

**Visualisierung multisensorischer Daten zur
Vorbereitung von Datenfusion am Beispiel einer
militärischen Lage**

Bachelor-Arbeit von
Stephan Tzschope
1006374

UniBwM – IB 16/2009

Aufgabenstellung:
Prof. Dr. Stefan Pickl

Betreuung:
Dipl.-Inform. Marco Schuler

Institut für Theoretische Informatik,
Mathematik und Operations Research
Fakultät für Informatik
Universität der Bundeswehr München

Neubiberg
31.12.2009

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Ziel der Arbeit	2
1.3. Aufbau der Arbeit	2
2. Verwendete Technologien	5
2.1. Java	5
2.2. XML	6
2.2.1. SAX-Parser	6
2.2.2. DOM-Parser	7
2.3. jMonkeyEngine	7
2.3.1. Szenenbaum	8
2.3.2. Kamera	9
2.3.3. Grafische Objekte	9
2.3.4. Licht	11
2.4. Google Code	12
3. Multisensorische Daten und ihre Visualisierung	15
3.1. Theoretische Einordnung	15
3.1.1. Multisensorische Daten	15
3.1.2. Multisensor Data Fusion	17
3.2. Visualisierungsmöglichkeiten	19
3.2.1. Darstellung der Dimensionen	20
3.2.2. Darstellung der Datensätze	22
3.2.3. Informationsgewinnung durch Visualisierung	24

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung	27
4.1. Entwurf eines Visualisierungsframeworks	27
4.1.1. Eingabedaten und Datenmodell	28
4.1.2. Übersicht über das Frontend des Frameworks	34
4.1.3. Übersicht über das Backend des Frameworks	36
4.1.4. Zusammenspiel der Komponenten	41
4.2. Visualisierung einer militärischen Lage	45
4.2.1. Problemdarstellung	45
4.2.2. Lösungsansatz	46
4.2.3. Umsetzung mithilfe des Visualisierungsframeworks	47
4.3. Kernaspekte der Implementierung	54
4.3.1. Observer-Pattern bei abgeleiteten Klassen	54
4.3.2. Entfernungsberechnung auf der Erde	55
4.3.3. Informationsverlust durch Projektion einer Kugelkappe auf eine Ebene	59
4.3.4. Mousepicking	60
4.3.5. Bewegungskegel	61
5. Fazit und Ausblick	65
5.1. Bewertung	65
5.2. Weiterführende Arbeit	66
5.3. Fazit	69
Literaturverzeichnis	71
Abkürzungsverzeichnis	73
Abbildungsverzeichnis	73
Tabellenverzeichnis	75
Listingverzeichnis	77
Anhang	79
A. Inhalt der CD	79
Eidesstattliche Erklärung	81

1. Einleitung

1.1. Motivation

Wir leben in einer Zeit stetig voranschreitender Technologisierung. Dies äußert sich für jeden sichtbar auf vielerlei Art und Weise. Massenspeicher mit vor Jahren noch unvorstellbaren Kapazitäten, stetig wachsende Prozessorleistung und massiver Fortschritt in der Datenübertragung sind hier nur als Beispiele zu nennen. Solche Entwicklungen sind es, die das Sammeln, Verarbeiten und Speichern von riesigen Datenmengen erst ermöglichen. Diesen Fortschritt gilt es zu nutzen und auf mögliche Anwendungsfelder auszuweiten.

Betrachtet man ein Gefechtsfeld, sei es im Rahmen einer Übung, einer kriegerischen Auseinandersetzung oder eines Konflikts, so werden auch hier Informationen gesammelt und ausgewertet. Man stelle sich folgende Situation vor: Drei eigene Panzer bewegen sich durch das Gelände. Plötzlich klären sie zwei feindliche Fahrzeuge auf. Jeder einzelne eigene Panzer setzt eine Meldung ab und beschreibt, was er sieht. Dies führt zu sechs Meldungen. Der S2¹-Offizier muss nun aus diesen Meldungen ein Lagebild erstellen. Dabei sind aus der vorhandenen (teilweise redundanten) Information zwei statt sechs feindliche Fahrzeuge zu extrahieren.

Für das geschilderte Beispiel scheint es nicht notwendig, diese Informationsauswertung zu automatisieren. In der Realität hingegen erfordert es viel Zeit, diese Arbeit zu erledigen². Und genau dies ist ein großes Problem, denn je älter die Lageinformation ist, umso weniger aussagekräftig ist sie. Entscheidungen, die darauf basierend getroffen werden, können falsch oder unverhältnismäßig sein. Um diesen Missstand zu beseitigen, gilt es, den S2-Offizier bei seiner Arbeit technisch zu unterstützen.

¹Der S2-Offizier ist verantwortlich für die militärische Sicherheit, militärisches Nachrichtenwesen mit Aufklärung und Zielfindung, elektronisch Kampfführung und eben die Wehrlage

²Ein Panzerbataillon der Bundeswehr umfasst zum Beispiel ca. 40 Kampfpanzer

1.2. Ziel der Arbeit

Eine technische Unterstützung kann in unterschiedlichen Abstufungen geschehen. So können die separaten Meldungen zu einer großen Meldung zusammengefasst werden. Dies ist aber nicht sonderlich hilfreich, wenn zum Beispiel aus vielen einzelnen Datensätzen einfach eine zusammenhängende Datensammlung erstellt wird. Denn wenn diese in einem textuellen Format vorliegt, ist sie von einem Menschen nur schwer zu verstehen. Weiterhin können die auftretenden Redundanzen nicht einfach erfasst, geschweige denn überhaupt genutzt werden.

Aus diesem Grund möchte ich mich in dieser Arbeit mit Visualisierungsformen auseinandersetzen, die eine menschenlesbare Sicht auf multisensorische Daten bieten. Zuerst sollen Visualisierungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Bei unterschiedlichen Ansätzen sollen diese bewertet werden.

Ergebnis dieser Betrachtungen wird ein plattformunabhängiges Framework zur Darstellung multisensorischer Daten. Dieses verwende ich dann prototypisch dazu, die eingangs erwähnte Problemstellung des S2-Offiziers zu bearbeiten und ihm eine, für seine Lageerstellung hilfreiche, Sicht auf die eingehenden Meldungen zu geben. Dabei soll die prototypische Implementierung allein durch die Visualisierung zur Beseitigung von Redundanzen beitragen.

1.3. Aufbau der Arbeit

Der Inhalt dieser Arbeit gliedert sich in drei Kapitel. In dem auf die Einführung folgenden zweiten Kapitel werden die verwendeten Technologien beleuchtet. Dazu zählen neben der verwendeten Programmiersprache und dem Format der Eingabedaten auch die verwendete Grafikklassenbibliothek und das zur Erstellung und Betreuung dieser Arbeit förderliche Online-Portal.

Im dritten Kapitel werden die theoretischen Hintergründe von multisensorischen Daten und Fusion dargelegt. In diesen Zusammenhang soll diese Arbeit eingeordnet werden. Da ein zentraler Aspekt im hier verwendeten Umgang mit multisensorischen Daten die Visualisierung dieser ist, sollen im dritten Kapitel ebenfalls Visualisierungsmöglichkeiten aufgezeigt werden.

Das vierte Kapitel dient der Darstellung des im Zuge dieser Arbeit erstellten Visualisierungsframeworks. Es wird im Aufbau und in der Verwendung beschrieben. Wichtig dabei sind vor allem das eigens für diesen Zweck geschaffene Datenmodell, sowie die vorgefertigte Benutzeroberfläche. Zentraler Aspekt dieser Arbeit ist der implementierte Prototyp, welcher der Visualisierung einer militärischen Lage dient und in dem Zusammenhang das Beseitigen von Redundanzen in multisensorischen Daten ermöglicht. Auch werden in diesem Abschnitt interessante mathematische und implementierungstechnische Details aufgezeigt.

Zum wesentlichen Verständnis der Arbeit reicht das Studium des vierten Kapitels, da es die Beschreibung von Design und Implementierung des im Zuge dieser Arbeit zu erstellenden Visualisierungsprototyps enthält. An Stellen, an denen Wissen aus anderen Abschnitten benötigt wird, wird auf diese verwiesen.

2. Verwendete Technologien

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Technologien, die im Laufe der Arbeit verwendet werden, vorgestellt und erläutert.

2.1. Java

Am Anfang der Arbeit stand die Wahl der Programmiersprache, die für die Implementierung verwendet werden sollte. Java in der Version 1.6 bot sich aus mehreren Gründen an.

Auf der einen Seite sprach ein ganz pragmatischer Grund dafür: Da Java im Rahmen der Vorlesung über Objektorientierte Programmierung gelehrt wurde, entfiel die Einarbeitungszeit. Auf der anderen Seite gibt es aber weitere Gründe für die Wahl. An die prototypische Implementierung wurde die Anforderung der Plattformunabhängigkeit gestellt. Dies spricht für die Wahl einer Sprache, die auf einer virtuellen Maschine basiert. Im Gegensatz zu einem Java-Programm müsste ein in C++ geschriebenes auf einem anderen Rechner neu kompiliert werden. Dies erhöht den Installationsaufwand und ist keine echte Unabhängigkeit.

Unter den Sprachen, die auf einer Virtuellen Maschine basieren, fällt aus Gründen der Plattformunabhängigkeit die .Net-Familie aus, da es sich hier um Microsoft- und somit betriebssystemspezifische Sprachen handelt. Weitere Gründe für die Wahl von Java waren existierende Klassenbibliotheken für die Verwendung von Extensible Markup Language (XML) (siehe 2.2) und die Arbeit mit Open Graphics Library (OpenGL) als Programmierschnittstelle für die dreidimensional Visualisierung.

Ein Nachteil von Java ist die Umsetzung von Graphical User Interface (GUI)-Elementen. Es gibt zwar mit Swing und Standard Widget Toolkit (SWT) leistungsfähige Bibliotheken. Das Layout der grafischen Benutzeroberfläche ansprechend zu gestalten, stellt sich

2. Verwendete Technologien

damit jedoch als schwierig heraus. Für die Umsetzung der grafischen Benutzeroberfläche wurde Swing gewählt, da es Bestandteil der mit Java ausgelieferten Klassenbibliothek ist.

Weiterhin ist die Verwendung von Java für die Arbeit mit 3D-Grafik umstritten (siehe [Dav05]). Ein großer Kritikpunkt ist dabei der Geschwindigkeitsverlust, der sich aus dem Interpretieren des Programms durch die Virtuelle Maschine ergibt. Wie stark dieser ins Gewicht fällt, ist fraglich. Da Geschwindigkeit für diese Arbeit aber nicht ausschlaggebend ist, kann dieser Kritikpunkt vernachlässigt werden.

2.2. XML

Die Daten für das Testen der prototypischen Entwicklung stammen von einem Gefechts-simulator. Sie sind im XML-Format abgespeichert. Um mit diesen Daten in Java arbeiten zu können, müssen sie in Java-Klassen überführt werden. An dieser Stelle kamen zwei Möglichkeiten in Frage: Auf der einen Seite hätte nur die prototypische Implementierung, die mit den Daten arbeitet, das Einlesen dieser implementieren können. Auf der anderen Seite ist die Funktionalität, aus XML-Dateien zu laden, auch in das entwickelte Framework implementierbar.

Weil sich XML für einen plattform- und implementierungsunabhängigen Datenaustausch eignet und heute zu diesem Zweck ein Quasistandard ist ([McI02]), fiel die Entscheidung, das Laden von Daten im XML-Format im Framework zu implementieren. Die gewählte Programmiersprache eignete sich für diesen Zweck besonders gut, da bereits fertige Parser-Bibliotheken mitgeliefert werden.

2.2.1. SAX-Parser

An dieser Stelle standen Document Object Model (DOM) und Simple Application Programming Interface for Extensible Markup Language (SAX) zur Auswahl. Beide haben Vor- und Nachteile. Welche Implementierung gewählt wird, hängt von dem zu lösenden Problem ab. Wird mit großen Datenmengen gearbeitet und müssen diese oft neu geladen werden, ist SAX im Vorteil, weil es sich dabei um eine sehr performante Umsetzung handelt. Ein großer Nachteil ist die eingeschränkte Traversierbarkeit der Daten. Das hängt

mit der Arbeitsweise des Parsers zusammen, da er nämlich ereignisgesteuert arbeitet. Das bedeutet, die XML-Datei wird sequentiell gelesen. Wird beispielsweise ein Element gefunden, wird eine Methode zur Verarbeitung von Elementen aufgerufen. Somit kann bei der Verarbeitung kein Rückschluss auf die Position eines Elements in der XML-Datei geschlossen werden. Genauso wenig kann auf Vorgänger, Nachfolger und Unterelemente explizit zugegriffen werden.

2.2.2. DOM-Parser

Der große Vorteil des DOM-Parsers ist eben die bei SAX nicht vorhandene Traversierbarkeit. Der Parser erzeugt beim Einlesen der XML-Datei einen Baum. Für jedes strukturelle Element der Daten wird ein Knoten erzeugt. Ein XML-Element ist ein Beispiel für einen solchen Knoten, aber auch ein Attribut. Auf diese Art und Weise ist es zum Einen möglich, sich komfortabel durch die Daten zu bewegen. Weiterhin kann man so das Lesen von XML-Dateien in das erstellte Framework zu integrieren und für jede Implementierung mit lediglich geringem Implementierungsaufwand eine Leseroutine umzusetzen. Das Framework ist dann in der Verantwortung die Elemente zu extrahieren, die einen Datensatz darstellen. Der Anwender des Frameworks bekommt dann die Knoten der Datensätze und liest eigenständig die von ihm benötigten Informationen aus. Aus diesem Grund wurde DOM für diese Arbeit ausgewählt.

DOM ist nicht so sehr für große Datenmengen geeignet, weil das Erzeugen der Baumstruktur vor allem speicherplatzintensiv ist. Dieser Nachteil wird aber zum Wohle des einfacheren Umgangs in Kauf genommen.

2.3. jMonkeyEngine

Die in Abschnitt 2.1 beschriebene Anforderung, einen plattformunabhängigen Prototyp zu entwickeln, machte die Abwägung zwischen DirectX von Microsoft und der Opensource-Alternative OpenGL als 3D-Grafikschnittstelle überflüssig. Nur letztere bot eine überzeugende Möglichkeit, auf einem nicht-Windows System zu funktionieren.

Nachdem dieser Entschluss feststand, musste eine Klassenbibliothek gesucht werden, die den Umgang mit OpenGL vereinfacht und im Zeitrahmen dieser Arbeit die Entwicklung

2. Verwendete Technologien

eines funktionsfähigen Prototyps ermöglicht. Die Wahl fiel dabei nach erster Recherche auf die sogenannte Java Monkey Engine (jME) in der Version 2. Der entscheidende Vorteil dieser Klassenbibliothek war die sehr kurze Einarbeitungszeit. Diese wurde vor allem dadurch begünstigt, dass für erste Testprogramme sehr wenig eigener Quellcode geschrieben werden muss.

Ein weiterer Vorteil der Engine war die Art und Weise, wie Zeichnen der anzuzeigenden Objekte organisiert ist. Die Klassenbibliothek bedient sich eines Baums, in dem die Objekte gespeichert werden, der sogenannte Szenenbaum. Dieser und andere Eigenarten sollen im Folgenden kurz Skizziert werden.

2.3.1. Szenenbaum

Diese Struktur dient zur Speicherung und Organisation von Objekten, die grafisch dargestellt werden sollen. Auf der einen Seite kann der Baum aus Knoten der *Node*-Klasse bestehen. Diese dienen der Strukturierung und werden nicht angezeigt. Auf der anderen Seite können Grafikobjekte in ihm gespeichert werden. Dies sind Instanzen von Klassen, die von der Klasse *Geometry* abgeleitet wurden. Welche Grundformen jME bereits mitliefert, ist in Abschnitt 2.3.3 beschrieben. Neben dreidimensionalen Objekten können aber auch Lichtquellen und die Kamera an den Szenenbaum angehängt werden.

Der Vorteil des Szenenbaums besteht darin, dass sich Änderungen auf einen Knoten automatisch auch auf seine Kinder auswirken. Im, in dieser Arbeit entwickelten, Visualisierungsprototypen sollen Kugeln die Datensätze (Kampfpanzer) darstellen. Von ihrem Zentrum geht ein Kegel aus, der die Reichweite der Panzer symbolisiert. Der genaue Hintergrund ist in den Abschnitten 3.2.3, 4.2.3 und 4.3.5 erläutert. Soll nun ein Datensatz ausgeblendet werden, weil er einem gesuchten Kriterium nicht entspricht, könnte man trivialerweise den Knoten, der die Kugel enthält, und den Knoten, der den Kegel darstellt, ausblenden.

Durch die Funktionsweise des Szenenbaums ist es aber einfacher, die beiden Objekte unter einem Knoten zu vereinigen, der den Namen des Objekts enthält. So muss nur dieser – nicht sichtbare – Knoten ausgeblendet werden. Kreis und Kugel werden automatisch nicht mehr mit angezeigt. Weitere Änderungen, die sich auf die Kinder auswirken, sind zum Beispiel Positionsänderungen, Drehungen im Raum und Änderung von sogenannten *RenderStates*. Diese kapseln Zustände, wie die Textur (Oberfläche) eines Objekts oder seine Durchsichtigkeit.

2.3.2. Kamera

Eine Kamera, in jME als *Camera*-Klasse umgesetzt, steht für den Blickpunkt des Beobachters. Was von der Kamera gesehen wird, kann der Benutzer auf dem Bildschirm dargestellt erkennen. Um festzulegen, was in das Blickfeld der Kamera fällt, muss diese initialisiert werden. Zum Einen müssen Position und Blickrichtung festgelegt werden. Weiterhin muss der von der Kamera betrachtete Raum spezifiziert werden. Dieser ist eine Pyramide mit rechteckiger Grundseite.

Zur genauen Definition des Sichtfeldes ist das Verhältnis von Breite und Höhe des Bildschirms wichtig, um keine ungewollten Verzerrungen zu erhalten. Weiterhin muss die Höhe und der Winkel, mit dem die Pyramide aufgespannt wird, angegeben werden. Der Betrachter steht dabei an der Spitze der Pyramide und schaut auf die Grundseite. Der Winkel stellt die Sichtfeldbreite dar, die Höhe steht für die Sichtweite.

2.3.3. Grafische Objekte

jME stellt bereits einige fertige geometrische Objekte in Form von Klassen bereit. Diese müssen im Bedarfsfall nur noch instanziiert werden. Auf der einen Seite gehören zu ihnen die zweidimensionale Scheibe, ein Viereck und ein Sechseck. Auf der anderen Seite gehören zu den dreidimensionalen Grundformen der Quader und sein an den Ecken abgerundetes Pendant, Kegel, Zylinder, Pyramide (mit viereckiger Grundfläche), Oktaeder und Ikosaeder. Weiterhin die Kugel, die Halbkugel, die Kapsel (wie sie von Medikamenten bekannt ist), ein dreidimensionaler Pfeil und ein aus drei Pfeilen gebildetes Achsenkreuz. Schlussendlich fehlen auch nicht die in der dreidimensionalen Computergrafik so beliebten Objekte Teekanne und Torus. Für Bilder und Beschreibungen sei auf [Láz08] verwiesen.

Weitere Objekte können durch Kombination aus den Grundformen, durch explizite Definition von Polygonen oder durch das Laden fertiger Modelle in jME verwendet werden.

Lageveränderung

Nachdem ein Objekt erzeugt wurde, ist es meist nötig, ihm einen Ort im dreidimensionalen Raum zuzuweisen. Manchmal ist es auch notwendig, ein Objekt zu drehen. Wichtig ist an dieser Stelle, dass beim Instanzieren eines Objekts keine Informationen über Position und Drehung mitgegeben werden können.

