

# **Konzept eines mobiles Assistenzsystems für Feldingenieure anhand eines Beispiels der multisensorischer Gebäudeüberwachung**

Technische Universität Berlin

Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnologie

Chair of Geoinformation Technology

Betreut durch:

Prof. Frank Neitzel

Thomas Becker

von

**Frieder H. Euteneuer**

Berlin, 15. Dezember 2013

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	iv
Akronyme	v
<b>I Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>1 Einführung in die Problematik</b>	<b>2</b>
1.1 Vergleichbare Systeme . . . . .	3
<b>II Anforderungen</b>	<b>6</b>
<b>2 Einsatzgebiet</b>	<b>8</b>
2.1 Modell des Problembereichs . . . . .	10
2.2 Geschäftsprozesse . . . . .	11
<b>3 Produktfunktionen</b>	<b>14</b>
3.1 Nutzergruppen . . . . .	15
3.1.1 Feldingenieure . . . . .	15
3.1.2 Bürokraft . . . . .	16
3.2 Anwendungsfälle . . . . .	16
3.2.1 Management . . . . .	17
3.2.2 Messungen . . . . .	19
3.2.3 Analyse . . . . .	21
<b>4 Nicht-funktionale Anforderungen</b>	<b>24</b>

<b>5</b>	<b>Prototyp</b>	<b>26</b>
<b>III</b>	<b>Architektur</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>Werkzeuge</b>	<b>28</b>
6.1	Bauwerksüberwachung . . . . .	28
6.1.1	Sensortypen . . . . .	30
6.1.2	Relevante Eigenschaften . . . . .	31
6.2	Entscheidungs-Unterstützung . . . . .	32
6.3	Sensornetzwerke . . . . .	33
6.3.1	autonome Sensornetzwerke . . . . .	35
6.3.2	nicht-autonome Sensornetzwerke . . . . .	35
6.3.3	IT Konzepte . . . . .	35
6.4	Dateninfrastruktur . . . . .	36
6.4.1	Datentypen und Datenformate . . . . .	37
6.4.2	Geodatenbanken . . . . .	37
6.4.3	Webdienste . . . . .	37
6.5	Analysemethoden . . . . .	38
6.5.1	Methode der finiten Elemente . . . . .	39
6.5.2	Datenkonsistenz . . . . .	39
6.6	Mobile Dienste . . . . .	40
<b>7</b>	<b>Softwareentwurf</b>	<b>42</b>
7.1	Sensor Web Enablement . . . . .	43
7.2	Datenanalyse . . . . .	43
7.3	Visualisierung . . . . .	43
7.4	Benutzeroberfläche . . . . .	43

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Tsunami Warnzentrum in Indonesien, GITEWS 2011 . . . . .	4
1.2	Sensor an der Sultan Mehmet-Brücke über den Bosphorus, SOSEWIN 2011 . . . . .	5
2.1	Modell des Problembereiches mit relevanten Objekten, F. H. Euteneuer 2013 . . . . .	10
2.2	BPMN (Business Process Model and Notation) Modell relevanter Aktionen welche in dem System durchgeführt werden, F. H. Euteneuer 2013 . . . . .	12
3.1	UML Anwendungsfalldiagramm des beschriebenen Systems und der einzelnen Nutzer- gruppen mit ihren Anwendungsfällen, F. H. Euteneuer 2013 . . . . .	15
3.2	BPMN (Business Process Model and Notation) Modell der Management Anwen- dungsfälle, F. H. Euteneuer 2013 . . . . .	19
3.3	BPMN (Business Process Model and Notation) Modell der Anwendungsfälle des Tei- les Messungen, F. H. Euteneuer 2013 . . . . .	21
3.4	BPMN (Business Process Model and Notation) