

EWMS - EXTENSIBLE WORKFLOW MANAGEMENT FOR SIMULATIONS

A. Scharnweber und S. Schier

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Flugführung,
Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig

Zusammenfassung

Das Institut für Flugführung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig zählt zu den weltweit führenden Forschungseinrichtungen im Bereich des Luftverkehrsmanagements. Die Forschungsaktivitäten des Instituts konzentrieren sich auf die Validierung und Verifikation neuer Systeme und Prozeduren wie z. B. Infrastrukturänderungen, Routen oder Piloten- und Lotsen-Assistenzsysteme. In diesem Rahmen kommen eine Reihe verschiedener Simulationsumgebungen zum Einsatz. Echtzeitsimulatoren wie der Tower-Simulator oder der Approach- und Radar-Simulator sowie verschiedene Schnellzeit-Simulations-Systeme unterstützen die Beurteilung von Luftverkehrsszenarien.

Bei den für die Simulationen eingesetzten Softwaresystemen handelt es sich meist um kommerzielle Produkte, deren Schwerpunkt auf der Simulation und nicht auf der Auswertung der Ergebnisse liegt. Der Tower-Simulator wie auch der Radar-Simulator beispielsweise wurden für die Lotsenausbildung entwickelt, und umfangreiche Auswertungen der Simulationsläufe waren nicht vorgesehen. Andere Tools stellen detaillierte Ausgaben zur Verfügung, aber die unterschiedlichen Daten und Datenformate erfordern für jedes Tool spezifische Auswertungsverfahren.

In der Vergangenheit wurde eine große Zahl von Software-Tools entwickelt, um Daten aus verschiedenen Simulationsumgebungen aufzuzeichnen und auszuwerten. Diese wurden unabhängig voneinander für verschiedene Simulatoren, teilweise für einzelne Messkampagnen, und in verschiedenen Programmiersprachen implementiert. Die verwendeten Algorithmen waren oft nicht ausreichend getestet, kaum dokumentiert, und die Validierung der Algorithmen war vielfach ein Nebenprodukt der Simulationsauswertungen.

Das Extensible Workflow Management for Simulations (EWMS) wurde entwickelt, um die Analyse und Evaluierung von Simulationen zu unterstützen, zu vereinfachen und zu verbessern. Hauptziele des EWMS-Konzepts sind:

Datensicherung

Berücksichtigt man den Aufwand, der für die Erstellung und Durchführung von Simulationen benötigt wird, so stellen die Ein- und Ausgabedaten einen erheblichen Wert da. Daher nutzt das EWMS eine Client-Server-Architektur, um eine konsistente Backup-Strategie zu gewährleisten. Das frei verfügbare Repository-System Subversion wird für Backup und Versionierung eingesetzt, um Datenverluste zu verhindern und gleichzeitig Qualitätsanforderungen hinsichtlich Datenhaltung und Änderungsverfolgung zu genügen.

Transparente Datenverarbeitung

Nutzer des EWMS benötigen keine detaillierten technischen Kenntnisse der Simulatoren oder mathematischer Details der Auswertealgorithmen, und können sich so auf die Bewertung der Ergebnisse konzentrieren. Das EWMS ermöglicht eine weitgehende Automatisierung des Auswertungs-Workflows, insbesondere der Transformation simulationsspezifischer Ausgabedaten in ein einheitliches Format für die weitere Verarbeitung.

Standardisierte Berichte

Bislang wurden für jede Simulationsumgebung und teilweise für jede Simulationskampagne eigene Algorithmen und Analysemethoden eingesetzt, was den Vergleich von Ergebnissen erschwerte oder unmöglich machte. Das EWMS bietet standardisierte, dokumentierte und getestete Algorithmen und Methoden, was den Vergleich über Kampagnen und Simulationsumgebungen hinweg ermöglicht und die Qualität der Ergebnisse sicherstellt und verbessert. Alle Simulationen, welche die für eine Auswertung benötigten Daten bereitstellen, können diese Auswertung in gleicher Weise nutzen. Die Ergebnisse lassen sich numerisch oder als standardisierte Diagramme darstellen und zur Einbindung in externe Dokumente exportieren.

1. EINLEITUNG

Die Forschungsaktivitäten des Instituts für Flugführung konzentrieren sich auf die Entwicklung, Validierung und Verifikation neuer Systeme und Prozeduren wie z. B. Infrastrukturänderungen, Routen oder Piloten- und Lotsen-Assistenzsysteme. In diesem Rahmen kommen eine Reihe verschiedener Simulationsumgebungen zum Einsatz. Echtzeitsimulatoren wie der **Approach and Tower Simulator (ATS)** oder der **Air Traffic Management and Operations Simulator (ATMOS)** sowie verschiedene Schnellzeit-Simulations-Systeme unterstützen die Beurteilung von Luftverkehrsszenarien.

Kommerzielle Softwareprodukte werden in der Regel als Simulationssoftware eingesetzt. Der Schwerpunkt dieser Produkte liegt auf der Durchführung der Simulation. Das DLR hat auf Grund seiner Forschungsaufgaben neben der Durchführung ein starkes Interesse an der Auswertung der Simulationen, was von vielen der eingesetzten Softwaresysteme nicht angemessen unterstützt wird. Eine Analyse der Auswertungsprozesse in den unterschiedlichen Simulationseinheiten zeigt, dass sich der Auswertungsprozess aufwendig und langwierig gestaltet. Besonders viele Ressourcen werden bei der Verarbeitung der Rohdaten zu aussagekräftigen Parametern benötigt.

DLR-Entwickler haben in der Vergangenheit eine Reihe von Werkzeugen zur Unterstützung und Automatisierung der Auswertung implementiert. Diese Werkzeuge wurden unabhängig voneinander für verschiedene Simulatoren entwickelt. Die Implementierung und die Validierung der Werkzeuge wurden durch einzelne Simulations-Kampagnen initiiert. Dieser Anlass führte zu Entwicklungen mit einem speziellen Fokus auf die jeweilige Kampagne und unter dem Zeitdruck der möglichst schnellen Fertigstellung. Der Rapid Prototype Ansatz (siehe [1]) wurde als Entwicklungsmuster gewählt, um die Softwareentwicklung optimal für die jeweilige Kampagne abzuschließen. Das Rapid Prototyping vernachlässigt aber Aspekte wie Dokumentation, Validierung oder Wiederverwendbarkeit, was sich im Rahmen von Folgesimulationen negativ bemerkbar macht. Die Verwendung der bereits implementierten Tools ist nur mit erheblichem Mehraufwand möglich und erfordert teilweise umfangreiche Anpassungen an die jeweilige Kampagne. Diese Modifikationen werden durch die fehlende Dokumentation und die fehlenden einheitlichen Entwicklungsstandards verzögert. Ein weiteres Problem ergab sich durch die fehlende Zentralisierung der Softwareversionen. Die Suche nach der jeweils aktuellen Version verzögert den Einsatz bereit implementierter Tools zusätzlich.

Der Zusammenhang zwischen langen Auswertungszyklen einer Simulation und der aufwendigen Adaptierung der vorhandenen Tools führte zur Entwicklung einer neuen Software. Die Anwendung **Extensible Workflow Management for Simulations** (Abk.: EWMS) wird mit der Zielsetzung implementiert, die Auswertungszyklen für Simulationskampagnen stark zu verkürzen und die benötigten Ressourcen an Zeit und Mitarbeitern durch Automatisierung und einheitliche Softwarestandards zu minimieren.

2. ANFORDERUNGSANALYSE

Die Entwicklung des EWMS wurde durch eine Analyse der Anforderungen initiiert. In einem ersten Schritt wurde evaluiert, in welchem Umfang Bedarf an einer verbesserten Softwareunterstützung des Auswertungsprozesses besteht. Dies führte zur Bildung einer Arbeitsgruppe mit Nutzern verschiedener Simulationssysteme:

- **Apron and Tower Simulator (ATS)**
- **Air Traffic Management and Operations Simulator (ATMOS)**
- Schnellzeit-Simulationsumgebungen
- A-SMGCS-Auswertung

Ein erstes Treffen dieser Arbeitsgruppe führte zu der Erkenntnis, dass bei allen beteiligten Nutzern ein großer Bedarf an einer softwarebasierten Auswertungsunterstützung besteht. Die genauen Bedürfnisse und Anforderungen der einzelnen Nutzer wurden in einer Analyse der Simulationen und der Auswertungsprozesse dokumentiert. Eine daran anknüpfende Rollenanalyse sollte zeigen, wer bisher an der Auswertung beteiligt ist und welche Rollen nach der Einführung des EWMS die Auswertung durchführen sollen. Abschließend wurden die Auswertungsprozesse evaluiert, um einheitliche Prozesse definieren zu können, die dann in der Software abgebildet werden konnten.

2.1. Simulationsanalyse

Allgemein – Die Vorbereitung der verschiedenen Simulationen ist häufig mit hohem Personal- und Zeitaufwand verbunden. Die bei der Erstellung und Validierung von Simulationsszenarien generierten Daten sind daher von erheblichem Wert. Einen entsprechend hohen Stellenwert hat deshalb die regelmäßige Sicherung der Daten, ein Datenverlust würde indirekt zu einem großen finanziellen Verlust führen. Als simulationsübergreifende Anforderung an das EWMS lässt sich daher die Unterstützung von Backup und Versionierung der Simulationsdaten ableiten.

Apron and Tower Simulator – Der Apron and Tower Simulator (siehe [2]) ist ein Human-in-the-Loop-Simulator. Die Simulation stellt Prozesse in Echtzeit auf dem Flughafen und im Flughafen-Nahbereich dar. Die Auswertungsbibliothek des Tower-Simulators besteht aus einer Vielzahl kleiner Anwendungen, die nach dem Rapid Prototyping-Verfahren für spezifische Kampagnen entwickelt wurden. Die Implementierung wurde von verschiedenen Softwareentwicklern vorgenommen, oftmals unter Vernachlässigung von Versionierung und Dokumentation sowie ohne einheitliche Entwicklungsstandards.

Dies führt zu einer komplexen Aufarbeitung der Tools zu Beginn jeder Auswertungsphase, der Anpassung an die aktuelle Kampagne, der Suche nach der aktuellsten Version und der Einarbeitung in den Quellcode. Ein weiteres Problem stellt die mangelnde Zuverlässigkeit der Tools dar. Das Rapid Prototyping bedingt die Vernachlässigung von Softwaretests. Das Fehlen der Tests macht sich durch Fehler in der Auswertung bemerkbar, die erst

korrigiert werden müssen, bevor die Auswertung sinnvoll verwendet werden kann.

Ein abschließendes Problem der Auswertung im ATS ist die Darstellung der ausgewerteten Daten. Die Darstellung wird durch Diagramme in Microsoft Excel vorgenommen. Verschiedene Auswertungsexperten entwickeln die einzelnen Diagramme und integrieren sie in einen abschließenden Bericht. Idealerweise sollen die Diagramme den gleichen Darstellungsrichtlinien folgen, um ein schnelles Verständnis und eine gute Übersicht zu ermöglichen. Dies erfordert, dass jeder Auswertungsexperte seine Diagramme erst in einem langwierigen Prozess auf die einheitliche Darstellung anpasst.

Die analysierten Probleme im Auswertungsprozess der ATS-Simulation führen zur Aufstellung der folgenden Anforderungen:

- Versionierung und zentrale Sicherung der Auswertungsfunktionen
- Einheitliche Entwicklungsrichtlinien
- Umfangreiche Tests der Auswertungsfunktionen
- Einheitliche, automatisierte Generierung der Ergebnisdarstellungen

Schnellzeitsimulation – Die Schnellzeitsimulation betreibt mehrere Simulationsumgebungen (siehe [3]) zur Evaluierung von Luftverkehrsbewegungen. Neben Discrete-Event-Simulationssystemen wie Simmod PRO! ([4]), Simmod PLUS! ([5]) oder AirTOp ([6]) kommen auch verschiedene analytische Softwaretools zum Einsatz.

Für die Auswertung der Daten stehen verschiedene Analysetools zur Verfügung, die ähnlich wie bereits für den ATS beschrieben entwickelt wurden und jeweils nur einen Teil der Fragestellungen abdecken können. Bei Updates der Simulationsumgebungen müssen die Auswertungstools oftmals angepasst werden, was zu Verzögerungen im Projektablauf führen kann.

Eine grundlegende Anforderung der Schnellzeitsimulation ist die Simulatorunabhängigkeit des EWMS. Diese Unabhängigkeit ergibt sich aus den verschiedenen verwendeten Simulationen, die sich im Aufbau der Ein- und Ausgabedaten grundlegend unterscheiden. Die Auswertungs-Prozesse benutzen aber im Wesentlichen die gleichen oder ähnlichen Funktionalitäten.

A-SMGCS Datenauswertung – Die A-SMGCS-Auswertung unterstützt im Wesentlichen die Anforderungen der anderen Nutzer. Eine Besonderheit ist die Speicherung der Rohdaten, die in Textdateien mit einer Größe bis zu 1,5 GB erfolgt, was besondere Anforderungen an die Datenverarbeitung stellt. Dies wird als nicht-funktionale Maximalanforderung an die Rohdatenverarbeitung aufgenommen.

Air Traffic Management and Operations Simulator – Der ATMOS stellt den Luftverkehr im Flughafennah- und Enroute-Bereich in Echtzeit dar (siehe [2]). Das Simulationsprinzip ist eine Human-In-the-Loop Simulation.

Die menschliche Komponente wird dabei durch Fluglotsen gegeben, die über simulierte Sprechfunkverbindungen mit Pseudopiloten kommunizieren, von denen jeder eine Reihe von Flugzeugen im simulierten Luftraum kontrolliert. Ein Zugriff auf die interne Datensente des Simulators besteht nicht. Der ATMOS stellt lediglich einige Datenlogger zur Verfügung, deren Ausgaben nicht verändert werden können.

Die Anforderungen aus der ATMOS-Umgebung sind im Wesentlichen mit den Anforderungen aus den anderen Simulatoren identisch. Ein besonderes Problem stellt die Unveränderlichkeit der Datenaufzeichnung dar. Der statische Output wird nach Simulationsende manuell in einer Microsoft Excel-Tabelle zusammengetragen. Dieser kombinierte Datensatz wird dann analysiert. Das EWMS soll den Prozess der Datenfusion automatisieren.

2.2. Zielgruppenanalyse

Im Bereich der Echtzeitsimulation wurde die Auswertung bislang durch zwei Rollen geprägt. Die erste Aufarbeitung der Daten wurde durch technisches Personal aus dem Simulatorumfeld durchgeführt. Dieses Personal ist mit den technischen Gegebenheiten des Simulators vertraut. Die Rolle des technischen Personals soll im Folgenden als Datenaufbereiter definiert werden. Diese Rolle ist dafür verantwortlich, aus den Rohdaten des Simulators aussagekräftige Analyseparameter zu generieren (vgl. Kapitel 2.3). Die Datenaufbereiter haben neben den technischen Kenntnissen in der Regel Erfahrung in der Informatik und der Datenverarbeitung. Dieses Wissen führte zur Implementierung der bereits in Kap. 2.1 erwähnten Tools.

Die zweite beteiligte Rolle sind die Dateninterpretoren. Diese Rolle setzt die generierten Analyseparameter in Zusammenhang. Dieser Zusammenhang kann interpretiert werden und ergibt die entsprechende Aussage über den zu untersuchenden Sachverhalt (vgl. Kapitel 2.3). Die Dateninterpretoren haben nur ein rudimentäres Wissen über den Simulator. Technische Details sind für sie nicht von Bedeutung. Das Wissen der Interpretoren ist auf die Simulationskampagne fokussiert. Die wichtigen Aspekte und die Forschungsschwerpunkte müssen zur Interpretation der Parameter bekannt sein. Die Dateninterpretoren sind in der Regel mit der Leitung der Simulationskampagne beauftragt und verfassen am Ende den abschließenden Bericht.

Die oben beschriebene Rollenstruktur hat einige Nachteile. Die Arbeit der Rollen ist rein sequentiell. Die Interpretoren können erst mit ihrer Arbeit beginnen, wenn die Arbeit der Aufbereiter abgeschlossen ist. Diese Abhängigkeit führt zu Verzögerungen. Ein weiterer Nachteil ist die nicht genutzte Automatisierung der Datenaufbereitung. Die Generierung der Analyseparameter folgt statischen Regeln, ein menschliches Eingreifen in die Generierung ist prinzipiell nicht notwendig. Die Aufbereitungsrolle kann sich auf vollständig auf die Implementierung von Auswertungsfunktionen konzentrieren, die dann automatisiert eingesetzt werden können. Eine weitere Anforderung an das EWMS ist folglich die transparente Bedienung der Datenaufbereitung, um die Interpretoren in die Lage zu versetzen, die Datenauswertung eigenständig vorzunehmen. Die Voraussetzung hierfür ist, dass die Aufbereitung bereits im EWMS verankert wurde. Diese

Aufbereitung wird weiterhin durch die Datenaufbereiter implementiert. Eine sequentielle Abhängigkeit zwischen den Rollen ist aber nicht mehr gegeben, da eine einmalige Implementierung ausreicht.

Im Bereich der Schnellzeitsimulationen werden die Simulations-Szenarien je nach Komplexität von einem Nutzer oder von kleinen Teams entwickelt. Oftmals entfällt die für die Echtzeitsimulation beschriebene Trennung zwischen Datenaufbereitern und Dateninterpretoren, die gesamte Aufbereitung und Auswertung liegt in einer Hand. Für eine effiziente Teamarbeit und kurze Iterationszyklen bei der Erstellung und Validierung der Szenarien wie auch bei der Durchführung der Simulationen sind daher eine zentrale Datenhaltung und -versionierung unverzichtbar.

2.3. Prozessanalyse

Der Auswertungsprozess soll (wie in Kapitel 2.2 dargelegt) für den Benutzer möglichst transparent und intuitiv dargestellt werden. Ein eingehendes Verständnis dieses Prozesses bildet daher die Grundlage für den Entwurf des EWMS.

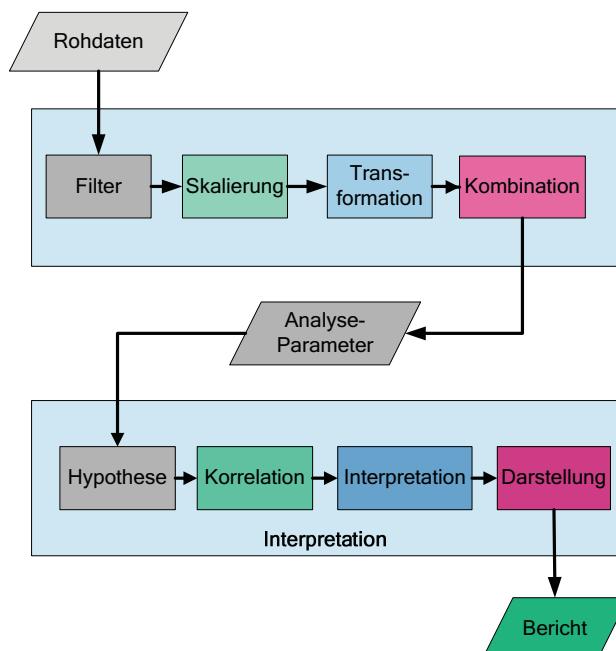


Abbildung 1: Beschreibung des Auswertungsprozesses

Der Auswertungsprozess lässt sich allgemein in zwei Phasen gliedern. Zunächst generiert die Aufbereitung aus den Rohdaten aussagekräftige Parameter. Diese Parameter werden in der Interpretationsphase in Zusammenhang gebracht. Das Ergebnis dieser Phase sind verschiedene Schlussfolgerungen mit dem abschließenden Bericht (vgl. Kapitel 2.2).

Die Datenaufbereitung lässt sich in weitere Unterphasen gliedern. Diese Unterphasen werden optional durchlaufen. Der Zustand der Rohdaten und die geforderten Analyse-Parameter für die Interpretation bestimmen, welche Phasen benötigt werden.

Erste Phase der Aufbereitung ist die Filterung. Dieser

Schritt verwirft die nicht benötigten Rohdaten. Ein Beispiel hierfür ist die Darstellung der Anflugsequenz. Alle Daten abfliegender Luftfahrzeuge können durch einen Filter verworfen werden. Die benötigten Rohdaten werden im Folgenden skaliert und transformiert. Die Skalierung ändert das Bezugssystem der Werte, ohne die Datenstruktur zu ändern. Ein Beispiel hierfür ist die Umrechnung von Flughöhen von Fuß in Meter. Die Zahlenwerte werden verändert, die Datenstruktur als einfache Höheninformation in Form einer Gleitkommazahl bleibt aber erhalten.

Die Transformation verändert neben den Werten auch die Datenstruktur. Exemplarisch kann die Koordinatentransformation vom geographischen in das kartesische Koordinatensystem genannt werden. Geografische Länge und Breite sind nur noch implizit über Referenzpunkt, x- und y-Koordinaten im Datensatz vorhanden, es ergibt sich also eine veränderte Datenstruktur.

Letzter Schritt der Datenaufbereitung ist die Kombination von Daten. Einzelne Daten werden in einen logischen Bezug gesetzt, um neue Parameter zu generieren. Ein Beispiel aus dem ATS ist die Ermittlung der Rollzeiten von Luftfahrzeugen auf dem Flughafenvorfeld. Diese Daten werden aus den Positionsdaten der Luftfahrzeuge bestimmt. Ein Algorithmus überprüft, ob sich ein Luftfahrzeug zum analysierten Zeitpunkt am Boden befindet und ob es sich bewegt, und berechnet dann an Hand dieser Parameter die Rollzeit. Das Ergebnis dieses finalen Aufbereitungsschritts sind die Analyseparameter. Diese Parameter stellen aussagekräftige Werte dar und sind die Basis der Interpretation.

Die Interpretation lässt sich ebenfalls in Unterphasen gliedern. Diese Phasen sind im Gegensatz zur Datenaufbereitung nicht optional. Die erste Phase ist die Hypothesenformulierung. Diese Fragestellung wird mit Hilfe der Analyseparameter beantwortet. Der nächste Schritt setzt die Parameter in eine entsprechende Korrelation. Eine Korrelation kann zum Beispiel der Vergleich zwischen zwei arithmetischen Mitteln sein. Das Ergebnis der Korrelation wird entsprechend der Hypothese interpretiert und im Anschluss dargestellt. Das Ergebnis der Interpretation ist der Bericht, welcher die Einzelergebnisse und das Vorgehen zusammenfasst und auf dieser Basis die Initialfrage der Simulationskampagne beantwortet.

2.4. Anforderungszusammenfassung

Die folgende Tabelle fasst die Anforderungen aus der Anforderungsanalyse mit Anforderungsnummer und Kapitelbezug zusammen. Die hier evaluierten Anforderungen entsprechen den Kernanforderungen.

Nr.	Anforderung	Kapitel
A1	Anwendbarkeit auf alle beteiligten Simulatoren	2
A2	Versionierung der Auswertungsfunktionalität	2.1

A3	Einheitliche Entwicklungsrichtlinien	2.1
A4	Tests der Auswertungsfunktionen	2.1
A5	Einheitliche, automatisierte Generierung der Darstellungen	2.1
A6	Simulationsunabhängigkeit der Auswertungsfunktionalität	2.1
A7	Datensicherung	2.1
A8	Abstrakte Datenverwaltung	2.1
A9	Transparente Abbildung des Auswertungsprozess	2.2
A10	zentrale Datenhaltung	2.2

Tabelle 1: Zusammenfassung der Kernanforderungen

3. KONZEPT

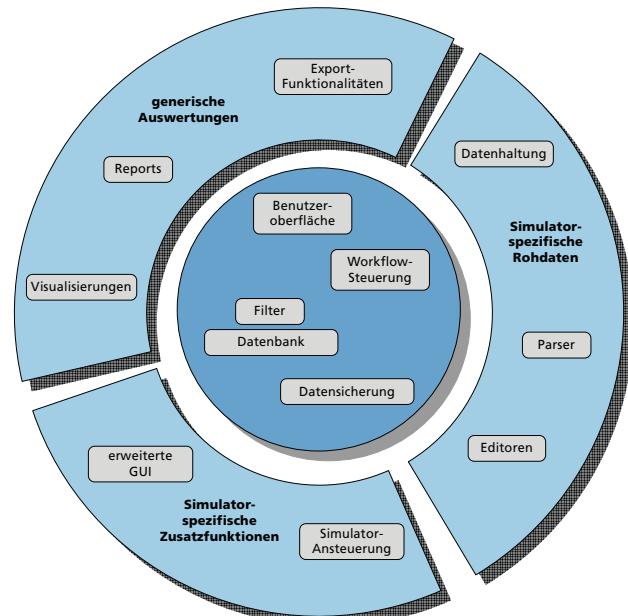
Der Abschluss der Anforderungsanalyse initiierte die Definition eines umfassenden Konzepts für die EWMS Software. Die Kernpunkte dieses Konzepts sollen im Folgenden dargestellt werden.

Modularer Aufbau - Die Anforderungen schreiben eine Unabhängigkeit der Auswertungs-Funktionalität vom Simulator vor (A6). Die Anforderung nach der Anwendung in allen Simulatoren (A1) ist gleichzeitig zu erfüllen. Dieses konzeptionelle Problem wird durch die Bildung einer modularen Struktur behoben (vgl. Abbildung 2). Der Core (engl.: Kern) enthält die Grundfunktionalitäten. Die Grundelemente der Benutzeroberfläche, die Datensicherung und die Datenhaltung sind vollständig im Kern abgelegt. Die simulatorspezifischen Codeteile werden im sogenannten Environment (engl.: Umgebung) abgelegt. Das Environment des EWMS muss zur Nutzung in einem neuen Simulator einmalig adaptiert werden. Der Kern des EWMS kann ohne Eingriff in den Quellcode verwendet werden. Definierte Schnittstellen zwischen Core und Environment ermöglichen die problemlose Zusammenarbeit der Module.

Datenabstraktion – Die Anforderungen nach einer abstrakten Datenhaltung unabhängig vom Speicherformat (A8) werden mit Hilfe einer Datenbank umgesetzt. Das EWMS soll die Datenbank als zentrales Datenmanagementtool verwenden. Die Abstraktion der Daten wird über Parser erreicht, die im simulationsspezifischen Environment des EWMS abgelegt werden und auf die Datenaufzeichnung des jeweiligen Simulators abgestimmt sind. Das EWMS ist mit Hilfe der Parser in der Lage, Rohdaten aus dem jeweiligen Format in die Datenbank zu importieren. Eine Auswertung kann dann unabhängig vom ursprünglichen Datenformat die benötigten Daten aus der Datenbank exportieren. Die Datenbank wird zu diesem Zweck mit einem selbstkonzipierten Datenbankmanagementsystem (Abk: DBMS) ausgestattet. Dieses DBMS ist in der Lage neben den reinen Werten auch komplexe Metainformationen abzulegen. Die Metainformationen umfassen das physikalische Format, den

Datentyp und eine Beschreibung des Datensatzes. Diese erweiterten Daten ermöglichen es dem DBMS, Daten für eine Auswertung zusammenzustellen. Die Auswertung übergibt dem DBMS lediglich eine entsprechende Beschreibung der benötigten Daten, die dann mit Hilfe der Beschreibung vom DBMS zusammengestellt und an die Auswertung zurückgegeben werden. Dies ermöglicht einen einfachen und simulationsunabhängigen Zugriff auf die vorgehaltenen Daten.

Report und Visualisierung – Die Auswertung wird mit Hilfe von Reports (engl. Bericht) und Visualisations (engl: Darstellung) ermöglicht. Die Reports können über eine Schnittstelle dynamisch in das EWMS integriert werden (siehe Kap. 4). Das EWMS bietet den Reports die oben beschriebene Möglichkeit eines abstrakten Datenzugriffs und entkoppelt sie damit von einzelnen Simulationsumgebungen. Die Reports berechnen aus den übergebenen Daten die entsprechenden Analyseparameter oder korrelieren bereits vorhandene Parameter. Der Nutzer des EWMS kann im Folgenden die Daten in der Datenbank sichern oder über eine Visualisierung darstellen. Die Visualisierungen können ähnlich wie die Reports über ein dynamisches Interface zur Programmlaufzeit geladen werden. Die standardisierte Darstellung der Visualisierung kann in jedem Simulator verwendet werden, der die entsprechenden Rohdaten bereit stellen kann. Die Anforderung nach standardisierten Auswertungen und Darstellungen (A5) ist somit erfüllt.

**Abbildung 2: Modularer Aufbau des EWMS**

Datensicherung – Die Datensicherung (A7) wird über einen institutsinternen Subversion-Server realisiert. Dieser Server ist ausreichend gegen Datenverlust geschützt und bietet eine sichere Ablage für die Daten. Das EWMS stellt die entsprechenden Funktionalitäten und eine komfortable Benutzeroberumgebung bereit, um Daten auf dem Institutsserver abzulegen oder vom Server zu laden. Die Integration einer umfassenden Ablagestruktur und eines Versionierungssystems definieren eine Grundordnung der Datensenke. Die Struktur orientiert sich dabei an der Einteilung in Simulationskampagnen und einzelnen

Simulationsläufen. Eine schnelle Übersicht über die vorhandenen Daten wird dem Benutzer so ermöglicht.

Daneben sichert die Nutzung eines zentralen Servers auch den nutzerübergreifenden Zugriff auf die versionierten Daten, um eine effiziente Teamarbeit zu ermöglichen.

3.1. Benutzeroberfläche

Das Konzept für die Benutzeroberfläche (engl.: Graphical User Interface – GUI) des EWMS ist von großer Bedeutung für die Akzeptanz der Applikation. Ein Kernziel der EWMS-Entwicklung ist die Vereinfachung und Beschleunigung des Auswertungsvorgangs durch eine Automatisierung der Prozesse. Die Automatisierung kann nur zur Beschleunigung der Auswertung beitragen, wenn der Benutzer in der Lage ist, die automatischen Prozesse schnell auszuwählen und ohne komplexe Konfigurationsarbeiten auszuführen. Eine gut strukturierte Benutzeroberfläche ist eine wesentliche Voraussetzung hierfür.

Die Entwicklung der Benutzeroberfläche wird durch die Notwendigkeit getrieben, zwei Abbildungen zu vereinen. Die Abbildung des Auswertungsprozesses soll zum einen transparent und intuitiv verständlich dargestellt werden. Zum anderen sollen die verschiedenen Funktionalitäten wie Datenabstraktion, Datensicherung und Datenauswertung dem Benutzer übersichtlich präsentiert werden. Die Vereinigung dieser beiden Darstellungen wurde über eine zweidimensionale Navigation ermöglicht. Die einzelnen Funktionalitäten sind in horizontaler Richtung aufgetragen. Die Darstellung der zugehörigen Prozesse erfolgt in vertikaler Richtung (Abbildung 3). Dieses Schema stellt sicher, dass der Benutzer zu jedem Zeitpunkt ein Bewusstsein hat, welchen Prozessschritt welcher Funktionalität er momentan bearbeitet.

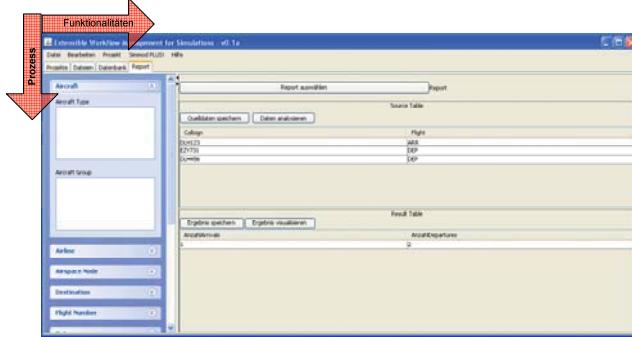


Abbildung 3: Layout der Benutzeroberfläche

Der ideale grafische Container für diese Art der Navigation ist die Registerkarte. Die EWMS-Funktionalitäten werden benutzerverständlich gruppiert. Jede Funktionalitätengruppe erhält eine eigene Registerkarte. Die Navigation durch die Karten kann horizontal entlang der Reiter erfolgen. Die einzelnen Registerkarten bilden dann vertical den zugehörigen Prozess ab, um eine zweidimensionale Navigation zu ermöglichen. Der EWMS-Kern sieht in der Version 1.0 die folgenden vier Registerkarten vor:

