen.

### 2.1.2 Die Ereignisklassen

Eine Methode, selten beobachtete Ereignisse zu bewerten, ist die Einteilung in Ereignisklassen. Diese Klassifizierung orientiert sich im wesentlichen an den beobachteten Unfällen in durchschnittlichen Lebenszeiträumen. Die Wichtung nach Ereignisklassen muß jedoch als eine Vereinbarung verstanden werden, die durch den " gesunden Menschenverstand " von Fachleuten getroffen wurde.

Hauptmanns et al. / 10 / legen die Kenngrößen für die Sicherheitsbeurteilung von Kernkraftwerken wie folgt dar: " Für Einwirkungen mit sehr geringer Eintrittshäufigkeit, z.B. Flugzeugabsturz ( ca.  $10^{-5}$  bis  $10^{-7}$  / a ), wird von einer Zuordnung zu den Auslegungsstörfällen im Sinne von § 28/3 der StrlSchV ) abgesehen." Diese Ereignisklassen sind wie folgt definiert und in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 : Zuordnung der Ereignisklassen zu den Begriffen für den " Zustand der Anlage " nach Hauptmanns et al.

	Angenommener Ereignisablauf in der Anlage					
	Bestimmungsgemäßer Betrieb			Störfall		Unfall
	Instand.- Vorgänge	Normal - betrieb	anormaler Betrieb			
Ereignis - klasse	1	2	3	4	5	
Häufig - keit / a		$> 3 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-2} -$ $1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4} -$ $1 \times 10^{-5}$	$< 1 \times 10^{-5}$	

Nach Hauptmanns et al. / 10 / ist bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von  $< 10^{-5}$  keine Vorsorgemaßnahme gegen einen Flugzeugabsturz notwendig.

## 2.2 Das Akzeptanzproblem, Grenzwerte

Das Bundesimmissionsschutzgesetz ( BImSchG ) / 11 / bedient sich unbestimmter Rechtsbegriffe, "... die nur durch ein wertendes Urteil ausgelegt werden können und deshalb einen Beurteilungsspielraum zulassen " / 12 /. Dieser " Beurteilungsspielraum " stellt eine fast unüberwindliche Hürde dar, wenn es z.B. darum geht, Gefährdungen quantitativ zu erfassen mit dem Ziel, eine verbindliche Aussage zu treffen, was " hinnehmbar " ist und was nicht. In besonderem Maße trifft dies auf die Gefährdung durch den Luftverkehr zu. Der Wunsch nach Setzung eines Grenzwertes für Akzeptanzprobleme ist aus der Literatur bekannt.

Rohrman / 13 / schreibt dazu: " Die Zweckbestimmung von Grenzwerten besteht darin, die Ausprägung bzw. die Einwirkung von Umweltstressoren so zu begrenzen, daß Beeinträchtigungen unterhalb eines als " kritisch ", " erheblich", " schädlich", " unzumutbar " bewerteten Ausmaßes bleiben ... ". Weiter führt er aus, daß zur Definition der " kritischen " Belastung fünf grundsätzliche Fragestellungen geklärt sein müssen.

Er bezeichnet diese als:

1. Tatbestandsfrage : Mit welcher Häufigkeit sind Beeinträchtigungen in welcher Schwere zu befürchten ?
2. Kausalitätsfrage : Sind die Ursachen für die Beeinträchtigung eindeutig beschreibbar?
3. Erheblichkeitsfrage : Sind die Beeinträchtigungen erheblich, d.h. sind die Betroffenen der Meinung, daß dem so ist ? Folgende Kriterien sind dabei zu berücksichtigen : Intensität, Häufigkeit, Reversibilität, Meidbarkeit und Kompensierbarkeit.
4. Transformationsfrage : Diese Frage ist schwierig zu beantworten da eine Beeinträchtigung sich nicht durch physikalische Skalen ausdrücken läßt. Bei diesem speziellen Problem sollte diese Frage darum so formuliert werden :  
Wie stellt sich die Beeinträchtigung dar ?
5. Regulationsfrage : Welche Maßnahmen gewähren den erforderlichen Schutz ?

Rohrman resümiert : " ... daß kritische Grenzen gegen Umweltstressoren nicht durch empirische Forschung " findbar " sind. Vielmehr handelt es sich um gesellschaftliche / politische Setzungen, die naturgemäß beträchtlich sind, wie jede Risiko - Evaluation, ein normativer Akt, der aus einer komplexen Güterabwägung zwischen Nutzen, Risiken und Kosten hervorgeht. ... Auch wenn die formalen Entscheidungsrechte beim Staat liegen, ist die Beteiligung der Betroffenen zwingend. "



Das heißt, es gibt prinzipiell drei Möglichkeiten, zu Grenzwerten zu gelangen :

1. Durch administrative Festlegung, nach gutachterlichen Stellungnahmen.
2. Durch eine Expertenvereinbarung ( / 14 /, / 15 /).
3. Durch die Beantwortung der "Rohrman - Fragen".

Ein nicht tolerierbarer Zustand müßte also immer daran zu erkennen sein, daß ein nicht im Voraus zu beziffernder Grenzwert überschritten wird und sich durch die öffentliche Meinung artikuliert, und zwar durch diejenigen, die durch diesen Zustand betroffen sind.

Als Folge dieser Artikulation ( Bürgerbewegungen, Unterschriftenlisten usw. ) kann ein politischer Handlungsbedarf entstehen der dann darauf gerichtet sein wird, den Grund des Aufbegehrens abzustellen.

Die Frage nach der Akzeptabilität kann in zwei Richtungen gestellt werden:

1. Im Sinne des Bundesimmissionsschutzgesetzes, auf das Schutzgut Umwelt gerichtet und
2. hinsichtlich der Gefährdung der Bevölkerung in der Nachbarschaft von großen Gefahren - potentialen und Luftverkehrsquellen.

Es ist zu vermuten, daß das Schutzgut " Umwelt " in den meisten individuellen Abwägungsprozessen nur eine sekundäre Rolle spielt. Zwischen beiden Schutzzielen wird in diesem Forschungsbericht nicht unterschieden. Für den konkreten Fall bedeutet dies, daß zunächst die Ereignisse, die den untolerierbaren Zustand verursacht haben, mit statistischen Daten beschrieben werden müssen. Der Flugzeugabsturz im Nahbereich einer Luftverkehrsquelle läßt sich beschreiben durch den Quotienten der verunfallten und der nicht verunfallten Luftfahrzeuge.

### **3 DAS BUNDESIMMISSIONSSCHUTZGESETZ UND DER FLUGZEUGABSTURZ**

Das Bundesimmissionsschutzgesetz ( BImSchG ) / 11 /, als ein Teil des Umweltschutzrechtes dient dazu, die Allgemeinheit und Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen, die aus industrieller Tätigkeit des Menschen herrühren können, zu schützen und dem Entstehen dieser Beeinträchtigungen vorzubeugen. Der Schutz bezieht sich dabei jedoch nur auf Anlagen mit einem bestimmten Stoffinhalt. Es sind dies solche bei denen aufgrund einer ungewollten Freisetzung dieser Stoffe, ein Wirkungsradius entsteht, der eine Gefährdung der Nachbarschaft mit hoher Wahrscheinlichkeit nachsichzieht. Der Gesetzgeber bedient sich bei der Definition unbestimmter Rechtsbegriffe.

Die Beurteilung einer Gefahr, die Einschätzung der Möglichkeit einer Gefährdung unterliegt somit dem Beurteilungsrahmen der gutachterlich tätigen Behörde, einer Kommission oder auch eines Sachverständigen. Regelungen mit unbestimmten Rechtsbegriffen haben den Nachteil, daß sie einen Sachverhalt nicht an technischen Grenzwerten abschließend beurteilen können.

Unter einer Gefahr ist " eine Sachlage zu verstehen, in der ein Zustand bei ungehindertem Ablauf des Geschehens in überschaubarer Zukunft mit hinreichender Wahrscheinlichkeit zu einem Schaden führen würde ... Hinsichtlich des zu fordernden Grades der Wahrscheinlichkeit ist danach zu unterscheiden, welches Schutzgut gefährdet ist ( Zitat aus Schmatz / Nöthlichs / 12 / ). " Das Schutzgut ist unmittelbar an die Eintrittswahrscheinlichkeit gebunden, es ist keine direkte Größe angegeben, mit der z.B. eine Standortentscheidung zu begründen wäre. Es erfolgt lediglich der Hinweis, daß ein großes Schadensausmaß nur mit einer geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit zu erwarten sein soll. Die für diese Arbeit relevante Verordnung ist die " Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes " ( Störfall - Verordnung - 12. BImSchV / 2 / ) mit den zur Zeit gültigen drei Verwaltungsvorschriften. Diese schreibt in ihrem § 7 für Anlagen, in denen Stoffe nach Anhang II zu dieser Verordnung enthalten sind und eine definierte Mengenschwelle überschreiten, die Anfertigung einer Sicherheitsanalyse vor. Diese Anlagen sind u.a. dadurch charakterisiert, daß sie Stoffe enthalten, die bei störfallbedingten Freisetzungen über die Anlagengrenze hinaus eine nachhaltige Schädigung des Lebens und der Umwelt verursachen können, sei es durch eine Wassergefährdung, Schadstoffemission, Toxizität oder Druckwellenbildung bzw. Brandbelastung infolge Zündung eines zündfähigen Gemisches ( z. B. BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion ). Die Anforderungen, die diese Sicherheitsanalyse erfüllen muß, sind in der Zweiten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift ( 2. StörfallVwV ) / 16 / dargelegt. Unter Punkt 3.2.4.2 sind die umgebungsbedingten Gefahrenquellen, die zu beschreiben sind, aufgeführt. Dazu gehören u.a. benachbarte Verkehrsanlagen, wie z.B. Bundesstraßen, Schienenwege, Bahnhöfe und Wasserstraßen, da vernünftigerweise nicht ausgeschlossen werden kann, daß auf diesen Verkehrswegen und -anlagen Unfälle stattfinden, die aufgrund ihrer Schwere zu einer Beeinträchtigung des bestimmungsgemäßen Betriebes der Anlage und somit auch zu einer Umweltbeeinträchtigung führen können.

In besonderem Maße sind Standorte in den Start - und Einflugschneisen der Landeplätze und Verkehrsflughäfen betroffen, da hier von keiner festen d.h. fahrweggebundenen Verkehrsführung ausgegangen werden kann. Aus diesem Grund ist für die Gefährdung einer Anlage durch den Luftverkehr die Regelung getroffen worden, daß der Verkehr durch Flugzeuge als Gefahrenquelle außer Betracht bleiben kann , " ... wenn die Anlage

- bei Flughäfen außerhalb des Anflugsektors ( § 12 Abs. 1 Nr. 5 LuftVG / 17 / ) oder innerhalb des Anflugsektors, aber mehr als 4 km vom Beginn der Landebahn oder

- bei Landeplätzen außerhalb eines Sektors von jeweils 75 m beiderseits der Bahnachse am Beginn der Landebahn und der Breite von jeweils 225 m beiderseits der Bahnachse in einem Abstand von 1,5 km vom Beginn der Landebahn entfernt liegt ... ."

Die o.g. Flächen sind in Bild 1 dargestellt.

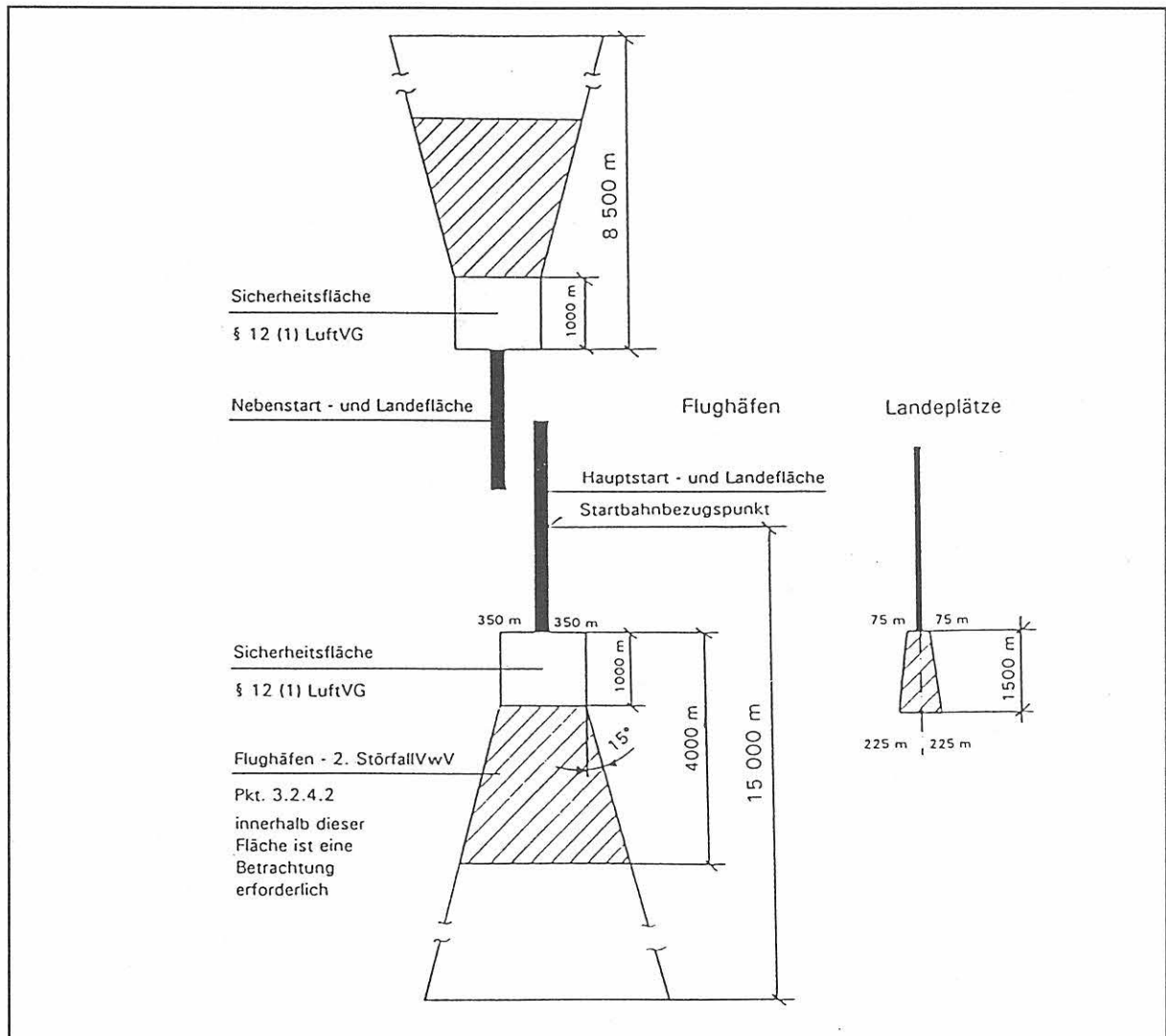


Bild 1 : Flächenfestlegungen nach § 12 ( 1 ) LuftVG / 17 / und Pkt. 3.2.4.2. der 2. StörfallVwV / 16 / für Flughäfen und Landeplätze

In der 2. StörfallVwV / 16 / werden zwei Flugplatzarten unterschieden und aufgrund dieser Differenzierung zwei unterschiedlich große Flächenbereiche als " Vorsorgeflächen " begründet. Für sicherheitstechnische Betrachtungen ist diese Einteilung zu unscharf. Es stellt sich die Frage, warum diese Differenzierung notwendig ist. Diese Flächenfestlegung erweckt den Eindruck, daß Standorte in den Schneisen eines Flughafens mehr gefährdet sind als es bei Landeplätzen anzunehmen ist.

Nach Mensen / 18 / gibt es in Deutschland ca. 381 Landeplätze und 17 Flughäfen.

Laut Statistischem Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland / 19 / sind die in Tabelle 2 aufgeführten Flughäfen, Landeplätze und Flugsportgelände für den zivilen Verkehr in Betrieb.

Tabelle 2 : Flughäfen und Landeplätze in der Bundesrepublik Deutschland ( alte Bundesländer ohne Berlin West )

Bundesland	IVF	VF	VLP	SLP	MZP	MFP	SFH	HLP	SFG
Baden - Württemberg	1	-	19	26	1	1	-	17	64
Bayern	2	-	21	49	-	1	1	11	58
Hessen	1	-	7	15	-	-	-	7	43
Niedersachsen und Bremen	2	1	26	17	1	-	1	26	44
Nordrhein - Westfalen	2	3	21	16	1	-	-	19	32
Rheinland - Pfalz und Saarland	1	-	12	7	3	-	-	9	24
Schleswig Holstein und Hamburg	1	2	10	7	1	-	-	10	6
alte Bundesländer (ohne Berlin-West) gesamt:	10	6	116	137	7	2	2	99	271

IVF - Internationaler Verkehrsflughafen

MFP - Militärflugplatz

VF - Verkehrsflughafen

SFH - Sonderflughafen

VLP - Verkehrslandeplatz

HLP - Hubschrauberlandeplatz

SLP - Sonderlandeplatz

SFG - Segelfluggelände

MZP - Militär - und Zivillandeplatz

Dem Kommentar zum Luftverkehrsgesetz / 20 / ist zu entnehmen, daß zur Unterscheidung von Flughäfen und Landeplätzen das Startgewicht des Luftfahrzeugs heranzuziehen ist. Ein Flugplatz ist geeignet für Start und Landung von Luftfahrzeugen > 20 t Startgewicht, die Landeplätze sind vorzugsweise für Luftfahrzeuge mit einem Startgewicht von 0,8 bis 20 t vorgesehen. Neben der Flugplatzgröße sind demnach auch die nach ihren Startgewichten unterteilten Luftfahrzeuge einer genaueren Betrachtung zu unterziehen.

Vor allem bei der Standortplanung kerntechnischer Anlagen wurde diese Verfahrensweise oftmals angewendet. Es wurden Trefferwahrscheinlichkeiten ermittelt und diese dem " zivilisatorischen Restrisiko " gegenübergestellt. Befanden sich diese auf einem vergleichbaren Niveau wurde die Akzeptanz eines Standortes, zumindest in Fragen der Gefährdung durch den Luftverkehr, nicht in Frage gestellt.

Interessanterweise führten Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen bei der Standortplanung von Atomkraftwerken jedoch nicht dazu, daß das Containment des Reaktorgebäudes kostengünstiger gestaltet wurde. Das Gegenteil war der Fall, die äußere Reaktorhülle wurde gegen den Lastfall " Flugzeugabsturz " berechnet und ausgeführt / 21 /. Trotz Standortoptimierung ( Abseits von Luftverkehrsstraßen, militärischen Tieffluggebieten usw. ) und einer sehr kleinen

Trefferwahrscheinlichkeit wird trotzdem an einer Bauweise festgehalten, wie sie im Nahbereich eines Flughafens zu erwarten wäre. Dabei darf jedoch nicht unerwähnt bleiben, daß hierbei hauptsächlich die Aversion eines Reaktorstörfalles mit seinen zivilisatorischen Konsequenzen die wichtigste Rolle spielt. Dessenungeachtet besteht nach wie vor das Problem, wie Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen auszuwerten und zu interpretieren sind.

Verbietet sich z.B. die Errichtung eines Flüssiggaslagers in der Nähe eines Flughafens oder eines Landeplatzes auch dann, wenn es zwar in der Einflugschneise, jedoch nicht in direkter Verlängerung der Start - und Landebahnen liegt ? Wenn diese Frage als Akzeptanzproblem behandelt werden soll stellen sich, wie in Kapitel 2 beschrieben, große Schwierigkeiten ein.

In vielen Veröffentlichungen wird als Akzeptanzschwelle oder Akzeptanzgrenze der Wert  $10^{-6}$  vorgeschlagen. Bedeutet dies, auf die Trefferwahrscheinlichkeit bezogen, daß eine Unterschreitung dieses Wertes zu einer Genehmigung einer Anlage in Flugplatznähe führen kann ?

Da die Akzeptanz eine auf individuelle Erfahrungen und Befindlichkeiten beruhende Größe darstellt / 22 /, sind Versuche zur probabilistischen Lösung schwer vermittelbar da die Bevölkerung zumeist auf die Konsequenzen achtet. Es kann aber, wie noch dargestellt wird, aus einem reellen Sachverhalt ein Orientierungsmaßstab definiert und zur Beurteilung hinzugezogen werden.

## **4 DAS LUFTVERKEHRSRECHT**

### **4.1 Internationale Organisationen**

Auf die Entwicklung des Luftverkehrs und der damit verbundenen Formulierung von Rechtsvorschriften, die auch in dieser Arbeit zu beachten sind, soll hier nur kurz eingegangen werden. Wie bei jedem technischen " Reifeprozess ", von der Erfindung und industriellen Einführung eines Produkts oder eines Verfahrens bis zu seiner weit verbreiteten Nutzung, gibt es auch in der Luftfahrt eine begleitende Gesetzgebung, die sich parallel zu den technischen Entwicklungsfortschritten aufbaut. In den Pionierjahren der Luftfahrt war es noch möglich, örtliche Randbedingungen und bestimmte Verhaltensweisen ( Flugverbote, Überflugverbote, zeitliche Beschränkungen usw. ) mit Hilfe des privaten Rechts und des Polizeirechts zu regeln. Erst durch die technischen Fortschritte des Flugzeugbaus, der industriellen Fertigung, der grenzenüberschreitenden Verbreitung, wurde es notwendig, den Luftverkehr einer speziellen nationalen und internationalen Gesetzgebung zu unterwerfen. Hier sind besonders zwei internationale Abkommen zu erwähnen :

- Das Warschauer Abkommen vom 12. Oktober 1929 und das
- Chicagoer Abkommen vom 7. Dezember 1944.

Das Warschauer Abkommen regelt vor allen Dingen die Vereinheitlichung von Vorschriften bei der Beförderung im internationalen Luftverkehr, durch das Chicagoer Abkommen wurden die Grundlagen zur Schaffung einer internationalen Zivilluftfahrtorganisation ICAO ( International Civil Aviation Organization - Sitz : Montreal, Kanada ) gelegt. Die ICAO ist eine Sonderorganisation der UN und wurde am 7. April 1947 gegründet.

Diesem Abkommen trat die Bundesrepublik Deutschland, nach der Wiedererlangung der Lufthoheit am 5. Mai 1955, am 8. Juni 1956 bei.

Die ICAO ist geschaffen worden, um alle internationale Fragen des zivilen Luftverkehrs einheitlich regeln zu können. Sie hat jedoch keine Durchsetzungsbefugnisse in den Mitgliedstaaten. Aus diesem Grund gelten die erarbeiteten Standards nur als Empfehlung, die einzelnen Mitgliedstaaten können diese dann in nationales Recht umsetzen.

Von besonderer Bedeutung für diese Arbeit ist der Anhang 14 zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt - Flugplätze. Dieser Anhang beschreibt u.a. die Merkmale und Hindernisbegrenzungsflächen, Sicherheitsflächen und Sicherheitsstreifen, die bei Flugplätzen vorhanden sein müssen. Um die speziellen Interessen der europäischen Luftfahrt auszugestalten wurde mit Billigung der ICAO im Jahre 1955 die " Europäische Luftfahrt Konferenz " ( ECAC ) gegründet. Diese hat ihren Sitz in Paris und ist keine Unterorganisation der ICAO.

Ein Teil der ECAC - Mitglieder schlossen sich im Jahre 1960 zu EUROCONTROL zusammen, um die Lenkung des Luftverkehrs in Europa effizienter zu gestalten. Zwingend war dies durch den wachsenden Luftverkehr im engen Luftraum der Nationalstaaten Europas. Die Hauptverwaltung ist in Brüssel ansässig.

Die Joint Aviation Authorities ( JAA ) ist als eine " Koordinierungsluftfahrtbehörde " verschiedener nationaler Luftfahrtbehörden zu verstehen. Sie entstand 1970 unter der Notwendigkeit, Sicherheitsstandards, Musterzulassungen, Instandhaltung, den Betrieb für Verkehrsflugzeuge europaweit zu regeln. Der Sitz der Zentrale liegt in Hoofddorp - Niederlande.

## **4.2 Nationale Organisationen**

Nach Artikel 73 Nr.6 Grundgesetz ( GG ) / 23 / hat die Bunderepublik Deutschland die alleinige Gewalt zur rechtlichen Ausgestaltung des Luftverkehrs.

Das Ausführungsorgan des Bundes ist das Luftfahrt - Bundesamt ( LBA ) mit Sitz in Braunschweig. Diese Oberbehörde ist dem Bundesministerium für Verkehr ( BMV ) nachgeordnet und auch seiner Aufsicht unterworfen. Das LBA hat sechs Außenstellen an den Flughäfen Berlin, Düsseldorf, Frankfurt, Hamburg, München und Stuttgart. Die Flugunfalluntersuchungsstelle beim LBA ( FUS ) ist verwaltungstechnisch dem LBA angeschlossen, jedoch fachlich dem BMV unterstellt.

Damit ist sichergestellt, daß die Flugunfalluntersuchungen unbeeinflusst durchgeführt werden können. Die FUS hat die Aufgabe, die Ursache für einen Luftverkehrsunfall festzustellen, die Schuldfrage und versicherungstechnische Aspekte obliegen der staatlichen Rechtsprechung.

Das BMV hat mit Wirkung vom 1. Januar 1993 die Deutsche Flugsicherung GmbH ( DFS ) mit der Wahrnehmung der Flugsicherung beauftragt, die frühere Bundesoberbehörde " Bundesanstalt für Flugsicherung " ( BFS ) wurde mit selbem Datum aufgelöst. Diese Privatisierung zieht auf eine Effizienzerhöhung bei der Sicherung des ständig wachsenden Luftverkehrsaufkommens in Deutschland und Europa.

Der Deutsche Wetterdienst ( DWD ) wurde am 11. November 1952 mit dem " Gesetz über den Deutschen Wetterdienst " geschaffen. Seine Zentrale befindet sich in Offenbach. Der DWD unterhält auf allen Verkehrsflughäfen Flugwetterwarten und ist für die meteorologische Sicherung der Zivilluftfahrt zuständig.

#### **4.3 Das nationale Luftverkehrsrecht**

Das Luftverkehrsgesetz ( LuftVG ) / 17 / ist die Grundlage des deutschen Luftverkehrsrechts. Es besteht aus drei Abschnitten : Luftverkehr, Haftpflicht und Straf - und Bußgeldvorschriften. Der 1. Abschnitt - Luftverkehr - ist in 6 weitere Abschnitte unterteilt, hier interessieren vor allen Dingen die §§ 11 bis 18a ( Einwirkungen auf Nachbargrundstücke, Bauschutzbereich, Hindernisfreiheit ).

Die Luftverkehrsordnung ( LuftVO ) / 24 / regelt alle zu beachtenden Verkehrsvorschriften. Diese gliedert sich in 5 Abschnitte und 3 Anlagen.

In § 5 wird die " Anzeige von Flugunfällen und sonstigen Störungen " geregelt.

Die Luftverkehrszulassungsordnung ( LuftVZO ) / 25 /, bestehend aus 6 Abschnitten und 3 Anlagen, ist für diesen Forschungsbericht von besonderer Bedeutung, denn sie regelt die Zulassungsvorschriften für Flughäfen, Landeplätze und Segelfluggelände ( §§ 38 bis 60 ).

Durch Artikel 87 d (2) des GG / 23 / können Aufgaben des Bundes auf die Bundesländer übertragen werden. Dieses ist in § 31 Abs. 2 LuftVG / 17 / geregelt.

## **5 GRUNDLAGEN**

Dieser Forschungsbericht stellt sich das Ziel mittels statistischer Untersuchungen und Risikovergleiche Hinweise zu geben, mit deren Hilfe eine Entscheidung darüber getroffen werden kann, ob und unter welchen Bedingungen Industrieanlagen mit besonderem Stoffinhalt in den Einflugschneisen von Flughäfen und Landeplätzen akzeptiert werden können.

Da für den Luftverkehr und das Unfallgeschehen umfangreiche statistische Daten vorliegen, beinhaltet der erste Bearbeitungsschritt die Erfassung und Bewertung aller Luftverkehrsunfälle deutscher und ausländischer Luftfahrzeuge auf dem Boden der Bundesrepublik Deutschland ( im Gebietsstand vor dem 3.10.1989, ohne Berlin - West ).

Seit dem 1. Januar 1973 werden alle Flugunfälle bei der Flugunfalluntersuchungsstelle ( FUS ) des Luftfahrtbundesamtes in Braunschweig mit Hilfe der Datenverarbeitung erfaßt. Diese tabellarischen Übersichten sind im Laufe der Jahre mehrfach überarbeitet worden. Für den Forschungsbericht wurden die zur Verfügung stehenden Ultrakurzberichte der Jahre 1973 bis 1993 herangezogen. Der Auswertungszeitraum umfaßt somit 21 Jahre. Die Flugunfälle werden nach den in Tabelle 3 aufgeführten Merkmalen erfaßt :

Tabelle 3 : Merkmale zur Erfassung von Luftfahrzeugunfällen

Aktenzeichen	Datum	Unfallort	Luftfahrzeugtyp	Betriebsphase
Schäden am Luftfahrzeug	Personenschäden	Unfallart	Drittschäden	Schadensvektor

Die Schäden am Luftfahrzeug werden durch die Klassifizierung : " zerstört ", " schwer beschädigt ", " leicht beschädigt " und " nicht beschädigt " beschrieben.

Die Dokumentierung der Personenschäden beschränkt sich auf die Feststellung der toten, verletzten bzw. nicht verletzten Personen.

In älteren Jahresberichten sind alle am Unfall Beteiligten aufgeführt, in jüngeren wurden, wenn keine Geschädigten zu verzeichnen waren, lediglich der Hinweis " keine " aufgenommen. Die Personenschäden sind für diesen Bericht nicht relevant obwohl sie einen Hinweis auf die Intensität des Unfalles geben können. Die Betriebsphase bezeichnet den Abschnitt eines Fluges, in der ein Unfall eintrat. Für die Untersuchung wurden alle Betriebsarten der gewerblichen und nichtgewerblichen Luftfahrt berücksichtigt, mit Ausnahme des Luftsports, z.B. Kunstflug und Absetzflüge von Fallschirmspringern. Diese Betriebsarten werden nicht berücksichtigt, da sie nicht ursächlich mit dem Normalbetrieb des Luftfahrzeuges definiert werden können und nach speziellen Vorschriften geregelt sind. Aus diesem Grund sind auch Unfälle, resultierend aus Schleppflügen mit Werbeträgern, Sprühflüge in Weinbergen und der Forstwirtschaft, die im Tiefflug ausgeführt werden, nicht berücksichtigt worden.

Unfälle während des Reisefluges ( Triebwerksausfall, Notlandung ) wurden nur zahlenmäßig erfaßt und den Unfällen im Nahbereich des Flugplatzes gegenübergestellt ( siehe Tabelle 9, Kapitel 7 ) .

Die Unfallart gibt die äußeren Umstände an, unter denen ein Unfall auftrat. Die Unfallarten sind vielfältig, beispielhaft sollen hier nur die

- Landung mit nicht ausgefahrenem Fahrwerk, der



- Kraftstoffmangel, oder ein
- Triebwerksausfall im Anfangssteigflug genannt sein.

Für diesen Forschungsbericht sind diese Angaben nicht verwendet worden.

Die Drittschäden beschreiben das Schadensausmaß im unmittelbaren Flugplatzbereich und im Flugplatznahbereich. In die Auswertung gelangten zunächst alle Unfälle, die von Luftfahrzeugen in den Startgewichtsklassen von < 2,0 t bis > 20,0 t verursacht worden sind. Die Einteilung der Luftfahrzeuge in Startgewichtsklassen ist durch die Tragfähigkeit des Start - und Landebahnbelages bedingt und international weitestgehend einheitlich geregelt. In Tabelle 4 sind beispielhaft einige Klassifizierungen des Luftfahrtbundesamtes, die auch von der Flugunfalluntersuchungsstelle ( FUS ) benutzt werden, aufgeführt.

Tabelle 4 : Einteilung der Startgewichtsklassen in den FUS - Unfallberichten

Startgewichtsklasse				
A	B	C	D	E
> 20 t MTOW	14,0 - 20,0 t	5,7 - 14,0 t	2,0 - 5,7 t	< 2,0 t
MTOW = Maximum Take - Off - Weight ( max. Startgewicht )				

Der Auswahl der zu untersuchenden Startgewichtsklassen liegt die Überlegung zugrunde, daß eine Schädigung von Anlagen in den Start - und Einflugschneisen der Flughäfen und Landeplätze vorwiegend durch starrflügelige schwere Luftfahrzeugtypen und ihrer kompakten Einzelkomponenten ( Triebwerke, Fahrgestelle, Zellenstruktur ) durch eine Wrackteilstreuung und Brandbelastung hervorgerufen werden kann.

Hubschrauber sind aufgrund ihrer Auftriebserzeugung ( Drehflügler ) und ihres Absturzverhaltens aus dieser Betrachtung ausgeschlossen. Luftfahrzeuge, die ausschließlich sportlichen Zwecken dienen ( Ultraleicht, Hängegleiter, Segelflugzeuge ) werden ebenfalls ausgeklammert.

Bei der Zuordnung der Unfälle ist zwischen den Betriebsphasen zu unterscheiden, die aufgrund ihres Energieinhaltes zu einer Schädigung von Flugplatzanlagen oder Anlagen in den Einflugschneisen führen können. Die Betriebsphase bezeichnet den Abschnitt eines Fluges in dem ein Ereignis, das direkt oder mit Zeitverzug zum Unfall führte, eintrat. Darum sind in den Unfallberichten oftmals zwei Betriebsphasen enthalten, eine primäre als unfallauslösende und eine sekundäre, in welcher der Unfall beendet wurde. Letztere ist hier von Interesse, da durch diese die räumliche Lage des verunfallten Luftfahrzeuges relativ zum Flugplatz beschrieben ist ( Absturzvektor ).

Nach Durchsicht der FUS - Unfallberichte hat es sich als praktikabel erwiesen, zwischen den in Tabelle 5 aufgeführten Betriebsphasen zu unterscheiden.

Tabelle 5 : Unterscheidung der Luftfahrzeugunfälle nach Betriebsphasen

Betriebsphase	Die Unfälle in der Betriebsphase führen	
	zu Schäden auf dem Flugplatz oder der Umgebung	ausschließlich zu Schäden auf dem Flugplatz oder am Luftfahrzeug
Stand		X
Rollen zum Start		X
Start	X	
Startabbruch	X	
Anfangssteigflug	X	
Steigflug auf Reiseflughöhe	X	
Sinkflug zum Landeanflug	X	
Landeanflug	X	
Platzrunde	X	
Landung mit Schäden am LFZ		X
Landung - Zuweitkommen	X	
Landung - Ausbrechen, Abkommen	X	
Landung - neben der Bahn	X	
Durchstarten	X	
Ausrollen nach der Landung		X
Schleppen zum Abstellplatz		X

Mit Hilfe dieser Unterteilung können die Unfälle einem Geländeteil zugeordnet werden, das sich entweder:

- auf dem Flugplatzgelände selbst,
  - in / nach der Startschneise in der Startrichtung,
  - in / vor der Einflugschneise in der Landerichtung und
  - im Platzrundenbereich
- befindet.

Den Unfallberichten der FUS beim LBA ist in einigen Fällen auch zu entnehmen, in welchem Abstand von der Bahnschwelle das verunfallte Luftfahrzeug zum ersten mal den Boden berührte und an welcher Stelle es zur Ruhe kam. Diese Angaben werden als Vektor dargestellt und im Kapitel 9.3 eingehender beschrieben. Es sind jedoch nur wenige Unfälle mit einer Vektorangabe versehen. Daher wird zur Lokalisation des Unfallortes auch eine verbale Beschreibung des Drittschadens herangezogen ( Mast, Baum, Zaun usw. ). Als eine zusätzliche Quelle wurden auch Unfallberichte aus Fachzeitschriften und Einsatzberichte der Feuerwehren / 26 / zur Auswertung herangezogen.

## 5.1 Flugunfälle, Definitionen

Laut § 5 Abs. 1 der Luftverkehrsordnung / 24 / sind Störungen beim Betrieb eines Luftfahrzeuges innerhalb von drei Tagen dem Luftfahrt - Bundesamt anzuzeigen. Die Untersuchung von Flugunfällen obliegt der Flugunfalluntersuchungsstelle ( FUS ) beim Luftfahrtbundesamt ( LBA ) in Braunschweig. Ein Flugunfall ist nach ICAO - Abkommen, Annex 13 wie folgt definiert :

" Ein Flugunfall ist ein Ereignis beim Betrieb eines Luftfahrzeuges in der Absicht eines Fluges vom Zeitpunkt, da Personen an Bord gehen bis zu dem Zeitpunkt, da sie es verlassen haben, wenn hierbei

- eine Person an Bord oder außerhalb durch Einwirkung des Luftfahrzeuges ( z.B. durch Propeller ) tödlich oder schwer verletzt worden ist,
- ein Luftfahrzeug zerstört worden ist oder einen schweren Schaden erlitten hat, der die Lufttüchtigkeit beeinflusst oder eine große Reparatur erforderlich macht,
- ein Luftfahrzeug vermißt wird,
- ein schwerer Drittschaden verursacht worden ist " / 27 /.

Ein Unfall wird auch dann als tödlich gewertet, wenn der Betroffene innerhalb von 30 Tagen nach dem Unfall an den Unfallfolgen verstirbt. Schwere Verletzungen sind Verletzungen, die einen Krankenhausaufenthalt von mehr als zwei Tagen innerhalb sieben Tagen nach dem Unfall erfordern, Knochenbrüche ( mit Ausnahme einfacher Brüche ), Schäden an inneren Organen und Verbrennungen 2. oder 3. Grades oder an mehr als 5 % der Körperoberfläche.

Ein Flugunfall wird nicht gewertet und unterliegt auch keiner Meldepflicht, wenn sich dieser in einer Phase ereignete, der keiner Flugabsicht zugrunde lag ( Rangieren innerhalb des Hangars, Rollen zur Ortsveränderung ).

Eine zweite Kategorie sind sogen. Flugbetriebsstörungen, die nicht zwingend zu einem Unfall führen müssen, jedoch aufgrund des Auftretens als mögliche Unfallursache registriert werden. Diese sind ebenfalls innerhalb von drei Tagen beim LBA meldepflichtig ( Brief, FAX, Telex ).

Zu den Flugbetriebsstörungen zählen zum Beispiel:

- gefährliche Begegnungen
- Beschädigung des Luftfahrzeuges durch Vogelschlag,
- Schäden an tragenden Bauteilen infolge Überanspruchung durch überzogene Manöver,
- Turbulenzen, Vereisungen, Blitzeinschlag,

- Triebwerksausfall,
- Abkommen von der Landebahn,
- Funktionsstörungen an den Steuerelementen,
- Feuer und Explosionen an Bord,
- Ausfall eines Besatzungsmitgliedes durch gesundheitliche Probleme während des Fluges,
- Notlandungen, Notwasserungen,
- Bedrohung von Besatzungsmitgliedern oder Fluggästen.

Bei der statistischen Erfassung wird zwischen Flugunfall und Flugbetriebsstörung nicht unterschieden. Eine pauschale Angabe der Unfälle in der Umgebung eines Flugplatzes oder eines Landeplatzes führt darum zu einem verzerrten Bild, da sogen. Bagatellunfälle ebenfalls enthalten sind.

Aus diesem Grund war es notwendig, sämtliche Unfallbeschreibungen in den Flugunfall - Jahresberichten der FUS zu sichten, einheitlich zu bewerten und vor allen Dingen, einem Geländeteil zuzuordnen um festzustellen, ob der Flughafen - Nahbereich betroffen ist.

## 5.2 Flughäfen und Landeplätze

### 5.2.1 Flughäfen

Laut ICAO - Anhang 14 / 28 / 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." Diese Definition hat allgemeinen Charakter und umfaßt somit alle Flächen, die für den Luftverkehr zur Nutzung bestimmt sind. Eine genauere Unterteilung ist der LuftVZO / 25 / zu entnehmen. Dort werden drei Arten von Flugplätze unterschieden.

- a ) Flughäfen als Verkehrsflughäfen und Sonderflughäfen ( § 38 LuftVZO ), die mit einem Bauschutzbereich nach § 12 LuftVG versehen sein müssen,
- b ) Landeplätze als Verkehrslandeplätze und Sonderlandeplätze ( § 49 LuftVZO), die mit einem Bauschutzbereich nach § 17 LuftVG versehen sein können und
- c ) Segelfluggelände ( § 54 LuftVZO ).

Die Definition lt. § 38 LuftVZO / 25 / für Flughäfen ist leider "unscharf", die Abgrenzung zu anderen Quellen und Senken des Luftverkehrs erfolgt lediglich mit dem Hinweis auf die Notwendigkeit eines Bauschutzbereiches nach § 12 LuftVG / 17 /.

Der Bauschutzbereich nach § 12 LuftVG umfaßt folgende Flächen :

1. Sicherheitsflächen an den Enden der Start - und Landeflächen, nicht länger als je 1000 m, mit einer Breite von  $2 \times 350 \text{ m} + \text{Start} / \text{Landebahnbreite}$ . Zur Landebahnbreite sind im ICAO - Abkommen - Kapitel 3, Pkt. 3.1.9 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. Sie beträgt lt. ICAO - Empfehlung je nach Flugzeugtyp 18,0 bis 45,0 m ; internationale Verkehrsflughäfen in der Bundesrepublik Deutschland haben meist eine Startbahnbreite von 60,0 m.
2. Anflugsektoren, die sich beiderseits der unter Pkt. 1 genannten Sicherheitsflächen anschließen, und zwar mit je einem Öffnungswinkel von  $15^\circ$ , in einer Länge von 15 km bei Hauptstart / landeflächen bzw. 8,5 km bei Nebenstart / landeflächen vom Startbahnbezugspunkt. Die Definition der Haupt - bzw. Nebenflächen orientiert sich lt. ICAO - Empfehlung an der Bevorzugung der Start / Landebahn im Sinne der Frequentierung. Der Startbahnbezugspunkt ( S.B.P. ) ist der Mittelpunkt der Start - und Landeflächen
3. Nach Genehmigung eines Flughafens ist jedes Bauwerk, das sich innerhalb einer Kreisfläche von 1,5 km Radius mit dem Flughafenbezugspunkt als Mittelpunkt befindet, nur mit Zustimmung der Luftfahrtbehörde genehmigungsfähig. Der Flughafenbezugspunkt ( F.B.P. ) ist der geografische Mittelpunkt des Flugplatzes.

Aus den vorgenannten Definitionen und Flächenfestlegungen ist zu erkennen, daß die Art und Weise der Nutzung eines Flughafens maßgebend ist für die Festlegung der Sicherheitsflächen bzw. der Bebauung in den Ein - und Startschneisen.