2. Verwendete Technologien

Positionierung Meist kann im Konstruktor eine Koordinate übergeben werden. Tut man dies, erscheint das Objekt auch an der gewünschten Stelle. Problematisch ist aber, dass dadurch nicht die Position verändert wurde, sondern der Mittelpunkt des Objekts. Dieser liegt nach wie vor auf dem Koordinatenursprung. Hier gibt es einen Konflikt zwischen den lokalen Koordinaten eines Objekts und den Weltkoordinaten. Aus diesem Grund sollte der Mittelpunkt eines Objekts immer bei (0, 0, 0) belassen werden, wenn man nicht explizit einen anderen Mittelpunkt benötigt.

Um ein Objekt richtig im Raum zu platzieren, wird mit Hilfe der Methode *setLocalTranslation()* die gewünschte neue Koordinate übergeben. Als Parameter der Methode dient ein dreidimensionaler Vektor.

Drehung Drehungen von Objekten im dreidimensionalen Raum sind rechenaufwendige Angelegenheiten. jME übernimmt diese Rechnungen, indem durch Angabe der gewünschten Drehwinkel als Vektor (x, y, z) ein Quaternion erzeugt wird. Die Werte werden in Bogenmaß angegeben und beziehen sich auf Drehungen um die jeweiligen Achsen. Für die Bedeutung eines Quaternions in diesem Zusammenhang sei auf [Sho85] verwiesen.

Mit dem erstellten Quaternion kann die Methode *setLocalRotation()* des zu drehenden Objekts aufgerufen werden.

Oberflächengestaltung

Die Oberfläche von Objekten kann in vielerlei Art und Weise angepasst werden. Zwei dieser Möglichkeiten sind im Folgenden kurz vorgestellt.

Texturen Texturen stellen die Oberfläche von Objekten dar. Notwendig wird dies zum Beispiel, wenn eine Kugel in einer bestimmten Farbe dargestellt werden soll. Der triviale Ansatz, eine gewünschte Farbe zuzuweisen, scheitert. Diese Farbe ist nur ohne Einfluss von Lichtquellen sichtbar. Ohne den Einfluss dieser sind aber keinerlei Konturen zu erkennen und die räumliche Vorstellung eines Gegenstands geht verloren.

Texturen sind der Ausweg aus diesem Problem. Um eine Kugel rot zu färben, muss lediglich eine Grafik, zum Beispiel eine Portable Network Graphics (PNG) Datei, erstellt

werden, die in dieser Farbe ausgefüllt ist. Die Größe kann auf ein Minimum (1x1 Pixel) beschränkt werden. Aus der Grafik kann ein *Texture*-Objekt mit Hilfe eines *TextureManagers* erstellt werden. Diese kann nach der Umwandlung in eine *RenderState*-Instanz der Kugel zugewiesen werden. Diese ist daraufhin rot und als Kugel zu erkennen, im Gegensatz zum trivialen Ansatz, ihr nur eine Farbe zuzuweisen.

Transparenz Das Erzeugen durchsichtiger Objekte funktioniert ähnlich wie das oben beschriebene Anlegen einer Textur. Nur bedient man sich hier nicht einer Textur zum Erzeugen einer *RenderState*-Instanz, die dem Objekt zugewiesen wird. Das Mittel der Wahl ist ein *MaterialState*- und ein *BlendingState*-Objekt. Bei der Erstellung der *MaterialState*-Instanz wird unter anderem die Durchsichtigkeit bzw. die Solidität übergeben. Der Wert darf sich im Intervall $[0, 1]$ bewegen. Null bedeutet, dass das Objekt unsichtbar ist, eins hingegen, dass es vollkommen undurchsichtig dargestellt wird.

2.3.4. Licht

jME unterscheidet in Lichtarten und Lichtquellen. Beide Kategorien sollen hier kurz dargestellt werden.

Lichtquellen

Es gibt drei Arten von Lichtquellen. Die erste Art ist die punktförmige Lichtquelle (*PointLight*). Sie besitzt eine Position, von der sich das Licht in alle Richtungen ausbreitet. Die Intensität nimmt standardmäßig mit der Entfernung von der Lichtquelle ab. Weiterhin gibt es das gerichtete Licht (*DirectionalLight*). Es leuchtet unendlich weit und hat keine Position, sondern nur einen Vektor, der angibt, in welche Richtung die Lichtstrahlen fallen. Vergleichbar ist diese Art der Lichtquelle mit der Sonne, von der Erde aus betrachtet. Zwar leuchtet die Sonne nicht unendlich weit, doch für die auf der Erde auftretenden Entfernungen im Verhältnis zur Entfernung zur Sonne kann dieser Fakt vernachlässigt werden. Die dritte Lichtquelle ist ein Lichtkegel (*SpotLight*). Wie der Name es andeutet, ist dies ein Kegel, der alles beleuchtet, was sich in ihm befindet. Seine Leuchtkraft nimmt standardmäßig ebenso ab wie bei einer punktförmigen Lichtquelle.

Lichtanteile

Das von den oben beschriebenen Lichtquellen ausgehende Licht besitzt drei Anteile, die vor allem im Hinblick auf ihre Farbe verändert werden können. Zuerst ist da das Raumlicht (*Ambient Light*), das angibt in welcher Intensität und Farbe die Bereiche dargestellt werden sollen, die weder direkt noch indirekt beschienen werden (zum Beispiel Schlagschatten). Als Nächstes gibt es das nichtgerichtete Licht. Es handelt sich hierbei um die diffuse Lichteinstrahlung. Der letzte Lichtanteil ist das reflektierte Licht (*Specular Light*). Dies ist die reflektierte Lichteinstrahlung. Je intensiver diese Art ausgeprägt ist, umso spiegelnder erscheinen Oberflächen.

2.4. Google Code

Bei der Entwicklung des praktischen Anteils dieser Arbeit bestand die Notwendigkeit, die erstellten Daten sicher abzulegen. Dafür eignet sich unter anderem die Arbeit auf einem Terminal-Server, wie er von der Universität der Bundeswehr angeboten wird. Dies ermöglicht, von unterschiedlichen Orten aus und an unterschiedlichen Rechnern zu arbeiten. Nachteil dieser Lösung ist jedoch, dass ein Speichern unterschiedlicher Versionen des erstellten Programms und auch dieser Arbeit nur schwer möglich ist.

Aus diesem Grund wurde für das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Programm, aber auch für die schriftliche Ausarbeitung, ein Versionierungssystem verwendet. Aus der Lehre bereits bekannt war Subversion. Es wurde auch hier wegen der nicht mehr notwendigen Einarbeitung gewählt.

Google stellt auf seinem Portal GoogleCode die Möglichkeit bereit, ein Projekt mit Hilfe von Subversion zu versionieren. Dieser sogenannte *Project Hosting Service* hat zudem noch weitere Vorteile als nur eine komfortable Datensicherung: Der Projektstand kann online dokumentiert werden. Somit wird es möglich, den Betreuer dieser Arbeit auf dem neusten Stand zu halten. Er kann über das Abonnieren eines Really Simple Syndication (RSS)-Feeds jederzeit Änderungen Nachverfolgen. Weiterhin bietet Google ein Wiki an, was die Vorstellung und die Dokumentation des Programms ermöglicht. Zusätzlich gibt es eine Downloadverwaltung, in der Testversionen, Screenshots und ähnliches zur Verfügung gestellt werden können.

Wie oben angesprochen, wurde nicht nur der praktische Teil der Arbeit, also der Quellcode, über das Versionierungssystem gesichert. Auch die schriftliche Ausarbeitung in Form

des Rohzustands (T_EX-Dateien) und des fertigen Portable Document Format (PDF)-Kompilats wurde im Googleprojekt gespeichert.

Zusammenfassend sind die Vorteile des oben geschilderten Vorgehens, dass der Quellcode und die schriftliche Ausarbeitung zuverlässig gesichert werden konnten. Der Zugriff war ortsunabhängig über das Internet möglich. Mit Hilfe der Versionierung konnte nach Experimenten auf stabile Versionen zurückgegriffen werden. Durch RSS-Feeds war es dem Betreuer jederzeit möglich, den aktuellen Stand der Arbeit zu betrachten und die im Downloadbereich befindliche Version zu testen.

3. Multisensorische Daten und ihre Visualisierung

In diesem Kapitel soll zuerst der Zusammenhang zwischen dem Thema dieser Arbeit und den dafür relevanten theoretischen Grundlagen dargelegt werden. Darauf folgend sollen Möglichkeiten der Datenvisualisierung aufgezeigt werden. Einige davon sind in der prototypischen Implementierung umgesetzt, andere wurden nicht aufgenommen. Die Gründe dafür sollen an geeigneter Stelle dargelegt werden.

3.1. Theoretische Einordnung

In diesem Abschnitt soll die theoretische Einordnung der Arbeit erfolgen. An erster Stelle steht dabei die Erläuterung multisensorischer Daten anhand eines einfachen Beispiels. Anschließend soll mit dessen Hilfe der Begriff *Multisensor Data Fusion* definiert und der praktische Teil dieser Arbeit in den theoretischen Kontext eingeordnet werden.

3.1.1. Multisensorische Daten

Der Begriff der *multisensorischen Daten* existiert in der Literatur nicht losgelöst. Interessant ist er nur in Verbindung der Fusion von Daten. Trotzdem soll an dieser Stelle eine kurze begriffliche Betrachtung stehen.

Ein kleines Beispiel verdeutlicht sehr gut, worum es hier geht: Man stelle sich einen Tisch vor, auf dem zwei brennende Kerzen stehen. Davor befinden sich drei Beobachter. Jeder soll unabhängig von den anderen jeden Gegenstand, den er sieht, auf je einem Blatt Papier beschreiben. Bei den entstehenden Dokumenten handelt es sich um eine Form von

3. Multisensorische Daten und ihre Visualisierung

multisensorischen Daten. Ein Datum ist dabei eine Beschreibung eines Gegenstandes. Ein Sensor ist jeweils einer der Beobachter. Dies ist ein Ansatz, sich der Thematik zu nähern.

Ein anderer Ansatz könnte mit einer Person und einer Kerze gemacht werden. Denn der Mensch, oder besser seine Sinne liefert schon multisensorische Daten. Die Person sieht eine Lichtquelle und fühlt eine Hitzequelle. Diese beiden Beobachtungen sind die Daten, die Sensoren sind Tastsinn und Sehsinn.

Multisensorische Daten, wie oben geschildert sind, aber in der Theorie und Praxis nicht von Bedeutung, wenn sie für sich genommen werden. Schlüssige Informationen daraus sind nämlich nicht möglich, ohne die redundanten Eingangsdaten zu interpretieren. Dieser Vorgang, man spricht von *Multisensor Data Fusion*, soll in Abschnitt 3.1.2 erläutert werden.

Vorteile In [WL90] werden neun Vorteile von multisensorischen Systemen (und den von ihnen gelieferten Daten) aufgezählt. Eine Auswahl soll hier sinngemäß wiedergegeben werden:

1. **Robustheit:** Informationen können weiter gesammelt werden, auch wenn ein oder mehrere Sensoren keine Daten mehr liefern.
2. **Räumlich weitreichende Abdeckung:** Daten, die vielleicht nur von einem oder ein paar Sensoren gesehen werden, würden nicht entdeckt, wenn nur ein einzelner Sensor fehlt.
3. **Zeitlich weitreichende Abdeckung:** Nicht jeder Sensor steht zu jeder Zeit zur Verfügung. Bei zeitlichem Versatz und Überlappung kann eine dauerhafte Datensammlung betrieben werden.
4. **Gesteigerte Informationssicherheit:** Wird ein Datum durch mehrere Sensoren erfasst, verringert sich die Wahrscheinlichkeit eines Messfehlers.
5. **Erhöhte Informationsdichte:** Die Auflösung, mit der mehrere Sensoren ein Gebiet abtasten können, ist höher als die Auflösung eines einzelnen Sensors.

Diese Reihe von Vorteilen zeigt, dass die Datensammlung mit mehreren Sensoren durchaus betrieben werden sollte. Die entstehenden Daten bieten vor allem durch ihre Redundanzen quantitativ und qualitativ bessere Informationen als die eines einzelnen Sensors.

Nachteile Die oben angesprochene Redundanz ist zugleich der größte Nachteil von multisensorischen Daten. Wie sich das äußert, sei noch mal an dem in Abschnitt 3.1.1 angeführten Beispiel erläutert: Die schriftlich gesammelten Daten der drei Beobachter werden an eine Person weitergegeben, die sich zum Zeitpunkt der Beobachtungen an einem anderen Ort aufhält. Diese Person soll aus den Daten schließen, was sich auf dem Tisch befand. Sie hat dabei keine Informationen, welche Daten von welchem Beobachter stammen. Ebenfalls ist unbekannt, wie viele Beobachter überhaupt beteiligt waren.

Aus den Daten könnte die auswertende Person schließen, dass sich sechs Kerzen auf dem Tisch befanden. Dies ist ein völlig falsches Bild und der Grund für die Fehlinterpretation ist die Redundanz der Daten, die nicht beseitigt wurde. Nur wenn Datensätze, die zu *einem* realen Objekt gehören, zusammengeführt werden, kann man die Vorteile von multisensorischen Daten nutzen.

3.1.2. Multisensor Data Fusion

Um die Redundanz aus den von mehreren Sensoren gewonnenen Daten herauszufiltern, müssen die Datensätze fusioniert werden. Die theoretischen Hintergründe zu dem *Multisensor Data Fusion* genannten Vorgang sind im Folgenden dargelegt.

Begriffsbestimmung Der Begriff *Fusion* kann wie folgt definiert werden:

„[Fusion is] the integration of information from multiple sources to procedure specific and comprehensive unified data about an entity“ [HL97]

Aus dieser Definition kann geschlossen werden, dass durch die Fusion von Daten nicht nur ungewollte Redundanzen beseitigt werden können. Es wird auch ein Informationsgewinn erreicht, der auf den Vorteilen mehrerer Sensoren beruht (siehe Abschnitt 3.1.1), frei nach Aristoteles: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile.“. Datenfusion ist ein Prozess, der nach [WL90] drei Aspekte in sich vereint:

- Datenfusion läuft auf unterschiedlichen Ebenen ab. Die fünf unterschiedlichen *Level* beziehen sich auf den unterschiedlich hohen Abstraktionsgrad der Daten. Sie sind im nächsten Abschnitt beschrieben.
- Datenfusion schließt die Vorgänge der Erkennung, Assoziation, Korrelation, Beurteilung und Vereinigung von Daten ein.

3. Multisensorische Daten und ihre Visualisierung

- Das Ergebnis des Prozesses umfasst Abschätzungen zu Identifikation und Eigenschaften von Daten, bis hin zu Erkenntnissen über komplexe Lagen oder Situationen.

Datenfusion findet in vielen Bereichen, vor allem beim Militär, Anwendung. Beispiele werden in [Hal92] aufgezeigt. Dazu gehören unter anderem die Überwachung der Meere, Luftverteidigung (durch Boden- und durch Lufteinheiten), Aufklärung auf dem Gefechtsfeld, strategische Luftaufklärung, Suche nach Bodenschätzen, Diagnostik in der Medizin und vor allem Robotik.

Fusion Level Die Datenfusion kann, wie im ersten Aspekt oben bereits angesprochen, in insgesamt fünf unterschiedliche Ebenen unterteilt werden. Grundlage dafür ist das vom Joint Directors of Laboratories (JDL) entwickelte Prozessmodell ([Hal92]). Der Abstraktionsgrad erhöht sich mit aufsteigender Stufennummer. Für die praktische Anwendung von Datenfusion sind vor allem die ersten drei Stufen relevant.

- Level 1 – Object Assessment: Bestimmung der Identität und der Eigenschaften eines Objekts.
- Level 2 – Situation Assessment: Bewertung einer Lage einschließlich der Bestimmung von Beziehungen zwischen Objekten, zwischen den Objekten und ihrer Umgebung und ihrer Bedeutung.
- Level 3 – Impact Assessment: Entwicklung der gegenwärtigen Lage in die Zukunft und damit verbundene Auswirkungen (zum Beispiel Bedrohungen).

Die in dieser Arbeit umgesetzte Fusion durch Visualisierung soll im nächsten Abschnitt in dieses Modell eingeordnet werden.

Einordnung der Arbeit Der Sachverhalt des S2-Offiziers, welcher Meldungen aus dem Gefechtsfeld bekommt und diese zu einer großen Lage zusammenfügt, könnte, da er schließlich *eine Lage* erstellt, sehr einfach in die zweite Ebene eingeordnet werden. Diese Einschätzung ist jedoch falsch, denn um auf dieses Level zu kommen, muss die Redundanz in den Objekten beseitigt sein, und genau das ist schließlich erst das Ziel. Dies ist das erste Problem bei der Einordnung.

Ein weiteres Problem entsteht durch die Sensoren, welche die Daten für die Visualisierung und damit für die Fusion liefern. Es handelt sich (in der Realität im Gegensatz

zum Gefechtssimulator) entweder um Menschen oder Computer, die sich in militärischen Fahrzeugen befinden. Wenn diese zum Beispiel ein gegnerisches Fahrzeug erkannt haben und dieses melden, ist bis dahin bereits Datenfusion geschehen. Der jeweilige Mensch (oder Computer) hat Daten gesammelt und zu einer Meldung eines Objekts fusioniert. Da hier eine Identifikation und eine Bestimmung der Eigenschaften vorgenommen wurden, handelt es sich bei diesem Vorgang um Level 1 Fusion.

Diese Daten werden nun an den S2-Offizier übermittelt. An dieser Stelle würde nach dem JDL Prozess ein System die Daten, die ermittelt wurden, zusammenführen. Ziel dieser Arbeit war jedoch, diesen Schritt durch Visualisierung vom S2-Offizier selbst durchführen zu lassen.

An dieser Stelle entsteht ein Bruch zwischen dem JDL Prozess und dem hier verfolgten Ansatz. Im ursprünglichen Prozess ist die erste große Hürde, die Daten der unterschiedlichsten Sensoren (Radar, visuelle Sensoren, Infrarot, Schall) zu korrelieren. Nachdem der Schritt geschafft ist, ist die Verwaltung unterschiedlicher Meldungen nur noch eine Nebensache. In dieser Arbeit wird aber genau dieser Aspekt in den Vordergrund gerückt.

Weil der S2-Offizier mit der Aufgabe betraut ist, die Redundanzen zu beseitigen und das Erzeugen einer Lage vorzubereiten, ist die visuelle Fusion immer noch auf der ersten Ebene. Der nächste Schritt ist darauf folgend die Aggregation von Daten, in diesem Fall das Zusammenfassen von einzelnen gegnerischen Panzern zu Zügen, diese zu Kompanien usw. bis auf die jeweilig betrachtete Gliederungsebene.

3.2. Visualisierungsmöglichkeiten

Im Gegensatz zur in [HL97] definierten Datenfusion soll die Beseitigung von Redundanzen in dem implementierten Prototyp durch eine geschickte Visualisierung der Daten erfolgen. Beispiele dafür werden im Folgenden erläutert. Einige finden sich in der Implementierung wieder, manche können noch ergänzt werden. An manchen Stellen musste aber eine klare Abwägung getroffen werden. Konsequenz war, dass sich bestimmte Visualisierungsarten nicht oder nur bedingt eignen.

3.2.1. Darstellung der Dimensionen

Eine wichtige Entscheidung bei der Visualisierung von Daten ist, in wie vielen Dimensionen die Daten dargestellt werden sollen. Ist dies festgelegt, stellt sich die Frage, welche Eigenschaft der Daten auf welche Dimension abgebildet werden soll.

Dreidimensionale Darstellung

Ziel der praktischen Arbeit ist die dreidimensionale Darstellung von Datensätzen aus einem Gefechtssimulator. Diese Art der Datenanzeige bietet die höchste Flexibilität, jedoch kommt man bei der Abbildung von Eigenschaften auf Dimensionen zu einem Problem: Datensätze, die reale Gegenstände beschreiben, haben meistens mehr als drei Eigenschaften, die sich für ihre Positionierung eignen. Im Allgemeinen wird der Ort eines Datums durch drei Koordinaten im Raum festgelegt. Zusätzlich gibt es bei Datensätzen, die eine Sichtung beschreiben, eine Zeitangabe. Diese sagt, wann die Sichtung stattgefunden hat. Für die dreidimensionale Darstellung müssen drei der vier Eigenschaften ausgewählt werden.

