

**Validierung der Fehleranalysemethode
„Why-Because Analysis“ am Beispiel der Midair-Collision
in der Nähe von Überlingen am 01. Juli 2002**

**Diplomarbeit
zur Erlangung des Grades einer Diplom-Wirtschaftsingenieurin
der Fachhochschule Gelsenkirchen**

Eingereicht von:

Christina Junge
Kuhlmannsfeld 48
45355 Essen
Matr.-Nr.: 99206863

Erstprüfer:

Prof. Dr. Michael Miller
Fachhochschule Gelsenkirchen

Zweitprüferin:

Dr. Angelika Steinacker
CSC Ploenzke AG

Recklinghausen, im September 2003

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	4
Darstellungsverzeichnis	6
1 Einleitung	8
2 Why-Because Analyse (WBA)	10
2.1 Problemstellung	10
2.1.1 Abgeschlossene Systeme.....	10
2.1.2 Komplexe homogene Systeme.....	11
2.1.3 Offene komplexe heterogene Systeme.....	11
2.1.4 Fazit.....	12
2.2 Lösungsansatz: „Why-Because Analyse“.....	13
2.3 Why-Because-Graph Methode (WBG-Methode)	14
2.3.1 Erklärungsbereich Zeit.....	16
2.3.2 Erklärungsbereich Kausalität.....	17
2.3.3 Erklärung über die ablaufbezogene Notwendigkeit	20
2.3.4 Graphische Darstellung und Ergebnisse.....	21
2.4 Fazit.....	22
3 Midair Collision in Süddeutschland	23
3.1 Grundlagen der Flugverkehrskontrolle	23
3.1.1 Organisation des Luftraumes.....	23
3.1.2 Flugsicherung und Flugverkehrskontrolle	27
3.1.3 Flugverkehrsleiter	30

3.2	Midair Collision nahe der Stadt Überlingen am Bodensee	32
3.2.1	Situation und Ereignisse an Bord der Tupolew TU154 M.....	34
3.2.2	Situation und Ereignisse an Bord der Boeing B757	34
3.2.3	Situation und Ereignisse im ACC Zürich	35
4	Anwendung der WBG-Methode auf den Beispielunfall.....	36
4.1	Analyse.....	36
4.1.1	Liste der Fakten	37
4.1.2	Zeitliche Historie.....	42
4.1.3	Erarbeitung des WB-Graphen	43
4.2	Ergebnisse.....	64
5	Bewertung der Analysemethode.....	73
5.1	Allgemeine Bewertung	73
5.2	Expertenmeinung	80
5.3	Persönliche Einschätzung	81
6	Fazit und Ausblick	83
	Literatur- und Quellenverzeichnis	85
Anhang A:	Glossar	91
Anhang B:	Unfallbericht BFU.....	98

Abkürzungen

Unfalluntersuchung

CCT	Causal Completeness Test
ESARR	EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement
HEIDI	Harmonisation of European Incident Definition Initiative for ATM
PAD	Predicate-Action Diagram
PARDIA	Perception – Attention – Reasoning – Decision – Intention – Action
SCR	Safety Regulation Commission
SOFIA	Sequentially Outlining and Follow-up Integrated Analysis
TOKAI	Tool Kit for ATM Occurrence Investigation
WBA	Why-Because Analysis
WBG-Methode	Why-Because-Graph Methode

Maßeinheiten

FL	Flight Level (Flugfläche) FL 100 entspricht etwa 10.000 ft über NN
ft	Feet (Fuß) 1 ft entspricht 0,3 m
NN	Normal Null
NM	Nautische Meilen oder auch Seemeilen 1 NM entspricht 1,852 km
UTC	Universal Time Coordinated (koordinierte Weltzeit) UTC entspricht der deutschen Winterzeit minus einer Stunde bzw. der deutschen Sommerzeit minus zwei Stunden

Flugsicherung

ACC	Area Control Center (Bezirksleitstelle)
APP	Approach Control Office (An- und Abflugkontrollstelle)
ATC	Air Traffic Control (Flugverkehrsleitdienst)
ATM	Air Traffic Management
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
FSBetrV	Verordnung über die Betriebsdienste der Flugsicherung
ICAO	International Civil Aviation Organisation (Internationale Zivilluftfahrtorganisation)
IFR	Instrument Flight Rules (Instrumentenflugregeln)
STCA	Short Term Conflict Alert (bodenseitiges Kollisionswarnsystem)
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System (bordseitiges Konfliktwarnsystem)
TWR	Aerodrome Control Tower (Flugplatzkontrollstelle)
UACC	Upper Area Control Center
VFR	Visual Flight Rules (Sichtflugregeln)
VOR	Very High Frequency Omnidirectional Radio Range (UKW-Drehfunkfeuer)

Darstellungsverzeichnis

Darstellung 2-1: Überblick Analysemethode WBA.....	16
Darstellung 2-2: Darstellungsbeispiel WB-Graph	22
Darstellung 3-1: An Skyguide delegierter Luftraum in Süddeutschland [Sky02b].....	24
Darstellung 3-2: Vertikale Luftraumstruktur nach Mensen [Men93, S. 50].....	26
Darstellung 3-3: Radararbeitsplatz [DFS99, S.4].....	31
Darstellung 3-4: Unfall Überlingen Detailkarte [Sky02a].....	33
Darstellung 4-1: Grobe zeitliche Historie des Unfallhergangs	42
Darstellung 4-2: Übersicht über den gesamten WB-Graphen	44
Darstellung 4-3: Übersicht „Kollision und Auswirkungen“	44
Darstellung 4-4: Teilgraph „Kollision und Auswirkungen“	45
Darstellung 4-5: Übersicht „Situation an Bord der B757“	47
Darstellung 4-6: Teilgraph „Situation an Bord der B757 – Abschnitt 1“	48
Darstellung 4-7: Teilgraph „Situation an Bord der B757 – Abschnitt 2“	50
Darstellung 4-8: Teilgraph „Situation an Bord der B757 – Abschnitt 3“	51
Darstellung 4-9: Teilgraph „Situation an Bord der B757 – Abschnitt 4“	52
Darstellung 4-10: Übersicht „Ausweichmanöver“	53
Darstellung 4-11: Teilgraph „Ausweichmanöver“	54
Darstellung 4-12: Übersicht „Situation an Bord der TU154 M“	55
Darstellung 4-13: Teilgraph „Situation an Bord der TU154 M – Abschnitt 1“	56
Darstellung 4-14: Teilgraph „Situation an Bord der TU154 M – Abschnitt 2“	56
Darstellung 4-15: Teilgraph „Situation an Bord der TU154 M – Abschnitt 3“	57

Darstellung 4-16: Teilgraph „Situation an Bord der TU154 M – Abschnitt 4“	58
Darstellung 4-17: Übersicht „Situation ACC Zürich“	59
Darstellung 4-18: Teilgraph „Situation ACC Zürich – Lotse“	60
Darstellung 4-19: Teilgraph „Situation ACC Zürich – TCAS“	61
Darstellung 4-20: Teilgraph „Situation ACC Zürich – Personalbesetzung“	62
Darstellung 4-21: Teilgraph „Situation ACC Zürich – Wartung“	64
Darstellung 4-22: WB-Graph der Midair Collision bei Überlingen	65
Darstellung 5-1: Bisher durchgeführte WB-Analysen	74

1 Einleitung

Am Abend des 01. Juli 2002 sterben bei der Kollision zweier Flugzeuge in der Nähe von Überlingen am Bodensee 71 Menschen, unter ihnen 45 Kinder und Jugendliche. Die Betroffenheit und Trauer in der Öffentlichkeit und bei den offiziellen Stellen ist groß. Unermesslich ist das Leid der Angehörigen. Direkt am nächsten Morgen nehmen die Mitarbeiter der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) die notwendigen Ermittlungen auf. Ihre Aufgabe besteht seitdem darin, die Ursachen für das Unglück aufzuklären. Das Ziel dieser Untersuchungen ist die Ermittlung von Verbesserungsmaßnahmen zur Verhütung künftiger Unfälle. Angesichts des persönlich erfahrenen Leids kann dies für die Betroffenen jedoch nur ein schwacher Trost sein.

Die Ursachenforschung ist jedoch trotzdem notwendig und sinnvoll, um Fehler und Schwachstellen im System zu ermitteln und Verbesserungsmöglichkeiten zur Verhinderung eines ähnlichen Unglücks in der Zukunft aufzuzeigen. Durch Unfalluntersuchungen und -auswertungen werden in der Folge eines Unfalls die Unfallursachen ermittelt. Die Untersuchung eines komplexen Systems, wie es z.B. das System der Flugsicherung ist, stellt die Analysierenden dabei vor diverse Probleme. Zunächst muss die Verfügbarkeit entsprechend verwertbarer Informationen gesichert sein. Darüber hinaus ist eine Entscheidung darüber zu treffen, wie die Ursachen ermittelt und die Zusammenhänge dargestellt werden sollen. Es tritt dabei die Schwierigkeit auf, dass es sich bei den zu untersuchenden Systemen häufig um Systeme mit sehr unterschiedlichen Subsystemen handelt. Es sind hierbei nicht nur technische sondern z.B. auch menschliche und organisatorische Komponenten zu berücksichtigen und abzubilden. Zudem können die relevanten Einflussfaktoren sehr zahlreich sein. Die Vermutung liegt nahe, dass sich die Ursachen hier nicht mehr nur durch genaues Hinschauen und scharfes Nachdenken ermitteln lassen. Es bedarf einer geeigneten Methode, anhand derer sich die Fehlerquellen, die zum Unfall geführt haben, in einheitlicher und strukturierter Form ermitteln lassen. Die Fehleranalysemethode „Why-Because Analysis“, im Folgenden Why-Because Analyse genannt, ist eine derartige Methode. Sie dient der Untersuchung offener komplexer heterogener Systeme mit dem Ziel, die Ursachen für das Fehlverhalten des Systems aufzudecken. Die Ergebnisse aus der Untersuchung dienen anschließend als Ansatzpunkte zur Verbesserung des Systems, um ein ähnliches Fehlverhalten in der Zukunft zu vermeiden.

In dieser Diplomarbeit soll die Fehleranalysemethode WBA vorgestellt, am Beispiel des Flugzeugunglücks bei Überlingen am Bodensee angewendet und nachfolgend bewertet werden. Im Rahmen der Anwendung der Analysemethode soll untersucht werden, welche Ursachen es für das Flugzeugunglück gab, und die von der Untersuchung aufgedeckten Problem-bereiche sollen benannt werden. Zudem soll ein Ausblick auf mögliche Gegenmaßnahmen zur Verhinderung einer künftigen Wiederholung gegeben werden. Die vorliegende Ausarbeitung ist in vier Teile gegliedert. In Kapitel 2 wird die Analysemethode vorgestellt. Es wird dabei auf die theoretischen Hintergründe der Methode und die Vorgehensweise bei ihrer Anwendung sowie auf die von der Methode gelieferten Ergebnisse und ihre Darstellung eingegangen. Im anschließenden Kapitel 3 wird der als Beispiel ausgewählte Unfall – das Flugzeugunglück bei Überlingen am Bodensee am 01.07.2002 – näher dargestellt. Zum besseren Verständnis wird hier zunächst eine Einführung in die Grundlagen der Flugverkehrskontrolle und die damit zusammenhängende Begriffswelt gegeben. Es schließt sich die Beschreibung des Unfallhergangs aus der Sicht der beiden Flugzeuge sowie aus Sicht des Lotsen in der Flugverkehrskontrollstelle Zürich an. In Kapitel 4 wird die WBA auf den zuvor beschriebenen Unfall angewendet. Es wird die Anwendung der Analysemethode am Beispiel beschrieben und die über die Methode ermittelten Ergebnisse werden dargelegt. Im abschließenden Kapitel 5 erfolgt die Beurteilung der WBA. Die allgemeine Bewertung bezieht sich auf die Aspekte Anwendungsbereich, Verständlichkeit, Anwendung, Ergebnisse, Darstellungsform und Aufwand für die Durchführung. Nach der allgemeinen Bewertung erfolgt eine Beurteilung der Methode durch Vertreter der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH sowie eine persönliche Einschätzung. Ein direkter Vergleich der Analysemethode mit anderen Analysemethoden ist im Rahmen der Ausarbeitung nicht vorgesehen.

2 Why-Because Analyse (WBA)

In diesem Kapitel wird die Methode der Why-Because Analyse (WBA) zur Untersuchung von Fehlerursachen dargestellt. In Abschnitt 2.1 wird zunächst die Problemstellung skizziert, die zur Entwicklung der WB-Analyse geführt hat. Im anschließenden Abschnitt 2.2 (Lösungsansatz: „Why-Because Analyse“) wird die grobe Struktur der Why-Because Analyse aufgezeigt. Es erfolgt eine kurze Vorstellung der beiden Analyseteile „WB-Graph Methode“ (nicht formaler Teil) und „Verifizierungsmethode“ (formaler Teil) einer kompletten WBA. Der im weiteren Verlauf der Ausarbeitung betrachtete Bereich der WBA beschränkt sich auf die WB-Graph Methode. Die Vorgehensweise bei der Anwendung der WB-Graph Methode und die von der Analysemethode gelieferten Ergebnisse werden in Abschnitt 2.3. vorgestellt.

2.1 Problemstellung

Bei der Fehleranalyse ist die Klärung der folgenden grundlegenden Fragestellungen von besonderem Interesse: „Was ist die Ursache für den aufgetretenen Fehler?“ und „Was kann bzw. muss getan werden, um einen derartigen Fehler in Zukunft zu vermeiden?“ Die nachfolgenden Ausführungen legen dar, welche Umstände den Schwierigkeitsgrad der Beantwortung dieser Fragen grundlegend beeinflussen. Die Ausführungen sind angelehnt an [Lad, S. 1] und [WBA03].

2.1.1 Abgeschlossene Systeme

Es gibt Fälle, in denen eine Antwort auf diese Fragen relativ leicht zu finden ist. Ein Fahrzeug fährt auf einer Straße und ohne jegliche Fremdeinwirkung platzt ein Reifen. Das Fahrzeug muss stehen bleiben und kann seine Fahrt aufgrund des zerstörten Reifens nicht fortsetzen. Unter diesen Umständen besteht kein Zweifel, dass der geplatzte Reifen die Ursache dafür ist, dass das Fahrzeug stehen bleiben muss. Eine Untersuchung des Reifens ergibt, dass er aufgrund einer Materialermüdung geplatzt ist. Ein gleichartiges Fehlverhalten kann also in Zukunft dadurch verhindert werden, dass die Reifen regelmäßig auf ihren Zustand hin überprüft und bei Bedarf ausgetauscht werden. Bei dem Fahrzeug handelt es sich in diesem Fall um ein abgeschlossenes System, das keinen äußeren Einflüssen unterworfen ist. An diesem System entsteht ein anhaltender beobachtbarer Schaden (geplatzter Reifen), der es daran hindert fehlerfrei zu arbeiten (zu fahren). Die Stelle, an der der Schaden auftritt, ist offensichtlich und die Ursache für den Schaden kann gezielt untersucht werden. Die einleitenden

Fragestellungen lassen sich ohne weitere Probleme beantworten. Vergleiche hierzu [Lad, S. 1] und [Lad01, S. 195].

2.1.2 Komplexe homogene Systeme

Wurde jedoch das zu untersuchende Fehlverhalten durch das Auftreten eines Fehlers innerhalb eines komplexen Systems verursacht, gestaltet sich die Bestimmung der Ursache zumeist schwieriger. Ein komplexes System ist eine abgeschlossene Einheit, die aus mehreren zusammenarbeitenden und miteinander verbundenen gleichartigen (z.B. technischen) Subsystemen besteht, und deren fehlerfreies Funktionieren nicht von äußeren Einflüssen abhängt. Bei der Untersuchung der Fehlerursachen innerhalb derartiger Systeme wird sich häufig das Problem stellen, dass jeder einzelne durchgeführte Schritt des Systems in sich schlüssig und richtig ist, dass aber nach einer Abfolge bestimmter Einzelschritte ein fehlerhaftes, so nicht zu erwartendes Endresultat eintritt. Der Sachverhalt lässt sich anhand eines einfachen Beispiels veranschaulichen. Ein Bankkunde möchte an einem Geldautomaten einen bestimmten Geldbetrag abheben. Der Automat zieht die EC-Karte ein, der Kunde gibt seine Geheimzahl und nach Anerkennung dieser durch den Automaten auch den gewünschten Geldbetrag ein. Der Auftrag wird bearbeitet, der Kunde erhält den gewünschten Betrag und der Automat gibt die Karte zurück. Zunächst scheint die Abfolge der Ereignisse ein fehlerfreies Ergebnis zu liefern. Auf dem nächsten Kontoauszug entdeckt der Kunde jedoch, dass sein Konto mit einem viel höheren als dem tatsächlich abgehobenen Betrag belastet wurde – ein fehlerhaftes Verhalten des Systems, dessen Ursache sich nicht ohne weiteres bestimmen lässt. Die Beantwortung der Frage nach den Fehlerursachen innerhalb komplexer (meist technischer) Systeme erfordert je nach Ausprägung des Systems ein gewisses Maß an technischem Sachverstand, ist jedoch relativ gut möglich. Vergleiche hierzu [Lad, S. 1].

2.1.3 Offene komplexe heterogene Systeme

In vielen Fällen besteht ein komplexes System allerdings aus sehr unterschiedlichen Subsystemen bzw. Komponenten, die zu einem bestimmungsgemäßen Funktionieren des Gesamtsystems auf eine enge fehlerfreie Zusammenarbeit untereinander angewiesen sind. Bei den Komponenten kann es sich z.B. um digitale, physikalische, menschliche oder ablaufbezogene Komponenten handeln bzw. um Kombinationen aus einigen oder allen dieser Komponenten. Ein Kraftwerk ist z.B. ein komplexes System mit sehr unterschiedlichen Sub-

systemen, wie Computersystemen, sonstigen technischen Systemen, Kontrollsystemen, rechtlichen Rahmenbedingungen, menschlichem Verhalten etc. Ein derartiges System wird als komplexes heterogenes System bezeichnet. Kann ein System dieser Ausprägung nicht isoliert betrachtet werden, weil es nur in Verbindung mit anderen eigenständigen (komplexen) Systemen bestimmungsgemäß arbeiten kann und weil es von deren Verhalten abhängig ist, bezeichnet man das vorliegende System als offenes komplexes heterogenes System. Bei einem offenen komplexen heterogenen System ist die Umgebung, in der es arbeitet, nicht als Teil des Systems anzusehen. Die Umgebungseinflüsse wirken im Normalfall in voraussagbarer und berechenbarer, im Extremfall jedoch in nicht vorhersagbarer Weise auf das System. Als Beispiel sei hier ein Flugzeug (komplexes heterogenes System) genannt, das während eines Fluges dem Einfluss der Witterung unterworfen ist und das von der Verfügbarkeit entsprechender Navigationshilfen abhängig ist, um unversehrt seinen Zielort erreichen zu können. Die Analyse des Fehlverhaltens eines offenen komplexen heterogenen Systems beinhaltet also die Untersuchung sehr unterschiedlicher Teilsysteme und deren Interaktion untereinander und ist daher eine schwierige Aufgabe. Vergleiche hierzu [Lad, S. 1 und 5], [WBA03] und [Lad01, S.195].

2.1.4 Fazit

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass der Schwierigkeitsgrad für die Beantwortung der eingangs genannten grundlegenden Fragen in erster Linie von der Art des untersuchten Systems abhängt. Je umfassender, unterschiedlicher und von äußeren Einwirkungen beeinflussbarer ein System ist, desto anspruchsvoller wird die Analyse und damit auch die Anforderungen an eine angemessene Analysemethode. Die Untersuchung von abgeschlossenen und von komplexen Systemen stellt sich als relativ unproblematisch dar. Dagegen bereitet die Untersuchung von offenen komplexen heterogenen Systemen größere Schwierigkeiten. Der Grund liegt darin, dass sowohl die einzelnen Teilsysteme als auch deren Interaktion untereinander analysiert werden müssen. Die Analyse wird dadurch technisch komplex und intellektuell anspruchsvoller. Eine geeignete Analysemethode muss dem Untersuchenden daher ein überschaubares, verständliches Regelwerk an die Hand geben, anhand dessen sich das System systematisch auf ein Fehlverhalten hin untersuchen lässt.

2.2 Lösungsansatz: „Why-Because Analyse“

Mit der Lösung der unter 2.1 skizzierten Problemstellung beschäftigt sich seit den 1990er Jahren Dr. Peter B. Ladkin, Professor für Rechnernetze und verteilte Systeme an der Technischen Fakultät der Universität Bielefeld. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Spezifizierung, Verifikation und Fehleranalyse komplexer heterogener Systeme. Bei seiner Forschung konzentriert sich Ladkin insbesondere auf die Anwendung formaler und nicht formaler Logik sowie auf die zu berücksichtigenden sozialen und ethischen Aspekte des Umgangs mit Computern und Computersystemen. Ergebnis seiner Forschungen ist die Entwicklung der Fehleranalysemethode „Why-Because Analyse“ (WBA) zur Untersuchung von Ursachen für Fehlverhalten in offenen komplexen heterogenen Systemen jeglicher Art [Lad03a], [Lad03b]. Anwendung findet die WB-Analyse jedoch bisher ausschließlich bei der Untersuchung von Fehlverhalten innerhalb von Transportsystemen, vornehmlich im Bereich Flugverkehr, aber auch im Schienen- und Schiffsverkehr (vgl. Darstellung 5-1, S. 74). Die Folgen eines Fehlverhaltens innerhalb eines Transportsystems drücken sich entweder in Form von Vorfällen¹ oder schlimmstenfalls in Form von Unfällen² aus. Im Weiteren soll aufgrund des Anwendungsgebietes und der Einfachheit halber nur noch der Begriff „Unfall“ genutzt werden. Alle gemachten Aussagen können aber in gleicher Weise auf Vorfälle bzw. auf Fehlverhalten im Allgemeinen bezogen werden.

Bei der Why-Because Analyse handelt es sich um eine a posteriori Betrachtung zur Untersuchung von individuellen Einzelunfällen, d.h. es erfolgt eine Analyse von Systemfehlern erst nach ihrem Auftreten innerhalb eines einzelnen Unfallszenarios. Eine komplette Why-Because Analyse besteht aus einem nicht formalen Teil (WB-Graph Methode) und einem formalen Teil (Verifizierungsmethode). Bei der Anwendung der WB-Graph Methode (WBG-Methode) werden die einzelnen Ereignisse bzw. Nichtereignisse, Zustände und Prozesse, die zur Erklärung des Unfallhergangs beitragen, über die Erklärungsbereiche Zeit, Kausalität und ablaufbezogene Notwendigkeit sowie über die kontrastierende Erklärung zu einer einheitlichen Gesamtbetrachtung zusammengefügt. Ergebnis dieses Vorgehens ist ein so-

¹ eine einheitliche Definition existiert nicht, Vorfälle haben jedoch ein wesentlich geringeres Schadensausmaß als es Unfälle haben; die Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) definiert ein solches Ereignis für den Flugverkehr als „Störung“ [BFU02a]

² eine einheitliche Definition existiert nicht; für den Flugverkehr von der BFU in [BFU02a] definiert

nannter Why-Because Graph [Lad01, Teil III]. Der zweite Schritt einer kompletten WBA beinhaltet eine Methode zur Verifizierung des zuvor erstellten WB-Graphen und der darin enthaltenen kausalen Erklärungen. Über die Anwendung der Verifizierungsmethode soll der Nachweis der Richtigkeit und Angemessenheit der im ersten Schritt ermittelten Ergebnisse erbracht werden. Es sollen dabei Fehler, die innerhalb des ersten Schrittes gemacht wurden, identifiziert werden. Als Grundlage für die formale Beweisführung darüber, dass die ermittelten Kausalbeziehungen eine korrekte und hinreichende kausale Erklärungen für den Unfall liefern, definiert Ladkin die formale Logik „EL“ („Explanatory Logic“). Sie basiert im Wesentlichen auf der zeitlichen Logik TLA (Temporal Logic of Actions) nach Leslie Lamport und der kausalen Logik und Semantik der Counterfactuals³ nach David Lewis [Lad01, Teil IV]. Ladkin betont mehrmals, dass die Durchführung des formalen Beweises generell unerlässlich ist, so z.B. in „Causal System Analysis - Formal Reasoning About Safety an Failure“ (S. 198 und 252). Da eine Einarbeitung und Anwendung der Verifizierungsmethode jedoch als unverhältnismäßig aufwändig zum Nutzen erscheint und zudem die Möglichkeit der Durchführbarkeit im vorgegebenen Zeitrahmen bezweifelt werden muss, wird auf die ausführliche Darstellung und Beschreibung der Verifizierungsmethode bewusst verzichtet. Die Ausführungen im anschließenden Kapitel 2.3 werden sich daher ausschließlich auf die Darstellung und Anwendung des nicht formalen Teils der WB-Analyse – sprich die WBG-Methode – konzentrieren.

2.3 Why-Because-Graph Methode (WBG-Methode)

In diesem Kapitel wird die Anwendung des nicht formalen Teils der Why-Because Analyse – die WB-Graph Methode – vorgestellt. Ziel der Anwendung der WBG-Methode ist es, Faktoren zu ermitteln, die eine hinreichende kausale Erklärung für das Eintreten eines Unfalls liefern. Die Argumentation für das Vorliegen einer hinreichenden kausalen Erklärung erfolgt über die Erklärungsbereiche Zeit, Kausalität und ablaufbezogene Notwendigkeit sowie über den Ansatz der kontrastierenden Erklärung. Die ersten drei Bereiche lassen sich auf Fakten anwenden, die dem Untersuchenden bekannt sind und die als Tatsachen angenommen werden können. Der Ansatz der kontrastierenden Erklärung wird gewählt, um über den Unfallhergang Annahmen zu generieren und daraufhin getroffene Annahmen in die Be-

³ „counterfactual“ (engl.): zusammengesetzt aus „counter“: entgegen und „factual“: tatsächlich

trachtung einzubeziehen. Ladkin's Prinzip der kontrastierenden Erklärung basiert auf John Stuart Mill's Method of Difference [Lad01, Abschnitt 15.2]. Als Hilfestellung zur Generierung von Annahmen über den Unfallhergang empfiehlt Ladkin die Anwendung von Predicate-Action Diagrammen (PADs) [Lad01, Abschnitt 17.1f und S. 319]. Da sich die in Kapitel 4 anschließende Analyse des Beispielunfalls nur auf bekannte Fakten beziehen wird, und keine weiteren (spekulativen) Annahmen getroffen werden sollen, wird auf eine ausführliche Darstellung der kontrastierenden Erklärung verzichtet. Als weiteres ergänzendes Hilfsmittel schlägt Ladkin die Klassifikation PARDIA (Perception – Attention – Reasoning – Decision – Intention – Action) vor. Sie dient der genaueren Untersuchung menschlichen Verhaltens. Die Klassifikation kann innerhalb aller Erklärungsbereiche zur Aufgliederung des Verhaltens von Personen herangezogen werden. Sie wird im Folgenden jedoch nicht explizit verwendet [Lad01, Kapitel 18].

Die Anwendung der WBG-Methode hat einen WB-Graphen zum Ergebnis, der alle Faktoren abbildet, die eine hinreichende Erklärung für das Unfallszenario liefern. Es ist möglich, den WB-Graphen sowohl in graphischer Form als auch in Textform zu erstellen [Lad01, Kapitel 17]. Auf die Erstellung des WB-Graphen in Textform wird in den nachfolgenden Ausführungen nicht weiter eingegangen, da sie in erster Linie als Grundlage für die automatisierte Weiterverarbeitung des WB-Graphen dient und diese nicht Gegenstand der weiteren Betrachtungen ist. Darstellung 2-1 zeigt einen Überblick über die bisher dargestellte grundlegende Struktur der Analysemethode WBA. Die in der weiteren Ausarbeitung näher betrachteten Teilbereiche der WBA sind fett kursiv gedruckt hervorgehoben.

Komplette WBA	
WB-Graph Methode (nicht formaler Teil)	Verifizierungsmethode (formaler Teil)
<p><u>Ziel:</u> hinreichende kausale Erklärung für den Unfallhergang</p> <p><u>Argumentation:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. für bekannte Fakten über: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Temporalen Erklärungsbereich ▪ Kausalen Erklärungsbereich ▪ Ablaufbezogene Notwendigkeit 2. für weitere Annahmen über: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anwendung von Mill's Method of Difference ▪ Predicate-Action Diagramme (PADs) <p><u>Vorgeschlagene Hilfsmittel:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Predicate-Action Diagramme zur Präzisierung von unklaren Situationen und zur Entwicklung von Alternativszenarien ▪ Klassifikation PARDIA bietet Unterstützung bei der Untersuchung menschlichen Verhaltens <p><u>Ergebnis:</u> WB-Graph in: <ul style="list-style-type: none"> ▪ graphischer Darstellung ▪ Textform enthält hinreichende kausale Erklärung für den Unfallhergang</p>	<p><u>Ziel:</u> Verifizierung des nicht formalen Teils</p> <p><u>Vorgehensweise:</u> Anwendung der Logik EL (Explanatory Logic) basierend auf: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Temporal Logic of Actions (TLA) und ▪ Logik und Semantik der Counterfactuals nach Lewis </p> <p><u>Ergebnis:</u> Formaler Nachweis über hinreichende kausale Erklärung des Unfallhergangs</p>

Darstellung 2-1: Überblick Analysemethode WBA

In den Abschnitten 2.3.1 bis 2.3.3 werden nun die Erklärungsbereiche Zeit, Kausalität und ablaufbezogene Notwendigkeit näher beschrieben. Auf die graphische Darstellung des WB-Graphen und die Ergebnisse der Analyse wird im anschließenden Abschnitt 2.3.4 eingegangen.

2.3.1 Erklärungsbereich Zeit

Die Ausführungen innerhalb dieses Abschnitts sind – soweit nicht anders gekennzeichnet – an Abschnitt 14.2 aus Peter Ladkin's Buch „Causal System Analysis - Formal Reasoning About Safety and Failure“ angelehnt. Danach ist die zeitliche Historie des Unfallhergangs Ausgangspunkt einer Unfalluntersuchung unter Verwendung der WBA. Kausale Aspekte

werden hier noch nicht berücksichtigt. Somit besteht der erste Schritt bei der Anwendung der WB-Graph Methode darin, eine zeitliche Historie des Unfalls zu erstellen. Als Grundlage dafür können prinzipiell alle zum Unfallhergang verfügbaren Informationsquellen dienen. Im Fall von Flugunfalluntersuchungen bieten sich hier in erster Linie die offiziellen Untersuchungsberichte der zuständigen staatlichen Stellen des für die Untersuchung zuständigen Landes an. Darüber hinaus kann der Analysierende natürlich auch auf beliebige weitere Quellen zurückgreifen, wie z.B. Pressemitteilungen und sonstige Veröffentlichungen der involvierten Stellen, Beiträge in Fachforen, Filmmaterial etc. Anhand der ausgewählten Unterlagen wird zunächst eine Liste aller als relevant angesehenen Ereignisse, Nichtereignisse, Zustände und Prozesse des Unfallszenarios angefertigt. Ein Kriterium zur Beurteilung der Relevanz existiert innerhalb der Analysemethode nicht und liegt somit im Ermessen der untersuchenden Person und in der Zielsetzung der Analyse [Lad01, S. 213]. Aus der so erstellten Liste werden in einem weiteren Schritt einige wesentliche Fakten ausgewählt und in der Reihenfolge ihres Auftretens so angeordnet, dass sie die zeitliche Historie des Unfallhergangs abbilden. Dem zuvor beschriebenen Vorgehen liegt die Annahme zugrunde, dass das zeitliche Aufeinanderfolgen von Fakten notwendige Bedingung für das Vorliegen einer Kausalbeziehung zwischen ihnen ist. Dies bedeutet nicht, dass zeitlich aufeinander folgende Fakten zwangsläufig immer einen kausalen Zusammenhang haben. Wenn gelten soll, dass A Ursache für das Auftreten von B ist, muss sich A vor B ereignet oder zumindest vor B begonnen haben. Wenn sich A vor B ereignet hat, muss das im Umkehrschluss aber nicht bedeuten, dass A notwendigerweise Ursache für B ist. Die zeitliche Reihenfolge ist Grundvoraussetzung für das Vorliegen von Kausalität. Das tatsächliche Vorliegen muss im Weiteren jedoch erst noch untersucht werden [Lad01, S. 209].

2.3.2 Erklärungsbereich Kausalität

Im vorhergehenden Abschnitt wurde herausgestellt, dass das zeitliche Aufeinanderfolgen von Fakten ein Indikator für das Vorliegen einer kausalen Beziehung zwischen ihnen ist. Nachfolgend wird gezeigt, wie die zeitlich aufeinander folgenden Ereignisse, Zustände und Prozesse (zusammenfassend auch Knoten genannt) auf ihre Kausalbeziehung hin untersucht werden, um zu einer korrekten und hinreichenden kausalen Erklärung des zu analysierenden Unfalls zu gelangen. Zur genauen Definition der Begriffe Ereignis, Zustand und Prozess vergleiche [Lad01, S. 205f].

Zur Bildung von Kausalketten zwischen einzelnen Knoten ist es zunächst sinnvoll und hilfreich, eine vollkommen intuitive Methode anzuwenden, indem einfach die Frage nach der Ursache für das Auftreten eines Knotens gestellt wird. Es werden daher zur Ermittlung von Ursache-Wirkungszusammenhängen zunächst „Why...Because-Fragen“ formuliert: „Warum ist *A* eingetreten? – Weil *B* eingetreten ist!“ usw. [Lad01, S. 212f]. Da, wie unter 2.3.1 erläutert, die Ursache immer zeitlich vor ihrer Auswirkung aufgetreten sein muss, muss bei der Analyse zeitlich rückwärts vorgegangen werden. Dabei wird das unerwünschte eingetretene Ereignis als Top-Ereignis angenommen und rückblickend auf seine Ursachen hin untersucht. Im Verlauf der Analyse entwickelt sich dabei eine Art Baumstruktur, die den Unfallhergang aus kausaler Sicht abbildet.

Ein intuitives Vorgehen wie das zuvor beschriebene ist einfach anzuwenden, birgt jedoch die Gefahr, unbemerkt Argumentationsfehler zu machen. Um diese Fehler auf ein Minimum zu reduzieren, ist eine nähere Untersuchung und Überprüfung der jeweils ermittelten Kausalbeziehungen zwischen den einzelnen Knotenpaaren notwendig. Dazu ist allerdings zunächst zu definieren, was unter dem Begriff „Kausalität“ bzw. „Kausalbeziehung“ zu verstehen ist. Ladkin greift für die Definition auf die kausale Logik und Semantik der Counterfactuals nach David Lewis⁴ zurück. Angenommen die beiden Knoten *A* und *B* sind tatsächlich eingetreten, dann ist nach der Lewis Semantik *A* eine Ursache für das Eintreten von *B*, wenn in der ähnlichsten möglichen Welt („nearest possible world“) bei einem Ausbleiben von *A* auch *B* nicht hätte geschehen können. *A* und *B* sind in dieser Form transitiv, d.h. wenn *A* nach vorher genannter Definition Ursache von *C* ist und *C* Ursache von *B*, so ist auch *A* Ursache von *B*. Dieser Sachverhalt wird im Folgenden kurz als Regel für Counterfactuals [Lad01, S. 212] bzw. als Lewis Kriterium für Kausalität [LL, S. 2] bezeichnet. Anders ausgedrückt besagt die Regel für Counterfactuals, dass sich *B* nur dann ereignen kann, wenn *A* tatsächlich stattgefunden hat. Das heißt umgekehrt jedoch nicht, dass *B* zwingend eintreten muss, wenn *A* auftritt. Somit ist das Auftreten von *A* notwendige aber nicht hinreichende Bedingung für das Eintreten von *B*. Bei näherer Betrachtung macht dies Sinn, denn in den meisten Fällen wird es nicht nur einen einzigen Grund *A* für das Eintreten von *B* geben, sondern mehrere ursächliche Faktoren *A*₁ bis *A*_{*n*}. Erst das Auftreten aller Ursachen *A*₁ bis *A*_{*n*} gemeinsam bildet eine hinreichende Erklärung für das Eintreten von *B*. Es bleibt zu überprüfen, ob die

⁴ Professor für Philosophie an der Princeton University († 2001)

ermittelten Faktoren A_1 bis A_n auch tatsächlich eine hinreichende Erklärung für das Auftreten von B liefern. Ladkin führt zur Überprüfung dieses Sachverhalts den sogenannten Causal Completeness Test (CCT) ein. Als Voraussetzung hierfür gilt, dass aus dem Satz der die Ursache für B erklärenden Knoten A_1 bis A_n jeder einzelne Knoten A_i ursächlicher Faktor für B nach der oben beschriebenen Regel für Counterfactuals ist. Ist diese Voraussetzung erfüllt, so muss weiterhin überprüft werden, ob beim Ausbleiben von B auch der Satz der Ursachen A_1 bis A_n in der ähnlichsten möglichen Welt nicht zusammen hätte auftreten können. Das heißt anders ausgedrückt, dass mindestens ein ursächlicher Faktor aus A_1 bis A_n nicht hätte eintreten dürfen. Ist dies der Fall, liefert der Satz A_1 bis A_n eine hinreichende kausale Erklärung für das Eintreten von B . Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass der Satz A_1 bis A_n nicht notwendigerweise alle in der Situation tatsächlich existenten Ursachen beinhalten muss. Es genügen diejenigen Faktoren, die das Eintreten von B hinreichend erklären. Vergleiche hierzu [Lad01, Abschnitte 12.2, 14.3ff und 15.1].

Zur Veranschaulichung der zuvor getroffenen Annahmen – insbesondere auch über die Annahme der „ähnlichsten möglichen Welt“ – soll folgendes Beispiel dienen. Ein Ball liegt auf der Straße. Direkt neben der Straße befindet sich ein Fußballfeld ohne Umzäunung. Auf dem Fußballfeld laufen Kinder umher. Aus diesem Szenario lässt sich schließen, dass der Ball auf der Straße liegt, weil erstens die Kinder auf dem Platz Fußball gespielt haben, weil zweitens der Platz nicht umzäunt ist und drittens der Platz direkt neben der Straße liegt. Die Auswirkung B (Ball auf der Straße) hat also die Ursachen A_1 (spielende Kinder), A_2 (Platz ohne Zaun) und A_3 (Platz an der Straße). Alle vier Knoten B und A_1 bis A_3 sind tatsächlich eingetreten und jedes einzelne A_i ist notwendig für das Eintreten von B : wären die spielenden Kinder nicht, gäbe es keinen beweglichen Ball; hätte der Platz eine Begrenzung, wäre der Ball innerhalb der Spielfeldes geblieben; hätte der Platz nicht an der Straße gelegen, hätte der Ball nicht bis zur Straße rollen können. A_1 bis A_3 sind also nach dem Kriterium für das Vorliegen von Kausalität notwendige Bedingungen für das Eintreten von B . Auch der Causal Completeness Test lässt sich schlüssig durchführen: wäre B nicht eingetreten, so hätte in der ähnlichsten möglichen Welt auch der Satz an ursächlichen Faktoren A_1 bis A_3 nicht zusammen auftreten können. Mindestens einer der Faktoren hätte ausbleiben müssen. An dieser Stelle ist noch auf die Annahme der „ähnlichsten möglichen Welt“ einzugehen. Es wäre in der oben beschriebenen Situation auch denkbar, dass der Ball einer vorbeilaufenden Person unbemerkt aus der Einkaufstasche gefallen ist und er deswegen dort liegt. Solch ein Fall wird über die Annahme der ähnlichsten möglichen Welt

ausgeschlossen. Die ähnlichste mögliche Welt zu der oben beschriebenen „Welt“ ist die oben beschriebene „Welt“ selbst – ohne weitere Ergänzungen. Die Annahme beschränkt die Untersuchung also auf die Faktoren, die die tatsächlich betrachtete Situation beschreiben und gibt damit den Untersuchungsrahmen vor. Denkbare Alternativszenarien, deren tatsächliches Eintreten jedoch nicht durch beobachtbare Fakten gestützt ist, werden in der Untersuchung nicht berücksichtigt [Lad, S. 9f]. Da für das Beispiel mit den spielenden Kindern der Causal Completeness Test erfolgreich durchgeführt werden kann, lässt sich feststellen, dass der Satz der ursächlichen Faktoren A_1 bis A_3 eine hinreichende kausale Erklärung für das Eintreten des Ereignisses B liefert.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Bildung von Kausalketten zunächst intuitiv mit Hilfe von „Why...Because-Fragen“ erfolgt. In einem zweiten Schritt werden alle direkten Knotenpaare auf die Gültigkeit der Regel für Counterfactuals hin überprüft und dem Causal Completeness Test unterzogen. Dies erfolgt, um sicherzustellen, dass die ermittelten Ursachen eine hinreichende kausale Erklärung für die jeweilige Auswirkung liefern. Dazu sei noch angemerkt, dass der Satz der ursächlichen Faktoren nicht einzigartig ist. Die ermittelten Ursachen hängen dabei z.B. vom Detaillierungsgrad, vom Analyseschwerpunkt und von der gewählten Formulierung der Knoten ab [Lad01, Abschnitt 15.1.2].

2.3.3 Erklärung über die ablaufbezogene Notwendigkeit

Hierbei handelt es sich um eine weitere (jedoch wesentlich seltener anwendbare) Möglichkeit, um nachzuweisen, dass ermittelte Ursachen eine hinreichende kausale Erklärung für das Auftreten eines bestimmten Ereignisses liefern. Es soll daher der Vollständigkeit halber kurz auf diesen Erklärungsbereich eingegangen werden. Es wird davon ausgegangen, dass feststehende Verfahren existieren und dass über diese Verfahren Annahmen getroffen werden können (z.B. dass sie unter gegebenen Umwelteinwirkungen funktionieren). In einer tatsächlich eingetretenen Situation existieren nun das Verfahren und die zugehörige(n) Annahme(n) tatsächlich. Zudem folgt aus dem gleichzeitigen Auftreten bzw. Ausbleiben von beiden – Verfahren und Annahme(n) – zwangsläufig das Eintreten bzw. Ausbleiben eines bestimmten Ereignisses in der ähnlichsten möglichen Welt. Ist das Ereignis unter diesen Umständen tatsächlich eingetreten, dann liefert das Auftreten von Verfahren und Annahme eine hinreichende Erklärung für das Eintreten des Ereignisses. Zur Verdeutlichung soll als Beispiel ein Telefonanruf dienen. Es existiert hier ein Verfahren zur Verbindungsherstellung. Dieses Verfahren führt unter der Annahme, dass keine technischen Fehler auftreten und

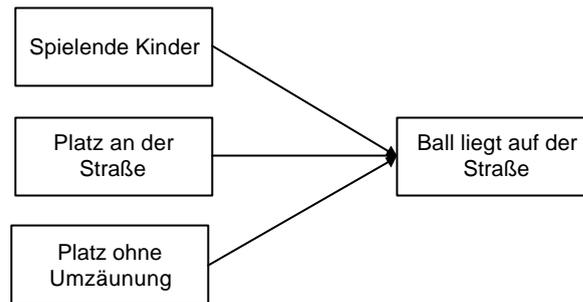
dass die richtige Rufnummer gewählt wird, zwangsläufig dazu, dass der Anschluss eines bestimmten Gesprächsteilnehmers erreicht wird. Die Existenz des Verfahrens und die Gültigkeit der Annahmen liefern eine hinreichende kausale Erklärung für das Erreichen des gewünschten Anschlusses [Lad01, Abschnitt 15.1.4].

Aus diesem Erklärungsansatz lässt sich auch die Existenz sogenannter Nichtereignisse ableiten. Es bestehen Annahmen über ein Verfahren. Aus deren Gültigkeit und aus dem Vorhandensein eines zugehörigen Verfahrens folgt zwingend das Eintreten eines bestimmten Ereignisses. Wenn nun Verfahren und getroffenen Annahmen in einer bestimmten Situation existieren, dann muss das Ereignis auch tatsächlich eintreten. Kann jedoch in der tatsächlichen Situation festgestellt werden, dass das Ereignis, das eigentlich hätte eintreten müssen, in der Realität nicht eingetreten ist, spricht man von einem Nichtereignis. Sofern solche Nichtereignisse nicht sowieso schon im Untersuchungsbericht aufgeführt sind, werden sie zur Unfallhistorie hinzugefügt und anhand des unter 2.3.2 beschriebenen Verfahrens auf Kausalität überprüft [Lad01, Abschnitt 14.6].

2.3.4 Graphische Darstellung und Ergebnisse

Als Ergebnis des bisher beschriebenen Vorgehens erhält der Analysierende einen WB-Graphen. Es handelt sich hierbei um die graphische Darstellung des Unfallhergangs aus kausaler Sicht. Aus der Graphik lassen sich diejenigen Ursachen für den jeweiligen Unfall ablesen, die eine hinreichende kausale Erklärung für dessen Eintreten liefern. Diese Ursachen werden als Grundursachen oder auch „Source Nodes“ [Lad01, Kap. 23 und 24] bzw. „Root Causes“ [Lad, S. 5] bezeichnet. Für die graphische Darstellung sieht Ladkin eine Unterscheidung der einzelnen Knoten in Ereignisse, Nichtereignisse, Zustände und Prozesse vor [Lad01, S. 213]. Diese Unterscheidung wird in der in Kapitel 4 folgenden Analyse nicht vorgenommen. Die ermittelten Knoten werden einheitlich durch das Symbol „Rechteck“ dargestellt, da für den hier verfolgten Zweck eine Differenzierung nicht notwendig erscheint. Die Anordnung der einzelnen Knoten wird entlang eines Pfades nach der zeitlichen Reihenfolge ihres Auftretens vorgenommen. In Bezug auf den Gesamtgraphen wird die chronologische Anordnung der Knoten jedoch nicht eingehalten. Die Knoten werden weitestgehend nach ihrer inhaltlichen Zugehörigkeit gruppiert. Die Kausalbeziehungen zwischen den einzelnen Knoten werden über die Verbindung der jeweiligen Rechtecke mit einem Pfeil (von Ursache zu Auswirkung) gekennzeichnet, so dass sich eine Art Baumstruktur ergibt. Es ist dabei möglich (und wahrscheinlich), dass es zu einem Knoten mehrere

Ursachen gibt. Umgekehrt kann es aber auch vorkommen, dass ein Knoten die Ursache für mehrere Auswirkungen ist. In der graphischen Darstellung sind dies die Stellen, an denen ein Knoten mehrere ausgehende Pfeile besitzt. Zur Veranschaulichung soll der in Darstellung 2-2 abgebildete einfache WB-Graph für das Beispiel aus Abschnitt 2.3.2 dienen.



Darstellung 2-2: Darstellungsbeispiel WB-Graph

Anhand der graphischen Darstellung lassen sich nun die Grundursachen ermitteln, die zu dem jeweiligen Unfall geführt haben. Als Grundursachen werden diejenigen Knoten bezeichnet, die keine weiteren Ursachen mehr haben, sondern nur selbst Ursache für eine bestimmte Auswirkung sind. Innerhalb der Graphik lassen sich diese Ursachen daran erkennen, dass sie keine eingehenden, sondern nur ausgehende Pfeile besitzen. Jede Grundursache ist notwendige Bedingung für das Eintreten des untersuchten Unfalls. Zusammen bieten die Grundursachen eine hinreichende kausale Erklärung für sein Eintreten.

2.4 Fazit

Die zu Beginn des Kapitels gestellte Frage nach den Ursachen für das Auftreten eines Fehlverhaltens innerhalb eines offenen komplexen heterogenen Systems lässt sich mit Hilfe der WBG-Methode klären. Die über das zuvor beschriebene Vorgehen identifizierten Grundursachen liefern die Begründung für das Auftreten des Fehlverhaltens und ermöglichen somit die Beantwortung der ersten eingangs gestellten Frage. Zur Beantwortung der zweiten Frage nach Maßnahmen zur künftigen Verhinderung eines gleichartigen Fehlverhaltens werden ebenfalls die ermittelten Grundursachen herangezogen. Sie dienen als Ansatzpunkt für die Erarbeitung von Gegenmaßnahmen, die der Beseitigung von Schwachstellen im System dienen.

3 Midair Collision in Süddeutschland

Es wird nachfolgend der Unfall dargestellt, der anhand der im vorhergehenden Kapitel 2 beschriebenen Analyseverfahren untersucht werden soll. Es handelt sich um den Zusammenstoß in der Luft (Midair Collision) eines Passagierflugzeugs der russischen Fluggesellschaft Bashkirian Airline mit einem Frachtflugzeug des Expressluftfrachtdienstleisters DHL. Der Zusammenstoß ereignete sich am Abend des 01. Juli 2002 nahe der Stadt Überlingen am Bodensee. Bei dem gewählten Unfall bzw. Unfallhergang spielen flugverkehrskontrolltechnische Abläufe eine große Rolle. Daher soll zum besseren Verständnis in Abschnitt 3.1 zunächst eine kurze Einführung in die Grundlagen der Flugverkehrskontrolle und die in Verbindung mit dem Unfall stehenden relevanten Begrifflichkeiten gegeben werden. Vor diesem Hintergrund erfolgt anschließend in Abschnitt 3.2 eine kurze Darstellung des Unfallhergangs der Midair Collision bei Überlingen. Die Wahl dieses Unfalls als Beispiel erfolgt aufgrund der Überlegung, dass es sich hierbei um einen Unfallhergang mit einer hinreichend großen Anzahl gut dokumentierter Ereignisse handelt, anhand derer sich eine ausführliche Why-Because Analyse durchführen lassen sollte. Zudem spricht die Aktualität der Ereignisse für die Auswahl des Unfalls.

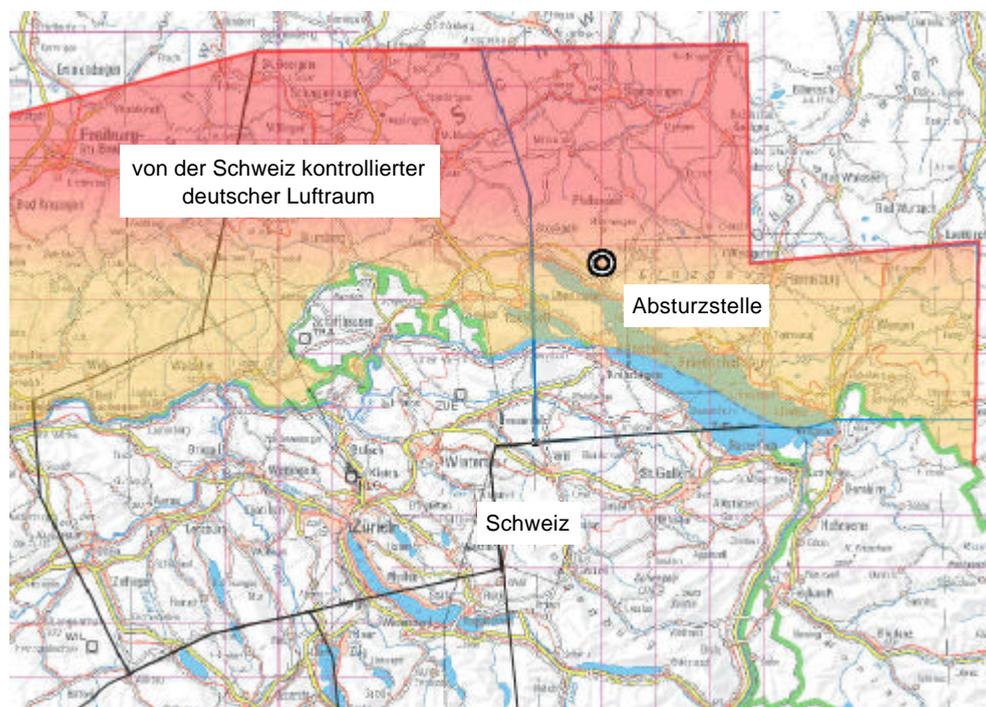
3.1 Grundlagen der Flugverkehrskontrolle

In diesem Kapitel werden grundlegende Begriffe, Abläufe und Organisationsstrukturen aus dem Bereich der Flugverkehrskontrolle erläutert. Dies trägt zum Verständnis der für den ausgewählten Beispielunfall relevanten Ereignisse bei. Obwohl die schweizerische Flugsicherung skyguide in das Unfallgeschehen bei Überlingen maßgeblich involviert ist, erfolgt die Darstellung am Beispiel der Deutschen Flugsicherung (DFS). Dies fällt jedoch nicht weiter ins Gewicht. Die grundlegenden Organisationsstrukturen sind international abgestimmt, um eine sichere und reibungslose staatenübergreifende Verkehrsabwicklung zu ermöglichen. Bei einem Großteil des in diesem Bereich geltenden Rechts handelt es sich um internationale Gesetzgebung. Zudem ist davon auszugehen, dass für die geltende deutsche Gesetzgebung in der Schweiz analoge nationale Regelungen existieren.

3.1.1 Organisation des Luftraumes

Der Luftraum der Bundesrepublik Deutschland, wie auch jedes anderen Staates, ist ein dreidimensionales Gebilde. Die horizontalen Grenzen entsprechen dabei im Wesentlichen den

geographischen Landesgrenzen. In vertikaler Richtung bildet die Erdoberfläche die Untergrenze des Luftraumes. Nach oben hin ist er nicht limitiert. Die vertikale Struktur des Luftraumes ist aufgeteilt in den unteren und den oberen Luftraum sowie den kontrollierten und den unkontrollierten Luftraum. Der untere Luftraum reicht von der Erdoberfläche bis Flugfläche 245, auch kurz als FL 245⁵ bezeichnet. Der obere Luftraum schließt sich direkt darüber an und ist nach oben hin unbegrenzt. Innerhalb dieser Struktur gibt es von der Flugsicherung kontrollierte und unkontrollierte Luftraumbereiche. Der kontrollierte Bereich ist auch hier in horizontaler Ausdehnung im Wesentlichen identisch mit den geographischen Landesgrenzen [Men93, S. 47ff]. Es gibt jedoch Ausnahmen, wie z.B. in Süddeutschland. Im Grenzgebiet zur Schweiz ist die Kontrolle eines Teils des deutschen Luftraumes an die schweizerische Flugsicherung skyguide delegiert worden (s. rotorangener Bereich in Darstellung 3-1). Dieser Umstand erklärt auch die maßgebliche Beteiligung der schweizerischen Flugsicherung am Unfallgeschehen im Falle der Midair Collision bei Überlingen, obwohl sich der Unfall in deutschem Hoheitsgebiet ereignet hat.



Darstellung 3-1: An Skyguide delegierter Luftraum in Süddeutschland [Sky02b]

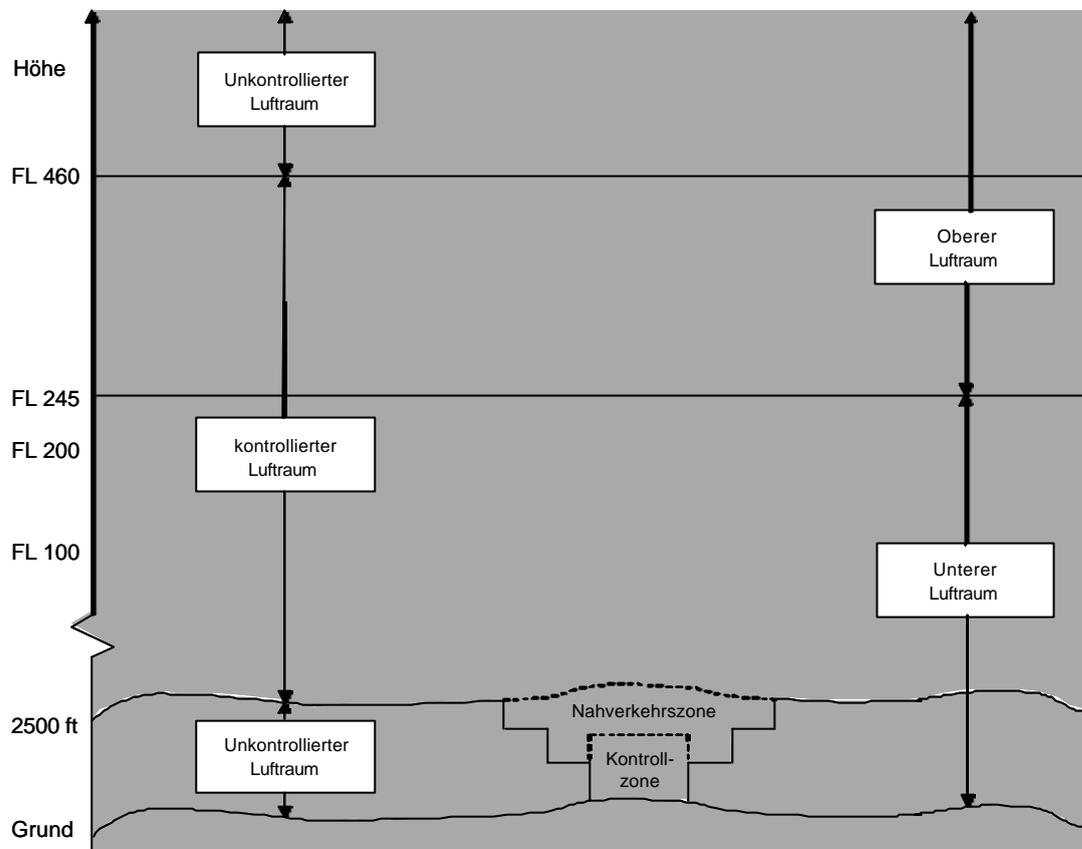
⁵ „FL 245“ steht für Flight Level 245 und entspricht einer Höhe von 24500 ft bzw. 7350 m über NN

Für die vertikale Ausdehnung des kontrollierten Luftraumes gilt in der Regel eine Untergrenze von 2500 ft⁶ über Grund. Eine Ausnahme bilden die Nahverkehrsbereiche⁷, die sich unmittelbar an die Kontrollbereiche⁸ der Flugplätze anschließen, und die Kontrollbereiche selbst. Im Nahverkehrsbereich liegt die Untergrenze bei 1700 ft bzw. 1000 ft. über Grund. Im Kontrollbereich liegt die Untergrenze bei 0 ft über Grund. Die abweichenden Untergrenzen ergeben sich daraus, dass in den genannten Bereichen startende und landende Flugzeuge überwacht werden. Die Obergrenze für die vertikale Ausdehnung des kontrollierten Luftraumes liegt bei Flugfläche 460 (FL 460). Zudem ist der kontrollierte Luftraum weltweit gemäß den Bestimmungen der International Civil Aviation Organisation (ICAO) je nach angebotenen Kontroll-Dienstleistungen in die Luftraumklassen A bis G eingeteilt. Auf die Einteilungskriterien soll hier jedoch nicht weiter eingegangen werden. Alle Bereiche, die nicht innerhalb der vorgenannten horizontalen und vertikalen Grenzen für den kontrollierten Luftraum liegen bilden den unkontrollierten Luftraum. Dieser unterliegt nicht der Flugverkehrskontrolle durch die Flugsicherung. Darstellung 3-2 veranschaulicht für die vertikale Struktur des Luftraumes die bisher beschriebenen Zusammenhänge [Men93, S. 47ff].

⁶ 1 ft (Fuß) entspricht 0,3 m

⁷ ca. 60 km um einen Flugplatz herum (siehe auch „An- und Abflugkontrolle“ unter 3.1.2)

⁸ vom Flugplatz aus kontrollierter Luftraum über dem und um das Flugplatzgelände herum (siehe auch „Flugplatzkontrolle“ unter 3.1.2)



Darstellung 3-2: Vertikale Luftraumstruktur nach Mensen [Men93, S. 50]

Die Ermittlung der Flughöhen erfolgt mit Hilfe von barometrischen Höhenmessern. Einzelnen Luftdruckwerten können über den Normaldruckverlauf⁹ die zugehörigen Höhen zugeordnet werden. Während des Reiseflugs, in größeren Flughöhen also, wird die Höhe des Flugzeugs über Flugflächen bzw. Flight Level (FL) angegeben. Die Ermittlung der Flugflächen, genau genommen sind es Flächen gleichen Drucks, erfolgt über einen Höhenmesser im Flugzeug in der 1013,25 hPa-StandardEinstellung. Der Anfangswert für die Höhenzählung liegt in dieser Einstellung bei 1013,25 hPa. Das Instrument misst nun den Luftdruck, der auf das Flugzeug wirkt, und ermittelt daraus unter Annahme der Gültigkeit der Normalatmosphäre¹⁰ über den Normaldruckverlauf die theoretische Höhe über Normal Null (NN). Diese Höhen-

⁹ in Normal Null (NN; Niveau des mittleren Meeresspiegels) herrschender Luftdruck halbiert sich mit zunehmender Höhe alle 5,5 km

¹⁰ Luftdruck von 1013,25 hPa in NN bei einer Lufttemperatur von 15°C und einer Luftdichte von 1,225 kg/m³

Angabe gibt nicht die tatsächliche Höhe über NN an, da die Ermittlung aufgrund der Annahme konstanter normierter Bedingungen (Normalatmosphäre) entstanden ist und nicht unter Einbezug der tatsächlichen atmosphärischen Bedingungen (wie z.B. Hochdruck- oder Tiefdruckzonen). Die Höheneinordnung in Form von Flugflächen ist jedoch trotzdem eindeutig, da alle auf einer Flugfläche befindlichen Flugzeuge in Bezug auf die aktuelle tatsächliche Atmosphäre denselben Messfehler machen. Während des An- und Abflugs wird die Flughöhe nicht mehr über Flugflächen angegeben. Die Höhenmessung erfolgt in der Nahverkehrs- und der Kontrollzone unter Einbezug der tatsächlich herrschenden atmosphärischen Bedingungen. Der Höhenmesser muss dazu in der sogenannten QNH-Einstellung betrieben werden. Der Anfangswert für die Höhenzählung bezieht sich in dieser Einstellung auf den Luftdruck in der Höhe NN, der über den in Flugplatzhöhe tatsächlich gemessenen Luftdruck ermittelt wird (QNH-Luftdruck). Vom tatsächlich gemessenen Flugplatzluftdruck wird dazu über den Normaldruckverlauf zunächst auf den in NN theoretisch herrschenden Luftdruck zurückgerechnet. Aus dem so für den Luftdruck ermittelten Wert in NN lässt sich nun wiederum über den Normaldruckverlauf die tatsächliche Höhe des Flugzeugs über NN errechnen. Aus der Differenz zwischen Flugzeughöhe über NN und Flugplatzhöhe über NN ergibt sich die Höhe des Flugzeugs über Grund. Vergleiche hierzu [Men93, S. 51f] und [Lin03, S. 154ff].

Innerhalb des kontrollierten Luftraumes fliegen die Luftfahrzeuge auf vorgeschriebenen Flugverkehrsstrecken. Der Verlauf der einzelnen Strecken wird von Funknavigationsanlagen, wie z.B. UKW-Drehfunkfeuern (VOR), vorgegeben. Die Flugverkehrsstrecken bzw. Luftstraßen werden von definierten Verbindungslinien zwischen bestimmten Funkfeuern gebildet. Jede dieser Strecken ist eindeutig benannt. Funknavigationsanlagen oder Funkfeuer sind Antennen, die elektromagnetische Signale aussenden. Diese werden von einer technischen Einheit im Flugzeug aufgenommen und die enthaltenen Informationen werden dem Piloten angezeigt. Mit Hilfe der Angaben kann sich der Pilot orientieren und seine Flugstrecke erkennen [Mer, S. 60f].

3.1.2 Flugsicherung und Flugverkehrskontrolle

Nach der Verordnung über die Betriebsdienste der Flugsicherung FSBetrV besteht die Aufgabe und der gesetzliche Auftrag der Flugsicherung in der Hauptsache darin, „Zusammenstöße zwischen Luftfahrzeugen in der Luft und auf den Rollfeldern der Flugplätze [zu] verhindern“ (§ 4 FSBetrV). Darüber hinaus sollen durch die Flugsicherung alle

Maßnahmen ergriffen werden, die zur „wirtschaftlichen“ (§ 9 FSBetrV) sowie „sicheren, geordneten und flüssigen Abwicklung des Luftverkehrs“ (§§ 4, 12, 17 und 21 FSBetrV) notwendig sind. Außerdem hat die Flugsicherung die Aufgabe, die für die Durchführung des Such- und Rettungsdienstes zuständigen Stellen über notwendige Einsätze zu benachrichtigen und diese Stellen in ihrer Arbeit zu unterstützen (§ 15 FSBetrV). Innerhalb der Flugsicherung sind unterschiedliche Betriebsdienste für die Erfüllung der einzelnen Aufgaben verantwortlich [FSBetrV]:

- Flugverkehrskontrolle (§ 4ff FSBetrV)
- Fluginformationsdienst (§ 12ff FSBetrV)
- Flugalarmdienst (§ 15f FSBetrV)
- Flugberatungsdienst (§ 17ff FSBetrV)
- Flugfernmeldedienst (§ 21ff FSBetrV)

Für den Unfallhergang innerhalb des ausgewählten Beispielunfalls sind insbesondere Abläufe innerhalb des Bereichs der Flugverkehrskontrolle relevant. Deshalb wird nachfolgend nur näher auf den Flugsicherungsbetriebsdienst „Flugverkehrskontrolle“ eingegangen.

Bei der Flugverkehrskontrolle oder auch Air Traffic Control (ATC) handelt es sich laut Verordnung über die Betriebsdienste der Flugsicherung um den Betriebsdienst der Flugsicherung, der insbesondere für die Verhinderung von Zusammenstößen zwischen Luftfahrzeugen bzw. zwischen Luftfahrzeugen und sonstigen Hindernissen und für die Sicherheit, Ordnung und Flüssigkeit des Luftverkehrs verantwortlich ist. Die Überwachung des Flugverkehrs erfolgt dabei von den unterschiedlichen Kontrollstellen aus: von den Flugplatzkontrollstellen (z.B. in Saarbrücken), den An- und Abflugkontrollstellen (z.B. in Düsseldorf) und den Bezirkskontrollstellen (z.B. in Karlsruhe).

Flugplatzkontrolle

Sofern es sich um einen kontrollierten, d.h. innerhalb des Zuständigkeitsbereiches der Flugsicherung liegenden Flugplatz handelt, erfolgt die Flugplatzkontrolle durch einen oder mehrere Lotsen¹¹ im Tower des jeweiligen Flugplatzes. Der zuständige Lotse überwacht und

¹¹ synonym auch: Flugverkehrsleiter oder Air Traffic Controller

lenkt den Luftverkehr auf dem Flugplatz selbst und in der umliegenden Kontrollzone sowohl für Flüge nach Instrumentenflugregeln (IFR¹²-Flüge) als auch für Flüge nach Sichtflugregeln (VFR¹³-Flüge). Dabei umfasst die Kontrollzone den unmittelbaren Nahbereich von ca. 10 km Umkreis um den Flugplatz. Die Flugplatzkontrollstelle, auch Aerodome Control Tower (TWR) genannt, arbeitet eng mit der jeweiligen An- und Abflugkontrollstelle zusammen [Mer, S. 8, 18f und 26].

An- und Abflugkontrolle

Die An- und Abflugkontrollstellen (Approach Control Offices (APP)) sind zuständig für die Überwachung, Lenkung und Staffelung¹⁴ des an-, ab- und überfliegenden IFR-Flugverkehrs im Nahbereich von ca. 60 km um den Flughafen herum. Sobald die geforderten Abstände, Geschwindigkeiten und die Reihenfolge der Flugzeuge stimmen, werden die Anflüge von hier an die jeweilige Platzkontrolle übergeben. Umgekehrt übergibt die Flugplatzkontrollstelle den abfliegenden Verkehr an die An- und Abflugkontrolle. Diese leitet die Luftfahrzeuge auf ihre überregionalen Verkehrsstrecken und übergibt sie an die verantwortliche Bezirkskontrollstelle [Mer S. 9 und 20].

Bezirkskontrolle

Es existieren sowohl für den unteren und als auch für den oberen Luftraum Bezirkskontrollstellen, die auch als Area Control Center (ACC) bezeichnet werden. Die hier arbeitenden Lotsen sind für die großräumige Lenkung und Staffelung des IFR-Flugverkehrs auf nationalen und internationalen Flugverkehrsstrecken zuständig. In Deutschland gibt es für den unteren Luftraum fünf derartige Kontrollbezirke, für den oberen Luftraum sind es drei. Der von den Flugverkehrsleitern zu führende Luftverkehr besteht zum Großteil aus Streckenflügen, die die einzelnen Bezirke durchqueren. Es zählen aber auch An- und Abflüge, die an die An- und Abflugkontrollstellen übergeben bzw. von diesen übernommen werden, zum zu betreuenden Verkehr. Die Aufgaben werden sowohl in den An- und Abflugkontrollstellen als

¹² IFR steht für Instrument Flight Rules

¹³ VFR steht für Visual Flight Rules

¹⁴ horizontale bzw. vertikale Mindestabstände zwischen zwei Flugzeugen, die auf keinen Fall unterschritten werden dürfen, siehe auch Abschnitt 3.1.3

auch in den Bezirkskontrollstellen ausschließlich unter Zuhilfenahme von Radartechnik erfüllt [Mer, S. 9 und 20f].

3.1.3 Flugverkehrsleiter

In diesem Abschnitt wird erläutert, in welcher Form die Aufgaben der Flugsicherung innerhalb der bestehenden Organisationsstruktur erfüllt werden. Wie unter 3.1.2 schon angedeutet, spielen hierbei die Flugverkehrsleiter eine zentrale Rolle. Daher sollen die Aufgaben von und Anforderungen an die Flugverkehrsleiter und die zur Erfüllung dieser Anforderungen zur Verfügung stehenden Arbeitsmittel nachfolgend näher beleuchtet werden.