Der §12 LuftVG / 17 / führt unter Abs.( 3 ) weiter aus, daß die Zustimmung der Luftfahrtbehörden erforderlich ist, wenn Bauwerke bestimmte Begrenzungen überschreiten sollen. Dies betrifft jedoch die Höhenkoordinate und ist für weitere Betrachtungen nicht maßgebend. Bild 2 zeigt eine isometrische Darstellung der o.g. Bauhöhenbeschränkung.

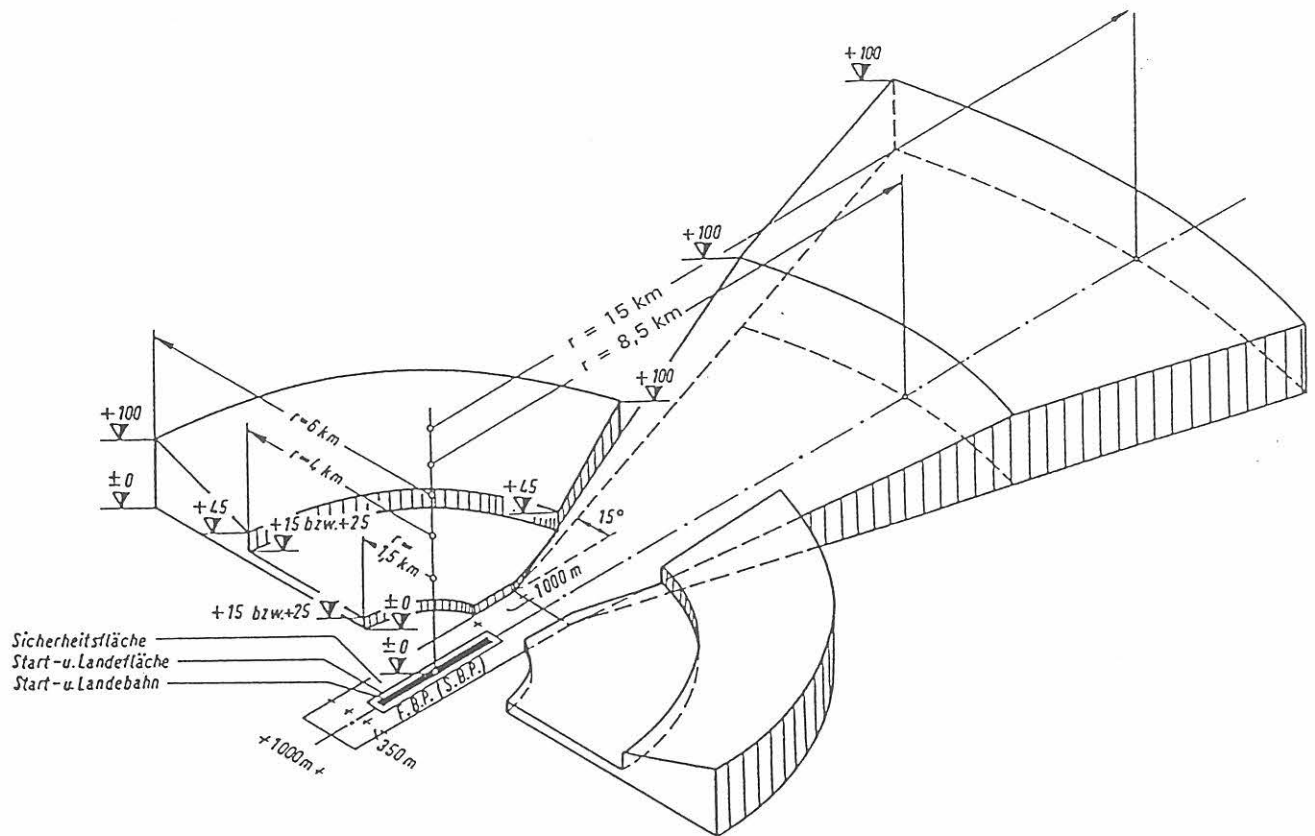


Bild 2 : Isometrische Darstellung der Bauhöhenbeschränkungen nach §§ 12 ff. des Luftverkehrsgesetzes ( abgeleitet aus einer Darstellung von C.E. Gerlach, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen )

### 5.2.2 Landeplätze

Nach den " Richtlinien für die Genehmigung der Anlage und des Betriebs von Landeplätzen für Flugzeuge " vom 25. September 1968 / 29 / werden die Start - und Landebahnen der Verkehrslandeplätze und Sonderlandeplätze in drei Klassen unterteilt. Diese Einteilung ist in Tabelle 6 näher erläutert.

Tabelle 6 : Unterteilung der Landeplätze nach Tragfähigkeit und Mindestgrundlänge der Start - und Landebahn

	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Mindestgrundlänge der Start-und Landebahn	900 m	600 m	300 m
Mindestbreite bei Hartbelag	30 m	20 m	15 m
bei Gras	40 m	40 m	30 m
Die Längen werden außerdem noch mit multiplikativen Zuschlägen bedacht, die die Höhenlage über NN und die Längsneigung der Bahn berücksichtigen, hat ein Landeplatz eine Bahnlänge von $\geq 1500$ m, so unterliegt er den Bestimmungen nach ICAO - Anhang 14			
Tragfähigkeit [ kg ]	12 000	5 700	2 000
Streifen ( L = Länge der Bahn )	L + 2 x 60 m	L + 2 x 60 m	L + 2 x 30 m
Breite des Streifens ( einschl. Bahn )	150 m	100 m	60 m
Die Streifen, die die Start - und Landebahnen umgeben, dienen u.a. als Flächenreserve für überzogene Betriebszustände, u.U. können diese zum Start mitbenutzt werden.			

Ein Bauschutzbereich nach § 17 LuftVG / 17 / kann für diese Landeplätze auferlegt werden. Aus der vorstehenden Tabelle ist ersichtlich, daß die Landeplätze, im Gegensatz zu Verkehrsflughäfen, nur für bestimmte Luftfahrzeuge zur Benutzung zugelassen sind. Die maßgebenden Einflußgrößen sind die Länge der Start - und Landebahnen sowie die Tragfähigkeit des Belages.

### 5.3 Benutzung, Verkehrsvorschriften

Grundsätzlich müssen alle Luftfahrzeuge im Definitionsbereich des § 1 Abs. 2 LuftVG / 17 / einen Flugplatz benutzen, mit der Ausnahme nach § 25 Abs.2 Satz 1 LuftVG, wenn der Ort der Landung aufgrund der Spezifik des Luftfahrzeuges ( z.B. Ballone, Segelflugzeuge, Drachen ) nicht vorausbestimmbar ist.

Nach § 38 Abs. 2 LuftVZO / 25 / werden Flughäfen genehmigt als " Flughäfen des allgemeinen Verkehrs " und für " besondere Zwecke ". Die Verkehrsflughäfen dienen also dem allgemeinen Gebrauch. Sonderflughäfen sind nicht für den allgemeinen Luftverkehr zugelassen, sie unterliegen einem speziellen Zweck, etwa für Unternehmen der Luftfahrtindustrie. Alle " Flughäfen ", Verkehrsflughäfen

und Landeplätze sind beschrieben im Luftfahrthandbuch VFR / 30 /, das von der DFS herausgegeben wird. Die Abkürzung VFR steht für Visual Flight Rules, d.h., in diesem Handbuch sind alle Flughäfen und Landeplätze beschrieben, die nach Sichtflugregeln angefliegen werden können. Es enthält u.a. Spezifika hinsichtlich der Art und Belastbarkeit des Belages, der Benutzung durch spezielle Flugzeugtypen, der Öffnungszeiten, der einzuhaltenden Platzrunden, der Überflughöhen. Die bauliche Gestaltung und der Zulassungszweck ( z.B. Verkehrsflughafen für den internationalen gewerblichen Luftverkehr ) sind bestimmend für die Art der Nutzung durch einen speziellen Flugzeugtyp. Es ist ohne Beweis einzusehen, daß z.B. ein Mischbetrieb zwischen Verkehrsflugzeugen und privat zugelassenen Motorflugzeugen nicht jederzeit möglich ist ( Verkehrsdichte, Wirbelschleppen ). Aus diesem Grund sind bestimmte Flughäfen und Landeplätze nur nach vorheriger Anfrage zu benutzen ( PPR - Prior Permission Required ). Jede Bewegung eines Luftfahrzeuges außerhalb des im Luftfahrthandbuches VFR beschriebenen Rahmens gilt als Außenlandung nach § 58 Abs.1 Ziff.8a LuftVG / 17 / und kann als Ordnungswidrigkeit geahndet werden. Außenstarts und - landungen ( z.B. auf Segelfluggeländen ) bedürfen der Genehmigung durch die zuständige Luftfahrtbehörde des Landes. Der vorbeschriebene Sachverhalt ist darum maßgebend für die Auswahl der betrachteten Flughäfen und Landeplätze.

#### **5.4 Gewerblicher, nicht gewerblicher Luftverkehr, allgemeine Luftfahrt**

In der Bundesrepublik Deutschland wird der Luftverkehr statistisch unterteilt in einen gewerblichen und einen nichtgewerblichen Bereich.

Der nichtgewerbliche Luftverkehr umfaßt im wesentlichen den privaten Reiseflug und den Luftsport. Als Luftsporttätigkeiten werden Segelflug, Fallschirmspringen, Ballonfahren, Ultraleichtfliegen, Gleitsegeln, Modellfliegen etc. gerechnet. Der Luftsport wird vorwiegend in Vereinen ausgeführt. Diese Luftsportvereine werden im wesentlichen über den Deutschen Aero - Club ( DAeC ) repräsentiert. Luftsportvereine oder - verbände unterliegen keiner behördlichen Genehmigung, jedoch müssen deren Tätigkeiten in Einklang mit den Luftverkehrsvorschriften betrieben werden. Diese Unterschiede zwischen gewerblichem und nichtgewerblichem Flugbetrieb sind nicht ausschlaggebend, da Auswirkungen auf Dritte untersucht werden. Der Vollständigkeit halber muß jedoch hier angeführt werden, daß die FUS jeden Flugunfall auch nach diesem Gesichtspunkt bewertet.

Nach Neufeldt / 31 / wird der Begriff " Allgemeine Luftfahrt " unterschiedlich verwendet, eine genaue Definition gibt es nicht. Zitat / aus 31 / : " Grob umrissen handelt es sich um Flugzeuge unter 5,7 t höchstzulässiger Startmasse bzw. Flugzeuge, die nach den US - Lufttüchtigkeitsvorschriften FAR Part 23 als Muster zugelassen sind ... Eine genauere Beschreibung der verschiedenen Bereiche der Luftfahrt liefert die JAA mit den Verwendungszwecken von Luftfahrzeugen." Die Verwendungszwecke sind in Tabelle 7 zusammengestellt.



Tabelle 7 : Verwendungszwecke der Luftfahrzeuge in der allgemeinen Luftfahrt

Commercial ( gewerblicher Verkehr )	Beförderung von Personen, Fracht und Post
Corporate ( Werksverkehr )	Beförderung von Werksangehörigen und Personal von Vertragsbetrieben
Aerial Work ( Luftarbeit )	Durchführung von Arbeitsflügen
Commercial Flying Training	Ausbildung von berufsmäßig tätigen Luftfahrern
Private Flying Training	Ausbildung von privat tätigen Luftfahrern
Recreational	Private Nutzung von Luftfahrzeugen zur Freizeitgestaltung

## 6 FLUGABSCHNITTE

Jede Bewegung eines Luftfahrzeuges zum Zwecke eines Fluges setzt sich aus verschiedenen Flugabschnitten zusammen. Diese Flugabschnitte werden vor allen Dingen unter zwei Aspekten betrachtet.

Für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind vorwiegend kosten - und zeiteffiziente Betrachtungen der Flugabschnitte interessant / 32 /, für aerodynamische und flugsicherheitsrelevante Untersuchungen werden vor allen Dingen physikalische Gesetzmäßigkeiten herangezogen / 33 /. Für sicherheitstechnische Betrachtungen des Flughafenumfeldes, ist die detaillierte Kenntnis eines definierten Flugabschnittes nur von sekundärer Bedeutung. Dafür sprechen folgende Gründe:

1. Die theoretische Unterteilung der Flugabschnitte nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten ist äußerst exakt und orientiert sich an der Notwendigkeit sicherheitsrelevante Daten zu ermitteln, die den Flugbetrieb betreffen. Dies betrifft z.B. Fragen der aerodynamischen Bodeneffekte, der Nachlaufwirbel, durch die nachstartende Luftfahrzeuge gefährdet werden können und die notwendigen Startbahnlängen die bei einem Triebwerksausfall notwendig sind, um nur einige zu nennen.
2. Die o.g. Unterteilung muß sich notwendigerweise an theoretische Modelle und Betrachtungsweisen anlehnen, sie kann darum immer nur für einen ganz speziellen Typ des Luftfahrzeuges Gültigkeit besitzen.

Es ist ohne Beweis einzusehen, daß ein Luftfahrzeug der Startgewichtsklasse A bezüglich seiner Position über dem Boden nicht so bewertet werden kann, wie ein Reiseflugzeug der Startgewichtsklasse E. Während sich das Erste noch im Anfangssteigflug befindet, hat das leichtere Luftfahrzeug schon seine Reiseflughöhe erreicht und befindet sich u.U. nicht mehr in gerader Verlängerung der Startbahnlinie.

Für sicherheitstechnische Betrachtungen ist es also wichtig zu wissen, in welcher Entfernung bezüglich der Start - und Landebahnschwelle der Anfangssteigflug beendet ist bzw. wann der Landeanflug eingeleitet wird.

Diese Frage ist nicht pauschal zu beantworten. In der Literatur / 18 / werden mehrere Anflugverfahren ( in LBA - Quellen auch " Anfangsanflug " genannt ) beschrieben, deren Beginn zwischen 6 und 20 nautischen Meilen ( NM ) definiert ist.

Nach Brüning et al. / 33 / beginnt der Endanflug, die letzte Phase des Landeanfluges, in 300 bis 400 m Höhe, etwa 6000 - 7000 m vor der Landebahnschwelle.

Die kleineren und leichteren Luftfahrzeuge der Klassen D und E müssen ihren Landeanflug nicht zwingend aus der verlängerten Achse der Landebahn einleiten. Dies betrifft auch den Anfangssteigflug, obwohl dieser aus Sicherheitsgründen noch eine gewisse Zeit in Geradeausrichtung ausgeführt werden sollte.

Nach Mensen / 18 / ist zum Nahbereich einer Luftverkehrsquelle eine Fläche mit einem Radius von 5 nautischen Meilen ( 17,1 km ) um den Flughafenbezugspunkt und in Start - und Landerichtung von 7 nautischen Meilen ( ca. 24 km ), ebenfalls gerechnet ab Flughafenbezugspunkt zu rechnen. Diese Abstände entsprechen den Kontrollzonen für überwachte Lufträume im Flughafennahbereich.

Eine andere Quelle ( Busch et al. / 34 / ) definiert den Flughafenbereich als eine Kreisfläche um den Flughafen mit einem Radius von 50 nautischen Meilen ( 93 km ). Diese Festlegung wurde jedoch in bezug auf den Luftverkehr mit transatlantischen Großraumflugzeugen getroffen.

Für die statistische Auswertung der Luftfahrzeugunfälle wird der Beginn der Betriebsphase " Landeanflug " und das Ende der Betriebsphase " Anfangssteigflug " für Luftfahrzeuge der Startgewichtsklassen D und E bei 7000 m festgelegt, gerechnet ab Landebahnschwelle.

## **6.1 Der Luftfahrzeugführer und Industrieanlagen**

Private Luftfahrzeugführer, die sich Luftsportverbänden angeschlossen haben und das Fliegen als Teil ihrer Freizeitgestaltung ausüben, führen die meisten Flüge unter Sichtflugregeln aus. Diese Visual Flight Rules ( VFR ) sind im Wesentlichen an Wetterbedingungen gebunden, z.B. an die Bodensicht, die Sichtweite in Flugrichtung und die Hauptwolkenuntergrenze, d.h. die Höhe der Untergrenze der niedrigsten Wolkenschicht über Grund, die mehr als die Hälfte des Himmels bedeckt und unterhalb 6000 m liegt / 35 /.

Im Luftfahrthandbuch VFR / 30 / sind wichtige Informationen enthalten, die ein Pilot benötigt, um seinen Flug zu planen.

Der Inhalt umfaßt u.a. Flugplatzdaten, Regelungen und Beschränkungen sowie die Sichtanflugkarten ( M 1: 50 000 , 1: 75 000 ) und die Flugplatzkarten für alle Verkehrsflughäfen, Landeplätze und zivil benutzbare Militärflugplätze.

Den Sichtenflugkarten kann der Pilot entnehmen, wie das Reiseziel anzufliegen ist, welche Überflugregeln über Siedlungsgebieten zu beachten sind und in welcher Richtung und Höhe die Platzrunde zu fliegen ist.

Im Luftfahrthandbuch, Abschnitt RAC 1 - 42, Ausgabe September 1993 / 36 /, waren weiterführende Bestimmungen enthalten, die das Überfliegen von Industrieanlagen und kerntechnischen Anlagen regelten. Dies betraf ca. 55 Anlagen, deren Ausdehnung mittels geographischer Koordinaten beschrieben waren. Das Überfliegen dieser Anlagen wurde nicht generell verboten, es wurde lediglich ersucht darauf zu verzichten, und wenn es sich nicht vermeiden ließ, auf die Sicherheitsmindesthöhe gemäß § 6 LuftVO / 24 / zu achten. Der Abschnitt RAC 1 - 42 enthielt noch einen weiteren Hinweis : " Es wird in diesen Fällen grundsätzlich erforderlich sein, Sicherheitsmindesthöhen einzuhalten, bei denen alle denkbaren Möglichkeiten eines Flugunfalls in Ansatz gebracht werden, und die daher stets wesentlich größer sein werden, als die in § 6 genannte Sicherheitsmindesthöhe von 1000 ft ( ca. 300 m )." Mit der Neufassung des § 6 LuftVO ( Mai 1995 ) wurde die Sicherheitsmindesthöhe bei Überlandflügen auf 2000 ft ( 600 m ) festgelegt und der Abschnitt RAC 1 - 42 aus dem Luftfahrthandbuch herausgenommen. Es kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, daß Privatpiloten das Sicherheitsrisiko, daß sie durch eine zu geringe Flughöhe, vor allen Dingen beim Überfliegen von Industrieanlagen eingehen, kennen. So ist bei einer Notlandung in ungeeignetem Gelände zwar nur in 1,7 von 100 Fällen ein Absturz für die Insassen tödlich / 35 /, ein Absturz in eine Industrieanlage, die u.U. einen Dominoeffekt auslöst, kann die Überlebenschance für die Insassen jedoch erheblich verringern.

Trotzdem wird sich an dem Phänomen nichts ändern, daß vor allen Dingen große und markante Bauwerke, wie Flachbodentanks und Flüssiggaskugeln, als terrestrische Merkmale willkommen sind, als Orientierungshilfe dienen und sogar als Peilmarken benutzt werden / 37,38 /. Gefährlich ist das Überfliegen dieser Anlagen vor allen Dingen dann, wenn nicht mehr genug Höhe, und damit auch Zeit zur Verfügung steht, um einen geeigneten Notlandeplatz auszusuchen.

Vor diesem Hintergrund war die Erhöhung der Mindesthöhe durch die Neufassung des § 6 LuftVO notwendig. In vielen Luftfahrtpublikationen ( z.B. / 35 / ) werden Grundregeln, die der Privatpilot bei einem nicht völlig auszuschließendem Motorausfall beachten sollte, beschrieben.

Diese empfohlenen Verhaltensweisen sind auch für diese Arbeit interessant. So wird u.a. geraten bei einem Motorausfall im Anfangssteigflug zu versuchen allenfalls Hindernissen auszuweichen, die Notlandung in Flugrichtung vorzunehmen und Umkehrkurven unter 300 ft Höhe zu unterlassen.

In der Bundesrepublik Deutschland ( alte Bundesländer ) sind Industrieanlagen die nach der StörfallVO zu beurteilen sind und die sich innerhalb eines Bereiches von 7000 m in Verlängerung einer Start - und Landebahnachse befinden, nicht bekannt. Parallele Anordnungen sind jedoch keine Seltenheit. In Tabelle 8 sind einige Beispiele aufgeführt.

Tabelle 8: Ausgewählte Beispiele von Anlagen mit hohem Gefahrenpotential in der Nähe von Flughäfen und Landeplätzen ( Stand 1993 )

Konstanz	VLP	Tanklager ca. 200 m neben Start / Landebahn
Weinheim-Bergstraße	SLP	Tanklager 250 m parallel zur Start / Landebahn
Salzgitter-Drütte	VLP	Gasometer und Lagertanks neben der Platzrunde
Bremerhaven / Am Luneort	VLP	Tanklager 400 m von Landebahnbezugspunkt
Dinslaken / Schwarze Heide	VLP	Munitionslagerplatz ca. 500 m neben Start / Landebahn
Speyer	VLP	Ölraffinerie 600 m parallel zur Start / Landebahn
Westerland / Sylt	VF	Gastank in 1600 m Entfernung zur Start / Landebahn

## 7 DIE STATISTIK DES LUFTFAHRT-BUNDESAMT (LBA)

Die Tabelle 9 gibt eine Übersicht über alle der FUS gemeldeten Unfälle im Zeitraum von 1973 bis 1993. Aufgenommen wurden jedoch nur die Fälle, die sich im Platzbereich der im Luftfahrthandbuch VFR aufgeführten Flugplätze ereigneten. Diese Einschränkung ist notwendig, da die geografische Zuordnung ( Platzbereich, Sicherheitsflächen, Flughafennahbereich ) der Unfälle nur in Kenntnis der räumlichen Ausdehnung des Flugplatzes möglich ist. Diese Angaben sind dem Handbuch - VFR zu entnehmen / 30 /.

Tabelle 9 : Unfälle im Zeitraum von 1973 bis 1993 in den Startgewichtsklassen A - E

Jahr	Luftfahrzeugunfälle in Deutschland ( alte Bundesländer ohne Berlin - West ) in den Startgewichtsklassen									
	A		B		C		D		E	
	gesamt	Platz	gesamt	Platz	gesamt	Platz	gesamt	Platz	gesamt	Platz
1973	-	-	-	-	-	-	22	20	168	113
1974	1	1	-	-	-	-	11	7	155	113
1975	-	-	1	1	-	-	14	13	146	104
1976	-	-	-	-	-	-	17	16	141	104
1977	-	-	-	-	1	1	25	19	150	101
1978	-	-	1	1	-	-	17	16	137	103
1979	1	1	-	-	1	1	22	17	131	94
1980	-	-	-	-	-	-	15	11	137	95

Tabelle 9 : Fortsetzung

Jahr	Luftfahrzeugunfälle in Deutschland ( alte Bundesländer ohne Berlin - West ) in den Startgewichtsklassen									
	A		B		C		D		E	
	gesamt	Platz	gesamt	Platz	gesamt	Platz	gesamt	Platz	gesamt	Platz
1981	2	2	-	-	-	-	18	16	143	116
1982	-	-	-	-	-	-	5	3	141	100
1983	2	2	-	-	1 e)	-	15	13	118	85
1984	1	1	-	-	1	1	10	7	104	84
1985	3	3	1	1	2	2	14	9	112	97
1986	2	2	-	-	1	1	13	13	93	75
1987	3 a)	2	-	-	4	4	8	7	87	71
1988	3	3	1	1	1 f)	1	10	10	110	78
1989	1 b)	-	-	-	1	-	8	6	92	34
1990	1 c)	-	-	-	-	-	5	5	66	21
1991	1	1	-	-	4 g)	3	13	11	96	22
1992	3 d)	1	-	-	4 h)	3	13	13	98	29
1993	2	2	-	-	1	1	17	13	73	30
Σ	26	21	4	4	22	18	292	245	2498	1669
Platz	80,8 %		100 %		81,8 %		83,9 %		66,8 %	

- |                                                                      |                                                |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| a) Überbeanspruchung Höhenruder, kein Drittschaden                   | e) Überbeanspruchung, kein Drittschaden        |
| b) abrupte Flugmanöver                                               | f) Blitzschlag, 21 Tote                        |
| c) Übungsflug                                                        | g) Absturz DC - 3 Nostalgieflug bei Heidelberg |
| d) 1 x Triebwerksausfall, 1 x Turbulenzen, jeweils kein Drittschaden | h) Reiseflug , unbekannte Ursache              |

Die Tabelle 9 zeigt, daß sich Unfälle in den Startgewichtsklassen A , B und C größtenteils im Platzbereich, ohne Konsequenzen für Dritte ereigneten. Aus diesem Grund können die Betrachtungen auf die Startgewichtsklassen D und E beschränkt werden. Die Startgewichtsklassen D und E müssen jedoch untereinander differenzierter betrachtet werden. Die Flugunfalluntersuchungsstelle beim Luftfahrt - Bundesamt ( FUS ) dokumentierte in ihren Ultrakurzberichten / 39 / auch Unfälle, die ihrem Ursprung nach Segelfluggeländen zugeordnet werden müssen.

Um den Anteil der Segelfluggelände am Unfallgeschehen einzuschätzen, werden Starts und Landungen 1992 miteinander verglichen. Der Segelflugbetrieb findet auf Segelfluggeländen statt, die von Privatpiloten mit Luftfahrzeugen der Klassen E und D nur nach vorheriger Genehmigung der Landesluftfahrtbehörde angefliegen werden dürfen. Darüberhinaus sind Starts zum Zweck des Schleppens üblich, diese werden jedoch nicht betrachtet. Tabelle 10 zeigt, daß der Anteil in den einzelnen Bundesländern sehr unterschiedlich ist.

Tabelle 10 : Anteil der Segelfluggelände an den Bewegungen der allgemeinen Luftfahrt

Bundesland	Nichtgewerblicher Flugbetrieb - Luftfahrzeugbewegungen 1992				SFG [ % ]	
	Flugplätze ( FP )		Segelfluggelände ( SFG )		D	E
	D	E	D	E		
Baden - Württemberg	10 274	210 707	104	39 279	1,01	18,6
Bayern	17 920	237 326	720	22 188	4,01	9,3
Hessen	4 257	91 840	8	24 296	0,18	26,5
Niedersachsen und Bremen	17 390 + 1 216	210 144 + 7 068	-	9 845	0	4,5
Nordrhein - Westfalen	15 245	222 958	-	15 929	0	7,1
Rheinland - Pfalz und Saarland	2 510 + 1 871	83 365 + 7 861	92	8179 + 1470	2,1	10,6
Schleswig - Holstein und Hamburg	2 009 + 2 580	92 525 + 9 557	-	133	0	0,13
Σ	75 272	1 173 351	924	121 319	1,2	10,3
Bundesland	Gewerblicher Flugbetrieb - Luftfahrzeugbewegungen 1992				SFG [ % ]	
	sonstige Flugplätze		Verkehrsflughäfen		D	E
	D	E	D	E		
Baden - Württemberg	3 084	57 979	13 180	74	0,4	14,6
Bayern	2 441	64 320	2 518	7 255	3,1	7,2
Hessen	1 857	37 962	1 694	6	0,10	19,7
Niedersachsen und Bremen	29 885 + 1 275	27 339 + 555	26 028	6 331	0	4,0
Nordrhein - Westfalen	11 406	90 905	12 963	20 991	0	4,8
Rheinland - Pfalz und Saarland	706 + 14	19 686 + 1 423	663	2 426	1,6	8,4
Schleswig - Holstein und Hamburg	7 358	47 766	3 118	2 653	0	0,11
Σ	58 026	347 935	60 164	39 736	0,5	7,8

Vergleicht man nur den nichtgewerblichen Verkehr, dann haben die Segelfluggelände in Hessen einen Anteil von 26,5 % an allen Bewegungen des nichtgewerblichen Verkehrs der Klasse E, unter Hinzunahme der gewerblichen Luftverkehrs sinkt dieser Betrag auf 19,7 %.

Über alle betrachteten Bundesländer ergibt sich ein Durchschnitt von 0,5 % für die Startgewichtsklasse D und 7,8 % für die Startgewichtsklasse E. Der Anteil der Segelfluggelände am Gesamtunfallgeschehen, außerhalb des Luftsports, kann darum vernachlässigt werden.

Der Prozentsatz von 66,8 % in der Startgewichtsklasse E als Unfallrate im Platzbereich liegt im Bereich der aus der Literatur bekannten Angaben ( 60 % - Fricke / 40 / bzw. 65 % - Kramer, / 8 / ). Die Tabelle 11 stellt eine Zuordnung zwischen der Nutzungsform des Flugplatzes und den verunfallten Luftfahrzeugen her.

Tabelle 11 : Zuordnung zwischen Unfallgeschehen und Nutzungsform des Flugplatzes

Flugplätze in der Bundesrepublik *		Anzahl der verunfallten Luftfahrzeuge im Platzbereich				
werden genutzt als	Anzahl	A	B	C	D	E
Internationaler Verkehrsflughafen	10	21	3	7	85	137
Verkehrsflughafen	6	-	-	5	10	68
Verkehrslandeplatz	116	-	1	5	131	1002
Sonderlandeplatz	137	-	-		13	403
Militär - und Zivillandeplatz	7	-	-	1	4	50
Militärflugplatz	2	-	-		1	7
Sonderflughafen	2	-	-		1	2
		21	4	18	245	1669

\*) alte Bundesländer ohne Berlin - West

Aus der vorstehenden Tabelle geht folgendes hervor :

Die Unfälle in den Startgewichtsklassen A - C sind vernachlässigbar.

Startgewichtsklasse D :

Die internationalen Verkehrsflughäfen ( IVF ) sind mit 34,7 %, die Verkehrslandeplätze ( VLP ) mit 53,5 % am Unfallgeschehen beteiligt. Der Anteil der anderen Plätzen kann vernachlässigt werden.

Startgewichtsklasse E :

Die Verkehrslandeplätze ( VLP ) sind mit 60,0 %, die Sonderlandeplätze ( SLP ) mit 24,1 % und die internationalen Verkehrsflughäfen ( IVF ) mit 8,2 % am Unfallgeschehen beteiligt. Der geringe Anteil der Startgewichtsklasse E am Unfallgeschehen auf internationalen Verkehrsflughäfen ist eine Folge des Mischbetriebes, der aufgrund der notwendigen Staffelung zwischen kleinen langsamen und großen schnellen Luftfahrzeugen nur eine vergleichsweise geringe Beteiligung der Klasse E am Gesamtstartaufkommen ermöglicht.

In Tabelle 12 sind die Anzahl der Bewegungen ( Erfassungsjahr 1992 ) der Art des Flugplatzes und des Luftverkehrs gegenübergestellt.

Es ist zu erkennen, daß der nichtgewerbliche Luftverkehr in der Startgewichtsklasse E auf Verkehrslandeplätzen und der gewerbliche Luftverkehr in der Klasse D auf den Verkehrsflughäfen dominant ist. Bei der Auswahl einzelner Flugplätze zur Ermittlung der Unfallhäufigkeit ist dieser Feststellung daher Rechnung zu tragen.

Tabelle 12 : Luftfahrzeugbewegungen in den Startgewichtsklassen A bis E auf Internationalen Verkehrsflughäfen ( IVF ) und Verkehrslandeplätzen ( VLP )

Bundesland	Gewerblicher				Nichtgewerblicher	
	Luftverkehr 1992 auf					
	IVF		VLP		VLP	
	in den Startgewichtsklassen					
	D	E	D	E	D	E
Baden - Württemberg	13 180	74	3 084	57 979	10 274	210 707
Bayern	2 518	7 255	2 441	64 320	17 920	237 326
Hessen	1 694	6	1 857	37 962	4 257	91 840
Niedersachsen und Bremen	26 028	6 331	31 160	27 894	18 606	217 212
Nordrhein - Westfalen	17 777	24 866	11 406	90 905	15 245	222 958
Rheinland - Pfalz und Saarland	663	2 426	720	21 109	4 381	91 226
Schleswig - Holstein und Hamburg	3 118	2 653	7 358	47 766	4 589	102 082
Σ	64 978	43 611	58 026	347 935	75 272	1 173 351

## 8 DER FLUGHAFEN MÜNCHEN - RIEM

Wie bei allen technischen Errungenschaften ist auch der Luftverkehr nicht frei von Unfällen. Kramer / 8 / bemerkt dazu : " Will man das Fliegen weltweit nicht vollständig abschaffen, ist man gezwungen, ein bestimmtes Maß an Unfällen hinzunehmen. " Diese Feststellung involviert die Tatsache, daß risikofreie Zustände in keinem Lebensbereich existieren. Die Aufgabe besteht darin, dieses " tolerierbare Maß " zu finden und derart zu quantifizieren, daß ein Zustand, der nicht mehr toleriert werden kann, als Grenzwert darstellbar ist.

Als Maß für einen nicht zu akzeptierenden Zustand kann eine Akzeptanzschwelle, die sich an Betroffenheitsreaktionen der Bevölkerung zeigt, die dieser Risikosituation ausgesetzt ist, angenommen werden / 15 /. Dieser Grenzwert kann mit statistischen Daten erfaßt und beschrieben werden, die eine derartige Situation charakterisieren.

Die Verteilung der Abstürze in Verlängerung der Start - und Landebahnen, in die zumeist bewohnten Start - und Einflugschneisen, ist mathematisch darstellbar. Nach amerikanischen Statistiken nimmt die Absturzhäufigkeit exponentiell mit der Entfernung von der Startbahnschwelle ab / 41 /. Die Anzahl der Abstürze je Flugbewegung läßt sich somit in einem definierten Bereich abschätzen. Dazu können die Unfallstatistiken des Luftfahrtbundesamtes ( LBA ) und eine Sammlung von Absturzvektoren der Flugunfalluntersuchungsstelle ( FUS ) herangezogen werden. In Kapitel 9 wird diese Vorgehensweise erläutert.



Kein anderer deutscher Flughafen weist in seiner Geschichte mehr Luftfahrzeugunfälle auf als der inzwischen geschlossene Flughafen München - Riem. Die vergleichsweise hohe Anzahl der zu beklagenden Menschenleben und große materielle Verluste führten zu einer Artikulation der öffentlichen Meinung die eindeutig auf die Schließung des Flugplatzes ausgerichtet war. Insofern kann München - Riem aufgrund der o.g. Überlegungen zunächst als Akzeptanzschwelle für eine nicht akzeptierte Situation angesehen werden.

In wirtschaftlicher Hinsicht war es schon in den 50 er Jahren absehbar, daß der 1939 eröffnete Flughafen den zukünftigen Anforderungen des modernen Luftverkehrs nicht mehr gewachsen sein würde. Seit den 60 er Jahren wurde darüberhinaus deutlich, daß er auch ein Sicherheitsrisiko darstellt. Maßgebend für diese Einschätzung waren folgende Tatsachen :

1. Die städtische Besiedlung erreichte schon Ende 1945 den Flugplatzzaun. Eine Erweiterung des Geländes war somit nicht mehr möglich.
2. München - Riem verfügte nur über eine belastbare Start - und Landebahn. Diese war aufgrund der innerstädtischen Lage nicht beliebig verlängerbar, so daß Langstreckenjets mit maximalem Startgewicht München aufgrund der Höhenlage nicht mehr benutzen konnten.
3. Die Start - und Einflugschneisen führten über ein dichtbesiedeltes Wohngebiet mit ca. 200 000 Einwohnern die sich ständig über die Lärmbelästigung beschwerten.

Das Sicherheitsrisiko durch einen Flugzeugabsturz in das umliegende Stadtgebiet war schon Ende der 50 er Jahre bekannt ( vor allen Dingen durch den spektakulären Unfall der Fußballmannschaft von Manchester United / 42 / ), führte jedoch erst nach der Flugzeugkatastrophe vom 17.12.1960 dazu, daß konsequent nach einem neuen Standort für einen Flughafen gesucht wurde. Tabelle 13 gibt einen Überblick über die schwersten Unfälle in der Geschichte des Flughafens.

Tabelle 13 : Ausgewählte Flugzeugabstürze von München - Riem

Datum	Kurzbeschreibung	Personen - und Sachschäden
06.02.58	zweimotoriger Maschine mißglückt nach mehrmaligen Startversuchen der Start und rollt über die Startbahn hinaus ( Fußballmannschaft Manchester United )	23 Tote, 17 Verletzte 1 Wohnhaus
17.12.60	zweimotorige Convair 340 der amerikanischen Luft - waffe hat durch Triebwerksausfall Schwierigkeiten Höhe zu gewinnen, kollidiert mit Kirchturm der St.-Pauls-Kirche und stürzt auf belebte Straßen - kreuzung	52 Tote ( alle Flugzeuginsassen) 32 Tote in Straßenbahn, Auto - fahrer, Passanten, 20 Verletzte
17.01.70	zweimotorige Beechcraft bricht Landeanflug ab und startet durch, bei Wiederholung der Landung Absturz auf Flughafengelände	2 Tote, Schäden an Flughafen - anlagen

Tabelle 13 : Fortsetzung

09.02.70	eine vierstrahlige Comet IV C hebt beim Start nicht ab, durchbricht die Umzäunung und rutscht mit abgerissenem Fahrwerk kurz vor die Wohnbebauung in Kirchtrudering	keine Toten, Umweltschäden und Schäden an Flugplatzanlagen
03.10.75	eine einmotorige Cessna 150 gerät beim Landeanflug in einen überzogenen Flugzustand und stürzt ab	1 Toter
24.08.78	eine zweimotorige Cessna 340 bekommt im Landeanflug 560 m vor der Schwelle Bodenberührung	2 Verletzte
30.08.84	eine einmotorige Cessna 172 stürzt kurz nach dem Start ab und brennt aus	4 Tote, Flugplatzanlagen
05.02.87	eine zweimotorige Swearingen 226 AT verfehlt beim Landeanflug die Bahn und stürzt 710 m von der Schwelle der Landebahn 25 entfernt und rund 55 m südlich der Bahnmitte ab	12 Schwerverletzte, 1 Leichtverletzter
11.08.87	zweimotorige Piper PA - 31 T geriet im Landeanflug in Schwierigkeiten, touchierte einen Linienbus und stürzte auf den Parkplatz eines Schnellrestaurants	9 Tote, 26 Verletzte, Sachschaden in Millionenhöhe durch auslaufenden Treibstoff und Brandschäden
12.05.89	eine einmotorige Beechcraft B 36 TC stürzt zwei Minuten nach dem Start mit 5 Personen an Bord direkt in den Stadtteil Trudering	4 Tote, 4 Verletzte, Einfamilienhaus durch Brand zerstört
25.01.92	zweimotorige Cessna 421C stürzt beim Landeanflug neben der Landebahn ab	5 Tote, Schäden an Flugplatzanlagen

Nach verschiedenen Standortvorschlägen für einen neuen Münchener Flughafen wurde am 8. März 1963 aufgrund einer Vereinbarung zwischen dem Freistaat Bayern und der Landeshauptstadt München die " Kommission Standort Großflughafen München " gegründet, die nach dem Namen ihres Vorsitzenden, des ehemaligen bayerischen Arbeitsministers, auch " Oechsle - Kommission " genannt wurde. Am 5. August 1969 erteilte der Ministerrat unter Leitung des damaligen bayerischen Ministerpräsidenten Alfons Goppel den zuständigen Ministerien den Auftrag, alle Maßnahmen zur Errichtung des neuen Flughafens am Standort München - Erding vorzubereiten / 43 /. 23 Jahre später wurde im Mai 1992 der neue Flughafen eröffnet. Von der Erkenntnis, daß eine Luftverkehrsquelle zu einem Sicherheitsrisiko für die unmittelbar in der Nachbarschaft eines Flughafens ansässigen Bewohner werden kann bis zur materiellen Umsetzung, d.h. der Stilllegung dieses Flughafens, war also ein Zeitraum von 31,5 Jahren vergangen.

Der Flughafen München - Riem kann, wie einleitend schon erwähnt, aufgrund der höchsten Anzahl von Luftfahrzeugunfällen die jemals in Deutschland festgestellt worden sind und vor dem Hintergrund, daß extrem hohe Drittschäden zu beklagen waren, zur orientierenden Festlegung einer Akzeptanzschwelle herangezogen werden. Dabei ist jedoch noch folgendes zu bedenken:

Der Unfall von 1958 ( Fußballmannschaft Manchester United ), der sich im wesentlichen auf den unmittelbaren Flughafennahbereich beschränkte, erreichte emotionell eine größere Anzahl Menschen,

als es bei unbekanntem Insassen der Fall gewesen wäre. Die Schuldfrage beschäftigte die Gerichte noch bis 1969, der Unfall geriet nicht so schnell in Vergessenheit, wie es anderenorts der Fall war ( z.B. Unfall vom 06.09.1971 bei Hasloh ).

Der Unfall von 1960, zwei Jahre nach der o.g. Tragödie und noch während der Klärung der Umstände des ersten Unfalles, machte den Risikofaktor der Öffentlichkeit nochmals deutlich und zwang die politisch Verantwortlichen, Abhilfe zu schaffen. Daraus kann geschlußfolgert werden, daß ein wesentliches Kriterium zur Festlegung einer Akzeptanzschwelle - die Beteiligung der Betroffenen - im Fall München - Riem gegeben war. Notwendig ist aber auch der Hinweis, daß eine derartige zeitliche Häufung schwerster Unfälle zumindest in Deutschland einzigartig ist.

Nach 1960 waren noch 25 tote und 45 verletzte Personen sowie Sachschäden in Millionenhöhe zu beklagen, so daß die Entscheidung, den alten Flughafen zu schließen, auch während der folgenden Jahre nicht verworfen werden konnte. Die nach 1960 weitergeführte Unfallstatistik zeigt eindeutig, daß innerstädtische Lagen für Flugplätze mit einem erhöhten Risiko verbunden sind.

Aus dem Verhältnis der verunfallten Luftfahrzeuge in die Umgebung des Flughafens und der Anzahl der in den letzten 20 Jahren registrierten Luftfahrzeugbewegungen kann ein Wert ermittelt werden, der als Akzeptanzschwelle für Anlagen in Flughafennähe in dicht besiedelten Gebieten angesehen werden kann. Es ist davon auszugehen, daß Flugzeugabstürze in Industrieanlagen zu einer Eskalation der Schadensfolgen führen können, die für die Gesellschaft und die Umwelt unakzeptable Folgeschäden nachsichziehen. Bei der Überlegung, München - Riem als Grenzwert zu definieren, muß jedoch folgendes beachtet werden :

1. München - Riem hatte eine andere Dichtehöhe als die meisten anderen deutschen Verkehrsflughäfen bzw. Landeplätze.
2. München - Riem hatte periphere Bedingungen ( innerstädtische Lage ), die viele andere Flughäfen nicht aufweisen.

Unter Zugrundelegung der statistischen Daten des Flughafens München - Riem ( 4 relevante Absturzereignisse bei 497 190 Bewegungen ), kann darum angenommen werden, daß eine Eintrittshäufigkeit von  $0,8 \times 10^{-5}$  einen soziologischen Schwellenwert darstellt, der dazu führt, daß die betroffene Bevölkerung die Beseitigung einer Risikoquelle fordert.