Länge-Breite-Höhe Eine mögliche Alternative ist die Vernachlässigung der Zeit. Diese Auswahl ist für das gestellte Problem nicht zielführend, denn durch die fehlende Zeitkomponente können Redundanzen nicht erkannt werden. Sie werden sogar gefördert. Zwei Objekte zu zwei unterschiedlichen Zeiten könnten als vier Objekte interpretiert werden. Genau diese Fehlinterpretation sollte verhindert werden und die Auswahl ist aus diesem Grund nicht geeignet.

Länge-Breite-Zeit Die andere mögliche Alternative ist die Vernachlässigung der Höhe als Positionsangabe. Zugunsten dieser kann dann die Zeit dargestellt werden. Auch hier gibt es einen Informationsverlust. Die Auswirkungen werden in Abschnitt 4.3.3 beschrieben. Für das Beseitigen von Redundanzen fällt das Weglassen der Höhe jedoch im Falle eines Gefechtssimulators nur beschränkt ins Gewicht. Landeinheiten befinden sich selten übereinander, dadurch können keine zusätzlichen Redundanzen entstehen.

Die Darstellung der Zeit als dritte Dimension (in die Höhe) bietet zwei klare Vorteile. Auf der einen Seite können in einer großen dreidimensionalen Visualisierung die unterschiedlichen Momentaufnahmen einer Lage dargestellt werden. Es ist somit eine visuelle

Lageentwicklung aus einem statischen Bild ablesbar. Auf der anderen Seite kann die Bewegungsreichweite einer Einheit anhand ihrer Maximalgeschwindigkeit veranschaulicht werden. Wie das dargestellt werden kann, wird in den Abschnitten 3.2.3, 4.2.3 und 4.3.5 erläutert.

Vierdimensionale Darstellung

Die im letzten Abschnitt aufgezeigten Auswahlmöglichkeiten für eine dreidimensionale Visualisierung haben beide den Nachteil, dass man einen Informationsverlust in Kauf nehmen muss. Eine Möglichkeit dies zu vermeiden, wäre eine vierdimensionale Darstellung. Zum einen ist die menschliche Vorstellungskraft nicht unbedingt in der Lage, eine solche Visualisierung zu verstehen. Außerdem benötigt man schon für die dreidimensionale Darstellung mindestens eine zweidimensionale Projektionsfläche. Für die vierte Dimension müsste man mindestens eine echte 3D-Darstellung haben, dies ist ohne spezielle Technik nicht möglich und entfällt darum.

Es gibt aber dennoch eine Variante, alle drei Lageinformationen (Länge, Breite und Höhe), sowie die Zeit, darzustellen. Dazu werden zuerst die drei Dimensionen für die genaue Umsetzung der Position genutzt. Danach wird die Zeit visualisiert. Eine sehr einfache und eingängige Art ist die Nutzung von Transparenz. Die neusten Informationen werden dann völlig undurchsichtig angezeigt und mit dem Alter wird die Transparenz erhöht. Auf diese Weise können alle vier Informationen dargestellt werden. Problematisch ist nur, dass die Möglichkeit einer Reichweitenanalyse durch Visualisierung ungemein schwerer, wenn nicht sogar unmöglich wird. Statt dem Kegel müsste eine Kugel dargestellt werden, die im Zentrum nicht sichtbar ist und deren Transparenz nach außen kontinuierlich nachlässt, so dass sie auf ihrer Oberfläche undurchsichtig ist. Um festzustellen, ob zwei Objekte zueinander gehören, müsste man ihren Transparenzgrad vergleichen. Für kleine Zeitunterschiede ist dies aber nicht machbar. Aus diesem Grund ist eine vierdimensionale Visualisierung sicher ein interessanter Ansatz, der hat aber nur einen geringen Wert für die Lösung der Aufgabe.

Niederdimensionale Ansätze

Für die Problemstellung dieser Arbeit sicher nicht zielführend, aber dennoch erwähnenswert sind niederdimensionale Ansätze. Unzweckmäßig sind sie, weil schon bei einer dreidimensionalen Darstellung von Gefechtssimulatordaten Informationen verloren gehen.

3. Multisensorische Daten und ihre Visualisierung

Es gibt aber Fragestellungen, bei denen sie vielleicht eine Rolle spielen könnten. Auch gibt es anders geartete Probleme, bei denen weniger zu visualisierende Eigenschaften vorliegen, sodass eine ein- oder zweidimensionale Darstellung ausreicht.

Zwei Dimensionen Eine mögliche Anwendung für diese Ansicht ist die Vernachlässigung der Zeit, wenn die Frage zum Beispiel lautet, in welchem Raum die meisten Sichtungen auftreten. In diesem Fall genügt eine zweidimensionale Darstellung.

Eine andere Anwendung ist die Frage nach der Lageentwicklung in Angriffsrichtung. Dabei kann die Breite des Gefechtsfelds vernachlässigt werden. Es interessiert nur, in welcher Zeit der Gegner mit wie vielen Einheiten vorstößt.

Eine Dimension Sicher gibt es sehr speziell geartete Fragestellungen, die eine Visualisierung von Daten auf einer Linie nötig machen. Man könnte zum Beispiel Datensätze aus einem Netzwerk darstellen. Wenn die Datensätze eine Media Access Control (MAC)-Adresse umfassen, kann diese dazu benutzt werden, die Daten auf einer Linie anzuordnen. Dazu ist ein geeigneter Homomorphismus von dem Bereich der Adressen auf die reellen Zahlen notwendig. Ablesbar wäre dann zum Beispiel gehäuftes Auftreten von Hardware eines bestimmten Herstellers.

Sowohl die ein- als auch zweidimensionale Darstellung kann in bestimmten Anwendungsgebieten und bei machen Fragestellungen notwendig sein. Meistens lässt sich diese Art der Visualisierung aber auch durch geeignete Position der Kamera erreichen (siehe Abschnitt 4.2.3).

3.2.2. Darstellung der Datensätze

Neben der Art und Weise wie Eigenschaften von Daten auf die Dimensionen übertragen werden können, ist der nächste wichtige Aspekt der Visualisierung, wie ein Datensatz und seine Eigenschaften dargestellt werden.

Formen

Unter der Form ist hier die geometrische Darstellung eines Datums zu verstehen. Dabei gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, der Kreativität sind praktisch keine Grenzen

gesetzt. Für den implementierten Prototyp haben sich Kugeln als zweckmäßig erwiesen. Sie haben den Vorteil, dass sie sehr einfach zu instanziiieren, zugleich aber auch noch anschaulich sind. Ihr Nachteil besteht in der Aufwendigkeit ihrer Darstellung. Da alle Objekte aus Polygonen konstruiert werden, ist eine Kugel nie ganz rund. Zwar kann die Anzahl an Polygonen, aus denen eine Kugel gefertigt wird, erhöht werden, aber das führt bei vielen Datensätzen zu erheblichen Ladezeiten.

Alternativ könnten Würfel oder Quader zur Visualisierung verwendet werden. Diese haben aber den Nachteil, dass sie ein falsches Bild vermitteln könnten. Denn in der dreidimensionalen Darstellung sind die geometrischen Objekte nur die Visualisierung eines Datenpunkts und nicht ein echtes Objekt mit räumlichen Ausmaßen.

Dasselbe Problem, aber eine bessere Anschauung der angezeigten Daten hätte die Verwendung von vorgefertigten Modellen. So könnten für die Visualisierung von Panzern tatsächlich Panzer angezeigt werden. Die Erstellung der Modelle steht aber vom Aufwand her in keiner Relation zum Nutzen durch die verbesserte Anschauung des Problems.

Visualisierung von Eigenschaften

Damit die Visualisierung von Datensätzen wirklich nutzbringend ist, sollten möglichst viele seiner Eigenschaften auf den ersten Blick ersichtlich sein. Möglichkeiten dazu gibt es viele. Im Folgenden sollen einige aufgezeigt werden. Wichtig ist jedoch auch bei dem größten Informationsbedarf, dass die Übersichtlichkeit gewahrt bleiben muss. Weiterhin sollte bei der Wahl von Visualisierungsmitteln für Eigenschaften das Gesetz von Miller (aus [Mil94]) beachtet werden. Es besagt, dass das Kurzzeitgedächtnis nur 7 ± 2 Informationen behalten kann. So sollten zum Beispiel nicht mehr als sieben Farben zu Visualisierung verwendet werden.

Texturen Texturen, wie in Abschnitt 2.3.3 erläutert, dienen dazu, Objekte farblich darzustellen. Sie sind besonders geeignet, Eigenschaften darzustellen, die nur eine endliche Menge an Werten annehmen können. So kann die Information, ob eine Einheit Freund oder Feind ist, sehr gut über einen Farbcode dargestellt werden. Üblicherweise bieten sich dafür die Farben blau für verbündete und eigene Kräfte, rot für Feinde und grün für neutrale Einheiten an. Ebenso lässt sich zum Beispiel die Darstellung der Art einer Meldung über Farben lösen. Die Umsetzung im Prototyp ist in Abschnitt 4.2.3 beschrieben.

3. Multisensorische Daten und ihre Visualisierung

Um mehrere Eigenschaften über Farben zu visualisieren, kann die wichtigste Eigenschaft die Farbe bestimmen. Eine andere Eigenschaft kann auf die Helligkeit, in der die Farbe angezeigt wird, Einfluss nehmen.

Pfeile Zur Visualisierung von vektoriellen Eigenschaften, wie Blickrichtung (Eigenschaft ohne einen Betrag) oder Geschwindigkeit (Eigenschaft mit Betrag), können Pfeile verwendet werden, die entweder eine einheitliche Länge haben oder deren Länge dem Betrag der Größe entspricht, welche visualisiert werden soll.

Beschriftungen Zur Darstellung von Eigenschaften können auch auf oder neben dem Datensatz eingeblendete Texte verwendet werden. Dieses Mittel eignet sich jedoch nicht besonders gut, da die Zeit zum Erfassen der Information relativ hoch ist, weil der Text gelesen werden muss. Auch wird die Visualisierung sehr schnell unübersichtlich.

3.2.3. Informationsgewinnung durch Visualisierung

Zusätzlich zum Erfassen von Daten durch den Benutzer kann die Visualisierung auch zur Informationsgewinnung beitragen. Möglich ist dies, indem die Daten ausgewertet werden und grafisch Zusatzinformationen eingeblendet werden. Diese ermöglichen weitere Schlüsse aus den Daten über die Daten. Als Beispiel soll hier die Reichweitenanalyse dienen. Sie wurde bereits in Abschnitt 3.2.1 angesprochen.

Bewegungskegel

Bewegungskegel visualisieren die Reichweite einer Einheit in Abhängigkeit ihrer Maximalgeschwindigkeit. Sie ermöglichen eine Aussage darüber, welche Meldungen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten gemacht wurden, wahrscheinlich zu ein und derselben Einheit gehören. Gesicherte Informationen können jedoch nur darüber gewonnen werden, ob zwei Meldungen zu unterschiedlichen Einheiten gehören. Dies ist der Fall, wenn sich die eine außerhalb des Kegels der anderen Einheit befindet. Für weitergehende Informationen sei auf Abschnitt 4.2.3 und 4.3.5 verwiesen.

Zugehörigkeitslinien

Die Bewegungskegel haben den Nachteil, dass die Einblendung mehrerer solcher schnell die Übersichtlichkeit einschränkt. Aus diesem Grund kann man alternativ mit Linien arbeiten. Rechnerisch wird von jedem Datum aus bestimmt, welches andere Datum sich in seinem Kegel befindet. Wie diese Berechnung erfolgt, ist in Abschnitt 4.3.5 beschrieben. Alle Daten, die sich rechnerisch im Kegel befinden, werden nun mit dem Datum, das an der Spitze des Kegels steht, verbunden. Der Kegel muss nun nicht mehr eingeblendet werden, die wahrscheinliche Zusammengehörigkeit ergibt sich aus den Linien. So können Bewegungen von Objekten aus einer statischen Ansicht nachvollzogen werden. [IMG]

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

In diesem Kapitel werden der Entwurf eines Visualisierungsframeworks und eine prototypische Implementierung auf dessen Basis beschrieben. Dazu werden die einzelnen Komponenten des Frameworks erklärt und ihr Zusammenspiel erläutert. Basierend auf dem Wissen über die Bestandteile können die Möglichkeiten der Erweiterbarkeit und der Individualisierbarkeit skizziert werden. Die Grundlage hierfür stellt eine prototypische Implementierung einer Visualisierung einer militärischen Lage.

Abschließend werden interessante Aspekte der Implementierung aufgezeigt, die neben den umgesetzten Implementierungsentscheidungen auch andere Wege aufzeigen sollen.

Dem Leser, der sich vorrangig für den entstandenen Prototyp interessiert, sei der Abschnitt 4.2 empfohlen. Die Details des Frameworks sollten für das Verständnis des Funktionsumfangs und die Bedienung keine Rolle spielen, können aber bei Bedarf nachgeschlagen werden.

4.1. Entwurf eines Visualisierungsframeworks

Das Ergebnis dieser Arbeit soll nicht nur eine potentielle Visualisierungs-Umgebung sein, sondern ein Framework. Es soll zum einen die Möglichkeit bieten, mit geringem Aufwand Daten anzeigen zu können, auf der anderen Seite aber umfangreiche Erweiterungsmöglichkeiten zulassen. Wie das Framework konkret entworfen und umgesetzt wurde, soll im Folgenden dargestellt werden.

4.1.1. Eingabedaten und Datenmodell

Grundlage für die weitere Arbeit sollen Eingabedaten sein, die bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Diese gestellten Bedingungen werden im Folgenden kurz beschrieben. Darauf basierend wird das Datenmodell erläutert, in das die Quelldaten überführt werden sollen.

Eingabedaten

Um Daten dreidimensional visualisieren zu können, müssen diese bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Diese sollen hier kurz aufgezeigt werden.

Identifizierbarkeit Unabhängig von der Art der Visualisierung ist es unabdingbar, dass jedes einzelne Datum identifizierbar ist. Aus diesem Grund sollte in den Quelldaten bereits eine eindeutige Benennung vorliegen. Sollte das nicht der Fall sein, muss dieser Misstand spätestens beim Importieren der Daten behoben werden.

Probleme, die sich ergeben können, wenn diese Bedingung nicht beachtet wird, sind zum einen, dass keine aussagekräftigen Berechnungen auf den importierten Daten durchgeführt werden können. Zum anderen ist die Markierung eines gezielten Datensatzes unmöglich.

Lokalisierbarkeit Aus dem Ziel, die Eingabedaten im dreidimensionalen, kartesischen Raum darzustellen, ergibt sich eine ganz logische Voraussetzung: Es sollte mindestens für jede der drei Dimensionen eine Eigenschaft der Daten existieren, die eine Positionierbarkeit möglich macht. Zwar ist es genauso möglich, die Daten auf einer Linie anzuordnen und somit nur eine Positionierungseigenschaft vorauszusetzen oder sich analog auf den zweidimensionalen Raum zu beschränken. Der daraus resultierende Informationsverlust muss aber in Kauf genommen werden.

Die Voraussetzungen an den Typ, der für die Lokalisierung herangezogenen Eigenschaften, sind nicht sehr streng. Es ist zielführend, wenn es sich hier um kontinuierliche oder zumindest diskrete oder ganzzahlige Größen handelt. Ist dies nicht der Fall, so müssen diese lediglich zur Berechnung der Anzeigekoordinaten mit einer geeigneten Abbildungsvorschrift umgerechnet werden.

<i>mittelbar geeignet</i>	<i>unmittelbar geeignet</i>
Internet Protocol (IP) Adressen	Entfernungsangaben
MAC Adressen	Ortsangaben (Länge/Breite)
Zeichenketten allgemein	Zeitangaben

Tabelle 4.1.: Beispiele für unmittelbar und mittelbar geeignete Größen

Weitere Eigenschaften Die Darstellung von Daten im dreidimensionalen Raum, lediglich basierend auf der Position und dem Namen, bietet noch keine hohe Anschaulichkeit. Um die in Abschnitt 3.2 dargestellten Visualisierungen auch verwenden zu können, braucht es weitere Eigenschaften, die in optische Information umgewandelt werden kann.

Die Art der Daten, die für solche zusätzliche Veranschaulichung verwendet werden kann, muss nicht genau spezifiziert werden. Trotzdem gibt es Typen, die sich für bestimmte Visualisierungsmöglichkeiten besser eignen. Als einfaches Beispiel seien hier Aufzählungsdattentypen genannt, die sich geradezu anbieten, die Objekte in unterschiedlichen Farben darzustellen. Dabei können auch unterschiedliche Enumerationen gleichzeitig visualisiert werden, indem pro Eigenschaft eine Farbe verwendet wird, die je nach Wert der Eigenschaft in unterschiedlichen Helligkeiten dargestellt wird. Der Kreativität sind hier keine Grenzen gesetzt.

Datenmodell

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Datenmodell setzt den Grundstock für das später entworfene Framework. Es hat zum Ziel, durch generische Gestaltung in der Lage zu sein, unterschiedlichste Quelldaten ohne Anpassung speichern zu können.

Umgesetzt wurden diese Anforderungen durch die Trennung in eine Datensammlung und deren Daten auf der einen und Eigenschaften auf der anderen Seite.

Datensammlung mit Daten Wie in Abbildung 4.1 dargestellt, besteht das wesentliche Datenmodell aus zwei Klassen.

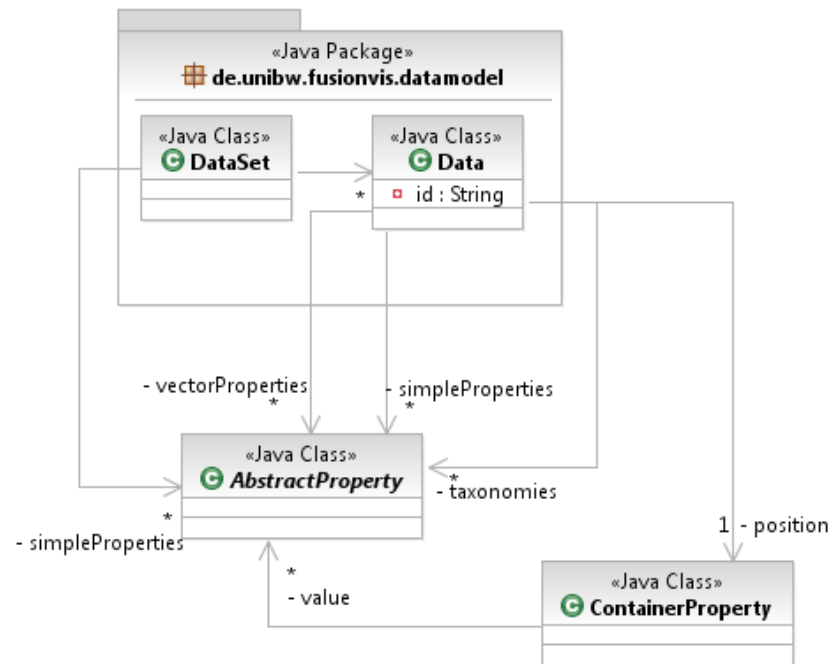


Abbildung 4.1.: Übersicht des Datenmodells

DataSet Die Klasse *DataSet* kapselt die einzelnen Datensätze in Form einer Liste. Diese Klasse ist die zentrale Datenstruktur, die für alle weiteren Prozesse die notwendigen Informationen bereithält. Sie besteht im Wesentlichen aus zwei Bestandteilen. Der erste ist die angesprochene Liste der gespeicherten Daten. Weiterhin kann sie Eigenschaften erfassen, die nicht einem bestimmten Datum zu eigen sind, sondern global für die gesamte Datensammlung gelten. Das Benutzen dieser Eigenschaften ist aber fakultativ, um eine hohe Flexibilität zu gewährleisten. Die Typisierung der Eigenschaften wird weiter unten dargestellt.