Grundvoraussetzung für die Verhinderung von Zusammenstößen und gefährlichen Annäherungen (Airproxes) zwischen Luftfahrzeugen ist die Einhaltung der sogenannten Staffelungsvorgaben. Auf den Begriff der Staffelung soll daher näher eingegangen werden. Bei den jeweils geltenden Staffelungsvorgaben handelt es sich um Mindestabstände zwischen Luftfahrzeugen, die unter allen Umständen eingehalten werden müssen. Es wird zwischen horizontaler und vertikaler Staffelung unterschieden. Die Vorgaben für die horizontale Staffelung liegen zwischen 2,5 und 10 NM¹⁵. Die Werte für die vertikale Staffelung liegen zwischen 500 und 4000 ft. Die genauen Staffelungswerte sind von mehreren Faktoren abhängig, wie beispielsweise vom verwendeten Radarsystem, der Größe, Geschwindigkeit und Flughöhe der Flugzeuge, davon, ob es sich um Instrumentenflüge oder Sichtflüge handelt etc. Es ist die Hauptaufgabe der Flugverkehrsleiter, dafür Sorge zu tragen, dass die Staffelungsvorgaben eingehalten werden [Mer, S. 28ff]. Um die Einhaltung der Staffelungsvorgaben zu gewährleisten, müssen Lotsen die richtigen Entscheidungen zum richtigen Zeitpunkt treffen. Bewegen sich Flugzeuge aufeinander zu, müssen die Lotsen im Vorfeld einer Fluganweisung eine erhebliche Denkleistung erbringen. Für die Entscheidung, welche Fluganweisung zu geben ist, müssen sie z.B. berücksichtigen, wie schnell und unter welchem Winkel sich die Flugzeuge nähern, welche Auswirkungen die Anweisung auf den übrigen Verkehr und die benachbarten Zuständigkeitsbereiche hat, welche Entscheidung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten am günstigsten ist, ob die Entscheidung regelkonform ist, ob weitere Personen von der Anweisung zu unterrichten sind etc. Dafür haben sie

¹⁵ 1 NM (Nautische Meile) entspricht 1,852 km

bestenfalls zehn Minuten, im Schnitt jedoch ca. eine Minute Zeit und das für bis zu vier solcher möglichen Konfliktstellen [Mer, S. 49f].

Zur Bewältigung dieser Aufgabe stehen den Radarlotsen, die fast ausschließlich in den An- und Abflug- und den Bezirkskontrollstellen eingesetzt sind, an ihren Arbeitsplätzen unterschiedliche Hilfsmittel zur Verfügung. Das wichtigste unter ihnen ist das Radar. Darstellung 3-3 zeigt einen Radararbeitsplatz der DFS-Kontrollzentrale in Langen.



Darstellung 3-3: Radararbeitsplatz [DFS99, S.4]

Auf dem Radarbildschirm werden die im Überwachungsbereich des Flugverkehrsleiters fliegenden Luftfahrzeuge als digital erzeugte Computersymbole angezeigt. Sofern im Computersystem hinterlegt, erscheinen auch Rufzeichen der Maschine, Flughöhe und Geschwindigkeit auf dem Bildschirm. Zusätzlich zum Radarbild stehen dem Lotsen ca. 10 bis 15 Minuten bevor ein Luftfahrzeug in seinen Kontrollbereich einfliegt alle wichtigen Informationen über diesen Flug schriftlich auf einem Papierstreifen zur Verfügung. Neben dem Rufzeichen, der aktuellen und beantragten Flughöhe und der Geschwindigkeit zählen z.B. auch Informationen wie der Start- und Zielflughafen und die Route des Fluges, der Flug-

zeugtyp und die Gewichtskategorie sowie die voraussichtliche Überflugzeit zu den verfügbaren Angaben. Zur voraussichtlichen Überflugzeit sowie zu allen sonstigen Zeitangaben sei angemerkt, dass in allen Flugsicherungsstellen weltweit die gleiche Uhrzeit – die sogenannte koordinierte Weltzeit bzw. Universal Time Coordinated (UTC)¹⁶ – genutzt wird. Für die Bereitstellung des Informationsstreifens ist der Flugdatenassistent zuständig, der der jeweiligen Radarposition zugeordnet ist. Darüber hinaus wird der Radarlotse durch einen weiteren Lotsen, den sogenannten Koordinationslotsen, unterstützt. Er übernimmt die Koordination mit den angrenzenden Zuständigkeitsbereichen. Die Kontaktaufnahme mit anderen Kontrollbereichen erfolgt telefonisch über Direktleitungen. Bei Direktleitungen entfällt der Wahlvorgang, d.h. der Lotse wird per Knopfdruck automatisch verbunden. Im Regelfall ist jeder Radararbeitsplatz mit einem Radarlotsen und einem Koordinationslotsen besetzt [Mer, S. 48 und 51ff].

Die vom Radarlotsen anhand der zuvor dargestellten Informationen, Hilfsmittel und Denkprozesse ermittelten Anweisungen dienen in erster Linie der Einhaltung der Staffelvorgaben. Die Anweisungen werden in Form von Freigaben über Sprechfunk an die Piloten der jeweiligen Flugzeuge übertragen. Freigaben sind Bewilligungen, die den Kurs oder die Flugstrecke vorschreiben oder eine Änderung der Flughöhe gestatten. Die Flugzeugführer bestätigen und wiederholen die erteilten Anweisungen. Dadurch ist für den Lotsen erkennbar, dass der Pilot die Anweisung richtig verstanden hat [Mer, S. 46f].

3.2 Midair Collision nahe der Stadt Überlingen am Bodensee

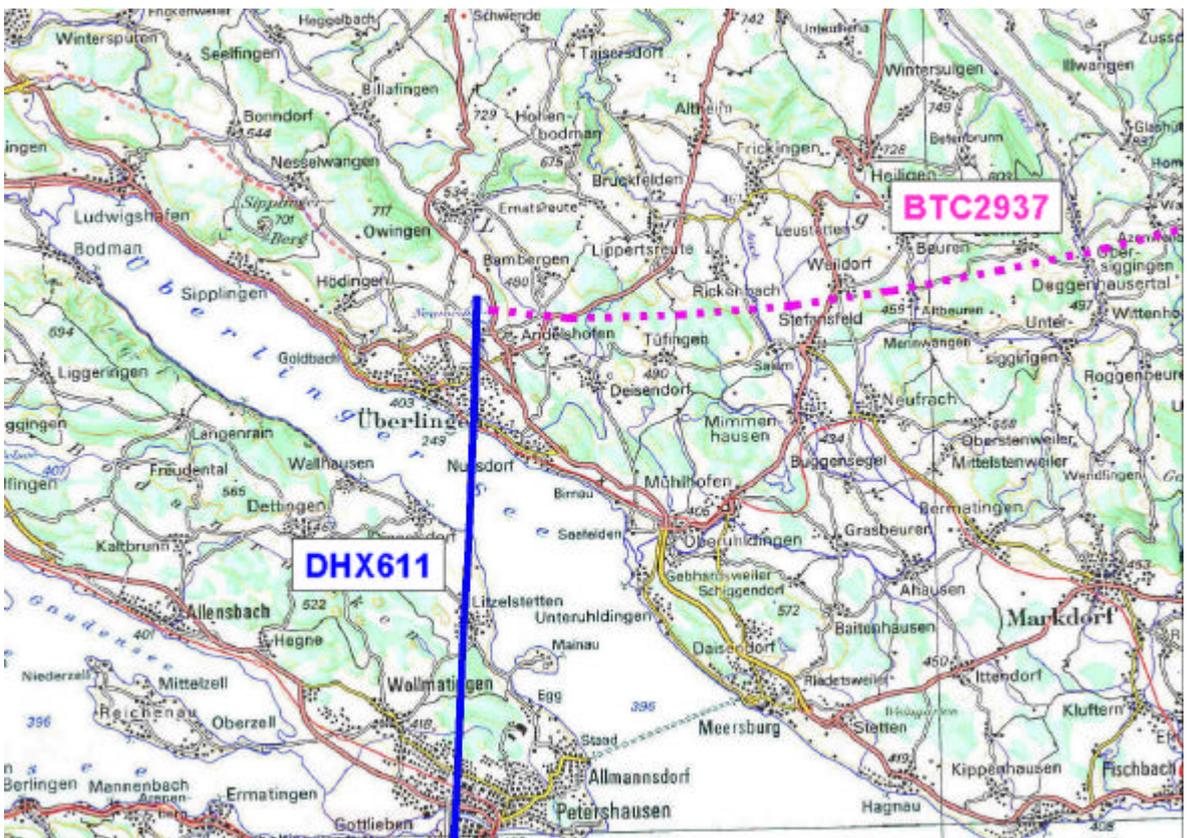
Laut Unfallbericht der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) kommt es am Abend des 01. Juli 2002 um 21:35:31 Uhr¹⁷ in der Nähe der Stadt Überlingen am Bodensee zu einer Midair Collision zwischen einem Passagierflugzeug der russischen Fluggesellschaft Bashkirian Airline vom Typ Tupolew TU154 M und einem Frachtflugzeug des Expressluftfrachtdienstleisters DHL vom Typ Boeing B757. Das russische Flugzeug befindet sich auf einem Charterflug vom Flughafen Moskau/Russland nach Barcelona/Spanien. Es halten sich an Bord 12 Besatzungsmitglieder und 57 Passagiere auf, unter ihnen 45 Kinder und Jugend-

¹⁶ die koordinierte Weltzeit entspricht in Deutschland und der Schweiz im Winter der Ortszeit minus eine Stunde bzw. im Sommer der Ortszeit minus zwei Stunden

¹⁷ alle genannten Zeiten in Universal Time Coordinated (UTC)

liche sowie 12 Erwachsene. Die Boeing B757 befindet sich auf einem Frachtflug vom Flughafen Bahrain nach Brüssel/Belgien unterbrochen durch eine Zwischenlandung in Bergamo/Italien. An Bord fliegen zwei Piloten mit. Nach der Kollision stürzen beide Flugzeuge in ein Gebiet nördlich der Stadt Überlingen. Dabei kommen alle 71 Flugzeuginsassen ums Leben und beide Flugzeuge werden vollständig zerstört. Am Boden kommen keine Personen zu Schaden, es entsteht dort lediglich Flur- und Forstschaden. Vergleiche zu den bisher gemachten Aussagen Seite 10 des Untersuchungsberichts der BFU [BFU02a].

Die von der schweizerischen Flugsicherung skyguide veröffentlichte nachfolgende Detailkarte (Darstellung 3-4) zeigt die Flugrichtung der TU154 M mit der Kennung BTC2937 und der B757 mit der Kennung DHX611 und lokalisiert den genauen Ort des Absturzes.



Darstellung 3-4: Unfall Überlingen Detailkarte [Sky02a]

Die BFU ist nach internationalem und nationalem Recht für die Untersuchung des Unfalls zuständig und verantwortlich, da es über deutschem Hoheitsgebiet zu dem Unfall kam. Der vorläufige Untersuchungsbericht der BFU von Juli 2002 macht zum Unfallhergang die in den

Abschnitten 3.2.1 bis 3.2.3 folgenden Aussagen [BFU02a, S. 10ff]. Weiterführende und detailliertere Ausführungen zum genauen Unfallhergang können dem Untersuchungsbericht entnommen werden. Er ist der Ausarbeitung als Anhang B beigelegt.

3.2.1 Situation und Ereignisse an Bord der Tupolew TU154 M

Die russische Tupolew TU154 M auf westlichem Kurs wird um 21:30 Uhr von der Deutschen Flugsicherung DFS (München Radar) an die schweizerische Flugsicherung skyguide (ACC Zürich) übergeben. Sie bewegt sich auf einer Reiseflughöhe von FL 360. Um 21:34:42 Uhr warnt das bordseitige Zusammenstoßwarngerät TCAS¹⁸ (Traffic Alert and Collision Avoidance System) die Besatzung vor möglichem Konfliktverkehr. Sieben Sekunden später weist der Radarlotse des ACC Zürich die Besatzung der TU154 M an, schnell auf FL 350 zu sinken und weist dabei auf Konfliktverkehr hin. Diese Anweisung wird von der Besatzung zwar nicht bestätigt, sie leitet aber den Sinkflug ein. Zur selben Zeit gibt das TCAS der Tupolew das Kommando zu steigen. Nach weiteren sieben Sekunden wiederholt der Radarlotse seine Anweisung an die Besatzung, schnell auf FL 350 zu sinken. Diese Anweisung wird von der Besatzung sofort bestätigt. Daraufhin informiert der Lotse die Besatzung darüber, dass sich anderer Flugverkehr in „2-Uhr-Position“ in FL 360 befindet [BFU02a].

3.2.2 Situation und Ereignisse an Bord der Boeing B757

Bezüglich der Boeing B757 stellt sich die Situation wie folgt dar. Das Frachtflugzeug auf nördlichem Kurs wird um 21:20 Uhr der Kontrolle des ACC Zürich übergeben. Es erfolgt eine Freigabe zum direkten Anflug des Drehfunkfeuers (VOR) Tango sowie eine Steiganweisung von FL 260 auf FL 320. Kurze Zeit später bittet die Besatzung, auf FL 360 steigen zu dürfen. Dies wird ihr knapp 4 Minuten später um 21:26:36 Uhr genehmigt. Die B757 erreicht diese Flughöhe um 21:29:50 Uhr. Um 21:34:42 Uhr warnt das bordseitige TCAS die Besatzung vor möglichem Konfliktverkehr. 14 Sekunden später, um 21:34:56 Uhr, erhält die Besatzung das TCAS-Kommando zu sinken. Sie folgt dem Kommando sofort und erhält weitere 14 Sekunden später das Kommando, stärker zu sinken. Um 21:35:19 Uhr meldet die Besatzung

¹⁸ nähere Ausführungen hierzu unter 4.1.3

der Flugsicherung, dass sie infolge eines Ausweichkommandos von TCAS einen Sinkflug eingeleitet hat [BFU02a].

Die Aufzeichnungen der bordseitigen Flugschreiber lassen erkennen, dass Besatzungsmitglieder beider Flugzeuge wenige Sekunden vor dem Zusammenstoß das jeweils andere Flugzeug erkannt und noch versucht haben, die Kollision durch entsprechende Flugmanöver zu vermeiden [BFU02a].

3.2.3 Situation und Ereignisse im ACC Zürich

Über die Situation im ACC Zürich zur Unfallzeit gibt der Unfallbericht ebenfalls Auskunft. Am späten Abend des Unfalltages werden sowohl am Radar- als auch am Telefonsystem Wartungsarbeiten durchgeführt. Das System wird daher während dieser Zeit im „Fallback-Modus“ betrieben. Es gelten währenddessen erhöhte Staffelungsminima. Sowohl das bodenseitige Kollisionswarnsystem STCA¹⁹ (Short Term Conflict Alert) als auch die direkten Telefonverbindungen zu den benachbarten Flugsicherungsdiensten stehen im genannten Zeitraum nicht zur Verfügung. Eine Reserveleitung ist die einzige telefonische Verbindung zum ACC Zürich an diesem Abend. Der Versuch eines Radarlotsen aus Karlsruhe, eine Kollisionswarnung des dortigen STCA an das ACC Zürich zu übermitteln, schlägt fehl, weil die Telefonverbindung nicht zustande kommt. Zum Zeitpunkt der Kollision befindet sich ein Lotse am Sektorarbeitsplatz. Er hat zwei Arbeitsplätze mit Radarschirmen zu überwachen. Ein zweiter zur Nachtschicht gehörender Lotse befindet sich währenddessen außerhalb des Raumes, um eine Pause zu machen [BFU02a].

¹⁹ nähere Informationen unter 4.1.3

4 Anwendung der WBG-Methode auf den Beispielunfall

Nachdem in Kapitel 2 die theoretischen Grundlagen der Analysemethode WBA dargelegt worden sind und in Kapitel 3 ein kurzer Überblick über den Unfallhergang für das ausgewählte Beispiel gegeben wurde, soll nun die praktische Anwendung der WBG-Methode am Beispiel der Midair Collision bei Überlingen dargestellt werden. Es soll die Frage beantwortet werden, warum es zu diesem schweren Unfall kam, bei dem 71 Menschen sterben mussten. Zudem sollen Ansatzpunkte für die Erarbeitung von Gegenmaßnahmen aufgezeigt werden, die der Verhinderung einer Wiederholung dienen. Vor diesem Hintergrund werden die Ursachen für die Kollision der beiden Flugzeuge unter Anwendung der unter 2.3 erläuterten WB-Graph Methode untersucht. In Abschnitt 4.1 wird die WB-Graph Methode auf den Beispielunfall angewendet. Eine Zusammenstellung und Diskussion der von der Analyse-methode gelieferten Ergebnisse erfolgt in Abschnitt 4.2.

Die in die Analyse eingehenden Informationen über den Unfallhergang entstammen vier unterschiedlichen Quellen. Als Hauptquelle wird der vorläufige Untersuchungsbericht der BFU [BFU02a] herangezogen. Als weitere Informationsquellen dienen insbesondere die ZDF-Fernsehdokumentation „Tod über den Wolken – Wenn fliegen zum Albtraum wird“ [DFW03], Pressemitteilungen der BFU [BFU02b und c] und die Aufzeichnungen des Sprechverkehrs im ACC Zürich [ASN03]. Die graphische Darstellung des WB-Graphen wird mit Hilfe des Visualisierungsprogramms „Microsoft Visio“ erstellt, da dieses Programm für den hier verfolgten Zweck ausreichende Darstellungsmöglichkeiten bietet und unter dem Betriebssystem Windows arbeitet. Auf die Verwendung der für die automatisierte Erstellung von WB-Graphen verfügbaren Tools „ciedit“ und „wb2dot“ wird verzichtet, da sie nur unter dem Betriebssystem Linux anwendbar sind und – zumindest für „wb2dot“ – eine Erstellung des WB-Graphen in Textform notwendig ist. Bei „ciedit“ handelt es sich um das jüngste Tool der Arbeitsgruppe Rechnernetze und Verteilte Systeme (RVS) um Peter Ladkin, das auf dem „2nd Bieleeschweig Workshop on Root Cause Analysis“ am 01. und 02. Juli 2003 in Braunschweig vorgestellt wurde. Nähere Informationen zu „wb2dot“ und weiteren von der Bielefelder RVS-Gruppe angebotenen Tools sind im Internet abrufbar [WBA03].

4.1 Analyse

Anhand der in Abschnitt 2.3 beschriebenen WB-Graph Methode wird im Folgenden die Midair Collision bei Überlingen auf ihre Grundursachen hin untersucht. Zunächst wird in Ab-

schnitt 4.1.1 eine Liste mit allen für den Unfallhergang relevanten Fakten erstellt. Die darin enthaltenen Informationen stammen aus den zuvor genannten Quellen. Daran anschließend wird in Abschnitt 4.1.2 eine grobe zeitliche Historie des Unfallhergangs als Grundgerüst für die weitere Analyse ermittelt. Auf Grundlage der zeitlichen Historie wird in Abschnitt 4.1.3 über den Erklärungsbereich Kausalität oder – falls möglich – über die ablaufbezogene Notwendigkeit eine hinreichende kausale Erklärung für das Zusammenstoßen des DHL-Flugzeugs mit der russischen Tupolew erarbeitet und in Form eines WB-Graphen dargestellt (vgl. Abschnitt 2.3.2 und 2.3.3).

4.1.1 Liste der Fakten

Zunächst werden aus den angegebenen Quellen alle als relevant erachteten Informationen ermittelt. Ein Kriterium für Relevanz existiert innerhalb der Analysemethode nicht. Die Beurteilung liegt im Ermessen des Untersuchenden [Lad01, S. 213]. Es ist daher durchaus möglich, dass eine Information zunächst als wichtig angesehen wird, im Nachhinein aber gar nicht gebraucht wird bzw. umgekehrt. Das liegt im Erarbeitungsprozess für den endgültigen Graphen begründet. Es können hierbei mehrfache Abänderungen, Ergänzungen und Umstellungen der einzelnen Knoten erfolgen. Die thematisch zusammengehörigen Informationen werden in der Liste der Fakten jeweils zu einem Bereich zusammengefasst. Es ergibt sich für das Beispiel der Midair Collision eine Liste mit fünf Bereichen, die jeweils Informationen zur Kollision selbst, zum Ausweichmanöver, zur Situation an Bord der B757, zur Situation an Bord der TU154 M und Informationen zur Situation im ACC Zürich enthalten. Die Fakten zu den einzelnen Bereichen werden in chronologischer Reihenfolge aufgelistet und durchnummeriert. Der Nummerierung wird ein Kennbuchstabe vorangestellt, der den Bereich kennzeichnet, dem die Informationen zuzuordnen sind. Der Buchstabe „K“ wie Kollision kennzeichnet z.B. die Informationen zur Kollision selbst und ihren Folgen. Für die Bereiche „Ausweichmanöver“ (Kennung „M“), „Situation an Bord der B757“ (Kennung „B“) „Situation an Bord der TU154 M“ (Kennung „T“) und „Situation im ACC Zürich“ (Kennung „A“) wird analog vorgegangen. Informationen über die identifizierten Grundursachen erhalten eine gesonderte Kennung „G“. Dies erleichtert die Zuordnung der jeweiligen Informationen. Fakten, die sich auf zwei oder mehrer Bereiche beziehen, werden nur einem Bereich zugeordnet. Die Einführung des Nummerierungssystems erfolgt, um den WB-Graphen einfacher beschreiben zu können und die Beschreibung für den Leser besser nachvollziehbar zu machen. Dabei ist die Form der Nummerierung frei gewählt. Ladkin verwendet in seinem

Buch „Causal System Analysis - Formal Reasoning About Safety and Failure“ eine abweichende Art der Nummerierung [Lad01]. Sie bietet Vorteile für die Darstellung des WB-Graphen in Textform. Ihre Anwendung ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Den nachfolgend zusammengestellten Informationen ist in eckigen Klammern die jeweilige Quelle beigefügt, der sie entstammen. Die hierbei teilweise vorangestellte Abkürzung „ind.“ bedeutet „indirekt“ und kennzeichnet Informationen, die nicht direkt in der angegebenen Quelle genannt sind, die sich jedoch aus dem Zusammenhang ergeben. Alle Zeiten sind bei der Beschreibung der Knotenereignisse in UTC angegeben. Das Zeichen „@“ steht bei der Angabe der jeweiligen Uhrzeiten für „um“.

Informationen zur Kollision und ihren Auswirkungen

- K 1 Kollision TU154 M mit B757 in der Luft bei Überlingen @ 21:35:32 Uhr [BFU02a]
- K 2 Absturz beider Flugzeuge [BFU02a]
- K 3 71 Tote (keine Überlebenden) [BFU02a]
- K 4 Zerstörung beider Flugzeuge [BFU02a]
- K 5 Flur- und Forstschaden [BFU02a]

Ausweichmanöver

- G 1 Hohe Fluggeschwindigkeit [DFS03]
- M 1 Fast rechtwinklige Position der Flugzeuge zueinander [BFU02a]
- M 2 Beide Besatzungen sehen sich erst wenige Sekunden vor der Kollision [BFU02a]
- M 3 Besatzung TU154 M erwartet B757 von rechts [ind.DFW03]
- M 4 Einleitung des Ausweichmanövers erst wenige Sekunden vor der Kollision [BFU02a]
- M 5 Erfolgreiches Ausweichmanöver beider Besatzungen wenige Sekunden vor der Kollision [ind.BFU02a]

Informationen zu Situation an Bord der B757

- B 1 B757 im Bereich der Air Traffic Control (ATC) Zürich in FL 260 @ 21:21:50 Uhr [BFU02a]
- B 2 Anweisung, auf FL 320 zu steigen, @ 21:22:54 Uhr [BFU02a]
- B 3 B757 steigt aus FL 260 auf FL 320 [ind.BFU02a]
- B 4 B757 in FL 320 [ind.BFU02a]
- B 5 Bitte der Besatzung B757, auf FL 360 steigen zu dürfen, @ 21:22:59 Uhr [BFU02a]
- B 6 Besatzung B757 möchte auf FL 360 steigen [ind.BFU02a]

- G 2 Niedrigerer Kraftstoffverbrauch in großen Flughöhen [DFW03]
- B 7 Besatzung B757 leitet Steigflug ein und behält ihn bei [BFU02a]
- B 8 B757 steigt aus FL 320 auf FL 360 [ind.BFU02a]
- B 9 B757 in FL 360 von 21:29:50 Uhr bis 21:34:56 Uhr [BFU02a]
- G 3 Besatzung B757 meldet Einleiten des Sinkflugs infolge des Kommandos des Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS) @ 21:35:19 Uhr [BFU02a]
- G 4 Besatzung B757 befolgt Kommandos des TCAS @ 21:34:56 Uhr und 21:35:10 Uhr [BFU02a]
- B 10 Besatzung B757 leitet Sinkflug ein @ 21:34:56 Uhr [BFU02a]
- B 11 Besatzung B757 behält den Sinkflug bei [ind.BFU02a]
- B 12 B757 aus FL 360 im Sinkflug seit 21:34:56 Uhr mindestens bis zum Ausweichmanöver [ind.BFU02a]
- B 13 Besatzung B757 erkennt tatsächliche Konfliktsituation nicht [ind.BFU02a]
- G 5 Anzeige des TCAS, dass beide Flugzeuge sinken, wird von Piloten B757 nicht beachtet (seit 21:34:42 Uhr mögl.) [DFW03]
- B 14 B757 in FL 350 @ 21:35:32 Uhr auf Kurs 004° bei Überlingen [BFU02a]
- G 6 B757 auf Flugstrecke Bergamo-Brüssel (nördlicher Kurs) bei Überlingen [BFU02a]

Informationen zur Situation an Bord der TU154 M

- G 7 TU154 M wird von München Radar auf FL 360 an Zürich übergeben [BFU02a]
- T 1 TU154 M im Bereich ATC Zürich in FL 360 seit 21:30:11 Uhr [BFU02a]
- G 8 TCAS-Kommandos werden von der Besatzung ignoriert (erste Warnung @ 21:34:42 Uhr) [ind.BFU02a]
- G 9 Anzeige des TCAS, dass beide Flugzeuge sinken, wird von Piloten TU154 M nicht beachtet (seit 21:34:42 Uhr möglich) [DFW03]
- G 10 Besatzung TU154 M befolgt Anweisung des Lotsen [ind.BFU02a]
- T 2 Besatzung TU154 M leitet den Sinkflug ein @ 21:34:56 Uhr [BFU02a]
- T 3 Besatzung TU154 M behält den Sinkflug mindestens bis Ausweichmanöver bei [ind.BFU02a]
- T 4 Besatzung TU154 M befolgt die Anweisung des Lotsen weiterhin [BFU02a]
- T 5 TU154 M aus FL 360 im Sinkflug seit 21:34:56 Uhr mindestens bis Ausweichmanöver [ind.BFU02a]
- T 6 Besatzung TU154 M erkennt tatsächliche Konfliktsituation nicht [ind.BFU02a]

- G 11 Besatzung TU154 M bestätigt die Lotsenanweisung auf FL 350 zu sinken, zunächst nicht [BFU02a]
- G 12 Besatzung TU154 M bestätigt die Lotsenanweisung, auf FL 350 zu sinken, @ 21:35:03 Uhr [BFU02a]
- G 13 Besatzung TU154 M meldet TCAS-Kommandos überhaupt nicht [ind.BFU02a]
- T 7 TU154 M in ca. FL 350 @ 21:35:32 Uhr auf Kurs 274° bei Überlingen [BFU02a]
- G 14 TU154 M auf Flugstrecke Moskau-Barcelona (westlicher Kurs) bei Überlingen [BFU02a]

Informationen zur Situation im ACC Zürich

Aspekt Lotse

- A 1 Anweisung an B757, auf FL 360 zu steigen, @ 21:26:36 Uhr [BFU02a]
- G 15 Lotse kommt der Bitte der Besatzung B757 nach, steigen zu dürfen [ind.BFU02a]
- A 2 Lotse gibt B757 keine (gegensätzlichen) Anweisungen (letzte Anweisung @ 21:26:36 Uhr) [ind.BFU02a]
- A 3 Lotse gibt TU154 M keine Anweisungen zur Veränderung der Flughöhe bis 21:34:49 Uhr [ind.BFU02a]
- A 4 Lotse erkennt die Konfliktsituation bis ca. 21:34:49 Uhr nicht [ind.BFU02a]
- A 5 Lotse erkennt Konfliktverkehr (erst) ca. 21:34:49 Uhr [ind.BFU02a]
- G 16 Lotse versucht ab 21:34:49 Uhr, Konflikt über TU154 M zu lösen [ind.BFU02a]
- A 6 Anweisung an TU154 M, schnell auf FL 350 zu sinken, in Verbindung mit (i.V.m.) Hinweis auf Konfliktverkehr @ 21:34:49 Uhr [BFU02a]
- A 7 Wiederholte Anweisung durch Lotsen, schnell auf FL 350 zu sinken, in Verbindung mit Hinweis auf Flugverkehr in 2-Uhr-Position @ 21:35:03 Uhr [BFU02a]
- A 8 Lotseninfo über Konfliktverkehr in 2 Uhr-Position @ 21:35:03 Uhr ist falsch [DFW03]
- A 9 Lotse gibt TU154 M keine weiteren (gegensätzlichen) Anweisungen nach 21:35:03 Uhr bis zur Kollision [BFU02a]
- A 10 Lotse glaubt, Konflikt sei gelöst (ab ca. 21:35:03 Uhr) [ind.BFU02a]
- A 11 Lotse wieder beschäftigt mit Koordination Radaranflug Friedrichshafen im unteren Luftraum [DFW03]

Aspekt TCAS

- A 12 Lotse kann bis 21:35:19 Uhr nichts von TCAS-Kommandos wissen [ind.BFU02a]
- A 13 Keine Information des Lotsen über TCAS-Kommandos durch System [DFW03]

- G 17 Information des Lotsen über TCAS-Kommandos im System nicht vorgesehen [DFW03]
- A 14 B757 Meldung über TCAS-Kommandos im ACC nur bruchstückhaft verständlich [ASN03]
- G 18 Meldung von Pilotenstimme aus offenem Mikrofon überlagert [ASN03]

Aspekt Wartung Telefonnetz

- G 19 Wartungsarbeiten am Telefonnetz von skyguide [BFU02b]
- A 15 Abschaltung der Hauptleitung zum ACC Zürich [BFU02b]
- A 16 Hauptleitung nicht verfügbar [ind.BFU02b]
- A 17 Verbindung über Hauptleitung nicht möglich [ind.BFU02b]
- G 20 Technische Probleme mit der Reserveleitung [BFU02b], [ASN03]
- A 18 Leitung besetzt von 21:33:24 Uhr bis 21:34:45 Uhr [BFU02c]
- A 19 Verbindung über Prioritätstaste kommt nicht zustande [BFU02c]
- A 20 Lotse nimmt Telefon nicht ab [ind.BFU02c]
- A 21 Von 21:34:45 Uhr bis 21:35:34 Uhr nur Freizeichen [BFU02c]
- A 22 Verbindung über einzige verfügbare Leitung (Reserveleitung) kommt nicht zustande [DFW03]
- A 23 Keine Übermittlung der Kollisionswarnung des Upper Area Control Center (UACC) Karlsruhe an das ACC Zürich [BFU02c]
- A 24 Lotse erhält keine Kollisionswarnung [ind.BFU02a]

Aspekt Wartung Radarsystem

- G 21 Wartungsarbeiten am Radarsystem [BFU02b]
- A 25 Radarsystem arbeitet im Fallbackmodus, der keinen Short Term Conflict Alert (STCA) hat [BFU02a], [DFS03]
- A 26 STCA steht in Zürich am Abend des Unfalls seit 21:30 Uhr nicht zur Verfügung [BFU02a], [DFW03]

Aspekt Personalbesetzung

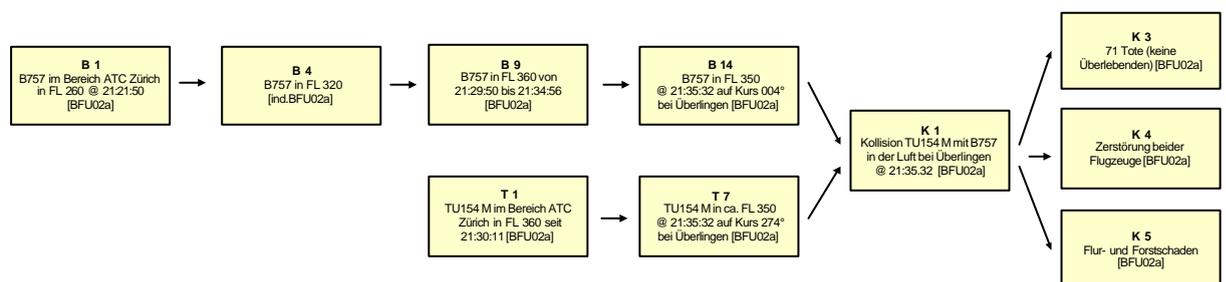
- G 22 Erster Lotse lässt zweiten Lotsen in Pause gehen [ind.BFU02a]
- G 23 Zweiter Lotse der Nachtschicht macht Pause außerhalb des Raumes [BFU02a]
- A 27 Zweiter Lotse der Nachtschicht befindet sich nicht an seinem Arbeitsplatz [BFU02a]

- A 28 Lotse hat zwei Sektorarbeitsplätze mit zwei Frequenzen zu überwachen [BFU02a], [BFU02b]
- A 29 Lotse betreut parallel auf einer Frequenz vier Flugzeuge, 2 sec vor Kollision noch ein fünftes [BFU02b]
- A 30 Lotse muss parallel auf zweiter Frequenz Radaranflug Friedrichshafen im unteren Luftraum koordinieren [DFW03]
- A 31 Lotse arbeitet an zwei völlig unterschiedlichen Arbeitsplätzen (Darstellung, Maßstab, Ort) [BFU02a], [DFS03]
- G 24 Assistentin ist nicht für Verkehrsführung zuständig [BFU02a]
- A 32 Anwesende Assistentin hat keine Verkehrsführungsfunktion [BFU02a]
- A 33 Lotse ist abgelenkt und überlastet [DFS03], [ind.DFW03]

Es sei hierzu angemerkt, dass einer endgültigen Liste dieser Form mehrfache Abänderungen, Umstellungen und Ergänzungen der Ursprungsliste voran gehen. Sie steht erst fest, wenn der endgültige WB-Graph erarbeitet ist.

4.1.2 Zeitliche Historie

Mit Hilfe der Liste der Fakten lässt sich nun für den Beispielfall eine grobe zeitliche Historie erstellen. Dies erfolgt anhand nur weniger grundlegender, dafür aber allgemein anerkannter Fakten. Im Beispielfall werden hierzu die Flughöhen der beiden Flugzeuge herangezogen, so dass sich die in Darstellung 4-1 abgebildete zeitliche Historie des Unfallhergangs ergibt.