Wie in Kapitel 9 gezeigt wird, handelt es sich bei dieser Eintrittshäufigkeit um eine spezifische Absturzhäufigkeit.

Diese führt jedoch erst in Verbindung mit einer weiteren Wahrscheinlichkeitsaussage, der spezifischen Trefferwahrscheinlichkeit, zu einer Quantifizierung des Risikos und der Begründung des Ausschlusses flugplatznaher Flächenbereiche für Industriestandorte.

## 9 AUSWAHL VON BEURTEILUNGSKRITERIEN, DEFINITIONEN, METHODIK

Zur Abschätzung der Gefährdung von flugplatznahen Industrieanlagen in den Start - und Einflugschneisen müssen geeignete Merkmale gefunden werden, mit denen diese Gefährdung quantifiziert werden kann.

Die Flugplätze sind nach dem Luftverkehrsgesetz ( LuftVG ) / 17 / bzw. den " Richtlinien für die Genehmigung der Anlage und des Betriebs von Landeplätzen für Flugzeuge " / 29 / wie folgt eingeteilt :

- Internationaler Verkehrsflughafen - IVF,
- Verkehrsflughafen - VF,
- Verkehrslandeplatz mit Start - und Landebahnssystem nach ICAO Empfehlungen VLP/ ICAO,
- Verkehrslandeplatz - VLP - mit den Unterscheidungen nach der Tragfähigkeit des Belages unterteilt in VLP 1,2 und 3 ( erläutert in Kapitel 5.2.2 ) und
- Sonderlandeplatz - SLP

Bei dieser Einteilung fällt auf, daß zwischen dem Zweck ( International, National, Sonderaufgaben ) und der Größe ( Flughafen, Landeplatz ) eines Flugplatzes unterschieden wird. Der Zweck und die Größe sind miteinander verknüpft, vereinfachend kann dies wie folgt dargestellt werden :

Der Zweck bestimmt die Länge des notwendigen Start - und Landebahnsystems und somit die Tragfähigkeit des Belages. Die internationalen und nationalen Verkehrsflughäfen werden mit Luftfahrzeugen > 20 t MTOW angefliegen, Landeplätze dienen hauptsächlich dem Regionalverkehr und der allgemeinen Luftfahrt mit Luftfahrzeugen < 20 t MTOW ( siehe dazu auch Kapitel 5.2.1 ). Aus diesem Grund ist es z.B. problematisch, die Unfallhäufigkeit im Platzbereich auf Verkehrslandeplätzen mit Asphaltbelag mit der von Sonderlandeplätzen mit Grasbahnen zu vergleichen. Dasselbe gilt für die Unfallhäufigkeit in den Start - und Einflugschneisen, sie ist wie noch gezeigt wird, auch von der Länge des Start - und Landebahnsystems abhängig.

Aus dem Zweck und der Größe eines Flugplatzes kann darüber hinaus, ohne Differenzierung nach Startgewichtsklassen, auf die Anzahl der jährlichen Bewegungen geschlußfolgert werden. Es ist a priori einzusehen, daß auf einem Internationalen Verkehrsflughafen mit einer höheren Anzahl von Starts und Landungen gerechnet werden muß als auf einem Verkehrslandeplatz. Daraus ist zunächst der Schluß zu ziehen, daß eine hohe Frequentierung auch eine hohe Unfallhäufigkeit bedingen müßte. Diese Annahme wird insbesondere auch durch die Festlegung von unterschiedlich großen kritischen Flächen für Flughäfen und Landeplätze im Verhältnis von ca. 10 : 1, gem. Pkt. 3.2.4.2 der 2. StörfallVwV / 16 /( siehe dazu auch Kapitel 3, Bild 1 ) hervorgerufen.

Tatsächlich sind auch die Luftfahrzeugtypen in einem unterschiedlichen Maß am Unfallgeschehen beteiligt. In Kapitel 7 wurde dargelegt, daß eine Gefährdung hauptsächlich durch die allgemeine Luftfahrt, insbesondere durch Luftfahrzeuge mit einem Startgewicht  $\leq 2,0$  und  $\leq 5,7$  t, ( abgekürzt Startgewichtsklasse E bzw. D ) hervorgerufen wird.

Aus den vorangestellten Gründen sind zur Beschreibung einer Gefährdung folgende Merkmale denkbar :

- a ) Der Zweck des Flugplatzes im Sinne des Luftverkehrsgesetzes / 17 / und damit verbunden, dessen Größe,
- b ) die Anzahl der jährlichen Bewegungen der o.g. Luftfahrzeuge,
- c ) die spezifische Absturzhäufigkeit und
- d ) die spezifische Trefferwahrscheinlichkeit für Flächen in den Start - und Einflugschneisen.

Balfanz, Hein und Wietfeldt / 44 / regten darüber hinaus an, auch die durch wechselnde Windrichtungen alternativ verursachte Start - und Landerichtung zu berücksichtigen. Dies führt jedoch zu unhandlichen Formeln und verlangt eine komplizierte statistische Ermittlungsarbeit, die für einen zurückliegenden Zeitraum nur mit großem Aufwand geleistet werden kann.

Außerdem ist, wie in Kapitel 9.1.2 gezeigt wird, eine Unterscheidung zwischen Start - und Landerichtung für die Abschätzung der Gefährdung vernachlässigbar.

Für das weitere Verständnis ist es notwendig, folgende Definitionen zu vereinbaren :

**Flugplatz** soll als Oberbegriff für Flughafen und Landeplatz aufgefaßt werden. Er umfaßt somit alle Plätze, die als Quelle und Senke im Sinne des Luftverkehrsgesetzes betrachtet werden können. Aus dem Begriff " Flugplatz " ist somit nicht unmittelbar zu erkennen, um welche Art des Platzes ( Zweck und Größe ) es sich handelt.

Die **Unfallhäufigkeit** beziffert die Anzahl der Unfälle in den Bereichen Einflugschneise, Platzbereich und Startschneise und stellt sie untereinander ins Verhältnis. Die Unfallhäufigkeit wird in Prozent angegeben. Sie bezieht sich nicht auf die Anzahl der Bewegungen.

Die **spezifische Absturzhäufigkeit**  $P_{SA}$  beschreibt das Unfallgeschehen in den Start - und Einflugschneisen eines ausgewählten Flugplatzstandortes. Sie wird ermittelt durch das Verhältnis :

abgestürzte Luftfahrzeuge in den Start - und Einflugschneisen

gestartete und gelandete Luftfahrzeuge

über einen Zeitraum von 21 Jahre. Dieser Untersuchungszeitraum ergibt sich aus den zur Verfügung stehenden Jahresunfallkurzberichten der Flugunfalluntersuchungsstelle ( FUS ) des Luftfahrt - Bundesamtes / 41 / Der erste zugängliche Kurzbericht wurde im Jahr 1973 veröffentlicht, der letzte für diese Arbeit auszuwertende Bericht stammt aus dem Jahr 1993. Die spezifische Absturzhäufigkeit enthält keinen Hinweis auf die Absturzkoordinaten.

Die **spezifische Trefferwahrscheinlichkeit**  $P_{ST}$  wird ermittelt aus allen verfügbaren Absturzkoordinaten ( Absturzvektoren ) der untersuchten Luftfahrzeugtypen in den Start - und Einflugschneisen aller Flugplätze. Dadurch ist sie relevant für alle Flugplatzstandorte. Sie ist bezogen auf eine Trefferfläche, die ausschließlich durch die Wrackteilstreuung bestimmt ist.

Durch statistische Auswertungen kann eine Verteilungsfunktion für die Absturzorte angegeben werden, so daß die spezifische Trefferwahrscheinlichkeit für jede einzelne Trefferfläche in allen Winkelbereichen angegeben werden kann.

Die **terrestrische Trefferwahrscheinlichkeit**  $P_{TS}$  wird ermittelt durch das Verhältnis :

abgestürzte Luftfahrzeuge während des Reiseflugs / gestartet und gelandete Luftfahrzeuge. Sie enthält keinen Hinweis auf die Absturzkoordinaten. Sie wird bezogen auf die Fläche außerhalb aller Flugplatznahbereiche, in der Regel auf die Fläche eines Staates oder Bundeslandes.

Durch die Unterteilung der Landesfläche in Trefferflächen lassen sich die spezifische und terrestrische Trefferwahrscheinlichkeit miteinander vergleichen.

Die **territoriale Trefferwahrscheinlichkeit**  $P_{TT}$  ergibt sich aus dem Produkt zweier Wahrscheinlichkeitsaussagen, der spezifischen Absturzhäufigkeit  $P_{SA}$  und der spezifischen Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{ST}$  :

$$P_{TT} = P_{SA} \times P_{ST}$$

Die Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Störfall - Verordnung / 16 / verwendet in Punkt 3.2.4.2 zur Beschreibung der umgebungsbedingten Gefahrenquelle Luftverkehr, die Begriffe " Flughafen " und " Landeplatz ". Sie leitet daraus zwei unterschiedlich große, sich um eine Zehnerpotenz unterscheidende Flächenbereiche in den Einflugschneisen ab, die bei der Störfallprävention zu beachten sind. Wie in Kapitel 3 begründet, ist diese Einteilung zu unscharf.

Sie verleitet darüber hinaus aufgrund der Flächenfestlegung zu der Annahme, daß die Gefährdung, die von einem Flughafen ausgeht, höher als bei einem Landeplatz sein müsse.

Aus diesem Grund ist es zunächst notwendig, die in der Art des Flugplatzes vermuteten Unterschiede zu untersuchen. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

Aus dem Luftfahrthandbuch VFR / 30 / wurden die Flugplätze für eine Betrachtung ausgewählt, die

- während des gesamten Beobachtungszeitraumes ( 1973 - 1993 ) in Betrieb waren und
- sowohl für die Startgewichtsklassen E und D zugelassen waren bzw. sind.

Es ergab sich eine Anzahl von 103 Flugplätze, von denen zunächst nur diejenigen berücksichtigt wurden, die aufgrund ihres Belages ( Beton - bzw. Asphaltbelag ) untereinander vergleichbar sind. Dies ist vor allen Dingen für die Ermittlung und den Vergleich der Unfallhäufigkeit auf dem Platzbereich und für die Ermittlung der Unfallhäufigkeit in Abhängigkeit der Länge der Start - und Landebahnen notwendig.

Davon sind alle IVF, VF VLP/ICAO und einige VLP ( nfl - Kategorie 1, 2 und 3 ) betroffen. Flugplätze mit einem Sonderstatus ( MZP, SFH ) sowie Sonderlandeplätze ( SLP ), die in vielen Fällen nur zeitlich begrenzt geöffnet und durch die allgemeine Luftfahrt nur nach vorheriger Anfrage benutzbar sind, wurden nicht berücksichtigt. Da auf den nationalen Verkehrsflughäfen ( 6 Flugplätze ) nur wenige Unfallereignisse registriert worden sind, werden diese zusammen mit den Verkehrslandeplätzen betrachtet, deren Start - und Landebahnsystem den ICAO - Empfehlungen entsprechen / 28 / ( 4 Flugplätze ). Beide Platzarten sind in bezug auf die Start - und Landebahnlänge in etwa gleichwertig.

Von diesen 103 Flugplätzen sind 24 Flugplätze dadurch gekennzeichnet, daß sie ausschließlich Grasbahnen aufweisen. Diese Plätze sind jahreszeitlichen Bedingungen unterworfen, die die Benutzbarkeit und Frequentierung maßgeblich beeinflussen. Sie wurden zur Evaluierung der Ergebnisse herangezogen.

## **9.1 Die Art des Flugplatzes und die Unfallhäufigkeit**

Tabelle 14 gibt einen Überblick über die Anzahl der Bewegungen im Zeitraum von 1973 bis einschließlich 1993 auf 79 ausgewählten Flugplätzen.

Tabelle 14 : Luftfahrzeugbewegungen auf ausgewählten Flugplätzen im Zeitraum von 1973 bis 1993

Startgewichtsklasse	D	E
IVF ( 10 Plätze )	1 763 531	2 112 603
VF + VLP/ICAO ( 10 Plätze )	347 615	2 578 517
VLP ( 59 Plätze )	834 679	11 856 896
Σ	2 945 825	16 548 016

IVF : Internationaler Verkehrsflughafen

VLP / ICAO : Verkehrslandeplatz nach ICAO - Empfehlungen

VF : Verkehrsflughafen

VLP : Verkehrslandeplatz

Die untersuchten 79 Flugplätze repräsentieren ca. 60 % der in der Bundesrepublik Deutschland ( alte Bundesländer ) vorhandenen Flugplätze. Hubschrauberlandeplätze, Segelfluggelände, Sonderflughäfen sowie Militärflughäfen mit ziviler Nutzungsmöglichkeit wurden dabei nicht berücksichtigt. Im Untersuchungszeitraum von 1973 bis einschließlich 1993 traten die in Tabelle 15 aufgeführten Unfälle auf.

Tabelle 15 : Unfallhäufigkeit im Platzbereich und in den Start - und Einflogschneisen von ausgewählten Flugplätzen

Startgewichtsklasse D : >2,0 ≤ 5,7 t MTOW						
Unfälle auf den	Unfälle in die Startschneise		Unfälle auf dem Platz		Unfälle in die Einflogschneise	
	Anzahl	[ % ]	Anzahl	[ % ]	Anzahl	[ % ]
Internationalen Verkehrsflughäfen	5	6,1	71	86,6	6	7,3
Verkehrsflughäfen und Verkehrslandeplätzen n. ICAO	2	9,1	15	68,2	5	22,7
Verkehrslandeplätzen	13	14,6	61	68,5	15	16,9
Σ	20	10,4	147	76,2	26	13,5
Startgewichtsklasse E : ≤ 2,0 t MTOW						
Unfälle auf den	Unfälle in die Startschneise		Unfälle auf dem Platz		Unfälle in die Einflogschneise	
	Anzahl	[ % ]	Anzahl	[ % ]	Anzahl	[ % ]
Internationalen Verkehrsflughäfen	5	3,9	116	89,9	8	6,2
Verkehrsflughäfen und Verkehrslandeplätzen n. ICAO	10	8,4	93	78,1	16	13,4
Verkehrslandeplätzen	84	14,4	421	72,2	78	13,4
Σ	99	11,9	630	75,8	102	12,3



Tabelle 15 zeigt, daß sich bei einer Gesamtbetrachtung der Unfälle ( Summenzeile ) die prozentuale Aufteilung zwischen den Startgewichtsklassen D und E nur geringfügig unterscheidet.

Wird jedoch nach einzelnen Flugplatzarten unterschieden, so ist zu erkennen, daß die Unfallhäufigkeit in den Start - und Einflugschneisen der Landeplätze deutlich höher ist als bei den Internationalen Verkehrsflughäfen. In Bild 3 ist dieser Zusammenhang grafisch dargestellt.

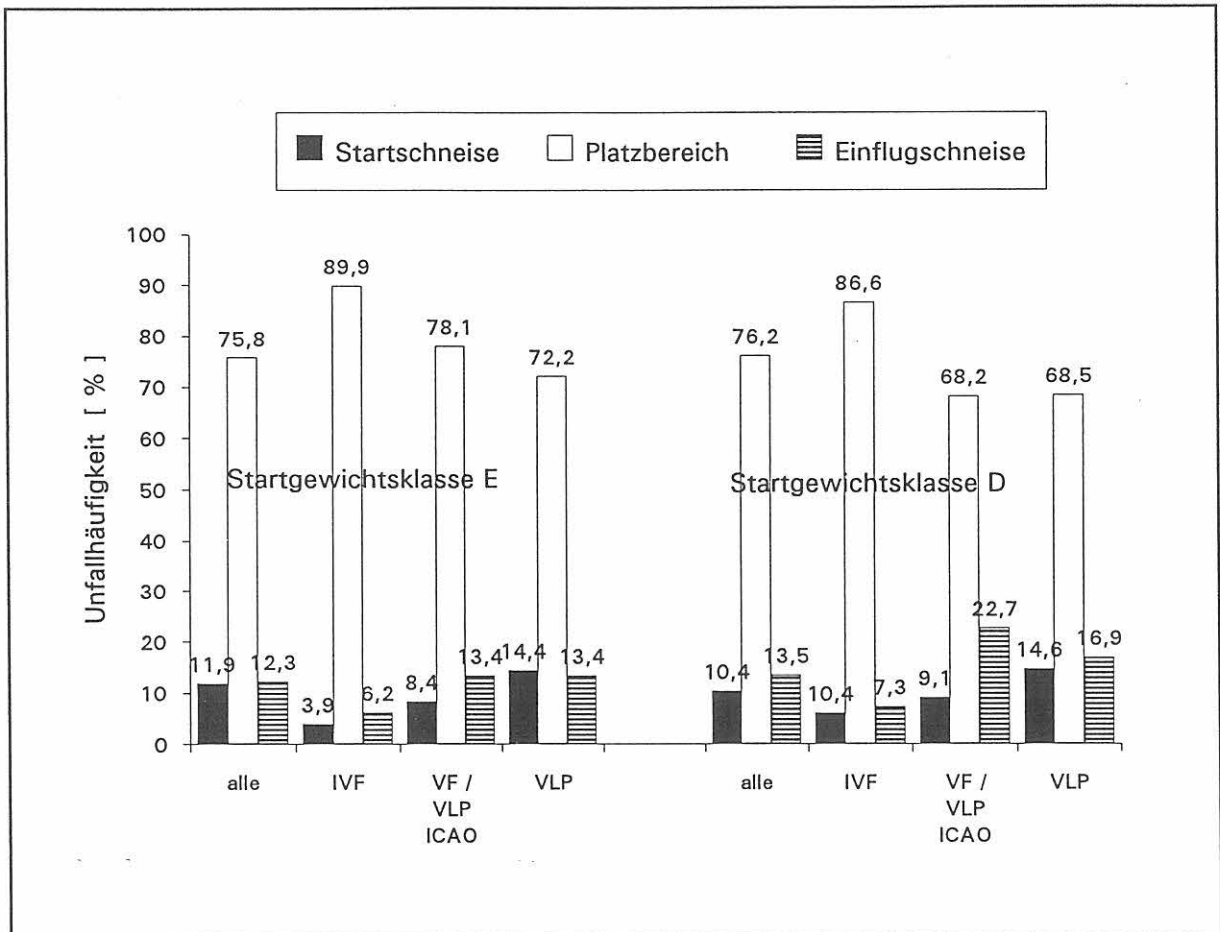


Bild 3 : Unfallhäufigkeit in Abhängigkeit der Flugplatzart

Es ist zu erkennen, daß die Unterschiede zwischen der Start - und Einflugschneise marginal sind. Lediglich in der Startgewichtsklasse D bestehen bei den Verkehrsflughäfen und Verkehrslandeplätzen nach ICAO Abweichungen von 13,6 %. Dazu korrespondierend nimmt die Unfallhäufigkeit auf dem unmittelbaren Platzbereich in Richtung der Internationalen Verkehrsflughäfen zu.

Zu vermuten ist daher, daß die Länge der Start - und Landebahnen auf das Unfallgeschehen einen großen Einfluß hat, was im folgenden Kapitel näher untersucht werden soll.

### 9.1.1 Die Länge der Start - und Landebahnen

In Bild 4 ist der Einfluß der Start - bzw. Landebahnlängen auf die Unfallhäufigkeit im Platzbereich sowie in den Start - und Einflugschneisen dargestellt.

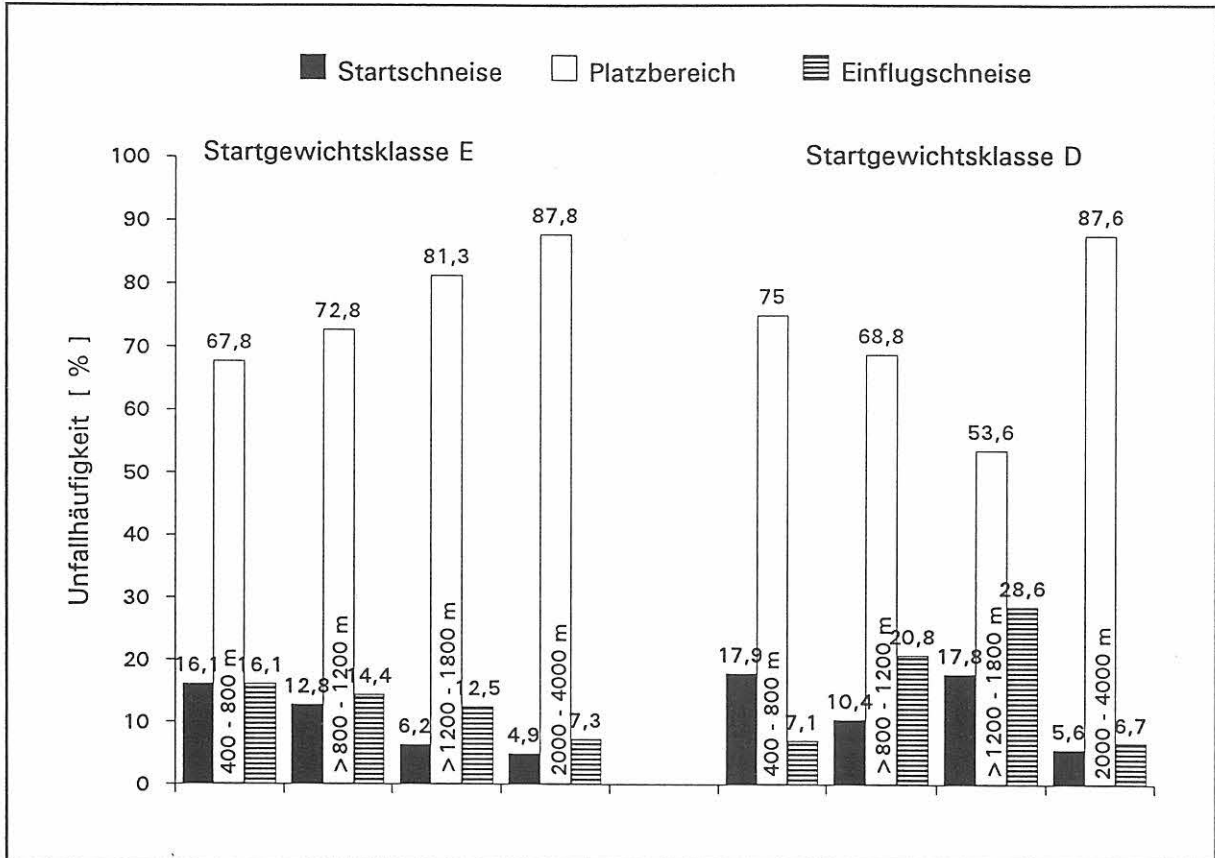


Bild 4 : Unfallhäufigkeit in Abhängigkeit der Start - und Landebahnlänge

Es ist zu erkennen, daß zwischen den Startgewichtsklassen D und E bei Start - und Landebahnlängen von 2000 bis 4000 m kaum Unterschiede bestehen, die Unfallhäufigkeit auf dem Platzbereich ist mit 87,8 % ( E ) bzw. 87,6 % ( D ) als identisch anzusehen, auch die Unfallhäufigkeit in den Start - und Einflugschneisen unterscheidet sich lediglich um 0,7 % ( Startschneise ) bzw. 0,6 % ( Einflugschneise ).

Diese geringen Unterschiede sind bei kürzeren Start - und Landebahnen nicht mehr vorhanden.

Betrachtet man zunächst nur die Startgewichtsklasse E so ist zu erkennen, daß mit höherer Bahnlänge die Unfallquote im Platzbereich ansteigt. Hier spiegelt sich die Tatsache wider, daß es bei ausreichend bemessenen Bahnlängen immer wahrscheinlicher wird, daß ein Unfall in der Start - und Landephase noch auf dem Platzbereich beendet wird. Die entsprechende Quote steigt von 67,8 % ( Bahnlänge 400 - 800 m ) auf 87,8 % ( Bahnlänge 2000 - 4000 m ).

Dazu korrespondierend sinkt die Unfallquote in die Startschneise mit steigender Bahnlänge von 16,1 % auf 4,9 % und die Quote in die Einflugschneise von ebenfalls 16,1 % auf 7,3 %.

Die höhere Unfallhäufigkeit in der Einflugschneise ist vor allen Dingen auf fliegerische und psychologische Aspekte ( Raumwahrnehmung, Streß usw. ) zurückzuführen.

Diese Tendenz ist bei der Startgewichtsklasse D nicht zu erkennen. Lediglich bei Start - und Landebahnlängen von 2000 - 4000 m sind keine signifikanten Unterschiede zur Startgewichtsklasse E festzustellen. Die Unfallhäufigkeit auf dem Platzbereich sinkt von 75,0 % ( Bahnlänge 400 - 800 m ) auf 53,6 % ( Bahnlänge < 1200 - 1800 m ). Es muß vermutet werden, daß entweder der Umfang der vorhandenen Ereignisdaten zu gering ist oder aber typbezogene Einflüsse eine Rolle spielen ( Startmasse, Start - und Landerollstrecken, Spezifik zweimotoriger Flugzeuge ).

Die Flugplatzgröße ist also bei ausschließlicher Betrachtung der Start - und Landebahnlängen nur für die Startgewichtsklasse E als ein orientierendes Kriterium denkbar. Weitere Aussagen müssen daher unter Beachtung der Luftfahrzeugbewegungen gewonnen werden.

### 9.1.2 Die spezifische Absturzhäufigkeit und die Flugplatzgröße

Zur Beschreibung der Gefährdung von flugplatznahen Bereichen kann auch die spezifische Absturzhäufigkeit  $P_{SA}$  herangezogen werden. Sie ist definiert durch den Quotienten aus den ( in die Start - und Einflugschneisen ) verunfallten und gestarteten Luftfahrzeugen. Werden alle 79 Flugplätze zusammengefaßt, so berechnet sich diese wie in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16 : Spezifische Absturzhäufigkeit, ermittelt über 79 Flugplätze

	Startgewichtsklasse D		Startgewichtsklasse E	
	Anzahl	$P_{SA}$	Anzahl	$P_{SA}$
Anzahl der Bewegungen ( 21 Jahre )	2 945 825		16 548 016	
$\Sigma$ der Abstürze in die Startschneise	20	$0,7 \times 10^{-5}$	99	$0,6 \times 10^{-5}$
$\Sigma$ der Abstürze in die Einflugschneise	26	$0,9 \times 10^{-5}$	102	$0,6 \times 10^{-5}$
79 Flugplätze	$1,6 \times 10^{-5}$		$1,2 \times 10^{-5}$	

Es ist zu berücksichtigen, daß diesem und den folgenden Vergleichen unterschiedliche Ereignishäufigkeiten zugrundeliegen. Die ermittelten Unterschiede können somit lediglich als qualitative Orientierungshilfe zur Erfassung des Einflusses der Flugplatzgröße dienen.

Bei einer gesamtheitlichen Betrachtung, ohne Differenzierung zwischen Start - und Einflugschneisen, beträgt der Unterschied zwischen den Startgewichtsklassen D und E  $0,4 \times 10^{-5}$ .

Die spezifischen Absturzhäufigkeiten sind in der Startgewichtsklasse E identisch, in der Startgewichtsklasse D ist die Absturzhäufigkeit in die Einflugschneise um  $0,2 \times 10^{-5}$  höher. Werden die Flugplätze nach ihrem speziellen Zweck und somit indirekt auch nach ihrer Größe unterteilt, so ergeben sich die in den Tabellen 17 bis 19 dargestellten Verhältnisse :

Tabelle 17 : Spezifische Absturzhäufigkeit für Internationale Verkehrsflughäfen

	Startgewichtsklasse D		Startgewichtsklasse E	
Anzahl der Bewegungen ( 21 Jahre )	1 763 531		2 112 603	
	Anzahl	P <sub>SA</sub>	Anzahl	P <sub>SA</sub>
Σ der Abstürze in die Startschneise	5	$0,28 \times 10^{-5}$	5	$0,24 \times 10^{-5}$
Σ der Abstürze in die Einflugschneise	6	$0,34 \times 10^{-5}$	8	$0,38 \times 10^{-5}$
Internationale Verkehrsflughäfen	$0,62 \times 10^{-5}$		$0,62 \times 10^{-5}$	

Die spezifische Absturzhäufigkeit ist bei beiden Startgewichtsklassen, ohne Unterscheidung zwischen Start - und Landephase, identisch. Auch bei einer differenzierten Betrachtung sind keine signifikanten Abweichungen zu erkennen. Dieses Ergebnis stimmt mit den Feststellungen aus Kapitel 9.1.1 überein : Bei Internationalen Verkehrsflughäfen, die ohne Ausnahme Start - und Landebahnlängen > 2000 m aufweisen, ist der typenbezogene Unterschied zwischen den Startgewichtsklassen D und E marginal. Auch eine Bevorzugung der Start - oder Einflugschneise ist nicht zu erkennen. Betrachtet man die nächste ( kleinere ) Flugplatzart, die Verkehrsflughäfen und VLP / ICAO mit Start - und Landebahnlängen von 1500 - 2100 m, so ergibt sich die in Tabelle 18 dargestellte Situation.

Tabelle 18 : Spezifische Absturzhäufigkeit für Verkehrsflughäfen und Verkehrslandeplätze nach ICAO

	Startgewichtsklasse D		Startgewichtsklasse E	
Anzahl der Bewegungen ( 21 Jahre )	347 615		2 578 517	
	Anzahl	P <sub>SA</sub>	Anzahl	P <sub>SA</sub>
Σ der Abstürze in die Startschneise	2	$0,57 \times 10^{-5}$	10	$0,39 \times 10^{-5}$
Σ der Abstürze in die Einflugschneise	5	$1,44 \times 10^{-5}$	16	$0,62 \times 10^{-5}$
Verkehrsflughäfen und VLP / ICAO	$2,0 \times 10^{-5}$		$1,0 \times 10^{-5}$	

Bei dieser Flugplatzart fällt auf, daß die schweren ( und meistens zweimotorigen ) Luftfahrzeuge der Startgewichtsklasse D eine gegenüber der Startgewichtsklasse E doppelt so hohe spezifische Absturzhäufigkeit aufweisen. Auch die Differenzierung zwischen Start - und Einflugschneise läßt

erkennen, daß die spezifische Absturzhäufigkeit in der Startgewichtsklasse D um den Faktor 1,5 bis 2,3 höher ist als in der Startgewichtsklasse E. Die Einflugschneise ist von den Absturzereignissen stärker betroffen. Diese Tendenz müßte sich nun verstärken, wenn die nächst kleinere Flugplatzart betrachtet wird, die Verkehrslandeplätze. Ohne eine Differenzierung bezüglich der Länge von Start- und Landebahnen errechnen sich die spezifischen Absturzhäufigkeiten zunächst wie in Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 19 : Spezifische Absturzhäufigkeit für Verkehrslandeplätze

	Startgewichtsklasse D		Startgewichtsklasse E	
Anzahl der Bewegungen ( 21 Jahre )	834 679		11 856 896	
	Anzahl	P <sub>SA</sub>	Anzahl	P <sub>SA</sub>
Σ der Abstürze in die Startschneise	13	1,56 x 10 <sup>-5</sup>	84	0,71 x 10 <sup>-5</sup>
Σ der Abstürze in die Einflugschneise	15	1,80 x 10 <sup>-5</sup>	78	0,66 x 10 <sup>-5</sup>
Verkehrslandeplätze	3,4 x 10 <sup>-5</sup>		1,4 x 10 <sup>-5</sup>	

Es ist deutlich zu erkennen, daß sich die spezifische Absturzhäufigkeit in der Startgewichtsklasse D in einem stärkeren Maße erhöht hat als in der Startgewichtsklasse E.

Werden die Verkehrslandeplätze untereinander ( unter Berücksichtigung der Länge der zur Verfügung stehenden Start- und Landebahn ) verglichen, so ergibt sich für die Verkehrslandeplätze der nfl - Kategorie 1 ( Mindestgrundlänge der Bahn 900 m ) die in Tabelle 20 dargestellte Situation.

Tabelle 20 : Spezifische Absturzhäufigkeit für VLP 1

	Startgewichtsklasse D		Startgewichtsklasse E	
Anzahl der Bewegungen ( 21 Jahre )	281 409		3 645 511	
	Anzahl	P <sub>SA</sub>	Anzahl	P <sub>SA</sub>
Σ der Abstürze in die Startschneise	4	1,42 x 10 <sup>-5</sup>	17	0,47 x 10 <sup>-5</sup>
Σ der Abstürze in die Einflugschneise	5	1,78 x 10 <sup>-5</sup>	19	0,52 x 10 <sup>-5</sup>
VLP 1	3,2 x 10 <sup>-5</sup>		0,99 x 10 <sup>-5</sup>	

Sämtliche spezifischen Absturzhäufigkeiten haben sich verringert. Diese Flugplatzart ist demnach für die Startgewichtsklasse D und E nicht unfallrelevant. In der Startgewichtsklasse E werden annähernd die gleichen Resultate wie bei den Verkehrsflughäfen und den VLP / ICAO erzielt. Die spezifische Absturzhäufigkeit in den Schneisen der Verkehrslandeplätze der nfl - Kategorie 2 ( Mindestgrundlänge der Bahn 600 m ) ist in Tabelle 21 dargestellt. Sie steigt erwartungsgemäß wieder an und entspricht in der Größenordnung der Summe aller Verkehrslandeplätze ( Tabelle 19 ). Die Flugplätze mit Start- und Landebahnlängen von ca. 600 - 1000 m sind am häufigsten in der Unfallstatistik vertreten .

Tabelle 21 : Spezifische Absturzhäufigkeit für VLP 2

	Startgewichtsklasse D		Startgewichtsklasse E	
Anzahl der Bewegungen ( 21 Jahre )	550 600		7 727 471	
	Anzahl	P <sub>SA</sub>	Anzahl	P <sub>SA</sub>
Σ der Abstürze in die Startschneise	9	1,63 x 10 <sup>-5</sup>	63	0,81 x 10 <sup>-5</sup>
Σ der Abstürze in die Einflugschneise	10	1,81 x 10 <sup>-5</sup>	54	0,70 x 10 <sup>-5</sup>
VLP 2	3,5 x 10 <sup>-5</sup>		1,5 x 10 <sup>-5</sup>	

Für Verkehrslandeplätze der nfl - Kategorie 3 ( Mindestgrundlänge der Bahn 300 m ) ist die Startgewichtsklasse D auf Grund der Tragfähigkeit des Belages nicht mehr relevant, so daß sich für die Startgewichtsklasse E die Summe der spezifischen Absturzhäufigkeit nach Tabelle 22 zu 1,9 x 10<sup>-5</sup> berechnet. Im Gegensatz zu den VLP 2 ist hier die Betroffenheit der Einflugschneise höher.

Tabelle 22 : Spezifische Absturzhäufigkeit für VLP 3

	Startgewichtsklasse E	
Anzahl der Bewegungen ( 21 Jahre )	483 914	
	Anzahl	P <sub>SA</sub>
Σ der Abstürze in die Startschneise	4	0,83 x 10 <sup>-5</sup>
Σ der Abstürze in die Einflugschneise	5	1,03 x 10 <sup>-5</sup>
VLP 3	1,9 x 10 <sup>-5</sup>	

Aus den vorstehenden Tabellen ist zu erkennen, daß sich gegenüber den Aussagen in Abschnitt 9.1.1 ein klareres Bild ergibt. Die spezifische Absturzhäufigkeit, die die Bewegungen der Luftfahrzeuge berücksichtigt, ist zur Beschreibung einer Gefährdung besser geeignet als die Unfallhäufigkeit. In den nachfolgenden Abschnitten werden dazu weitere Untersuchungen vorgestellt.

### 9.1.3 Die spezifische Absturzhäufigkeit und die Anzahl der Bewegungen

Aus der Unfallstatistik ist zu erkennen, daß die spezifische Absturzhäufigkeit P<sub>SA</sub> für kurze Zeitintervalle in der Mehrzahl der Fälle nicht konkret angegeben werden kann. Es ist jedoch möglich aus der Summe der Bewegungen, ermittelt über 21 Jahre, einen jährlichen Mittelwert zu bilden und diesen der spezifischen Absturzhäufigkeit, ebenfalls ermittelt über diesen Beobachtungszeitraum, gegenüberzustellen. Wird diese Abhängigkeit in einem karthesischen Koordinatensystem dargestellt, wobei auf der Ordinate die spezifische Absturzhäufigkeit P<sub>SA</sub> und auf der Abszisse die Anzahl der

durchschnittlichen jährlichen Bewegungen aufgetragen ist, erhält man gestreckte Hyperbelkurven nach der Funktionsgleichung

$$y = n / x \text{ mit}$$

n = Summe der Absturzereignisse und

x = Summe der Bewegungen im Untersuchungszeitraum.

Für jedes Absturzereignis ( n = 1,...,8 ) existiert eine Hyperbelkurve. Mit Hilfe dieser Darstellungsform ist es möglich Flugplätzen, in deren Schneisen kein Absturzereignis beobachtet worden ist, aufgrund der jährlichen Bewegungen eine spezifische Absturzhäufigkeit zuzuordnen. Wie in späteren Kapiteln noch gezeigt wird, ist dies für eine Risikoabschätzung notwendig. Da nur noch die Absturzereignisse und die jährlichen Bewegungen zueinander ins Verhältnis gesetzt werden, kann auf jegliche Unterscheidung hinsichtlich der Startgewichtsklasse und der Flugplatzgröße und - art verzichtet werden, so daß nunmehr alle 103 Flugplätze zusammen berücksichtigt werden.

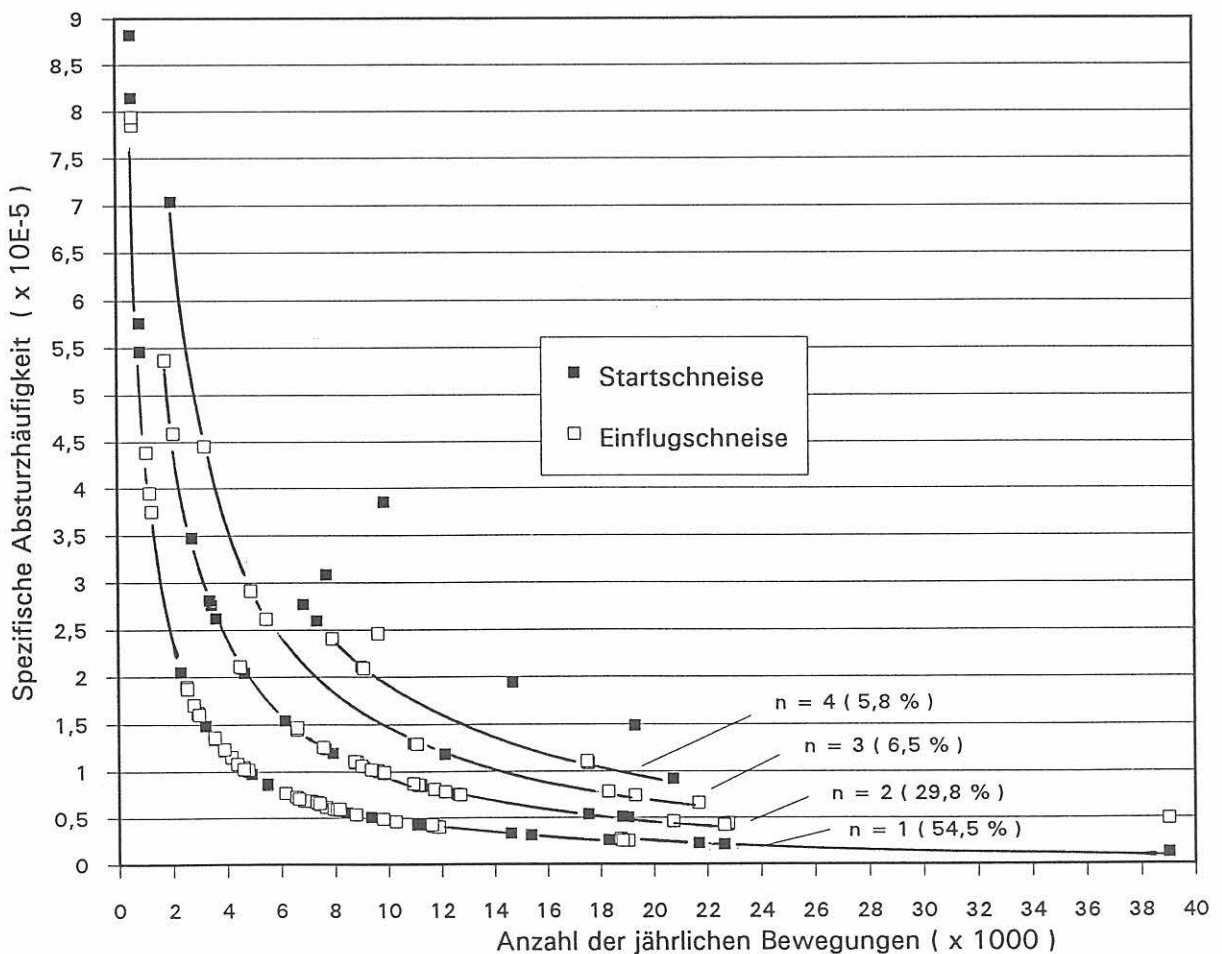


Bild 5 : Spezifische Absturzhäufigkeit für 103 Flugplätze

Die untere Hyperbel ( 1 Absturzereignis ) umfaßt 54,5 % aller Einzelwerte, der Hyperbelast für 2 Absturzereignisse 29,8 % und die darüber liegenden 6,5 % bzw. 5,8 %.

Der Nutzen dieser Darstellungsweise besteht darin, die spezifische Absturzhäufigkeit in Kenntnis der durchschnittlichen jährlichen Bewegungen abschätzen zu können. Durch die hypothetische Zuordnung einer spezifischen Absturzhäufigkeit werden die Probleme des Erfassungszeitraumes und der zeitlichen Verteilung der Absturzereignisse innerhalb dieses Zeitraumes vermieden. Aufgrund der Zuordnungsvorschrift nach der Hyperbelgleichung ist die Differenzierung zwischen den Startgewichtsklassen D und E nicht mehr notwendig. In Kapitel 9.5 werden dazu weitere Untersuchungen vorgestellt.