Data Die Klasse *Data* kapselt ein einzelnes Datum. Wie bereits in Abschnitt 4.1.1 dargestellt, sind die notwendigen Bestandteile eines Datensatzes ein Bezeichner, der innerhalb einer Datensammlung eindeutig sein muss, sowie eine Positionsangabe. Diese ist mithilfe einer zusammengesetzten Eigenschaft festgehalten. Das Eigenschaftssystem wird weiter unten noch detailliert beschrieben.

Zusätzlich zu diesen beiden obligatorischen Angaben erfasst die Data-Klasse weiterhin drei Listen von Eigenschaften.

- einfache Eigenschaften
- zusammengesetzte Eigenschaften

- Taxonomien

Die einfachen Eigenschaften sind in der Lage textuelle und numerische Merkmale eines Datensatzes zu erfassen. Sie sind Grundlage für die spätere Visualisierung. Die zusammengesetzten Eigenschaften ermöglichen das Ablegen von vektoriellen Größen, wie zum Beispiel einer Blickrichtung, Geschwindigkeiten oder Beschleunigungen usw. Auch ist es möglich, mit ihrer Hilfe baumartig strukturierte Eigenschaften zu erfassen.

Die Taxonomien umfassen eine Liste möglicher Klassifikationen, die einem Datensatz zu eigen sein können. Auch ihre Angabe ist nicht zwingend erforderlich.

Der Aufbau einer *Data*-Klasse kann in Abbildung 4.2 nachvollzogen werden.

Eigenschaften Die Eigenschaften der Datensammlung, wie auch die der Daten an sich, sollten so generisch aufgebaut sein, dass sie für möglichst viele unterschiedliche Anwendungsgebiete ohne Änderung und Anpassung übernommen werden können.

Beim Entwurf fiel auf, dass die auftretenden Eigenschaften nach zwei Kriterien zerfallen. Auf der einen Seite kann nach Dimension der Eigenschaften unterschieden werden. So kann zum Beispiel gespeichert werden, ob die Einheit in einem Gefechtssimulator

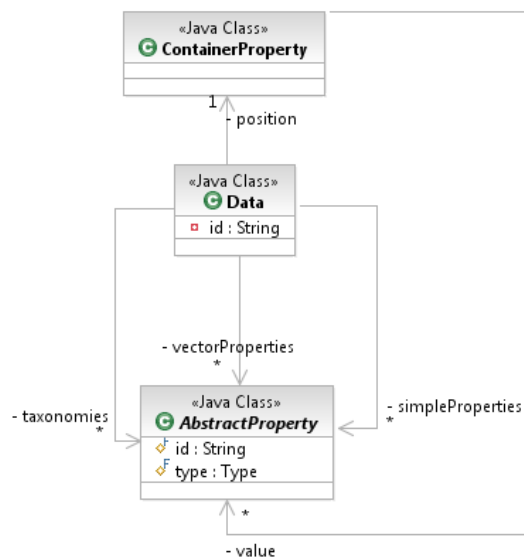


Abbildung 4.2.: Aufbau der Klasse *Data*

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

feindlich, freundlich oder neutral ist. Weiterhin wäre es möglich, eine Gewichtsangabe zu speichern. In beiden Fällen handelt es sich um eine einfache, weil eindimensionale, Eigenschaft.

Im Gegensatz dazu gibt es zusammengesetzte Eigenschaften wie vektorielle Größen (Ausrichtung, Beschleunigung). In diesen Bereich fallen auch Gliederungsinformationen oder Unterstellungsverhältnisse. Eine zusammengesetzte Eigenschaft besteht damit entweder aus einfachen oder wiederum aus zusammengesetzten Eigenschaften. Diese Unterscheidung führte im Entwurf zur Auswahl des Composite-Patterns (nach [GHJV02]) für die Modellierung des Sachverhalts.

Das zweite Kriterium, in das die Informationen der Daten zerfallen, ist ihr Typ. Um einen Kompromiss zwischen einem kompakten Datenmodell und einem breiten Spektrum unterstützter Typen zu gewährleisten, fiel die Entscheidung auf folgende Datentypen:

- Boolean
- Char
- Date ¹
- Float
- Integer
- String

Um die grundlegenden Bedürfnisse zu stillen, hätte auch die Auswahl eines Fließkomma-datentyps, mit dem sich auch ganze Zahlen darstellen lassen, und ein Zeichenkettendatentyp, mit dem alle anderen Informationen gespeichert werden können, ausgereicht. Eine noch kleinere Teilmenge, die nur den String-Datentyp umfasst, wäre unter Ausnutzung von programmiersprachenspezifischen Typumwandlungen auch denkbar gewesen. Diese beiden Möglichkeiten wurden aber im Hinblick auf die komfortablere Handhabung verworfen.

¹Da die Implementierung in Java erfolgt, wurde intern auf die Klasse *GregorianCalendar* zurückgegriffen



Abbildung 4.3.: Eigenschaftssystem im Datenmodell

Der resultierende Entwurf ist in Abbildung 4.3 dargestellt. Er besteht aus der abstrakten Eigenschaft, den konkreten Implementierungen nach Datentypen und der Zusammengesetzten Eigenschaft.

AbstractProperty Die abstrakte Klasse dient als Muster für die konkreten Implementierungen. Sie wird über einen Bezeichner eindeutig identifiziert. Es bietet sich hier an, menschenlesbare Namen zu verwenden, die zugleich beschreibenden Charakter haben. Zusätzlich hat jede Eigenschaft einen Typ. Dieser ist bereits in der abstrakten Klasse implementiert, um zur Laufzeit ohne Kenntnis der genauen Implementierung den jeweiligen Typ der Eigenschaft abfragen zu können.

Der Satz an abstrakten Methoden bildet die notwendige Schnittstelle, um den Wert einer Eigenschaft zu lesen und zu schreiben. Hier stellt sich die Frage, warum eine abstrakte Klasse und nicht etwa ein Interface gewählt wurde. Die Antwort ergibt sich aus der Möglichkeit, die Typinformationen und den Bezeichner in der allgemeinen Eigenschaft vorhalten zu können. Das entlastet den Programmierer bei der Umsetzung der konkreten Implementierungen, da er sich darum nicht mehr kümmern muss.

Aus Sicht des Composite-Patterns stellt *AbstractProperty* die Component-Klasse dar.

Typ-Property Die Implementierungen der abstrakten Klasse tragen in der Umsetzung die Verantwortung, einen zum Typ passenden Wert zu speichern. Dieser wird in der Ausgestaltung der Manipulationsmethoden gesetzt und gelesen. Wo notwendig sind Typumwandlungen durchzuführen, unsinnige Umwandlungen (zum Beispiel das Konvertieren eines bool'schen Datentyps in ein Datum) mit einer Ausnahmebehandlung quittiert werden.

Eine Typ-Property ist die im Composite-Pattern als *Leaf* bezeichnete Klasse.

ContainerProperty Die zusammengesetzte Eigenschaft verwaltet ihre zugehörigen Eigenschaften in einer Liste von *AbstractProperty*-Klassen. Sie kann aus diesem Grund aus Typ-Property-Klassen bestehen oder wiederum aus zusammengesetzten Eigenschaften. *ContainerProperty* stellt im Pattern den Composite dar.

Erweiterbarkeit Das Datenmodell ist an der Stelle der Eigenschaften erweiterbar. Um einen neuen Typ einzuführen müssen vier Schritte durchgeführt werden:

In der Enumeration der Typen ist der neue einzuführen. Weiterhin müssen in der *AbstractProperty* die Zugriffs- und Manipulationsmethoden für den neuen Typ abstrakt definiert werden. Daraus folgt, dass bestehende Typen diese Methoden implementieren müssen. Macht eine Typumwandlung Sinn, dann kann diese umgesetzt werden. Wenn sie unsinnig sind, dann wendet man Ausnahmenbehandlung an.

Abschließend muss nun eine neue Typ-Property Klasse erstellt und implementiert werden, die von ihrem abstrakten Vorbild erbt. Durch diese vier Schritte hat man somit das Datenmodell um einen Typ erweitert.

4.1.2. Übersicht über das Frontend des Frameworks

Das erstellte Framework besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen. Auf der einen Seite stehen die für den Benutzer sichtbaren Klassen, an denen nicht notwendigerweise eine Anpassung vorgenommen werden muss, um ein lauffähiges Programm zu erstellen. Zu diesen Klassen gehört auf oberster Ebene die Klasse *FusionVisForm*. Das ist die dem Benutzer angezeigte Programmoberfläche. Sie besteht aus einem Menü mit implementierter Funktion zum Auswählen von XML-Dateien und zum Schließen des Programms.

Die Benutzeroberfläche enthält weiterhin zwei *JPanel*-Klassen, die es dem Benutzer ermöglichen, eine textuelle und eine visuelle Darstellung der Daten zu sehen.

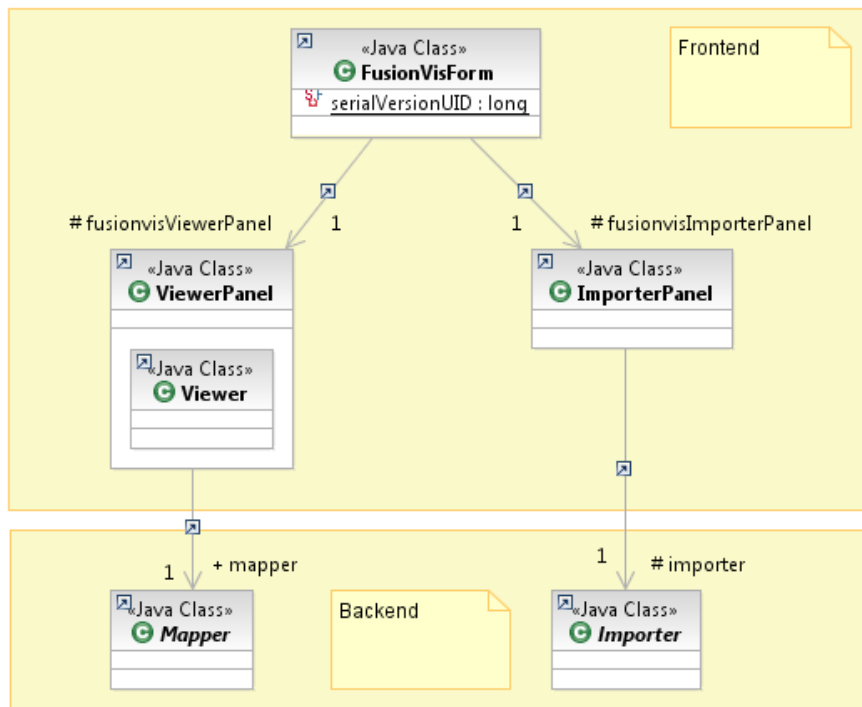


Abbildung 4.4.: Übersicht des Frameworks (Frontend/Backend)

ImporterPanel Für die textuelle Sicht ist das *ImporterPanel* vorgesehen. Es bietet die Möglichkeit, die Daten nach bestimmten Eigenschaften zu filtern und diese mit ihren Eigenschaften in Textform anzuzeigen. Das Model, auf dem gearbeitet wird, ist das in Abschnitt 4.1.1 beschriebene Datenmodell. Somit ist das *ImporterPanel* auch völlig unabhängig von dem genauen Inhalt der Daten, solange diese in das beschriebene Model überführt wurden. Dafür ist der *Importer* zuständig, der im nächsten Abschnitt beschrieben wird. Das *ImporterPanel* ist in Abbildung 4.5 in rot dargestellt.

ViewerPanel Die zweite *JPanel*-Klasse ist das *ViewerPanel*. Es ist verantwortlich für die dreidimensionale Anzeige der Daten. Dazu ist es notwendig, das vorhandene Datenmodell in die Struktur eines Szenenbaums zu überführen. Der Szenenbaum wird in Abschnitt 2.3.1 beschrieben. Dieser Schritt wird vom *Mapper* bewerkstelligt, der im nächsten Abschnitt erklärt wird. Das *ViewerPanel* ist in Abbildung 4.5 in grün dargestellt.

Der erstellte Szenenbaum kann nun von einem Viewer angezeigt werden. Dieser beinhaltet eine OpenGL-Anzeigefläche, welche die dreidimensionale Darstellung

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

übernimmt und es dem Benutzer erlaubt, sich in den visualisierten Daten zu bewegen, Datensätze mittels Mousepickings (siehe Abschnitt 4.3.4) auszuwählen und diese somit im *ImporterPanel* zu inspizieren. Auch der umgekehrte Weg ist möglich, also das Auswählen eines Datums in der textuellen Ansicht, was eine Hervorhebung seiner Visualisierung im *ViewerPanel* zur Folge hat.

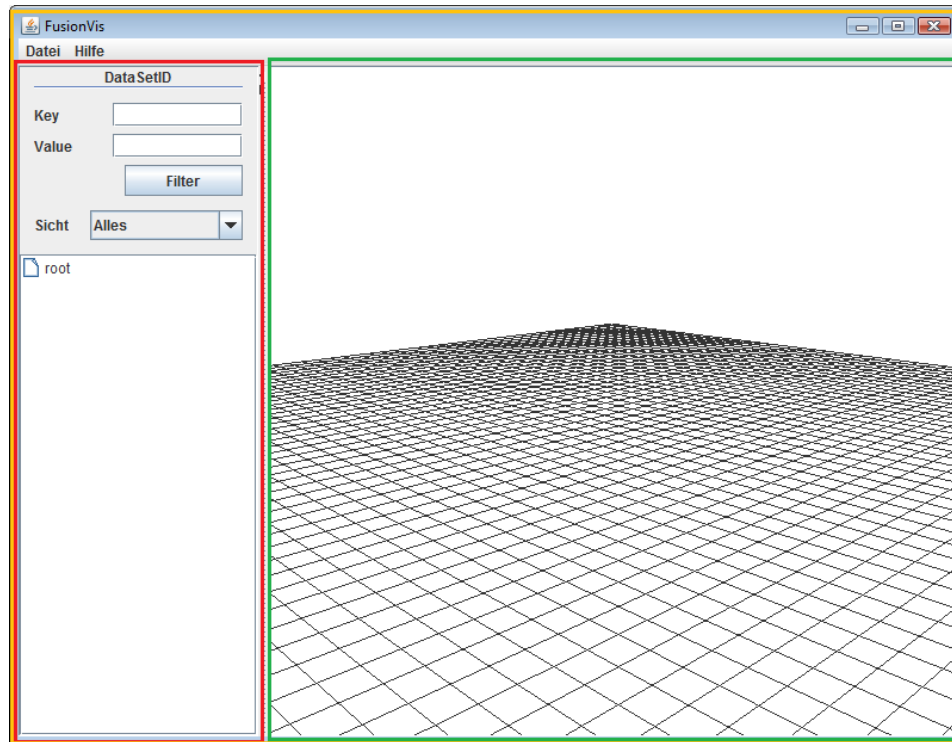


Abbildung 4.5.: Frontend des Frameworks mit *FusionVisForm* (orange), *ImporterPanel* (rot) und *ViewerPanel* (grün)

Zusammenfassend kann man zum Frontend des Frameworks sagen, dass die von den konkreten XML-Daten unabhängigen Funktionen bereits implementiert sind. Der Anwender muss lediglich festlegen, was wie dargestellt werden soll. Das *Was* ist der Prozess des Überführens von XML in das Datenmodell des Frameworks und wird im *Importer* festgeschrieben. Das *Wie* ist die Frage nach der Art und Weise, wie die Daten dreidimensional dargestellt werden sollen und wird im *Mapper* beantwortet.

4.1.3. Übersicht über das Backend des Frameworks

Das Backend besteht im Wesentlichen aus den zwei oben erwähnten Komponenten *Importer* und *Mapper*. Im Folgenden soll die Funktion der beiden erläutert und notwendige

Schritte der Spezialisierung beschrieben werden.

Die Spezialisierung bezieht sich auf das Implementieren abstrakter Methoden, die in den beiden als abstrakt gekennzeichneten Klassen die eigentliche Funktion enthalten sollen.

Importer

Der *Importer* ist, wie bereits im vorherigen Abschnitt angemerkt, dafür verantwortlich, die Daten aus einer XML-Datei zu lesen. An die Struktur muss eine Voraussetzung gemacht werden, um den Import automatisiert durchführen zu können: Die Datensätze müssen als Elemente des ersten Elements unter dem Wurzelknoten in der XML-Dateien stehen. Ein Beispiel für eine XML-Datei, die diese Anforderung erfüllt, ist in Listing 4.1 aufgeführt.

Ist die Voraussetzung erfüllt, liest der *Importer* die XML-Datei aus und extrahiert die DOM-Knoten der Datenelemente. Die Wahl des DOM-Parsers für diese Aufgabe wird noch in Abschnitt 2.2.2 genauer erläutert.

```

1  <Situation>
    <Units>
3     <Unit>
        <Name>FriendlyTank1</Name>
5         <Location>
            <Lat>52.796629714678467</Lat>
7             <Lon>9.89990561649954</Lon>
                <LastModified>2009-02-20T10:25:36+01:00</LastModified>
9         </Location>
    </Unit>
11    <Unit>
        <Name>FriendlyTank2</Name>
13         <Location>
            <Lat>52.794038961891268</Lat>
15             <Lon>9.9011727699025922</Lon>
                <LastModified>2009-02-20T10:25:36+01:00</LastModified>
17         </Location>
    </Unit>
19    </Units>
</Situation>

```

Listing 4.1: Beispiel für eine wohlgeformte XML-Datei

Der *Importer* hält bereits notwendige Datenstrukturen vor. Zum einen sind dies zwei Membervariablen (*id*, *position*). Diese dienen dem Speichern der XML-Elementnamen,

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

die den Wert für Position und Bezeichner eines Datums liefern. Ähnlich gibt es drei Listen, die die Elementnamen enthalten, die als einfache, zusammengesetzte Eigenschaften oder als Taxonomie extrahiert werden.

Spezialisierung Zur Spezialisierung eines *Importers* für ein bestimmtes Datenformat müssen zwei Schritte durchlaufen werden. Als Erstes sollten die in das Datenmodell als Eigenschaft von Daten zu übernehmenden XML-Elemente auf die oben angesprochenen Membervariablen und Listen verteilt werden.

Als Nächstes muss nun die Methode *extractDataFromNode()* implementiert werden. Ihr wird ein Knoten des DOM-Dokumentbaums übergeben. Dieser zeigt auf ein Element, dass als Datum in das Datenmodell übernommen werden soll. Die Aufgabe der Funktion ist es nun, nach den Vorstellungen des Anwenders ein Data-Objekt zu instanzieren, das die in den vorher spezifizierten Listen stehenden Eigenschaften enthält.

Hilfsfunktionen In der *Importer*-Klasse sind bereits zwei Hilfsfunktionen implementiert, die dem Anwender die Arbeit beim Erzeugen der Data-Objekte vereinfachen sollen. Die Methode *parseDate()* dient dem Auslesen eines Datums aus einem String. Für die genauere Dokumentation sei hier auf das JavaDoc verwiesen.

Die Methode *extractSimpleProperty(Node, Type)* erzeugt eine einfache Eigenschaft (siehe 4.1.1) eines angegebenen Typs aus einem DOM-Knoten. Um beispielsweise in Zeile 4 von Listing 4.1 eine Eigenschaft *Name* als String zu extrahieren, muss die Hilfsfunktion lediglich mit der Node aufgerufen werden, die auf dieses Element zeigt. Zusätzlich wird der gewünschte Typ (hier: *Type.TString*) übergeben.