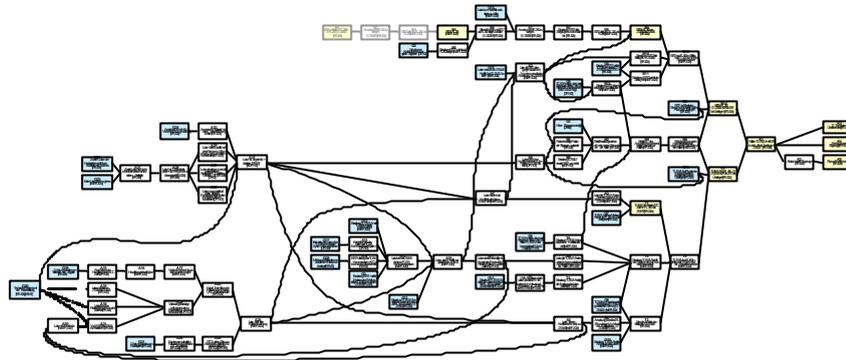
Darstellung 4-1: Grobe zeitliche Historie des Unfallhergangs

Das DHL-Flugzeug des Typs Boeing B757 befindet sich auf dem Weg von Bergamo nach Brüssel (nördlicher Kurs) und meldet sich um 21:21:50 Uhr in Flughöhe FL 260 bei der Flugverkehrskontrolle Zürich an (B 1). Es steigt kurze Zeit später von FL 260 auf FL 320 (B 4)

und von dort aus auf FL 360 (B 9). Aus dieser Höhe sinkt es auf FL 350 (B 14). Parallel meldet sich um 21:30:11 Uhr auch das russische Flugzeug vom Typ Tupolew TU154 M bei der schweizerischen Flugsicherung. Es befindet sich in Flughöhe FL 360 (T 1) auf dem Weg von Moskau nach Barcelona (westlicher Kurs). Aus FL 360 sinkt das Flugzeug auf FL 350 (T 7), wo es um 21:35:32 Uhr in der Nähe von Überlingen mit der TU154 M kollidiert (K 1). Es sterben 71 Menschen (K 3). Zudem tritt erheblicher Sachschaden in Form der beiden zerstörten Flugzeuge sowie in Form von Flur- und Forstschaden auf (K 4 und 5). Die fehlende direkte Verbindung der Pfeile zu den einzelnen Knoten deutet an, dass es sich bei der Darstellung zunächst nur um eine zeitliche Abfolge handelt, die noch keine kausalen Beziehungen zwischen den Knoten beinhaltet. Die gelbe Färbung der Rechtecke weist auf die zeitliche Historie hin. Die Farbgebung wird in allen folgenden Darstellungen zum WB-Graphen beibehalten, auch wenn die zeitlichen Beziehungen schon durch kausale Beziehungen ersetzt wurden. In das in Darstellung 4-1 abgebildete Grundgerüst lassen sich im Verlauf der Untersuchung alle weiteren Informationen einfügen. Es ist dabei zu beachten, dass die entlang eines Pfades aufgeführten Knoten zeitlich aufeinander folgen bzw. mindestens gleichzeitig beginnen müssen. Vergleiche hierzu auch Abschnitt 2.3.1 „Erklärungsbereich Zeit“.

4.1.3 Erarbeitung des WB-Graphen

Nachdem nun die zeitliche Historie des Unfalls feststeht, wird sie nachfolgend in eine Darstellung des Unfallhergangs aus kausaler Sicht umgewandelt. Die in der zeitlichen Historie fehlenden Informationen sind zu ergänzen und anschließend auf ihre kausalen Zusammenhänge hin zu überprüfen. Die Entwicklung des WB-Graphen wird im weiteren Verlauf der Ausarbeitung in Teilabschnitten beschrieben, die im Wesentlichen den unter 4.1.1 dargestellten Informationsbereichen entsprechen. Wie bei der Erstellung der Liste der Fakten, ist auch hier zu beachten, dass es sich bei der Erarbeitung des Graphen um einen Entstehungsprozess handelt. Das bedeutet, dass bis zur abschließenden Version des Graphen mehrfach Abänderungs-, Umstellungs- und Ergänzungsschritte durchlaufen werden müssen. Die folgenden Ausführungen beziehen sich alle auf den am Ende dieses Prozesses stehenden WB-Graphen. Eine grobe Übersicht über die grundsätzliche Gestalt des kompletten WB-Graphen gibt Darstellung 4-2.

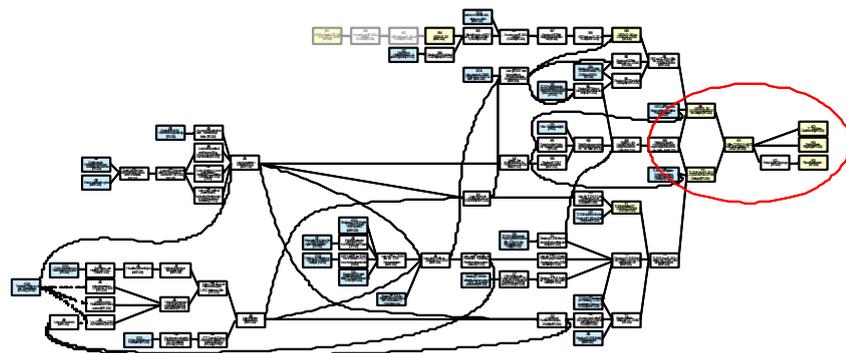


Darstellung 4-2: Übersicht über den gesamten WB-Graphen

Bei der folgenden Beschreibung des WB-Graphen wird diese Übersicht den einzelnen Teilbereichen mit einer Markierung des Bereiches, auf den sich die Ausführungen beziehen, vorangestellt. Dies dient der besseren Orientierung und Einordnung der dargestellten Sachverhalte in den Gesamtzusammenhang. Eine vollständig lesbare Version des WB-Graphen bietet Darstellung 4-22 auf Seite 65 im Abschnitt 4.2.

Zusammenstoß und Auswirkungen

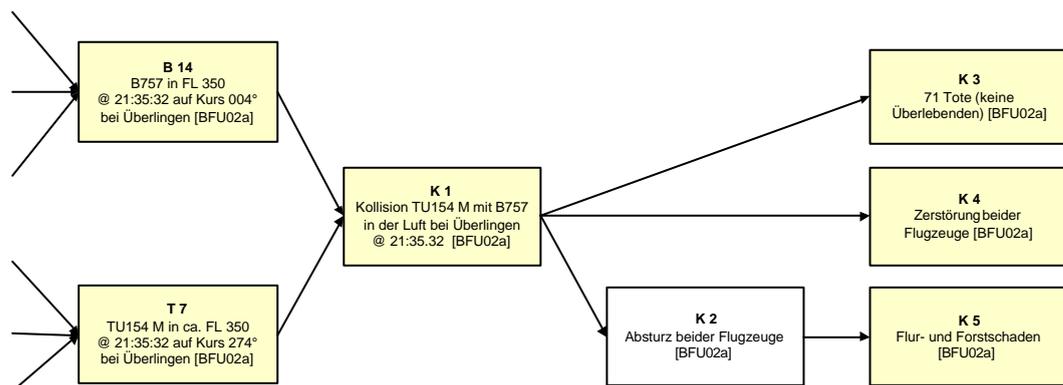
Der zu analysierende Teilbereich „Zusammenstoß und Auswirkungen“ ist in Darstellung 4-3 rot markiert. Die Darstellung gibt einen Überblick über den Zusammenhang, in dem der Teilbereich innerhalb des gesamten WB-Graphen steht.



Darstellung 4-3: Übersicht „Kollision und Auswirkungen“

Der gekennzeichnete Bereich wird in der nachfolgenden Darstellung 4-4 herausgegriffen. Das zu untersuchende Top-Ereignis besteht im Fall der Midair Collision aus dem entstandenen Personenschaden in Form von 71 Toten (K 3) und dem erheblichen Sachschaden

in Form der Zerstörung beider Flugzeuge sowie in Form von Flur- und Forstschaden (K 4 und K 5). Der zuvor erstellten zeitlichen Historie zufolge geht diesen Ereignissen die Kollision beider Flugzeuge voran (K 1). Um zu zeigen, dass die Kollision die Ursache und kausale Erklärung für die Knoten K 3 bis K 5 ist, müssen die Knotenpaare auf die Gültigkeit der Regel für Counterfactuals überprüft und der Causal Completeness Test (CCT) muss durchgeführt werden (vgl. Abschnitt 2.3.2). Es lässt sich für die Knoten K 3 und K 4 feststellen, dass beide Ereignisse tatsächlich eingetreten sind. Wären die Flugzeuge nicht zusammengestoßen, wären in der ähnlichsten möglichen Welt weder 71 Menschen zu Tode gekommen noch wären beide Flugzeuge zerstört worden. Annahmen, dass z.B. die Menschen alle gleichzeitig einem Herzinfarkt erlegen sind oder dass die beiden Flugzeuge von Terroristen abgeschossen worden sind, kommen als Ursachen nicht in Frage, da sie über die Bedingung der ähnlichsten möglichen Welt ausgeschlossen sind. Die ähnlichste mögliche Welt ist die Welt, die tatsächlich vorgefunden wird ohne Einbezug weiterer denkbarer Möglichkeiten. Im Beispielfall ist es die Welt, in der die Flugzeuge kollidieren. Die Regel für Counterfactuals hat somit Gültigkeit. Für die Durchführung des CCT gilt: wenn der Tod der 71 Menschen bzw. die Zerstörung der beiden Flugzeuge ausgeblieben wäre, dann hätte in der ähnlichsten möglichen Welt ein Zusammenstoß nicht eintreten können. Auch der CCT lässt sich erfolgreich durchführen. Die Kollision (K 1) liefert also eine hinreichende Erklärung für das Eintreten von K 3 und K 4.



Darstellung 4-4: Teilgraph „Kollision und Auswirkungen“

In Bezug auf den Flur- und Forstschaden lässt sich die Gültigkeit der Regel für Counterfactuals zunächst nicht nachweisen. Denn es ist einsichtig, dass die Kollision allein noch nicht zum Auftreten von Flur- und Forstschaden führt, sondern erst das Aufschlagen der

Flugzeugteile am Boden. Es wird daher nach einer anderen, dem Knoten K 5 zeitlich vorlaufenden Ursache gesucht, die diesen Umstand berücksichtigt. Der Unfallbericht der BFU liefert die fehlende Information. Beide Flugzeuge stürzen nach dem Zusammenstoß ab. Der neue Knoten „Absturz beider Flugzeuge“ (K 2) wird eingefügt. Für das Knotenpaar K 2 und K 5 gilt nun die Regel für Counterfactuals. Wären die Flugzeuge nicht abgestürzt, hätten sie in der ähnlichsten möglichen Welt am Boden keinen Flur- und Fortschaden verursachen können. Wenn es einen derartigen Schaden nicht gegeben hätte, wäre es in der ähnlichsten möglichen Welt auch nicht möglich gewesen, dass die B757 und die TU154 M abstürzen. Der CCT kann erfolgreich durchgeführt werden. Bei dem neuen Knoten K 2 handelt es sich also um eine kausale Erklärung für den entstandenen Flur- und Forstschaden. In gleicher Weise lassen sich die Regel für Counterfactuals und der CCT für das Knotenpaar Kollision (K 1) und Absturz (K 2) anwenden.

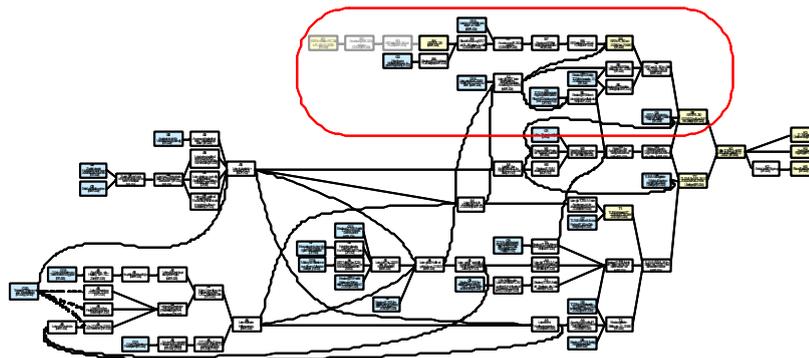
Die Durchführung des Causal Completeness Test hat sich in den bisherigen Ausführungen nur auf die Untersuchung der kausalen Beziehung zwischen einem einzigen ursächlichen Faktor und seiner Auswirkung bezogen. Am Beispiel der Knoten „B757 in FL 350 @ 21:35:32 auf Kurs 004° bei Überlingen“ (B 14), „TU154 M in FL 350 @ 21:35:32 auf Kurs 274° bei Überlingen“ (T 7) und K 1 wird nun der CCT für eine Auswirkung (K 1) mit zwei ursächlichen Faktoren (B 14 und T 7) dargestellt. Die Gültigkeit der Counterfactual-Regel lässt sich problemlos nachweisen. Hätte sich die DHL-Maschine nicht zu besagter Zeit an besagtem Ort und in besagter Höhe befunden, hätte es nicht zu einer Kollision kommen können. Gleiches gilt für die russische Tupolew. Die Durchführung des CCT hat folgendes Ergebnis: wenn die Kollision der beiden Flugzeuge nicht eingetreten wäre, dann wäre es auch nicht möglich gewesen, dass sich die beiden Flugzeuge in der ähnlichsten möglichen Welt zur gleichen Zeit am gleichen Ort in der gleichen Höhe befinden. Oder anders ausgedrückt: wenn die Flugzeuge nicht zusammengestoßen wären, wäre entweder die B757 oder die TU154 M oder aber beide Flugzeuge nicht zur besagten Zeit am besagten Ort in besagter Höhe gewesen. Die Knoten B 14 und T 7 bieten also eine hinreichende kausale Erklärung für das Eintreten von K 1. Der CCT ist bei mehr als zwei erklärenden ursächlichen Faktoren analog durchzuführen.

In der beschriebenen Weise wird für den gesamten weiteren Graphen vorgegangen. Für die einzelnen Knotenpaare wird die Gültigkeit der Counterfactual-Regel überprüft und für den Satz ursächlicher Faktoren einer jeden Auswirkung wird der Causal Completeness Test durchgeführt. An den Stellen, die es erfordern, werden die notwendigen Informationen er-

gänzt. Dabei ist zu beachten, dass als Grundvoraussetzung für das Vorliegen von Kausalität die zeitliche Abfolge der Knoten eingehalten wird. Eine genaue Beschreibung der Ergänzung und Untersuchung jedes einzelnen Knotenpaares des gesamten WB-Graphen wäre bei ca. 80 Knoten äußerst umfangreich. In den meisten Fällen sind die Zusammenhänge eindeutig. Eine ausführliche Darstellung würde in diesen Fällen nicht zum besseren Verständnis beitragen. Daher erfolgt eine detaillierte Beschreibung nur an den Stellen, die einer näheren Erklärung bedürfen.

Situation an Bord der B757

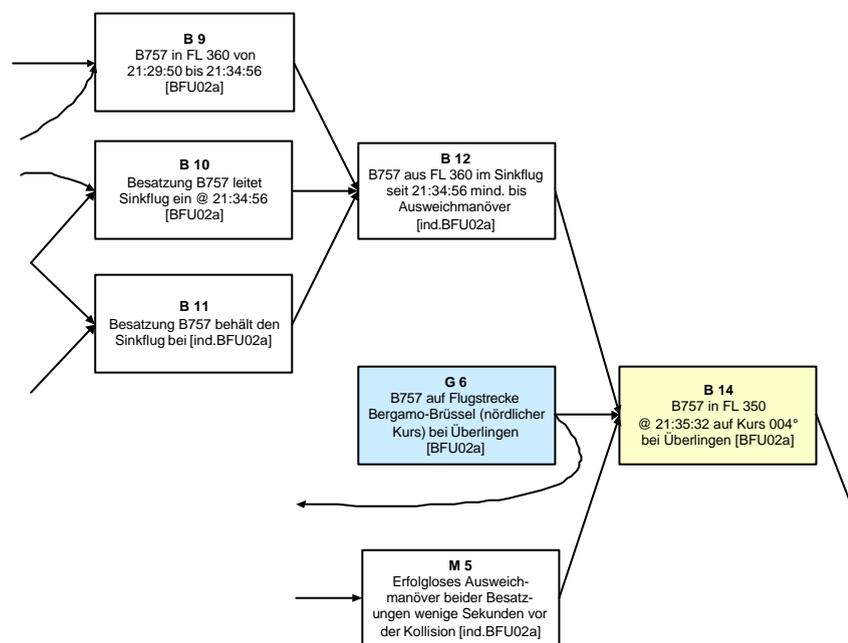
In der Übersicht finden sich Informationen zur Situation an Bord der B757 im oberen Teil des WB-Graphen. In Darstellung 4-5 ist der Bereich rot gekennzeichnet.



Darstellung 4-5: Übersicht „Situation an Bord der B757“

Nachstehend ist in Darstellung 4-6 der Teilgraph „Situation an Bord der B757 – Abschnitt 1“ abgebildet. Er bildet den direkten Anschluss an Knoten B 14 aus dem zuvor beschriebenen Teilgraph „Kollision und Auswirkungen“ (Darstellung 4-4). Es ist zunächst eine hinreichende kausale Erklärung dafür zu ermitteln, warum sich die B757 um 21:35:32 Uhr in FL 350 auf Kurs 004° bei Überlingen befindet (B 14). Der Kurs des Flugzeugs ist bedingt durch Start- und Zielort des Fluges. Im Fall der B757 sind dies Bergamo und Brüssel (G 6). Als Ursache für die Flughöhe von FL 350 zum Zeitpunkt der Kollision lässt sich ermitteln, dass sich die DHL-Maschine seit 21:34:56 Uhr aus FL 360 im Sinkflug befindet (B 12). Des Weiteren lässt sich ein erfolgloses Ausweichmanöver beider Luftfahrzeuge wenige Sekunden vor der Kollision (M 5) als Begründung für das Eintreten von Knoten B 14 nennen. Bei Knoten G 6 handelt es sich um eine Grundursache für den Unfall. Es gibt für das Eintreten von G 6 keine weitere Erklärung. Die Grundursache ist in Darstellung 4-6 blau hinterlegt. Die Kenn-

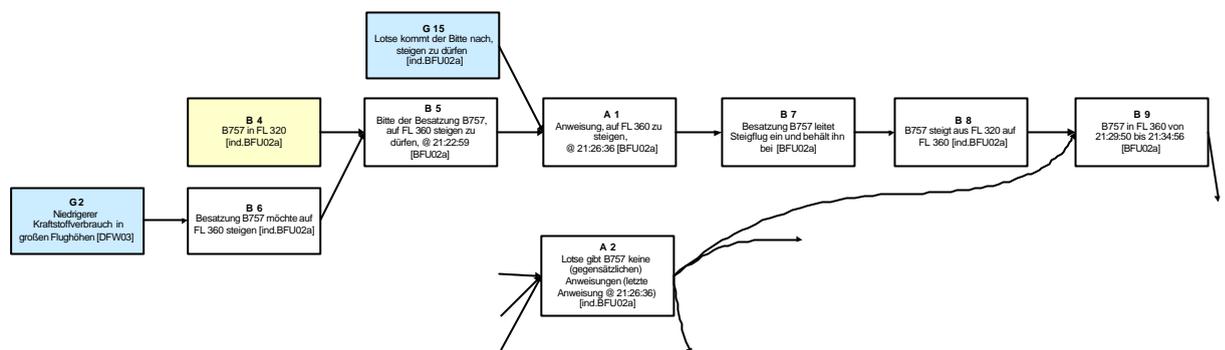
zeichnung durch die Blaufärbung der jeweiligen Rechtecke wird auch für die in allen folgenden Darstellungen auftretenden Grundursachen beibehalten. Der zuletzt ermittelte Knoten M 5 wird zu einem späteren Zeitpunkt unter dem Informationsbereich „Ausweichmanöver“ genauer untersucht. Daher bedarf vorerst nur der Umstand, dass sich das Flugzeug aus FL 360 im Sinkflug befindet (B 12), der genaueren Betrachtung. Die Flughöhe der B757 liegt vor Einleiten des Sinkflugs bei FL 360 (B 9). Aus dieser Höhe leitet die Besatzung um 21:34:56 Uhr den Sinkflug ein (B 10) und behält diesen bei (B 11). Das Auftreten der Knoten B 9 bis B 11 erklärt also das Eintreten des Knotens B 12.



Darstellung 4-6: Teilgraph „Situation an Bord der B757 – Abschnitt 1“

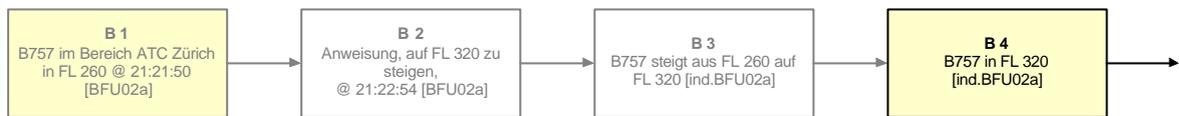
Für den Informationsbereich „Situation an Bord der B757“ sind weiterhin die Knoten B 9 bis B 11 auf ihre kausalen Erklärungen hin zu untersuchen. Dabei soll zunächst auf die Frage eingegangen werden, warum sich die DHL-Maschine in FL 360 befindet (B 9). Darstellung 4-7 bildet die kausalen Zusammenhänge ab, die das Eintreten von B 9 erklären. Die Besatzung der B757 erhält um 21:26:36 Uhr vom Lotsen des ACC Zürich die Anweisung, auf FL 360 zu steigen (A 1). Die Besatzung setzt die Anweisung um, indem sie den Steigflug einleitet und beibehält (B 7). Das Flugzeug steigt infolgedessen von seiner ursprünglichen Höhe auf FL 360 (B 8). Da der Flugverkehrsleiter zudem keine weiteren anders lautenden Anweisungen gibt (A 2), erreicht die DHL-Maschine die angestrebte Höhe um 21:29:50 Uhr

und hält sie bis 21:34:56 Uhr. Doch warum weist der Lotse die B757 überhaupt an, auf FL 360 zu steigen? Mit seiner Anweisung kommt er der Bitte der Besatzung nach, auf FL 360 steigen zu dürfen (G 15 und B 5). Die Bitte basiert auf dem Wunsch der Besatzung nach einer größeren Flughöhe als FL 320, in der sich das Flugzeug zum Zeitpunkt der Bitte befindet (B 4 und B 6). Ausschlaggebend für den Wunsch nach einer möglichst großen Flughöhe ist die Tatsache, dass der Kraftstoffverbrauch mit zunehmender Flughöhe abnimmt (G 2). An dieser Stelle sei auf die zuweilen schwierige Anwendung der hinter der Regel für Counterfactuals und dem Causal Completeness Test stehenden zweiwertigen Logik hingewiesen. Am Beispiel der Knoten G 2 und B 6 lässt sich dies für den Counterfactual Test zeigen. Es ist allgemein einsichtig, dass der verringerte Kraftstoffverbrauch in großen Flughöhen Ursache für den Wunsch einer Besatzung nach einem möglichst schnellen Erreichen einer großen Flughöhe ist. Würde es den physikalischen Zusammenhang zwischen Höhe und Verbrauch nicht geben, wäre der Besatzung die Flughöhe in der ähnlichsten möglichen Welt egal – allerdings nur vermutlich. Es tritt hier das Problem der Bewertung und Einschätzung menschlichen Verhaltens auf. Um die Counterfactual-Regel erfolgreich anwenden zu können, muss Sicherheit darüber bestehen, dass die getroffene Aussage über das menschliche Verhalten richtig ist. Bei der Einschätzung der Motivation und des Verhaltens eines Menschen ist eine Aussage aber selten mit absoluter Sicherheit machbar. Es ist dafür zu vielschichtig und von zu vielen Faktoren beeinflusst. Die Anwendung einer zweiwertigen Logik, die nur ein „Richtig“ oder „Falsch“ zulässt, ist daher sowohl bei der Anwendung der Counterfactual-Regel als auch beim CCT problematisch. Die Anwendung des CCT wirft an dieser Stelle ein weiteres Problem auf. Wenn die Besatzung nicht den Wunsch nach einer größeren Flughöhe hat, dann ist es in der ähnlichsten möglichen Welt auch nicht möglich, dass der erwähnte physikalische Zusammenhang besteht. Eine solche Aussage kann nur unter der Annahme der ähnlichsten möglichen Welt bejaht werden. Ohne diesen Zusatz wäre die Aussage falsch. Der Wunsch bzw. das Nichtvorhandensein des Wunsches einer Besatzung, die Flughöhe zu wechseln, hat in der Realität keinen Einfluss auf physikalische Zusammenhänge. Die Aussage kann jedoch durch die Beschränkung der betrachteten Welt auf eben die beiden Werte „Wunsch“ und „physikalischer Zusammenhang“ doch bejaht werden. Sie bilden in diesem Fall die tatsächlich beobachtete Welt. Und wer könnte in einer solchen Welt anderes für den physikalischen Zusammenhang verantwortlich sein außer die Besatzung?



Darstellung 4-7: Teilgraph „Situation an Bord der B757 – Abschnitt 2“

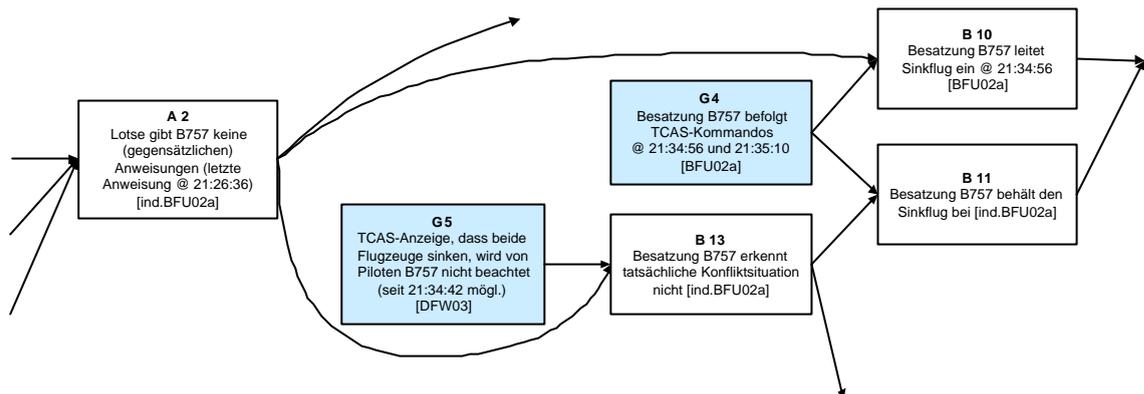
Bei der Untersuchung der Gründe für das Auftreten von Knoten B 4 wird ein weiteres Problem deutlich. Es besteht darin, dass es kein formales Kriterium dafür gibt, an welcher Stelle die Untersuchung abzubrechen ist. Einen indirekten Hinweis dazu beinhaltet Ladkin's Buch [Lad01, S.206f]. Ladkin sagt hier bezüglich des Detaillierungsgrades, dass üblicherweise an Stellen, an denen keine Fehler aufgetreten sind ein geringerer Detaillierungsgrad ausreichend ist, während an fehlerhaften Stellen ein höherer zu wählen ist. Die Entscheidung liegt allerdings letztendlich im Ermessen des Untersuchenden. An dem in Darstellung 4-8 gezeigten Anschlussgraphen zu Knoten B 4 lässt sich dieser Sachverhalt darstellen. Die B757 befindet sich in FL 320. Der Untersuchungsbericht liefert Begründungen für diese Höhenposition. Der Graph lässt sich also durchaus noch erweitern. Die Erweiterung ist in der Darstellung grau dargestellt. Das DHL-Flugzeug befindet sich in FL 320, weil es um 21:22:54 Uhr aufgrund einer Lotsenanweisung (B 2) aus FL 260 aufsteigt (B 3). Die Anweisung wiederum erfolgt, weil sich die B757 in FL 260 bei der ATC Zürich anmeldet (B 1) und es der Lotse für notwendig hält, den Steigflug anzuweisen. Es wird deutlich, dass die weiteren Analyseschritte hier keinen Nutzen bringen. Knoten B 1 liefert keinen höheren Erklärungsbeitrag zum Eintreten des Unfalls als B 4. Würde man noch weiter gehen und B 1 konsequent weiter analysieren, würde das früher oder später zu der Stelle führen, an der gesagt werden müsste, dass der Unfall nicht passiert wäre, wenn die DHL-Maschine nicht gestartet wäre oder wenn sie vielleicht sogar gar nicht erst gebaut worden wäre. Die Sinnhaftigkeit solcher Analyseschritte muss stark bezweifelt werden.



Darstellung 4-8: Teilgraph „Situation an Bord der B757 – Abschnitt 3“

Es fehlt zum Abschluss der Betrachtung der Situation an Bord der B757 noch die kausale Erklärung für die Knoten B 10 und B 11 (s. Darstellung 4-9). Warum leitet die Besatzung um 21:34:56 Uhr den Sinkflug ein und behält diesen mindestens bis zum Ausweichmanöver bei? Das Einleiten des Sinkflugs ist Folge eines TCAS-Kommandos um 21:34:56 Uhr (G 4). Das Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS) ist ein bordseitiges Zusammenstoßwarnsystem, mit dem nahezu jedes Verkehrsflugzeug ausgestattet ist. Ein TCAS Anzeigerät informiert die Piloten fortwährend in optischer Form über die Verkehrslage in einem Umkreis von ca. 70 Kilometern um ihr Flugzeug herum. Im Falle von gefährlichen Flugzeugannäherungen warnt das TCAS die Flugzeugführer vor potenziellem bzw. vor tatsächlichem Konfliktverkehr. Dies geschieht sowohl über optische als auch über akustische Signale. Bei konfligierendem Verkehr in ca. 35 bis 45 Sekunden Entfernung weist eine Computerstimme zunächst nur auf diesen hin („Taffic, Traffic“). Verringert sich die Entfernung der beiden Luftfahrzeuge zueinander weiterhin und besteht die Konfliktsituation dabei immer noch, errechnen die TCAS-Geräte beider Flugzeuge ein aufeinander abgestimmtes Ausweichmanöver. Die Computerstimme informiert die Piloten jetzt nicht mehr nur über die Verkehrslage, sondern gibt ihnen konkrete Verhaltensanweisungen (z.B. „Descent, descent, descent!“) zur Lösung der Konfliktsituation [Bac98]. Eine solche Anweisung erhält die Besatzung der B757 um 21:34:56 Uhr. Der Besatzung stellt sich eine eindeutige Situation dar. Das TCAS gibt Anweisung zu sinken und es gehen keine gegensätzlichen Anweisungen seitens des Flugverkehrsleiters ein (A 2). Es gibt also für die Besatzung der B757 zunächst keinen Grund, die Sinkfluganweisung nicht zu befolgen. Zur Beantwortung der Frage, warum die Besatzung den Sinkflug nun auch beibehält (B 11), ist ein weiterer Aspekt zu berücksichtigen. Zunächst liegt es sicherlich an den TCAS-Anweisungen „Descent!“ um 21:34:56 Uhr und „Increase descent!“ um 21:35:10 Uhr (G 4), dass die Besatzung das Flugzeug weiterhin im Sinkflug hält. Aussagen in der ZDF-Dokumentation „Tod über den Wolken“ zufolge hätte jedoch die Möglichkeit bestanden, dass die Piloten auf ihrer TCAS-Anzeige erkennen, dass auch das russische Flugzeug sinkt [DFW03]. Diese Anzeige wird offensichtlich von den Piloten nicht beachtet (G 5). Dies und der Umstand, dass der Lotse keine

gegensätzlichen Anweisungen gibt (A 2), obwohl sich die Flugzeuge in gleicher Höhe und auf sich kreuzendem Kurs befinden, ist die Ursache dafür, dass die Besatzung der B757 die wahre Konfliktsituation gar nicht erst erkennt (B 13). Aus diesem Grund gibt es für sie auch keinen weiteren Anlass, den Sinkflug nicht beizubehalten.

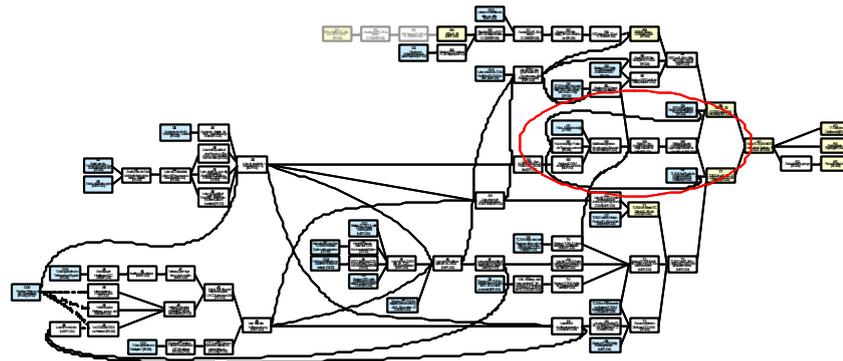


Darstellung 4-9: Teilgraph „Situation an Bord der B757 – Abschnitt 4“

Mit dem Teilgraph „Situation an Bord der B757 – Abschnitt 4“ ist die Analyse der Situation an Bord der B757 komplett. Im Verlauf der Untersuchung haben sich in diesem Bereich sechs Grundursachen für den Unfall ergeben. Zunächst liefert die Tatsache, dass sich die B757 überhaupt auf dem Weg von Bergamo nach Brüssel gerade in der Nähe von Überlingen in der Luft befindet (G 6), einen Erklärungsbeitrag. Zudem befolgt die Besatzung der B757 die TCAS-Kommandos (G 4) und beachtet dabei nicht, dass die TU154 M ebenfalls sinkt (G 5). Weitere erklärende Faktoren liegen im physikalischen Zusammenhang zwischen Kraftstoffverbrauch und Flughöhe (G 2) und darin, dass der Lotse der Bitte der Besatzung nach Aufstieg auf FL 360 nachkommt (G 15). Je nach Abbruchzeitpunkt der weiteren Analyse ist noch der Knoten B 4 bzw. B 1 als Grundursache zu nennen.

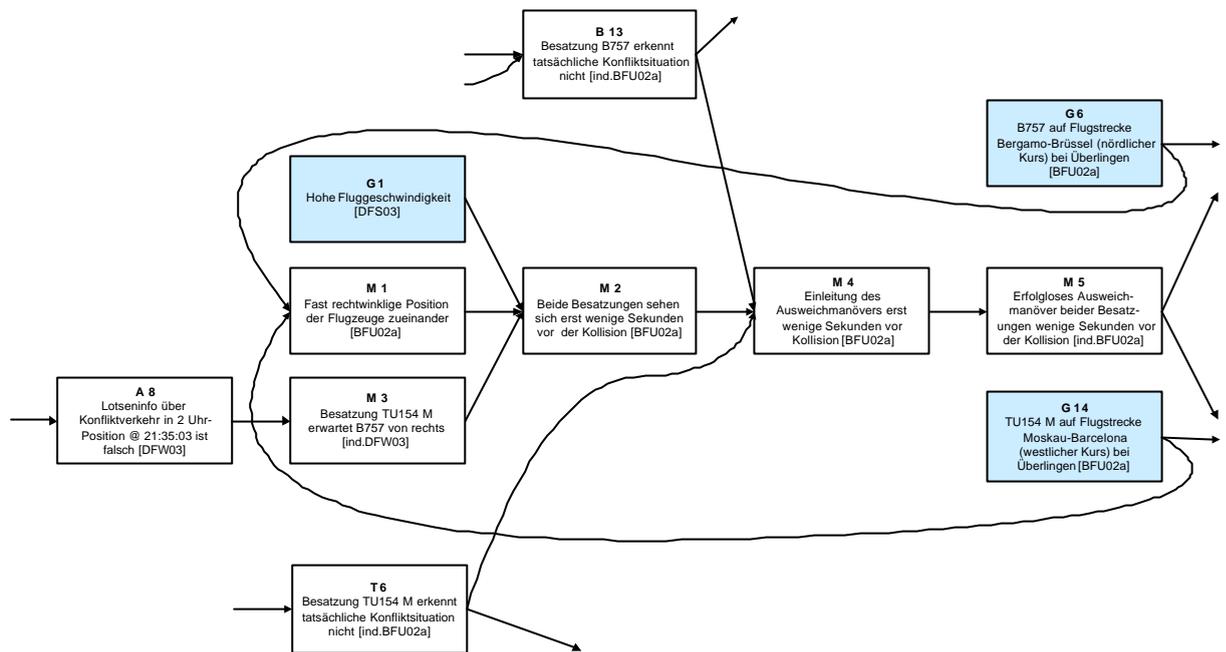
Ausweichmanöver

Darstellung 4-10 ordnet den Informationsbereich „Ausweichmanöver“ in den Gesamtzusammenhang ein (s. rote Markierung).



Darstellung 4-10: Übersicht „Ausweichmanöver“

Der Unfallbericht der BFU besagt, dass beide Besatzungen wenige Sekunden vor der Kollision noch versuchen, einander auszuweichen. Dieses Ausweichmanöver ist erfolglos (M 5), weil es erst wenige Sekunden vor der Kollision eingeleitet wird (M 4) und es somit an der nötigen Zeit für eine erfolgreiche Durchführung mangelt. Es kann jedoch zu keinem früheren Zeitpunkt eingeleitet werden, da beide Besatzungen die tatsächliche Konfliktsituation zunächst gar nicht erkennen (B 13 und T 6) und visueller Kontakt erst kurz vor dem Zusammenstoß entsteht (M 2). Dies wiederum liegt in der hohen Fluggeschwindigkeit (G 1) und der rechtwinkligen Position der Flugzeuge zueinander (M 1) begründet sowie darin, dass die Besatzung der russischen Maschine davon ausgehen muss, dass sich die B757 von rechts nähert (M 3). Tatsächlich befindet sich die DHL-Maschine aus Sicht der TU154 M jedoch links. Die falsche Annahme basiert auf einer verkehrten Information des Flugverkehrsleiters, der der russischen Besatzung um 21:35:03 Uhr Konfliktverkehr „in 2-Uhr-Position“, also von rechts meldet (A 8). Als Ursache für die rechtwinklige Flugposition der Luftfahrzeuge zueinander sind der zuvor schon eingeführte Knoten „B757 auf Flugstrecke Bergamo-Brüssel (nördlicher Kurs) bei Überlingen“ (G 6) und der für die TU154 M analoge Knoten G 14 zu nennen. Vergleiche hierzu Darstellung 4-11.

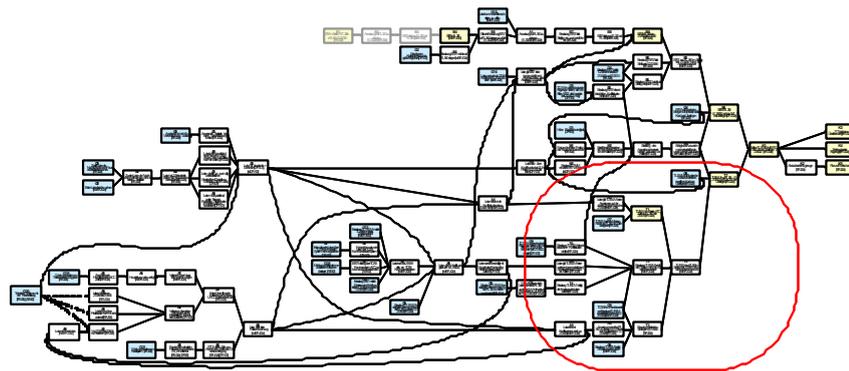


Darstellung 4-11: Teilgraph „Ausweichmanöver“

Aus dem Informationsbereich „Ausweichmanöver“ ergeben sich neben der bereits bekannten Grundursache G 6 („B757 auf Flugstrecke Bergamo-Brüssel (nördlicher Kurs) bei Überlingen“) die neuen Grundursachen G 1 („Hohe Fluggeschwindigkeit“) und G 14 („TU154 M auf Flugstrecke Moskau-Brüssel (westlicher Kurs) bei Überlingen“) als Erklärungsbeitrag für das Eintreten der Kollision.

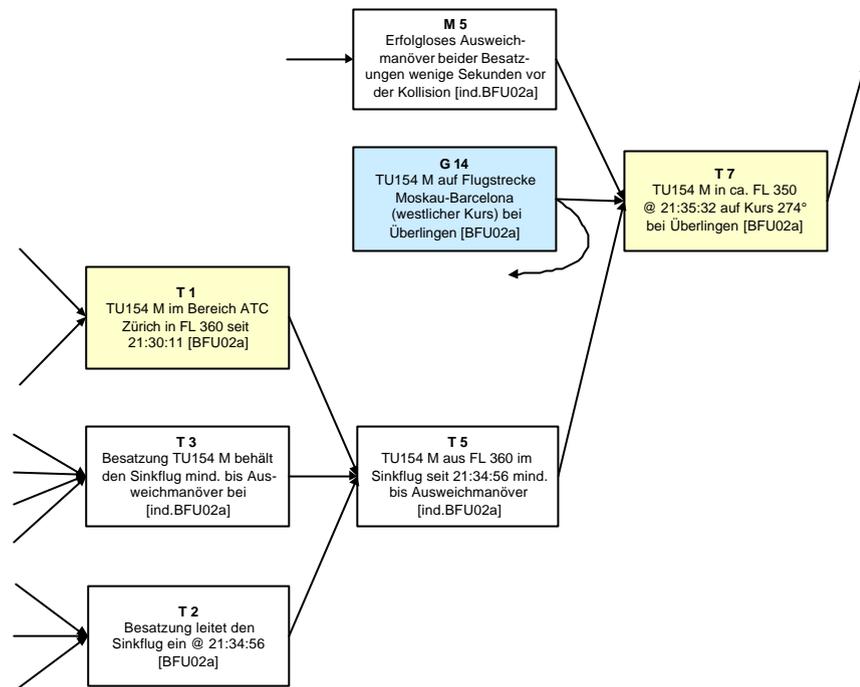
Situation an Bord der TU154M

Zur Rekonstruktion des Unfallhergangs müssen auch die Ereignisse an Bord der russischen TU154 M berücksichtigt werden. Darstellung 4-12 zeigt die Einordnung der diesbezüglichen Informationen in den Gesamtzusammenhang.



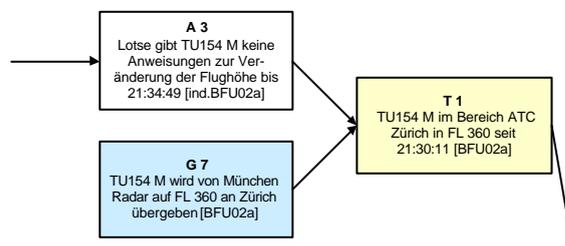
Darstellung 4-12: Übersicht „Situation an Bord der TU154 M“

Es stellt sich, wie zuvor schon für die Boeing, auch für die Tupolew die Frage, warum sich das Flugzeug um 21:35:32 Uhr in FL 350 auf Kurs 274° bei Überlingen befindet. Die kausalen Zusammenhänge sind aus Darstellung 4-13 ersichtlich. Zur Erklärung müssen dafür u. a. die im Informationsbereich „Ausweichmanöver“ bereits beschriebenen Knoten G 14 und M 5 herangezogen werden. Das Flugzeug befindet sich auf westlichem Kurs in der Nähe von Überlingen (G 14) und das eingeleitete Ausweichmanöver ist erfolglos (M 5). Weitere Ursache für die Flugzeugposition zum Zeitpunkt des Unfalls ist, dass sich die TU154 M seit 21:34:56 Uhr aus FL 360 im Sinkflug befindet (T 5). Während es sich bei Knoten G 14 um eine nicht weiter zu untersuchende Grundursache handelt und der ursächliche Faktor M 5 zuvor bereits genauer analysiert wurde, ist im Folgenden nur noch der Knoten T 5 kausal zu erklären. Für die Tatsache, dass sich die Tupolew im Sinkflug aus FL 360 befindet, lassen sich drei Ursachen finden. Das Flugzeug fliegt um 21:30:11 Uhr in FL 360 in der Bereich der ATC Zürich ein (T 1). In dieser Flughöhe verweilt es bis 21:34:56 Uhr. Dies ist der Zeitpunkt, an dem die Besatzung den Sinkflug einleitet (T 2), den sie mindestens bis zum Ausweichmanöver beibehält (T 3). Was sind nun die Gründe für das Eintreten der Knoten T 1 bis T 3?



Darstellung 4-13: Teilgraph „Situation an Bord der TU154 M – Abschnitt 1“

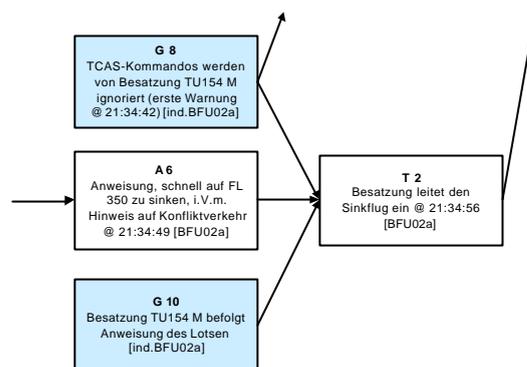
Eine Begründung für die Flughöhe der TU154 M (T 1) lässt sich schnell finden (s. Darstellung 4-14). Das Flugzeug wird um 21:30:11 Uhr auf FL 360 von München Radar an die ATC Zürich übergeben (G 7). Da der Züricher Lotse zunächst keine Anweisung zur Änderung der Flughöhe gibt (A 3), obwohl sich beide Flugzeuge in gleicher Höhe auf sich kreuzendem Kurs nähern, verbleibt die russische Maschine bis 21:34:56 Uhr in dieser Höhe.



Darstellung 4-14: Teilgraph „Situation an Bord der TU154 M – Abschnitt 2“

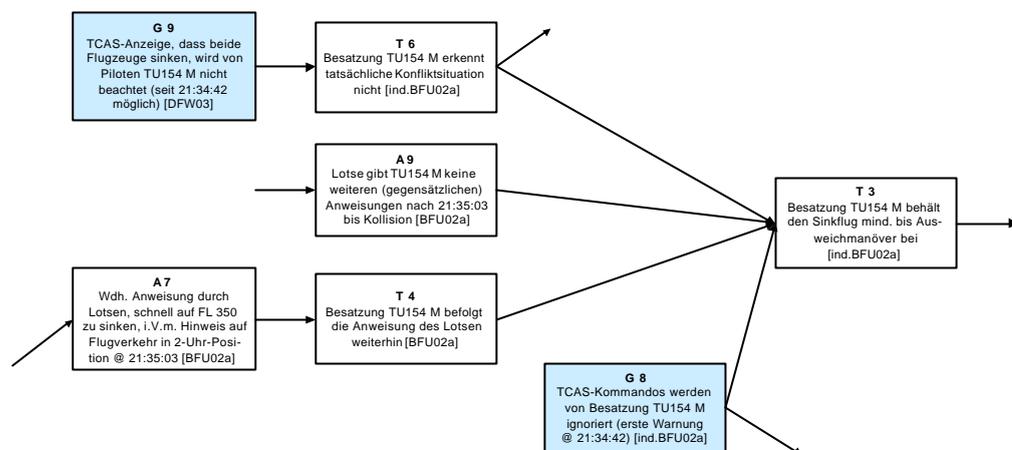
Um 21:34:56 Uhr leitet die Besatzung der TU154 M dann den Sinkflug ein (T 2). Die kausalen Zusammenhänge sind in Darstellung 4-15 abgebildet. Damit befolgt sie die Anweisung des Flugverkehrsleiters, schnell auf FL 350 zu sinken (G 10 und A 6). Die Anwei-

sung ist verbunden mit dem Hinweis auf Konfliktverkehr. Die seit 21:34:42 Uhr vom TCAS erfolgenden Warnungen und Anweisungen („Traffic, Traffic!“, „Climb!“ und „Increase climb!“) werden von der Besatzung der Tupolew ignoriert (G 8).



Darstellung 4-15: Teilgraph „Situation an Bord der TU154 M – Abschnitt 3“

Die nachfolgende Darstellung 4-16 zeigt die ursächlichen Zusammenhänge, die dazu führen, dass die Besatzung den Sinkflug nicht nur einleitet, sondern danach auch beibehält. Nach der ersten Sinkflughinweisung durch den Lotsen erfolgt um 21:35:03 Uhr eine wiederholte Sinkflughinweisung mit dem Hinweis auf Konfliktverkehr (A 7). Diese bestätigt die Besatzung in der Notwendigkeit, der Anweisung Folge zu leisten (T 4). Die Anweisungen des TCAS werden ignoriert (G 8). Danach gibt der Lotse keine weiteren Anweisungen mehr (A 9). Als ursächlicher Faktor für das Beibehalten des Sinkflugs kommt hinzu, dass die Besatzung die tatsächliche Konfliktsituation gar nicht erkennt (T 6), weil sie die TCAS-Anzeige nicht beachtet, dass auch die B757 sinkt (G 9).

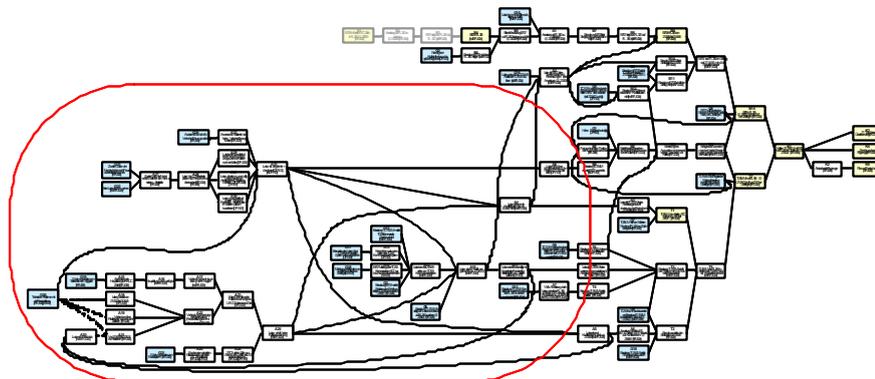


Darstellung 4-16: Teilgraph „Situation an Bord der TU154 M – Abschnitt 4“

Über die Betrachtung der Situation an Bord der TU154 M ergeben sich drei weitere neue Grundursachen. Anders als die Besatzung der B757 ignoriert die russische Besatzung alle TCAS-Anweisungen (G 8). Auch die TCAS-Anzeige, dass beide Flugzeuge sinken wird nicht beachtet (G 9). Stattdessen folgt die Besatzung uneingeschränkt den Weisungen des Züricher Lotsen (G 10).

Situation im ACC Zürich

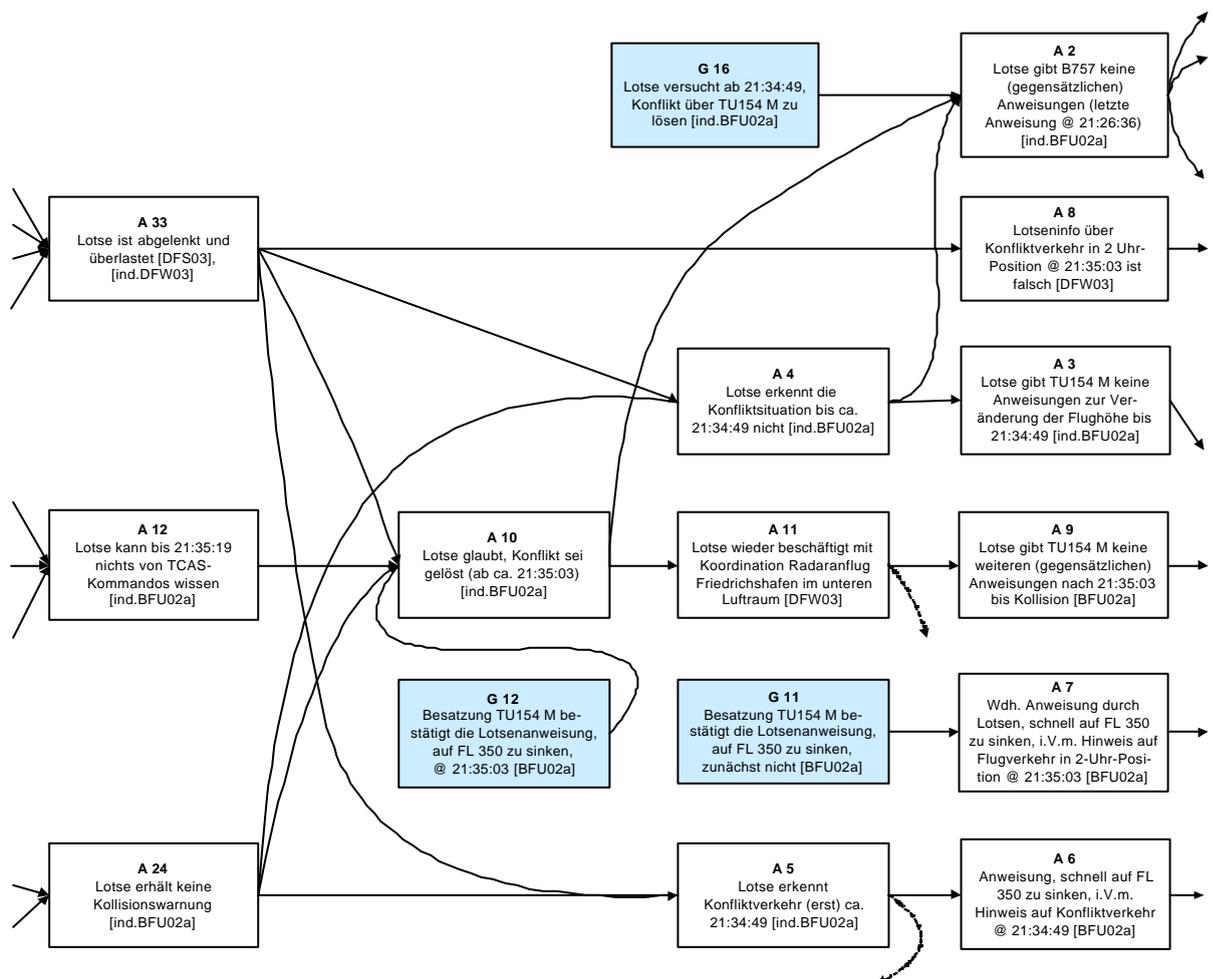
Die Beschreibung der Situation im ACC Zürich aus kausaler Sicht ist aufgrund der zahlreichen hier auftretenden unterschiedlichen ungünstigen Einflussfaktoren auf den Verlauf des Unfallhergangs am umfangreichsten (s. Darstellung 4-17). Generell lassen sich die Geschehnisse im ACC Zürich unterschiedlichen Gesichtspunkten zuordnen. Zum einen ist das Verhalten des Lotsen zu nennen. Daneben sind die Aspekte TCAS-Funktionalität, Personalbesetzung im ACC Zürich und Systemwartung zu berücksichtigen.



Darstellung 4-17: Übersicht „Situation ACC Zürich“

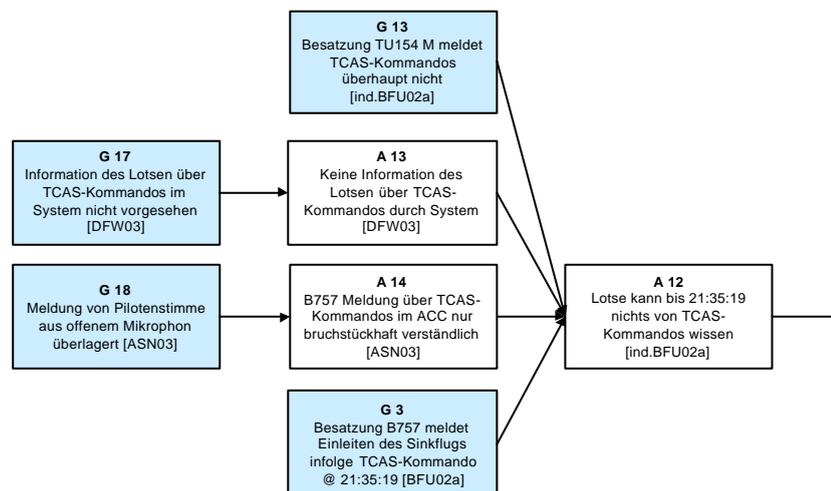
Zur Beschreibung des Lotsenverhaltens (s. Darstellung 4-18) sind insbesondere zwei Zeitpunkte wichtig, aus denen sich bis zur Kollision drei unterschiedliche Stadien ergeben. Um ca. 21:34:49 Uhr erkennt der Lotse den Konfliktverkehr (A 5) und ab ca. 21:35:03 Uhr glaubt er, der Konflikt sei gelöst (A 10). Das bedeutet, dass der Lotse die sich anbahnende Konfliktsituation bis ca. 21:34:49 Uhr gar nicht erkennt (A 4). Dadurch bedingt gibt er weder der B757 noch der TU154 M eine Anweisung zur Veränderung ihrer Flughöhe (A 2 und A 3). Die Ursache für das Nichterkennen der gefährlichen Situation liegt darin, dass der Lotse zu diesem Zeitpunkt überlastet ist (A 33) und darin, dass er zudem keine Kollisionswarnung erhält (A 24). Erst um 21:34:49 Uhr nimmt er die Konfliktsituation wahr (A 5), obwohl er den sich anbahnenden Konflikt bereits um 21:30 Uhr, als sich die TU154 M in seinem Zuständigkeitsbereich auf FL 360 meldet, hätte bemerken können. Die Begründung liegt hier ebenfalls in der Überlastung und Ablenkung sowie in der fehlenden Kollisionswarnung. Die Erkenntnis, dass sich die DHL-Maschine und die Tupolew auf gleicher Höhe aufeinander zu bewegen, veranlasst den Flugverkehrsleiter, schnell zu handeln. Er versucht den Konflikt über die TU154 M zu lösen (G 16). Daher erhält die B757 keine weiteren Anweisungen (A 2), während er die Tupolew anweist, schnell auf FL 350 zu sinken (A 6). Da die Besatzung der TU154 M das Einleiten des Sinkflugs zunächst nicht bestätigt (G 11), wiederholt der Lotse die Sinkflughöheanweisung um 21:35:03 Uhr. Die Anweisung ist verbunden mit dem Hinweis auf Flugverkehr in „2-Uhr-Position“ (A 7), d.h. aus Sicht der Tupolew von rechts, obwohl sich die B757 der TU154 M tatsächlich von links nähert. Es ist auch der Überlastungssituation zuzuschreiben, dass diese Angabe falsch ist (A 8). Die zweite Sinkflughöheanweisung wird von der Besatzung sofort bestätigt (G 12). Ab diesem Zeitpunkt glaubt der Lotse, die Gefahr sei gebannt (A 10). Auch diese Einschätzung der Situation durch den Lotsen ist vor dem Hinter-

grund der Überlastung und der fehlenden Kollisionswarnung zu sehen. Zudem weiß der Flugverkehrsleiter zu diesem Zeitpunkt nichts von den TCAS-Anweisungen in den beiden Flugzeugen (A 12). Im guten Glauben, dass die Gefahr vorüber ist, wendet er sich wieder der Koordination des Radaranflugs der auf Anweisungen wartenden Aero Lloyd Maschine in Friedrichshafen zu (A 11). Er gibt darüber der Tupolew keine weiteren Anweisungen (A 9). Die Überzeugung des Lotsen, dass die Situation durch die Sinkfluganweisung an die TU154 M geklärt und die Gefahr gebannt ist, spiegelt sich auch darin wider, dass er knapp 30 Sekunden nach der Kollision um 21:36:01 Uhr und um 21:36:23 Uhr noch versucht, das russische Flugzeug anzusprechen [ASN03].



Darstellung 4-18: Teilgraph „Situation ACC Zürich – Lotse“

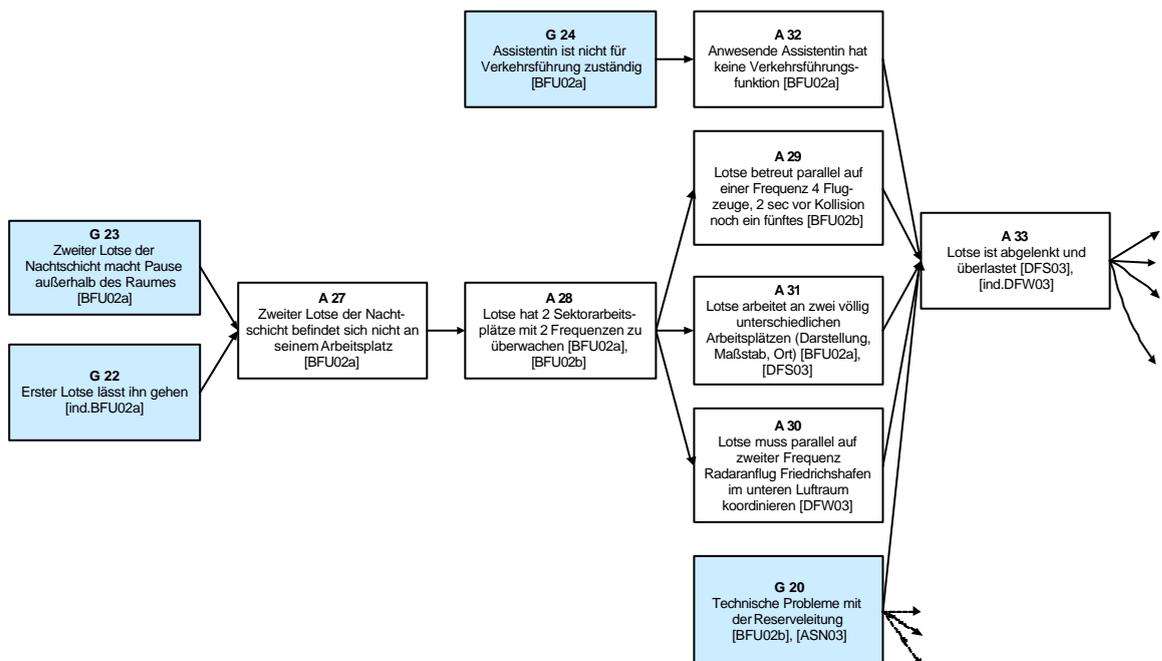
Bleiben noch die anschließenden Knoten A 33, A 12 und A 24 zu untersuchen. Es soll zunächst der Aspekt der TCAS Funktionalität (A 12) genauer beleuchtet werden. Es stellt sich die Frage, warum der Lotse bis 21:35:19 Uhr nichts von den TCAS-Kommandos wissen kann (A 12). In Darstellung 4-19 sind die kausalen Erklärungen für diesen Umstand zusammengestellt. Von der Besatzung der TU154 M werden dem Lotsen die TCAS-Kommandos überhaupt nicht gemeldet (G 13), die Besatzung der B757 meldet das Einleiten des Sinkflugs infolge der TCAS-Anweisung um 21:35:19 Uhr (G 3). Die Aufzeichnungen des Sprechverkehrs im ACC Zürich am Abend des Unfalls zeigt jedoch, dass die Meldung der Besatzung der B757 über die TCAS-Anweisungen nur bruchstückhaft zu verstehen ist (A 14). Sie ist von der Stimme eines anderen Piloten aus einem offenen Mikrofon überlagert (G 18). Zu diesem Zeitpunkt ist der Flugverkehrsleiter zudem schon wieder mit dem Radaranflug der auf Anweisung wartenden Aero Lloyd-Maschine in Friedrichshafen beschäftigt. Eine automatische Information des Lotsen, wenn in einem von ihm betreuten Flugzeug TCAS-Alarm ausgelöst wird, erfolgt nicht (A 13). Sie ist im System nicht vorgesehen (G17). Er erfährt also generell nichts davon, solange die Flugzeugführer ihn nicht darüber unterrichten. In der speziellen Situation am Abend des Unfalls hatte der Lotse daher nur eine äußerst geringe Chance, von den TCAS-Kommandos überhaupt zu erfahren.



Darstellung 4-19: Teilgraph „Situation ACC Zürich – TCAS“

Die Ergebnisse der Analyse des Knotens A 33 („Lotse ist abgelenkt und überlastet“) sind in Darstellung 4-20 abgebildet. Die Untersuchung führt sehr schnell zum Aspekt der Personalbesetzung im ACC Zürich. Es gibt mehrere Faktoren, die zur Überlastung des Lotsen bei-

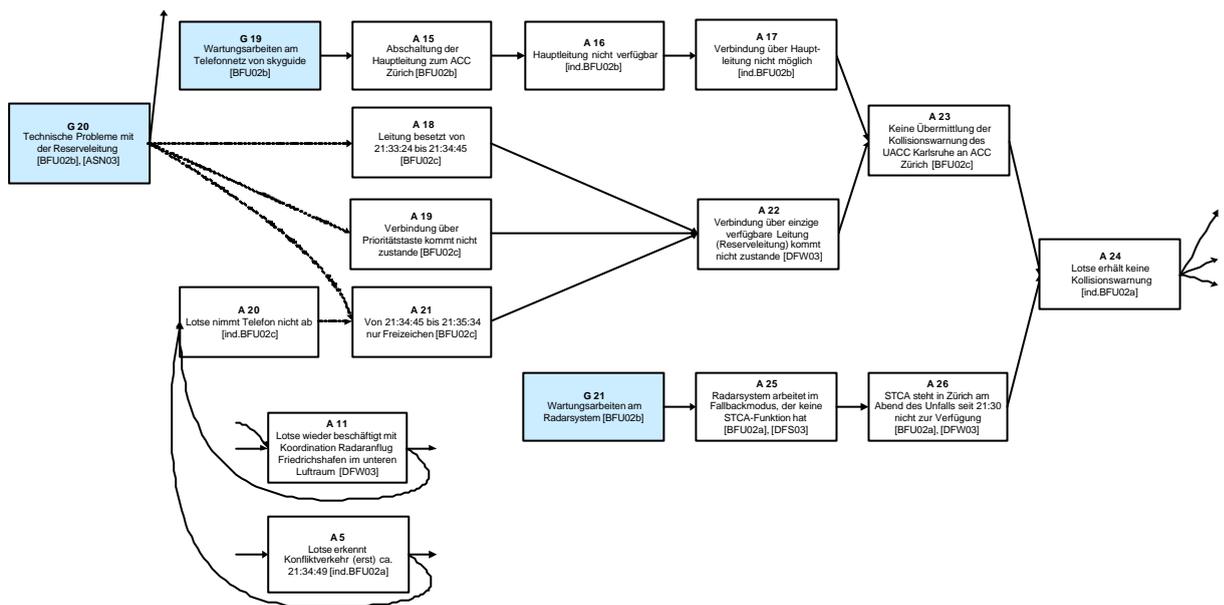
tragen. Das Kernproblem liegt darin, dass der Lotse bis zum Zeitpunkt der Kollision für die Überwachung von zwei Sektorarbeitsplätzen mit zwei Frequenzen verantwortlich ist (A 28). Das bedeutet für seine Arbeit, dass er auf einer Frequenz zunächst vier, später fünf Flugzeuge zu überwachen hat (A 29) und parallel dazu auf der zweiten Frequenz einen Radaranflug in Friedrichshafen koordinieren muss (A 30). Es handelt sich hier um zwei räumlich getrennte Arbeitsplätze und inhaltlich völlig unterschiedliche Aufgabenstellungen. Sie unterscheiden sich insbesondere durch den Darstellungsmaßstab und die Art der Darstellung (A 31). In dieser Situation treten zudem technische Probleme mit der einzig verfügbaren Telefonleitung auf (G 20). Alle Versuche, den Tower in Friedrichshafen telefonisch zu erreichen, schlagen fehl. Eine Kontaktaufnahme kommt nicht zustande. Während der gesamten Zeit ist nur eine Assistentin anwesend. Da diese jedoch keine Verkehrsführungsfunktion hat (A 32) und daher auch nicht für solche Aufgaben zuständig ist (G 24), erhält der Lotse in der Gefahrensituation in Bezug auf die Verkehrsführung keine Unterstützung von ihr. Warum aber ist der Lotse überhaupt für die Überwachung zweier Arbeitsplätze zuständig? Der zweite Lotse der Nachtschicht befindet sich nicht an seinem Arbeitsplatz (A 27), weil er den Raum verlassen hat, um eine Pause zu machen (G 23) und weil der andere Lotse ihn zuvor zur Pause gehen lässt (G 22).



Darstellung 4-20: Teilgraph „Situation ACC Zürich – Personalbesetzung“

Ein weiterer wichtiger Bereich, der zum Eintritt des Zusammenstoßes beigetragen hat, bezieht sich auf die Wartungsarbeiten am Telefonnetz und am Radarsystem von skyguide am Abend des Unfalls. Dieser Umstand führt dazu, dass der Lotse keine Kollisionswarnung erhält (A 24). Bei genauerer Betrachtung ergeben sich hier die folgenden kausalen Zusammenhänge (s. Darstellung 4-21). Ca. zwei Minuten vor der Kollision löst das bodenseitige Konfliktwarnsystem „Short Term Conflict Alert“ (STCA) des Upper Area Control Center (UACC) in Karlsruhe Alarm aus. Das STCA zeigt durch akustische und/oder optische Signale auf dem Radarschirm dem Lotsen an, wenn Staffelungsvorgaben zwischen zwei Flugzeugen unterschritten werden. Der Flugverkehrsleiter des UACC Karlsruhe versucht, die Kollisionswarnung an das ACC Zürich zu übermitteln. Dazu kommt es jedoch nicht (A 23). Am Abend des Unfalls ist die Verbindungsherstellung zum ACC Zürich über die normalerweise verwendete Hauptleitung nicht möglich (A 17). Die Hauptleitung ist nicht verfügbar (A 16), weil sie aufgrund von Wartungsarbeiten am Telefonnetz von skyguide (G 19) abgeschaltet ist (A 15). Alternativ steht an diesem Abend eine Reserveleitung als einzige Verbindung für den Telefonkontakt von und mit dem ACC Zürich zur Verfügung. Eine Übermittlung der Kollisionswarnung auf diesem Weg ist jedoch trotzdem nicht möglich, weil eine Verbindung nicht zustande kommt (A 22). Von 21:33:24 Uhr bis 21:34:45 Uhr ist die Leitung besetzt (A 18). Die Aufzeichnungen des Sprechverkehrs im ACC Zürich an diesem Abend besagen jedoch, dass zu keinem Zeitpunkt eine Verbindung mit Friedrichshafen zustande kommt [ASN03]. Es gibt am Unfallabend zudem technische Probleme mit der Reserveleitung (G 20). Es ist daher nicht ganz klar, ob die Leitung aufgrund der Anrufversuche besetzt ist oder wegen der fehlerhaft arbeitenden Reserveleitung. Eine abschließende Klärung ist anhand der verfügbaren Informationen nicht möglich. Nach Angaben des Karlsruher Lotsen ist auch die Verbindungsherstellung über die Prioritätstaste, die ihm Vorrang vor allen anderen Gesprächen gegeben hätte, nicht möglich (A 19). Dies ist vermutlich auch auf die defekte Reserveleitung zurückzuführen. Von 21:34:45 Uhr bis 21:35:34 Uhr ist die Leitung dann frei (A 21). Hier lässt sich nicht eindeutig sagen, ob die fehlerhafte Reserveleitung dafür verantwortlich ist, dass nur das Freizeichen zu hören ist, oder ob der Lotse einfach nicht abnimmt (A 20), weil er zunächst mit der Lösung der gerade erkannten Konfliktsituation (A 5) und anschließend mit der Koordination des Radaranflugs beschäftigt ist (A 11). Die nicht ganz eindeutig zu klärenden kausalen Zusammenhänge sind in Darstellung 4-21 gestrichelt dargestellt. Ergebnis ist, dass die Warnung aus Karlsruhe nicht an das ACC Zürich übermittelt werden kann. Eine Kollisionswarnung kann theoretisch aber auch im ACC Zürich erfolgen, da es auch dort ein STCA gibt. Der Lotse müsste also eigentlich eine Warnung des

Zürcher STCA erhalten. Dies ist jedoch nicht möglich, weil das System am Abend des Unfalls nicht zur Verfügung steht (A 26). Aufgrund von Wartungsarbeiten (G 21) wird das Radarsystem im Fallback-Modus betrieben, in dem es keine STCA-Funktion gibt (A 25). Somit kann auf keinem der beiden theoretisch möglichen Wege eine Warnung des Lotsen erfolgen.



Darstellung 4-21: Teilgraph „Situation ACC Zürich – Wartung“

Die Untersuchung der Situation im ACC Zürich bringt 13 Grundursachen hervor. Sie liegen teilweise im Verantwortungsbereich des Lotsen (G 16 und G 22). Ein Großteil der Ursachen bezieht sich jedoch auch auf organisatorische und technische Aspekte sowie sonstige Begleitumstände. Zu nennen sind hier insbesondere der Bereich Personalbesetzung im ACC Zürich (G 22, G 23 und G 24), Technik und Wartung (G 19 bis G 21) und TCAS-Funktionalität (G 3, G 13, G 17 und G 18). Zudem spielen die Grundursachen G 11 und G 12 eine Rolle.

4.2 Ergebnisse

Im Zusammenhang ergibt sich aus den zuvor erarbeiteten Analyseschritten der in Darstellung 4-22 dargestellte komplette WB-Graph für die Midair Collision bei Überlingen.

Darstellung 4-22: WB-Graph der Midair Collision bei Überlingen

Abschließend soll näher auf die Grundursachen des Unfalls eingegangen und die größeren Zusammenhänge dargestellt werden. Dabei werden die auftretenden Problembereiche geschildert und die daraus resultierenden zu klärenden Fragestellungen formuliert. Zudem wird kurz auf ableitbare Gegenmaßnahmen eingegangen, die der Verhinderung einer Wiederholung dienen können. Es ist bei der Bewertung der Grundursachen zu berücksichtigen, dass es innerhalb der Analysemethode kein Kriterium zur Gewichtung der grundlegenden Ursachen gibt. Es kann daher nicht mit Bestimmtheit gesagt werden, in welchem Maß eine einzelne Ursache zum Eintreten des Unfalls beigetragen hat. Da es jedoch nicht von der Hand zu weisen ist, dass es Unterschiede in der Bedeutung der einzelnen Faktoren gibt, wird im Folgenden nur eine tendenzielle Bewertung der Faktoren nach ihrer Wichtigkeit vorgenommen.

Entgegen des ersten Eindrucks, der aufgrund der Berichterstattung zum Zeitpunkt des Unfalls hätte entstehen können, ist das Verhalten des Lotsen nur ein Faktor unter vielen, die zu dem Unglück geführt haben. Bei genauerer Betrachtung stellt sich heraus, dass nur drei der insgesamt 25 Grundursachen in direktem Zusammenhang mit dem Lotsen stehen (G 15, G 16 und G 22). Die weiteren 22 Grundursachen verteilen sich im Wesentlichen auf die Bereiche Personalbesetzung im ACC Zürich, Technik/Wartung, TCAS-Funktionalität sowie Verhalten der beiden Besatzungen. Zudem gibt es einige grundsätzliche, schwer einzuordnende Grundursachen, die als gegebene Fakten so hingenommen werden müssen und die sich nicht zur Ableitung sinnvoller Gegenmaßnahmen heranziehen lassen.

Aspekt Lotse und Personalbesetzung im ACC Zürich

G 15 Lotse kommt Bitte der Besatzung B757 nach, steigen zu dürfen [ind.BFU02a]

G 16 Lotse versucht ab 21:34:49 Uhr, Konflikt über TU154 M zu lösen [ind.BFU02a]

G 22 Erster Lotse lässt zweiten Lotsen in Pause gehen [ind.BFU02a]

G 23 Zweiter Lotse der Nachtschicht macht Pause außerhalb des Raumes [BFU02a]

G 24 Assistentin ist nicht für Verkehrsführung zuständig [BFU02a]

Ursache G 15 hätte sich rückblickend geeignet, das Unglück zu verhindern. Hätte der Lotse die B757 nicht angewiesen, auf FL 360 zu steigen, wäre es später nicht zum Konflikt mit der auf FL 360 fliegenden TU154 M gekommen. Dies kann jedoch wirklich nur in der Rückschau so gesehen werden. Bis zum Einfliegen der russischen Maschine in den Kontrollbereich Zürich vergehen von diesem Zeitpunkt an noch 7 Minuten. Selbst wenn der Lotse schon über die in FL 360 in seinen Kontrollbereich einfliegende Tupolew informiert ist, muss ihn das

aufgrund des großen Zeitfensters bis zum Kreuzungszeitpunkt der beiden Flugzeuge nicht zwingend veranlassen, der B757 das Steigen auf FL 360 zu verwehren. Zudem muss die TU154 M für ihren Weiterflug nach Spanien sowieso auf FL 350 sinken [DFS03]. Eine Verweigerung der größeren Höhe würde außerdem gegen das Prinzip der wirtschaftlichen Verkehrsführung sprechen, da der Kraftstoffverbrauch in geringerer Höhe größer ist. Es spricht in dieser Situation also nichts gegen die Genehmigung einer größeren Flughöhe.

Nachdem der Lotse den Konflikt erkannt hat, versucht er die Situation über die TU154 M zu bereinigen (G 16). Auch dagegen gibt es aus Sicht des Flugverkehrsleiters keinen Einwand. Es genügt, wenn ein Flugzeug seine Höhe ändert. Warum er sich für die russische Maschine entscheidet, lässt sich nicht mit Bestimmtheit sagen. Mag sein, dass es damit zusammenhängt, dass das Sinken für den Weiterflug nach Barcelona sowieso notwendig ist. Es besteht in dieser Situation also auch kein Grund, den Piloten der B757 über die Sinkfluganweisung an die TU154 M zu informieren. Bleibt die Frage, warum er die Besatzung nicht schon zu einem früheren Zeitpunkt anweist, auf FL 350 zu sinken, wenn es für den Weiterflug doch sowieso notwendig ist? Das ist wohl vor dem Hintergrund der Überlastungssituation im allgemeinen zu sehen und hier insbesondere auch im Zusammenhang mit den technischen Problemen, die bei der Benutzung der Reserveleitung (G 20) auftreten. Sie dürften maßgeblich zur Ablenkung des Lotsen beigetragen haben.

Eine weitere wesentliche Ursache dafür, dass sich die Umstände so unglücklich entwickeln, liegt darin, dass der Lotse allein zwei Sektorarbeitsplätze zu überwachen hat. Eine Grundursache hierfür ist, dass der Lotse den zweiten Lotsen in die Pause gehen lässt (G 22). Darin ist nach Informationen der DFS kein regelwidriges, sondern eher ein durchaus übliches Verhalten zu sehen [DFS03]. Zu Beginn der Pause ist keine außergewöhnliche oder konfliktträchtige Situation zu erkennen. Es besteht für den Lotsen also zunächst kein Grund, dem Kollegen die ihm zustehende Pause zu verwehren. Er muss sich aber ggf. den Vorwurf machen lassen, zu dem Zeitpunkt als die ersten Probleme mit der Telefonleitung auftreten den pausierenden Lotsen nicht wieder hinzugezogen zu haben. Darüber hinaus ist an dieser Stelle der Blick auf das Management zu richten. Es ist die Frage zu stellen, ob eine solch geringe Personalbesetzung für die Flugverkehrsüberwachung verantwortbar ist. Gerade in einer Ausnahmesituation mit Wartungsarbeiten und eingeschränkter technischer Ausrüstung, wie am Abend des Unfalls, ist dies fraglich. Wie in Abschnitt 3.1.3 bereits dargestellt, gehören zur Normalbesetzung eines Sektorarbeitsplatzes zwei Lotsen, ein Koordinationslotse und ein Radarlotse. In der Nachtschicht wird diese Besetzung bei skyguide aufgrund des

niedrigeren Verkehrsaufkommens um die Hälfte reduziert, so dass ein Lotse einen Arbeitsplatz betreut – so auch am Abend des Unfalls. Aussagen in der ZDF-Dokumentation „Tod über den Wolken“ zufolge gilt zudem zu diesem Zeitpunkt eine dienstliche Weisung, nach der „...ein einzelner Fluglotse [...] nicht zur gleichen Zeit zwei nebeneinander liegende Sektoren überwachen ...“ soll [DFW03]. Geht man davon aus, dass jedem Lotsen während seines Dienstes eine Pause zusteht, hat ein Lotse somit die Wahl, ob er gegen die Dienstanweisung verstößt und für seinen Kollegen mitarbeitet oder seinen Kollegen an dessen Pause hindert und im Gegenzug von diesem auch keine Pause gewährt bekommt. Verstößt er gegen die Dienstanweisung, macht er sich schuldig, gerade dann, wenn etwas passiert. Macht er keine Pause, mindert das die Konzentration und das wiederum geht auf Kosten der Sicherheit. Kommt es dann zu einem Vorfall, fällt das im Zweifelsfall auf den Lotsen zurück, weil er die Pause eben nicht gemacht hat. Der Lotse ist also aufgrund der organisatorischen Begleitumstände in einer misslichen Lage. Es ist fraglich, ob ein solches von rein wirtschaftlichen Interessen geleitetes und auf Kosten der Sicherheit gehendes Vorgehen eines Managements legitim ist. Im Beispielfall lässt sich die Mitverantwortung des Managements für den Unfall, obwohl vorhanden, leider nicht als Analyseergebnis aus den Grundursachen ablesen. Sie lässt sich aus den Ergebnissen nur indirekt ableiten.

Die Grundursache, dass die Assistentin keine Verkehrsführungsfunktion hat (G 16), ist ein hinzunehmender Fakt. Eine Datenassistentin ist nicht für die Verkehrsführung zuständig. Selbst wenn sie Verkehrsführungsfunktion gehabt hätte, ist fraglich, ob das am Ergebnis etwas geändert hätte.

Für diesen Bereich ableitbare Gegenmaßnahmen sind in der Folge des Unfalls vom schweizerischen Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) bereits angeordnet worden. So darf skyguide bis auf weiteres sowohl im Tages- wie auch im Nachbetrieb keine Radarsektoren mehr durch einzelne Flugverkehrsleiter überwachen lassen. Zudem wurden die Flugsicherungskapazitäten von skyguide infolge des Unglücks um rund 20 % reduziert [BAZ02].

Aspekt Technik/Wartung

G 19 Wartungsarbeiten am Telefonnetz von skyguide [BFU02b]

G 20 Technische Probleme mit der Reserveleitung [BFU02b], [ASN03]

G 21 Wartungsarbeiten am Radarsystem [BFU02b]

Bei der Beleuchtung des Gesichtspunktes der Technik und Wartung drängt sich die Frage auf, warum überhaupt beide Systeme (Telefonnetz und Radarsystem) gleichzeitig gewartet

werden? In Bezug auf die Wartungsarbeiten am Telefonnetz ist zusätzlich die Frage zu beantworten, warum die Reserveleitung offenbar nicht einwandfrei arbeitet, obwohl es sich um die einzige zum Zeitpunkt der Wartungsarbeiten verfügbare Leitung handelt? Eine Beantwortung der Fragen ist an dieser Stelle nicht möglich. Die Verantwortlichen bei der schweizerischen Flugsicherung werden sich diese Fragen jedoch mit Sicherheit stellen lassen müssen. Erste Gegenmaßnahmen wurden bereits vom BAZL angeordnet: „Skyguide [darf] Sicherheitssysteme nur noch gleichzeitig für Wartungsarbeiten ausser Betrieb setzen oder in ihrem Funktionsmodus reduzieren, wenn die dabei entstehende Lücke durch andere Massnahmen (etwa der Einsatz von mehr Personal) kompensiert wird“ [BAZ02].

Darüber hinaus werden weitere eher grundsätzliche Fragen aufgeworfen. Warum ist im Fallbacksystem die STCA-Funktion generell nicht verfügbar? Und wäre für das Fallbacksystem eine Nachrüstung technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar? Ein zweiter auch in der ZFD-Dokumentation aufgeworfener Problembereich bzw. Kritikpunkt betrifft die Übergabeverfahren für Flugzeuge von einem Kontrollsektor zum nächsten. Einheitliche technische Standards für die Systeme benachbarter Flugsicherungsdienste existieren zumeist nicht, was aufgrund der fehlenden Systemkompatibilität in den meisten Fällen eine Übergabe per Telefon erforderlich macht. Eine Vereinheitlichung erfordert jedoch europaweite und in letzter Konsequenz weltweite Zusammenarbeit und Anstrengungen und ist daher nur langfristig zu erreichen [DFW03].

Aspekt Verhalten der Besatzungen und TCAS-Funktionalität

- G 3 Besatzung B757 meldet Einleiten des Sinkflugs infolge TCAS-Kommando @ 21:35:19 Uhr [BFU02a]
- G 4 Besatzung B757 befolgt Kommandos des TCAS @ 21:34:56 Uhr und 21:35:10 Uhr [BFU02a]
- G 5 Anzeige des TCAS, dass beide Flugzeuge sinken, wird von Piloten B757 nicht beachtet (seit 21:34:42 Uhr mögl.) [DFW03]
- G 8 TCAS-Kommandos werden von Besatzung TU154 M ignoriert (erste Warnung @ 21:34:42 Uhr) [ind.BFU02a]
- G 9 Anzeige des TCAS, dass beide Flugzeuge sinken, wird von Piloten TU154 M nicht beachtet (seit 21:34:42 Uhr möglich) [DFW03]
- G 10 Besatzung TU154 M befolgt Anweisung des Lotsen [ind.BFU02a]
- G 11 Besatzung TU154 M bestätigt die Lotsenanweisung, auf FL 350 zu sinken, zunächst nicht [BFU02a]

- G 12 Besatzung TU154 M bestätigt die Lotsenanweisung, auf FL 350 zu sinken,
@ 21:35:03
- G 13 Besatzung TU154 M meldet TCAS-Kommandos überhaupt nicht [ind.BFU02a]
- G 17 Information des Lotsen über TCAS-Kommandos im System nicht vorgesehen
[DFW03]
- G 18 Meldung von Pilotenstimme aus offenem Mikrofon überlagert [ASN03]

Die Betrachtung der Verhaltensweisen der beiden Besatzungen führen direkt zum Problem-bereich TCAS und den damit zusammenhängenden Kommunikationsproblemen. Wie das Beispiel in dramatischer Weise zeigt, ist TCAS nur dann sinnvoll, wenn alle Beteiligten darauf hören. Ansonsten wird es eher zur Gefahrenquelle. Die Besatzung der B757 befolgt die Anweisungen des laut Untersuchungsbericht fehlerfrei arbeitenden TCAS ohne Ver-zögerung (G 4), während die Besatzung der TU154 M die TCAS-Befehle ignoriert (G 8) und den Anweisungen des Lotsen Folge leistet (G 10). Dies führt dazu, dass beide Flugzeuge sinken und es damit zwangsläufig zur Kollision kommt. Beide Verhaltensweisen sind jedoch regelkonform, da bisher lediglich eine Empfehlung der ICAO existiert, bevorzugt den Anwei-sungen des TCAS zu folgen. Laut Untersuchungsbericht waren beide Besatzungen von ihren Fluggesellschaften im Umgang mit TCAS geschult. Angaben zu den Inhalten der Schulungen macht er allerdings nicht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass in TCAS-Schulungen auf die existierende Soll-Anweisung der ICAO für die Verhaltensweise in solch einer widersprüchlichen Situation hingewiesen wird. Eine verbindliche Vorschrift, die die Flugzeugführer verpflichtet, dem TCAS Folge zu leisten, gibt es zum Zeitpunkt des Unglücks nicht. Eine solche Regelung widerstrebt vermutlich den Interessen des TCAS-Herstellers Honeywell, der dadurch stärker in die Haftungsverpflichtung genommen werden könnte. Eine derartige Regelung soll jedoch im Laufe des Jahres 2003 in Kraft treten [DFW03], [DFS03].

Ein weiteres Problem, das im Zusammenhang mit TCAS durch den Unfallhergang deutlich wird und auch in der ZDF-Dokumentation angesprochen wird, ist die fehlende Einbeziehung und Information des Lotsen über TCAS-Anweisungen an Bord der von ihm kontrollierten Flugzeuge (G 17). Eine Information des Lotsen über Kommandos des TCAS ist im System nicht vorgesehen. Der Lotse ist somit auf die Information durch die Flugzeugführer ange-wiesen. Dass er sich auf die Information durch die Piloten jedoch nicht unbedingt verlassen kann, zeigt der Beispielfall. Die Besatzung der TU154 M meldet die TCAS-Kommandos überhaupt nicht (G 13) und die Besatzung der B757 meldet das Einleiten des Sinkflugs infolge TCAS-Kommando erst um 21:35:19 Uhr (G 3). Erschwerend kommt in diesem

speziellen Fall dazu, dass die Meldung der Besatzung der B757 über das TCAS-Kommando im ACC Zürich für den Lotsen so gut wie unverständlich ist, da sie von der Stimme eines anderen Piloten über ein offenes Mikrofon überlagert wird (G 18). Die Ursache hierfür ist nicht klar. Der Lotse hat demnach gar nicht die Möglichkeit vom TCAS-Alarm und seinen Folgen zu erfahren. Er glaubt daher, die Konfliktsituation sei gelöst und beschäftigt sich schon wieder mit der Koordination des Radaranflugs im unteren Luftraum. Eine grundsätzliche automatische Information des Lotsen durch das System erscheint vor diesem Hintergrund auf jeden Fall sinnvoll.

Es ist weiterhin die Rolle der Piloten zu betrachten. Laut Aussagen in der ZDF-Dokumentation hätten die Piloten der beiden Maschinen an der Anzeige des TCAS erkennen können, dass beide Flugzeuge sinken. Diese Anzeige wird offensichtlich von beiden Besatzungen nicht beachtet (G 5 und G 9) und führt zu einer falschen Einschätzung der tatsächlichen Konfliktsituation. Die Situation stellt sich für die Besatzung der B757 relativ eindeutig dar. Einziger konkreter Hinweis auf die tatsächliche Situation ist zu diesem Zeitpunkt die nicht beachtete Anzeige des TCAS, dass die TU154 M sinkt. Das Verhalten der Piloten der B757 ist jedoch laut ZDF-Dokumentation auch vor dem Hintergrund zu betrachten, dass sich die TU154 M um 21:30:11 Uhr für sie hörbar auf gleicher Höhe angemeldet hat. Über die genauen Vorgänge im Cockpit der B757 existieren zum heutigen Zeitpunkt jedoch keine Informationen, aus denen sich klären lassen könnte, inwiefern die Piloten der B757 hätten anders handeln können bzw. müssen als bekannt. Der Einfluss dieses Sachverhaltes kann daher an dieser Stelle nicht entsprechend berücksichtigt werden. Anders stellt sich die Situation bei der Besatzung der TU154 M dar. Sie hätte wegen der widersprüchlichen Anweisungen von Lotse und TCAS in höchster Alarmbereitschaft sein müssen. Eine Nachfrage oder zumindest Information des Lotsen über die widersprüchlichen Anweisungen wäre naheliegend gewesen. Die kurz nach dem Unfall laut werdenden Spekulationen über eventuell vorhandene Sprachprobleme seitens der russischen Besatzung treffen nach Angaben der DFS nicht zu [DFS03]. Die Grundursachen G 11 und G 12 bezüglich des Verhaltens der Besatzung der TU154 M spielen im Gesamtzusammenhang eine eher untergeordnete Rolle, sind jedoch der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Sonstige Aspekte

- G 1 Hohe Fluggeschwindigkeit [DFS03]
- G 2 Niedrigerer Kraftstoffverbrauch in großen Flughöhen [DFW03]
- G 6 B757 auf Flugstrecke Bergamo-Brüssel (nördlicher Kurs) bei Überlingen [BFU02a]
- G 7 TU154 M wird von München Radar auf FL 360 an Zürich übergeben [BFU02a]
- G 14 TU154 M auf Flugstrecke Moskau-Barcelona (westlicher Kurs) bei Überlingen [BFU02a]
- B 1 bzw. 4 B757 in FL 320 bzw. FL 260 (je nach Abbruchkriterium, vgl. S. 50)

Die hier aufgeführten Grundursachen tragen sicherlich zur Erklärung des Zusammenstoßes bei. Sie müssen allerdings als gegebene unabänderliche Fakten hingenommen werden und bieten keine Ansatzpunkte zur Erarbeitung von Verbesserungsmaßnahmen – außer vielleicht zu unrealistisch Maßnahmen, wie z.B. den Flugverkehr generell zu verbieten.

5 Bewertung der Analysemethode

Abschließend erfolgt eine Bewertung der Analysemethode WBA im Allgemeinen und insbesondere eine Beurteilung der WBG-Methode. In Abschnitt 5.1 werden die Vor- und Nachteile der Analysemethode unter anderem im Hinblick auf Verständlichkeit, Anwendbarkeit, Darstellungsform und Ergebnisse herausgearbeitet. Die Beurteilung der Methode durch Experten der DFS und eine persönliche Einschätzung werden in Abschnitt 5.2 dargestellt.

5.1 Allgemeine Bewertung

In diesem Abschnitt erfolgt zunächst eine allgemeine Beurteilung der Analysemethode. In den folgenden Ausführungen wird die Methode in Bezug auf die unterschiedlichen Gesichtspunkte Anwendungsbereich und Anwenderkreis, Verständlichkeit, Anwendung, Ergebnisse, Darstellungsform und Aufwand für die Durchführung bewertet.

Anwendungsbereich und Anwenderkreis

Wie in Kapitel 2 bereits erwähnt, findet die WBA bisher fast ausschließlich im Verkehrsbereich Anwendung, obwohl die Methode generell für die Untersuchung offener komplexer heterogener Systeme jeglicher Art gedacht ist. Ein Grund dafür ist unter anderem darin zu sehen, dass es im Verkehrsbereich häufiger als in anderen Bereichen, wie z.B. in Kraftwerken, zu Unfällen bzw. Vorfällen kommt. Insbesondere in Bezug auf den Flugverkehr sind diese zudem recht gut dokumentiert [WBA03]. Eine weitere Begründung für die fast ausschließliche Anwendung der Methode im Verkehrsbereich liegt jedoch sicherlich auch darin, dass sich bisher nur ein sehr begrenzter Personenkreis mit der Analysemethode beschäftigt. Wie Darstellung 5-1 zeigt, findet die Analyse im Wesentlichen innerhalb der Arbeitsgruppe Rechnernetze und Verteilte Systeme (RVS) der Universität Bielefeld Anwendung sowie im Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung (IfEV) der Universität Braunschweig. Darüber hinaus wird die WBA bei der Siemens AG in Braunschweig angewendet, deren Mitarbeiter Dr. Jens Braband jedoch gleichzeitig Lehrbeauftragter am IfEV ist. In der RVS-Gruppe liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen im Bereich Luftfahrt, am IfEV und bei Siemens im Bereich Schienenverkehr. Des Weiteren existiert zur Analyse-methode außer der Literatur der Arbeitsgruppe RVS so gut wie keine Literatur anderer Verfasser, was zusätzlich auf eine geringe allgemeine Bekanntheit der Methode hindeutet.

Es stellt sich die Frage, warum Anwendungsbereich und Anwenderkreis so begrenzt sind, wo es die Methode schon seit gut fünf Jahren gibt?

Bisher durchgeführte WB-Analysen					
Unfall/Vorfall	Anwendungsbereich	WBG-Methode	Verifizierung	Verfasser	Quelle
Royal Majesty	Schiff	X		RVS-Gruppe	[HLS03]
Concorde	Flugzeug (WS1)	X		RVS-Gruppe	[Sie02]
NW 052	Flugzeug	X	X	RVS-Gruppe	[Lad01]
Cali	Flugzeug	X		RVS-Gruppe	[Lad01], [GLL97]
Warsaw	Flugzeug	X		RVS-Gruppe	[Lad01], [HL97]
Puerto Plata	Flugzeug	X	X	RVS-Gruppe	[Lad]
Nagoya	Flugzeug	X		RVS-Gruppe	[Lad]
O' Hare	Flugzeug	X	X	RVS-Gruppe	[Lad]
Ariane	Space Shuttle	X		RVS-Gruppe	[Lad]
BCA Incident	Internetbanking	X		RVS-Gruppe	[Wir03]
Gunadarma Incident	Internetbanking	X		RVS-Gruppe	[Wir03]
Ronaldsway	Keine Angabe	X		RVS-Gruppe	[Lad]
Ladbroke Grove	Zug	X		IfEV	[Ste02]
Brühl	Zug	X		IfEV	[GL02]
Herald of Free Enterprise	Schiff (WS2)	X		IfEV / Siemens	[BES03]

Darstellung 5-1: Bisher durchgeführte WB-Analysen

In Darstellung 5-1 sind die bisher durchgeführten WB-Analysen zusammengestellt und die einzelnen Vorfälle bzw. Unfälle nach ihrem Anwendungsbereich unterschieden. Nähere Angaben zu den jeweiligen Unfällen bzw. Vorfällen sind den angegebenen Quellen zu entnehmen. Zudem ist gekennzeichnet, ob bei der Untersuchung nur die WB-Graph Methode angewendet wurde oder auch die Verifizierungsmethode. In der letzten Spalte werden Angaben zu den Verfassern der Untersuchungen und den zugehörigen Quellen gemacht.

Verständlichkeit

Zum Gesichtspunkt der Verständlichkeit ist eine differenzierte Betrachtung notwendig. Die in der WBG-Methode vorgesehenen Analyseschritte sind an sich leicht nachvollziehbar – wenn

der Untersuchende sie erst einmal verstanden hat. Eine für den Erstanwender geeignete Quelle, die die Anwendung der Methode in leicht verständlicher Form dokumentiert, existiert leider nicht. Die verfügbaren Dokumente sind entweder viel zu theoretisch formuliert und auf die Herleitung der hinter der Methode stehenden Logik abgestellt, wie Ladkin's Buch „Causal System Analysis - Fromal Reasoning About Safety and Failure“, oder aber einfach zu kurz gefasst, wie „A Quick Introduction to Why-Because Analysis“. Für den Erstanwender ist es daher schwierig, das Wesentliche und für die Anwendung der WBG-Methode Wichtige herauszufiltern, zumal eine Abgrenzung zwischen WBG-Methode und Verifizierungsmethode nicht immer leicht fällt und beide stellenweise ineinander übergehen. Ist diese Vorarbeit jedoch geleistet, sind die anzuwendenden Vorgehensschritte leicht verständlich und gut durchführbar.

Wie in Kapitel 2 bereits erwähnt, handelt es sich bei der WBG-Methode allerdings nur um einen Teilbereich – den nicht formalen Teil – einer kompletten WBA. Der zweite, formale Teil dient der Verifizierung der durch die WBG-Methode gelieferten Ergebnisse. Bei der Betrachtung der Verifizierungsmethode wird jedoch schnell klar, dass die Anwendung in der Praxis sehr aufwändig ist. Es ist fraglich, ob hier der Nutzen den Aufwand rechtfertigt. Die Verifizierung ist laut Ladkin jedoch generell notwendig, um Argumentationsfehler aufzudecken und kann demnach nicht ausgelassen werden [Lad01, S.252 u. a.]. Die Beschreibung der Verifizierungsmethode macht zudem etwa die Hälfte der gesamten Beschreibung der Methode aus. Die hervorgehobene Bedeutsamkeit und der betriebene Dokumentationsaufwand stehen allerdings im klaren Widerspruch zur angewendeten Praxis. Soweit den verfügbaren Quellen zu entnehmen ist, ist in den wenigsten der bisher durchgeführten Analysen die Verifizierungsmethode auch tatsächlich angewendet worden (vgl. Darstellung 5-1 auf Seite 74). Vor dem Hintergrund der von Ladkin betonten Wichtigkeit der formalen Verifizierung erstaunt dies.

Anwendung

Wenn erst einmal Klarheit über das grundsätzliche Vorgehen besteht, kann zur Anwendung der WBG-Methode übergegangen werden. Das Regelwerk der WBG-Methode ist grundsätzlich recht einfach und überschaubar. Es lässt sich daher gut anwenden. Die Überprüfung der ersten grundlegenden Regel, die Beachtung der zeitlichen Reihenfolge der einzelnen Ereignisse (vgl. Abschnitt 2.3.1), fällt nicht schwer. Die anschließende intuitive Ermittlung der kausalen Knotenpaare über „Why-Because“-Fragen geht ebenso leicht von der Hand und

verhindert zudem eine rein hierarchische Anordnung oder bloße Gruppierung der zu analysierenden Ereignisse.

Erste Schwierigkeiten treten bei der Anwendung der Regel für Counterfactuals und des CCT auf. Im Verlauf der Untersuchung war zu beobachten, dass eine Überprüfung immer dann schwer fiel, wenn menschliches Verhalten untersucht wurde. Dies liegt an der hinter Counterfactual-Regel und CCT stehenden zweiwertigen Logik. In dieser Art von Logik lässt sich menschliches Verhalten zuweilen schwer ausdrücken, insbesondere bei der Analyse von nicht direkt beobachtbarem Verhalten, wie z.B. inneren Vorgängen. Hierbei handelt es sich jedoch um ein generelles Problem bei der Untersuchung menschlichen Verhaltens und weniger um ein methodenspezifisches Problem. Eine weitere Schwierigkeit in Bezug auf CCT und Counterfactual-Regel liegt in der Einschränkung des betrachteten Untersuchungsbereichs durch die Annahme der ähnlichsten möglichen Welt. Alternativszenarien, zu denen keine beobachtbaren und gesicherten Informationen existieren, werden dadurch aus der Analyse ausgeschlossen, obwohl sie durchaus denkbar sind. Es besteht bei einem solchen Vorgehen die Gefahr, dass bestimmte Szenarien außer Betracht gelassen und nicht weiter beachtet werden, obwohl sie vielleicht in der Realität so eingetreten sind. Die Einschränkung des Untersuchungsbereichs durch die Annahme der ähnlichsten möglichen Welt ist auf der anderen Seite allerdings notwendig, um eine Anwendung von Counterfactual-Regel und CCT überhaupt in allen Fällen in sinnvoller Weise zu ermöglichen (vgl. Abschnitt 4.1.3).

Während die Untersuchungsschritte an sich klar formuliert sind, gibt es für Beginn und Ende der Analyse keine eindeutigen Kriterien. Es ist nicht geregelt, welche Informationen für die Analyse als relevant anzusehen sind und somit in die Analyse eingehen und welche nicht. Die Entscheidung liegt allein im Ermessen des Analysierenden und ist damit abhängig von Ziel und Detaillierungsgrad der Analyse [Lad01, S. 206]. Ein analoges Problem stellt sich zum Ende der Analyse. Es existiert kein Kriterium dafür, wann die Untersuchung abbrechen ist. Theoretisch könnte somit ein Flugzeugabsturz bis zu den Grundursachen „Das Flugzeug wurde gebaut“ oder „Wirkung der Erdanziehungskraft“ analysiert werden. Es handelt sich hier um so grundsätzliche Ursachen, dass man bei der Ableitung von Gegenmaßnahmen zu dem Punkt kommen müsste, die Fliegerei ganz zu verbieten oder die Erdanziehungskraft zu beseitigen. Das wäre zwar laut Analysemethode nicht falsch, da ja kein Abbruchkriterium existiert, würde allerdings auch wenig Sinn machen.

An Stellen, an denen gesicherte Informationen zum Unfallhergang fehlen, stößt die Analyse-methode – trotz der Empfehlung der Anwendung der kontrastierenden Erklärung nach Mill's Method of Difference und der Hilfsmittel PARDIA und PAD – an Grenzen. Dies ist jedoch kein methodenspezifisches Problem. Liegt der Informationsmangel im fehlenden Fachwissen des Untersuchenden begründet, so kann dieser auf Experten zugehen, die ihm die zur Vervollständigung der Analyse notwendigen Informationen liefern können. Der Analysierende ist also auf eigenes Fachwissen bzw. die Verfügbarkeit von guten Informationsquellen angewiesen. Liegt der Mangel jedoch an der schlichten Nichtverfügbarkeit von Informationen, so helfen hier auch kontrastierende Erklärung, PADs und PARDIA nicht wesentlich weiter. Die auftretenden Unklarheiten lassen sich dadurch besser strukturieren, aber nicht aufklären. Trotzdem ist an einem solchen Vorgehen vorteilhaft, dass die Stellen, an denen Unklarheit über die tatsächlichen kausalen Zusammenhänge besteht und die der Klärung bedürfen, konkret lokalisiert und benannt werden können. Es ist dadurch zumindest möglich, die richtigen Fragen zu den fehlenden Fakten zu formulieren.

Trotz einzelner Kritikpunkte ermöglicht die WBA insgesamt gesehen die Untersuchung von Unfällen in einheitlicher Form unter Anwendung einiger weniger Regeln. Dies bietet den Vorteil, dass die Analyseergebnisse für jeden mit den Regeln vertrauten Leser nachvollziehbar sind. Der Analysierende wird zudem dazu gezwungen, sich im Detail mit den einzelnen Aspekten des Unfallhergangs auseinanderzusetzen, was Argumentationsfehler schneller hervortreten lässt und Inkonsistenzen und fehlende Ursachen erfolgreich aufdeckt.

Ergebnisse

Die WBG-Methode liefert als Ergebnis die Grundursachen, die das Eintreten des Unfalls hinreichend aus kausaler Sicht erklären. Über die Anwendung der WBG-Methode kann erreicht werden, dass nur Knoten als Grundursachen identifiziert werden, die innerhalb des betrachteten Unfallszenarios keine weiteren Ursachen haben. Bei einem unstrukturierten Vorgehen hingegen läuft der Untersuchende Gefahr, bestimmte Ereignisse oder Zustände als Grundursachen zu identifizieren, für die sich unter den vorhandenen Informationen noch weitere Ursachen ermitteln lassen. Es würde sich bei der vermeintlichen Grundursache also gar nicht um eine Grundursache handeln. Der identifizierte Knoten wäre einfach mitten aus der Ereigniskette herausgegriffen worden und somit nur eine weiter erklärbare Ursache. Zudem lassen sich aus der Betrachtung aller identifizierten Grundursachen im Zusammenhang leicht die Problembereiche ablesen, die zum Eintreten des Unfalls geführt haben. Bei

diesen Problembereichen kann nun gezielt angesetzt werden, um Gegenmaßnahmen zur Verhinderung der Wiederholung eines ähnlichen Unfalls zu erarbeiten. Problematisch ist an dieser Stelle nur, dass ggf. nicht alle Problembereiche durch die Grundursachen erfasst werden. Im Analysebeispiel wurde z.B. der Einfluss und die Verantwortung des Managements, obwohl sicherlich vorhanden, durch die Grundursachen nicht direkt abgebildet. Dieser Aspekt konnte nur indirekt über den Gesamtzusammenhang abgeleitet werden. Zudem ist davon auszugehen, dass nicht jede einzelne Grundursache die gleiche Bedeutung für das Eintreten des Unfalls hat. Ein objektives Kriterium zur Gewichtung der Ursachen existiert innerhalb der Analysemethode allerdings nicht. Es können daher nur Tendenzen, wie z.B. „wichtig“ oder „weniger wichtig“, zur Beurteilung der Grundursachen angegeben werden, die wiederum im Ermessen des Betrachters liegen.

In Bezug auf die von der Methode gelieferten Ergebnisse gibt es jedoch auch noch eine offene Frage. Ladkin sagt zwar, dass sich die Analysen unterschiedlicher Personen zum gleichen Unfall unterscheiden, er sagt jedoch nicht inwiefern sie voneinander abweichen [Lad01, S. 192]. Klar ist, dass sich die Formulierungen der Ereignisse, wie z.B. positive oder negative, wertende oder nicht wertende Formulierungen sowie der gewählte Detaillierungsgrad, auf das Aussehen des Graphen und die Anordnung der Knoten auswirken. Unzweifelhaft ist auch, dass diese Abweichungen in der Formulierung und im Grad der Detaillierung bei der Durchführung einer Analyse zum selben Unfall durch unterschiedliche Personen auftreten werden. Unklar ist hingegen, ob und inwiefern sich die Feinheiten der Formulierung und Detaillierung in Form von abweichenden Ergebnissen für die Grundursachen am Ende der Analyse niederschlagen. Haben beide keinen oder zumindest keinen grundlegenden Einfluss auf die Grundursachen, ist nicht mit einer starken Abweichung der Ergebnisse der von unterschiedlichen Personen durchgeführten Analysen zu rechnen, im anderen Fall schon. Eine abschließende Klärung der genauen Zusammenhänge und Auswirkungen konnte im Rahmen der Ausarbeitung nicht erfolgen.

Darstellungsform

Die über die WBG-Methode erarbeiteten Ergebnisse werden in graphischer Form als WB-Graph dargestellt. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Abbildung der kausalen Zusammenhänge. Erst in zweiter Linie wird die chronologische Reihenfolge der Knoten im Gesamtzusammenhang der Darstellung berücksichtigt (entlang der einzelnen Ursache-Wirkungsketten wird sie natürlich eingehalten). Würde man alle Knoten zusätzlich auf einer Zeitachse

abtragen, würde die Darstellung äußerst unübersichtlich. Sie wäre von ihren Ausmaßen her äußerst lang gezogen und eine Anordnung nach zusammengehörigen Themenbereichen wäre kaum möglich. Teilweise wäre jedoch die Möglichkeit der Erkennbarkeit einer zeitlichen Reihenfolge für die Erfassung der genauen zeitlichen Relation der Knoten zueinander von Vorteil. Ansonsten bietet die gewählte Darstellungsform eine sehr gute Übersicht über die kausalen Zusammenhänge innerhalb des Unfallhergangs. Die Darstellung eignet sich daher gut als Diskussionsgrundlage. Sie könnte z.B. für staatsanwaltschaftliche Ermittlungen oder zur Illustration des Unfallhergangs vor Gericht genutzt werden. Hier könnte der WB-Graph z.B. als wertfreies Grundgerüst dienen, anhand dessen sich die Schuldfrage besser klären lässt.

Des Weiteren könnte der WB-Graph als Basis für den Aufbau einer Datenbank über Ursachen für Flugzeugunfälle bzw. -vorfälle dienen. Es wäre z.B. denkbar, standardisierte Knoten in einer Datenbank zu hinterlegen. Die hinterlegten Knoten könnten dann dazu verwendet werden, um für auftretende Unfälle und Vorfälle WB-Graphen zu erstellen. Zur näheren Beschreibung des jeweiligen standardmäßig vorgegebenen Ereignisses könnte über ein Zusatzfeld eine nähere Beschreibung des einzelnen Knotens ermöglicht werden. Aus einer bestehenden Datenbank mit bereits erarbeiteten Graphen könnten dann bei Bedarf diejenigen Unfälle und Vorfälle abgerufen werden, die bestimmten Kriterien genügen. Es könnten z.B. alle Unfälle ermittelt werden, die eine bestimmte Grundursache enthalten oder an denen ein bestimmter Flugzeugtyp beteiligt ist.

Aufwand für die Durchführung

Die WB-Graph Methode lässt sich ohne größere Schwierigkeiten in einem überschaubaren Zeitrahmen durchführen, vorausgesetzt dem Untersuchenden ist die Vorgehensweise der Methode bereits bekannt und vertraut. Die Erstellung eines ersten WB-Graphen für einen Unfall in der Größenordnung des untersuchten Beispiels inklusive Herausschreiben und Zusammenstellen der notwendigen Informationen aus bereits vorhandenen Quellen nimmt ca. 3 Personentage (PT) in Anspruch. Die für die Überarbeitung und Weiterentwicklung des Graphen beanspruchte Zeit hängt stark davon ab, wie konsistent die zur Verfügung stehenden Informationen sind, ob im Verlauf der Erarbeitung noch nachträglich Informationen aus neuen Quellen eingearbeitet werden müssen, an wie vielen Stellen Informationen fehlen, die nachrecherchiert werden müssen sowie von gewähltem Umfang und Detaillierungsgrad der Analyse, von der gewünschten Art der Dokumentation der Ergebnisse (nur

Graph oder inkl. Beschreibung als Text) und von den zur Visualisierung verwendeten Hilfsmitteln. Es ist daher schwierig, eine generelle Aussage hierzu zu treffen. Für die rein inhaltliche Überarbeitung sollten aber noch einmal ca. 5 PT gerechnet werden.

Der finanzielle Aufwand für die Durchführung einer Analyse exklusive Personalkosten ist äußerst gering. Die Anwendung eines entsprechenden Visualisierungsprogramms ist von Vorteil, jedoch nicht zwingend erforderlich. Im Zweifelsfall sind Stift und Papier ausreichend für die Durchführung. Der Aufwand für die Informationsbeschaffung hängt von der Verfügbarkeit der benötigten Quellen ab. Untersuchungsberichte über Flugzeugunfälle und -vorfälle im deutschen sowie auch teilweise im ausländischen Luftraum sind im Internet verfügbar. Es entstehen hier also in der Regel keine hohen Kosten. Sollte zu einzelnen Themenbereichen eine Befragung von Experten vonnöten sein, sind zusätzlich die hierdurch entstehenden Kosten zu berücksichtigen.

5.2 Expertenmeinung

Die Analysemethode wurde am 17.07.2003 Vertretern der Abteilung VY (Unternehmenssicherheitsmanagement) der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH im Rahmen einer kurzen Präsentation vorgestellt. In der anschließenden Diskussion wurden unterschiedliche Einschätzungen und Bewertungen über die Methode abgegeben. Es wurde klar, dass die grundsätzliche Erwartungshaltung an die zuvor unbekannte Methode relativ hoch war und dass die tatsächlichen Inhalte diese Erwartungen nicht erfüllen konnten. Grundtenor war, dass die Methode eigentlich nichts grundlegend Neues biete. Wesentliche Teile der hinter der Methode stehenden Logik würden eigentlich schon heute so angewendet und es bestehe der Eindruck, dass sich nun einmal jemand die Mühe gemacht habe, das Vorgehen aufzuschreiben. Die Anwendung des Causal Completeness Test wurde eher kritisch gesehen. Die Untersuchung würde hierbei auf einen Ausschnitt der Realität reduziert. Der Untersuchende könne sich jedoch nicht sicher sein, dass in diesem Ausschnitt auch alle relevanten Faktoren enthalten sind und dass er dadurch nicht zur Erklärung des Unfallhergangs wesentliche Teile der Realität ausgeschlossen hat. Insgesamt erinnere die Methode an die von der Safety Regulation Commission (SCR) bei EUROCONTROL entwickelte Untersuchungsmethode „Sequentially Outlining and Follow-up Integrated Analysis“ (SOFIA). SOFIA ist Bestandteil des „Tool Kit for ATM Occurrence Investigation“ (TOKAI), das jedoch bei der DFS nicht angewendet wird. Die Untersuchungsmethode ist zur Umsetzung der im ESARR 2 Konzept gestellten Anforderungen an die Dokumentation und

Bewertung von sicherheitsrelevanten Vorkommnissen im Air Traffic Management (ATM) geeignet. Die Abkürzung „ESARR“ bedeutet „EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement“. Die von der SCR erarbeiteten ESARRs sind Ausdruck der Bestrebungen zur Vereinheitlichung der ATM Vorschriften auf europäischer Ebene und Teil der „Harmonisation of European Incident Definition Initiative for ATM“ (HEIDI). Vergleiche hierzu auch [EURO].

Die von der Methode gelieferten Ergebnisse im Fall Überlingen wurden jedoch insgesamt positiv bewertet, da die wesentlichen im Zusammenhang mit dem betrachteten Unfall aufgetretenen Problembereiche treffsicher identifiziert wurden und daraus alle grundlegenden noch zu klärenden Fragen formuliert werden konnten. Auch die graphische Darstellungsform der Methode stieß auf positive Resonanz. Es wurde jedoch angemerkt, dass eine Abbildung des zeitlichen Ablaufs der Ereignisse und ggf. eine Rollenzuordnung durchaus hilfreich und wünschenswert wären.

5.3 Persönliche Einschätzung

An dieser Stelle soll rückblickend kurz die persönliche Einschätzung der Verfasserin über die Einarbeitung in die WBA und Anwendung der WBG-Methode festgehalten werden. Die Einarbeitung in die Vorgehensweise der Analysemethode hat einen großen Teil der gesamten Bearbeitungszeit ausgemacht. Wie zuvor bereits schon erwähnt, machten dabei insbesondere die zu ausführlichen bzw. zu kurz gefassten Unterlagen zur Vorgehensweise einen Überblick über die wesentlichen Inhalte der Methode schwierig. Dabei war der große Anteil der Verifizierungsmethode an der Gesamtbeschreibung der Methode verwirrend, insbesondere vor dem Hintergrund, dass sie in den verfügbaren Beispieluntersuchungen offenbar so gut wie nie angewendet wurde. Nachdem Klarheit über die Einteilung und Vorgehensweise bestand, stellte sich das Vorgehen jedoch als einleuchtend und logisch dar. Das anzuwendende Regelwerk für die WBG-Methode war sehr überschaubar. Die Möglichkeit, teilweise intuitiv vorzugehen, erleichterte die Erarbeitung eines ersten WB-Graphen. Die Tatsache, dass das Vorgehen nach relativ kurzer Zeit schon anschauliche Ergebnisse lieferte, war dabei sehr motivierend. Anhand der zur Verfügung stehenden Regeln konnte die Konsistenz der Ergebnisse des intuitiven Vorgehens gut überprüft werden. Es wurden dabei Schwachstellen innerhalb der zuvor intuitiv ermittelten Kausalketten offensichtlich, die daraufhin gezielt überarbeitet werden konnten. Allerdings bereitete die hinter der Methode stehende Logik bei der Anwendung auf menschliches Verhalten zuweilen Probleme, was jedoch als generelles und nicht als methodenspezifisches Problem gesehen werden muss.

Auch die Bedeutung der Annahme der ähnlichsten möglichen Welt wurde erst im Verlauf der Untersuchung richtig ersichtlich und gab bis dahin Anlass zum Nachdenken. Im Bereich der graphischen Darstellung bleibt trotz der Darstellungsvorschläge von Ladkin Spielraum für die Anpassung an eigene Bedürfnisse. In Bezug auf die Darstellungsform fiel zudem positiv auf, dass der WB-Graph auch für unbeteiligte Personen, die nicht mit der Materie vertraut waren, sofort gut lesbar und die Inhalte und Zusammenhänge für sie gut erfassbar waren. Als problematisch und zeitraubend stellte sich die Nummerierung der einzelnen Knoten heraus, was jedoch nur indirekt mit der Methode an sich zu tun hatte. Dies hing eher mit dem zur Dokumentation verwendeten Tool „Microsoft Visio“ zusammen, das eine automatisierte und jederzeit aktualisierbare Nummerierung innerhalb von Graph und Text nicht unterstützt. Die Nutzung eines der Tools der Arbeitsgruppe RVS kam allerdings nicht in Frage, da sie auf Basis des Betriebssystems „Linux“ arbeiten. Vorteilhaft an diesen Tools ist jedoch, dass sie im Internet kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Durch die kostenlose Verfügbarkeit der Tools und die Möglichkeit, die Untersuchung auch mit Papier und Stift durchzuführen, entstand für die Analyse unter Verwendung der WBG-Methode kein großer finanzieller Aufwand. Die von der Analysemethoden gelieferten Ergebnisse waren sehr gut überschaubar und die Problembereiche, die zum Unfall geführt haben und an denen Verbesserungen vorgenommen werden müssen, konnten eindeutig identifiziert werden. Allerdings drängte sich während der Einarbeitung in die Methode und auch noch während der Durchführung der Analyse immer wieder der Eindruck auf, dass Unfalluntersuchungen eigentlich schon immer so gemacht worden sein müssten. Trotz der aufgetretenen Probleme ist die WBG-Methode als Möglichkeit zur Untersuchung von Unfällen insgesamt positiv zu bewerten. Die Methode ist einfach anzuwenden und führt relativ schnell zu anschaulichen Ergebnissen. Dabei ermöglicht das Vorgehen, die Ursachen des Unfalls in systematischer Form zu ermitteln und daraufhin gezielt Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Ladkin gibt dem Untersuchenden mit der Why-Because-Graph Methode also ein gut nutzbares Werkzeug zur strukturierten und einheitlichen Unfallanalyse an die Hand.

6 Fazit und Ausblick

Bei der Erarbeitung der Ursachen für das Flugzeugunglück am Bodensee zeigte sich, dass die Fehleranalysemethode WBA bzw. genauer gesagt der nicht formale Teil der WBA in Form der WB-Graph Methode ein gut geeignetes Werkzeug zur Unfalluntersuchung ist. Unter Anwendung der Analysemethode auf den Beispielunfall konnten die wesentlichen Ursachen, die zum Eintreten des Flugzeugabsturzes bei Überlingen geführt haben, ermittelt werden. Die aus der Betrachtung der Unfallursachen ersichtlichen Problembereiche konnten klar aufgezeigt und als Ansatzpunkte für die Erarbeitung von Gegenmaßnahmen genutzt werden. Die Anwendung der Methode stellte sich als einfach und das Regelwerk als überschaubar dar. Während der Untersuchung ließen sich die Stärken und Schwächen der Analysemethode erkennen. Sie waren zum Teil methodenspezifisch und zum Teil genereller Natur. Auf Grundlage der Erfahrungen aus der Anwendung der WBG-Methode wurde eine allgemeine Bewertung sowie eine persönliche Einschätzung der Methode vorgenommen. Diese konnten durch die Beurteilung der Methode durch Vertreter der deutschen Flugsicherung DFS ergänzt werden. Als Fazit der Ausarbeitung ist festzuhalten, dass Ladkin dem Untersuchenden mit der Why-Because-Graph Methode als Teil der WBA ein gut anwendbares Werkzeug zur strukturierten und einheitlichen Unfallanalyse an die Hand gibt.

Die mit Hilfe der Analysemethode ermittelten Ursachen für die Midair Collision am Bodensee zeigen, dass ein Zusammentreffen vieler unglücklicher Faktoren zu dem Unfall geführt haben. Der Lotse nimmt dabei eine tragische, jedoch nicht die tragende Rolle ein. Der Druck auf die Fluglotsen ist schon in Standardsituationen groß. Wolfgang Merz findet zur Verdeutlichung der Situation an den Arbeitsplätzen der Flugverkehrskontrollzentren in „Flugsicherung - was ist das?“ anschauliche Worte:

„Eigentlich ist das alles mit dem Schachspiel vergleichbar. Auch hier findet ein äußerst komplexer Denk- und Analysevorgang in einer simplen Figurenbewegung seinen Ausdruck.

Der gravierende Unterschied ist allerdings, dass der Schachspieler im Vergleich zum Lotsen unendlich viel Zeit hat, seine Probleme zu lösen.

Und – der Lotse darf niemals verlieren ...!“

Am Abend des Unfalls hat der Lotse verloren. Wie sich im Verlauf der Analyse herausstellte, war er jedoch nicht allein dafür verantwortlich. Die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen waren so ungünstig, dass dem Lotsen das Gewinnen an diesem

Abend so gut wie unmöglich gemacht wurde. So hatte der Lotse aufgrund der dünnen Personalbesetzung der Nachtschicht zur Unglückszeit zwei Arbeitsplätze zu überwachen. Darüber hinaus wurden sowohl das Radarsystem als auch das Telefonsystem gewartet. Infolgedessen stand das bodenseitige Kollisionswarnsystem nicht zur Verfügung und der Telefonkontakt mit dem ACC Zürich musste über eine einzige Leitung abgewickelt werden, die zudem technische Mängel hatte. Und das sind nur einige der ursächlichen Faktoren für das Eintreten der Kollision. Jede Ursache für sich genommen wäre im Einzelfall leicht kompensierbar gewesen. Ihr gleichzeitiges Auftreten hatte jedoch verhängnisvolle Auswirkungen. Über die mit Hilfe der Analysemethode identifizierten Grundursachen konnten anschließend Ansatzpunkte zur Entwicklung von Gegenmaßnahmen aufgezeigt werden. Einige der Gegenmaßnahmen lassen sich problemlos umsetzen, was zum Teil auch schon geschehen ist. Andere sind nur langfristig realisierbar, da dies eine Zusammenarbeit auf europäischer Ebene bzw. weltweit erfordert. Allen gemein ist, dass sie zur Verhinderung des Auftretens eines ähnlichen Unglücks in der Zukunft beitragen können. Die Erarbeitung von Gegenmaßnahmen für diesen einzelnen Fall gibt allerdings noch keinen Anlass zur Hoffnung darauf, dass es von nun an keine Unfälle mehr geben wird bzw. dass Unfalluntersuchungen generell nicht mehr gebraucht werden. Angesichts des auf Lotsen, Flugsicherungseinrichtungen und Piloten lastenden Drucks durch sich ändernde und immer kompliziertere Technik, wirtschaftliche Zwänge und steigende Arbeitsbelastung wird es auch zukünftig immer wieder zu Unfällen bzw. Vorfällen kommen. Unfalluntersuchungen werden daher wohl leider auch in Zukunft in diesem aber auch anderen Bereichen nicht überflüssig werden und mit ihnen auch nicht die entsprechenden Analysemethoden – wie z.B. die Why-Because Analyse.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [ASN03] Aviation Safety Network, *Transcript of Original Tape Recording*. Homepage des Aviation Safety Network, Homepage > CVR / FDR > Transcripts > ATC transcript DHL B757 / Bashkirian TU-154 collision, abrufbar unter:
<http://aviation-safety.net/cvr/atc20020701.pdf>
(Stand:29.08.03)
- [Bac98] Peter Bachmann, *Cockpit-Instrumente*; Privatpiloten Bibliothek, Band 9, 1. Auflage, Stuttgart, Motorbuch Verlag, 1998, ISBN3-613-01858-6
- [BAZ02] BAZL, *BAZL ordnet vorsorgliche Massnahmen bei Skyguide an*. Bundesamt für Zivilluftfahrt, Medienmitteilung, Schweiz, 09. Juli 2002, abrufbar unter:
http://www.aviation.admin.ch/d/aktuell/medien/020709_d.htm
(Stand: 30.07.03)
- [BES03] Jens Braband, Bernhard Evers, Ernesto de Stefano, *Towards a Hybrid Approach of Incident Root Cause Analysis*. Vortrag im Rahmen des „2nd Bieleeschweig Workshop on Root Cause Analysis“, Braunschweig, 01. und 02. Juli 2003
- [BFU02a] BFU, *Aktenzeichen AX001-1-2/02 (Vorläufiger Untersuchungsbericht zum Unfall nahe Überlingen/Bodensee)*. In: Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung, Bulletin Juli 2002 – Unfälle und schwere Störungen beim Betrieb ziviler Luftfahrzeuge (ausgenommen Luftsportgeräte), Teil 2: Berichte, Braunschweig, 2002, S. 10 ff
auszugsweise als Anhang B der Ausarbeitung angefügt bzw. im Internet abrufbar unter:
<http://www.bfu-web.de/Bulletin/Bulletin0207.pdf>
(Stand: 30.07.03)

- [BFU02b] BFU, *Erkenntnisse der Fachgruppe Air Traffic Services (ATS) zur Untersuchung des Flugunfalls vom 1. Juli 2002 mit den Flugzeugen Boeing 757 und Tupolev 154: Stand 4. Juli 2002 um 14:00 Uhr*. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung, Presseinformation vom 05.07.2002, abrufbar unter: <http://www.bfu-web.de/olderinfo/aktuinfo-d28.htm>
(Stand: 30.07.03)
- [BFU02c] BFU, *Weitere Informationen von der DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Niederlassung Karlsruhe*. Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung, Presseinformation vom 08.07.2002, abrufbar unter: <http://www.bfu-web.de/olderinfo/aktuinfo-d28.htm>
(Stand: 30.07.03)
- [DFS99] DFS, *Die Flugsicherungssysteme in Langen: Handlungsspielräume durch neue technische Konzepte*. Hrsg. von der Deutschen Flugsicherung GmbH, Publikationsnummer 75-2290-034-11.99, Offenbach am Main, 1999
- [DFS03] Präsentation der Analysemethode mit anschließender Diskussion am 17.07.2003 vor Vertretern der Abteilung VY (Unternehmenssicherheitsmanagement) der DFS in Langen, anwesend u. a.: Dr. Ralf Wiegandt und Heino Küster
- [DFW03] Christian Dezer, Michael Funken und Bernd Weisener, *Tod über den Wolken: Wenn Fliegen zum Albtraum wird*. Dokumentation über den Flugzeugabsturz bei Überlingen, © ZDF 2003, ausgestrahlt im ZDF am 02.07.2003 um 23:15
- [EURO] EUROCONTROL, *Tool Kit for ATM Occurrence Investigation TOKAI*. Manual und Download von TOKAI v3.05 KIT unter: <http://www.eurocontrol.int/src/html/tokai.html>
(Stand: 05.09.2003)

- [FSBetrV] N.N., *Verordnung über die Betriebsdienste der Flugsicherung (FSBetrV)*. Hrsg.: Der Bundesminister für Verkehr, Verordnung vom 17. Dezember 1992 (BGBl. I, S. 2068), geändert durch Artikel 457 der siebenten Zuständigkeitsanpassungs-Verordnung vom 29. Oktober 2001 (BGBl. I, S. 2785), im Internet abrufbar unter:
<http://www.luftrecht-online.de/regelwerke/pdf/fsbetrv.pdf>
(Stand: 30.07.03)
- [GL02] Jan-Tucker Gayen, Oliver Lemke, *Analyse komplexer Eisenbahnunfälle mit der WBA: Am Beispiel des Unfalles von D 203 in Brühl*. Vortrag im Rahmen des „First Bieleeschweig Workshop on Systems Engineering: Root-Causal Analysis“, Bielefeld, 17. und 18. Dezember 2002
- [GLL97] Thorsten Gerdsmeyer, Peter Ladkin und Karsten Loer, *Analysing the Cali Accident With a WB-Graph (Research Report RVS-RR-97-01)*. Im Internet veröffentlicht von der Arbeitsgruppe RVS an der Technischen Fakultät der Universität Bielefeld, 1997, abrufbar unter:
<http://www.rvs.uni-bielefeld.de/publications/Reports/caliWB.html>
(Stand: 30.07.03)
- [HL97] Michael Höhl und Peter Ladkin, *Analysing the 1993 Warsaw Accident With a WB-Graph (Article RVS-Occ-97-09)*. Im Internet veröffentlicht von der Arbeitsgruppe RVS an der Technischen Fakultät der Universität Bielefeld, 1997, abrufbar unter:
<http://www.rvs.uni-bielefeld.de/publications/Reports/WarsawWB.html>
(Stand: 30.07.03)
- [HLS03] Peter Husemann, Peter B. Ladkin, Jan Sanders et al., *Analysis of the „Royal Majesty“ incident (WBA)*. Vortrag im Rahmen des „2nd Bieleeschweig Workshop on Root Cause Analysis“, Braunschweig, 01. und 02. Juli 2003

- [Lad] Peter B. Ladkin, *A Quick Introduction to Why-Because Analysis*. Im Internet veröffentlicht von der Arbeitsgruppe RVS an der Technischen Fakultät der Universität Bielefeld, The Causal Systems Analysis and WB-Analysis Home Page, abrufbar unter:
<http://www.rvs.uni-bielefeld.de/research/WBA/>
(Stand: 30.07.03)
- [Lad01] Peter B. Ladkin und Karsten Loer (Mitarb.), *Causal System Analysis: Formal Reasoning About Safety and Failure*. Document RVS-Bk-01-01, DRAFT Version 2.0, Faculty of Technology, University of Bielefeld, 2001
- [Lad03a] N.N., *Peter Ladkin's Home Page*. Im Internet veröffentlicht von der Arbeitsgruppe RVS an der Technischen Fakultät der Universität Bielefeld, abrufbar unter:
<http://www.rvs.uni-bielefeld.de/~ladkin/>
(Stand: 30.07.03)
- [Lad03b] N.N., *Peter Ladkin's Potted Biography*. Im Internet veröffentlicht von der Arbeitsgruppe RVS an der Technischen Fakultät der Universität Bielefeld, abrufbar unter:
<http://www.rvs.uni-bielefeld.de/~ladkin/bio.html>
(Stand: 30.07.03)
- [Lin03] Helmut Lindner , Wolfgang Siebke et al. (Bearb.), *Physik für Ingenieure*. 16. Auflage, München Wien, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2001/2003, ISBN 3-446-21703-7
- [LL] Peter Ladkin und Karsten Loer, *Analysing Aviation Accidents using WB-Analysis: An Application for Multimodal Reasoning*; Im Internet veröffentlicht von der Arbeitsgruppe RVS an der Technischen Fakultät der Universität Bielefeld, abrufbar unter
<http://www.rvs.uni-bielefeld.de/research/WBA>
(Stand: 05.05.03)
- [Men93] Heinrich Mensen, *Moderne Flugsicherung: Organisation, Verfahren, Technik*. 2. Auflage, Berlin Heidelberg NewYork, Springer-Verlag, 1993, ISBN 3-540-56151-X

- [Mer] Wolfgang Merz, *Flugsicherung - was ist das?: Ein leicht verständlicher Einblick in die Welt der Flugsicherung: Für alle die damit zu tun haben oder sich sonst dafür interessieren*. In: Flugsicherungsakademie der DFS Deutsche Flugsicherung (Hrsg.), Einführungsseminar „Aufgaben, Organisation und grundlegende Verfahren der Flugsicherung“. Kapitel 10, Langen
- [Sie02] Bernd Sieker, *Why-Because Analysis Tools and the Concorde Accident*. Vortrag im Rahmen des „First BieleSchweig Workshop on Systems Engineering: Root-Causal Analysis“, Bielefeld, 17. und 18. Dezember 2002, abrufbar unter:
<http://www.rvs.uni-bielefeld.de/Bieleschweig/WBA-and-Concorde.pdf>
(Stand: 30.07.2003)
- [Sky02a] skyguide, *Unfall Überlingen Detailkarte*. Im Internet veröffentlicht von skyguide, abrufbar unter:
http://www.skyguide.ch/img/photos_presse/skyguide-map-detail.jpg
(Stand: 30.07.2003)
- [Sky02b] skyguide, *An Skyguide delegierter Luftraum in Süddeutschland*. Im Internet veröffentlicht von skyguide, abrufbar unter:
http://www.skyguide.ch/img/photos_presse/An-skyguide-delegierter-Luftraum-in-Suddeutschland-V020614.jpg
(Stand: 30.07.2003)
- [Ste02] Ernesto de Stefano, *Anwendung der Why-Because-Analyse als Methode zur Ursachenanalyse von Eisenbahnunfällen*. Entwurf im Vertiefungsfach Spurgeführter Verkehr am Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, Fachbereich 6 Bauingenieurwesen an der TU Braunschweig, 2002
- [WBA03] N.N., *Introduction to WBA, with Papers*. Im Internet veröffentlicht von der Arbeitsgruppe RVS an der Technischen Fakultät der Universität Bielefeld, The Causal Systems Analysis and WB-Analysis Home Page, abrufbar unter:
<http://www.rvs.uni-bielefeld.de/research/WBA>
(Stand: 30.07.03)

- [Wir03] I Made Wiryana, *Analyzing DNS Incidents*. In: *Why Because Analysis in a CD Draft – June 2003*, Begleitmaterial zum „2nd Bieleeschweig Workshop on Root Cause Analysis“, Braunschweig, 01. und 02. Juli 2003

Soweit in elektronischer Form verfügbar, sind die zitierten Quellen auch den der Ausarbeitung beiliegenden CD-ROMs zu entnehmen.

Anhang A: Glossar

Unfalluntersuchung

Ähnlichste mögliche Welt

Die ähnlichste mögliche Welt entspricht der tatsächlich beobachteten Welt. Die Annahme der ähnlichsten möglichen Welt beschränkt die Untersuchung auf die Faktoren, die die beobachtete Situation beschreiben und von denen der Untersuchende weiß, dass sie in der betrachteten Situation eingetreten sind. Denkbare jedoch nicht durch Fakten gestützte Alternativszenarien werden dadurch bei der Analyse nicht berücksichtigt.

Causal Completeness Test (CCT)

Der CCT dient der Überprüfung, ob es sich bei den ermittelten ursächlichen Faktoren A_1 bis A_n um eine hinreichende Erklärung für das Eintreten von B handelt. Als Voraussetzung hierfür muss für die einzelnen Knotenpaare die Regel für Counterfactuals Gültigkeit haben. Es ist dann zu überprüfen, ob bei einem Ausbleiben von B auch der Satz der ursächlichen Faktoren A_1 bis A_n in der ähnlichsten möglichen Welt nicht zusammen hätten auftreten können. Ist dies der Fall liefern A_1 bis A_n eine hinreichende Erklärung für das Eintreten von B .

EUROCONTROL Safety Regulatory Requirement (ESARR)

In den ESARRs sind die Anforderungen von EUROCONTROL an die europaweit vereinheitlichten Sicherheitsvorschriften im Bereich des Air Traffic Management formuliert. Die einzelnen ESARRs beziehen sich jeweils auf einzelne Teilbereiche des ATM. ESARR 2 bezieht sich z.B. auf die Anforderungen an die Durchführung und Dokumentation von Unfalluntersuchungen.

Lewis Kriterium für Kausalität

A und B sind Ereignisse, Zustände, Prozesse oder Nichtereignisse und sind tatsächlich eingetreten. Nach der Lewis Semantik für Counterfactuals ist A Ursache für B , wenn in der ähnlichsten möglichen Welt beim Ausbleiben von A auch B nicht hätte eintreten können.

Regel für Counterfactuals

Siehe „Lewis Kriterium für Kausalität“

Safety Regulation Commission (SCR)

Ist ein Teil der Organisation EUROCONTROL. Aufgabe ist die Erarbeitung von Richtlinien und Anforderungsprofilen zur Harmonisierung der Sicherheitsbestimmungen im europäischen Air Traffic Management im Rahmen der Harmonisation of European Incident Definition Initiative for ATM (HEIDI)

Sequentially Outlining and Follow-up Integrated Analysis (SOFIA)

Unfallanalysemethode innerhalb des „Tool Kit for ATM Occurrence Investigation“ (TOKAI)

Tool Kit for ATM Occurrence Investigation (TOKAI)

Von EUROCONTROL entwickeltes Tool zur Sammlung von Sicherheitsdaten und zur Erstellung von Berichten über sicherheitsrelevante Vorfälle. Enthält die Unfallanalysemethode SOFIA.

Verifizierungsmethode

Formaler Teil einer kompletten Why-Because Analyse.

Why-Because Analysis (WBA)

Von Peter B. Ladkin entwickelte Analysemethode für Fehlerursachen in offenen komplexen heterogenen Systemen.

Why-Because-Graph Methode (WBG-Methode)

Nicht formaler Teil einer kompletten Why-Because Analyse.

Flugsicherung

1013,25 hPa-Einstellung

Einstellung eines barometrischen Höhenmessers. Der Anfangswert für die Höhenzählung ist dabei auf einen Luftdruck von 1013,25 hPa in der Höhe NN eingestellt. Unter Annahme der Normalatmosphäre wird über den Normaldruckverlauf die theoretische Höhe des Flugzeugs über NN ermittelt.

Aerodrome Control Tower (TWR; Flugplatzkontrolle)

Auf kontrollierten Flugplätzen die Kontrolle und Lenkung des Flugverkehrs für den unmittelbaren Nahbereich im Umkreis von ca. 10 km um den Flugplatz durch einen oder mehrere Lotsen im Tower des jeweiligen Flugplatzes.

Airprox (Aircraft Proximity)

Gefährliche Annäherung aufgrund der Nichteinhaltung der Mindest-Sicherheitsabstände (Staffelung) zwischen Luftfahrzeugen.

Air Traffic Control (ATC; Flugverkehrsleitdienst)

Ist für die Sicherung des Flugverkehrs im kontrollierten Luftraum zuständig. Unterteilt in die Flugplatzkontrolle (TWR), An- und Abflugkontrolle (APP) und Bezirksleitdienst (ACC).

Air Traffic Management

Zentrale Aufgabe der Flugsicherung mit dem Ziel, den Flugverkehr im zu überwachenden Bereich sicher, flüssig und wirtschaftlich zu organisieren.

Approach Control Office (APP; An- und Abflugkontrollstelle)

Ist zuständig für die Überwachung, Lenkung und Staffelung des an-, ab- und überfliegenden IFR-Flugverkehrs im Nahbereich von ca. 60 km um den Flughafen herum.

Area Control Center (ACC; Bezirksleitstelle)

Sind für die großräumige Lenkung und Staffelung des IFR-Flugverkehrs auf nationalen und internationalen Flugverkehrsstrecken zuständig. Sie übernehmen Flüge von und übergeben Flüge an die An- und Abflugkontrollstellen. Für den oberen Luftraum sind die sogenannten Upper Area Control Center (UACC) zuständig.

Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU)

Ist zuständig für die Untersuchung von Unfällen und Störungen im Flugverkehr innerhalb des deutschen Hoheitsgebietes. Ziel ist es, Verbesserungsmaßnahmen zur Verhinderung der Wiederholung eines ähnlichen Vorfalls zu erarbeiten.

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH

Flugsicherungseinrichtung für Deutschland mit Sitz in Langen.

EUROCONTROL

Europäische Organisation zur Sicherung der Luftfahrt mit Hauptsitz in Brüssel. Aufgabe ist u. a. die Unterstützung und Harmonisierung der Aktivitäten im Bereich Air Traffic Management auf europäischer Ebene.

Flight Level (FL; Flugfläche)

Wird zur Angabe großer Höhen bei Flugzeugen im Reiseflug verwendet. Angabe in Fuß über Normal Null bezogen auf die Normatmosphäre. Eigentlich eine Fläche konstanten Luftdrucks. Beispielsweise entspricht Flugfläche 100 ungefähr einer tatsächlichen Höhe von 10.000 Fuß.

Flugverkehrsleiter

Auch Lotse bzw. Air Traffic Controller. Ist für die Überwachung, Lenkung und Staffelung aller in seinem Zuständigkeitsbereich fliegenden Luftfahrzeuge zuständig und verantwortlich.

Freigabe

Bewilligung bzw. Anweisung, die den Kurs oder die Flugstrecke vorschreibt oder eine Änderung der Flughöhe gestattet.

International Civil Aviation Organisation (ICAO; Internationale Zivilluftfahrtorganisation)

Internationale Zivilluftfahrtorganisation mit Sitz in Montreal. 185 Staaten sind Mitglieder der ICAO. Beschäftigt sich mit allen Fragen der Luftfahrt und ihrer weltweiten Vereinheitlichung.

Instrument Flight Rules (IFR; Instrumentenflugregeln)

Instrumentenflugregeln im Gegensatz zu Sichtflugregeln. Die Durchführung von IFR-Flügen ist auch bei schlechten Sichtbedingungen möglich. Die Luftfahrzeugführer orientieren sich anhand von Instrumenten und Navigationsgeräten. Für die Kontrolle und sichere Führung ist die Flugverkehrskontrolle verantwortlich. Flüge nach Instrumentenflugregeln erfolgen im kontrollierten Luftraum.

Midair Collision

Zusammenstoß zweier (oder mehrerer) Flugzeuge in der Luft.

Normalatmosphäre

Standardisierte Atmosphäre mit einem Luftdruck von 1013,25 hPa in NN bei einer Lufttemperatur von 15°C und einer Luftdichte von 1,225 kg/m³.

Normaldruckverlauf

Der in Normal Null herrschende Luftdruck halbiert sich mit zunehmender Höhe alle 5,5 km.

Normal Null (NN)

Die Höhe „0“ wird auf Niveau des mittleren Meeresspiegels angenommen und dient als Bezugspunkt für Höhenmessungen.

QNH-Einstellung

Einstellung eines barometrischen Höhenmessers. Der Anfangswert für die Höhenzählung bezieht sich in dieser Einstellung auf den Luftdruck in der Höhe NN, der über den Normaldruckverlauf aus dem in Flugplatzhöhe tatsächlich gemessenen Luftdruck ermittelt wird. Daraus lässt sich wiederum über den Normaldruckverlauf die Höhe des Flugzeugs über NN bzw. über Grund errechnen.

skyguide

Schweizerische Aktiengesellschaft für zivile und militärische Flugsicherung mit Sitz in Genf.

Staffelung

Mindestabstand zwischen Luftfahrzeugen. Unterteilt in vertikale Staffelung (gibt den senkrechten Mindestabstand zwischen zwei Luftfahrzeugen an) und horizontale Staffelung (waagerechten Mindestabstand). Für die Einhaltung der Staffelungswerte sind die Flugverkehrsleiter verantwortlich.

Short Term Conflict Alert (STCA)

Kurzfristiges bodenseitiges Konfliktwarnsystem. Zeigt durch akustische und/oder optische Signale auf dem Radarschirm an, wenn Staffelungsvorgabe zwischen zwei Flugzeugen unterschritten wird.

Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS)

Bordseitiges Konfliktwarnsystem. Warnt die Flugzeugführer bei gefährlichen Flugzeugannäherungen.

Universal Time Coordinated (UTC; koordinierte Weltzeit)

Die Angabe von Zeiten werden zum Zwecke der Vereinheitlichung von Zeitangaben in allen Flugsicherungsstellen weltweit in Form der koordinierten Weltzeit gemacht. Die koordinierte Weltzeit entspricht in Deutschland und der Schweiz im Winter der Ortszeit minus eine Stunde (Ortszeit - 1 h) bzw. im Sommer der Ortszeit minus zwei Stunden (Ortszeit - 2 h).

Visual Flight Rules (VFR; Sichtflugregeln)

Sichtflugregeln im Gegensatz zu Instrumentenflugregeln. Die Luftfahrzeugführer orientieren sich an äußeren Bezugspunkten (Seen, Bahnlinien, Autobahnen usw.) und agieren nach dem Prinzip „Sehen und gesehen werden“. Sie sind für die Vermeidung von Zusammenstößen selbst verantwortlich. Flüge nach Sichtflugregeln dürfen im unkontrollierten und in Teilen des kontrollierten Luftraumes erfolgen.

Very High Frequency Omnidirectional Radio Range (VOR; UKW-Drehfunkfeuer)

Ultrakurzwellen-Funknavigationsanlage, die in erster Linie zur Kennzeichnung von Luftstrassen und im Nahverkehrsbereich der Flughäfen eingesetzt wird.

Anhang B: Unfallbericht BFU

Bundesstelle für
Flugunfalluntersuchung



Bulletin

Juli 2002

Unfälle und schwere Störungen beim Betrieb ziviler Luftfahrzeuge

(ausgenommen Luftsportgeräte)

Herausgeber:

Bundesstelle für
Flugunfalluntersuchung

Hermann-Blenk-Str. 16
38108 Braunschweig

mail: box@bfu-web.de
<http://www.bfu-web.de>

Tel: 0 531 35 48 0
Fax: 0 531 35 48 246

Vertrieb:

Bundesstelle für
Flugunfalluntersuchung

Hermann-Blenk-Str.16
38108 Braunschweig

Vorwort

Allgemeine Hinweise

Das Bulletin der Flugunfälle und schweren Störungen hat zum Ziel, den interessierten Personenkreis über Ereignisse zu informieren, die der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) gemäß § 5 LuftVO im Berichtszeitraum gemeldet worden sind. Es handelt sich um Unfälle deutscher Luftfahrzeuge im In- und Ausland sowie um Unfälle ausländischer Luftfahrzeuge in Deutschland. Sie basieren auf Angaben, die der BFU im Rahmen der ersten Meldung übermittelt wurden.

Die Angaben können daher unvollständig und/oder fehlerhaft sein. Ergänzungen und Änderungen sind im Rahmen dieser Information nicht vorgesehen. Analysen und Ursachen der Unfälle werden im Rahmen des Untersuchungsberichtes nach Abschluss der Untersuchung veröffentlicht.

Untersuchungen werden in Übereinstimmung mit dem Gesetz über die Untersuchung von Unfällen und Störungen beim Betrieb ziviler Luftfahrzeuge (Flugunfall-Untersuchungs-Gesetz – FIUUG) vom 26. August 1998 durchgeführt. Danach ist das alleinige Ziel der Untersuchung die Verhütung künftiger Unfälle und Störungen. Die Untersuchung dient nicht der Feststellung des Verschuldens, der Haftung oder von Ansprüchen.

Aufbau des Dokumentes

Das Bulletin ist in drei Abschnitte unterteilt.

Teil 1 enthält die Übersicht aller der BFU im Berichtszeitraum angezeigten Unfälle und schweren Störungen. In Ausnahmefällen, in denen aus einer Untersuchung bedeutende Erkenntnisse für die Sicherheit in der Luftfahrt erwartet werden, können auch andere Störungen (§ 3 (4)b FIUUG) aufgeführt sein. Die Liste ist nach der Luftfahrzeugart und bei Flugzeugen zusätzlich nach der Gewichtsklasse gegliedert.

Im Teil 2 finden sich Berichte zu Flugunfällen und schweren Störungen, die den Erkenntnisstand der Untersuchung zur Zeit der Herausgabe des Bulletin wiedergeben.

Im Teil 3 sind die letzten zehn veröffentlichten Untersuchungsberichte aufgelistet. Die Untersuchungsberichte sind über die BFU zu beziehen oder unter der folgenden Adresse im Internet abzurufen:

www.bfu-web.de/berichte

Begriffsbestimmungen

Unfall

Ein Ereignis beim Betrieb eines Luftfahrzeugs vom Beginn des Anbordgehens von Personen mit Flugabsicht bis zu dem Zeitpunkt, zu dem diese Personen das Flugzeug wieder verlassen haben, wenn hierbei:

1. eine Person tödlich oder schwer verletzt worden ist
 - an Bord eines Luftfahrzeugs oder
 - durch unmittelbare Berührung mit dem Luftfahrzeug oder einem seiner Teile, auch wenn sich dieser Teil vom Luftfahrzeug gelöst hat, oder
 - durch unmittelbare Einwirkung des Turbinen- oder Propellerstrahls eines Flugzeugs,
 - es sei denn, dass der Geschädigte sich diese Verletzungen selbst zugefügt hat oder diese ihm von einer anderen Person zugefügt worden sind oder eine andere von dem Unfall unabhängige Ursache haben, oder dass es sich um Verletzungen von unbefugt mitfliegenden Personen handelt, die sich außerhalb der den Fluggästen und Besatzungsmitgliedern normalerweise zugänglichen Räume verborgen hatten, oder
2. das Luftfahrzeug oder die Luftfahrzeugzelle einen Schaden erlitten hat und
 - dadurch der Festigkeitsverband der Luftfahrzeugzelle, die Flugleistungen oder die Flugeigenschaften beeinträchtigt sind und
 - die Behebung dieses Schadens in aller Regel eine große Reparatur oder einen Austausch des beschädigten Luftfahrzeugbauteils erfordern würde;
 - es sei denn, dass nach einem Triebwerkschaden oder Triebwerkausfall die Beschädigung des Luftfahrzeugs begrenzt ist auf das betroffene Triebwerk, seine Verkleidung oder sein Zubehör, oder dass der Schaden an einem Luftfahrzeug begrenzt ist auf Schäden an Propellern, Flügelspitzen, Funkantennen, Bereifung, Bremsen, Beplankung oder auf kleinere Einbeulungen oder Löcher in der Außenhaut, oder
3. das Flugzeug vermisst wird oder nicht zugänglich ist.

Schwere Störung

Ein Ereignis beim Betrieb eines Luftfahrzeugs, dessen Umstände darauf hindeuten, dass sich beinahe ein Unfall ereignet hätte.

Tödliche Verletzung

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

Schwere Verletzung

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

1. einen Krankenhausaufenthalt von mehr als 48 Stunden innerhalb von 7 Tagen nach der Verletzung erfordert oder

2. Knochenbrüche zur Folge hat (mit Ausnahme einfacher Brüche von Fingern, Zehen oder der Nase) oder
3. Risswunden mit schweren Blutungen oder Verletzungen von Nerven, Muskeln- oder Sehnensträngen zur Folge hat oder
4. Schäden an inneren Organen verursacht hat oder
5. Verbrennungen zweiten oder dritten Grades oder von mehr als fünf Prozent der Körperoberfläche zur Folge hat oder
6. Folge einer nachgewiesenen Aussetzung gegenüber infektiösen Stoffen oder schädlicher Strahlung ist.

Teil 2

Berichte

Sachverhalt

Art des Ereignisses:	Unfall
Datum:	01. Juli 2002
Ort:	nahe Überlingen/Bodensee
Luftfahrzeuge:	Verkehrsflugzeuge
Hersteller / Muster:	Tupolew / TU154 M Boeing / B757-200
Personenschaden:	71 Tote
Sachschaden:	beide Flugzeuge zerstört
Drittschaden:	Flur- und Forstschaden
Aktenzeichen:	AX001-1-2/02

Flugverlauf

Am 1. Juli 2002 um 21:35:32 Uhr¹ kam es in der Nähe der Stadt Überlingen am Bodensee zu einem Zusammenstoß einer Tupolew TU154 M, die sich auf dem Flug von Moskau/Russland nach Barcelona/Spainien befand, mit einer Boeing B757, die von Bergamo/Italien nach Brüssel/Belgien flog.

Danach stürzten beide Flugzeuge in ein Gebiet nördlich der Stadt Überlingen. Die Wrackteile verteilten sich auf sieben Fundstellen mit großen sowie auf viele Stellen mit kleineren Wrackteilen.

Tupolew TU154 M

Das Flugzeug startete um 18:48 Uhr auf dem Flughafen Moskau/Domododovo zu einem Charterflug nach Barcelona. An Bord befanden sich 12 Besatzungsmitglieder und 57 Passagiere, darunter 45 Kinder und Jugendliche sowie 12 Erwachsene.

Um 21:15 Uhr flog das Flugzeug in den deutschen Luftraum ein und wurde von München Radar geführt. Die vorher bereits erteilte Freigabe beinhaltete einen direkten Anflug des Drehfunkfeuers (VOR) Trasadingen in einer Reiseflughöhe von FL 360 (36 000

Fuß). Mit der Übergabe an die Schweizer Flugsicherung (ACC Zürich) um 21:30 Uhr erfolgte die Führung des Flugzeuges auf der Frequenz 128.050 MHz mit dem Transpondercode A 7520.

Um 21:34:42 Uhr warnte das bordseitige Zusammenstoßwarngerät TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) die Besatzung vor möglichem Konfliktverkehr.

Sieben Sekunden später wies ACC Zürich die Besatzung der Tupolew an, schnell („expedite“) auf FL 350 zu sinken und wies dabei auf Konfliktverkehr hin. Diese Anweisung wurde von der Besatzung zwar nicht bestätigt, aber sie leitete einen Sinkflug ein. Zur selben Zeit gab das TCAS des Flugzeuges das Kommando zu steigen. Nach weiteren sieben Sekunden wiederholte der Radarlotse seine Anweisung an die Besatzung, schnell auf eine Höhe von FL 350 zu sinken. Sie wurde von der Besatzung sofort bestätigt. Daraufhin informierte der Radarlotse, dass sich anderer Flugverkehr in der „2-Uhr-Position“ in FL 360 befände.

Boeing B757-200

Das Flugzeug startete um 13:30 Uhr auf dem Flughafen Bahrain zu einem Frachtflug nach Brüssel mit einer Zwischenlandung in Bergamo/Italien. An Bord befanden sich zwei Piloten. Die Landung erfolgte in Bergamo nach einer Flugzeit von 5:40 Stunden um 19:10 Uhr; der Wiederstart zum Weiterflug nach Brüssel um 21:06 Uhr.

Mit der Übergabe an ACC Zürich um 21:20 Uhr erfolgte die Führung des Flugzeuges auf der Frequenz 128.050 MHz mit dem Transpondercode A 7524. Es erfolgte eine Freigabe zum direkten Anflug des Drehfunkfeuers Tango (VOR) sowie zum Steigen von FL 260 auf FL 320. Die Besatzung erbat auf FL 360 steigen zu dürfen, was ihr knapp 4 Minuten später (um 21:26:36) genehmigt wurde. Um 21:29:50 Uhr erreichte das Flugzeug diese Flughöhe.

Um 21:34:42 Uhr warnte das bordseitige TCAS die Besatzung vor möglichem Konfliktverkehr. 14 Sekunden später (21:34:56 Uhr) erhielt die Besatzung vom TCAS das Kommando zu sinken. Sie folgte diesem Kommando sofort und erhielt weitere 14 Sekunden später das Kommando stärker zu sinken („increase descent“). Um 21:35:19 Uhr meldete die Besatzung

¹ Alle angegebenen Zeiten in UTC

der Flugsicherung das Ausweichkommando („TCAS descent“).

Untersuchung

Die Untersuchung wurde durch die Bundesstelle sofort nach dem Eingang der Unfallmeldung eingeleitet.

Am 02.07.02 trafen sich sechs Mitarbeiter der BFU an der Unfallstelle ein; zwei weitere Mitarbeiter flogen nach Zürich, um mithilfe des „Büro für Flugunfalluntersuchungen“ der Schweiz die notwendigen Ermittlungen bei der Flugsicherung in Zürich aufzunehmen.

Am Abend desselben Tages wurden die Flugschreiber beider Flugzeuge geborgen und zur Auswertung nach Braunschweig gebracht.

Am fünften Tag nach dem Unfall sind die Wracks beider Flugzeuge von den verschiedenen Unfallstellen abtransportiert und in einen Hangar auf dem Flughafen Friedrichshafen verbracht worden.

Nach ICAO Annex 13 und deutschem Recht ist die BFU für die Untersuchung zuständig und verantwortlich. Sie wird nach internationalen Regeln durchgeführt. Die Staaten Bahrain, Russland, Schweiz und USA sind durch bevollmächtigte Vertreter und jeweils einen Beraterstab an der Untersuchung beteiligt und leisten fachkundige Mitwirkung bei der Ermittlung der Unfallursache(n).

Die Untersuchung erbrachte bisher folgende Ergebnisse:

Flugzeug/Besatzungen:

- Die Luftfahrzeuge stießen rechtwinklig zusammen. Während die Boeing B757 einen nördlichen Kurs flog (004°), flog die Tupolew TU154 M einen westlichen Kurs (274°). Der Zusammenstoß erfolgte in einer Höhe von ca. FL 350 (siehe Anlage 1).
- In beiden Flugzeugen waren die gleichen bordseitigen Zusammenstoßwarngeräte (TCAS Honeywell 2000, Version 7) eingebaut. Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand wurde keine Fehlfunktion festgestellt.
- In beiden Luftfahrtunternehmen gab es Ausbildungsprogramme für TCAS und die Besatzungen hatten ein entsprechendes Training absolviert.
- Der Flugverlauf und die Auswertung der Flugschreiber ergaben keinen Hinweis auf technische Mängel an beiden Flugzeugen.

Flugsicherung:

- Bei ACC Zürich wurden am späten Abend des Unfalltages Wartungsarbeiten am System durchgeführt; das System wurde während dieser Zeit im „Fallback-Modus“ betrieben.
- Die horizontalen Staffelungsminima waren von 5 auf 7 NM erhöht worden. Flugzeuge in derselben Höhe müssen demnach einen horizontalen Abstand von mindestens 7 NM zueinander haben, was einer ungefähren Flugzeit von einer Minute entspricht. Das bodenseitige Kollisionswarnsystem STCA (Short Term Conflict Alert) stand während dieser Zeit nicht zu Verfügung.
- Die direkten Telefonverbindungen zu den benachbarten Flugsicherungsdiensten standen ebenfalls nicht zur Verfügung.
- Zum Zeitpunkt der Kollision befand sich ein Lotse am Sektorarbeitsplatz. Er hatte zwei Arbeitsplätze mit Radarschirmen zu überwachen. Ein zweiter, zur Nachtschicht gehörender Lotse befand sich außerhalb des Raumes, um eine Pause einzulegen.
- Zusätzlich befand sich eine Assistentin am Sektorarbeitsplatz. Sie hatte keine Verkehrsführungsfunktion, sondern war für die Entgegennahme, Verarbeitung und Weiterleitung von Meldungen und Flugplänen zuständig.
- Diese Besetzung entsprach der normalen Nachtschichtbesetzung beim ACC Zürich.
- Ungefähr zwei Minuten vor dem Zusammenstoß löste das STCA vom UACC (Upper Area Control Center) in Karlsruhe einen Alarm aus, der auf eine mögliche Kollision hinwies. Der dortige Radarlotse versuchte das ACC Zürich mehrfach über die direkte Telefonleitung zu erreichen. Die Verbindung kam nicht zustande.

Rekonstruktion des Zusammenstoßes:

Die geborgenen Luftfahrzeugteile wurden in einem Hangar des Flughafens Friedrichshafen ausgelegt und auf Kollisionsspuren untersucht. Dabei wurden an der TU154 M Spuren an der linken Rumpfmittel- im Bereich der beiden Notausstiege oberhalb des Tragflügels (Overwing-Emergency-Exits) in Form von Kratzspuren, Lackabtragungen und roten Farbantragungen festgestellt.

An der Unterseite des rechten Tragflügels der TU154 M befanden sich auf einer Länge von ca. 3,60 m und einer Breite von ca. 0,90 m Kratzspuren, die in Richtung der Hauptfahrwerksverkleidung (Landing-Gear-Fairing) verliefen. Die Kratzspuren zeigten in eine

Richtung von ca. 45° bezogen auf die Längsachse der TU154 M. Die Verkleidung des rechten Hauptfahrwerks war auf einer Länge von ca. 2,80 m abgetrennt worden. An diesem Teil befanden sich neben roten Farbantragungen Reste der Wabenkonstruktion des Seitenruders der B757.

Die erste Berührung beider Luftfahrzeuge erfolgte mit dem Seitenleitwerk der B757 und der linken Rumpfseite der TU154 M im Bereich der beiden oben erwähnten Notausstiege (siehe Anlage 3).

Wrackverteilung:

Die TU154 M war im Fluge in vier Hauptteile zerbrochen (Rumpf, rechter bzw. linker Tragflügel sowie Leitwerk einschließlich Triebwerke). Diese Teile waren südwestlich der Ortschaft Owingen auf den Boden geprallt (siehe Anlage 2).

Der Luftfahrzeugrumpf lag in dem Bereich der Ortschaft Brachenreuthe in einem ebenen Gelände. 300 m nördlich davon waren das Leitwerk und die Triebwerke aufgeprallt. Der linke Tragflügel lag ca. 2 km nordöstlich des Rumpfes in dem Garten eines Wohngebäudes. Der rechte Tragflügel des Flugzeuges wurde ca. 800 m südlich des Rumpfes gefunden. Alle Teile, mit Ausnahme des Rumpfes, wiesen Brandspuren auf.

Die B757 war etwa 8 km nördlich der TU154 M im Bereich Traisersdorf auf den Boden geprallt. Kurz vor dem Aufprall hatten sich beide Triebwerke vom Luftfahrzeug gelöst. Sie wurden ca. 500 m vom Hauptwrack entfernt aufgefunden (siehe Anlage 2). Durch den Aufprall entstand ein Brand.

Sonstige Erkenntnisse:

Die Aufzeichnungen der bordseitigen Flugschreiber lassen erkennen, dass Besatzungsmitglieder beider Flugzeuge wenige Sekunden vor dem Zusammenstoß das andere Flugzeug erkannt und noch versucht haben, die Kollision durch entsprechende Flugmanöver zu vermeiden.

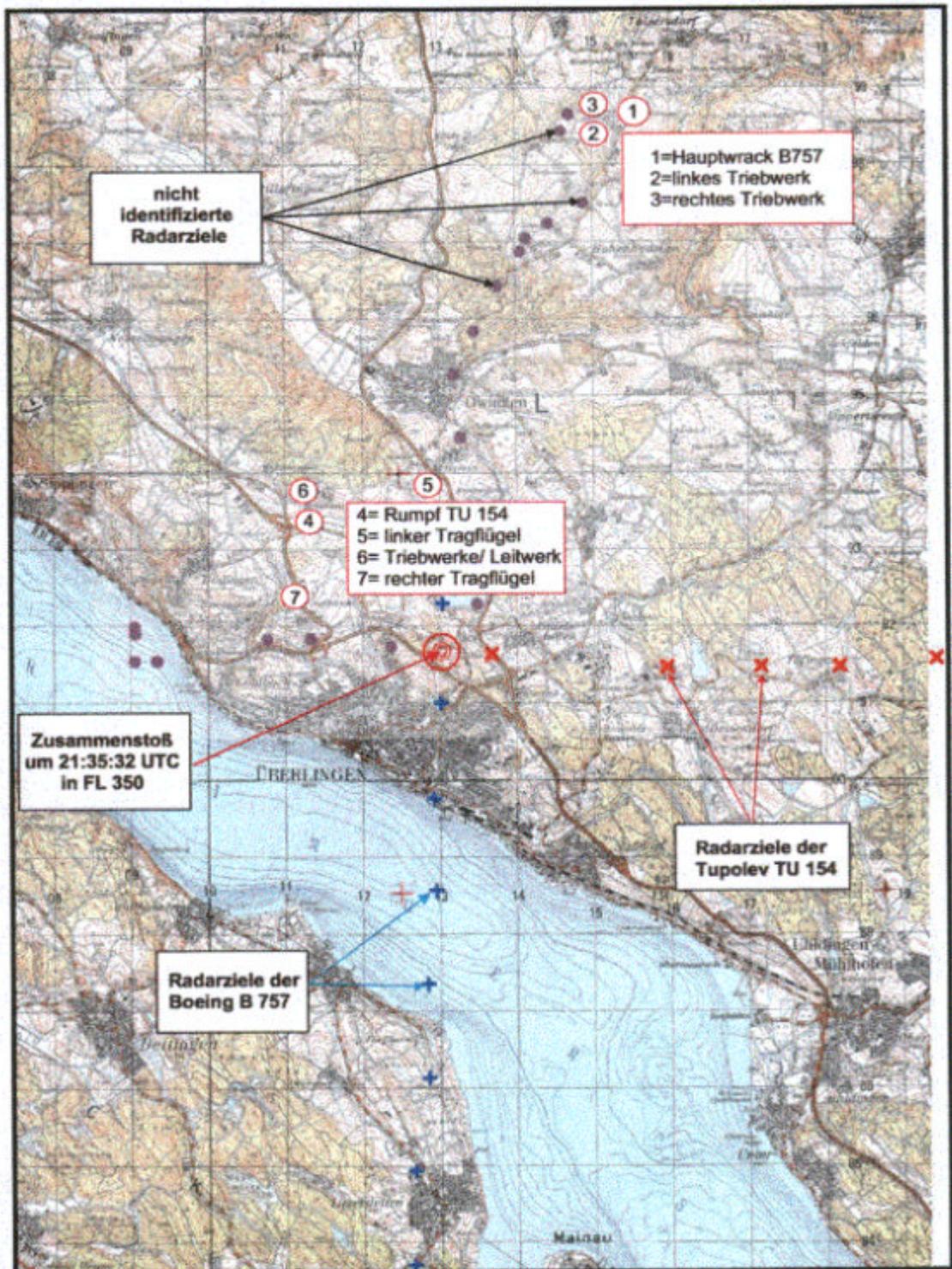
Im weiteren Verlauf der Untersuchung sollen die bisherigen Erkenntnisse vertieft werden. Dabei werden die Abläufe an den verschiedenen „Arbeitsplätzen“ einschließlich ihrer Rahmenbedingungen in einen Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen gebracht und analysiert.

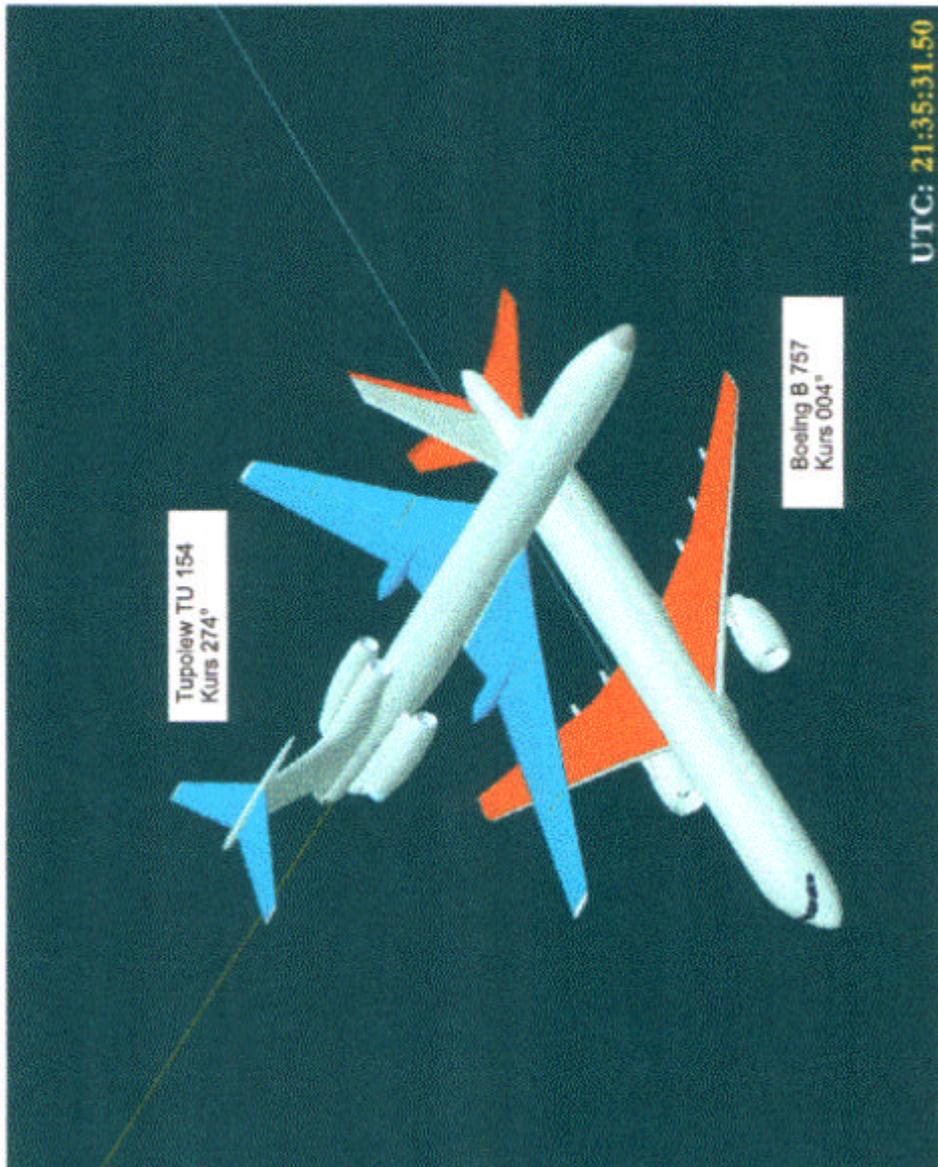
Anlagen:

Flugwege und Zusammenstoß beider Flugzeuge
Ort der Kollision und Wrackverteilung
Zusammenstoß
Zeitlicher Geschehensablauf

Anlage 2
AX001-1-2/02

Ort der Kollision und Wrackverteilung





Zusammenstoß Tupolew TU 154 M mit Boeing B 757-

Zeitlicher Geschehensablauf

Zeit	Boeing B757-200; Flug DHX 611	Tupolew TU154 M; Flug BTC 2937
21:21:50 UTC	Die Besatzung meldet sich bei ACC Zürich auf 128.050 MHz in einer Flughöhe von FL 260.	
21:22:54 UTC	Die Besatzung erhält die Anweisung auf FL 320 zu steigen und das Drehfunkfeuer Tango VOR direkt anzufliegen.	
21:22:59 UTC	Die Besatzung bittet auf FL 360 zu steigen. ACC Zürich kündigt dafür die Genehmigung in 4 bis 5 Minuten an.	
21:26:36 UTC	Die Besatzung erhält die Anweisung auf FL 360 zu steigen.	
21:29:50 UTC	Das Flugzeug erreicht FL 360.	
21:30:11 UTC		Die Besatzung meldet sich auf 128.050 MHz bei ACC Zürich in einer Flughöhe FL 360.
21:34:42 UTC	Das bordseitige TCAS warnt die Besatzung über einen möglichen Konfliktverkehr („Traffic, Traffic“).	Das bordseitige TCAS warnt die Besatzung über einen möglichen Konfliktverkehr („Traffic, Traffic“).
21:34:49 UTC		Der Radarlotse gibt die Anweisung, schnell („expedite“) auf eine Höhe von FL 350 zu sinken. Diese Anweisung war mit einem Hinweis auf „Konfliktverkehr“ verbunden.
21:34:56 UTC	Die Besatzung erhält von ihrem bordseitigen TCAS das Ausweichkommandos zu sinken. Die Besatzung folgt dem Kommando ohne Verzögerung.	Die Besatzung leitet einen Sinkflug ein. Die Besatzung erhält von ihrem bordseitigen TCAS das Ausweichkommando zu steigen.
21:35:03 UTC		Der Radarlotse von ACC Zürich wiederholt die Anweisung, schnell auf eine Höhe von FL 350 zu sinken. Diese Anweisung wird von der Besatzung sofort bestätigt. Unmittelbar darauf informiert der Radarlotse, dass sich anderer Flugverkehr in der „2-Uhr-Position“ in FL 360 befinden würde.
21:35:10 UTC	Die Besatzung erhält vom TCAS das Kommando den Sinkflug zu verstärken („increase descent“).	
21:35:19 UTC	Die Besatzung meldet an ACC Zürich, dass sie infolge eines Kommandos von TCAS einen Sinkflug eingeleitet hat („TCAS-descent“).	
21:35:24 UTC		Die Besatzung erhält vom TCAS das Kommando den Steigflug zu verstärken („increase climb“).
21:35:32 UTC	Kollision mit der Tupolew TU154 M in ca. FL 350	Kollision mit der Boeing B757 in ca. FL 350.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht. Ich bin mir bewusst, dass eine unwahre Erklärung rechtliche Folgen haben kann.

Essen, 17. September 2003

Christina Junge