#### **9.1.4 Zusammenfassung**

Aus den vorbeschriebenen Sachverhalten ist zu schlußfolgern, daß sich ein geeignetes Beurteilungskriterium weder aus dem Zweck noch aus der Größe eines Flugplatzes ableiten läßt. Es ist zwar nicht von der Hand zu weisen, daß die Länge des zur Verfügung stehenden Start - und Landebahnsystems die Unfallhäufigkeit außerhalb des Flugplatzareals beeinflußt, eine quantifizierte Aussage ist daraus jedoch nicht zu gewinnen. Als ein brauchbares Kriterium wurde die Abhängigkeit zwischen der spezifischen Absturzhäufigkeit und den jährlichen Bewegungen gefunden. Es besteht somit die Möglichkeit, auch für bislang unfallfreie Flugplatzstandorte, eine spezifische Absturzhäufigkeit abschätzen zu können. Wie noch gezeigt wird, ist dies für die Risikoabschätzung einzelner Standorte und zur Feststellung einer Risikozone unbedingt erforderlich. Ein weiterer Vorteil besteht darin daß es nicht zwingend notwendig ist, die Unfallereignisse für einen konkreten Flugplatzstandort zu kennen bzw. zu analysieren. Eine Unterscheidung in Start - und Einflugschneise ist für die Risikoermittlung, wie in Kapitel 9.1 gezeigt wurde, nicht notwendig.

## **9.2 Der Luftfahrzeugbestand und die Unfallhäufigkeit**

In der " NRC Reactor Safety Study " ( WASH - 1400 ) aus dem Jahre 1976 / 45 / wird auf den Zusammenhang zwischen der Erhöhung der jährlichen Starts und Landungen und der Unfallwahrscheinlichkeit eingegangen. Es wird die Auffassung vertreten, daß die Unfallwahrscheinlichkeit trotz zunehmender Bewegungen relativ konstant bleiben und sich aufgrund technischer Entwicklungen sogar verringern wird.

In einer Studie des Luftfahrzeugherstellers Boeing / 46 / für Passagierflugzeuge wird dagegen die Befürchtung geäußert, daß das steigende Passagieraufkommen zu einer Erhöhung des Bestandes an Passagierflugzeugen führen wird.



Dies wird einhergehen, so Boeing, mit einer Erhöhung der Unfallzahlen. Da der Unfall eines Passagierflugzeuges meist zu katastrophalen Konsequenzen führt, fordert Boeing die konsequente Einführung von gegensteuernden technischen Maßnahmen, z.B. die Ausrüstung mit GPWS - Systemen ( Ground Proximity Warning System : Bodenannäherungs - Warngerät ), eine bessere Beachtung der Cockpitkommunikation usw. Boeing regt an, diese sicherheitstechnischen Ausstattungen auch für die allgemeine Luftfahrt ( Definition siehe Kapitel 5.4 ) zu verwenden und ständig zu modernisieren. Da dieser Aspekt auch für diesen Forschungsbericht interessant ist, soll kurz darauf eingegangen werden. In Tabelle 23 sind die Luftfahrzeuge, die in der Bundesrepublik Deutschland von 1973 bis 1993 registriert waren, aufgelistet.

Tabelle 23 : Bestand an Luftfahrzeugen Startgewichtsklassen A - E; bis einschl.1990 ( früheres Bundesgebiet ohne Berlin - West, ab 1991 Deutschland gesamt )

	Insgesamt	Flugzeuge mit einem Startgewicht von				
		≤ 2,0 t	2,0 - 5,7 t	5,7 - 14,0 t	14,0 - 20,0 t	> 20,0 t
		E	D	C	B	A
1973		4 704	350	35	6	119
1974		4 991	396	23	6	131
1975		5 165	421	26	2	140
1976		5 294	476	31	6	145
1977		5 586	484	43	7	148
1978	12 683	5 898	546	57	11	147
1979	13 257	5 372	587	54	4	147
1980	13 753	5 727	621	59	5	153
1981	14 036	5 854	562	53	7	169
1982	14 117	5 861	549	56	5	166
1983	14 199	5 791	539	58	4	167
1984	14 362	5 713	503	58	5	170
1985	14 494	5 644	475	63	5	178
1986	14 768	5 669	493	78	5	191
1987	15 059	5 774	522	103	5	199
1988	15 433	5 942	535	107	15	214
1989	15 735	6 102	522	103	21	242
1990	16 119	6 229	556	96	30	306
1991	17 402	6 595	650	129	36	355
1992	18 258	6 904	715	133	46	395
1993	19 499	7 343	857	171	45	434

Die Tabelle zeigt, daß die Bestände in allen Startgewichtsklassen nur langsam zugenommen haben. In Bild 6 ist der Zusammenhang zwischen Bestand und Unfallhäufigkeit für die Startgewichtsklasse E dargestellt. Es ist zu erkennen, daß trotz steigender Zulassungszahlen die Unfallhäufigkeit leicht abnimmt bzw. über lange Zeiträume als konstant angenommen werden kann. Dies betrifft auch die Startgewichtsklasse D.

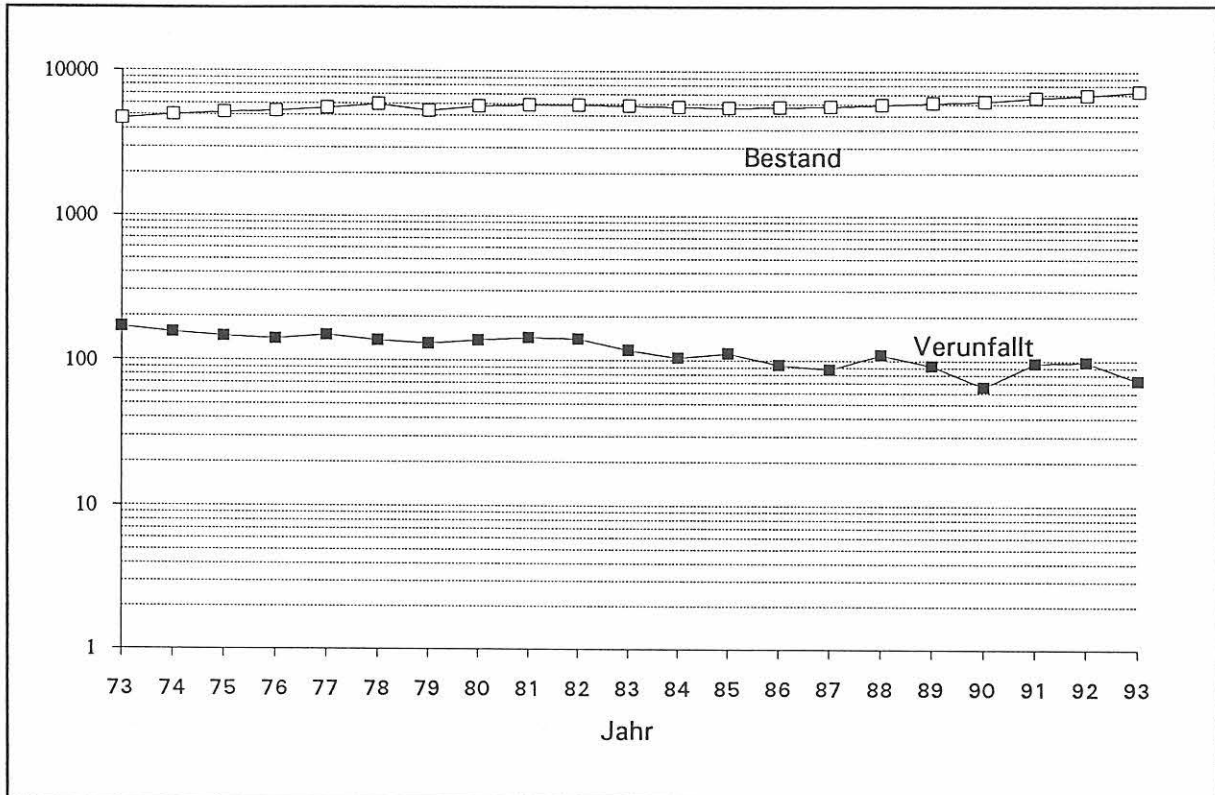


Bild 6 : Zugelassene und verunfallte Luftfahrzeuge von 1973 bis 1993

### 9.3 Trefferfläche und Wrackteilstreuung

Nach Balfanz et. al. / 44 / ist zur Beurteilung der Gefährdung von flugplatznahen Industrieanlagen eine Trefferwahrscheinlichkeit zu ermitteln, die als Produkt aus der spezifischen Absturzhäufigkeit und der Trefferfläche definiert ist. Die Autoren empfehlen, die Trefferfläche unter Berücksichtigung einer Schattenfläche, die den Absturzwinkel berücksichtigen soll, genau zu ermitteln und nicht pauschal anzunehmen. Für oberirdische Lagerbehälter bedeutet das z.B., daß sich die Trefferfläche aus der geometrischen Grundfläche des Behälters und einem fiktiven Anteil zusammensetzt, der entsprechend des angenommenen Absturzwinkels, ein mehrfaches der Grundfläche betragen kann. Für Industrieanlagen und Kernkraftwerke erfolgt die Bestimmung der Trefferfläche in den meisten Fällen nach einfachen Annahmen die sich sowohl auf einzelne Gebäudekomplexe oder auch auf die Umzäunung der Anlage beziehen können.

Nach Wall / 47 / sollte die Trefferwahrscheinlichkeit eines Kernkraftwerkes konservativ ermittelt werden, d.h. für die gesamte Anlage inklusive Reaktorgebäude, Turbinenhaus und Schaltzentrale. Die Zielfläche eines Kernkraftwerkes wird z.B. zu 0,137 square miles ( ca. 354 830 m<sup>2</sup> ) angenommen, der Direkttreffer einer sensiblen Fläche ( Lüftungsöffnung ) von 500 ft<sup>2</sup> ( ca. 46,5 m<sup>2</sup> ) wird als äußerst unwahrscheinlich eingeschätzt.

Durch die pauschale Annahme der Trefferfläche entsprechend der Anlagenausdehnung wird indirekt unterstellt, daß ein Treffer sofort zum Störfall führen kann. Die praktische Erfahrung zeigt jedoch, daß selbst ein Absturz in ein Chemiewerk nicht mit größeren Konsequenzen begleitet sein muß ( Du Pont, Luxemburg, 8.1.94 ).

Die Festlegung einer sensiblen Fläche ist nur dann sinnvoll, wenn abgeschätzt werden kann, daß eine nachhaltige, sicherheitstechnisch relevante Beeinträchtigung dieser Fläche erreicht wird. In der Regel wird dies immer dann der Fall sein, wenn das abgestürzte Luftfahrzeug durch die Wrackteilstreuung einen Schaden verursacht. Die Möglichkeit eines Direkttreffers ist jedoch, wie noch zu zeigen sein wird, von der Distanz zur Start - bzw. Landebahnschwelle und von der Richtung abhängig.

Es wäre also realistischer von der Annahme auszugehen, daß ein abstürzendes Luftfahrzeug einer bestimmten Gewichtsklasse aufgrund seiner Masse und Wrackteilstreuung nur eine begrenzte Fläche beeinträchtigen kann. Ob sich sensible Bereiche einer Anlage dann innerhalb dieser Fläche befinden und beschädigt werden können, ist mit einer weiteren Wahrscheinlichkeitsaussage, der spezifischen Trefferwahrscheinlichkeit aufgrund der Wrackteilstreuung, zu beschreiben.

In den für diesen Forschungsbericht untersuchten Risikoabschätzungen wurde ohne Ausnahme davon ausgegangen, daß eine Trefferfläche zu berücksichtigen ist, die sowohl den sensiblen Bereich als auch periphere Bereiche flächenmäßig umfaßt. Wie nachfolgend gezeigt wird, sind diese Annahmen jedoch nicht in jedem Fall gerechtfertigt und führen dazu, daß Risikoabschätzungen untereinander selten vergleichbar sind. Zur Veranschaulichung sollen folgende Beispiele dienen:

Fürste und Glupe / 41 / nehmen als sensible Zielfläche eines Kernkraftwerkes eine Fläche von 3000 m<sup>2</sup> an.

In einer Studie des Instituts für Unfallforschung des Technischen Überwachungs - Vereins Rheinland e.V. zur Beurteilung des Kernkraftwerk - Standortes " BASF - Mitte " / 48 / wird die Zielfläche eines Reaktorgebäudes mit 1000 m<sup>2</sup> festgelegt.

Die Absturzhäufigkeit wurde in Abhängigkeit von der Entfernung zum Flughafen in einer Klassenbreite von 1 Meile ( = 1,609 m ) ermittelt und zwar nur in gerader Verlängerung der Start - und Landebahn, nicht in der Richtung.

Zur Ermittlung der spezifischen Absturzhäufigkeit wurden amerikanische und deutsche Statistiken herangezogen ( FUS - Kurzberichte aus den Jahren 1959, 1960, 1962, 1963 und 1965 ) wobei auch das Problem auftrat, die Anzahl der relevanten Unfälle zu ermitteln und diesen den entsprechenden Flächenbereichen zuzuordnen ( siehe Kapitel 5 ).

Im AEG - Bericht Nr. 1625 - " Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes auf das Kernkraftwerk Philippsburg " / 49 / wird die Größe der sensiblen Zielfläche des Kernkraftwerks mit 10 000 m<sup>2</sup> angenommen.

Die Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke ( DRS ) / 7 / untersuchte den Standort Biblis B, der sich in der Nähe des Verkehrslandeplatzes der nfl - Kategorie 2 - Worms befindet. Die Nähe dieses Verkehrslandeplatzes wurde in der Studie jedoch nicht erwähnt. Die sicherheitstechnisch relevante Fläche wurde mit 10 000 m<sup>2</sup> angegeben.

Kopecek / 50 / sieht eine Gefährdung durch abstürzende Luftfahrzeuge in einem 5 - Meilen - Bereich nach der Start / Landebahnschwelle, dem sogen. Nahbereich, in dem 50 % aller Unfälle stattfinden. Dies gilt sowohl für die Zivil - als auch für die Militärluftfahrt. Außerhalb des 5 - Meilen - Bereiches, dem sogen. Fernbereich, sollen die Absturzereignisse wahllos verteilt sein. Zur Ermittlung einer Trefferwahrscheinlichkeit wird die Formel

$$P_{nf} = C_1 N_1 A \quad ( P_{nf} = \text{Probability of crash per year} )$$

verwendet mit

- $C_1$  Konstante, beschreibt die Anzahl der Unfälle in der U.S. - Zivilluftfahrt pro Quadratmeile und Bewegung / Jahr in einem kreisförmigen Bereich mit dem Radius von 1 Meile
- $N_1$  Bewegungen pro Jahr auf dem betrachteten Flugplatz
- $A$  Fläche der AHM - Anlage ( Acutely Hazardous Materials ) in Quadratmeilen  
= 0,01 sq.mi = 25 900 m<sup>2</sup>.

Ravindra und Banon / 51 / untersuchten und verglichen verschiedene Risikostudien für Kernkraftwerke. Dabei wurde die sensible Anlagenfläche ( Reaktorgebäude und periphere Anlagenteile ) u.a. zu 0,005 bzw 0.008 sq.mi. angenommen ( ca. 13000 m<sup>2</sup> bzw. 20700 m<sup>2</sup> ).

Nach Hauptmanns, Hertrich und Werner / 10 / wird in Frankreich die Absturzhäufigkeit auf Flächen von 10000 m<sup>2</sup> bezogen, wenn es sich um Luftfahrzeuge < 5,7 t MTOW handelt, auf 25000 m<sup>2</sup> bei großen Zivilflugzeugen und bei Militärflugzeugen auf 15000 m<sup>2</sup>.

Aus dieser Aufzählung ist zu erkennen, daß die Vergleichbarkeit verschiedener Risikoabschätzungen aufgrund der unterstellten Trefferflächen in vielen Fällen nicht gegeben bzw. schwierig ist. Es kann vermutet werden, daß die Annahme einer größeren Trefferfläche eine Sicherheitsreserve schaffen soll.

Bei einem Absturz eines Luftfahrzeuges mit einer Startmasse von 2,0 t ergibt sich bei Annahme einer sensiblen Fläche von 10000 m<sup>2</sup> und der Unterstellung einer vollständigen Massenerlegung des Wracks eine Splitterbelastung von 0,2 kg / m<sup>2</sup>. Die jahrzehntelangen Unfalluntersuchungen haben jedoch gezeigt, daß eine derartige Zerlegung nicht eintritt.

Der Motorblock und die Zelle werden in den meisten Fällen zwar verformt, jedoch nicht homogen auf eine derartige Fläche versprengt.

Diese Überlegungen sind nur für den Bereich der allgemeinen Luftfahrt und unter Zugrundelegung des Flugplatzverkehrs, d.h. des Absturzes aus einer dem Start - bzw. Landevorgang entsprechenden Höhe und Geschwindigkeit gültig.

Für sicherheitstechnische Betrachtungen ist es deshalb realistischer, keine sensible Fläche bzw. Trefferfläche zu berechnen, sondern eine Fläche anzunehmen, die nachweislich von einem Luftfahrzeug bekannter Größe in Mitleidenschaft gezogen werden kann.

Dazu können folgende Beobachtungen herangezogen werden:

1. Nach Informationen der Flughafenfeuerwehr Köln / Bonn / 52 / ist der Trümmerradius einer verunfallten Piper 31 ( max. Startgewicht 5080 kg, 5.2.92 ) mit  $20 \times 100 \text{ m} = 2000 \text{ m}^2$  und der eines verunfallten Lear - Jet ( max. Startgewicht 9752 kg, 7.6.93 ) mit  $15 \times 80 \text{ m} = 1200 \text{ m}^2$  vermessen worden.

Demnach scheint es gerechtfertigt die Fläche, die durch ein Luftfahrzeug mit einem Startgewicht von 2,0 bis 5,7 t durch Trümmerflug beeinträchtigt werden kann, zu 1200 bis 2000  $\text{m}^2$ , im Durchschnitt zu 1600  $\text{m}^2$  anzunehmen.

2. Der Absturzkoordinatensammlung der Flugunfalluntersuchungsstelle ( FUS ) beim Luftfahrt - Bundesamt in Braunschweig ist zu entnehmen, daß in vielen Fällen zwei Koordinaten aufgenommen wurden: Der Punkt der ersten Bodenberührung und die endgültige Lage des Wracks. Die Länge dieser mittleren Absturzschneise beträgt für Luftfahrzeuge der Startgewichtsklassen E und D ca. 170 m.

In Bild 7 sind die von der FUS ermittelten Aufschlagvektoren als Punkthaufen in einem karthesischen Koordinatensystem dargestellt. Es ist zu erkennen, daß sich die Abstürze in der Hauptstart - bzw. Hauptanflugrichtung häufen und daß keine Symmetrie entlang der verlängerten Bahnachse angenommen werden kann. Zur Ermittlung einer Trefferwahrscheinlichkeit sind also in jedem Fall richtungsabhängige Untersuchungen vorzunehmen.

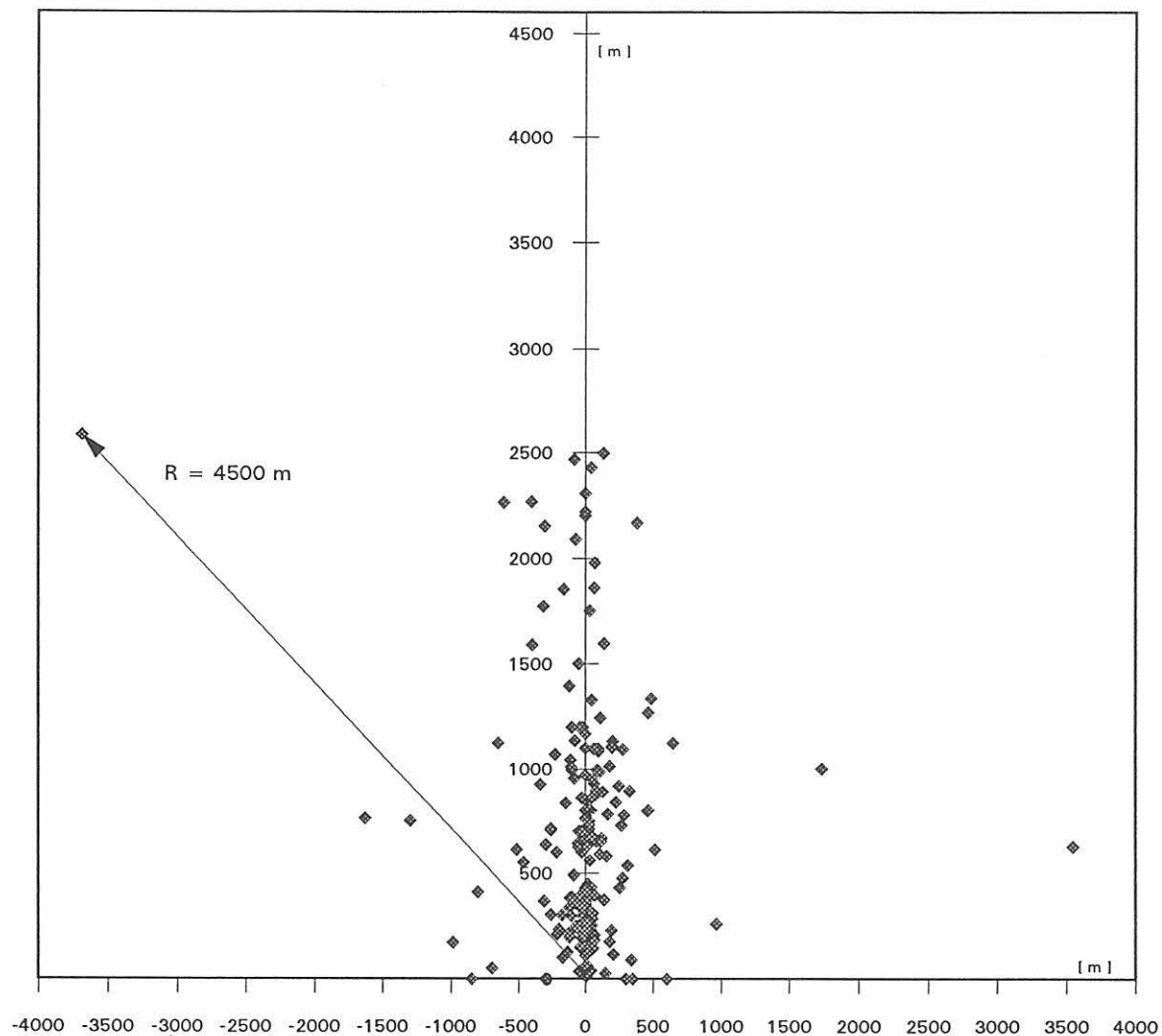


Bild 7 : Aufschlagvektoren in der Startschneise ( Quelle : FUS )

Unter der Annahme, daß

- a ) die anzurechnende Fläche mindestens  $1600 \text{ m}^2$  groß sein muß,
- b ) es sich aufgrund des Aufschlag - und Absturzvektors nicht um eine kreisförmige oder quadratische Fläche handeln kann,
- c ) eine Flächenseite mit mindestens  $170 \text{ m}$  Länge anzunehmen ist und
- d ) es sich aufgrund des Richtungseinflusses um eine Kreissektorfläche handeln muß,

errechnet sich bei einem eingeschlossenen Winkel von  $\varphi = 5^\circ$  und einem Radius von  $170 \text{ m}$  eine Fläche von  $1261 \text{ m}^2$ .

Dieses Flächenelement ist jedoch nach den o.a. Annahmen zu klein. Bei der Ermittlung der Absturzvektoren wurde ein Maximalwert von 4500 m festgestellt. Unter der Annahme, daß dieser Vektor den Mittelpunkt einer Zielfläche markieren soll, ergibt sich der Radius des größten Kreissektors zu  $4500 \text{ m} + 170 / 2 = 4585 \text{ m}$ .

Wird dieser Wert auf 4600 m aufgerundet lassen sich 23 richtungsabhängige Längenintervalle zu je 200 m bilden. Der größte Absturzvektor ist ebenfalls in der Mitte einer Trefferfläche angeordnet. In Bild 8 sind die getroffenen Annahmen dargestellt.

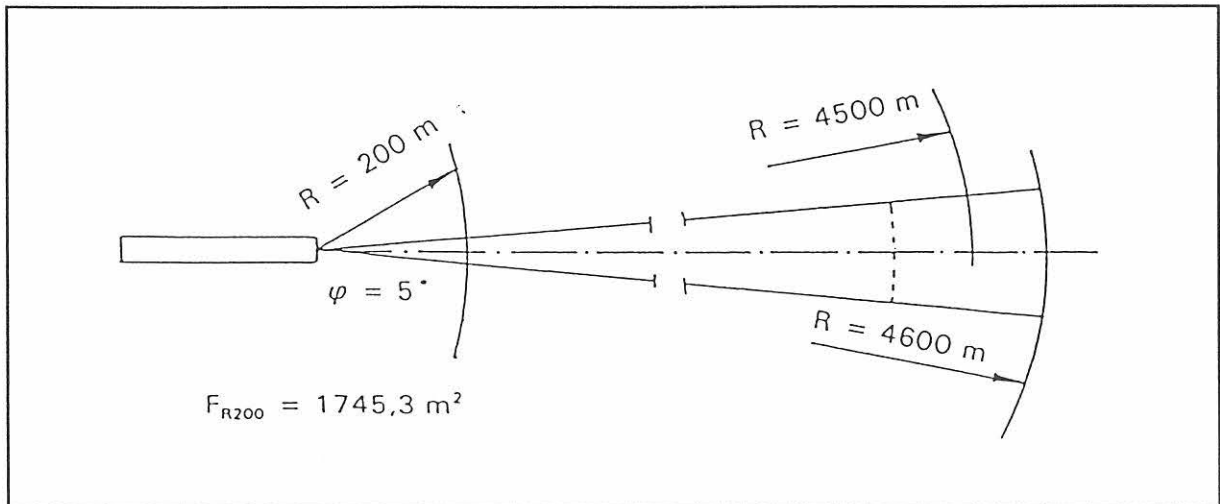


Bild 8 : Annahmen zur Festlegung einer Trefferfläche infolge der Wrackteilstreuung

Bei einem Öffnungswinkel von  $\varphi = 5^\circ$  und einem Radius von 200 m errechnet sich eine Kreissektorfläche von  $1745,3 \text{ m}^2$  Inhalt. Dieses Flächenelement ist als eine systembedingte Trefferfläche zu verstehen. Sie ist unabhängig von der Fläche eines Bauwerkes oder einer Anlage und wird lediglich durch die Wrackteilstreuung bestimmt.

#### 9.4 Die Analyse der Absturzvektoren

Durch die Bestimmung der Häufigkeitsverteilung in den Trefferflächen kann die spezifische Trefferwahrscheinlichkeit jeder einzelnen Trefferfläche ermittelt werden. Somit gelangt man zu einer weiteren Wahrscheinlichkeitsaussage.

Die Auswertung der Absturzvektoren hat ergeben, daß sich die Mehrzahl der Absturzorte in der Verlängerung des Start - bzw. Landebahnsystems befinden. Da es für den Piloten aus Sicherheitsgründen geboten ist, so schnell wie möglich Höhe zu gewinnen und den Platzbereich zu verlassen ist diese Tatsache nicht überraschend.

Andererseits liegen viele Flugplätze in unmittelbarer Nähe von Wohnsiedlungen, deren Überflug zu bestimmten Tageszeiten eingeschränkt oder gänzlich untersagt ist. In einigen Fällen befinden sich Hochspannungsleitungen in unmittelbarer Flugplatznähe. Die Konsequenz daraus ist, daß der Anfangssteigflug bzw. der Landeanflug in diesen Fällen nicht in gerader Verlängerung des Start - bzw. Landebahnsystems vorgenommen werden darf bzw. kann.

Auf Flugplätzen mit starkem Typen - Mix ( Internationale Verkehrsflughäfen und nationale Verkehrsflughäfen ) ergibt sich darüberhinaus noch das Problem der Staffelung zwischen langsamen Luftfahrzeugen der allgemeinen Luftfahrt und den schnelleren Jets des gewerblichen Flugbetriebs. Daraus ergibt sich oftmals für die Piloten der allgemeinen Luftfahrt das Problem, schnell " Platz machen " zu müssen, d.h. kurz zu landen bzw. den Bereich der Wirbelschleppen bei nachstartenden Jets zu meiden.

Die Folge davon ist, menschliche Fehler hier einmal ausgeschlossen, daß auch in seitlichen Winkelbereichen Abstürze erfolgten und weiterhin erwartet werden müssen.

Aus den vorgenannten Gründen hat eine Untersuchung der Absturzorte in allen Richtungen zu erfolgen, also über einen Bereich von 180 Grad mit dem Start - und Landebahnsystem im Koordinatenursprung.

Wie in den vorangehenden Kapiteln gezeigt wurde, muß dabei nicht zwingend zwischen Einflugschneise und Startschneise unterschieden werden. Für die nachfolgenden Untersuchungen werden aufgrund des umfangreicheren Datenmaterials die Absturzvektoren der Startschneise verwendet.

In Kapitel 9.3 wurde begründet, daß die Trefferfläche auf 1745,3 m<sup>2</sup> zu beschränken ist. Sie hat die Form einer Kreissektorfläche, die im Koordinatenursprung einen Öffnungswinkel von 5° aufweist und einen Radius von 200 m hat. Wird dieser Kreissektor auf den Radius von 4600 m erweitert, so daß der größte Absturzvektor noch erfaßt wird, ergeben sich 23 Längenintervalle zu je 200 m. Es ist nun möglich, die gesamte Startschneise, jeweils unterteilt in 5° - Winkelbereiche und in 23 Längenintervalle, beginnend in der 90° - Hauptstartrichtung, in Richtung 0° und 180° auf die Anzahl der darin enthaltenen Absturzereignisse zu untersuchen. In Tabelle 24 sind die Absturzereignisse diesen sogen. Winkelklassen zugeordnet. Es ist zu sehen, daß sich 37 Winkelklassen ergeben wobei die Klassen i = 1 und 37 lediglich einen Öffnungswinkel von 2,5° aufweisen.



Tabelle 24 : Besetzung der Absturzereignisse in den Winkelklassen

Nr. der Klasse i	Klasse [ Grad ]	Besetzungszahl n i Anzahl	Nr. der Klasse i	Klasse [ Grad ]	Besetzungszahl n i Anzahl
( 1 )	( 2 )	( 3 )	( 1 )	( 2 )	( 3 )
1	$180,0^\circ \geq \varphi \geq 177,5^\circ$	5	20	$87,5^\circ > \varphi \geq 82,5^\circ$	46
2	$177,5^\circ > \varphi \geq 172,5^\circ$	2	21	$82,5^\circ > \varphi \geq 77,5^\circ$	34
3	$172,5^\circ > \varphi \geq 167,5^\circ$	1	22	$77,5^\circ > \varphi \geq 72,5^\circ$	12
4	$167,5^\circ > \varphi \geq 162,5^\circ$	1	23	$72,5^\circ > \varphi \geq 67,5^\circ$	16
5	$162,5^\circ > \varphi \geq 157,5^\circ$	-	24	$67,5^\circ > \varphi \geq 62,5^\circ$	4
6	$157,5^\circ > \varphi \geq 152,5^\circ$	2	25	$62,5^\circ > \varphi \geq 57,5^\circ$	19
7	$152,5^\circ > \varphi \geq 147,5^\circ$	5	26	$57,5^\circ > \varphi \geq 52,5^\circ$	-
8	$147,5^\circ > \varphi \geq 142,5^\circ$	2	27	$52,5^\circ > \varphi \geq 47,5^\circ$	6
9	$142,5^\circ > \varphi \geq 137,5^\circ$	2	28	$47,5^\circ > \varphi \geq 42,5^\circ$	8
10	$137,5^\circ > \varphi \geq 132,5^\circ$	3	29	$42,5^\circ > \varphi \geq 37,5^\circ$	1
11	$132,5^\circ > \varphi \geq 127,5^\circ$	6	30	$37,5^\circ > \varphi \geq 32,5^\circ$	-
12	$127,5^\circ > \varphi \geq 122,5^\circ$	1	31	$32,5^\circ > \varphi \geq 27,5^\circ$	2
13	$122,5^\circ > \varphi \geq 117,5^\circ$	9	32	$27,5^\circ > \varphi \geq 22,5^\circ$	-
14	$117,5^\circ > \varphi \geq 112,5^\circ$	2	33	$22,5^\circ > \varphi \geq 17,5^\circ$	1
15	$112,5^\circ > \varphi \geq 107,5^\circ$	17	34	$17,5^\circ > \varphi \geq 12,5^\circ$	3
16	$107,5^\circ > \varphi \geq 102,5^\circ$	9	35	$12,5^\circ > \varphi \geq 7,5^\circ$	4
17	$102,5^\circ > \varphi \geq 97,5^\circ$	23	36	$7,5^\circ > \varphi \geq 2,5^\circ$	1
18	$97,5^\circ > \varphi \geq 92,5^\circ$	39	37	$2,5^\circ > \varphi \geq 0,0^\circ$	8
19	$92,5^\circ > \varphi \geq 87,5^\circ$	77			
			$\Sigma$		371

Die Besetzung in der Winkelklasse 19 ( $92,5^\circ > \varphi \geq 87,5^\circ$ ), d.h. in der Hauptstartrichtung, hat mit 77 Ereignissen einen Anteil von ca. 21 %.

Überträgt man die zu untersuchende Halbkreisfläche mit einem Radius von 4600 m in ein kartesisches Koordinatensystem, so ergibt sich die Darstellung in Tabelle 25.

Tabelle 25 : Verteilung der Abstürze in den 23 Längenintervallen und 37 Winkelklassen

K <sub>i</sub>	Intervall K <sub>r</sub> ( Länge 200 m )																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	3	1			1																		
2			1	1																			
3						1																	
4	1																						
5																							
6					1				1														
7	1	1	1	1				1															
8	1																						1
9	1						1																
10	1	2																					
11		3	1	1	1																		
12						1																	
13	2	5		1				1															
14		1		1																			
15	2	6	3	2	3		1																
16	1	3	2			1			1			1											
17	2	5	3	3	4	1				2	1	1			1								
18	3	17	2	5	3	4	1	2		1				1									
19	13	12	13	16	6	3	3	1	1	3	2	2	2										
20	8	5	7	3	12	5	1	2	1			1	1										
21	5	11	2	4	7	4							1										
22	3		2	3	3	1																	
23	4	2	1	2	3	1	1	1					1										
24	2		1	1																			
25	3	4	3	2	4		1	1		1													
26																							
27	2	3		1																			
28	4	2			2																		
29	1																						
30																							
31		1								1													
32																							
33						1																	
34		2				1																	
35	2	1																	1				
36		1																					
37	3	2	2					1															

Auf der Abszissenachse sind 23 Längenintervalle K<sub>r</sub>, auf der Ordinatenachse die 37 Winkelklassen K<sub>i</sub> aufgetragen. Es ist bei dieser Darstellung zu beachten, daß sie nicht maßstabsgerecht ist. Mit größer werdendem Intervall K<sub>r</sub> wird auch die entsprechende Gesamtfläche größer. Die Flächen

enthalten mehrere ganzzahlige Vielfache der Trefferfläche von 1745,3 m<sup>2</sup> Inhalt. Bei der Berechnung der Trefferwahrscheinlichkeit ist dieser Umstand zu berücksichtigen.

Werden alle Randwinkel auf die mittlere Winkelklasse 19 ( 90° - Startrichtung ) aufsummiert, so ergibt sich die Darstellung in Bild 9. Aufgrund dieser Grafik und eines Hinweises aus der Literatur / 41 / daß sich die Anzahl der Abstürze exponentiell mit wachsender Entfernung von der Startbahnschwelle verringern, wird vermutet, daß sich die Wahrscheinlichkeit eines Treffers in ein Abstandsintervall  $K_r$  und eine Winkelklasse  $K_i$  durch eine Exponentialverteilung beschreiben läßt.

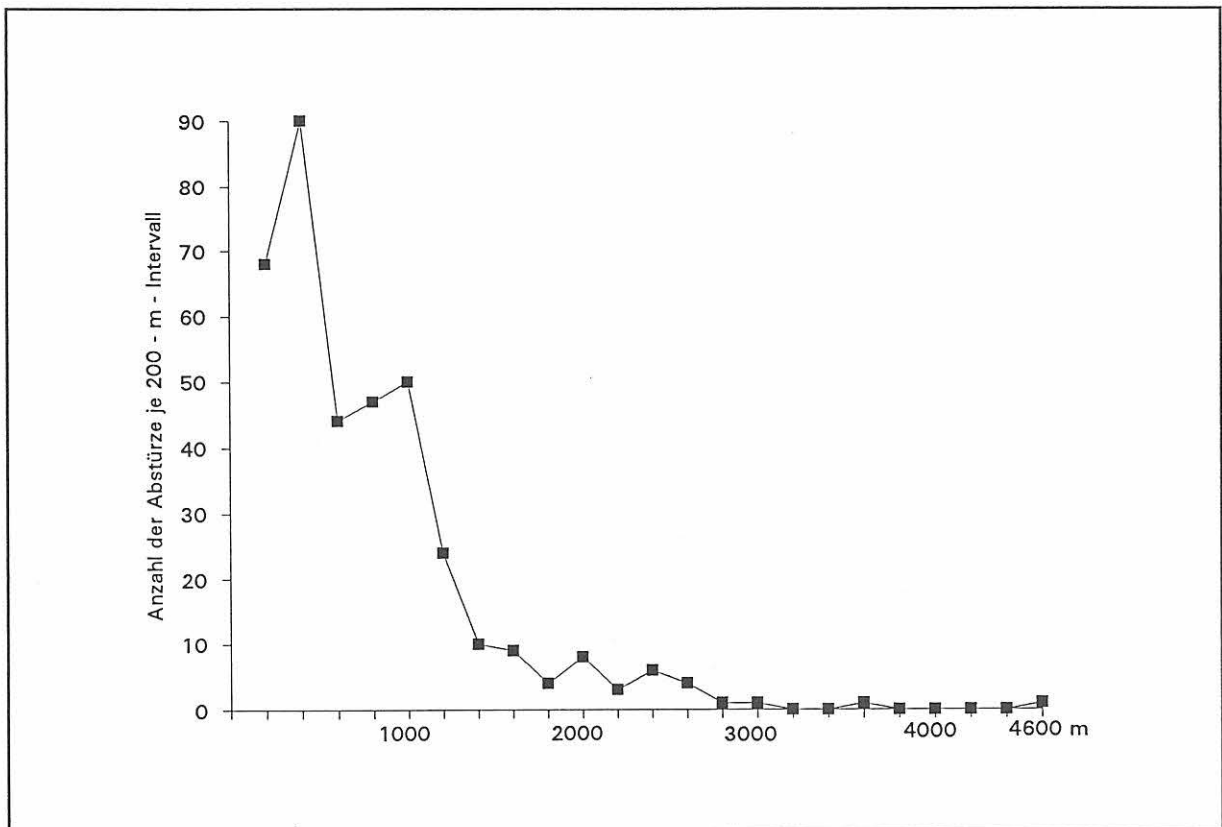


Bild 9 : Anzahl der Abstürze in der Startrichtung, Randwinkel auf Hauptstartrichtung aufsummiert

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

Die Gefährdung von Schutzgütern in den Start - und Einflugschneisen ist, wie bisher gezeigt, durch zwei voneinander unabhängige Ereignisse zu beschreiben:

1. Durch die statistische Ermittlung einer spezifischen Absturzhäufigkeit  $P_{sA}$  des Luftfahrzeugs =  $P ( A )$  und
2. durch die spezifische Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{sT} = P ( T )$ .

Beide Ereignisse, der Absturz des Luftfahrzeugs ( A ) und der Treffer eines bestimmten Gebietes ( T ), sind jedoch als zwei Ereignisse aus einem gemeinsamen Grundraum aufzufassen. Das Ereignis " Treffer " ( T ) tritt nur ein, wenn das Ereignis " Absturz " ( A ) schon eingetreten 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 Gebiet zu treffen, gleich dem Produkt der Wahrscheinlichkeit der Einzelereignisse

$$P ( A ) \text{ und } P ( T / A ) \text{ ist.}$$

Die Wahrscheinlichkeit P ( T / A ) kann unter Zugrundelegung gesammelter Daten ( Absturzvektoren ) ermittelt werden.

Die Untersuchung der Absturzorte hat ergeben, daß sich diese nach einem bestimmten Muster anordnen. Durch die Aufteilung des gesamten interessierenden Bereiches in Trefferflächen nach Kapitel 9.3 können die Absturzorte als Zufallsgrößen X aufgefaßt und mit dem Ziel untersucht werden, die Verteilungsfunktion F ( x ) dieser Zufallsgröße zu ermitteln.

Die Größe X ( Anzahl der Treffer x auf eine bestimmte Fläche ) kann auch als ein Zufallsvektor aufgefaßt werden, da seine Werte als reelle Zahlen eines ( ungewollten ) Zufallsexperiments, d.h. als Wahrscheinlichkeit durch den Quotienten

$$\frac{\text{Anzahl der Abstürze bei Start und Landung auf eine bestimmte Fläche in der Startschneise}}{\text{Anzahl aller Starts und Landungen}}$$

angegeben werden können. Da der Zufallsvektor jedoch zwei Zufallsvariablen aufweist, die Entfernung von der Landebahn und die Winkelabweichung von der Hauptstart - und Landerichtung, interessiert eigentlich die Wahrscheinlichkeitsverteilung von X. Zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung kann man nun die beobachteten Absturzorte in die Überlegung integrieren und postulieren, daß sich alle übrigen Ereignisse daraus berechnen ( bzw. abschätzen ) lassen werden. Bei der hier betrachteten Zufallsvariablen X können die Einzelwahrscheinlichkeiten 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 Zufallsvariablen X bezeichnet wird.

Mit Hilfe der Verteilungsfunktion  $F_x(t)$  ist es dann möglich, aus den wenigen beobachteten Ereignissen eines begrenzten Zeitraumes auf eine Grundgesamtheit zu schließen. Somit können auch die zukünftig zu erwartenden Realisierungen von X berechnet werden.

Bei der Zufallsvariablen X handelt es sich um eine stetige Zufallsgröße; sie kann beliebig viele Werte innerhalb eines betrachteten Intervalls annehmen.

Durch die Angabe einer Dichte, die durch Ableitung der Verteilungsfunktion ermittelt werden kann, ist jedoch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung eindeutig bestimmt.

Aus der Verteilungsfunktion der Exponentialverteilung  $F_x(t) = 1 - e^{-\lambda t}$  mit dem einzigen Parameter  $\lambda$  erhält man durch Differentiation 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 gut anhand Bild 10 erläutern, in dem die Dichtefunktionen einer  $Ex(0,5)$  -,  $Ex(1,0)$  -,  $Ex(1,5)$  und  $Ex(2,0)$  - Verteilung dargestellt sind.

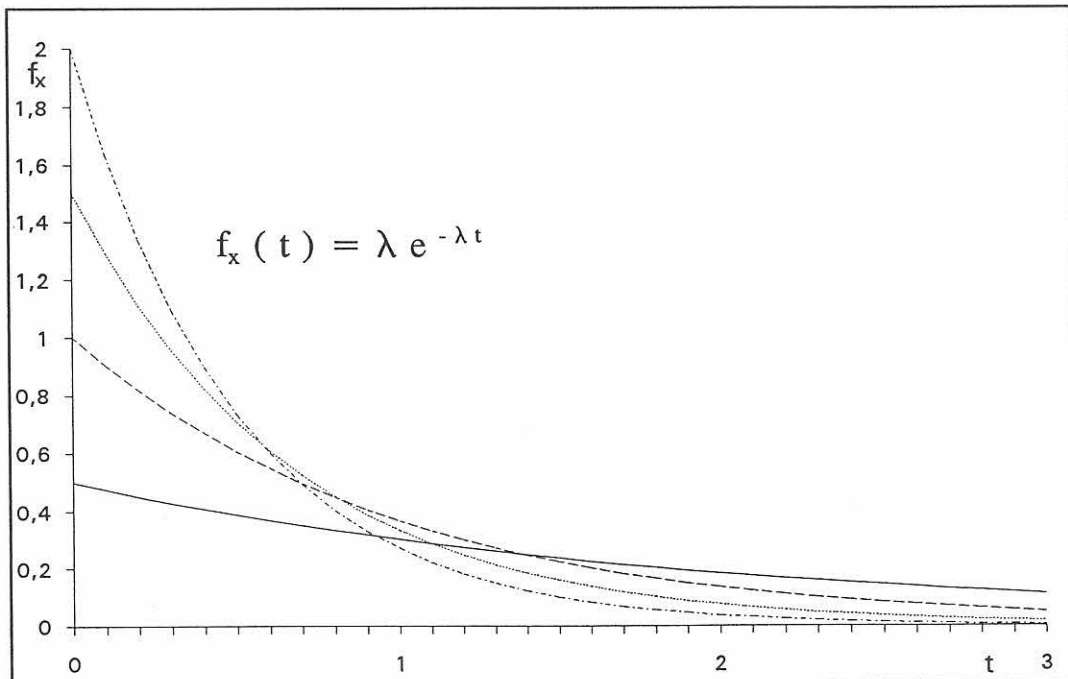


Bild 10 : Dichtefunktion einer  $Ex(0,5)$  -,  $Ex(1,0)$  -,  $Ex(1,5)$  und  $Ex(2,0)$  - Verteilung

Ein hoher  $\lambda$  - Wert bedeutet, daß die Dichte nahe des Koordinatenursprungs sehr hoch ist und mit wachsendem Abstand schneller fällt als bei niedrigeren  $\lambda$  - Werten.

Die Dichtefunktion einer stetigen Zufallsgröße ist begrifflich zu verstehen als ein Maß für die Häufigkeit des Eintritts eines Ereignisses. Im konkreten Fall bedeutet dies, daß z.B. der Kurvenverlauf der Dichtefunktion einer Exponentialverteilung die Ereignishäufigkeit der Anzahl der Abstürze in Startrichtung besser beschreibt als z.B. die Verteilungsfunktion der o.g. Ex - Verteilungen. Werden z.B. die Kurvenverläufe der Dichtefunktion und die Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Abstürze, Bild 9, miteinander verglichen, so sind Ähnlichkeiten in den Kurvenverläufen unverkennbar.

In Bild 11 sind zum Vergleich die Verteilungsfunktionen dargestellt.

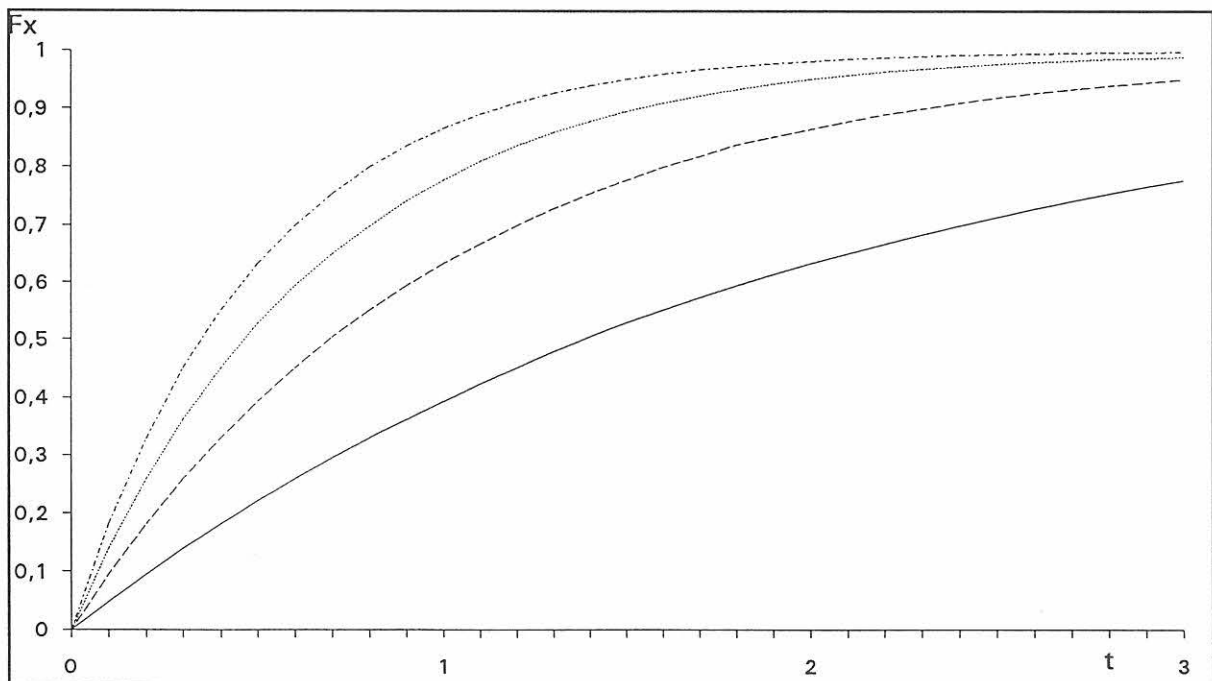


Bild 11 : Verteilungsfunktion einer Ex ( 0,5 ) -, Ex ( 1,0 ) -, Ex ( 1,5 ) und Ex ( 2,0 ) -Verteilung

Es ist nun notwendig herauszufinden, ob mit einer bestimmten vorgegebenen Wahrscheinlichkeit die Größe des Parameters  $\lambda$  einer Ex - Verteilung zu bestätigen oder zu verwerfen ist.

#### 9.4.2 Die Abschätzung des Parameters $\lambda$

Die  $x_1, \dots, x_n$  beobachteten Absturzereignisse in ein Flächenelement 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, daß sie 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.

Darüberhinaus gibt es noch eine weitere Forderung, die 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 darum hier nicht weiter eingegangen werden.

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

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

eignet.

Die  $x_i$  sind dabei 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 sämtliche Parameter  $\lambda$  nach o.g. Verfahren abgeschätzt und danach durch geeignete statistische Tests bestätigt werden. Zunächst ist es jedoch erforderlich, die Vorgehensweise noch einmal zu erläutern.

Tabelle 25 in Kapitel 9.4 gibt einen Überblick über das gesamte " Untersuchungsfeld ", über alle Absturzkoordinaten im Winkelbereich von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  ( $\varphi$ : 1 - 37) und in Intervallen zu je 200 m Länge ( $K_r$ ), also einer " Gesamttiefe " zu 4600 m gerechnet ab Startbahnschwelle. Wie in Kapitel 9.3 erläutert wurde, ist das gesamte halbkreisförmige Untersuchungsfeld in 37 Segmente mit einem

Öffnungswinkel von  $5^\circ$  eingeteilt ( Randwinkel je  $2,5^\circ$  ). Das Ende der Startbahn liegt im Koordinatenursprung, ihre Verlängerung stellt die  $90^\circ$  - Richtung dar. Es ist zu beweisen, daß es gerechtfertigt ist, eine exponentielle Abnahme der Anzahl der Abstürze, gerechnet ab Startbahnschwelle, anzunehmen, und zwar in allen Segmenten bis zu einer Tiefe von 4600 m. Dazu muß der Parameter  $\lambda$  für alle Winkelbereiche jeweils neu bestimmt werden. Vorab muß jedoch folgende Einschränkung vereinbart werden : Tabelle 25 ( Seite 56 ) zeigt alle registrierten Absturzereignisse ab Startbahnschwelle, also auch die, die in die Sicherheitsflächen an den Enden der Startbahnen stattfanden. Diese Sicherheitsflächen sind in § 12 (1) LuftVG / 17 / für Flughäfen vorgeschrieben, bei Landeplätzen werden diese als Streifen bezeichnet, die die Start - und Landebahnen umgeben. Sie dienen als Flächenreserve für überzogene Flugzustände. Für diese Untersuchung sind jedoch Unfälle, die in den Sicherheitsflächen und Streifen beendet wurden, nicht relevant. In den meisten Fällen sind diese durch ein Zuweitkommen ( Überschießen der Startbahn, Startabbruch ) aus mehreren möglichen Betriebsphasen begründet. Sie liegen also fast im Koordinatenursprung.

Um einer möglichen Verzerrung vorzubeugen, werden darum die Ereignisse des ersten Intervalls ( Intervall  $K_r = 1$  ) nicht berücksichtigt. Das der statistischen Untersuchung zugrundeliegende Ereignisfeld muß darum modifiziert werden, es ist in Tabelle 26 dargestellt.





### 9.4.3 Der Kolmogoroff - Smirnov - Anpassungstest

Der Kolmogoroff - Smirnov - Anpassungstest ist vor allen Dingen bei kleinen Stichprobenumfängen geeignet festzustellen, ob die Beobachtungen  $x_1, \dots, x_n$  Realisierungen einer Zufallsvariablen mit stetiger Verteilungsfunktion sind. Es ist im Rahmen dieses Forschungsberichtes nicht möglich, alle Herleitungen und Beweise, die den statistischen Tests zugrundeliegen, detailliert wiederzugeben. Es wird im folgenden deshalb lediglich der Algorithmus erläutert.

Zunächst muß der Parameter  $\lambda$  aus der Stichprobe geschätzt werden. Unter Stichprobe sind hier die Ereignisse innerhalb einer Winkelklasse von jeweils  $5^\circ$  ( bzw.  $2,5^\circ$  in den Randbereichen ) und 4400 m Länge zu verstehen ( siehe Tabelle 26 in Kap. 9.4.2 ).

Für die Winkelklasse  $19 ( 92,5^\circ > \varphi \geq 87,5^\circ )$  erhält man:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} = \frac{1}{\frac{1}{12} \cdot 53} = 0,23$$

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 in Bild 12 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  $I_{n;1-\alpha}^{\text{exp}}$  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 sind der Tabelle 27 zu entnehmen.

Tabelle 27 : Kritische Werte zum Test auf nicht spezifizierte Exponentialverteilung

Quelle : Hartung, J.: Statistik: Lehr - und Handbuch der angewandten Statistik, 9.Auflage, München; Wien : Oldenbourg, 1993.

n	5	8	10	20	30	> 30
$I_{n,0,90}^{\text{exp}}$	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98
$I_{n,0,95}^{\text{exp}}$	0,99	1,02	1,03	1,05	1,06	1,08
$I_{n,0,99}^{\text{exp}}$	1,15	1,20	1,21	1,24	1,26	1,28

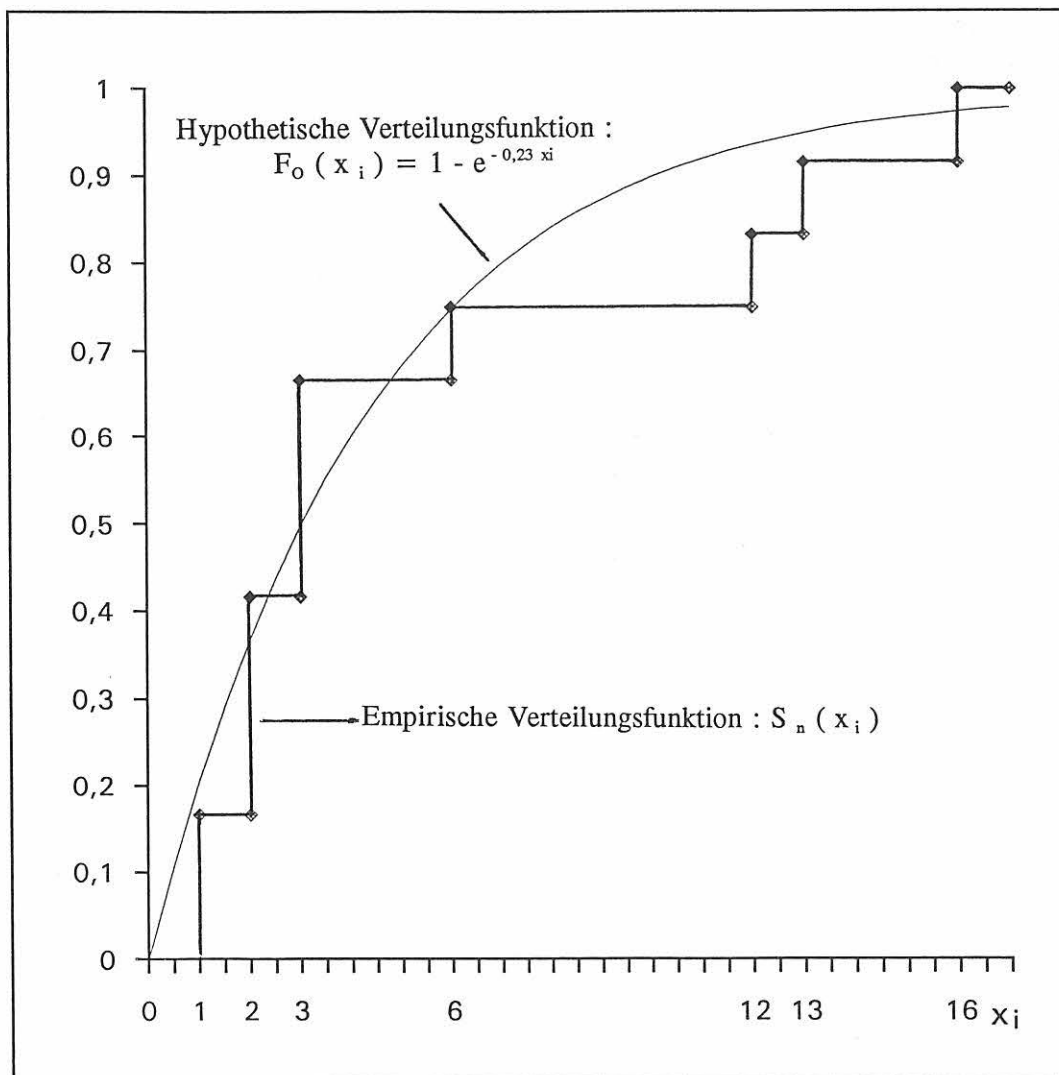


Bild 12: Empirische Verteilungsfunktion und hypothetische Ex (0,23) - Verteilung für die Winkelklasse 19 ( $92,5^\circ > \varphi \geq 87,5^\circ$ )

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

Nachdem mit dem Kolmogoroff - Smirnov - Test eine erste Vorstellung über die Größe des Parameters  $\lambda$  gewonnen wurde, soll 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
- $H_1$  :  $x_1, \dots, x_n$  sind keine Realisationen einer exponentialverteilten Zufallsvariablen zum Signifikanzniveau  $\alpha$  getestet werden.

Dabei wird im vorliegenden Fall zweckmäßigerweise derart vorgegangen :

1. Auflistung aller Intervalle entlang der Startrichtung 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.  
 $p_7 = P ( X \in ( 6;7 ) ) = F ( 7 ) - F ( 6 ) = ( 1 - e^{-\lambda \times 7} ) - ( 1 - e^{-\lambda \times 6} ) = e^{-\lambda \times 6} - e^{-\lambda \times 7}$   
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.

## 9.5 Ergebnisse der statistischen Tests

Gemäß der in Kap. 9.4.2 dargelegten Vorgehensweise wird das Ereignisfeld, das in Tabelle 27 dargestellt ist, systematisch mit einem Öffnungswinkel von zunächst  $5^\circ$  mit dem Test auf Vorliegen einer Exponentialverteilung nach Kolmogoroff - Smirnov und dem  $\chi^2$  - Anpassungstest statistisch untersucht. Dabei wird, in der Mitte des Ereignisfeldes beginnend ( identisch mit der Winkelklasse 19 ) solange ein Winkel von  $5^\circ$  beibehalten, bis eine signifikante Abweichung festgestellt wird. In Tabelle 28 sind alle Ergebnisse aufgeführt. Sie zeigt, daß in der Winkelklasse 19 die Annahme einer  $Ex(0,23)$  - Verteilung durch beide Tests bestätigt wird.

Die gleiche Aussage gilt für die Winkelklasse 21, jedoch nicht mehr für die Winkelklassen 18 und 20. Erst durch das Zusammenfassen der Winkelklassen 17 und 18 kann die Nullhypothese zum Signifikanzbereich  $\alpha = 0,05$  bestätigt werden.

Generell ist festzustellen, daß mit wachsender Abweichung von der  $90^\circ$  - Hauptstartrichtung eine größere Anzahl von Winkelklassen zusammengefaßt werden muß, um die Tests zu bestätigen. Dies ist durch die abnehmende Anzahl der Absturzereignisse in den Randbereichen bedingt.

Durch die Abnahme der Absturzereignisse in den Randbereichen wird ein Ansteigen des Wertes für den Parameter  $\lambda$  in Richtung der Randwinkel festgestellt. Das bedeutet, wie schon in Kapitel 9.4.1 dargelegt, einen schnelleren Abfall der Dichtefunktion und stimmt somit mit den tatsächlichen Beobachtungen überein.

In der Tabelle 28 sind die Bereiche, die den gleichen  $\lambda$  - Wert aufweisen oder sich nur geringfügig voneinander unterscheiden, zusammengefaßt.



Damit entstehen schließlich 7 Winkelklassen: 3 in der Hauptstartrichtung zu jeweils  $5^\circ$ , zwei daran anschließende zu je  $15^\circ$  und jeweils zwei Außenbereiche zu  $67,5^\circ$ .

Diese Einteilung ergibt sich aus der Überlegung, daß in jedem Bereich mit Ausnahme der Hauptstartrichtung ungefähr die gleiche Anzahl der Beobachtungen enthalten sein soll.

Unter der durch die Tests bestätigten Annahme, daß in verschiedenen Winkelklassen 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 Wahrscheinlichkeiten eines Treffers in ein definiertes Gebiet berechnet werden.

Dazu wird das für die Tests ausgeklammerte Intervall  $i = 1$  für die Integrationsgrenzen wieder berücksichtigt da der größte Radius mit 4600 m festgelegt worden ist ( Kapitel 9.3, Bild 8 ).

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  $i = 0 - 200$  m ergibt sich dann zu :

$$P(0 \leq i \leq 200) = F_x(1) - F_x(0) = (1 - e^{-\lambda \times 1}) - (1 - e^{-\lambda \times 0}) = 1 - e^{-\lambda}$$

bzw. in das Intervall 200 - 400 m :

$$P(200 \leq i \leq 400) = F_x(2) - F_x(1) = 1 - e^{-\lambda \times 2} - 1 + e^{-\lambda \times 1} = e^{-\lambda \times 1} - e^{-\lambda \times 2}$$

und

$$P(4400 \leq i \leq 4600) = F_x(23) - F_x(22) = 1 - e^{-\lambda \times 23} - 1 + e^{-\lambda \times 22} = e^{-\lambda \times 22} - e^{-\lambda \times 23}$$

In Tabelle 29 sind sämtliche Ergebnisse dieser Berechnung zusammengefaßt. In den Spalten 3 - 9 dieser Tabelle ist die Trefferwahrscheinlichkeit auf die Kreissegmentflächen mit den Öffnungswinkeln  $5^\circ$ ,  $15^\circ$  und  $67,5^\circ$  eingetragen.

Jedes Flächensegment enthält jedoch  $2i - 1$  Trefferflächen, so daß die Trefferwahrscheinlichkeit durch die Anzahl der im betrachteten Sektor enthaltenen Trefferflächen dividiert werden muß. Dadurch ist für die gesamte Halbkreisfläche mit dem Radius  $R = 4600$  m, unterteilt in 19044 Flächenelemente der Größe  $F_{R200} = 1745,3 \text{ m}^2$ , die Aufstellung eines Flächenkatasters für gleich hohe Trefferwahrscheinlichkeiten möglich, Bild 13.

Tabelle 29 : Spezifische Trefferwahrscheinlichkeit auf die Trefferfläche  $F_{R200}$

Intervall [ m ]	Berechnung der Wahrscheinlichkeit P eines Treffers in ein Intervall i in der Winkelklasse										Spezifische Trefferwahrscheinlichkeit auf die Trefferfläche $F_{R200} = 1745,3 \text{ m}^2$ in der Winkelklasse							Anzahl k der Flächen- segmente von $R_{200}$ bis $R_{4600}$
	37 - 24	23 - 21	20	19	18	17 - 15	14 - 1	37 - 24	23 - 21	20	19	18	17 - 15	14 - 1				
	67,5°	15°	5°	5°	5°	15°	67,5°	P / 13,5 k	P / 3 k	P / k	P / k	P / k	5,0°	15,0°	67,5°			
	mit $\lambda$																	
i	0,33	0,22	0,26	0,23	0,27	0,30	0,36											
0 - 200	0,2810	0,1974	0,2289	0,2054	0,2366	0,2591	0,3023	0,0208	0,0658	0,2289	0,2054	0,2366	0,0863	0,0223	1			
200 - 400	0,2020	0,1584	0,1765	0,1632	0,1806	0,1920	0,2109	5,0 - 3	0,0176	0,0588	0,0544	0,0602	0,0213	5,1 - 3	3			
400 - 600	0,1452	0,1271	0,1361	0,1297	0,1378	0,1422	0,1471	2,2 - 3	0,85 - 2	0,0272	0,0259	0,0275	0,95 - 2	2,2 - 3	5			
600 - 800	0,1044	0,1020	0,1049	0,1030	0,1052	0,1053	0,1026	1,1 - 3	0,5 - 2	0,0149	0,0147	0,0150	0,5 - 2	1,1 - 3	7			
800 - 1000	0,0750	0,0819	0,0809	0,0818	0,0803	0,0780	0,0716	0,6 - 3	0,3 - 2	0,9 - 2	0,9 - 2	0,9 - 2	0,3 - 2	0,6 - 3	9			
1000 - 1200	0,0539	0,0657	0,0623	0,0650	0,0613	0,0578	0,0499	3,6 - 4	0,2 - 2	0,6 - 2	0,6 - 2	0,6 - 2	0,18 - 2	3,4 - 4	11			
1200 - 1400	0,0388	0,0527	0,0481	0,0516	0,0468	0,0428	0,0348	2,2 - 4	1,4 - 3	0,37 - 2	0,4 - 2	0,36 - 2	1,1 - 3	2,0 - 4	13			
1400 - 1600	0,0278	0,0423	0,0370	0,0410	0,0357	0,0317	0,0243	1,4 - 4	0,9 - 3	0,25 - 2	0,27 - 2	0,24 - 2	0,7 - 3	1,2 - 4	15			
1600 - 1800	0,0200	0,0339	0,0286	0,0326	0,0272	0,0235	0,0169	0,9 - 4	0,7 - 3	0,17 - 2	0,19 - 2	0,16 - 2	0,5 - 3	0,7 - 4	17			
1800 - 2000	0,0144	0,0272	0,0220	0,0259	0,0208	0,0174	0,0118	0,6 - 4	0,5 - 3	1,2 - 3	0,14 - 2	1,1 - 3	0,3 - 3	0,5 - 4	19			
2000 - 2200	0,0103	0,0218	0,0170	0,0205	0,0159	0,0129	0,0082	0,4 - 4	3,5 - 4	0,8 - 3	1,0 - 3	0,76 - 3	2,0 - 4	0,3 - 4	21			
2200 - 2400	0,0074	0,0175	0,0131	0,0163	0,0121	0,0095	0,0057	0,24 - 4	2,5 - 4	5,7 - 4	7,1 - 4	5,2 - 4	1,4 - 4	0,2 - 4	23			
2400 - 2600	0,0053	0,0140	0,0101	0,0130	0,0092	0,0070	0,0040	0,16 - 4	1,9 - 4	4,0 - 4	5,2 - 4	3,7 - 4	0,9 - 4	0,12 - 4	25			
2600 - 2800	0,0038	0,0113	0,0077	0,0103	0,0070	0,0052	0,0028	1,0 - 5	1,4 - 4	2,9 - 4	3,8 - 4	2,6 - 4	0,64 - 4	0,77 - 5	27			
2800 - 3000	0,0027	0,0090	0,0060	0,0082	0,0054	0,0038	0,0019	0,7 - 5	1,0 - 4	2,0 - 4	2,8 - 4	1,9 - 4	0,44 - 4	0,5 - 5	29			

0,9 - 2 = 0,9 x 10<sup>-2</sup>



Tabelle 29 : Spezifische Trefferwahrscheinlichkeit auf die Trefferfläche  $F_{R200}$  - Fortsetzung

Intervall [ m ]	Berechnung der Wahrscheinlichkeit P eines Treffers in ein Intervall i der Winkelklasse										Spezifische Trefferwahrscheinlichkeit auf die Trefferfläche $F_{R200} = 1745,3 \text{ m}^2$ in der Winkelklasse						Anzahl k der Flächen- segmente von $R_{200}$ bis $R_{4600}$
	37 - 24	23 - 21	20	19	18	17 - 15	14 - 1	37 - 24	23 - 21	20	19	18	17 - 15	14 - 1			
	67,5°	15°	5°	5°	5°	15°	67,5°	67,5°	15,0°	5,0°	5,0°	5,0°	15,0°	67,5°			
	mit $\lambda$																
i	0,33	0,22	0,26	0,23	0,27	0,30	0,36	P / 13,5 k	P / 3 k	P / k	P / k	P / k	P / 3 k	P / 13,5 k			
3000 - 3200	16	0,0019	0,0072	0,0046	0,0065	0,0041	0,0028	0,0013	0,5 - 5	0,8 - 4	1,3 - 4	2,1 - 4	1,5 - 4	1,3 - 4	0,31 - 4	0,3 - 5	31
3200 - 3400	17	0,0014	0,0058	0,0035	0,0051	0,0031	0,0021	0,0009	0,3 - 5	0,6 - 4	1,0 - 4	1,6 - 4	1,1 - 4	1,0 - 4	0,22 - 4	0,2 - 5	33
3400 - 3600	18	0,0010	0,0046	0,0027	0,0041	0,0024	0,0015	0,0006	0,2 - 5	4,5 - 5	0,7 - 4	1,2 - 4	0,8 - 4	0,7 - 4	1,5 - 5	0,14 - 5	35
3600 - 3800	19	0,0007	0,0037	0,0021	0,0032	0,0018	0,0011	0,0004	0,15 - 5	3,4 - 5	5,0 - 5	8,8 - 5	5,7 - 5	5,0 - 5	1,1 - 5	0,9 - 6	37
3800 - 4000	20	0,0005	0,0030	0,0016	0,0025	0,0013	0,0008	0,0003	1,0 - 6	2,6 - 5	3,6 - 5	6,7 - 5	4,2 - 5	3,6 - 5	0,7 - 5	0,6 - 6	39
4000 - 4200	21	0,0003	0,0024	0,0012	0,0020	0,0010	0,0006	0,0002	0,7 - 6	2,0 - 5	2,6 - 5	5,0 - 5	3,0 - 5	2,6 - 5	0,5 - 5	0,4 - 6	41
4200 - 4400	22	0,0002	0,0019	0,0009	0,0016	0,0008	0,0004	0,0001	0,5 - 6	1,5 - 5	1,9 - 5	3,8 - 5	2,3 - 5	1,9 - 5	0,4 - 5	0,3 - 6	43
4400 - 4600	23	0,0001	0,0015	0,0007	0,0013	0,0006	0,0003	0,0001	0,3 - 6	1,2 - 5	1,4 - 5	3,0 - 5	1,7 - 5	1,4 - 5	0,3 - 5	0,2 - 6	45

$2,1 - 4 = 2,1 \times 10^{-4}$

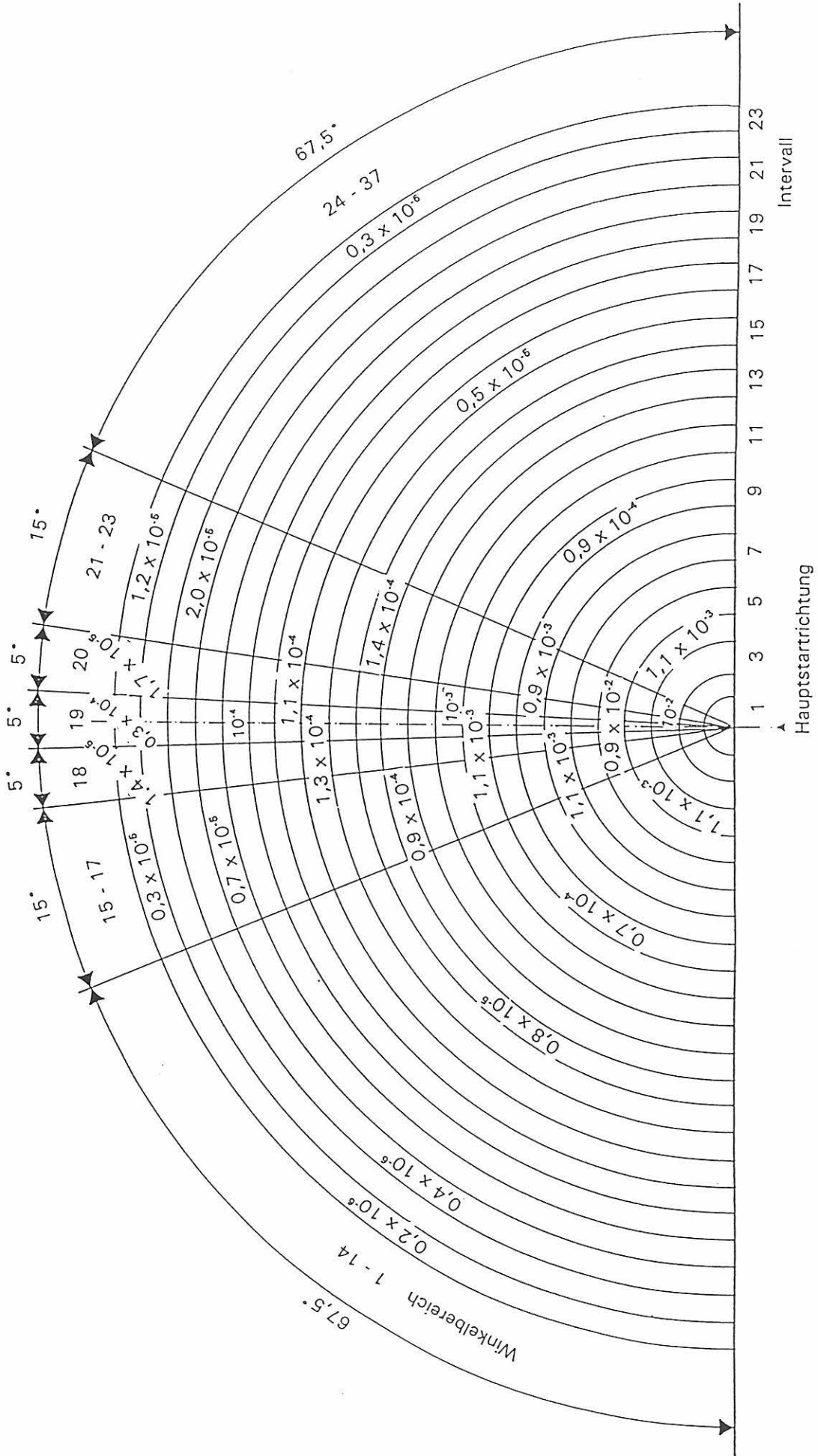


Bild 13 : Spezifische Trefferwahrscheinlichkeit auf die Trefferfläche  $F_{R200}$  in Abhängigkeit von der Entfernung zur Startbahn und der seitlichen Winkelabweichung

Es ist zu sehen, daß die Trefferwahrscheinlichkeit eines Flächenelements im Intervall 23 ( 4400 - 4600 m ) in der Hauptstartrichtung um ca. 2 Zehnerpotenzen höher ist, als in den seitlichen, 67,5° umfassenden Winkelbereichen. Daraus kann geschlußfolgert werden, daß die Verringerung einer Gefährdung am effektivsten durch einen seitlichen Abstand von der Hauptstartrichtung zu erreichen ist.

In den bisherigen Untersuchungen wurden die Abstürze in das 1. Intervall ( 0 - 200 ) nicht berücksichtigt da vermutet wurde, daß diese das Ergebnis in unzulässiger Weise beeinflussen. Diese Absturzereignisse können noch dem Flugplatznahbereich zugeordnet werden, liegen also innerhalb des eingezäunten Flugplatzbereiches und resultieren z.B. aus einem Zuweitkommen in der Landephase bzw. einem zu spät eingeleitetem Startabbruch. Für die weiter gelegenen Flächen in der Startschneise sind diese Ereignisse jedoch nicht relevant und können in der Konsequenz dazu führen, daß die zu empfehlende Vorsorgefläche zu klein ausgewiesen wird.

Um dies zu zeigen wurden die statistischen Testverfahren in den sieben zu unterscheidenden Winkelklassen gemäß Tabelle 29 noch einmal mit den Abstürzen im Intervall 1 ( 0 - 200 m ) wiederholt. Das dazu gültige Ereignisfeld zeigt Tabelle 30.

Tabelle 30 : Evaluierung des Parameters  $\lambda$  unter Berücksichtigung des Intervalles  $K_r = 1$

K <sub>i</sub>	Intervall K <sub>r</sub> ( Länge 200 m )																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1 - 14	10	13	3	5	3	2	2	1	1														1
15 - 17	5	14	8	5	7	2	1		1	2	1	2			1								
18	3	17	2	5	3	4	1	2		1				1									
19	13	12	13	16	6	3	3	1	1	3	2	2	2										
20	8	5	7	3	12	5	1	2	1			1	1										
21 - 23	12	13	5	9	13	6	1	1				1	1										
24 - 37	17	16	6	4	6	2	1	2		2									1				

In der Tabelle 31 sind die Veränderungen hinsichtlich des Parameters  $\lambda$  dargestellt. Es ist zu sehen, daß sich  $\lambda$  in den Winkelklassen 18, 19 und 20 ( Hauptstartrichtungen ) sowie 15 - 17 vergrößert und in der Winkelklasse 21 - 23 konstant bleibt. In den Winkelklassen 1 - 14 bzw. 24 - 37 bewirkt die Erhöhung der berücksichtigten Absturzereignisse eine Abnahme des Parameters  $\lambda$ . Dies hat zur Folge, daß sich die spezifische Trefferwahrscheinlichkeit in den Hauptstartrichtungen verringert ( mit Ausnahme der Winkelklasse 21 - 23 ) und in den seitlichen Winkelklassen ( 1 - 14 bzw. 24 - 37 ) erhöht. In Tabelle 32 sind diese Werte für einige bevorzugte Intervalle angegeben.

Tabelle 31 : Ermittlung des Parameters  $\lambda$  in den Winkelklassen 1 - 37 mit Intervall 1

37 - 27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11 - 1		
57									n = 77	49								
0,22									0,24	0,31		0,27		0,32		0,29		
0,22									0,29	0,22		0,32		0,29				
Der Parameter $\lambda$ wird abgeschätzt zu :																		
$\lambda = 0,22$									$\lambda = 0,29$		$\lambda = 0,24$		$\lambda = 0,29$		$\lambda = 0,32$		$\lambda = 0,29$	

Die  $H_0$  - Hypothese wird :

0,22 durch beide Tests bestätigt

0,24 nur durch den Kolmogoroff - Smirnov - Test bestätigt

n Anzahl der Beobachtungen im Winkelbereich

Tabelle 32 : Spezifische Trefferwahrscheinlichkeit auf die Trefferfläche  $F_{R200}$  unter Berücksichtigung des Intervalls 1

Intervall [ m ]	Berechnung der Wahrscheinlichkeit P eines Treffers in ein Intervall i in der Winkelklasse										Spezifische Trefferwahrscheinlichkeit auf die Trefferfläche $F_{R200} = 1745,3 \text{ m}^2$ in der Winkelklasse						Anzahl k der Flächen- segmente von $R_{200}$ bis $R_{4600}$	
	37 - 24		23 - 21		20		19		18		17 - 15		14 - 1					
	67,5°	15°	15°	5°	5°	5°	5°	5°	5,0°	5,0°	5,0°	15,0°	15,0°	67,5°				
	mit $\lambda$																	
i	0,22	0,22	0,22	0,29	0,29	0,29	0,24	0,29	0,29	0,32	0,29							
0 - 200	1	0,1974	0,1974	0,2517	0,2517	0,2517	0,2133	0,2517	0,2517	0,2738	0,2517	0,0146	0,0658	0,2517	0,2133	0,0912	0,0186	1
800 - 1000	5	0,0819	0,0819	0,0819	0,0789	0,0789	0,0122	0,0789	0,0789	0,0761	0,0789	0,67 - 3	0,3 - 2	0,9 - 2	1,4 - 3	0,28 - 2	0,65 - 3	9
1800 - 2000	10	0,0272	0,0272	0,0272	0,0185	0,0185	0,0246	0,0185	0,0185	0,0153	0,0185	1,1 - 4	0,5 - 3	1,0 - 3	1,3 - 3	0,27 - 3	0,7 - 4	19
2800 - 3000	15	0,0090	0,0090	0,0090	0,0043	0,0043	0,0074	0,0043	0,0043	0,0031	0,0043	2,3 - 5	1,0 - 4	1,5 - 4	2,6 - 4	0,35 - 4	1,1 - 5	29
3800 - 4000	20	0,0030	0,0030	0,0030	0,0001	0,0001	0,0022	0,0001	0,0001	0,0006	0,0001	5,7 - 6	2,6 - 5	2,6 - 5	5,7 - 5	0,5 - 5	1,9 - 6	39
4400 - 4600	23	0,0015	0,0015	0,0015	0,0004	0,0004	0,0001	0,0004	0,0004	0,0002	0,0004	2,6 - 6	1,2 - 5	1,0 - 5	2,4 - 5	0,2 - 5	0,7 - 6	45

$1,4 - 3 = 1,4 \times 10^{-3}$

Die Abnahme der spezifischen Trefferwahrscheinlichkeit in flugplatzfernen Bereichen infolge der Einbeziehung der Ereignisse im Intervall 0 - 200 m bedeutet, daß der auszuweisende sensible Flächenbereich ebenfalls reduziert wird.

Da jedoch die Unfallereignisse in unmittelbarer Startbahnnähe für die Störfallprävention nicht relevant sind war es angemessen, das Intervall 0 - 200 m aus den Untersuchungen auszuklammern bzw. den höheren Wert für den Parameter  $\lambda$  anzunehmen.

## 9.6 Die territoriale und die terrestrische Trefferwahrscheinlichkeit

Oftmals ist es von Interesse, den Unterschied zwischen der territorialen und der terrestrischen Trefferwahrscheinlichkeit zu quantifizieren, also die Gefährdung flugplatznaher Flächen infolge des Start - und Landeverkehrs und flugplatzferner Flächen infolge des Reiseflugs beurteilen zu können. Für den Flugplatznahbereich läßt sich die territoriale Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{TT}$  als Produkt der spezifischen Absturzhäufigkeit  $P_{SA}$  und der spezifischen Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{ST}$  darstellen.

$$P_{TT} = P_{SA} \times P_{ST}$$

Wie in Kapitel 9.1.3 gezeigt wurde kann die spezifische Absturzhäufigkeit  $P_{SA}$ , in Abhängigkeit von den durchschnittlichen jährlichen Bewegungen, einen Wert von  $0,2 \times 10^{-5}$  bis  $6 \times 10^{-5}$  annehmen. Die spezifische Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{ST}$  wird ermittelt, indem alle zur Verfügung stehenden Koordinaten der Absturzorte innerhalb der Flugplatznahbereiche statistisch untersucht und mit Hilfe einer Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden.

Die spezifischen Trefferwahrscheinlichkeiten sind der Tabelle 29 ( Kapitel 9.5 ) zu entnehmen.

Das Produkt  $P_{TT} = P_{SA} \times P_{ST}$  ist für  $P_{SA} = 1,0 \times 10^{-5}$  ( ca. 5000 Bewegungen pro Jahr ) in Tabelle 33 dargestellt.

Tabelle 33 : Territoriale Trefferwahrscheinlichkeit unter der Annahme  $P_{SA} = 1,0 \times 10^{-5}$

Intervall [ m ]	Winkelklasse						
	37 - 24	23 - 21	20	19	18	17 - 15	14 - 1
	67,5°	15,0°	5,0°	5,0°	5,0°	15,0°	67,5°
0 - 200	2,1 - 7	6,6 - 7	2,3 - 6	2,1 - 6	2,4 - 6	8,6 - 7	2,2 - 7
200 - 400	0,5 - 7	1,8 - 7	5,9 - 7	5,4 - 7	6,0 - 7	2,1 - 7	0,5 - 7
400 - 600	0,2 - 7	0,9 - 7	2,7 - 7	2,6 - 7	2,8 - 7	1,0 - 7	0,2 - 7
600 - 800	0,1 - 7	0,5 - 7	1,5 - 7	1,5 - 7	1,5 - 7	0,5 - 7	0,1 - 7
800 - 1000	0,6 - 8	0,3 - 7	0,9 - 7	0,9 - 7	0,9 - 7	0,3 - 7	0,6 - 8
1000 - 1200	0,4 - 8	0,2 - 7	0,6 - 7	0,6 - 7	0,6 - 7	0,2 - 7	0,3 - 8
1200 - 1400	0,2 - 8	1,4 - 8	3,7 - 8	0,4 - 7	3,6 - 8	1,1 - 8	0,2 - 8
1400 - 1600	1,4 - 9	0,9 - 8	2,5 - 8	2,7 - 8	2,4 - 8	0,7 - 8	1,2 - 9
1600 - 1800	0,9 - 9	0,7 - 8	1,7 - 8	1,9 - 8	1,6 - 8	0,5 - 8	0,7 - 9
1800 - 2000	0,6 - 9	0,5 - 8	1,2 - 8	1,4 - 8	1,1 - 8	0,3 - 8	0,5 - 9
2000 - 2200	0,4 - 9	3,5 - 9	0,8 - 9	1,0 - 8	7,6 - 9	2,0 - 9	0,3 - 9
2200 - 2400	2,4 - 10	2,5 - 9	5,7 - 9	7,1 - 9	5,2 - 9	1,4 - 9	2,0 - 10
2400 - 2600	1,6 - 10	1,9 - 9	4,0 - 9	5,2 - 9	3,7 - 9	1,0 - 9	1,2 - 10
2600 - 2800	1,0 - 10	1,4 - 9	2,9 - 9	3,8 - 9	2,6 - 9	0,6 - 9	0,8 - 10
2800 - 3000	0,7 - 10	1,0 - 9	2,0 - 9	2,8 - 9	1,9 - 9	4,4 - 10	0,5 - 10
3000 - 3200	0,5 - 10	0,8 - 9	1,5 - 9	2,1 - 9	1,3 - 9	3,1 - 10	0,3 - 10
3200 - 3400	0,3 - 10	0,6 - 9	1,1 - 9	1,6 - 9	1,0 - 9	2,2 - 10	0,2 - 10
3400 - 3600	0,2 - 10	4,5 - 10	0,8 - 9	1,2 - 9	0,7 - 9	1,5 - 10	1,4 - 11
3600 - 3800	1,5 - 11	3,4 - 10	5,7 - 10	8,8 - 10	5,0 - 10	1,1 - 10	0,9 - 11
3800 - 4000	1,0 - 11	2,6 - 10	4,2 - 10	6,7 - 10	3,6 - 10	0,7 - 10	0,6 - 11
4000 - 4200	0,7 - 11	2,0 - 10	3,0 - 10	5,0 - 10	2,6 - 10	0,5 - 10	0,4 - 11
4200 - 4400	0,5 - 11	1,5 - 10	2,3 - 10	3,8 - 10	1,9 - 10	0,4 - 10	0,3 - 11
4400 - 4600	0,3 - 11	1,2 - 10	1,7 - 10	3,0 - 10	1,4 - 10	0,3 - 10	0,2 - 11

$0,4 - 9 = 0,4 \times 10^{-9}$

Die höchste Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{TT}$  wird erwartungsgemäß in der Hauptstartrichtung errechnet. Sie hat im Bereich von 0 - 200 m hinter der Startbahn einen Wert von  $2,1 \times 10^{-6}$  und verringert sich im Intervall von 4400 - 4600 m auf  $3,0 \times 10^{-10}$ .