- Projektbrowser: Kapselt die Datensicherung (der Benutzer wählt ein Projekt aus, das EWMS lädt / sichert die zugehörigen Daten)

- Dateibrowser: Kapselt die Datenabstraktion (der Benutzer wählt Parser und Datei aus, das EWMS stellt die Inhalte geeignet dar und lädt die Daten ggf. in die Datenbank)
- Datenbank: Darstellung der geladenen Daten
- Auswertung: Kapselung der Auswertungsfunktionalität

Dieser Satz an Registerkarten ist durch die simulationspezifische Umgebung beliebig erweiterbar.

Die Prozesse der einzelnen Funktionalitäten werden möglichst kompakt dargestellt. Der User soll an Hand der vorhandenen Elemente durch den Prozessablauf geführt werden. Ein Beispiel hierfür ist der Auswertungsprozess. Der Benutzer muss zur Fertigstellung einer Auswertung drei grundsätzliche Fragen beantworten:

1. Welche Auswertung soll angewendet werden?
2. Welche Eingabedaten sollen ausgewertet werden?
3. Wie soll das Ergebnis dargestellt werden?

Die Benutzeroberfläche strukturiert diese drei Fragen in drei vertikalen Frames (engl.: Rahmen) untereinander (Abbildung 4, Markierungen 1-3). Diese Anordnung führt den Benutzer Schritt für Schritt durch die einzelnen Konfigurationsphasen. Parallel zu diesen drei Schritten wird dem Benutzer ein Filtermenü angeboten. Dieses Filtermenü dient zur Einschränkung der analysierten Daten. Diese Einschränkungen können parallel zu allen drei Schritten vorgenommen werden. Folglich ist das Filtermenü als parallele, vertikale Leiste auf der linken Seite angeordnet (Abbildung 4, Markierung 4). Der Auswertungsprozess wird so übersichtlich und transparent für den Benutzer dargestellt. Die Konzeption der anderen Registerkarten wurde nach einem ähnlichen Schema vorgenommen.

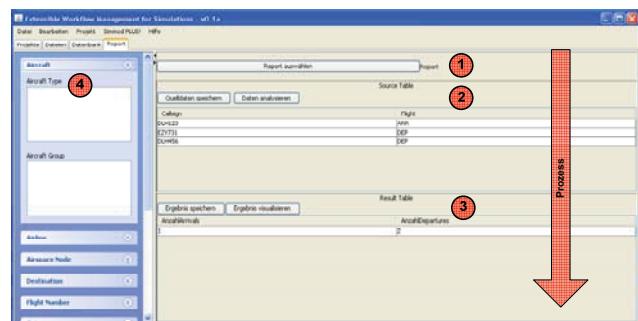


Abbildung 4: Auswertungs-Workflow

4. UMSETZUNG

Die Umsetzung des beschriebenen Konzepts erfolgt in Java. Diese Implementierungssprache wurde auf Grund ihrer Plattformunabhängigkeit ausgewählt. Die Simulatoren des Instituts für Flugführung operieren auf unterschiedlichen Systemen, und das EWMS soll möglichst universal auf allen Systemen der unterschiedlichen Simulatoren lauffähig sein. Diese Anforderung ist am einfachsten mit Java zu erfüllen.

Als Prototyp und Machbarkeitsstudie diente eine Diplomarbeit aus der Schnellzeitsimulation, in deren Rahmen für Simmod PLUS! ein Werkzeug zur Datensicherung, Versionierung und Datenhaltung entwickelt wurde. Ein Framework für die Auswertung wurde ebenfalls implementiert und für einige erste Beispieldaten ausgewertet getestet.

Die Datensicherung wurde mit Hilfe des quelloffenen Versionierungssystems Subversion realisiert, da durch Verwendung in anderen Projekten bereits umfangreiche Erfahrungen bestanden, eine Subversion-Installation bereits lokal verfügbar war, sowie aufgrund der Existenz einer frei verfügbaren Java-API für die Subversion-Anbindung. Die Schnittstellen des EWMS sind jedoch so flexibel definiert, dass bei Bedarf mit geringem Aufwand auch andere Versionierungs-Systeme integriert werden können.

Der Open Source-Charakter ist ebenfalls ausschlaggebend für die Wahl des programminternen Datenbanksystems. Die Datenabstraktion wird im EWMS über eine HSQL-Datenbank realisiert. Dabei handelt es sich um ein Open Source-Projekt, das unter anderem auch in die Anwendung Open Office integriert ist. Das Datenbankmanagementsystem (DBMS) zur HSQL-Datenbank wurde selbst konzipiert und implementiert, um spezifische Tabellenstrukturen besser abzulegen und um die benötigten Datensuchfunktionen zu unterstützen (vgl. Kapitel 0.)