Mapper

Bereits im vorletzten Abschnitt wurde angesprochen, dass der *Mapper* dafür Sorge trägt, das Datenmodell in eine dreidimensionale Darstellung zu überführen. Da nicht für jedes Problem auch dieselbe Visualisierung zielführend ist, besteht hier die Möglichkeit zur Individualisierung.

Bei der konkreten Implementierung sind zwei unterschiedliche Aspekte zu unterscheiden: Auf der einen Seite ist die Frage, wie die Daten an sich dargestellt werden, zum Beispiel

in Bezug auf Form und Farbe und das sonstige Erscheinungsbild. Auf der anderen Seite muss spezifiziert werden, in welcher Art und Weise die Dimensionen der Daten dargestellt werden.

Resultat des Mappingvorgangs soll ein Szenenbaum sein (siehe Abschnitt 2.3.1). Er ist die für die Grafikengine lesbare Form des Datenmodells. Dieser Szenenbaum muss bei jeder Veränderung des Datenmodells aktualisiert werden. Als solche zählt zum Beispiel das Filtern von Daten nach bestimmten Eigenschaften oder das Erstellen einer Sicht auf das Datenmodell.

Spezialisierung Wie oben bereits beschrieben hat die Spezialisierung im *Mapper* zwei Aspekte. Auf der einen Seite kann die Gestalt eines einzelnen Datums spezifiziert werden und auf der anderen Seite die Position dieses Datums im dreidimensionalen Raum. Eine vollständige Trennung ist in der derzeitigen Version nicht gelungen. Inwiefern sich das auswirkt, wird im Folgenden gezeigt.

Position und Projektion Eine grundlegende Entscheidung bei der Visualisierung von Daten ist, wie aus den Rohdaten eines Datums die Koordinaten im dreidimensionalen Raum gewonnen werden können. Bereits in Abschnitt 4.1.1 wurde beschrieben, dass solche Rohdaten existieren müssen. Ebenfalls ist darauf verwiesen worden, dass ungeeignete Rohdaten (weder in Gleitkomma-, noch in ganzzahliger Darstellung) an dieser Stelle durch einen geeigneten Homomorphismus umzuwandeln sind.

Der erste Schritt zur Individualisierung des *Mappers* ist die Bestimmung der Ausmaße der Projektionsfläche. Dieser Begriff meint die Ebene, die trivialisiert durch Länge und Breite aufgespannt wird. Ihre Festlegung erfolgt durch die Implementierung der *getSize()*-Methode. Hier gibt es zwei Varianten der Umsetzung. Es kann eine feste, von den Daten unabhängige Projektionsfläche gewählt werden. Eine maßstabsgetreue Abbildung entfällt somit. Vorteil dieser Art ist, dass bereits zur Implementierungszeit abschätzbar ist, wie groß die maximalen Entfernungen ausfallen. Somit können Entscheidungen, wie die Positionierung der Kamera (siehe Abschnitt 2.3.2), sinnvoll getroffen werden.

Eine andere Möglichkeit ist eine von den Eingabedaten abhängige Projektionsfläche. Hier entfällt das abschätzbare Ausmaß der Darstellung zum Wohle der maßstabsgetreuen Abbildung.

Eine der wichtigsten Verwendungen dieser Methode liegt im späteren Erzeugen des Gittermusters, welches eine bessere Einschätzung der Dimensionen ermöglicht.

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

Der zweite Schritt zur Individualisierung ist die Festlegung der Skalierung der Position auf den einzelnen Dimensionen. Die Notwendigkeit hierfür kann sich aus ungünstig gestalteten Rohdaten ergeben. Um zum Beispiel Zeiten in Ortsangaben umzuwandeln, kann man auf die interne Darstellung eines Zeitpunktes in die Zahl der Millisekunden seit dem 01.01.1970 zurückgreifen. Hieraus ergeben sich jedoch schon für kurze Zeitspannen riesige Zahlenwerte, die zu ebensogroßen Ausmaßen der Darstellung führen würden. Mit der Implementierung der Methode *getDimensionFactors()* kann diesem Umstand Rechnung getragen werden. Ist eine Skalierung nicht notwendig, so kann die triviale Skalierung mit dem Faktor 1 erfolgen.

Der letzte Schritt zur Positionierung ist die Festlegung eines Datums auf eine genaue Koordinate in der dreidimensionalen Darstellung. Implementiert werden muss dies gleichzeitig mit der Festlegung der Gestalt eines Datensatzes. Wie dies zu erfolgen hat, ist in der allgemeinen Beschreibung zur Positionierung in Abschnitt 2.3.3 beschrieben. Der Ort dieser Implementierung ist die im Folgenden beschriebene Methode.

Gestalt Die Gestalt eines Datums wird von der Methode *extractNodeFromData()* bestimmt. Sie hat die Aufgabe, einen Szenenknoten (siehe Abschnitt 2.3.1) für jeden Datensatz zu erstellen. Bestandteil muss auf jeden Fall ein Grafikobjekt, wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben, sein. Im letzten Abschnitt wurde bereits angesprochen, dass ebenfalls die Festlegung der Koordinate des Grafikobjekts an dieser Stelle zu erfolgen hat.

In dieser Methode kann der Benutzer neben Form, Größe, Position und sonstigen Eigenschaften, wie zum Beispiel Renderingoptionen (siehe Abschnitt 2.3.3), auch die Texturierung von Objekten festlegen. Es ist jedoch nicht immer zweckmäßig, für jedes Objekt eine individuelle Textur zuzuweisen. Aus diesem Grund gibt es eine weitere Methode, die es gilt zu implementieren.

Die Methode *texture()* hat zur Aufgabe die Grafikobjekte eines übergebenen Szenenknotens zu texturieren. Dies kann anhand von bestimmten Eigenschaften geschehen. Enumerationen eignen sich hierbei sehr gut. Wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben, sollte man sich an dieser Stelle auf eine noch vom Kurzzeitgedächtnis erfassbare Menge an Farben beschränken. Ist es jedoch nicht notwendig, so kann die Implementierung dieser Methode leer verbleiben.

Hilfsfunktionen Hilfsfunktionen der Art, wie sie aus dem *Importer* bekannt sind, gibt es im *Mapper* nicht. An dieser Stelle soll jedoch die Methode *getDataRoot()* erwähnt

werden, die den Zugriff auf den vom *Mapper* erstellten Szenegraphen ermöglicht. Sie ist in zwei Ausprägungen vorhanden: Einerseits ohne Angabe von Argumenten um an die Visualisierung des Datenmodells zu gelangen, das bei der Erstellung des *Mappers* übergeben wurde. Andererseits kann auch ein Datenmodell, welches zum Beispiel durch Filtern entstanden ist, übergeben werden. Es wird automatisch zum neuen Modell des *Mappers* und daraus wird der neue Szenengraph erzeugt.

4.1.4. Zusammenspiel der Komponenten

Nachdem im letzten Abschnitt die notwendigen Möglichkeiten zur Individualisierung durch konkrete Implementierung erläutert wurden, soll im Folgenden das Zusammenspiel der Komponenten und damit die Funktionsweise des Frameworks anhand von ausgewählten Aspekten skizziert werden.

Visualisierungsprozess

Ein wesentlicher Punkt in der Interaktion der Komponenten ist der Visualisierungsprozess, der alle Komponenten des Frontends und des Backends erfasst. Hier die dazugehörige chronologische Abfolge:

1. Der Benutzer wählt eine XML-Datei aus. Die Benutzeroberfläche ruft daraufhin vom zu ihr gehörenden *ImporterPanel* den *Importer* ab.
2. Das *ImporterPanel* liefert den geforderten *Importer*.
3. Die Form stößt nun den eigentlichen Importvorgang im *Importer* an. Der *Importer* greift dabei auf die vom Benutzer implementierte *extractDataFormNode()*-Methode zurück.
4. Nach dem Anstoßen hat die Form nichts mehr mit dem restlichen Vorgang zu tun.
5. Aufgrund der Veränderung des Datenmodells durch das Laden von Daten müssen die Sichten in den Panels aktualisiert werden. Auf der einen Seite aktualisiert das *ImporterPanel* die textuelle Darstellung der Daten.
6. Auf der anderen Seite muss das *ViewerPanel* die grafische Datensicht aktualisieren.

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

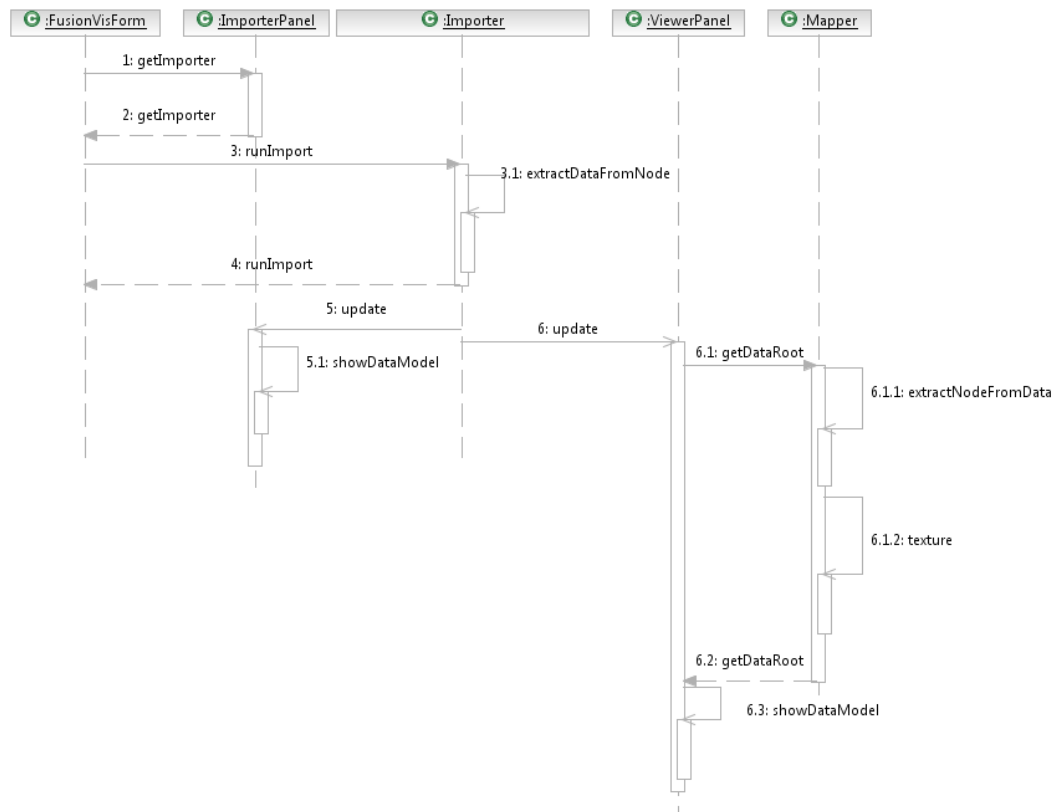


Abbildung 4.6.: Ablauf des Visualisierungsprozesses

- a) Dazu muss das Datenmodell in einen Szenenbaum umgewandelt werden. Diese Aufgabe delegiert das Panel an den *Mapper*. Dieser erstellt mithilfe der aus dem letzten Abschnitt bekannten Methode *extractNodeFromData()* den Baum. Mit der Methode *texture()* werden die Visualisierungen der Daten anschließend eingefärbt.
- b) Den fertigen Szenenbaum gibt der *Mapper* an das *ViewerPanel* zurück.
- c) Abschließend stellt das *ViewerPanel* die Daten grafisch dar.

Der beschriebene Prozess kann in Abbildung 4.6 nachvollzogen werden.

Die angesprochene Aktualisierung der beiden unterschiedlichen Darstellungen erfolgt durch die Anwendung des Observer-Patterns (nach [GHJV02]). Dabei trägt die Form die Verantwortung, dass auch beide Panels beim Importer als Observer registriert werden. Diese Funktion ist aber bereits in der *FusionVisForm* implementiert, sodass der Benutzer von dieser Aufgabe unbehelligt bleibt.

ImporterPanel und ViewerPanel

Bereits im letzten Abschnitt ist deutlich geworden, dass bei Änderungen am Datenmodell zwangsläufig die Sichten aktualisiert werden müssen. Eine Situation, bei der diese Aktion notwendig ist, ist der Datenimport. Im Folgenden werde ich die beiden weiteren Aktivitäten beschreiben, bei denen sich die Panels abstimmen müssen.

Filtern des Datenmodells Über das *ImporterPanel* ist es möglich, die Sicht auf das Datenmodell zu beschränken, indem Datensätze anhand von nicht vorhandenen Eigenschaften ausgeblendet werden. Wie dies aussieht, ist in Abschnitt 4.2 beschrieben.

Das Verändern des Datenmodells durch Ausgrenzen bestimmter Datensätze macht die Aktualisierung der Sicht im *ViewerPanel* notwendig. Dies geschieht auf die gleiche Art und Weise wie ein Neuimport von Daten, denn prinzipiell ist das Filtern von Daten nur die Gegenoperation zum Import und somit nur eine Veränderung am Datenmodell. Aus diesem Grund wird auch an dieser Stelle das Observerpattern genutzt.

Problematisch ist hierbei, dass die beiden Panels bereits eine Oberklasse haben und somit nicht von der in Java bereits zur Verfügung gestellten Observerklasse erben können. Ein Ausweg aus diesem Problem wird in Abschnitt 4.3.1 dargestellt.

Selektion von Datensätzen Eine weitere Aktivität, in der die beiden Panels kooperieren müssen, ist die Selektion eines Datensatzes. Ein Datum kann entweder im *ImporterPanel*, in der textuellen, oder im *ViewerPanel*, in der grafischen Darstellung, ausgewählt werden.

Ziel soll es sein, dass ein Datum, das in der einen Sicht ausgewählt wird, auch in der andern Sicht als selektiert erscheint. Die Auswahl an sich ist im *ImporterPanel* aufgrund der Bordmittel von Swing (siehe Abschnitt 2.1) trivial. Im *ViewerPanel* wird dies um einiges schwieriger, weil es sich dabei um einen sogenannten Mousepick handelt. Problematisch ist dabei, dass auf der zweidimensionalen Fläche des Bildschirms ein Objekt im dreidimensionalen Raum ausgewählt werden soll. Für die Lösung des Problems sei auf Abschnitt 4.3.4 verwiesen.

Nachdem ein Datensatz ausgewählt wurde, wird auch an dieser Stelle wieder mit Hilfe des Observer-Patterns das jeweils andere Panel über das Ereignis informiert, sucht in seiner Darstellung den selektierten Datensatz und hebt ihn hervor.

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

Die Kopplung der beiden Datenbestände erfolgt über den Bezeichner des Datums. Bereits in Abschnitt 4.1.1 wurde gefordert, dass es sich hierbei um eine eindeutige Eigenschaft handeln muss. Wäre dies nicht der Fall, ist das geforderte Ziel der abgestimmten Auswahl schlicht nicht zu erreichen.

ViewerPanel und Viewer

Aus der Abbildung 4.4 wird deutlich, dass der Viewer aus dem allgemeinen Rahmen der Struktur heraus fällt, da er als innere Klasse des ViewerPanels umgesetzt ist. Dies ist ein aus entwurfsästhetischen Gesichtspunkten unschöner Sachverhalt.

Betrachtet man jedoch die enge Zusammenarbeit zwischen dem Panel und dem Viewer, wird klar, warum die pragmatische zugunsten der ästhetischen Lösung gewählt wurde.

Zum Einen sollte das Panel in Hinblick auf Erweiterbarkeit, wie zum Beispiel einstellbare Kameraperspektiven, eine Schnittstelle zum *Viewer* bieten. Wäre dieser als separate Klasse umgesetzt, hätten viele Methoden und Instanzvariablen publik gemacht werden müssen. Eine geeignete Kapselung wird so unmöglich. Aus diesem Grund bietet es sich an, den *Viewer* zwecks der Abschirmung in das Panel einzubinden.

Ein anderer Aspekt, bei dem genau derselbe Zwiespalt auftritt, ist das Auswählen von Daten im *ViewerPanel*. Da der Aufbau von Komponenten in Swing hierarchisch organisiert ist, klickt der Benutzer beim Selektieren eines Objekts in der dreidimensionalen Darstellung nicht auf die vom Viewer bereitgestellte Zeichenfläche, sondern in die Form, die wiederum nativ das Ereignis an das zuständige Panel weitergibt.

An dieser Stelle bricht jedoch die Kette, denn der *Viewer* ist nicht in die Swing-Klassenstruktur eingebettet. Aus diesem Grunde kümmert sich das ViewerPanel um die für das Auswählen notwendigen Schritte. Zu diesem Zweck benötigt es, ähnlich wie oben angesprochen, einen weitreichenden Zugriff auf den *Viewer*. Ohne ihn komplett öffentlich zu gestalten, führt auch hier der Weg an einer inneren Klasse nicht vorbei.

Aus Sicht der Unterscheidung Framework-Komponenten in Frontend und Backend ist die Zuordnung des Viewers in das Panel vertretbar, denn er ist mit seiner Zeichenfläche im Gegensatz zum Importer eine sichtbare Komponente.

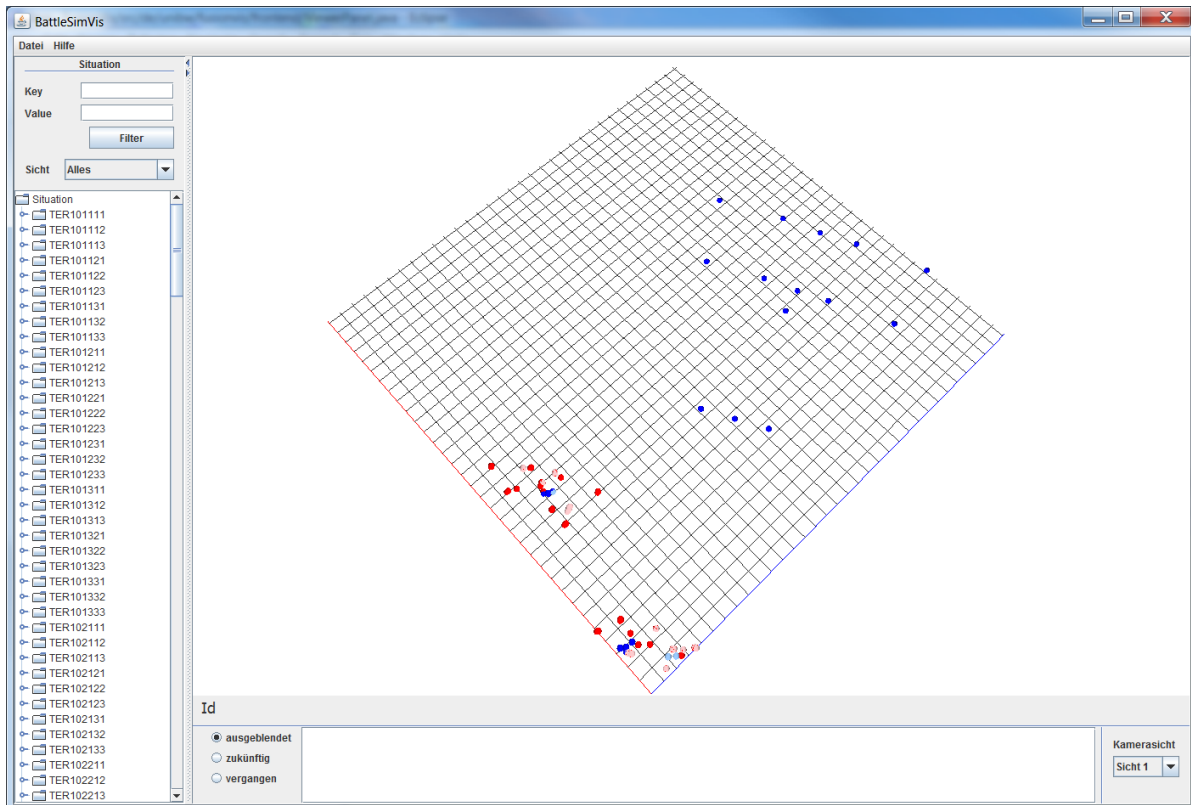


Abbildung 4.7.: Darstellung einer Lage mit zwei aufeinandertreffenden Bataillonen, insgesamt 251 Datensätze

4.2. Visualisierung einer militärischen Lage

Bereits in Abschnitt 1.1 wurde die Lage des S2-Offiziers angesprochen, der von den Panzern seines Bataillons Positions- und Feindmeldungen bekommt. Dies geschieht aus Gründen der Datenübertragung in textueller, beschränkt menschenlesbarer Form.

4.2.1. Problemdarstellung

Die Aufgabe des S2-Offiziers ist es, aus diesen Daten ein Lagebild zu erstellen, also die Daten zu visualisieren. Problematisch sind hierbei vor allem die Feindmeldungen. Folgende Lage veranschaulicht das Problem:

In der Norddeutschen Tiefebene treffen zwei eigene Panzer auf zwei gegnerische. Die eigenen Einheiten bewegen sich nicht, sie stehen in teilgedeckter Stellung. Die feindlichen Einheiten bewegen sich mit hoher Geschwindigkeit, eine in Richtung auf die beiden blau-

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

en² Panzer, die andere in Querschicht von Rechts nach Links aus Sicht der beobachtenden Einheiten.

Im Abstand von 60 Sekunden geben die beiden eigenen Panzer drei Mal nacheinander Meldungen über die gesichteten Feinde ab. Daraus resultieren zwölf Feindmeldungen.

Für den Offizier, der nun die Daten erhält, stellen sich potentiell zwölf Feindeinheiten dar. Von der Anzahl ergäbe das die Stärke einer Kompanie. Dies entspricht nicht der Wirklichkeit. Das Problem, das es nun zu lösen gilt, ist durch geeignete Visualisierung aus der vermeintlichen Kompanie wieder die zwei eigentlichen Feindpanzer erkennen zu können.

4.2.2. Lösungsansatz

Die zahlenmäßige Explosion der potentiellen Feindmeldungen kann durch zwei Ansätze reduziert werden:

Ortsgleichheit

Als erstes gilt es, dass alle Meldungen, die zur selben Zeit gemacht wurden, auf die Lage des gemeldeten Objekts überprüft werden. Wurde an einem Ort (mit einer gewissen Toleranz) gleichzeitig mehrere Einheiten gemeldet, so kann das daher kommen, dass diese eben von mehreren eigenen Panzern gleichzeitig gesehen wurden.

Mit diesem Ansatz können die zwölf Meldungen auf nur noch vermeintlich sechs Feindeinheiten reduziert werden.

Reichweitenberechnung

Der nächste Schritt ist die Analyse der Meldungen, die zu unterschiedlichen Zeiten abgegeben wurden. Unter Annahme der maximalen Geschwindigkeit kann man nämlich feststellen, ob zwei Meldungen definitiv von unterschiedlichen Feindeinheiten ausgelöst

²Im Kontext von militärischen Lagen spricht man von blauen und roten Einheiten. Rot steht hierbei für feindliche, blau für eigene oder verbündete Einheiten.

wurden, oder ob die Möglichkeit besteht, dass es sich um ein und dasselbe Objekt handelt.

Gegeben seien dafür zwei Meldungen. Aus ihnen lassen sich die Zeitdifferenz und die räumliche Entfernung der beiden voneinander bestimmen. Ist ihre Entfernung größer, als die Distanz, die in der errechneten Zeit, unter Annahme der Höchstgeschwindigkeit, hätte zurückgelegt werden können, so handelt es sich definitiv um unterschiedliche Einheiten.

Auf diese Art und Weise kann die Zahl der potentiellen Einheiten weiter der Zahl der echten Einheiten angenähert werden und ein aussagekräftigeres Lagebild entsteht.

4.2.3. Umsetzung mithilfe des Visualisierungsframeworks

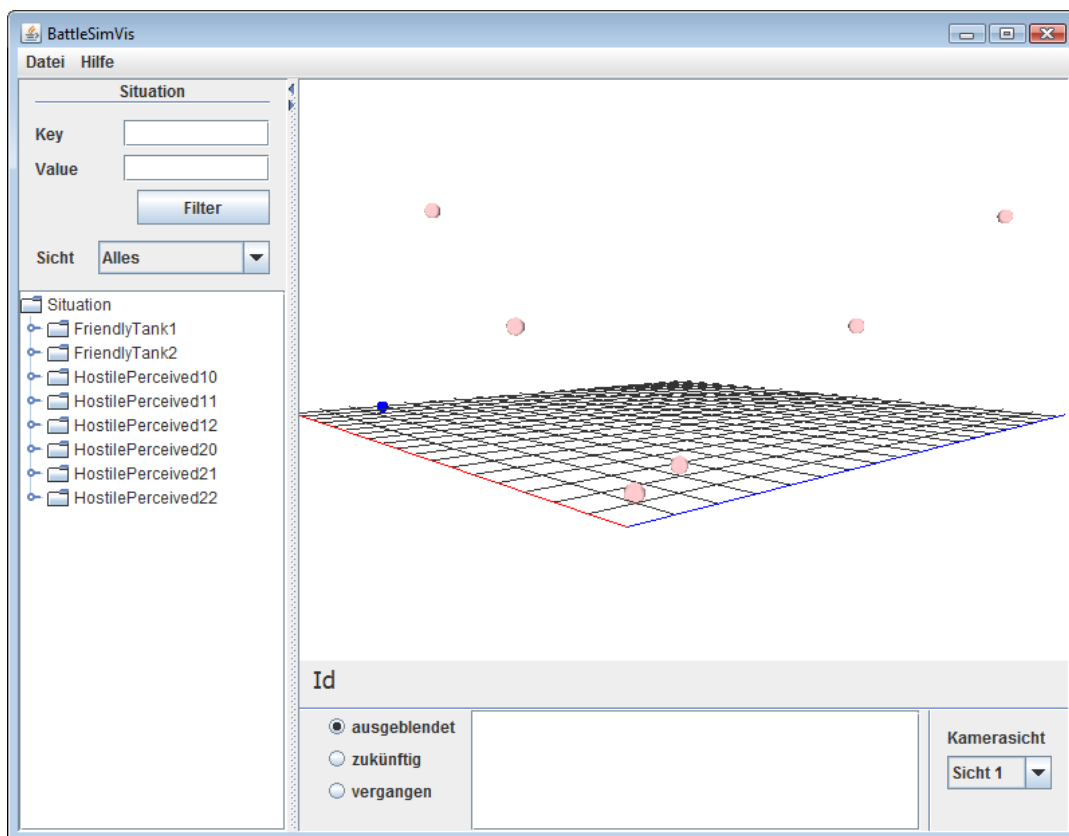


Abbildung 4.8.: BattleSimVis als prototypische Implementierung einer militärischen Lagedarstellung

Dass die oben dargestellten Lösungsansätze mit Hilfe von Berechnungen umgesetzt werden können, steht außer Frage. Mit dem im Folgenden vorgestellten Prototypen soll aber

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

ein anderer Ansatz verfolgt werden: Der S2-Offizier soll mit dem umgesetzten Programm, allein durch die Betrachtung der visualisierten Darstellung, aus den redundanten Daten ein der Realität nahe kommendes Lagebild erstellen können.

Aufbau der Benutzerschnittstelle

Die Benutzeroberfläche ist in zwei Teile gegliedert. Auf der einen Seite gibt es die textuelle Sicht auf die Lage und alle Möglichkeiten, diese zu manipulieren. Auf der anderen Seite sind die grafische Legendarstellung in dreidimensionaler Form und die Mittel, diese zu beeinflussen. Welche das im Detail sind, wird im Folgenden beschrieben. Grundlage dieser Aufteilung ist die Struktur, die durch das Visualisierungsframework vorgegeben wird (siehe Abschnitt 4.1.2).

Auswahl der Dimensionen

Um die folgenden Überlegungen und die Grundidee hinter der Visualisierung der Lage im Prototypen zu verstehen, ist es notwendig, zu erklären, welche Dimension im dreidimensionalen Raum mit welcher Größe der Daten übereinstimmt.

Die Ebene, aufgespannt durch Länge und Breite, spiegelt die Position eines Objekts im Raum wieder. Dabei ist die Höhe vernachlässigt worden. Da die Eingabedaten in geographischer Länge und Breite angegeben sind, kommt es hier zu einem, durch die Projektion einer Kugelkappe in die Ebene entstandenen Fehler bezüglich der maßstabsgetreuen Darstellung von Entfernungen. Wie stark sich dieser auswirkt, wird in Abschnitt 4.3.3 erläutert. Dabei ist die Bezeichnung der einzelnen Komponenten eines Vektors an das System von OpenGL angepasst. Das bedeutet, x-Komponente und z-Komponente spannen die Grundebene auf. In Abbildung 4.8 ist diese als Gitter gekennzeichnet. Die y-Komponente geht in die Höhe. Es handelt sich hierbei um ein rechtshändiges dreidimensionales Koordinatensystem wie in Abbildung 4.9 dargestellt.

Die dritte Dimension, die man so durch die Vernachlässigung der Höhe gewinnt, kann durch die Zeit eingenommen werden. Meldungen, die am ältesten sind, werden direkt auf der durch Gitternetzlinien angezeigten Grundebene dargestellt. Die Anzeige jüngerer Meldungen erfolgt kontinuierlich in positive y-Richtung (*in die Höhe*).

Der Grund für diese Auswahl ist die später beschriebene Möglichkeit, die Reichweite einer Einheit in Abhängigkeit von ihrer Höchstgeschwindigkeit darzustellen.

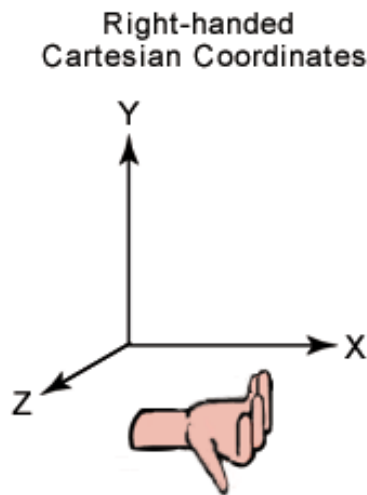


Abbildung 4.9.: Rechtshändiges Koordinatensystem, wie es OpenGL verwendet [Sch08]

Umgesetzte Fähigkeiten

Plattformunabhängigkeit *BattleSimVis* ist plattformunabhängig. Es wurde entwickelt um auf allen gängigen Betriebssystemen zu funktionieren. Getestet ist es mit MS Windows (XP, Vista, 7), MacOS X, Linux (Ubuntu 9.10). Einzige Voraussetzung neben einer aktuellen Java Runtime Environment (mindestens 1.6) ist eine 3D-fähige Grafikkarte mit zugehörigen Treibern. OpenGL in der notwendigen Version ist bereits Bestandteil der genannten Betriebssysteme.

Import der Daten: *BattleSimVis* ist durch das verwendete Visualisierungsframework in der Lage, Daten im XML-Format zu lesen. Für den Testgebrauch wurde eine XML-Datenstruktur verwendet, die aus einem Simulationsproxy stammt. Die importierten Daten werden in eine textuelle und eine grafische Ansicht umgewandelt.

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

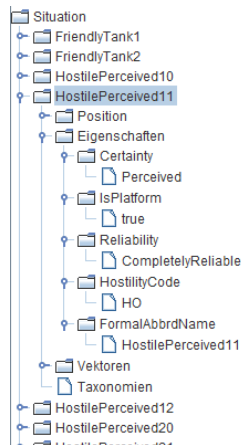


Abbildung 4.10.: Baumstruktur der textuellen Darstellung

Baumartige Datenanzeige: Die textuelle Anzeige der Daten erfolgt in einer Baumstruktur. Auf erster Ebene befinden sich die Datensätze, dargestellt durch ihren Bezeichner. Darunter sind für jeden Datensatz die eingelesenen Eigenschaften dargestellt.

Dreidimensionale Datenanzeige: Im dafür vorgesehenen Bereich des Prototypen werden die gelesenen Datensätze im dreidimensionalen Raum dargestellt.

Freie Navigierbarkeit: Durch einen Klick in die grafische Visualisierung ist es dem Benutzer möglich, frei durch den dreidimensionalen Raum zu navigieren. Durch Druck der mittleren Maustaste und Bewegung der Maus kann die Ansicht frei gedreht werden. Die Position des Betrachters wird, ähnlich zu der Steuerung von Computerspielen aus der Ego-Perspektive, mit den Tasten **W**, **A**, **S** und **D** gesteuert.

Maßstabsgetreue Abbildung: Bis auf die oben gemachte Einschränkung bezüglich des Fehlers der Projektion einer Kugelkappe in die Ebene, werden die Daten maßstabsgetreu dargestellt. Die Berechnung der Entfernung erfolgt aufgrund der Tatsache, dass die eigentlichen Koordinaten die Position der Einheit auf einer Kugel beschreiben, durch die in Abschnitt 4.3.2 dargestellte Haversine-Formel.

Die Gitternetzlinien sind auf die importierten Daten angepasst und werden nur in einem notwendigen Bereich auch angezeigt.

Farbige Darstellung der Eigenschaften: Um eine militärische Lage zu überblicken, ist die Kenntnis über die Zuordnung der Einheiten zu Freund und Feind unabdingbar. Aus diesem Grund stellt *BattleSimVis* feindliche Einheiten in rot und freundliche in blau dar. Weiterhin wird über die Helligkeit der Farbe unterschieden, ob es sich um eine echte Einheit (ein meldender eigener Panzer) oder um eine Meldung (einen feindlichen Panzer) handelt. Eine Meldung ist heller, eine echte Einheit wird in einem satten Farbton dargestellt.

Voreingestellte Kameraperspektiven: Zusätzlich zu der freien Navigierbarkeit in der dreidimensionalen Darstellung gibt es die Möglichkeit, zwischen drei vordefinierten Perspektiven auszuwählen. Zwei zeigen gegenüberliegende isometrische Ansichten, die dritte stellt die Lage aus einer Draufsicht dar. Dies kann als Ansicht unter Vernachlässigung der Zeit-Achse interpretiert werden.

Datenfilter: Um die Meldungen auf ein gewünschtes Maß zu reduzieren, gibt es die Möglichkeit, die importierten Daten nach bestimmten Eigenschaften auszuwählen. Dafür verfügt *BattleSimVis* über einen Filter, der anhand von Schlüssel-Wert-Paaren Datensätze auswählt. Die Schlüssel stehen für bestimmte Eigenschaften der Meldungen (Freund-Feind-Kennung, Verlässlichkeit etc.).

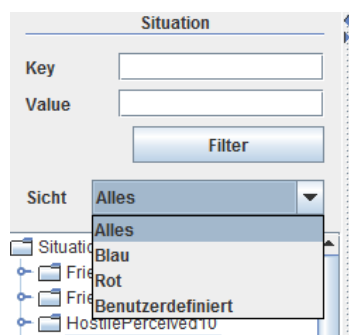


Abbildung 4.11.: Filter mit voreingestellten Sichten auf die Lage

Vordefinierte Sichten auf die Lage: Um eine Lage (unabhängig von der oben geschilderten Situation des S2-Offiziers) aus der Sicht der roten Einheiten, der blauen Einheiten oder omniscient anzusehen, gibt es vordefinierte Filter. Sie stellen bei der Wahl der blauen Sicht zum Beispiel alle echten blauen Einheiten, aber nur alle gemeldeten roten

dar. Im Fall der Feindsicht ist dies genau andersherum. Die omnisciente Sicht zeigt alle Datensätze.

Selektion in der grafischen Darstellung: Um die textuelle und die dreidimensionale Sicht optimal miteinander verbinden zu können, ist es erforderlich, dass eine Auswahl einer Einheit (zum Beispiel zum Inspizieren ihrer Eigenschaften) in beiden Darstellungen vorgenommen werden kann. In der Baumstruktur ist dies trivial durch einen Klick auf den Bezeichner und das damit verbundene Aufklappen des Baums möglich.

Um auch in der grafischen Ansicht die Eigenschaften zu einer Einheit zu erfahren, klickt man sie dort einfach an. Durch einen durchscheinenden grünen Kasten wird sie hervorgehoben und in der Baumstruktur wird der dazugehörige Pfad expandiert und ausgewählt. Dieses Fähigkeit wird als Mousepicking bezeichnet und wird in Abschnitt 4.3.4 näher erläutert.

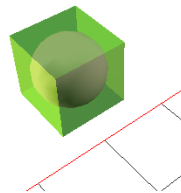


Abbildung 4.12.: Hervorhebung in der grafischen Ansicht

Bewegungskegel: Eine Kernfähigkeit von *BattleSimVis* ist das Einblenden von Bewegungskegeln. Die oben beschriebene Auswahl, welche Eigenschaft einer Meldung auf welche Dimension abgebildet wird, vor allem die Wahl, die Zeit in die Höhe zu zeichnen, ermöglicht die Visualisierung der Reichweite einer Einheit.

Wird eine Meldung in der grafischen Darstellung ausgewählt, kann ein Kegel ein- und ausgeblendet werden, der anzeigt, wo sich eine Einheit in der Zukunft aufhalten kann (nach oben geöffneter Kegel) oder in der Vergangenheit aufgehalten haben könnte. Alles was innerhalb dieses Kegels liegt, ist in Reichweite der Einheit unter Berücksichtigung ihrer Maximalgeschwindigkeit. Alles was außerhalb ist, kann nicht in der jeweiligen Zeit erreicht worden sein.

Inhalt von Bewegungskegeln: Auch wenn oben beschrieben wurde, dass der S2-Offizier mit Hilfe von *BattleSimVis* allein durch das Ansehen einer Lage Redundanzen

ausschalten kann, unterstützt das Tool den Anwender bei der Auswertung von Bewegungskegeln, indem es eine Liste aller Einheiten anzeigt, die sich darin befinden.

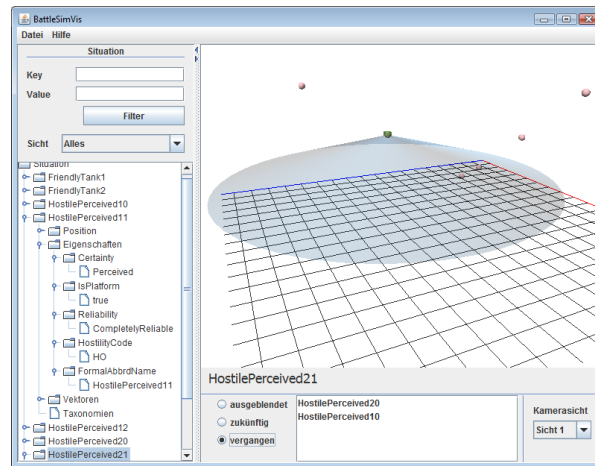


Abbildung 4.13.: Bewegungskegel in die Vergangenheit

Nutzung des Tools zur Lösung des gestellten Problems

Mit den oben dargestellten Fähigkeiten von *BattleSimVis* ist es dem S2-Offizier nun möglich, die beiden in diesem Abschnitt aufgezeigten Lösungsansätze zu nutzen, um ein geeignetes Bild von der Lage zu bekommen.

Das Problem der mehrfachen Meldung von Feindeinheiten durch eigene Kräfte, die gleichzeitig zum Beispiel einen roten Panzer entdecken, wird vom Programm dadurch behoben, dass die Einheiten auch am selben Ort dargestellt werden. Idealerweise sieht der S2-Offizier somit nur einen Panzer, wo auch nur ein Panzer in der Realität steht.

Weichen die Daten geringfügig ab, fällt dies bei Berechnungen auf, jedoch erkennt man Unterschiede in der Position beim Ansehen erst bei so signifikanten Entfernungen, dass es sich um unterschiedliche Einheiten handeln muss.

Um eine Reichweitenanalyse durchzuführen, also um zwei zu unterschiedlichen Zeitpunkten gemeldete Objekte eindeutig als auch in der Realität nicht identisch zu identifizieren, wird dem S2-Offizier die Möglichkeit an die Hand gegeben, zu jeder Einheit einen in die Zukunft oder einen in die Vergangenheit ragenden Trichter anzuzeigen zu können. Damit lässt sich die theoretische Reichweite eines Objekts anhand der Maximalgeschwindigkeit visualisieren. Alles, was nicht in diesem Trichter ist, muss auch eine andere Einheit sein.

Somit ist gezeigt, dass die prototypische Implementierung durch die gewählte Visualisierung die Reduktion redundanter Daten ermöglicht und den S2-Offizier bei der Fusion multisensorischer Daten adäquat unterstützt.

4.3. Kernaspekte der Implementierung

Bei der Umsetzung von Framework und einer prototypischen Implementierung fanden sich einige Implementierungsdetails, die es wert sind, auf sie genauer einzugehen. Dies kann drei Gründe haben: Entweder sie sind für das Verständnis der Umsetzung relevant (zum Beispiel Abschnitt 4.3.4), sie beinhalten elegante mathematische Ansätze (siehe Abschnitt 4.3.5) oder erläutern andere mögliche Ansätze, die aus genannten Gründen nicht verfolgt wurden.

4.3.1. Observer-Pattern bei abgeleiteten Klassen

Bei der Auswahl eines Datums in der textuellen Ansicht soll die resultierende Hervorhebung auch in der grafischen Darstellung erfolgen und umgekehrt. Zur Umsetzung dieser Aufgabe empfiehlt sich das Observer-Pattern.

Dabei gibt es auf der einen Seite eine observierbare Klasse. Dies ist der Ausgangspunkt, an dem die Veränderung eines Zustands auftritt. Sie verwaltet eine Liste von Klasseninstanzen, die an dieser Veränderung interessiert sind. Geschieht ein Zustandsübergang, werden diese von der observierten Klasse benachrichtigt und können angemessen reagieren.

Dieses Entwurfsmuster (nach [GHJV02]) ist in Java bereits in die mitgelieferte Klassenbibliothek integriert. Dabei ist der observierte Anteil als Klasse *Observable* fertig umgesetzt. Ein Datenmodell zum Beispiel, das beobachtet werden und in unterschiedlichen Ansichten dargestellt werden soll, wird von der *Observable*-Klasse abgeleitet. Alle notwendigen Methoden werden somit zur Verfügung gestellt.

Der beobachtende Anteil ist in Java als Interface umgesetzt. Es existiert somit nur ein Gerüst von Methoden. In diesem Fall ist es nur eine einzige, die *update()*-Methode. In ihr muss das Verhalten implementiert werden, das ausgelöst wird, wenn sich an der beobachteten Instanz etwas ändert.

Dieser von Java bereitgestellte Ansatz kommt an seine Grenzen, wenn die beobachtete Klasse bereits von einer anderen erbt. Denn dann kann sie nicht auch noch von der *Observable* abgeleitet werden. Java verbietet schließlich die Mehrfachvererbung von Klassen.

Genau dieses Problem tritt auch bei den beiden Panels ein, die bei der Auswahl von Datensätzen wechselseitig sowohl Beobachter, als auch Beobachteter sind. Sie sind beide von der Swing-Klasse *JPanel* abgeleitet und dürfen somit nicht von *Observable* erben.

Zu diesem Problem gibt es zwei unterschiedliche Lösungsansätze. Auf der einen Seite kann man ein *Observable*-Interface erstellen, muss dann aber die Liste der Beobachter und die Methoden zum Benachrichtigen selbst implementieren. Dies ist ein nicht unerheblicher Aufwand und zudem unter Umständen fehlerträchtiger Aufwand.

Der andere Ansatz ist, eine innere Klasse in den zu beobachtenden Klassen zu erstellen, die dadurch von *Observable* erben kann und als innere Klasse den vollen Zugriff auf die Instanzvariablen ihrer Umgebung hat. Außerdem kann die äußere Klasse die Methode zum benachrichtigen der Beobachter zum geeigneten Zeitpunkt aufrufen.

So kann mit nur geringen Anpassungen die vorimplementierte Lösung übernommen und das Problem gelöst werden.

4.3.2. Entfernungsberechnung auf der Erde

Der in Abschnitt 4.2 vorgestellte Prototyp zur Visualisierung eines Gefechtsfeldes berechnet den Projektionsbereich, indem die minimale und maximale geografische Länge und Breite der Eingabedaten bestimmt wird. Diese vier Daten beschreiben ein Rechteck, dessen Kantenlängen berechnet und in die dreidimensionale Darstellung übertragen werden.

An dieser Stelle ergibt sich ein Problem aus der Gestalt der Erde in Verbindung mit der Art der Positionsdaten. Weil die Lage der Objekte in Longitude (geografische Länge) und Latitude (geografische Breite) beschrieben wird, handelt es sich um Koordinaten auf einer Kugel. Daraus ergeben sich Besonderheiten für die Längenberechnung.

Weiterhin ist die Erde in Wirklichkeit aber keine Kugel, sondern ein Rotationsellipsoid, der an den Polen einen geringeren Radius hat, als am Äquator. Diese Tatsache sei aber

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

für die folgenden Betrachtungen zu vernachlässigen. Grund dafür ist die bereits bei der Visualisierung gemachte Vereinfachung, die Höhe der Eingabedaten (siehe Abschnitt 4.3.3) zu vernachlässigen.

Zur Entfernungsberechnung sollen drei Ansätze aufgezeigt und auf ihre Tauglichkeit untersucht werden. Grundlage hierfür ist eine Frage aus der U. S. Census Bureau Geographic Information Systems FAQ ([Bur09]). Im Hinterkopf sollten dabei folgende Ausmaße bleiben, die vermitteln, in welchen Größenordnungen man sich bewegt. Der größte Truppenübungsplatz Europas in Bergen hat eine Ausdehnung von 25km x 18km. Er liegt etwa auf 52° nördlicher Breite. Ein Kampfpanzer vom Typ Leopard 2A5 hat eine Länge von 7,72m.

Pythagoras

Der erste Ansatz ist die naive Anwendung des Satzes von Pythagoras. Ausgangspunkt dafür ist die Annahme, sich nicht auf der Oberfläche einer Kugel zu bewegen, sondern auf einer Ebene. Dies hat Ungenauigkeiten zur Folge, die in Abschnitt 4.3.3 beschrieben sind. Der Abstand d zweier Punkte berechnet sich somit wie folgt:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (4.3.1)$$

Der Abstand hat dieselbe Einheit, wie die in kartesischen Koordinaten angegebenen Punkte $P_1(x_1, y_1)$ und $P_2(x_2, y_2)$.

Abhängig von der geografischen Breite, an der die Berechnung durchgeführt wird, resultieren die in Tabelle 4.2 dargelegten Fehler bei einer tatsächlichen Länge von 20km.

<i>absoluter Fehler</i>	<i>geografische Breite</i>
< 30m	< 70°
< 20m	< 50°
< 9m	< 30°

Tabelle 4.2.: Absolute Fehler bei der Entfernungsberechnung nach Pythagoras, Abstand der Punkte ist 20km

Da die für die Veranschaulichung gewählte Länge durchaus in der Realität, zum Beispiel auf einem Truppenübungsplatz auftreten kann, sind die entstehenden Fehler nicht hinnehmbar.

Seitenkosinussatz

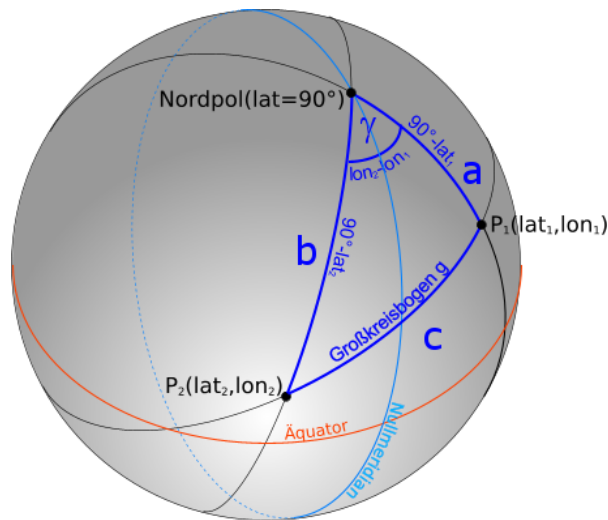


Abbildung 4.14.: Kugeldreieck mit Beschriftung [Kom09]

Um die Entfernung zweier Punkte auf einer Kugel mathematisch korrekt zu berechnen, bedient man sich der sphärischen Geometrie. Für das in Abbildung 4.14 dargestellte Kugeldreieck gilt der Seitenkosinussatz:

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos \gamma \quad (4.3.2)$$

Dabei soll die Entfernung c von Punkt P_1 nach Punkt P_2 berechnet werden.

Nimmt man für den oberen Punkt als Nordpol an, und arbeitet auf einer Einheitskugel, dann folgt:

$$a = 90^\circ - \text{lat}_1 \quad (4.3.3a)$$

$$b = 90^\circ - \text{lat}_2 \quad (4.3.3b)$$

Bekannt ist folgender Zusammenhang:

$$\sin 90^\circ - x = \cos x \quad (4.3.4a)$$

$$\cos 90^\circ - x = \sin x \quad (4.3.4b)$$

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

Daraus ergibt sich nach Umformung eine Formel zur Berechnung der Länge. Das Ergebnis hängt von den Einheiten der Eingabedaten ab. Werden die Koordinaten im Gradmaß angegeben, so ist zusätzlich zum Erdradius mit dem Faktor $\frac{\pi}{180^\circ}$ zu multiplizieren. Werden die Daten im Bogenmaß eingegeben, entfällt der letzte Faktor.

Der so berechnete Abstand ist unter Berücksichtigung der gemachten Vereinfachung, auf einer Kugel zu rechnen, mathematisch korrekt. Ideal ist diese Lösung jedoch nicht, da die Formel für sehr kleine Entfernungen schlecht konditioniert ist. Kritisch ist hier vor allem der Kosinus der Längengraddifferenz. Abhängig von der Gleitkommapräzision (weniger als sieben signifikante Stellen) können bereits Längen kleiner einer Nautischen Meile (1.852m) nicht mehr unterschieden werden. Der Grund hierfür ist in Tabelle 4.3 illustriert.

x	$\cos x$
1' (1.852m)	0,99999995769202532795126248717334
30" (926m)	0,99999998942300627605141750356948
1" (30,86m)	0,99999999998824778473047407621793

Tabelle 4.3.: Schlechte Konditionierung des Kosinus

Haversine Formel

Die gleiche Berechnung wie oben kann durch geeignetes Umstellen der Gleichung auch ohne das geschilderte Problem durchgeführt werden. Grundlage bilden die Additionstheoreme und die heute weniger gebräuchliche trigonometrische Funktion des Semiversus (im englischen Haversine, daher der Name der Formel).

$$d = 2R \arcsin \sqrt{\sin^2 \left(\frac{lat_2 - lat_1}{2} \right) + \cos(lat_1) \cos(lat_2) \sin^2 \left(\frac{\Delta lon}{2} \right)} \quad (4.3.5)$$

Auch diese Formel ist für ein spezielles Problem schlecht konditioniert. Problematisch sind Entfernungen zwischen antipodalen Punkten, also Orten, die sich auf dem Erdball gegenüberliegen. Da dieser Fall in Kontext des erstellten Prototyps keine Rolle spielt, ist dieser Fall aber zu vernachlässigen.

Aus diesem Grund wurde diese Formel zur Entfernungsberechnung verwendet.

4.3.3. Informationsverlust durch Projektion einer Kugelkappe auf eine Ebene

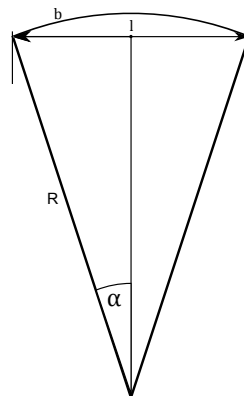


Abbildung 4.15.: Schnitt durch die Erde mit Kreisbogen und darunterliegender Strecke

Um im vorgestellten Prototyp eine Dimension für die Zeit verwenden zu können, war es notwendig die Höhe einer Einheit außer Acht zu lassen. Dadurch ergibt sich eine Ungenauigkeit, denn die Eingabedaten befinden sich eigentlich auf einer sogenannten Kugelkappe. So bezeichnet man einen Ausschnitt einer Kugeloberfläche. Zusätzlich sind sie eventuell sogar auf Bergen. Durch das Fortlassen der Höhe wird die Kugelkappe in die Ebene projiziert.

Um diesen Sachverhalt einfacher durchdenken zu können, soll er in den zweidimensionalen Raum übertragen werden. Folglich geht es dann nicht mehr um eine Kugelkappe, die in eine Ebene abgebildet wird, sondern um einen Kreisbogen, der auf eine Gerade projiziert wird.

Durchdenkt man sich diesen Vorgang, ist es klar, dass die resultierende Gerade kürzer sein muss, als der Kreisbogen. Um diesen Fehler zu veranschaulichen soll noch einmal die Größenordnung des Truppenübungsplatzes Bergen herangezogen werden. Mit Ausmaßen von 25km x 18km ist die theoretisch längste Strecke die Diagonale des aufgespannten Rechtecks. Diese ist nach Pythagoras ca. 30km lang.

Diese 30km als Länge eines Kreisbogens auf einem Kreis mit einem Radius von 6371km sind der Anhalt für die folgende Rechnung. Verbindet man Anfang und Ende des Kreisbogens mit einer Gerade, so ist diese Strecke die gesuchte Projektion.

Zwischen dem Mittelpunkt des Kreises und den Endpunkten des Kreisbogens wird ein gleichschenkeliges Dreieck aufgespannt. Das Lot auf der Strecke, dessen Länge gesucht

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

ist, Teilt das Dreieck in zwei gleichgroße rechtwinklige Teildreiecke. Grund hierfür ist, dass das Lot auf der Grundseite eines gleichschenkligen Dreiecks zugleich auch Winkelhalbierende ist.

Folglich ist der Winkel α , der vom Lot und dem Radius, der Mittelpunkt und einen Endpunkt des Kreisbogens verbindet wie folgt zu berechnen:

$$\frac{2\pi \cdot 6371km}{2\pi} = \frac{30km}{2\alpha} \quad (4.3.6a)$$

$$\alpha = \frac{15}{6371} \quad (4.3.6b)$$

Mit dem berechneten Winkel lässt sich auf die Länge der gesuchten Strecke schließen. Sie ist das Doppelte der Gegenkathete zum Winkel α .

$$\sin \alpha = \frac{a}{6371km} \quad (4.3.7a)$$

$$l = 2 \sin \alpha \cdot 6371km \quad (4.3.7b)$$

Die Länge der Strecke ist somit etwa 29,999972km. Der absolute Fehler beträgt 2,72cm. Relativ sind das 0,001 ‰. Das Vernachlässigen der Höhe fällt also viel schwerer ins Gewicht, als die Projektion der Kugelkappe in die Ebene.

4.3.4. Mousepicking

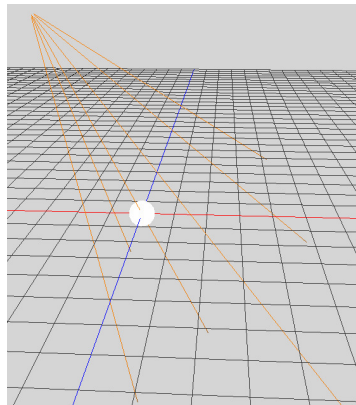


Abbildung 4.16.: Darstellung der von der Maus ausgehenden Strahlen aus [Sch08]

Unter dem Wort Mousepicking wird nach [Sch08] die Auswahl von Objekten in einer dreidimensionalen Darstellung verstanden. Dies ist in der Umsetzung des Visualisie-

rungsframeworks notwendig, wenn ein Datum in der grafischen Ansicht selektiert werden soll, um zum Beispiel seine Eigenschaften in der textuellen Ansicht zu inspizieren.

Bei dieser, auf den ersten Blick sicher trivial erscheinenden Tätigkeit gibt es ein Problem, dass der Leser vielleicht aus der Bäckerei kennt. Zeigt man, vor der Theke stehend, auf ein Gebäckstück hinter der Glasscheibe, welche die Backwaren vor den Kunden schützt, so ist es für den/die Verkäufer/in nicht einfach zu erkennen, auf was gezeigt wird.

Ein ähnlicher Sachverhalt ergibt sich durch das Zeigen mit der Maus auf ein Objekt im dreidimensionalen Raum, denn der Mauszeiger bewegt sich nur auf einer Ebene, einer Art Fenster zum Raum der Darstellung. Um zu berechnen, auf was gezeigt wird, braucht es einen Strahl ausgehend von der Spitze des Mauszeigers. Dasjenige Objekt, das in der kürzesten Entfernung vom Zeiger getroffen wird, soll ausgewählt werden.

Aus der analytischen Geometrie ist aber bekannt, dass eine Gerade, spezieller aber auch ein Strahl, durch mindestens zwei Punkte zu spezifizieren ist. An dieser Stelle hilft die gewählte Grafikengine, indem sie ihrem Benutzer zu einer gewählten Bildschirmkoordinate den Startpunkt des Strahls, der von ihr ausgeht, im dreidimensionalen Raum liefert. Zusätzlich ist sie in der Lage, senkrecht zur Bildschirmenebene einen Zielpunkt am Ende des sichtbaren Bereichs zu liefern. Aus diesen beiden Punkten kann nun der für das Mousepicking benötigte Strahl berechnet werden.

Bei der Übergabe der Bildschirmkoordinaten ist jedoch zu beachten, dass das von Swing verwendete Koordinatensystem seinen Ursprung in der *oberen* linken Ecke besitzt. Im Vergleich zu OpenGL, das den Ursprung mathematisch eingängig in der *unteren* linken Ecke platziert. Die y-Koordinate ist also vor der Berechnung von der Höhe des Bildschirms abzuziehen.

In Abbildung 4.16 ist eine Visualisierung der Strahlen nachzuvollziehen.

4.3.5. Bewegungskegel

In der prototypischen Implementierung ist es möglich, eine Reichweitenanalyse zu einer Einheit durchzuführen. Das heißt, wie weit sie sich unter Annahme einer bestimmten Maximalgeschwindigkeit bewegen kann. Dargestellt wird diese Reichweite durch einen Kegel, der seine Spitze im Ausgangsort der Einheit hat.

Interessant ist es, festzustellen, welche anderen Einheiten sich in dem Kegel befinden. Visuell ist dies meist möglich, das heißt eine Berechnung ist nicht immer notwendig.

Aber es gibt Grenzfälle, in welchen eine genaue Aussage nur mathematisch getroffen werden kann. Wie diese Berechnung aussehen kann, soll im Folgenden dargelegt werden.

Engine-Mittel

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass eine Engine für die dreidimensionale Darstellung verwendet wurde, kann man davon ausgehen, dass davon Mittel zur Verfügung gestellt werden, um das Problem zu lösen.

Eine mögliche Umsetzung basiert auf der Technik, die auch für die Mousepicks (siehe Abschnitt 4.3.4) verwendet wurde: Gegeben seien die dreidimensionalen Objekte der Einheiten und der Kegel, in dem sie potentiell liegen könnten. Von jeder Einheit wird jetzt ein Strahl ausgesendet. Richtung ist grundsätzlich die negative y-Richtung. Naiv gesprochen: *nach unten*.

Genau wie beim Mousepicking wird jetzt geprüft, ob der Kegel getroffen wurde. War dies der Fall, befindet sich die Einheit darin.

In der prototypischen Implementierung wurde diese Variante nicht umgesetzt. Grund dafür ist sind Probleme mit dem Algorithmus, den die Engine für die Kollisionsberechnung nutzt. Er ist auf Geschwindigkeit, nicht jedoch auf Genauigkeit ausgelegt. Ziel der Berechnung sollte aber ein sehr genaues Ergebnis sein. Deswegen entfällt diese Variante.

Winkelvergleich

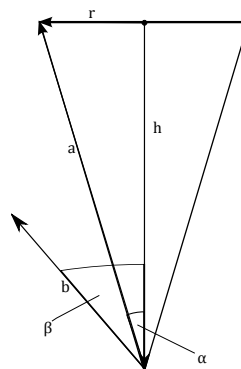


Abbildung 4.17.: Schnitt durch einen Kegel. b ist dabei der Ortsvektor eines zu prüfenden Punkts.

Ein Ansatz das Problem mit analytischer Geometrie anzugehen, ist der Vergleich von Winkeln zwischen Vektoren. Für diese Variante kann o. B. d. A. der Kegel als (gleichschenkliges) Dreieck angenommen werden. Auf der Basis wird nun das Lot gefällt. Bei diesem handelt es sich um die Höhe des Dreiecks.

Als Erstes wird der Winkel zwischen den Schenkeln des Dreiecks und dem Lot berechnet. Da der Radius des Kegels mit der Höhe des Dreiecks (und ebenfalls der Höhe des Kegels) ein rechtwinkliges Dreieck aufspannt, gilt:

$$\tan \alpha = \frac{r}{h} \quad (4.3.8a)$$

$$\alpha = \arctan \frac{r}{h} \quad (4.3.8b)$$

Als Zweites wird der Winkel berechnet, der sich für jede zu prüfende Einheit zwischen der Strecke von der Spitze des Kegels zur Einheit und dem Lot befindet. Er berechnet sich nach:

$$\cos \beta = \frac{\vec{a} \bullet \vec{b}}{|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|} \quad (4.3.9)$$

Ist dieser Winkel größer, liegt die Einheit außerhalb des Kegels. Ist er anderenfalls kleiner, befindet sich die geprüfte Einheit im Kegel.

Insgesamt handelt es sich hierbei um ein recht rechenaufwendiges Verfahren, da es für jede Einheit durchgeführt werden muss. Aus diesem Grund stellt sich die Frage, ob es Möglichkeiten zur Vereinfachung gibt.

Vergleich der y-Komponenten Berechnet man den Winkel α nicht mit der Gleichung 4.3.8, sondern mit Gleichung 4.3.9, ergibt sich eine Vereinfachung: Da der Richtungsvektor nur in der y-Komponente von null verschieden ist, geht auch nur die y-Komponente des Schenkelvektors ein. Damit degeneriert das Skalarprodukt zu einer einzigen Multiplikation.

Für die Winkelberechnung sind die Längen der Vektoren, die für die Berechnung herangezogen werden, unerheblich. Darum muss für das Lot nicht mit dem Vektor (0, h, 0) gerechnet werden. Es genügt (0, 1, 0). Das Skalarprodukt muss nun schlicht nicht mehr ausgerechnet werden.

Ebenso können der Schenkelvektor und der Vektor der zu prüfenden Einheit Richtung Kegelspitze normalisiert werden. Resultat ist, dass der Nenner der Formel zur Win-

4. Entwurf und Umsetzung einer Visualisierungsumgebung

kelberechnung gleich eins ist. Die Berechnung des Arkuskosinus ist zum Vergleich der beiden Winkel hinfällig. Schließlich müsste er nur von den y-Komponenten berechnet werden. Diese können aber auch gleich verglichen werden: Ist die Höhe (y-Komponente) des normalisierten Vektors der zu prüfenden Einheit kleiner, liegt sie außerhalb. Ist die des normalisierten Schenkelvektors kleiner, liegt sie im Kegel.

Zusammenfassen müssen zur Berechnung nur noch folgende Schritte durchlaufen werden:

1. Einmalige Berechnung des Schenkelvektors
2. Normalisierung des Schenkelvektors
3. Für jede zu prüfende Einheit:
 - a) Berechnung des Vektors von ihr zur Kegelspitze
 - b) Normalisierung dieses Vektors
 - c) Vergleich der y-Komponenten der beiden Vektoren.

Durch diese Optimierung werden pro zu prüfender Einheit folgende absoluten und relativen Einsparungen gemacht:

<i>absolute Verbesserung</i>	<i>relative Verbesserung</i>
-4 Additionen	-44%
-6 Multiplikationen	-66%
-3 Divisionen	-50%
-1 Wurzel	-50%
-1 trigonometrische Funktion	-100%

Tabelle 4.4.: Erreichte Verbesserungen durch Vereinfachung der Berechnung

5. Fazit und Ausblick

In diesem letzten Kapitel soll eine Bewertung der im Rahmen dieser Arbeit entstandenen Implementierung vorgenommen werden. Dazu werden die zu Beginn gesetzten Ziele als Maßstab genommen. Anschließend soll aufgezeigt werden, welche Aspekte in einer weiterführenden Arbeit aufzugreifen sind und wie das Erstellte eingesetzt werden kann.

5.1. Bewertung

Ziel dieser Arbeit sollte ein plattformunabhängiges Framework sein, das die Visualisierung von multisensorischen Daten ermöglicht. Es sollte einer prototypischen Implementierung dienen, welche Daten eines Gefechtssimulators darstellen kann und die Redundanzen in ihnen durch Visualisierung zu beseitigen vermag.

Das Ergebnis der Arbeit ist vielversprechend. Im Prinzip konnten alle Ziele umgesetzt werden. Inwieweit dies geschehen ist, wird im Folgenden für die einzelnen Aspekte dargestellt.

Framework zur Visualisierung von Multisensorischen Daten

Im Zuge der Implementierung ist ein Klassengerüst entstanden, das aus drei Teilen besteht. Der erste ist eine Datenstruktur, die durch ihre modulare Struktur eine hohe Flexibilität und Erweiterbarkeit bietet. Weiterhin ein Backend, welches auf der einen Seite den einfachen Import von XML-Dateien in die geschaffene Datenstruktur ermöglicht und auf der anderen Seite diese mit weitreichenden Möglichkeiten der Individualisierung in eine dreidimensionale Ansicht umformen kann. Im dritten Teil, dem Frontend, können die Daten visuell und textuell betrachtet werden. Es ist also ein funktionsfähiges Framework entstanden.

Prototypische Implementierung

Mit Hilfe des erstellten Klassengerüsts war es ohne hohen Implementierungsaufwand möglich, die vom Betreuer dieser Arbeit zur Verfügung gestellten Daten eines Gefechts-simulatorproxy darzustellen. Entstanden ist dabei ein Prototyp, der in der Lage ist, Datensätze mit ihren Eigenschaften anzuzeigen.

Beseitigung von Redundanzen durch Visualisierung

Fusion auf Basis von Datensätzen, die sich an einer Stelle befindlichen, geschieht im Prototyp automatisch, da sie visuell nicht unterscheidbar sind und somit als ein Datum zu erkennen sind.

Weiterhin wurde durch die Darstellung von Bewegungskegeln eine Möglichkeit der Reichweitenanalyse geschaffen. Somit ist es möglich, auch Sichtungen, die zu unterschiedlichen Zeiten an unterschiedlichen Orten gemacht wurden, einem Objekt zuzuordnen. Zusammenfassend ist somit mit dem Prototyp ein mächtiges Werkzeug zur Visualisierung und visuellen Fusion von Daten entstanden.

Plattformunabhängigkeit

Aufgrund der Umsetzung in Java, der Verwendung von Swing und einer Grafikklassenbibliothek, die für alle gängigen Betriebssysteme vorhanden ist, entstand ein plattformunabhängiges System. Der Prototyp wurde erfolgreich auf Microsoft-Systemen (Windows XP, Vista, 7), auf Linux-Systemen (Ubuntu 9.04/9.10) und MacOS X getestet. Beschränkt wird die Unabhängigkeit nur von der Verfügbarkeit nativer Lightweight Java Game Library (LWJGL)-Bibliotheken und der OpenGL-Fähigkeit des Betriebssystems. Da letztere für Windowssysteme bereits ab Win98 der Fall ist, scheitert es daran sicher mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit.

5.2. Weiterführende Arbeit

Obwohl die Ziele der Arbeit sind erfüllt worden sind, gibt es dennoch Ansätze für die weiterführende Arbeit und Punkte, die sicher noch verbessert werden können. Diese beiden Aspekte sollen im Folgenden beleuchtet werden.

Ansätze zur Verbesserung

Das größte Problem dieser Arbeit war die kurze Zeit, in der sie erstellt werden musste. Aus diesem Grund mussten an einigen Stellen Abstriche gemacht werden. Als besonders kritisch ist dabei das Vertrautmachen mit der verwendeten Grafikbibliothek (siehe Abschnitt 2.3). Zwar hat sie sich in ersten Experimenten als sehr leicht verständlich und einfach zu handhaben gezeigt. Das an einigen Stellen jedoch benötigte Wissen von der vollen Komplexität hat aber gefehlt.

Konkret äußert sich dieses Problem in den zwei separaten Datenmodellen. Auf der einen Seite steht das mit dem Framework entwickelte eigene Datenmodell. Auf der anderen Seite gibt es den Szenenbaum zum Anzeigen der Daten. Werden Informationen zu einem grafischen Objekt benötigt, muss im Datenmodell des Frameworks ein Lookup geschehen. Dieser Vorgang ist aufwendig und kann beseitigt werden, indem beide Datenmodelle verschmelzen. Dabei müssen lediglich die Klassen zur Datenspeicherung von den Knoten des Szenenbaums erben. Derart tiefgreifende Strukturänderungen sollten aber zum Ende der Arbeit nicht mehr durchgeführt werden. Die ungewollten Nebenwirkungen waren nicht abschätzbar.

Ebenfalls durch die kurze Zeit, die für diese Arbeit zur Verfügung stand, entwickelten sich redundante Strukturen innerhalb des Klassengerüsts. Zum Wohle eines funktionsfähigen Prototyps wurde an einigen Stellen die Eleganz des Entwurfs in den Hintergrund gerückt. Durch den geeigneten Einsatz von Refactoring ist dieser Missstand jedoch zu beseitigen.

Ein weiterer Punkt, an dem Verbesserungen vorgenommen werden können, ist die Ergonomie des Prototyps. Das auffälligste Beispiel ist die in Abschnitt 4.2.3 beschriebene Filterfunktion. Der Name des Schlüssels, nach dem gefiltert werden soll, muss in korrekter Groß- und Kleinschreibung von Hand eingegeben werden. Förderlich wäre hier, eine Liste mit den möglichen Eigenschaften bereits aus den Daten auszulesen und mit Hilfe dieser Liste eine Auswahl zu ermöglichen.

Weiterführende Ansätze

Der nächste Schritt muss, vor allem im Hinblick auf die Erprobung des Frameworks, die Visualisierung eines anderen Datenbestandes sein. Einige Möglichkeiten sollen hier aufgezählt werden:

Neighbor Discovery Protocol Neighbor Discovery Protocol (NDP) ist ein Protokoll, das unter anderem die Übersetzung von IPv6-Adressen in Link-Layer-Adressen leistet. Es entspricht zum Address Resolution Protocol in IPv4-Netzen.

[BBF09] und [Büh10] entwickeln einen Monitoring-Ansatz für NDP. In diesem Zusammenhang entstand die Idee, die anfallenden Daten zu visualisieren. Als Dimensionen könnten jeweils die IPv6- und MAC-Adressen, sowie die Zeit, dienen. Daraus könnten Schlüsse über häufig verwendete Hersteller der Netzhardware gezogen werden. Auch könnten Informationen gewonnen werden, welche Benutzer des Netzwerks aufgrund von häufigem Adresswechsel im Netz verdächtig erscheinen.

Internethandel Eine weitere Möglichkeit, die Visualisierung von Daten zu nutzen, ist das Auswerten vom Kaufverhalten bei Kunden von Online-Shops und das Surf-Verhalten von Internet-Nutzern. Theoretisch lässt sich bei geeigneter Visualisierung ein Verhaltensmuster erkennen. Dieses könnte dazu dienen, Kunden auf unterschiedlichen Plattformen wiederzuerkennen. Hier wäre die Visualisierung wieder zur Datenfusion eingesetzt.

Militärische Lagen

Auf diesem Gebiet bewegt sich zwar schon der Prototyp, aber es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, hier weiterführende Arbeit zu bestreiten. Ein Ansatz ist das Verbessern der Reichweitenanalyse. Fahrzeuge können nicht auf jedem Untergrund ihre Maximalgeschwindigkeit erreichen. Darum könnten Informationen über die Geländebeschaffenheit in die Visualisierung mit einfließen. Das hätte zur Folge, dass nicht mehr echte Trichter gezeichnet werden. Sie würden an einigen Stellen, in Abhängigkeit vom Terrain, deformiert. Die Berechnung solcher Gebilde wird den anspruchvollsten Teil der Arbeit ausmachen.

Zusätzlich könnte der Prototyp, neben der vorhandenen visuellen Fusion, um mathematische Modelle erweitert werden. Einen großen Einfluss werden dabei statistische und stochastische Berechnungen haben, da die Daten immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind.

5.3. Fazit

Zusammenfassend ist in dieser Arbeit ein Prototyp zur Visualisierung einer militärischen Lage entstanden, der die in ihn gesetzten Anforderungen erfüllt. Durch Abstraktion des Prototyps konnte ein Klassengerüst erstellt werden, das für die Implementierung weiterer Datenarten verwendet werden kann.

Die erhoffte Fähigkeit, Redundanzen in multisensorischen Daten durch Visualisierung beseitigen zu können, wurde umgesetzt. Bei der Erprobung mit echten, sowie konstruierten Eingabedaten hat sie sich als mögliche Alternative zu den grundlegenden mathematischen Modellen herausgestellt. Welche Qualität der verfolgte Ansatz hat, bleibt in weiterführender Arbeit unter Beweis zu stellen.

Literaturverzeichnis

- [BBF09] BÜHRING, THOMAS, FRÉDÉRIC BECK und OLIVIER FESTOR: *Countermeasures against attacks on the Neighbor Discovery Protocol*. Technischer Bericht, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique, August 2009.
- [Büh10] BÜHRING, THOMAS: *Extensible Monitoring of the IPv6 Neighbor Discovery Protocol Spanning Multiple Links*. Bachelor Thesis, December 2010.
- [Bur09] BUREAU, U. S. CENSUS: *Geographic Information Systems FAQ, What is the best way to calculate the distance between 2 points?*, 2009. [Online; Stand 14. Dezember 2009].
- [Dav05] DAVISON, ANDREW: *Killer Game Programming in Java*. O'Reilly Media, Inc., May 2005.
- [GHJV02] GAMMA, ERICH, RICHARD HELM, RALPH JOHNSON und JOHN VLISSIDES: *Design patterns: abstraction and reuse of object-oriented design*, Seiten 701–717. Springer-Verlag New York, Inc., New York, NY, USA, 2002.
- [Hal92] HALL, DAVID L.: *Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion*. Artech House, Inc., Norwood, MA, USA, 1992.
- [HL97] HALL, D. L. und J. LLINAS: *An introduction to multisensor data fusion*. Proceedings of the IEEE, 85(1):6–23, 1997.
- [Kom09] KOMPFF, MARTIN: *Entfernungsberechnung*, 2009. [Online; Stand 29. Dezember 2009].
- [Láz08] LÁZARO, TOMÁS: *JMonkey Engine User's Guide*. http://www.jmonkeyengine.com/wiki/doku.php/download_user_s_guide_as_pdf, (Stand 25.12.2009), 2008.
- [McI02] MCLAUGHLIN, BRETT: *Java und XML*. O'Reilly/VVA, 2002.
- [Mil94] MILLER, G. A.: *The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information*. 1956. Psychological review, 101(2):343–52, 1994.

- [Sch08] SCHREGENBERGER, ULRICH: *Lernkurs zum Erstellen eines WYSIWYG-Editors in einer 3D Game Engine*. <http://jmonkeyengine.com/documentation/guide.pdf>, (Stand 25.12.2009), 2008.
- [Sho85] SHOEMAKE, KEN: *Animating rotation with quaternion curves*. In: *SIGGRAPH '85: Proceedings of the 12th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, Seiten 245–254, New York, NY, USA, 1985. ACM Press.
- [WL90] WALTZ, EDWARD L. und JAMES LLINAS: *Multisensor Data Fusion (Artech House Radar/Electronic Warfare Library)*. Artech House Publishers, 8 1990.

Abbildungsverzeichnis

4.1. Übersicht des Datenmodells	30
4.2. Aufbau der Klasse Data	31
4.3. Eigenschaftssystem im Datenmodell	33
4.4. Übersicht des Frameworks (Frontend/Backend)	35
4.5. Frontend des Frameworks mit <i>FusionVisForm</i> (orange), <i>ImporterPanel</i> (rot) und <i>ViewerPanel</i> (grün)	36
4.6. Ablauf des Visualisierungsprozesses	42
4.7. Darstellung einer Lage mit zwei aufeinandertreffenden Bataillonen, insgesamt 251 Datensätze	45
4.8. BattleSimVis als prototypische Implementierung einer militärischen Lagedarstellung	47
4.9. Rechtshändiges Koordinatensystem, wie es OpenGL verwendet [Sch08]	49
4.10. Baumstruktur der textuellen Darstellung	50
4.11. Filter mit voreingestellten Sichten auf die Lage	51
4.12. Hervorhebung in der grafischen Ansicht	52
4.13. Bewegungskegel in die Vergangenheit	53
4.14. Kugeldreieck mit Beschriftung [Kom09]	57
4.15. Schnitt durch die Erde mit Kreisbogen und darunterliegender Strecke	59
4.16. Darstellung der von der Maus ausgehenden Strahlen aus [Sch08]	60
4.17. Schnitt durch einen Kegel. b ist dabei der Ortsvektor eines zu prüfenden Punkts.	62

Tabellenverzeichnis

4.1. Beispiele für unmittelbar und mittelbar geeignete Größen	29
4.2. Absolute Fehler bei der Entfernungsberechnung nach Pythagoras, Abstand der Punkte ist 20km	56
4.3. Schlechte Konditionierung des Kosinus	58
4.4. Erreichte Verbesserungen durch Vereinfachung der Berechnung	64

Listings

4.1. Beispiel für eine wohlgeformte XML-Datei 37

A. Inhalt der CD

Die beiliegende CD enthält alle Daten und Programme um den implementierten Prototyp ausführen zu können. Zusätzlich ist auf ihr eine digitale Version dieser Arbeit zu finden.

Der aktuellste Stand mit Entwicklungen, die über diese Arbeit hinaus gehen, sind auf der Seite fusionvis.googlecode.com im Downloadbereich und im SVN-Repository unter fusionvis.googlecode.com/svn/trunk.

Inhalt:

Datei	Format	Bemerkungen
Bachelorarbeit	pdf	Eine digitale Kopie der Bachelor Arbeit
Java JDK 6	exe	Offline-Installation des JDK 6 Update 16
Java JRE 6	exe	Offline-Installation des JRE 6 Update 16
Eclipse Galileo	zip	Eclipse 3.5
FusionVis	Project	Java Source des Prototyps und des Frameworks
javadoc	zip	JavaDoc Dokumentation
BattleSimVis	jar	Archiv mit den .class-Dateien des Prototyp
BattleSimVis	bat	Ausführbare Datei zum Starten des Prototyps (Windows)
BattleSimVis	sh	Ausführbare Datei zum Starten des Prototyps (Linux)
BattleSimVis.lib	Ordner	Native Grafikbibliotheken für Windows und Linux
res	Ordner	Testdatensätze im XML-Format

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken und Zitate sind als solche kenntlich gemacht.

Es wurden keine anderen, als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Die Arbeit wurde weder einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt, noch veröffentlicht.

Neubiberg, 31. Dezember 2009

Unterschrift