Ein Vergleich der territorialen Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{TT}$  mit der Trefferwahrscheinlichkeit außerhalb des Flugplatznahbereiches, der terrestrischen Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{TS}$ , ist jedoch nicht

unmittelbar möglich, da die Ermittlung von  $P_{TT}$  mit Hilfe bekannter Absturzkoordinaten vorgenommen wurde. Eine derartige Vorgehensweise kann jedoch kaum auf die Fläche der Bundesrepublik Deutschland angewendet werden. Der freie Flugverkehr mit Luftfahrzeugen bis 5,7 t Startgewicht, der in der Mehrzahl der Fälle nach Sichtflugregeln durchgeführt wird, orientiert sich vorrangig an terrestrischen Merkmalen, z.B. Eisenbahnlinien, Flußläufen, markanten Erhebungen und Bauwerken usw.

In der Nähe von derartigen " Orientierungshilfen " ist eine erhöhte Absturzhäufigkeit nachweisbar. Da es sich um den freien Flugverkehr handelt, ist sie jedoch weit geringer als die spezifische Absturzhäufigkeit  $P_{SA}$  in unmittelbarer Flugplatznähe.

Für einen Vergleich muß daher die spezifische Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{ST}$  herangezogen werden, die flächenbezogen, auf eine definierte Trefferfläche, ermittelt worden ist.

Zum Vergleich :

Die Absturzhäufigkeit außerhalb des Flugplatznahbereiches im Jahr 1993 berechnet sich zu :

47 Abstürze von Luftfahrzeugen der Kategorie E und D aus dem freien Flugverkehr im Verhältnis zu 1 687 308 Bewegungen =  $2,78 \times 10^{-5}$ .

Bezogen auf eine Fläche von 272 032 km<sup>2</sup> ( Fläche der Bundesrepublik Deutschland - alte Bundesländer ohne Berlin - West abzüglich der Fläche des Flugplatznahbereiches von 550 Flugplätzen ) ergibt sich eine Trefferwahrscheinlichkeit von:

$$1,02 \times 10^{-10} / \text{a km}^2,$$

$$1,02 \times 10^{-12} / \text{a ha und}$$

$$1,02 \times 10^{-16} \text{ a} / \text{m}^2$$

Bezieht man diese Trefferwahrscheinlichkeit ebenfalls auf die Trefferfläche  $F_{R200}$ , so vergrößert sich dieser Wert auf  $1,78 \times 10^{-13} \text{ a} / \text{m}^2$  .

Die spezifische Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{ST}$  in Flugplatznähe beträgt in gerader Verlängerung der Start - und Landebahn, im Intervall von 4400 - 4600 m ca.  $0,3 \times 10^{-4}$  ( Tabelle 29, Kapitel 9.5 ). Der Unterschied zwischen Flugplatznahbereich und der freien Fläche beträgt also ca. zehn Zehnerpotenzen.



## **10 VERGLEICH VON RISIKOAUSSAGEN BEZÜGLICH DES AKZEPTIERTEN RISIKOS UND DER RISIKEN INFOLGE EINES FLUGZEUGABSTURZES FÜR KERNKRAFTWERKE UND LAGERANLAGEN FÜR LPG / LNG**

### **10.1 Das akzeptierte Risiko, Riskowerte natürlicher und technischer Risiken**

Da es unmöglich ist in der Technik risikofreie Zustände herzustellen wird in jedem Fall ein Restrisiko existieren bzw. ein Risikorest verbleiben, der der Bevölkerung auch durch den Staat nicht abgenommen werden kann. Von Interesse ist nun wie hoch dieser Risikorest anzunehmen ist, bzw. in welcher Größenordnung dieser nicht zu akzeptieren bzw. noch zu verantworten ist / 53 /.

Die Risikoformel enthält zwei Faktoren: die Häufigkeit des Eintretens eines Ereignisses, ausgedrückt als dimensionslose Verhältniszahl, die angibt, wie hoch die Erwartung der Anzahl einer bestimmten Ereignisart in bezug auf die Gesamtanzahl der möglichen Ereignisse ist und die daraus resultierende Konsequenz. Es hat sich " eingebürgert " die Konsequenz, das Schadensausmaß, durch getötete Personen ( Farmer - Kurve; Häufigkeits - Emissions - Kriterium ) bzw. durch den wirtschaftlichen Schaden, ausgedrückt in Geld ( z.B. Starr; individuelles Risiko und Nutzen ) zu beschreiben. Der Schaden, der in einer bestimmten Geldsumme skaliert ist, ist dabei vor allen Dingen für Versicherungsgesellschaften von Interesse. Ein Schwellenwert für Menschenleben sollte aus ethischen Gründen nicht benutzt werden. Daraus resultiert u.a. die Akzeptanzforderung, daß höchste Konsequenzen mit der geringsten Eintrittswahrscheinlichkeit gekoppelt sein müssen. Die Eintrittshäufigkeit, der erste Faktor der Risikoformel, wird durch Beobachtungen ermittelt, oder aber, für den Fall, daß keine Beobachtungen existieren oder nicht in ausreichendem Maß verfügbar sind, durch eine Ausfallanalyse mittels der gängigen Verfahren ( Fehlerbaumanalyse, Ausfalleffektanalyse, Störungsbaumanalyse usw. ) abgeschätzt.

Durch diese Analysen können z.B. technische Risiken neuer Verfahren mit bekannten Risiken verglichen werden. Man muß dabei jedoch bedenken, daß dieser Vergleich u.U. technische Weiterentwicklungen negiert da hier Neues mit Altem verglichen wird. Aus der Akzeptanz bestehender Risiken werden somit Schlußfolgerungen zur Akzeptanz neuer Risiken gezogen.

Sellner / 54 / plädiert an den " Maßstab der praktischen Vernunft ", der näher zu konkretisieren ist, und zwar in quantitativer Hinsicht, durch einen Vergleich mit anderen zivilisatorischen und technischen Risiken und mit natürlichen Lebensrisiken. Er gibt aber zu bedenken, daß "..... ein solcher Vergleichsmaßstab mit natürlichen Lebensrisiken aber dann nicht mehr ausreichen wird, um die Maßstäbe praktischer Vernunft näher zu bestimmen, die die Gefahrenschwelle kennzeichnen, wenn es um das Störfall - und insbesondere das Unfallrisiko bei derartigen Anlagen geht."

Der Vergleich zwischen natürlichen Lebensrisiken und Risiken aus Industrietätigkeit mit einem hohem Gefahrenpotential sollte daher eigentlich nicht zulässig sein, da die Risikoquellen grundsätzlich anderer Natur sind ( natürlich - technisch ).

Das bedeutet, daß bei der Festlegung einer Akzeptanzschwelle oder eines Grenzkrisikos eine vergleichbare Belastung vereinbart werden muß, unter der der Risikovergleich vorgenommen wird. Natürliche Risiken können immer dann zu einem Vergleich herangezogen werden, wenn die Konsequenz ( z.B. die Anzahl der zu erwartenden Todesopfer ) in etwa die gleiche Größenordnung aufweisen. Für technisch hoch entwickelte Wirtschaftsgebiete sind dies u.a. Tornados / 55 / Erdbeben und Meteoritentreffer.

Die Abschätzung des Risikos für seltene und noch unbeobachtete Ereignisse führt jedoch immer dann in einen Erklärungsnotstand, wenn nach Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit des für beinahe unmöglich gehaltenen Ereignisses, dieses jedoch unmittelbar eintritt.

So veröffentlichte die NASA im Februar 1985 eine Risikostudie zum Space Shuttle, nach der die Absturzwahrscheinlichkeit mit 1 : 100 000 angegeben wurde, andere - wahrscheinlich verworfene oder nicht beachtete Untersuchungen über die Zuverlässigkeit der Feststoffraketen gaben ein Risiko von 1: 210, 1:70 und sogar von 1 : 57 an / 56 /. Tatsächlich explodierte die Raumfähre Challenger am 28.1.1986 bei der 25. Mission.

Nach dieser Katastrophe, die mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von  $10^{-5}$  genügend unwahrscheinlich erschien, sind die Space Shuttle - Flüge nach Klärung der Ursache fortgesetzt worden.

Der Risikovergleich ist im Grunde ein Vergleich des ersten Faktors der Risikoformel. Ist dieser sehr klein, braucht man sich um die Konsequenz nicht zu sorgen. Die Frage ist nur, wie klein dieser Faktor sein muß. Vielen Publikationen ist zu entnehmen, daß ein Ereignis, das mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von  $10^{-5}$  oder  $10^{-6}$  beschrieben werden kann, im Grunde toleriert wird. Diese Zahl fungiert quasi als soziologischer Schwellenwert, der von der Bevölkerung z.T. nur unter großer Mühe perzipiert und darum wohl auch akzeptiert wird.

Technische Risiken werden der Bevölkerung vor allen Dingen über die Medien in mehr oder weniger geeigneter Form vermittelt. Aufgrund der Berichterstattung bzw. der Informationsauswahl und der Tendenz, daß sich schlechte Nachrichten besser verkaufen lassen als gute / 57 /, bildet sich in der Bevölkerung ein Gefühl für reelle und irrationale Risiken, die darüber hinaus von jeder Einzelperson unterschiedlich ausgelegt und interpretiert werden.

Cobb und Elder ( aus / 58 / ) wiesen darauf hin, daß ein Problem immer dann politisiert und auf die politische Tagesordnung gesetzt wird, wenn ein Ereignis auftritt, das mit Konflikten verbunden ist. So führte in den USA ein Unfall in einer Kohlegrube, bei dem 78 Bergarbeiter verletzt oder getötet wurden zu einem Streik der Bergarbeiter, mit dem Resultat, daß ein

Bundesgesetz über die Sicherheit im Kohlebergbau verabschiedet wurde ( Federal Coal Mine and Safety Act, 1969 ).

Kunreuther und Linneroth / 58 / verweisen darauf, daß Unfälle, die durch ihre Folgewirkungen viele Menschen betreffen, unmittelbaren Druck auf die Politik ausüben können, was dazu führen kann, daß frühere politische Entscheidungen verworfen bzw. Alternativen angeboten werden. Zu beachten ist jedoch, daß die Massenmedien, als Informant der Bevölkerung über Katastrophenszenarien, nicht immer sachliche, emotionslose, nur der Information dienende Aussagen publizieren, sondern vielfach übertriebene Darstellungen anbieten. Insofern ist bei einer " medienunterstützten " Debatte über mögliche Standorte von Anlagen mit einem hohen Gefahrenpotential immer ein unbestimmbarer psychologischer Einfluß anzunehmen. Dieser hängt unmittelbar von der Anzahl der betroffenen Menschen ab. Daraus ergibt sich, daß das Risiko ( als Produkt von Ereignishäufigkeit und Schadensausmaß ) an jedem Ort unterschiedlich beurteilt werden sollte, eine generalisierende Aussage ist nicht möglich.

Riede / 59 / schlägt darum vor, daß ein Risiko nur dort unakzeptabel hoch sein soll, " ... wo ein bestimmter oder ein unbestimmter, jedoch häufig anzutreffender größerer Kreis von Menschen betroffen sein kann." Indirekt erfolgt hier eine Verknüpfung mit den zu erwartenden Toten, eine quantifizierte Aussage, wieviele Tote akzeptabel, wieviele Tote die öffentliche Meinung " verkraften " könnte, ist nicht zu beziffern.

Aus diesem Grund ist es naheliegend die Vereinbarung zu treffen, daß bei der Ermittlung des Schadensausmaßes nicht primär auf Menschenleben abgestellt werden sollte, sondern generell auf die Beeinträchtigung einer Fläche. Dieser Bezug ist in jedem Einzelfall darstellbar und wird gewöhnlich diskussionslos anerkannt.

Hampe / 60 / fordert, daß Erfahrungen aus Unfällen und Katastrophen zu folgenden gesetzgeberischen Konsequenzen führen sollten :

1. Festsetzung von Risikoschwellen bei der Planung, Auslegung und dem Betrieb von Anlagen mit hohem Risikopotential.
2. Vermittlung von Kenntnissen über das vorhandene Risikopotential, zum einen an die unmittelbar in der Anlage Beschäftigten, zum anderen an die Kommune.

Hampe schlägt ( wie viele andere Autoren auch ) die Definition von 3 Risikokategorien vor. Sie enthalten als Kriterien die wirtschaftlichen Verluste und die Gefahr für Leben und Gesundheit von Menschen. Diese werden qualitativ beschrieben mit " hoch, mittel und gering " und sind verknüpft mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von  $10^{-2}$  bis  $10^{-7}$ .

Daraus ergibt sich jedoch die Frage, wieviele Tote erlaubt sind, was geringe wirtschaftliche Verluste sind, bzw. bei welcher Eintrittswahrscheinlichkeit ein Unternehmen bereit ist, diese geringen Verluste zu riskieren bzw. bestimmte Versicherungsprämien zu zahlen.

Die Bevölkerung ist wesentlich stärker beunruhigt durch seltene große Unfälle als durch viele kleine, denen jedoch mehr Menschen zum Opfer fallen / 61 /. Aus diesem Grund scheint es sinnvoll, die täglichen Gefahren quantitativ zu erfassen und in Zweifelsfällen eine obere Grenze anzugeben. Ein erhöhtes Lebensrisiko um  $10^{-6}$  wird oft als akzeptabel angesehen / 61 /. Das akzeptierte Risiko ist zum einen ein Ausdruck der öffentlichen Meinung der die Unfallwahrnehmung als auch das Katastrophengedächtnis abbildet, zum anderen eine auf statistischen Untersuchungen beruhende Meinung von Fachleuten. Wichtig ist immer, wer über das zu akzeptierende Risiko befindet und diesen Befund den unmittelbar Betroffenen zur Kenntnis gibt und erläutert.

Ohne auf das weite Feld der persönlichen Risikoakzeptanz weiter einzugehen ist interessant, daß die Auseinandersetzung mit einem unakzeptablen technischen Risiko schließlich darin eskalieren kann, daß die Beseitigung der Risikoquelle gefordert und in Einzelfällen auch durchgesetzt wird ( Kohlebergbau, Flugplatz München - Riem ).

Daraus kann geschlußfolgert werden, daß die Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses " Flugzeugabsturz ", im Fall München - Riem mit  $10^{-5}$  zu beschreiben ( unabhängig von der Trefferwahrscheinlichkeit ), nicht akzeptiert wird. Es wurde in Kapitel 9.2 gezeigt, daß sich diese spezifische Absturzhäufigkeit jedoch nicht beliebig verringern läßt. Außerdem ist zu bedenken, daß die Konsequenz bei stadtnahen Flughäfen ungleich größer ist als in naturgegebenen Territorien. Es muß darum vereinfachend angenommen werden, daß das durch den Luftverkehr initiierte Risiko innerhalb der Einflugschneisen aller Flugplätze das gleiche Niveau haben soll. Angesichts der Möglichkeit, daß Flugplätze u.U. " zuwachsen " können, ist diese Konvention notwendig, da nicht vorausgesetzt werden kann, daß sich eine störfallorientierte Flächenplanung durchsetzen lassen wird.

Ein Beispiel dafür gibt Lowell / 62 /, der in diesem Zusammenhang feststellt : " This airport ( St. Louis ) is one of the oldest in the Midwest, and was built in the open country. But civilization has crept up on it, and it is now almost completely surrounded by private houses and other buildings. In fact, the approach to runway number twenty - four lies almost directly over an elementary school ! " .

Monroe / 63 / untersuchte Unfälle in Abhängigkeit des Flugplatzbereiches. Er kam zu dem Ergebnis, daß von 485 Unfällen 86 % im unmittelbaren Platzbereich stattfanden, davon 59 % direkt

auf dem Platz und 41 % in der Start - und Einflugschneise beendet wurden. Das Ergebnis seiner Arbeit ist, daß Flugplätze keinen nennenswerten Beitrag zur Erhöhung des Risikos für die Bevölkerung in der Umgebung des Flugplatzes darstellen. Diese Arbeit ist jedoch als eine Verteidigung der allgemeinen Luftfahrt in den USA anzusehen, wie das folgende Zitat beweist :

" Even in the famous San Diego midair collision it was the airline airplane that struck the houses - the general aviation airplane landed in the street and injured no third parties." Der Autor gibt jedoch an, daß der nichtkommerzielle Flugverkehr zu 72 % an den Unfällen beteiligt war, 23 % zu Lasten des kommerziellen Luftverkehrs gingen ( Pipe Line Patrol, Air Taxi usw. ), die restlichen 5 % sich auf solche Gebiete wie z.B. Polizeieinsätze, Luftrettung, Verkehrsüberwachung und Suizid bezogen.

Bei neueren Flughafenplanungen in den USA wurde die Möglichkeit der Beeinträchtigung der Umwelt bereits berücksichtigt. So ist für den Denver International Airport ( DIA ) eine bemerkenswerte Abstandsregelung vorgesehen worden / 64 /. Mit einer Gesamtfläche von 137 km<sup>2</sup> ist DIA fast zehnmal so groß wie Frankfurt Rhein / Main ( 14 km<sup>2</sup> ). Rund um das gesamte Areal ist ein 3,2 km breiter Puffergürtel vorgesehen, der von allen Ansiedlungen frei gehalten wird, um somit späteren Komplikationen, die zu einer Einschränkung des Flugbetriebes führen könnten, vorzubeugen. Inwieweit diese Komplikationen sich auf Lärmprobleme und Absturzereignisse beziehen, kann nicht beurteilt werden.

Nach Auskunft des Aviation Safety Institute Worthington, Ohio / 65 / sollten Landstraßen und Gebäude zu den Enden der Start - und Landebahnen einen Mindestabstand von ca. 1000 -1500 ft aufweisen. Der seitliche Abstand, parallel zu den o.g. Objekten, sollte zwischen 750 und 1000 ft betragen.

Es sind auch Ausnahmen zu finden, z.B. 300 ft und weniger, aber diese sind vor allen Dingen bei älteren, kleineren und weniger frequentierten Flugplätzen anzutreffen. Ein Grund für diese geringen Abstände sind auch darin begründet, daß man früher den Sicherheitsgedanken nicht so zielstrebig verfolgt hat und es auch zuließ, daß Flugplätze " zuwachsen " konnten.

Der Vergleich technischer und naturgegebener Risiken ist hinsichtlich der Beschreibung einer Akzeptanzschwelle durchführbar, aber mit einigen Schwierigkeiten verbunden.

Technische Risiken lassen sich u. U. beseitigen, natürliche nicht. Technische Risiken können ebenso eine Massenevakuierung zur Folge haben ( z.B. am 10.11.1979 - Mississauga / Kanada ) wie dies auch bei Naturereignissen der Fall sein kann ( Überschwemmungen, Vulkanausbrüche ).

Lingen / 66 / schlägt die Definition eines Risikostandardwertes vor. Es soll dies der Wert sein, der aufgrund natürlicher Risiken, z.B. durch Naturereignisse, wie Blitz, Erdbeben, Hochwasser usw. immer existent ist. Das natürliche Risiko durch vorgenannte Ereignisse zu Tode zu kommen, nahm er für einen Menschen bei 10<sup>-6</sup> an. Wenn dieser Wert an einem Standort größer ist, so sollte die Anlage dort nicht genehmigungsfähig sein.

Da die naturgegebenen Risiken jedoch nicht gleichverteilt sind, kann der Wert  $10^{-6}$  nur als eine Konvention angesehen werden.

McCormick / 67 / gibt für natürliche und technische Risiken anhand von Beobachtungen die in Tabelle 34 geschätzten Eintrittswahrscheinlichkeiten an:

Tabelle 34 : aktuelle und geschätzte Wahrscheinlichkeiten für das größte Schadensausmaß

Szenario	Beispiel	Tote	geschätzte Eintrittswahrscheinlichkeit / a
Flugzeugabsturz	29.3.77, Kanarische Inseln, zwei 747 kollidieren am Boden	577	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-7}$
Explosion Chemieanlage	6.12.1917, Halifax, Kanada	1600	$10^{-5} - 10^{-7}$
Dammbruch	9.9.63, Vaiont, Italien	1800	$10^{-3} - 10^{-4}$
Erdbeben	24.12.1556, Shensi, China	830000	$10^{-3} - 10^{-4}$
Waldbrand	9.9.1871, Peshtigo, Wisc., USA	1182	$10^{-6}$
Überschwemmung	1897, Hwang-Lo, China	900000	$10^{-2}$
Meteoritentreffer	ohne	-	$10^{-7}$

Otway und Erdmann ( zitiert bei McCormick, / 67 / ) vertreten die Ansicht, daß ein Todesfallrisiko von  $10^{-6}$  von den meisten Menschen nicht beachtet wird. Daraus schlußfolgern die Autoren, daß das akzeptable Risiko bei  $10^{-7}$  liegen sollte ( z.B. verursacht durch einen Unfall in einer Nuklearanlage ). Als Akzeptanzgrenzen geben sie die in Tabelle 35 aufgeführten Werte an :

Tabelle 35 : Akzeptanzgrenzen für das jährliche Todesfallrisiko nach Otway und Erdmann

jährliches Todesfallrisiko	Schlußfolgerung
$10^{-3}$	Für alle unakzeptabel, wenn dieses Maß erreicht wird, wird sofortige Beseitigung erfolgen
$10^{-4}$	Die öffentliche Hand stellt Geld bereit um die Gefahr unter Kontrolle zu bringen ( Aufstellen von Warnschilder, Sicherheitslösungen werden publiziert )
$10^{-5}$	Die Gefährdung wird von den meisten Menschen anerkannt, Kinder werden zur Vorsicht ermahnt ( ertrinken, verbrennen, vergiften ), es wird versucht, den Gefährdungen auszuweichen ( Flugangst ), vorbeugende Sicherheitshinweise werden verbreitet ( nicht alleine schwimmen, keine Medizin in Reichweite von Kinderhänden usw. )
$10^{-6}$	Die meisten Menschen werden nicht beunruhigt, sie kennen zwar die Gefährdung, sind dadurch jedoch nicht verunsichert, die beschreibenden Losungen lassen Resignation erkennen, bzw. eine Gottgewolltheit

Als Resümee der vorangestellten Aufzählung kann ein Zitat aus dem Rasmussen - Report angeführt werden ( aus / 68 / ) :

" Bislang ging man bei der Untersuchung der Risikoproblematik fast ausschließlich von Wahrscheinlichkeitsrechnungen aus. Man fragte sich, wie wahrscheinlich es ist, daß ein bestimmtes Ereignis beispielsweise in einem Zeitraum von 10 000 Jahren eintritt. Kam man dann zu einem Ausdruck wie  $10^{-7}$ , so fühlte man sich sicher : das eingangene Risiko war mit dem Absturz eines Meteoriten vergleichbar, und wer wollte ein solches Risiko ablehnen ? "

Als praktisch unmögliches Ereignis wird eine Eintrittswahrscheinlichkeit von  $< 10^{-11}$  gesehen / 69 /. Dieser Wert wurde aus dem geologischen Alter der Erdkruste ( ca.  $3,5 - 5,5 \times 10^9$  Jahre ) abgeleitet. Andere Quellen / 70 / schlagen vor, Eintrittswahrscheinlichkeiten  $< 2,5 \times 10^{-10}$  nicht mehr zu berücksichtigen.

Wie in Kapitel 9 ausgeführt wurde, kann die terretoriale Trefferwahrscheinlichkeit als Eintrittswahrscheinlichkeit eines Direkttreffers auf ein Flächenelement aufgefaßt werden. Sie ist daher auch mit anderen Eintrittswahrscheinlichkeiten, die Konsequenzen werden vorerst ausgeklammert, vergleichbar. Dadurch ist es möglich, eine Anzahl von Risikostudien und deren Aussagen zur Akzeptanz zu Vergleichszwecken heranzuziehen.

In Kapitel 10.2 und 10.3 werden Risikoaussagen für Kernkraftwerke und Anlagen zur Lagerung von Flüssiggas und verflüssigtem Erdgas vorgestellt. Darin sind die Risiken des Behälter - bzw. Containmentversagens durch Flugzeugabstürze und Naturereignisse quantitativ aufgeführt und bewertet. Durch diesen Vergleich kann eine Akzeptanzschwelle für das spezielle Problem Flugzeugabsturz naheliegen.

## **10.2 Risikoaussagen in Risikoanalysen für Kernkraftwerke**

Aus sicherheitstechnischen und politischen Erwägungen wurde die Idee geboren, Kernkraftwerke auch unterirdisch zu errichten.

Pershagen et al. / 71 / berichten, daß u.a. der erste schwedische Forschungsreaktor unterirdisch errichtet wurde. Diese Entscheidung wurde damit begründet daß Erfahrungen zum Bau von Kraftwerksanlagen und anderen, wahrscheinlich militärischen Anlagen, in felsigem Untergrund vorliegen, und zum anderen weil Studien belegten, daß die unterirdische Bauweise den höchstmöglichen Schutz vor äußeren Belastungen ( z.B. Kriegseinwirkungen ) garantiert.

Umgekehrt bietet die unterirdische Bauweise den Vorteil, daß die Auswirkungen eines Störfalles innerhalb der Anlage auf die Umwelt geringer sind. Es wurde jedoch eingeschätzt, daß die Baukosten für unterirdische Kernkraftwerke um 20 - 25 % höher liegen würden als bei einer oberirdischen Bauweise.

Altes et al. / 72 / nehmen in dieser Frage auch zum Lastfall Flugzeugabsturz Stellung. Die Autoren kommen zu dem Ergebnis, daß bei der Annahme des Absturzes einer Phantom II, eine etwa 7 m dicke Kies - Sand - Überschüttung notwendig sein würde. Eine Waffenwirkung wurde aus den Betrachtungen ausgeklammert. Diese 7 m starke Überdeckung sollte garantieren, daß das Flugzeug darin steckenbleibt und die äußere Gebäudehülle nicht berührt. Diese Bauweise wurde, unbenommen von der sicherheitstechnischen Zielsetzung, letztendlich ebenso als so teuer eingeschätzt, daß diese Idee nicht realisiert wurde. Darüberhinaus beweist ein Unglücksfall aus der jüngsten Vergangenheit, daß auch die unterirdische Bauweise nur bedingt geeignet ist, Störfällen vorzubeugen.

Beim senkrechten Absturz einer Phantom II am 10.09.95 bei Mindelheim ( Unterallgäu ) aus 3000 m Höhe entstand ein Krater von ca. 12 bis 15 m Tiefe. Die einstmals projektierte Überdeckungshöhe von 7,0 m dürfte demnach noch zu gering sein ( das Kampfflugzeug McDonnell F-4F Phantom II hat eine maximale Startmasse von ca. 28 t und trägt dabei eine maximale Waffenlast von ca. 7,5 t ).

Nach wie vor ist darum die Wahl des Standortes, vor allen Dingen bezüglich der Nähe zu einer Luftverkehrsquelle, einer der wichtigsten Punkte bei der Genehmigung von kerntechnischen Anlagen. Im Folgenden werden dazu einige Beispiele näher betrachtet.

### 10.2.1 Biblis B

In der Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke ( DRS ) / 7 / wurde der Standort Biblis B mit den Koordinaten 49 42 37 N 08 25 00 E untersucht, d.h. in der Nähe des Verkehrslandeplatzes Worms. Die Nähe dieses VLP wurde in der Studie nicht erwähnt. Die Situation im Bereich der Anlage wurde wie folgt eingeschätzt: Die Häufigkeit für den Absturz ziviler und militärischer Flugzeuge auf die Anlage mit einer sicherheitstechnisch relevanten Fläche von 10 000 m<sup>2</sup> beträgt für :

- Zivilflugzeuge auf Flugverkehrsstrecken MTOW > 20 t      2 x 10<sup>-11</sup>
- Zivilflugzeuge im freien Flugverkehr MTOW < 20 t      9 x 10<sup>-7</sup>
- Schnellfliegende Militärflugzeuge      1 x 10<sup>-6</sup>

Aus der Studie ergab sich, daß der Einfluß des Start - und Landeverkehrs aufgrund der Entfernung zu den nächsten Flugplätzen vernachlässigbar gering ist, ohne diese Entfernungen jedoch zu beziffern, bzw. die näheren Flugplätze zu benennen.

Die Häufigkeit eines Kernschmelzunfalles, verursacht durch einen Flugzeugabsturz, wurde zu kleiner als 2 x 10<sup>-7</sup> / a ermittelt. Es wurde eingeschätzt, daß der Flugzeugabsturz aufgrund der Auslegung keinen wesentlichen Beitrag zum Risiko darstellt.



### 10.2.2 Unterweser

Fürste und Glupe / 41 / betrachteten die Gefährdung eines Kernkraftwerkes am Beispiel des Kernkraftwerkes Unterweser (KKU) mit den Koordinaten 53 25 05 N 08 28 45 E. Der am nächsten gelegene Flugplatz ist Bremerhaven / Am Luneort - ca. 9 km entfernt. Die Anzahl der jährlichen Bewegungen wurde mit 26 000 angegeben. Aufgrund eigener Recherchen kann dazu bemerkt werden, daß es sich um die Gesamtanzahl aller Luftfahrzeugkategorien, unabhängig vom Startgewicht, handeln muß. Die Absturzhäufigkeit ( im Sinne einer Trefferwahrscheinlichkeit ) für das KKU wurde zu  $1,7 \times 10^{-8}$  Abstürze pro Jahr abgeschätzt, als Zielfläche wurden 3000 m<sup>2</sup> angenommen.

### 10.2.3 BASF - Mitte

Eine quantitative Abschätzung der Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes auf den geplanten Standort des KKW BASF - Mitte mit den Koordinaten 49 31 N, 8 26 E ( nicht unmittelbar in der Start - bzw. Einflugschneise gelegen ) wurde in einer Studie des Instituts für Unfallforschung ( IfU ) vorgenommen / 48 /.

Die Luftfahrzeuge wurden in drei Gewichtsklassen :

Großflugzeuge	kleine Reiseflugzeuge	Militärflugzeuge
20 - 175 t MTOW	≤ 5,7 t	≤ 13 t

eingeteilt, die auch als Gefährdungsklassen definiert wurden. Es erfolgte keine Berücksichtigung der zivilen Luftfahrzeuge von 5,7 - 20 t Startgewicht, da diese nur in geringer Anzahl vertreten sind. Es erfolgte keine Begründung mittels unterschiedlicher klassenspezifischer Absturzhäufigkeiten.

Der Luftverkehr wurde in drei Verkehrsklassen

- a ) Start - und Landeverkehr bis zu einer Entfernung von 5 Meilen hinter der Start - bzw. Landebahnschwelle,
- b ) Luftstraßenverkehr, und
- c ) freier Flugverkehr

aufgeteilt.

Die Absturzhäufigkeit wurde in Abhängigkeit von der Entfernung zum Flughafen in einer Klassenbreite von 1 Meile ( = 1,609 m ) ermittelt und zwar nur in der Entfernung, nicht in der Richtung - es wurde vereinfachend Achsensymmetrie zur Hauptstartrichtung angenommen.

Es wurden Statistiken aus den USA und deutsche Unfallstatistiken herangezogen ( FUS 1959,1960,1962,1963 und 1965 ), wobei auch damals schon die Schwierigkeit bestand, die zu beachtenden Unfälle zu ermitteln ( vgl. Kapitel 5 ).

Der Zusammenhang zwischen erhöhter Verkehrsdichte und Unfallhäufigkeit wurde derart interpretiert, daß bei großen Flughäfen eine erhöhte Unfallwahrscheinlichkeit angenommen werden muß, da sich aufgrund der Verkehrsdichte im Luftraum Warteschleifen fliegende Maschinen gegenseitig behindern können. Der statistische Beweis ist dafür jedoch nicht geführt worden. Als Zielfläche wurde das 1000 m<sup>2</sup> - Reaktorcontainment angenommen.

Die Absturzwahrscheinlichkeit wurde nur unter Berücksichtigung des Flugplatzes Mannheim Sandhofen ( Coleman - Barracks : amerikan. Militärflughafen ) abgeschätzt ( 96 000 Bewegungen pro Jahr ), und zwar zu  $4,8 \times 10^{-3}$  unter Berücksichtigung einer Zielfläche von 1000 m<sup>2</sup> und einem Zeitraum von 30 Jahren.

#### 10.2.4 Philippsburg

Bei der Prüfung der geografischen Lage wurde zunächst der Standort Eichau, genau in der Einflugschneise und ca. 3,8 km entfernt vom Verkehrslandeplatz Speyer gelegen, in Betracht gezogen / 49 /. Schließlich wurde der Standort aus der Einflugschneise nach Philippsburg verlegt ( Koordinaten : 49 15 18 N 08 26 21 E ), so daß mit Gefährdungen eigentlich nicht zu rechnen ist. Es werden zwei grundsätzliche Möglichkeiten der Gefährdung durch den Luftverkehr angesprochen :

1. Normaler Luftverkehr im Luftraum der Bundesrepublik, und
2. der lokale Luftverkehr im Raum Speyer.

Zur Entscheidungsfindung wurde ein Vergleich mit amerikanischen Genehmigungsverfahren herangezogen. Es wurden zwei Anlagen benannt, die auch in der Nähe von Flughäfen errichtet worden sind:

- Three Mile Island und
- Shoreham Nuclear Power Station.

Philippsburg hat eine Luftliniendistanz von 6 km zum VLP 1 Speyer. Dieser Standort wurde verglichen mit den zwei amerikanischen ( liegt etwa in der Mitte ) und daraus abgeleitet, daß ebenfalls keine Maßnahmen gegen Flugzeugabsturz notwendig sind.

Die Größe des Kernkraftwerkes wurde mit  $= 10\ 000\ \text{m}^2$  angenommen. Die Absturzwahrscheinlichkeit auf eine Kreislinie mit einem Radius von 6 km ergibt sich für Kleinflugzeuge zu  $5 \times 10^{-7}$ , so daß abschließend eingeschätzt wird, daß das Risiko durch die Nähe des Flugplatzes Speyer nicht wesentlich erhöht wird.

In den USA werden zur Beurteilung der Gefährdung von Kernkraftwerken durch äußere Einwirkungen quantitative Wahrscheinlichkeitsanalysen herangezogen / 73 /. Das NRC ( Nuclear Regulatory Commission ) als Genehmigungsbehörde sieht in unverbindlichen Richtlinien vor, daß eine Kernenergieanlage gegen das Ereignis Flugzeugabsturz ausgelegt sein muß, wenn als dessen Folge die höchste zulässige Strahlenbelastung erreicht werden könnte und diese Wahrscheinlichkeit größer ist als  $10^{-7}$  / a.

Wenn man annimmt, daß diese Strahlenbelastung durch einen Direkttreffer verursacht wird, dann ist im Fall Philippsburg mit  $5 \times 10^{-7}$  eine Trefferwahrscheinlichkeit angegeben.

### 10.2.5 Zion / USA

Die Zion - Station, Unit 1 und 2 - war die erste Anlage, bei der der Genehmigungsausschuß auf quantitativ - numerische Wahrscheinlichkeitswerte zurückgriff ( aus / 73 / ). Die Anlage sollte am westlichen Ufer des Lake Michigan " in the City of Zion " , Illinois, 3,5 Meilen entfernt vom Waukegan Memorial Airport errichtet werden. Zur Entscheidungsfindung wurden zwei Gutachten herangezogen.

Das erste Gutachten kam zu folgendem Ergebnis :

Luftfahrzeugtyp	Bewegungen pro Jahr	Absturzwahrscheinlichkeit
> 30000 pounds ( 13,6 t )	8500	$1 \times 10^{-7}$
12500 pounds ( 5,7 t )	5490	$0,7 \times 10^{-7}$

Das zweite Gutachten kam zu folgendem Ergebnis :

Luftfahrzeugtyp	Bewegungen pro Jahr	Absturzwahrscheinlichkeit
?	80 000	$9 \times 10^{-7}$

Der Autor gibt ferner an, daß auch eine Kapazitätssteigerung berücksichtigt wurde. Demnach sollte die Absturzwahrscheinlichkeit bei 200 000 Bewegungen pro Jahr bei  $1 \times 10^{-6}$  bzw.  $5 \times 10^{-6}$  , je nach Startgewichtsklasse, liegen. Der Genehmigungsausschuß kam zu dem Schluß, daß die Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes auf die Zionanlage so gering sei, daß konstruktive Verstärkungen nicht notwendig seien. Es ist nicht nachzuvollziehen wie diese Zahlen entstanden sind. Bei diesen Zahlenangaben kann es sich nicht um eine spezifische Absturzhäufigkeit handeln, sondern nur um eine territoriale Trefferwahrscheinlichkeit.

In einer weiteren Quelle / 51 / ist zu finden, daß die sensible Anlagenfläche zu 0,005 bis 0,008 sq. mi. angenommen worden ist, dies entspricht ca. 12960 bzw. 20720 m<sup>2</sup>. Nach Erkenntnissen aus eigenen, in diesem Forschungsbericht vorgestellten Untersuchungen ist bei 5500 Bewegungen pro Jahr eine spezifische Absturzhäufigkeit von  $0,8 \times 10^{-5}$  zu erwarten. Das Verhältnis der Flächen, bei einem Radius von 5,6 km ( 3,5 Landmeilen ) ergibt sich zu  $0,26 \times 10^{-3}$  ( sensible Fläche 12960 m<sup>2</sup> ), so daß als Trefferwahrscheinlichkeit

$0,8 \times 10^{-5} \times 0,26 \times 10^{-3} = 0,2 \times 10^{-8}$  zu errechnen ist.

Bei einer sensiblen Fläche von 20720 m<sup>2</sup> beträgt diese  $0,3 \times 10^{-8}$ .

In / 51 / wird ausgesagt, daß die Trefferwahrscheinlichkeit zu  $<< 10^{-8}$  errechnet wurde. Kopecek / 50 / gibt für die Abschätzung der Absturzwahrscheinlichkeit die Formel

$P_{nf} = C_1 N_1 A$  (  $P_{nf}$  = Probability of crash per year ,  $nf$  = near field ) an,  
mit :

$C_1$  Konstante, beschreibt die Anzahl der Unfälle in der U.S. - Zivilluftfahrt pro Quadratmeile und Bewegung / Jahr in einem kreisförmigen Bereich mit dem Radius von 1 Meile

$N_1$  Bewegungen pro Jahr auf dem betrachteten Flugplatz

A Fläche der Anlage in Quadratmeilen

Unter der Annahme, daß diese Formel auch für Zion verwendet wurde, resultieren die o.a. Unterschiede aus der Konstante  $C_1$ .

Damit wäre zu erklären, warum die Absturzwahrscheinlichkeit bei einer größeren Anzahl von Bewegungen zu  $10^{-6}$  bzw.  $5 \times 10^{-6}$  berechnet worden ist, also größer wird.

In der Zion Probabilistic Study ( aus / 51 / ) sind zum Flugzeugabsturz folgende Angaben enthalten: Das Containment wurde mit der Lastannahme eines Flugzeugtreffers  $< 30\ 000$  pounds berechnet. Die Abschätzung eines Flugzeugabsturzes erfolgte darum mit Startgewichten  $> 30\ 000$  p. Die sensible Anlagenfläche ( Containment, Ausrüstungen ) wurde zu 0,005 bis 0,008 sq. mi. bestimmt. Die spezifische Absturzhäufigkeit für Luftfahrzeuge  $> 30\ 000$  pounds wurde zu  $0,68 \times 10^{-8}$  pro Bewegung ermittelt. Die Wahrscheinlichkeit eines Direkttreffers beträgt im Mittel  $2,0 \times 10^{-7}$ . In dieser Studie ist interessant, daß hier die Anzahl der Bewegungen, nicht die geflogenen Kilometer, zur Risikoabschätzung herangezogen werden wie es sonst oftmals in amerikanischen Arbeiten üblich ist. Die jährliche Wahrscheinlichkeit, daß der Reaktor einen Treffer erhält, wurde zu  $<< 10^{-8}$  errechnet und daraufhin eingeschätzt, daß diese nicht wesentlich zur Erhöhung des Risikos beiträgt.

### 10.2.6 Seabrook Generating Station

Diese Anlage befindet sich nicht in der unmittelbaren Nähe eines Flugplatzes, so daß nur eine Abschätzung der Gefährdung durch tangierende Luftstraßen vorgenommen wurde. Die Berechnung ergab eine Trefferwahrscheinlichkeit zu  $3,4 \times 10^{-7}$  / a, das Verfahren der Abschätzung entspricht der Oconee - Studie ( aus / 51 / ).

### 10.2.7 Millstone Unit 3

Eine Abschätzung der Gefährdung der Anlage durch Flugzeugabstürze, ohne dabei die geografische Lage zu einem Flugplatz zu beschreiben, hatte folgendes Resultat :

Allgemeine Luftfahrt	- $1,5 \times 10^{-6}$ / a
Gewerblicher Luftverkehr	- $1,2 \times 10^{-7}$ / a
Militär. Luftverkehr	- $3,4 \times 10^{-9}$ / a

Es wurde eingeschätzt, daß Flugzeugabstürze infolge der gewerblichen Luftfahrt, zum Risiko einer Containmentzerstörung keinen nennenswerten Beitrag leisten ( aus / 51 / ).

### 10.2.8 Oconee

In der Umgebung der Anlage gibt es keinen Flugplatz der von Flugzeugen benutzt wird, die ein Startgewicht haben, das der Anlage gefährlich werden kann. Aus diesem Grund wurde nur der Luftleitlinienverkehr in der Nähe der Anlage untersucht.