Die dynamischen Schnittstellen zur Integration von Parsern, Reports und Visualisierungen wurden über Container realisiert. Diese Container durchsuchen das Quellcodepaket, in dem sie abgelegt wurden, zur Laufzeit. Alle Klassen, die in diesem Paket gefunden werden und der Klassendefinition von Parsern, Reports oder Visualisierungen entsprechen, werden in das Laufzeit-system des EWMS eingebunden. Dieses Vorgehen ermöglicht es den Entwicklern, mit geringem Aufwand die drei Klassentypen zu erstellen und in das jeweilige Quellcodepaket zu kopieren. Das EWMS erkennt selbstständig, dass eine neue Klasse hinzugefügt wurde, der Entwickler muss nicht in den Kern des EWMS eingreifen.

5. FAZIT

Das EWMS wurde konzipiert, um die Datenauswertung von Simulationen im Institut für Flugführung zu erleichtern. Vorrangiges Ziel ist die Reduktion des Arbeitsaufwands für die Auswertung. Ein konsistentes Konzept wurde durch eine eingehende Analyse der Auswertungsprobleme erstellt. Diese Analyse hat gezeigt, dass ein grundlegendes Problem der Auswertung in der Datenaufbereitung liegt, da die Entwicklung der unterstützenden Werkzeuge nur für den einmaligen Einsatz, nicht aber für die Wiederverwendung in weiteren Projekten angemessen war. Die Folge sind Probleme in mehreren Bereichen:

- Universeller Einsatz
- Validität
- Automatisierung von Arbeiten

- Datensicherung

Diese Probleme führten zur Entwicklung des EWMS als langfristig nutzbare Software. Das EWMS bildet dazu den vorhandenen Auswertungsprozess ab, sichert die Daten und ermöglicht die Anbindung von Auswertungsfunktionen unabhängig vom Speicherformat der Rohdaten und des Simulators. Die bisher verwendeten Auswertungstools können mittelfristig vollständig durch die Funktionalitäten von EWMS ersetzt werden. Die langwierige Anpassung der einzelnen Tools entfällt, was den Auswertungsprozess teilweise deutlich verkürzt. Die erweiterten Funktionalitäten des EWMS bieten zudem eine verbesserte Datensicherung und eine Plattform zum Testen der Auswertungsfunktionalität. Die Hauptkriterien Automatisierung, Datensicherung, Validität und universeller Einsatz werden mit EWMS signifikant verbessert.

Die aktuelle Version des EWMS ist die erste Arbeitsversion (Version: 1.0). Diese Version wird zurzeit auf das Schnellzeit-Simulations-Tool Simmod PLUS! und den Echtzeitsimulator ATS angepasst. Beide Simulatoren werden im Laufe des Septembers 2009 Simulations-Kampagnen durchführen, die dann erstmals mit Hilfe des EWMS ausgewertet werden.

6. AUSBLICK

Es ist zu erwarten, dass der anstehende Einsatz von EWMS zahlreiche Erweiterungs- und Änderungswünsche initiieren wird. Diese Modifikationen sollen in der kommenden Projektphase umgesetzt werden. Die Integration in weitere Simulatoren wie den ATMOS wird parallel durchgeführt.

Die weitere Integration von EWMS in eine Vielzahl von Simulatoren des Instituts soll die Vernetzung der Auswertung unterstützen. Ein positiver Effekt dieser Vernetzung ist die Vermeidung von redundanten Entwicklungen. Der Bedarf an neuen Auswertungsfunktionalitäten kann möglicherweise über bereits bestehende Funktionalitäten aus anderen Simulatoren gedeckt werden. Das EWMS ermöglicht es, die Auswertungsfunktionalitäten über die definierten, dynamischen Schnittstellen direkt einzubinden, ohne zusätzliche Implementierungsarbeit leisten zu müssen. Ein weiterer positiver Aspekt der vernetzten Auswertung ist die Möglichkeit zur Standardisierung.

Einige Simulationskampagnen bedienen sich mehrerer Simulatoren im Institut für Flugführung. So wurden die Auswirkungen von Infrastrukturänderungen an einem Flughafen zunächst mit Hilfe von Schnellzeitsimulationen überprüft. Auf der Grundlage der hierbei gewonnenen Erkenntnisse wurden im Rahmen von Echtzeit-Simulationskampagnen vertiefende Untersuchungen z.B. zur Controller-Workload durchgeführt. Jede Simulationseinheit verfasste hierzu einen eigenen Bericht mit eigenen Darstellungen. Die Ergebnisse aus beiden Berichten waren teils nur schwer vergleichbar, da sich die verwendeten Auswertungsalgorithmen unterschieden und die Ergebnisse nicht einheitlich aufbereitet und dargestellt wurden. Die Verwendung einheitlicher Reports und Visualisierungen im Rahmen des EWMS ermöglicht die Erstellung von vergleichbaren Berichten aus heterogenen Ausgangsdaten.

7. QUELLEN

- [1] FALCONE, GIOVANNI: "Software Engineering". Vorlesungsskript, Berufsakademie Mannheim, 2006.
- [2] KLEIN, KURT: „ATM-Simulation“, Handout, Institut für Flugführung, 01.05.2004
- [3] MÜHLHAUSEN, THORSTEN: „Schnellzeitsimulation zur Abschätzung von Kapazität und Verspätung in zukünftigen Flughafenszenarien“, Poster, Institut für Flugführung, 19.01.2004
- [4] ATAC Corporation, Simmod PRO!, URL am 1.7.2009: http://www.atac.com/Products_Research-a.html
- [5] ATAC Corporation, Simmod PLUS!, URL am 1.7.2009: http://www.atac.com/Products_Airports-b.html
- [6] Airtopsoft S.A.: URL am 1.7.2009: <http://www.airtopsoft.com/products.html>