Die Unfallrate der nichtgewerblichen Luftfahrt ist 50 mal höher als die der gewerblichen Luftfahrt. Weniger als 2 % aller privat zugelassenen LFZ haben ein MTOW > 12500 pounds.

Die Unfallwahrscheinlichkeit wurde zu  $7,6 \times 10^{-11}$  bis  $5,1 \times 10^{-10}$  pro geflogenem Kilometer ermittelt. Die mittlere Unfallrate pro geflogenem Kilometer ist  $2,0 \times 10^{-10}$ .

Die sensible Anlagenfläche wurde mit 0,01 sq. mi. festgelegt, die Absturzhäufigkeit wurde zu  $4,9 \times 10^{-10}$  / a bis  $1,3 \times 10^{-8}$  ermittelt, die mittlere Absturzhäufigkeit beträgt  $2,5 \times 10^{-9}$  / a.

Aufgrund dieser Wahrscheinlichkeitswerte ist die Gefahrenquelle Luftverkehr ( freier Luftverkehr und Luftstraßen ) als unerheblich ( aus / 51 / ) eingestuft worden.

### 10.2.9 Three Mile Island

Three Miles Island, gelegen im Susquehanna River, wurde zehn Meilen südöstlich von Harrisburg ( Pennsylvania ) und ca. 2,5 Meilen südöstlich des Olmstedt State Airport errichtet. Der Genehmigungsausschuß nahm wie folgt zu der Gefahr eines Flugzeugabsturzes Stellung : " The probability of an aircraft incident at the Three Mile Island Nuclear Power Station is projected to be extremely remote. " Diese Aussage wurde mit dem Hinweis auf eine statistische Analyse begründet, ohne jedoch einen konkreten Zahlenwert zu nennen ( aus / 73 / ).

Für die Anlage Three Mile Island Unit 2, wurde im Rahmen der Genehmigung darüberhinaus der Absturz eines Großraumflugzeuges mit bis zu 200 000 pounds maximaler Startmasse berechnet ( z.B. B 747 ). Der Antragsteller kam auf einen Wert von  $3 \times 10^{-9}$ , während der Genehmigungsausschuß weniger als  $10^{-7}$  errechnete. Dieses Ergebnis wurde akzeptiert. Hier wurde allerdings darauf hingewiesen, daß ein Wert von  $10^{-7}$  noch nicht automatisch zu einer Genehmigung führen muß. Diese Entscheidung muß vor dem Hintergrund der Schwere eines möglichen Ereignisses abgewogen werden. Zitat : " Mit der zunehmenden Anwendung der Probabilistik geht erstaunlicherweise auch die Verfestigung eines quantitativ - numerischen Sicherheitsstandards "  $10^{-7}$  realistisch und  $10^{-6}$  konservativ " einher. Eine sachliche Begründung für diesen Standard fehlt in den Entscheidungen. Es läßt sich nur feststellen, daß aufgrund der Akzeptanz dieser Werte in einigen Einzelfällen sich allmählich eine allgemeine Akzeptanz bildete. Die Anwendung der Probabilistik legt allerdings nahe, daß ein bestimmter Wahrscheinlichkeitswert festgemacht wird, da einfach die Notwendigkeit einer Grenzziehung besteht, wenn es nicht bei relativen Risikovergleichen verbleiben soll "( aus / 73 / ).

### 10.2.10 Shoreham

Shoreham befindet sich 7,5 km vom Pesonic River - Flugplatz entfernt, in der Nähe der Stadt Brookhaven, Long Island und etwa 4,5 Meilen entfernt vom Ende einer Startbahn des Calverton Airports.

Der Flugplatz ist zugelassen für DC - 8, Boeing 707, die den Platz zu 50 % nutzen, weitere 25 % der etwa 20 000 Bewegungen pro Jahr gehen auf das Konto der Grumman Aircraft Engineering Corporation, die diesen Flugplatz als Testflugplatz oder zum Einfliegen benutzt ( 10 - 25 t MTOW ). Der Genehmigungsausschuß befand, daß die flughafenspezifische Absturzwahrscheinlichkeit jenseits einer Entfernung von ca. 2 Meilen, gerechnet ab Startbahnschwelle, vernachlässigt werden kann ( aus / 73 / ).

### **10.2.11 Hartsville**

Bei den Hartsville Nuclear Plant Units 1A, 2A, 1B und 2B ging es um das von zwei Fluglinien verursachte Risiko ( aus / 73 / ). Die Anlage sollte im Abstand von 2 Meilen zu diesen Fluglinien errichtet werden. Auf der Grundlage von 85 Flugbewegungen pro Tag errechnete man eine durchschnittliche Trefferwahrscheinlichkeit ( die Quelle benutzt hier irrtümlicherweise die Bezeichnung Absturzwahrscheinlichkeit ) von  $7 \times 10^{-8}$  für die gesamte Anlage und für die Wahrscheinlichkeit eines Reaktortreffers  $4,2 \times 10^{-7}$ .

Auch hier wurde entschieden, daß die Wahrscheinlichkeit so gering sei, daß keine konstruktiven Veränderungen vorgenommen werden müssen.

### **10.2.12 Pickering Generating Station / Kanada**

Kurze Zeit nachdem das Atomkraftwerk Pickering am Ontariosee den Betrieb aufnahm, begann die Bundesregierung mit der Planung eines internationalen Flughafens in ca. 16 km Entfernung, nahe der Stadt Toronto. Obwohl in den Kriterien des AECB ( Atomic Energy Control Board ) seinerzeit keine bestimmten äußeren Gefahrenquellen benannt waren, wurde davon ausgegangen, daß das durch den Flugverkehr verursachte Risiko bzw. das akzeptable Risiko für die Bevölkerung ca.  $10^{-7}$  betragen sollte / 74 /. Eine vom AECB in Auftrag gegebene Studie wurde für schwere Verkehrsflugzeuge der Startgewichtsklasse A durchgeführt.

Für diese Luftfahrzeuge wurde eine spezifische Trefferwahrscheinlichkeit von  $10^{-4}$  / a in einem Abstand von ca. 32 km in gerader Verlängerung der Start - und Landebahn abgeschätzt , die in Rechnung gesetzte Zielfläche betrug  $0,31 \text{ km}^2$ .

## **10.3 Risikoaussagen in Risikoanalysen für Lageranlagen zur Lagerung von LPG und LNG**

Aufgrund des Seveso - Störfalles sind viele Arbeiten zur Risikoproblematik publiziert worden. Darüberhinaus gibt es eine Anzahl von Veröffentlichungen, die sich nicht nur der Risikoakzeptanz widmen, sondern auch die wirtschaftlichen Entscheidungsmechanismen und die " politischen Zwänge ", die bei der Standortentscheidung für derartige Anlagen eine Rolle spielen können, untersuchen. Diesen Abwägungsprozeß zwischen Risiko und Nutzen untersuchen Kunreuther und Linneroth / 58 /.

### 10.3.1 LNG - Terminal / Wilhelmshaven

Bei der Planung eines Importhafens für Flüssigerdgas bei Wilhelmshaven zum Zweck der Zwischenlagerung von Erdgas ( LNG ) hatte die Risikofrage zunächst nur eine untergeordnete Bedeutung. Primär war diese Standortwahl mit der Absicht, Arbeitsplätze in einer der wirtschaftlich schwächsten Gebiete Niedersachsens zu schaffen, begründet. Als entscheidender Risikofaktor wurde dabei der Transport des verflüssigten Erdgases in Spezialtankern angesehen. Die Ermittlung des Risikos bei Schiffszusammenstößen bzw. Aufgrundlaufen von LNG - Tankern und die Abschätzung der zu erwartenden Häufigkeiten durch Prof. Krappinger ( Leiter Hamburgische Schiffbauversuchsanstalt GmbH ), der Daten über vergangene Schiffsunfälle in der Jade und Schätzwerte für die Bruchhäufigkeit von LNG - Tanks zugrunde legte, ergab eine Wahrscheinlichkeit von  $10^{-3}$  pro Jahr ( 1978 ). Diese wurde von den Sachverständigen der Industrie und den Genehmigungsbehörden kritisiert und als zu hoch eingeschätzt. In der Endversion, in der auf Wunsch Modifikationen vorgenommen wurden, wurden dann niedrigere Wahrscheinlichkeiten ermittelt. Als weiterer Sachverständiger wurde Prof. Brötz herangezogen der zu dem Urteil kam, daß keine Gefahr im Sinne des Bundesimmissionsschutzgesetzes besteht, wenn zusätzliche Sicherheitsauflagen berücksichtigt werden. Die Wasser - und Schifffahrtsdirektion ( WSD ) als Genehmigungsbehörde lehnte es trotz dieser Gutachten ab, einer Bewilligung der LNG - Anlagen zuzustimmen. Ursache dafür waren gegensätzliche Auffassungen in den Expertengutachten hinsichtlich grundlegender Annahmen sowie der Risikobewertung. Schließlich kam eine durch den BMV initiierte Arbeitsgruppe zu dem Schluß, daß ein Restrisiko existiert, dieses jedoch als annehmbar zu bezeichnen sei, " wenn die staatlichen Behörden unter Berücksichtigung des politischen und wirtschaftlichen Nutzens des vorgeschlagenen Projektes dafür die Verantwortung übernehmen." Diese Ansicht wurde vom Bundesminister für Verkehr vertreten und führte zum positiven Abschluß des Planfeststellungsverfahrens. Aus diesem Beispiel wird deutlich, daß die quantitative Ermittlung des Restrisikos offenbar dann nicht notwendig ist, wenn sich jemand findet, der den Nutzen eines Risikos höher bewertet als den Schaden und dieses durch eine Stellungnahme auf " hoher Ebene " zum Ausdruck bringt.

### 10.3.2 LNG - Terminal Rotterdam / Eemshaven

Ein TNO - Bericht von 1976 untersuchte die Risiken eines LNG - Anlandehafens bei Maasvlakte, ein Bericht von 1978 beschäftigte sich mit dem Terminal bei Eemshaven. Darüberhinaus gab es keine weiteren Untersuchungen. Das Endergebnis des Entscheidungsprozesses war von politischen Überlegungen ( Sicherung der nationalen Energiepolitik ) und nicht durch Sicherheitsbedenken geprägt.



Man ging davon aus, daß der Nutzen die eingegangenen Risiken rechtfertigen würde und daß die Akzeptanz am Standort Eemshaven vorhanden sei. Im Einzelnen kam man zu folgenden Ergebnissen:

	Maasvlakte	Eemshaven
Wahrscheinlichkeit eines größeren Unfalls	$3 \times 10^{-7}$	$10^{-7}$
erhöhtes tödliches Individualrisiko	$3 \times 10^{-6}$	$< 3 \times 10^{-7}$

### 10.3.3 Mossmorran - Braefoot Bay / Schottland

Hier ging es um die Errichtung von Flüssigenergiegas ( LEG ) - Anlagen an einem speziellen Standort, der vor allen Dingen aus geografischen Gegebenheiten ( kürzeste Lage zum Brenter Öl - und Gasfeld in der Nordsee ) gewählt worden war. Sollte die Prüfung dieses Standortes negativ ausfallen, so würde in einem unabhängigen Verfahren ein neuer Standort untersucht werden. Fragen der Risikominimierung, das unbedingte Festhalten an einen Standort, wurden somit von vornherein ausgeschaltet. Die Prüfung des Standortes Braefoot Bay führte zum Konsens zwischen allen Beteiligten, daß eine Gefahrenwahrscheinlichkeit von  $10^{-6}$  akzeptabel und ein nützlicher Maßstab für die Zumutbarkeit eines Risikos sei.

### 10.3.4 Kalifornien - Point Conception, Oxnard, Los Angeles

Ende der sechziger Jahre, als Energieprognosen in den USA zu einem ansteigenden Bedarf, bei gleichzeitigem Rückgang heimischer Gasvorräte, ausgingen, wurde nach neuen Versorgungsmöglichkeiten gesucht. Dazu sollten drei LNG - Anlandehäfen in Kalifornien, in denen Flüssigerdgas aus Alaska bzw. Indonesien umgeschlagen werden sollten, errichtet werden. Da sich die dazu notwendigen Bewilligungsanträge ca. 10 Jahre hinzogen und sich zwischenzeitlich die Energiesituation entspannte, wurden die Anlagen nicht errichtet. Im Verlauf der Diskussion wurden von den kommunalen, staatlichen und nationalen Stellen sechs Untersuchungen zur Ermittlung der Sicherheitsrisiken des jeweiligen Anlagenstandortes durchgeführt. Interessant ist hier, daß neben den anlageninternen Risiken ( z.B. Freisetzung und Zündung einer Gaswolke, Aufgrundlaufen eines Tankers ) auch umgebungsbedingte Risiken untersucht worden sind. So schätzte die Beraterfirma Science Applications Inc. für den Standort Point Conception die Wahrscheinlichkeit eines Flugzeug - oder Raketenabsturzes, der eine Freisetzung pro Jahr verursacht zu  $4 \times 10^{-7}$ , die eines Meteoritentreffers zu  $3,3 \times 10^{-13} / \text{m}^2 \text{ a ein}$ .

Die LNG Terminal Risk Assessment Study für Oxnard ( aus / 50 / ), die den Flughafen Ventura County Airport in Oxnard / Kalifornien untersucht, kommt unter Verwendung der Formel

$P_{nf} = C_1 N_1 A$  ( Kapitel 10.2.5 ) zu folgendem Ergebnis :

$$C_1 = 1,4 \times 10^{-9} \text{ ( gewerblicher Luftverkehr )} \quad C_1 = 1,1 \times 10^{-8} \text{ ( nicht gewerblicher Luftverkehr )}$$

$$N_1 = 16\,665 / a$$

$$N_1 = 210\,134 / a$$

$$A = 0,01 \text{ sq.mi}$$

$$A = 0,01 \text{ sq.mi}$$

$$P_{nf} = 2,3 \times 10^{-7}$$

$$P_{nf} = 2,3 \times 10^{-5}$$

Die jährliche Absturzwahrscheinlichkeit auf eine Fläche von 0,01 sq mi. wurde zu  $2,3 \times 10^{-6}$  abgeschätzt. Der Quelle ist nicht zu entnehmen, wie dieser Wert berechnet wurde.

### 10.3.5 Canvey Island

Das Health and Safety Executive untersuchte in dieser Studie / 75 / zivile, starrflügelige Luftfahrzeuge. Helikopter, die z.B. Inspektionsflüge entlang der Pipelines vornehmen, wurden nicht berücksichtigt. Der Abstand zum nächsten Flughafen, Southend, beträgt ca. 5 nautische Meilen.

Es wurden drei Kategorien von Luftfahrzeugen untersucht :

	A	B	C
Startgewicht	< 2300 kg	2300 - 5700 kg	> 5700 kg

Trefferwahrscheinlichkeit

$$1,7 \times 10^{-5} - 8,9 \times 10^{-8} \quad \left| \quad 2,6 \times 10^{-7} - 6,9 \times 10^{-9} \quad \right| \quad 2,6 \times 10^{-7} - 6,9 \times 10^{-9}$$

Die Studie erklärt zusammenfassend, daß die Trefferwahrscheinlichkeit für alle in der Region vorhandenen Lagertanks durch alle Typen von Luftfahrzeugen kleiner als  $3,0 \times 10^{-6}$  angenommen werden kann.

Spezielle Untersuchungsmethoden wurden nicht dargestellt. In den Sicherheitszielsetzungen des British Civil Airworthiness Paper No. 670, Issue 1, vom 3. September 1976 wird jedoch eine Inbeziehungssetzung der Eintrittswahrscheinlichkeit zu seiner Schwere vorgenommen, d.h. die Risikoformel : Eintrittswahrscheinlichkeit x Konsequenz, wird quantifiziert.

So soll ein Fehler, der zu einer Katastrophe eskalieren kann ( Zerstörung des Flugzeugs, zahlreiche Todesopfer ) als äußerst unwahrscheinlich eingestuft werden können ( extremely improbable ). In einem Zahlenwert ausgedrückt, muß die Eintrittswahrscheinlichkeit unter  $10^{-9}$  pro Bewegung liegen ( aus / 73 / ).

Dieser Wert der Eintrittswahrscheinlichkeit ist als das Produkt zweier Wahrscheinlichkeiten, der spezifischen Absturzhäufigkeit und der Trefferwahrscheinlichkeit, aufzufassen.

### 10.3.6 Flüssiggas - Terminal Emden

Der TÜV Norddeutschland / 76 / untersuchte die Gefährdung des Flüssiggaslagers der Flüssiggas - Terminal Emden GmbH durch den Luftverkehr. Das Lager liegt ca. 5700 m von der Bahnschwelle des Flugplatzes Emden entfernt. Der seitliche Abstand von der verlängerten Mittellinie der Startbahn beträgt ca. 1200 bis 1300 m, so daß sich ein Winkelabstand von ca. 10 Grad ergibt. Als Trefferfläche wurde die Grundfläche des Tankfeldes und die umgebende Schattenfläche, die die unterschiedlichen Absturzwinkel der Luftfahrzeuge berücksichtigen soll, angenommen. Zur Ermittlung der Absturzhäufigkeit wurden Absturzereignisse aus 4 Jahren, die auf 312 Flugplätzen registriert worden sind, herangezogen.

Mit einer Trefferfläche von  $19879 \text{ m}^2$  wurde die Trefferwahrscheinlichkeit zu  $T_{\text{ZD}} = 1,58 \times 10^{-10} \times 19879 = 3,14 \times 10^{-6} / \text{a.}$  errechnet. Zu dieser wurden noch verschiedene Trefferwahrscheinlichkeiten aus dem freien Flugverkehr und dem militärischen Flugverkehr addiert, so daß sich eine resultierende Trefferwahrscheinlichkeit zu  $1,0 \times 10^{-5}$  ergibt. Die Autoren verweisen darauf, daß die Akzeptanzbeurteilung nicht in ihrem Aufgabenbereich liegt. Sie verweisen auf den Vergleich mit relativen Häufigkeiten für einen Todesfall, auf die Sterbewahrscheinlichkeit in verschiedenen Altersklassen und auf die Unfallstatistiken. Diese lagen zum damaligen Zeitpunkt zwischen  $0,22 \times 10^{-3}$  und  $8,3 \times 10^{-6}$ .

Ein Vergleich dieser 5 Risikountersuchungen aus 4 Ländern führt zu folgenden Erkenntnissen:

- a ) Die umgebungsbedingten Gefahrenquellen, die zu den größten Austrittsmengen führen können, sind der Bruch von Lagertanks infolge Sturm, Flugzeug - oder Raketenabsturz, Meteoritentreffer, Erdbeben und Unfälle in der Umgebung.
- b ) Die Risikoabschätzung sollte mit Hilfe historischer Daten erfolgen.
- c ) Bezüglich der Standortfrage sollte ein Vergleich mit Risiken von Alternativstandorten vorgenommen werden.
- d ) Ein Vergleich von Risikountersuchungen untereinander ist nur dann sinnvoll, wenn die Annahmen bzw. die Berechnungsmethoden übereinstimmen.

## 10.4 Die Bewertung von natürlichen Risiken in Risikoanalysen

### 10.4.1 Tornados

Die Gefährdung bzw. Belastung durch eine natürliche Risikoquelle, z. B. durch einen Tornado, wird oftmals der Gefährdung infolge eines Flugzeugabsturzes gleichgesetzt / 55 /.

Kopecek referierte auf der Tenth International System Safety Conference 1991 in Dallas / 50 / über die Tornadogefährdung im Raum Los Angeles.

Er vertrat die Auffassung, daß Tornados nur ein geringes Risiko darstellen. Kalifornien ist in die Tornado - Kategorie II eingestuft, d.h. die max. Geschwindigkeit beträgt 300 mph, davon 240 mph Rotationsgeschwindigkeit und 60 mph Translationsgeschwindigkeit.

Der Unterdruck im Wirbel beträgt ca. 2,25 psi ( 0,155 bar ). Kopecek vertrat die Meinung, daß Lagertanks und Ausrüstungsteile diesem Druckunterschied leicht widerstehen könnten, über den durch Tornados verursachten Trümmerflug jedoch Zweifel bestünden.

Die Wahrscheinlichkeit eines Tornadoschadens wurde in diesem Gebiet zu  $6,5 \times 10^{-6}$  abgeschätzt. McCormick / 67 / berichtete, daß Druckunterschiede von 0,21 bar innerhalb von 3 Sekunden gemessen worden sind.

Die Auslegung von Gebäuden und Anlagen erfolgt nach dem sogenannten " design basis tornado " ( 360 mph ). Weniger als 1 % aller Tornados erreichen überhaupt diese Stärke, die Wahrscheinlichkeit beträgt  $< 5 \times 10^{-6}$ .

In der Zion Probabilistic Safety Study ( aus / 51 / ) wurde die jährliche Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Tornados, der ein bestimmtes Maß überschreitet abgeschätzt zu :

$$P ( V ) = \lambda ( V_d / V )^{1/k} \times R'( V )$$

mit :

$\lambda$  = Anzahl der jährlich beobachteten Tornados pro sq.mi.,

$V_d$  = Sturmgeschwindigkeit,

$k$  = 0,5 bis 1,6 ; als ein Parameter der die Sturmstärke beschreibt  
( meist mit 1,6 angenommen )

$R'( V ) = 17,4 \times \exp ( - 0,014 v )$  für  $v \geq 290$  mph

Für das Kernkraftwerk in Zion, mit  $\lambda = 1,0 \times 10^{-3}$ ,  $V_d = 40$  mph und  $v = 360$  mph wurde für  $P ( V ) = 2,8 \times 10^{-5} / a$  ermittelt.

Die Wahrscheinlichkeit, daß ein Tornado Umschließungen des Zion - KKW beschädigen kann, ist mit  $2 \times 10^{-6} / a$  beziffert worden.

Die Wahrscheinlichkeit einer Zerstörung wurde mit  $10^{-8} / a$  angegeben.

Für die Limerick Generating Station wurde die jährliche Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Schadens infolge einer Tornadobelastung ebenfalls als gering eingeschätzt.

In den USA werden Tornados in zwei Kategorien eingestuft, der sogenannte Design basis tornado ( DBT ), und Tornados, die diese Windgeschwindigkeit übertreffen.

Die jährliche Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines DBT wurde zu  $2 \times 10^{-5}$  abgeschätzt ( Translationswindgeschwindigkeit um 90 mph ). Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Tornados mit Windgeschwindigkeiten  $> 300$  mph wurde mit  $10^{-7}$  angegeben. Diese Wahrscheinlichkeit ist als unbedeutend eingestuft worden.

Für die Millstone Unit 3 ist die Häufigkeit des Überschreitens der design basis tornado - Windgeschwindigkeit von 360 mph zu  $5,4 \times 10^{-6}$  / a ermittelt worden. Es wurde eingeschätzt, daß diese Tornado - Bedrohung keine Erhöhung des Anlagenrisikos darstellt.

Nach den Untersuchungen von Twisdale und Dunn ( 1981, zitiert in / 51 / ) ist die Wahrscheinlichkeit eines Equipment - bedrohenden Tornados kleiner als  $10^{-6}$  / a.

Für den Standort Oconee wurde eingeschätzt, daß nur Tornados mit einer Windgeschwindigkeit  $> 150$  mph der Anlage gefährlich werden können. Im Zeitraum von 1950 - 1980 wurden in einem Umkreis von 50 nautischen Meilen 10 Tornados mit einer größeren Geschwindigkeit beobachtet. Die jährliche Häufigkeit eines gefährlichen Tornados wurde zu  $3,5 \times 10^{-5}$  abgeschätzt, die Wahrscheinlichkeit eines Containment - beschädigenden Tornados wurde mit  $1,3 \times 10^{-5}$  angegeben.

#### 10.4.2 Erdbeben

Hall, Phillips und Peckover / 77 / beschreiben die Erdbebensituation in Großbritannien. Sie stellen fest, daß auch seismisch passive Regionen, wie z.B. die britische Insel, nicht gänzlich frei von Erdbeben sind. Seit 900 n Chr. sind über 1600 Erdbeben gezählt worden. Die Verteilung ist verhältnismäßig gleichmäßig.

Es werden 3 Arten von Erdbeben unterschieden:

Das Design Basis Earthquake ( DBE ), das Operating Basis Earthquake ( OBE ) - d.h. das Auslegungserdbeben, dem die Anlage standhalten muß, und das Safe Shutdown Earthquake ( SSE ) - das Erdbeben, daß die Anlage noch ertragen kann um sie nach diesem Erdbeben noch in einen sicheren Zustand überführen zu können. Die SSE - Perioden betragen  $10^4$  ( Großbritannien, Asien ) bzw.  $10^5$  ( Schweden ). Die jährliche Versagenswahrscheinlichkeit in einem KKW durch Erdbeben wird zu  $< 10^{-7}$  bis  $< 10^{-5}$  eingeschätzt.

### 10.4.3 Meteoriten

Die Wahrscheinlichkeit, daß das Leben generell auf der Erde nachhaltig geschädigt oder gar ausgelöscht wird, ist sehr gering / 78 /. Dazu wäre eine Asteroid oder ein Komet mit einem Durchmesser von ca. 0,4 bis 5 km, der eine Energie von  $1,5 \times 10^4$  bzw.  $10^7$  Megatonnen TNT - Äquivalent freisetzt, notwendig. Fachleute gehen davon aus, daß alle  $10^4$  bis  $10^6$  Jahre eine erhöhte Meteoritengefahr besteht.

Die Wahrscheinlichkeit eines Treffers durch kleinere Objekte, wie etwa der am 30. Juni 1908 über Ostsibirien niedergegangene Tunguska - Meteorit, wird mit  $6,7 \times 10^{-3}$  bis  $1,7 \times 10^{-3}$  angenommen, d.h. mit einem derartigen Ereignis muß einmal zwischen 150 und 600 Jahren gerechnet werden / 79 /.

Die Periodizität dieser Gefährung erklärt sich aus der Meteoritentheorie ( / 80 / : Oort'sche Wolke, Kuiper - Gürtel ).

Diese Meteoriten setzen Energien von ca. 10 - 20 Mt TNT - Äquivalent frei ( Hiroshima : 0,015 Mt ). Aus diesem Grund ist das Restrisiko nur schwer mit den Schäden durch diese Himmelskörper beschreibbar.

Dies mag der Anlaß dafür sein, Initiativen zur Früherkennung derartiger Himmelskörper verstärkt voranzutreiben ( / 80 / : Projekt Spacewatch ). Eine größere Bedrohung stellen momentan vielmehr die schlecht zu ortenden Kleinmeteorite dar. Unter der Annahme, daß an allen Stellen der Erde die Wahrscheinlichkeit eines Meteoritentreffers gleich groß ist, schätzen Fachleute die Fallrate zu ca.  $5 \times 10^{-5}$  Meteorite / a  $\text{km}^2$  ein / 81 /.

Daraus errechnet sich für die gesamte Erdoberfläche eine Anzahl von über 25000 Meteoritentreffern pro Jahr. Eine andere Quelle / 82 / beziffert die Anzahl der jährlichen Treffer auf über 10000. Daraus errechnet sich eine Fallrate von  $2 \times 10^{-5}$  / a  $\text{km}^2$ .

Wird in Rechnung gestellt, daß ein Meteorit der die Erdoberfläche erreichen und einen Schaden verursachen kann ein bestimmtes Mindestgewicht aufweisen muß, ist die Annahme einer noch geringeren Trefferanzahl gerechtfertigt ( nach Hawkins, zitiert in / 50 / ). Nach Blake ( ebenfalls zitiert in / 50 / ) erreichen in jedem Jahr ca. 3500 Meteoriten mit einem Gewicht von bis zu ca. 1 pound ( ca. 0,45 kg ) die Erdoberfläche (  $5,101 \times 10^8 \text{ km}^2$  ). Blake gibt eine Formel an, mit der die Wahrscheinlichkeit eines Meteoritentreffers auf ein unbestimmtes Gebiet auf der Erdoberfläche abgeschätzt werden kann :

$$P = 1 - (1 - F)^N$$

mit:

N = Anzahl der Treffer pro Jahr in einem bestimmten geografischen Bereich

F = Verhältnis: Sensible Fläche / betrachteter geografischer Bereich

Werden die o.g. 3500 Meteoritentreffer auf die Fläche der USA von  $9,37 \times 10^6 \text{ km}^2$  umgerechnet ergibt sich, daß dieser geografische Bereich jährlich ca. 64 Meteoritentreffer erhält.

Für eine sensible Anlagenfläche von 0,01 sq. mi. ( ca.  $25900 \text{ m}^2$  ), wie sie in vielen Risikoabschätzungen in den USA verwendet wird ( z.B. Oconee, Oxnard ), und unter der Annahme von 64 Treffern kann somit die Wahrscheinlichkeit eines Meteoritentreffers zu  $1,8 \times 10^{-13} / \text{a m}^2$  abgeschätzt werden.

In Kapitel 10.3.4 wurde eine derartige Trefferwahrscheinlichkeit mit  $3,3 \times 10^{-13} / \text{a m}^2$  zitiert.

## 10.5 Akzeptanzkriterien hinsichtlich des Flugzeugabsturzes in Europa und den USA

### 10.5.1 Europa

Die Akzeptanzkriterien in den Niederlanden / 83 / sind in Tabelle 36 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 36 : Akzeptanzkriterien in den Niederlanden

	Akzeptables Risiko für bestehende Anlagen	Akzeptables Risiko für neu zu errichtende Anlagen
Individuelles Risiko	$10^{-5} / \text{a}$	$10^{-6} / \text{a}$
Gesellschaftliches Risiko	$10^{-3} / \text{N}^2$	$10^{-3} / \text{N}^2$
N = Negligible Risk ( Restrisiko )	so gering wie praktisch erreichbar	so gering wie praktisch erreichbar

Interessant ist, daß das individuelle Risiko, verursacht durch neu zu errichtende Anlagen, um eine Zehnerpotenz geringer sein soll, als für bestehende Anlagen. Interpretationsfähig ist die Quantifizierung des Restrisikos.

Wird das Restrisiko mit  $10^{-6}$  angenommen, in Anlehnung an den " soziologischen Schwellenwert ", dann errechnet sich das gesellschaftliche Risiko nach der in Tabelle 36 angeführten Abhängigkeit zu  $10^{-9} / \text{a}$ .

Die praktische Umsetzung der o.g. Kriterien bei der Raumplanung in der Umgebung des internationalen Verkehrsflughafen Amsterdam ( Schiphol ) führte zu den Festlegungen, daß innerhalb einer Risikozone von:

$5 \times 10^{-5}$  : Neubauten nicht erlaubt und bestehende Bauten abgerissen werden,

$10^{-5}$  : Neubauten nicht erlaubt werden, bestehende Bauten Bestandsschutz haben, und durch Neubauten ersetzt werden dürfen,

$10^{-6}$  : Neubauten unter Vorbehalt errichtet werden können, jedoch das gesellschaftliche Risiko in die Überlegungen miteinzubeziehen ist.

In Großbritannien wird auch eine probabilistische Herangehensweise bevorzugt, wobei folgende Zoneneinteilung geläufig ist:

Innere Zone	Mittlere Zone	Äußere Zone
$10^{-5} / a$	$10^{-6} / a$	$3 \times 10^{-7} / a$

Die Entscheidung, welche Zoneneinteilung zugrunde gelegt wird hängt von der Art der Anlage ab ( Toxizität, Explosionsgefahr, Feuerballdurchmesser usw. )

Das HSE ( Health and Safety Executive ) gibt für die Raumplanung innerhalb der o.g. Zonen die in Tabelle 37 beschriebenen Empfehlungen.

Tabelle 37 : Raumplanung in Gefährdungszonen in Großbritannien

Kategorie	Beschreibung	Innere Zone	Mittlere Zone	Äußere Zone
A	Wohnhäuser, Hotels, Ferienkomplexe	nein	u.U. / nein	ja
B	Gewerbegebiete mit weniger als 100 Angestellten, Parkflächen usw.	ja	ja	ja
C	Märkte, Freizeitparks	u.U. / nein	u.U. / nein	ja
D	sensible Objekte, Schulen, Krankenhäuser usw.	nein	u.U. / nein	u.U. / nein

In Frankreich wird das Eintrittshäufigkeitskriterium von  $< 10^{-6} / a$  angewendet.

Bezüglich des Flugzeugabsturzes gilt :

Ist die jährliche Absturzhäufigkeit für

kleine Flugzeuge (  $< 5,7 t$  )

große Zivilflugzeuge

Militärflugzeuge

$> 10^{-6}$

$< 10^{-8}$

$< 10^{-7}$

bezogen auf
-------------

$10^4 m^2$

$2,5 \times 10^4 m^2$

$1,5 \times 10^4 m^2$



so erfolgt nur eine Auslegung gegen die Folgen des Flugzeugabsturzes von Luftfahrzeugen mit einem maximalen Startgewicht  $< 5,7 \text{ t} / 10 /$ .

In Deutschland sind in den Vorschriften für Lageranlagen, die der Störfall - Verordnung unterliegen, keine Akzeptanzkriterien formuliert. Es existiert lediglich die Abstandsregelung der 2. StörfallVwV die jedoch nur festlegt, bei welcher geografischen Lage der Anlage zum Flugplatz Risikoabschätzungen vorzunehmen sind.

Im Kernenergiebereich wird für Einwirkungen mit sehr geringer Eintrittshäufigkeit ( ca.  $10^{-5} / \text{a}$  bis  $10^{-7} / \text{a}$  ) von einer Zuordnung zu den Auslegungsstörfällen im Sinne der Strahlenschutzverordnung abgesehen / 10 /.

Bei der Beurteilung des Flugzeugabsturzes gibt es in den europäischen Ländern keine einheitliche Betrachtungsweise. Viele Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft haben sich in dieser Frage bislang noch nicht geäußert / 83 /.

### 10.5.2 USA

In den USA werden quantitative Wahrscheinlichkeitsanalysen zur Gefahrenbeurteilung von äußeren Einwirkungen auf Kernenergieanlagen herangezogen.

Die NRC ( Nuclear Regulatory Commission ) sieht in unverbindlichen Richtlinien vor, daß eine Kernenergieanlage gegen das Ereignis Flugzeugabsturz ausgelegt werden muß, wenn als Folge die höchste zulässige Strahlenbelastung erreicht werden könnte, und diese Wahrscheinlichkeit größer als  $10^{-7}$  ist / 73 /.

Unter der Annahme, daß dieses Szenario nur durch einen Direkttreffer ausgelöst werden kann, ist mit  $10^{-7}$  eine akzeptable Trefferwahrscheinlichkeit bezeichnet.

### 10.5.3 Annahmen bei den Berechnungen

Auch die Art der Ermittlung des durch Flugzeugabstürze verursachten Risikos, d.h. die Berechnung der Trefferwahrscheinlichkeit, ist nicht einheitlich geregelt, so daß zunächst jede Abschätzung, der halbwegs plausible Annahmen zugrunde liegen, akzeptiert werden muß.

Balfanz, Hein und Wietfeldt / 44 / schlagen z.B. den folgenden Weg vor:

Die Trefferwahrscheinlichkeit wird definiert als das Produkt aus der spezifischen Absturzwahrscheinlichkeit und der Trefferfläche. Die Trefferfläche ist genau zu ermitteln und nicht pauschal anzunehmen.

Die spezifische jährliche Absturzhäufigkeit während der Start - und Landephase wird nach der Gleichung

$$h_{ZSL} = \frac{A_{SL}}{n \cdot z \cdot F_{SLi}} \cdot f_1 \cdot f_2 \quad [1/a \cdot m^2]$$

( ZSL = Zivil, Start - und Landephase )

ermittelt.

mit:

$f_1 = B_F / B^*$  = Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Anzahl der Flugbewegungen

$f_2 = B_S / 2 B_F$  = Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Benutzung einer Landebahn

$F_{SLi}$  = Bezugsfläche (i), in der die Absturzdichte gleichverteilt angenommen werden kann [  $m^2$  ]

$A_{SL}$  = Zahl der Abstürze im Beobachtungszeitraum im Nahbereich aller Flugplätze eines Landes auf der Bezugsfläche  $F_{SLi}$

$n$  = Beobachtungszeitraum in Jahren

$z$  = Zahl der Flugplätze, die zur Ermittlung von  $A_{SL}$  berücksichtigt wurden

$B_F$  = Zahl der Flugbewegungen je Jahr für den zu betrachtenden Flugplatz

$B^*$  = Durchschnittliche Zahl aller Flugbewegungen je Jahr, bezogen auf die Zahl  $z$  der zur Ermittlung von  $A_{SL}$  herangezogenen Flugplätze

$B_S$  = Zahl der Flugbewegungen je Jahr auf derjenigen Startbahn, in deren Einflugschneise das Trefferobjekt liegt

Es wird noch der Hinweis gegeben, daß zur Ermittlung des Korrekturfaktors  $f_2$  die Zahl der Flugbewegungen je Jahr und Startbahn  $B_S$  jeweils zu halbieren ist, da sich eine Flugbewegung immer aus Start und Landung zusammensetzt und in der Regel immer gegen den Wind gestartet und gelandet wird. Bei Flugplätzen mit einer Landebahn soll  $f_2$  daher stets 0,5 sein. Diese Formel verbindet durch ihre Struktur mehrere Flugplätze einer Region bzw. u.U. auch eines Landes. Dies kann so gewollt sein für den Fall, daß für den speziellen Standort keine statistischen Angaben vorliegen.

Die Berücksichtigung der verwendeten Startbahn in Flugrichtung des sensiblen Objektes ist kompliziert da darüber keine Angaben vom Flugplatzmanagement fixiert werden. Aufgrund der vorherrschenden Windrichtungen kann zwar grob eingeschätzt werden, daß der überwiegende Teil der Bewegungen über eine bestimmte Richtung erfolgt, eine detaillierte " Buchführung " wird jedoch nicht vorgenommen, jedenfalls nicht im Bereich der allgemeinen Luftfahrt. Auch sind in vielen Fällen Überflugverbote verhängen, die eindeutig festlegen, aus welcher Richtung der Flugbetrieb erfolgen darf, unabhängig von der Windrichtung. Die Berücksichtigung der Windrichtung spielte in den Pionierjahren der Luftfahrt noch eine überragende Rolle. Infolge der schwachen Flugmotore war es einfach notwendig, gegen den Wind zu starten. Daraus resultierte auch die kreisrunde Grundfläche der ersten Flugplätze ( z.B. Berlin - Tempelhof ) die es gestattete, das Luftfahrzeug aus jeder Startposition in den Wind zu drehen.

Die Anzahl der betrachteten Flugplätze ( z ), die in der o.a. Formel im Nenner zu finden ist, unterscheidet nicht die Art der Flugplätze. In Kapitel 9.1.1 wurde gezeigt, daß die Unfallhäufigkeit in den Start - und Einflugschneisen auch von der Länge der zur Verfügung stehenden Start - und Landebahnlängen abhängig ist. Es fehlt der Hinweis, welche Flugplatzarten als Einheit betrachtet werden können. Nach Balfanz, Hein und Wietfeldt / 44 / ist die Trefferwahrscheinlichkeit das Produkt aus der spezifischen Absturzhäufigkeit und der Trefferfläche. Die Trefferfläche wird jedoch in der Formel nicht berücksichtigt.

Diese Abschätzungsmethode erfordert einen immensen statistischen Aufwand und ist darum unhandlich.

Klingmüller und Bourgund / 84 / nehmen vereinfachend an, daß Flugzeugabstürze über dem gesamten Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gleich wahrscheinlich sind. Zur Abschätzung der Trefferwahrscheinlichkeit eines Kernkraftwerkes wird die folgende Formel verwendet :

$$P(F) = n \cdot a \cdot \frac{F_S}{F_B}$$

mit

n = Anzahl der Flugzeugabstürze des Gefährdungstyps über dem Gebiet der Bundesrepublik

a = Anzahl der Kernkraftwerke

F<sub>S</sub> = sensible Fläche eines Kernkraftwerkes [ km<sup>2</sup> ]

F<sub>B</sub> = Fläche der Bundesrepublik [ km<sup>2</sup> ].

Mit einem Zahlenbeispiel ergibt sich somit :

$$P(F) = 2 \times 20 \times \frac{0,002}{356945} = 2,24 \times 10^{-7}$$

Diese Formel hat, wenn überhaupt, nur Gültigkeit für den freien Flugverkehr. Dieser kann jedoch nicht als gleichverteilt angesehen werden. Die beispielhaft errechnete Trefferwahrscheinlichkeit von  $2,24 \times 10^{-7}$  für 20 Kernkraftwerke ist irreführend, da die Anzahl der Flugzeugabstürze aus dem freien Flugverkehr sehr viel höher ist, als angenommen. Für 1993, bei 47 Abstürzen ( Kap. 9.7 ), würde man als Trefferwahrscheinlichkeit den Wert  $0,53 \times 10^{-5}$ , bezogen auf 20 KKW erhalten. Diese liegt in der Größenordnung einer spezifischen Absturzhäufigkeit und wäre als Trefferwahrscheinlichkeit nicht akzeptabel.

Wird die o.g. Formel auf ein Kernkraftwerk bezogen, so ergibt sich bei 47 Abstürzen eine Trefferwahrscheinlichkeit von  $2,63 \times 10^{-7}$ . Diese liegt nunmehr in der Größenordnung der territorialen Trefferwahrscheinlichkeit in Flugplatznähe. Dies würde bedeuten, daß die Errichtung von Kernkraftwerken auch außerhalb der Start - und Einflugschneisen ein zu hohes Risiko darstellt und darum verworfen werden müßte.

In der Seabrook - Studie ( 1984 ) wird die Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes in ein bestimmtes Anlagenteil wie folgt abgeschätzt ( zitiert in / 51 / ):

$$f_k = \sum_i \sum_j N_{ij} \lambda_j d_j \frac{A_{kj}}{A_{pj}}$$

mit

$N_{ij}$  - Anzahl der Flugzeugbewegungen vom Typ j unter Nutzung der Start - und Landebahn i

$\lambda_j$  - Unfallrate eines LFZ des Typs j

$d_j$  - Zurückgelegter Flugweg des LFZ Typ j im Verhältnis zur Absturzdistanz

$A_{kj}$  - sensible Anlagenfläche

$A_{pj}$  - Fläche der Startschneise ( " where the aircraft may crash " )

Es wird in dieser Studie angenommen, daß in einem Bereich von  $180^\circ$  ( also die gesamte Start - bzw. Einflugschneise ) eine Gleichverteilung der Absturzwahrscheinlichkeit vorliegt. Diese Gleichung wird für jeden LFZ - Typ angewandt, nach folgendem Muster : einmotorig, mehrmotorig und kommerziell genutzte Luftfahrzeuge.

Die Formel aus der Seabrook - Studie für eine Trefferwahrscheinlichkeit berücksichtigt die Anzahl der Bewegungen, die Anzahl der Abstürze und das Flächenverhältnis der sensiblen Fläche zur Start - bzw. Einflugschneise. Außerdem werden die zurückgelegten Entfernungen ( $d_j$ ) berücksichtigt. Diese Art der Unfallstatistik ( crash rate per mile ) findet man in amerikanischen Statistiken oft. Sie ist vielleicht für den Flugplatznahbereich eines großen Flächenstaates angemessen, auf europäische Verhältnisse jedoch nicht übertragbar.

Viele Studien aus den USA belegen, daß 50 % aller Unfälle im 5 - Meilen - Bereich stattfinden, dies gilt sowohl für die Zivil - als auch für die Militärluftfahrt / 50 /.

Der 5 - Meilen - Bereich wird auch " Nah - Feld " bezeichnet. Außerhalb dieses Bereiches sind die Absturzereignisse wahllos verteilt. Kopecek / 50 / zitiert die folgende Formel, mit der die Absturzhäufigkeit im Nahbereich abgeschätzt werden kann :

$$P_{nf} = C_1 N_1 A$$

mit

$C_1$  - Konstante, beschreibt die Anzahl der Unfälle in der U.S. - Zivilluftfahrt pro Quadratmeile und Bewegung / Jahr in einem kreisförmigen Bereich mit dem Radius von 1 Meile

$N_1$  - Bewegungen pro Jahr auf dem betrachteten Flugplatz

$A$  - Fläche der Anlage in Quadratmeilen

Diese Formel scheint die plausibelsten Verknüpfungen zu verwenden. Wie allen vorangestellten Formeln gemeinsam, enthält aber auch diese keine Möglichkeit, die Winkelabweichung zu berücksichtigen.

## **10.6 Die akzeptable territoriale Trefferwahrscheinlichkeit in den Start - und Einflugschneisen**

In den vorangestellten Abschnitten wurden verschiedene Aussagen zum Freisetzungsrisko durch Unfälle, Naturereignisse und Flugzeugabstürze vorgestellt. Die Bandbreite des scheinbar tolerierten Risikos, verursacht durch einen Flugzeugabsturz, reicht von  $10^{-5}$  bis  $10^{-7}$ .

In Tabelle 38 sind die in den Veröffentlichungen gefundenen Wahrscheinlichkeitsaussagen zum Flugzeugabsturz dargestellt. Obwohl diese Aussagen aufgrund sehr verschiedener Annahmen und Berechnungsverfahren entstanden sind, ist zu erkennen, daß  $10^{-7}$  ein durchschnittlicher Wert ist, der als akzeptable Größe angesehen werden könnte.

Tabelle 38 : Vergleich von Wahrscheinlichkeitsaussagen zum Flugzeugabsturz

	Absturzhäufigkeit	Trefferfläche	Trefferwahrscheinlichkeit / Abstand zum Flugplatz
<b>Kernkraftwerke</b>			
Biblis B	$9 \times 10^{-7}$ bis $2 \times 10^{-11}$ für den freien Flugverkehr	10 000 m <sup>2</sup>	$< 10^{-7}$ ca. 12000 m
Unterweser		3 000 m <sup>2</sup>	$1,7 \times 10^{-8}$ , 9000 m
BASF - Mitte	$4,8 \times 10^{-3}$	1 000 m <sup>2</sup>	7000 und 11000 m
Philippsburg	$5,0 \times 10^{-7}$	10 000 m <sup>2</sup>	$5,0 \times 10^{-7}$ 6000 m
Zion	$0,7 \times 10^{-7}$ bzw. $9 \times 10^{-7}$	12 960 bzw. 20 720 m <sup>2</sup>	$0,8 \times 10^{-8}$ , $<< 10^{-8}$ 3,5 Meilen, ca. 5600 m
Seabrook	wurde bezogen auf tangierende Luftstraßen		$3,4 \times 10^{-7}$
Millstone Unit 3			$1,5 \times 10^{-6}$ - $1,2 \times 10^{-7}$
Oconee	$2,5 \times 10^{-9}$ für den Luftlinienleitverkehr	0,01 sq.mi. ~ 25 900 m <sup>2</sup>	
Three Mile Island Unit 2			$< 10^{-7}$ für Großraumflug - zeuge, 2,5 Meilen, ca. 4000 m
Shoreham	nach 2 Meilen ( 3200m ) kann diese vernachlässigt werden		4,5 Meilen, ca. 7200 m
Hartsville	$7 \times 10^{-8}$ für 3200 m Entfernung zum Luftlinienleitverkehr		$4,2 \times 10^{-7}$
Pickering		310 000 m <sup>2</sup>	$10^{-4}$ / 32 000 m
<b>Lageranlagen</b>			
Point Conception			$4 \times 10^{-7}$
Oxnard		0,01 sq.mi. ~ 25 900 m <sup>2</sup>	$2,3 \times 10^{-6}$
Canvey Island			$< 3,0 \times 10^{-6}$
Terminal Emden		19 879 m <sup>2</sup>	$1,0 \times 10^{-5}$ , 5700 m

Es ist nun zu prüfen, ob mit dieser Eintrittswahrscheinlichkeit das Restrisiko beschrieben werden kann. In der Definition des Bundesverfassungsgerichtes ( Kalkar - Urteil ), wird das Restrisiko als das verbleibende Risiko bezeichnet, das auf der Begrenztheit des menschlichen Erfassungsvermögens beruht und deshalb als sozial adäquate Last hinzunehmen ist / 85 /. Ein ständig präsenten natürliches Risiko, das über die gesamte Erdoberfläche als gleichverteilt angenommen werden kann, dem auszuweichen kaum möglich ist und somit am besten das sogen. Restrisiko beschreibt, stellt der Direkttreffer eines Objekts durch einen Meteoriten dar.

Unter der Annahme, daß jährlich 3500 Meteoriten die Erdoberfläche erreichen ( Kapitel 10.4.3 ) ergibt sich für die Bundesrepublik Deutschland, mit einer Fläche von  $0,356 \times 10^6$  km<sup>2</sup> ( alte Bundesländer ), eine jährliche Quote von  $N = 3$  Meteoritentreffern. Da die Bundesrepublik Deutschland eine hohe Besiedlungsdichte aufweist ist die Wahrscheinlichkeit einen Meteoriteneinschlag zu identifizieren, höher als in weniger besiedelten Regionen.

Eine Trefferquote von  $N = 3$  ist darum als außerordentlich hoch einzustufen. Der Realität näher scheint die Annahme zu sein, daß auf das Gebiet der Bundesrepublik nur etwa alle 5 Jahre ein Meteorit fällt / 86 /. Dabei ist jedoch zu beachten, daß die Wahrscheinlichkeit eines Meteoritentreffers mit der eines Flugzeugabsturzes auf eine Fläche von  $1745 \text{ m}^2$  verglichen werden soll.

Die beobachteten und dokumentierten Meteoriteneinschläge sind auf wenige Quadratmeter beschränkt ( Treibhausdach, Auto, Haus ) und stellen somit hinsichtlich der Konsequenz nur bedingt eine vergleichbare Belastung dar.

Aus diesem Grund scheint es trotzdem sinnvoll zu sein, mit der theoretischen Trefferquote von  $N = 3$  zu rechnen und als sensible Anlagenfläche die Trefferfläche von  $1745 \text{ m}^2$  ( $= 1,745 \times 10^{-3} \text{ km}^2$ ) anzunehmen. Nach der " Meteoritenformel " aus Kapitel 10.4.3 ergibt sich ein Flächenverhältnis  $F$  von  $0,5 \times 10^{-8}$  und die Wahrscheinlichkeit eines Meteoritentreffers zu  $P_{FR200} = 0,15 \times 10^{-7}$ .

Eine noch geringere Wahrscheinlichkeit ist unter diesen Belastungsannahmen nicht erreichbar. Aufgrund der Annahme einer hohen Trefferquote ( $N = 3$ ) sollte diese Trefferwahrscheinlichkeit als akzeptabel beurteilt werden.

Das akzeptable Risiko  $R_A$ , quantifiziert durch eine territoriale Trefferwahrscheinlichkeit  $P_{TT}$ , ist daher mit  $0,15 \times 10^{-7}$  anzunehmen. Da die spezifischen Trefferwahrscheinlichkeiten bekannt sind und sich die spezifischen Absturzhäufigkeiten in Abhängigkeit der jährlichen Bewegungen abschätzen lassen ( Kapitel 9.1.3 Bild 5 ), können somit Flächenbereiche ermittelt werden, auf denen die Trefferwahrscheinlichkeiten über dem Restrisiko liegen.

Nach Bild 5 in Kapitel 9.1.3 ist als höchste spezifische Absturzhäufigkeit  $5 \times 10^{-5}$  und als die geringste  $0,5 \times 10^{-5}$  anzunehmen.

In den Tabellen 39, 40 und 41 sind die territorialen Trefferwahrscheinlichkeiten unter Zugrundelegung einer spezifischen Absturzhäufigkeit  $P_{SA} = 0,5; 1,0$  und  $5,0 \times 10^{-5}$  aufgeführt.

Tabelle 39 : Territoriale Trefferwahrscheinlichkeit unter der Annahme  $P_{SA} = 0,5 \times 10^{-5}$

	Winkelklasse						
	37 - 24	23 - 21	20	19	18	17 - 15	14 - 1
kr	67,5°	15,0°	5,0°	5,0°	5,0°	15,0°	67,5°
1	1,0 - 7	3,3 - 7	1,1 - 6	1,0 - 6	1,2 - 6	4,3 - 7	1,1 - 7
2	2,5 - 8	8,8 - 8	2,9 - 7	2,7 - 7	3,0 - 7	1,1 - 7	2,6 - 8
3	1,1 - 8	4,3 - 8	1,4 - 7	1,3 - 7	1,4 - 7	4,8 - 8	1,1 - 8
4	5,5 - 9	2,5 - 8	7,5 - 8	7,4 - 8	7,5 - 8	2,5 - 8	5,5 - 9
5		1,5 - 8	4,5 - 8	4,5 - 8	4,5 - 8	1,5 - 8	
6			3,0 - 8	3,0 - 8	3,0 - 8		
7			1,9 - 9	2,0 - 8	1,8 - 8		
8			1,3 - 8	1,4 - 8	1,2 - 8		

$1,4 - 8 = 1,4 \times 10^{-8}$

Aus Tabelle 39 ( bzw. Bild 14 ) ist zu entnehmen, daß bei einer spezifischen Absturzhäufigkeit von  $0,5 \times 10^{-5}$ , d.h. bei ca. 10 000 Starts und Landungen pro Jahr, eine Fläche mit erhöhtem Risiko von 1600 m Länge, gerechnet ab Startbahnende, bzw. 600 m Breite, jeweils ab Startbahnmittellinie anzunehmen ist. Vergrößert sich die spezifische Absturzhäufigkeit, z.B. auf  $1,0 \times 10^{-5}$ , so ergibt sich eine parabelähnliche Fläche mit 2000 m Tiefe und je 800 m Breite.

Tabelle 40 : Territoriale Trefferwahrscheinlichkeit unter der Annahme  $P_{SA} = 1,0 \times 10^{-5}$

	Winkelklasse						
	37 - 24	23 - 21	20	19	18	17 - 15	14 - 1
kr	67,5°	15,0°	5,0°	5,0°	5,0°	15,0°	67,5°
1	2,1 - 7	6,6 - 7	2,3 - 6	2,1 - 6	2,4 - 6	8,6 - 7	2,2 - 7
2	0,5 - 7	1,8 - 7	5,9 - 7	5,4 - 7	6,0 - 7	2,1 - 7	0,5 - 7
3	0,2 - 7	0,9 - 7	2,7 - 7	2,6 - 7	2,8 - 7	1,0 - 7	0,2 - 7
4	0,1 - 7	0,5 - 7	1,5 - 7	1,5 - 7	1,5 - 7	0,5 - 7	0,1 - 7
5	0,6 - 8	0,3 - 7	0,9 - 7	0,9 - 7	0,9 - 7	0,3 - 7	0,6 - 8
6		0,2 - 7	0,6 - 7	0,6 - 7	0,6 - 7	0,2 - 7	
7		1,4 - 8	3,7 - 8	0,4 - 7	3,6 - 8	1,1 - 8	
8		0,9 - 8	2,5 - 8	2,7 - 8	2,4 - 8	0,7 - 8	
9			1,7 - 8	1,9 - 8	1,6 - 8		
10			1,2 - 8	1,4 - 8	1,1 - 8		
11			0,8 - 9	1,0 - 8	7,6 - 9		

Unter der Annahme von  $P_{SA} = 5 \times 10^{-5}$  ( d.h. bei ca. 2000 Bewegungen / a ) ergibt sich eine parabelähnliche Fläche von 3000 m Länge, gerechnet ab Bahnschwelle in Start - bzw. Landebahnrichtung und je 1400 m Breite neben der verlängerten Mittellinie der Start - und Landebahnen. Der Flächeninhalt beträgt ca.  $6,2 \text{ km}^2$ .



Tabelle 41 : Territoriale Trefferwahrscheinlichkeit unter der Annahme  $P_{SA} = 5,0 \times 10^{-5}$

	Winkelklasse						
	37 - 24	23 - 21	20	19	18	17 - 15	14 - 1
kr	67,5°	15,0°	5,0°	5,0°	5,0°	15,0°	67,5°
1	1,0 - 6	3,3 - 6	1,1 - 5	1,0 - 5	1,2 - 5	4,3 - 6	1,1 - 6
2	2,5 - 7	8,8 - 7	2,9 - 6	2,7 - 6	3,0 - 6	1,1 - 6	2,6 - 7
3	1,1 - 7	4,3 - 7	1,4 - 6	1,3 - 6	1,4 - 6	4,8 - 7	1,1 - 7
4	5,5 - 8	2,5 - 7	7,5 - 7	7,4 - 7	7,5 - 7	2,5 - 7	5,5 - 8
5	3,0 - 8	1,5 - 7	4,5 - 7	4,5 - 7	4,5 - 7	1,5 - 7	3,0 - 8
6	1,8 - 8	1,0 - 7	3,0 - 7	3,0 - 7	3,0 - 7	9,0 - 8	1,7 - 8
7	1,1 - 8	7,0 - 8	1,9 - 7	2,0 - 7	1,8 - 7	5,5 - 8	1,0 - 8
8		4,5 - 8	1,3 - 7	1,4 - 7	1,2 - 7	3,5 - 8	
9		3,5 - 8	8,5 - 8	9,5 - 8	8,0 - 8	2,5 - 8	
10		2,5 - 8	6,0 - 8	7,0 - 8	5,5 - 8	1,5 - 8	
11		1,8 - 8	4,0 - 8	5,0 - 8	3,8 - 8		
12		1,3 - 8	2,9 - 8	3,6 - 8	2,6 - 8		
13			2,0 - 8	2,6 - 8	1,9 - 8		
14			1,5 - 8	1,9 - 8	1,3 - 8		
15				1,4 - 8			
16				1,1 - 8			

Die nach den Tabellen 39 bis 41 ermittelten Flächen mit einer territorialen Trefferwahrscheinlichkeit, die über dem Restrisiko liegen, sind in Bild 14 zusammen dargestellt.

Es ist zu sehen, daß eine hohe Frequentierung nicht zu einer größeren Ausschlußfläche führen muß. Andererseits kann eine höhere Bewegungsrate nicht zu einer kleineren Vorsorgefläche führen. Als erhöhte Risikozone muß darum die Fläche ausgezeichnet werden, die mit der höchsten spezifischen Absturzhäufigkeit ermittelt wurde.

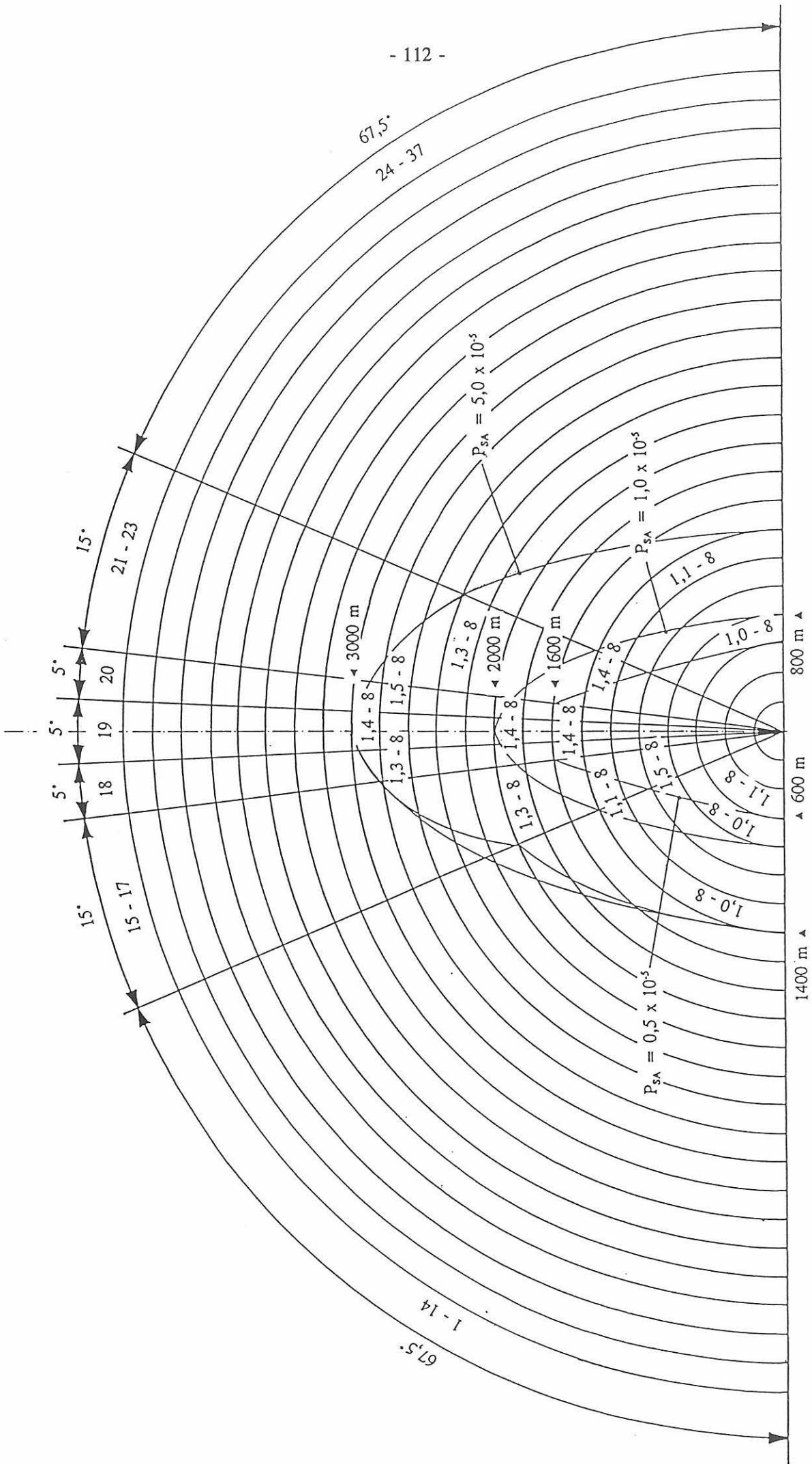


Bild 14 : Ausschlußfläche in der Verlängerung von Start - und Landebahnen

## 11 SCHLUSSBETRACHTUNG

In der "Richtlinie 96/82/EG des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen" / 87 / wird die Notwendigkeit einer derartigen Richtlinie u.a. damit begründet, daß eine Freisetzung von gefährlichen Stoffen eine nachhaltige Schädigung von Mensch und Umwelt hervorrufen kann. Sie fordert die Betreiber auf, Vorsorge zu treffen, damit die aus industrieller Tätigkeit in Verbindung mit umgebungsbedingten Gefahrenquellen entstehenden Risiken beherrschbar bleiben.

Besonders wichtig sind die Artikel 5 (1) bzw. 9 (1) sowie 12 (1) c, die zum einen die Betreiber auffordern, Maßnahmen zur Unfallverhütung zu veranlassen ( Artikel 5 ), indem sie u.a. einen Sicherheitsbericht zu erstellen haben ( Artikel 9 ), der auch die umgebungsbedingten Gefahrenquellen berücksichtigen muß und den Gesetzgeber auffordert, die Flächennutzungspolitik derart zu gestalten, daß ...." neue Entwicklungen in der Nachbarschaft bestehender Betriebe ..... wenn diese Ansiedlungen oder Maßnahmen das Risiko eines schweren Unfalls vergrößern oder die Folgen eines solchen Unfalls verschlimmern können " ( Artikel 12 ( 1 ) c ), ausgeschlossen sind.

Im Artikel 18 ( 3 ) wird der zuständigen Behörde das Recht eingeräumt, von einem Betreiber Auskünfte darüber einzuholen, die notwendig sind, "... damit die Behörde die Möglichkeit des Eintritts eines schweren Unfalls in voller Sachkenntnis beurteilen und die mögliche erhöhte Wahrscheinlichkeit und / oder die mögliche Vergrößerung der Folgen schwerer Unfälle ermitteln, einen externen Notfallplan erstellen und Stoffe, die aufgrund ihrer physikalischen Form, ihrer besonderen Merkmale oder ihres Standortes zusätzliche Vorkehrungen erfordern, berücksichtigen kann. "

Die Ausführungen nach Artikel 18 ( 3 ) bereiten den Betreibern als auch den zuständigen Behörden im konkreten Fall der flugplatznahen Standorte Schwierigkeiten, da die Vorgehensweisen zur Risikoermittlung auf individuellen Annahmen beruhen. Die erhöhte Unfallwahrscheinlichkeit in der Peripherie der umgebungsbedingten Gefahrenquelle "Flugplatz" ist ohne statistischen Beweis vermittelbar. Es ist auch mit Hilfe der praktischen Vernunft einzusehen, daß eine unmittelbare Ansiedlung eines Industriebetriebes in gerader Verlängerung des Start / Landebahnsystems mit einem untragbaren Risiko verbunden sein kann.

Aufgrund der in dieser Arbeit dokumentierten Erkenntnisse sind darum folgende Empfehlungen zu formulieren :

1. Das Risiko in den Start - und Einflugschneisen wird bestimmt durch die allgemeine Luftfahrt, durch Luftfahrzeuge von 2,0 bis 5,7 t Startgewicht.
2. Eine Unterscheidung zwischen Flughafen und Landeplatz zur Abschätzung einer Gefährdung durch die allgemeine Luftfahrt ist nicht erforderlich.
3. Zur Abschätzung einer Trefferwahrscheinlichkeit ist nicht die Größe des sensiblen Anlagenteils heranzuziehen, sondern die geografische Lage der gesamten Anlage zum System der Start - und Landebahnen.
4. Die Ermittlung der Trefferwahrscheinlichkeit eines Flächenelements in den Start - und Einflugschneisen ist mit Hilfe der Exponentialverteilung möglich.
5. Die akzeptable territoriale Trefferwahrscheinlichkeit beträgt  $1,5 \times 10^{-8}$ .
6. Innerhalb einer parabelähnlichen Fläche nach Bild 15, im direkten Anschluß an die Start - und Landebahnen, ist die Errichtung von Anlagen nach StörfallVO aufgrund des erhöhten Risikos nicht zu befürworten.

In Bild 15 sind die Flächen, die lt. 2.StörfallVwV / 16 / gesondert untersucht werden müssen und die Parabelfläche zusammen dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Trapezfläche in der Verlängerung von Landeplätzen mit einer Länge von 1500 m vollständig von der Parabelfläche eingeschlossen ist. Die Vorsorgefläche im Anschluß des Start - und Landebahnsystems von Flughäfen ist nach der Definition des Luftverkehrsgesetzes § 12 LuftVG / 17 / eine quadratische Sicherheitsfläche mit höchstens 1000 m Länge und einer Breite von 700 m zuzüglich der Breite der Start - und Landebahn ( i.a. 50 m ) und eine Trapezfläche, die sich mit einem Öffnungswinkel von jeweils  $15^\circ$  an diese Fläche anschließt. Diese Einflugschneise ist nach der 2.StörfallVwV auf einer Länge von 4000 m zu berücksichtigen, so daß sich die Höhe der zweiten Fläche zu 3000 m ergibt.

Aus der Darstellung Bild 15 geht hervor, daß die derzeitige Sicherheitsphilosophie, wie sie in der 2. StörfallVwV dargelegt ist, auf der Annahme beruht, daß sich alle Luftfahrzeuge nach dem Start und vor der Landung in Richtung der Start / Landebahnachse entfernen bzw. annähern.

Die Ausschlußfläche erweitert sich darum in gerader Verlängerung des Start - und Landebahnsystems trichterförmig und endet in 1500 bzw. 4000 m Entfernung.

Diese Festlegung kann jedoch nur für Luftfahrzeuge mit einem Startgewicht  $> 5,7$  t zutreffend sein. Für die leichteren Luftfahrzeuge der allgemeinen Luftfahrt, die überwiegend im Sichtflug operieren und für das Unfallgeschehen bestimmend sind, ist als Ausschlußfläche, im Sinne einer erhöhten Risikozone, eine parabelähnliche Fläche mit 3000 m Tiefe und 2800 m Breite ( Start - und Landebahn im Ursprung ) anzunehmen.

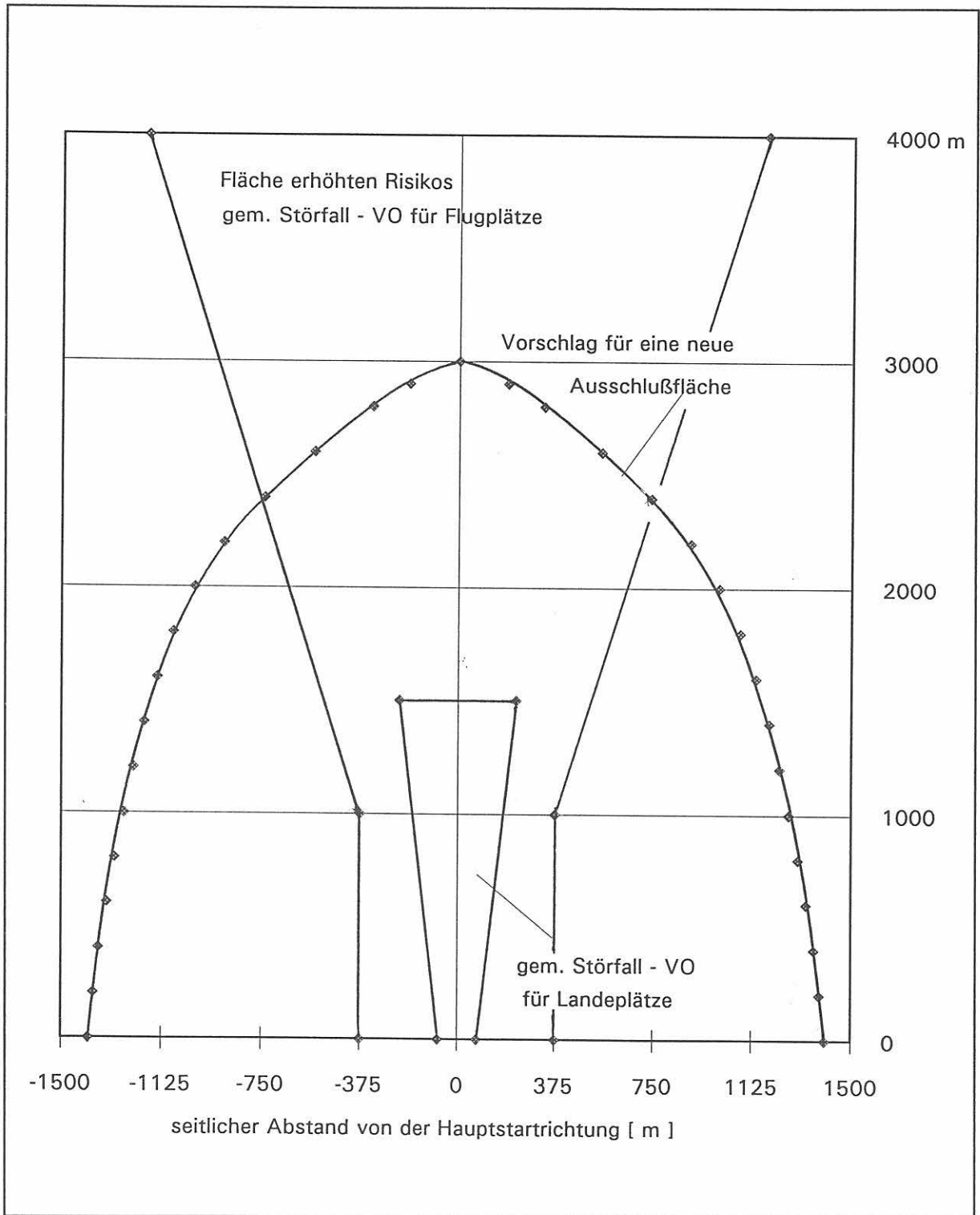


Bild 15 : Flächen erhöhten Risikos in den Start - und Einfugschneisen gem. Störfall - VO und nach eigenen Untersuchungen

## Literatur

- / 1 / Lammert, N.: Bericht zur Lage der deutschen Luft - und Raumfahrtindustrie, Bundesministerium für Wirtschaft, BMWi - Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn, 20. Februar 1996
- / 2 / Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes - Immissionsschutzgesetzes (Störfall -Verordnung - 12. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. Mai 1988 (BGBl. I S. 625)
- / 3 / Starr, C.: Social Benefit versus Technological Risk : What is our society willing to pay for safety ?, Science, Vol. 165, 19. September 1969, S.1232-1238
- / 4 / Fritzsche, A.F.: Wie sicher leben wir ? Risikobeurteilung und - bewältigung in unserer Gesellschaft, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1986
- / 5 / Kuhlmann, A.: 1. Weltkongreß für Sicherheitswissenschaft, Leben in Sicherheit, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln, 1990
- / 6 / Rowe, W. D.: Risiken seltener Ereignisse, in : Ermittlung und Bewertung industrieller Risiken, Hrsg.: S. Lange, Springer - Verlag , Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1984
- / 7 / DRS : Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke - Eine Untersuchung zu dem durch Störfälle in Kernkraftwerken verursachten Risikos, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1979
- / 8 / Kramer, U.: Flugsicherheit einmal anders gesehen, Luftfahrt - Bundesamt, Informationsschrift Nr. 22 / August 1993
- / 9 / Mauch, S. P., Schneider, T.: Die unmittelbare Gefährdung unseres Lebensraumes (Versuch eines quantitativen Begriffssystems), Schweizer Archiv, Vol.37, Juni 1971
- / 10 / Hauptmanns, U., Hertrich, M., Werner, W.: Technische Risiken, Ermittlung und Beurteilung, Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, 1987
- / 11 / Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) : Bekanntmachung der Neufassung des Bundesimmissionsschutzgesetzes vom 14. Mai 1990 (BGBl. I S.880), letztmalig geändert durch Gesetz vom 22. April 1993 (BGBl. I S. 466)
- / 12 / Schmatz, H., Nöthlichs, M.: Sicherheitstechnik, Bd. VIII - Rd - Nr. 10 025 und 10026 : Erläuterungen zum BImSchG, Erich Schmidt Verlag
- / 13 / Rohrmann, B.: Die Setzung von Grenzwerten als Risiko - Management, in : Risiko ist ein Konstrukt, Bayerische Rück, Knesebeck, München, 1993

- / 14 / Schön, G.: Grundlagen der Erfassung und Bewertung technischer Risiken, Vortrag VDE/VDI - Tagung, Seeheim, 18. - 19. Mai 1982
- / 15 / Hartwig, S.: "Wie sicher ist für uns sicher genug?", Kolloquium in der Bundesanstalt für Materialforschung und - prüfung (BAM), Berlin, 28. Oktober 1993
- / 16 / Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Störfall - Verordnung (2. Störfall VwV) vom 27. April 1982 (GMBI. S.205)
- / 17 / Luftverkehrsgesetz (LuftVG) vom 14. Januar 1981 (BGBl. I S. 61) ,C. H. Beck ´sche Verlagsbuchhandlung, München 1991
- / 19 / Statistisches Bundesamt Wiesbaden (Hrsg.) : Statistisches Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland, Fachserie 8 - Reihe 6, Luftverkehr, Metzler - Poeschel, Stuttgart
- / 18 / Mensen, H.: Moderne Flugsicherung, Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest, 1993
- / 20 / Hofmann, M., Grabherr, E.: Kommentar zum Luftverkehrsgesetz (LuftVG), Verlag C.H. Beck, München, 1992
- / 21 / Feinauer, D.: Sicherheit in der Kerntechnik, Technische Überwachung, Bd. 28 (1987) Nr. 7/8 - Juli/August, S. 284-288
- / 22 / Renn, O.: Wahrnehmung und Akzeptanz technischer Risiken, Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jül - Spez - 97 Bd. I, Januar 1981
- / 23 / Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland, Bundeszentrale für politische Bildung, Bonn, 1993
- / 24 / Luftverkehrs - Ordnung (LuftVO) in der Fassung vom 14.November 1969 (BGBl. I S. 2117, zuletzt geändert Mai 1995), C. H. Beck ´sche Verlagsbuchhandlung, München, 1991
- / 25 / Luftverkehrs - Zulassungs - Ordnung (LuftVZO) vom 13. März 1979 (BGBl. I S.308), C. H. Beck ´sche Verlagsbuchhandlung, München, 1991
- / 26 / Freie und Hansestadt Hamburg: Behörde für Inneres - Feuerwehr, Schreiben vom 21. September 1994 an Bundesanstalt für Materialforschung und - prüfung (BAM) zum Flugzeugabsturz in die Innenstadt am 17. Dezember 1992
- / 27 / Luftfahrt - Bundesamt : Behördliche Regelungen in der Deutschen Luftfahrt, Heft 7, Braunschweig, 1994

- / 28 / Internationale Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) : Flugplätze - Anhang 14 zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt, Montreal, Quebec, Kanada, übersetzt bei der Bundesanstalt für Flugsicherung, Frankfurt / Main, März 1983
- / 29 / Bundesanstalt für Flugsicherung (Hrsg.): Richtlinien für die Genehmigung der Anlage und des Betriebs von Landeplätzen für Flugzeuge, 25. September 1968, veröffentlicht in den Nachrichten für Luftfahrer, NfL I 278/68
- / 30 / Deutsche Flugsicherung GmbH : Luftfahrthandbuch Deutschland - VFR, Offenbach, 17. März 1994
- / 31 / Neufeldt, K.: "Was ist eigentlich allgemeine Luftfahrt ?", Luftfahrt - Bundesamt, Informationsschrift Nr. 21, 1993
- / 32 / Voigt, J.: Der Einfluß des Flughafen - Nahbereiches auf den Betrieb einer Luftverkehrsgesellschaft, Vortrag im Rahmen des DGLR/DGON - Symposiums "Fliegen im Flughafen - Nahbereich", Hamburg, 24. - 26. April 1979
- / 33 / Brüning, G., Hafer, X., Sachs, G.: Flugleistungen - Grundlagen, Flugzustände, Flugabschnitte - Aufgaben und Lösungen, Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, 1986
- / 34 / Busch, A. C., Colamosca, B.: Entscheidungsfindung für ein Flugsicherungssystem durch Abschätzung des Kollisionsrisikos unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, in : Große technische Gefahrenpotentiale, Risikoanalysen und Sicherheitsfragen, herausgegeben von S. Hartwig, Springer - Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1983
- / 35 / Maier, D.: Motorflug - Theorie und Praxis, F.A. Herbig Verlagsbuchhandlung GmbH, München, 1993
- / 36 / Deutsche Flugsicherung GmbH : Luftfahrthandbuch Deutschland - VFR, RAC 1 - 42: Überfliegen von Industrieanlagen hoher Gefahrenklasse und von Kernenergieanlagen, Offenbach, 2. September 1993
- / 37 / Raab, G.: Sicherheitsanalysen aus der Sicht der Behörden, VDI - Seminar 48-12-02, Stuttgart, 25. - 26. Oktober 1994
- / 38 / Technische Werke der Stadt Stuttgart AG (TWS) : Informationsgespräch über den Luftverkehr in der Nähe von Flüssiggaslageranlagen, Mai 1992
- / 39 / Luftfahrt - Bundesamt : Flugunfalljahresberichte 1973-1993 der Flugunfalluntersuchungsstelle beim Luftfahrt - Bundesamt, Braunschweig



- / 40 / Fricke, M.: Flugführung im Flughafennahbereich - Aufgaben und Perspektiven, DGLR - Symposium - Fliegen im Flughafennahbereich, Hamburg, 24.-26. April 1979
- / 41 / Fürste, W., Glupe, G.: Absturzhäufigkeit von Flugzeugen auf Kernkraftwerke, Technische Überwachung 15 (1979), S. 115-119
- / 42 / Stewart, St.: Flugkatastrophen, die die Welt bewegten, Bernard & Graefe Verlag, 1989, Seite 63-95
- / 43 / Flughafen München GmbH : Zur Entwicklung des Flughafens München - Riem, Schreiben an die Bundesanstalt für Materialforschung und - prüfung (BAM) vom 17. August 1994
- / 44 / Balfanz, H.P., Hein, M., Wietfeldt, P.: Ermittlung der Trefferwahrscheinlichkeit durch abstürzende Flugzeuge, Technische Überwachung, 1982, Nr.3, Seite 110-114 und Nr.4, S. 157-160
- / 45 / NRC Reactor Safety Study : Aircraft Crash Probabilities, Nuclear Safety, Vol.17, No.3, May - June 1976
- / 46 / Hoeveler, W.: Fliegen noch sicherer machen - Boeing empfiehlt Präventivmaßnahmen zur Unfallverhütung, Aerokurier, 1/1991, S. 24-27
- / 47 / Wall, I. B.: Probabilistic Assessment of Aircraft Risk for Nuclear Power Plants, Nuclear Safety, Vol.15, No. 3, May - June 1974, S. 276-284
- / 48 / Institut für Unfallforschung : IfU - Studie 2 / 70, Studie zur Beurteilung des Kernkraftwerk - Standortes "BASF - Mitte", Abschnitt Flugzeugabsturzwahrscheinlichkeit, Technischer Überwachungs - Vereins Rheinland e.V.,1970
- / 49 / AEG - Bericht Nr.1625 : Wahrscheinlichkeit eines Flugzeugabsturzes auf das Kernkraftwerk Philippsburg, 3. Juli 1970
- / 50 / Kopecek, J. T.: Analytical Methods Applicable to Risk Assessment and Prevention Program, Tenth International System Safety Conference, Dallas, 1991
- / 51 / Ravindra, M. K., Banon, H.: Methods for External Event Screening Quantifikation : Risk Methods Integration and Evaluation Program (RMIEP) Methods Developoment, NUREG / CR - 4839, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexiko 87185, 1992
- / 52 / Flughafen Köln/Bonn, Telefaxmitteilung der Flughafenfeuerwehr an die Bundesanstalt für Materialforschung und - prüfung (BAM) vom 5. Januar1994

- / 69 / Gretener, P.E.: Significance of the Rare Event in Geology, Am. Assoc.Pet.Geol.Bull., 51(11), S.2197-2206, 1967, aus : Apostolakis, G.: Probability and Risk Assessment : The Subjectivistic Viewpoint and Some Suggestions, Nuclear Safety, Vol.19, No. 3, 1978
- / 70 / Starr, C., Rudmann, R., Whipple, C.: Philosophical Basis for Risk Analysis, Annual Review of Energy, Vol. 1, S. 629-662, Annual Reviews, Inc., Palo Alto, Calif., 1976, aus : Apostolakis, G.: Probability and Risk Assessment : The Subjectivistic Viewpoint and Some Suggestions; Nuclear Safety, Vol.19, No. 3, May-June 1978
- / 71 / Pershagen, B., Nilson, R.: Nuclear Safety in Sweden - Policy and Practice, Nuclear Safety, Vol. 25, No. 1, January-February 1984, S. 1-18
- / 72 / Altes, J., Kasper, H., Kröger, W., Schwarzer, K.: Zur unterirdischen Errichtung von Kernkraftwerken, Atomwirtschaft, März 1978, S. 129-136
- / 73 / Lukes, R.: Gefahren und Gefahrenbeurteilung im Recht, Rechtliche und technische Aspekte von Risikobeurteilungen, insbesondere bei neuen Technologien, Carl Heymanns Verlag KG, Köln, Berlin, Bonn, München 1980
- / 74 / Atchison, R. J., Boyd, F. C., Domaratzki, Z.: Canadian Approach to Nuclear Power Safety, Nuclear Safety, Vol. 24, No. 4, July-August 1983, S. 439-458
- / 75 / Health and Safety Executive : " Canvey : an investigation of potential hazards from operations in the Canvey Island / Thurrock area ", Appendix 8 : Risk of aircraft impacts on industrial installations in the vicinity of Canvey Island, L.S. Fryer, London : Her Majesty 's Stationery Office, 1978
- / 76 / Wietfeldt, P., Strouhal, W.: Sicherheitstechnisches Gutachten zur Errichtung und zum Betrieb einer Anlage zur Lagerung und zum Umschlag von Propan, Butan und deren Gemische (LPG) der Flüssiggas - Terminal Emden GmbH (FTE), Technischer Überwachungs - Verein Norddeutschland E.V., Mai 1982
- / 77 / Hall, S. F., Phillips, D. W., Peckover, R. S.: An overview of external hazard assessment, Nucl.Energy, 1985, No. 4, S. 211-227
- / 78 / Chapman, C. R., Morrison, D.: Impacts on the Earth by asteroids and comets: assessing the hazard, Nature, Vol. 367, 6 January 1994, No. 6458
- / 79 / Horn, P.: Das Tunguska-Ereignis, Sterne und Weltraum 12/1996, S. 914-918
- / 80 / Gehrels, T.: Kometen und Planetoiden - Risiko für die Erde ?, Spektrum der Wissenschaft, November 1996 S. 92-98
- / 81 / Schultz, L.: Antarktische Meteorite, Naturwissenschaften 69 (1982), S. 220-225

- / 82 / Lausch, E.: Bomben aus dem All, GEO, Nr.12, Verlag Gruner + Jahr AG & Co, Hamburg, 1991, S.16-44
- / 83 / Christou, M.: Schreiben Joint Research Centre, Major Accident Hazards Bureau, Ispra (I) an die Bundesanstalt für Materialforschung und - prüfung (BAM) vom 24. Oktober1995
- / 84 / Klingmüller, O., Bourgund, U.: Sicherheit und Risiko im konstruktiven Ingenieurbau, Viehweg - Verlag, Braunschweig, Wiesbaden,1992
- / 85 / Grabarek, V.: Von der "Katastrophe" zum "beherrschbaren Ereignis" - Utopie oder reale Chance ?, Bevölkerungsschutzmagazin 7 - 8 / 1992, S. 30-36
- / 86 / Schultz, L.: Meteoriten als Zeugen des Ursprungs unseres Sonnensystems, Naturwissenschaftliche Rundschau, 35. Jg., Heft 7 (1982), S. 271-274
- / 87 / Richtlinie des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen (96/82/EG) Nr. L 10/13 vom 14. Januar1997



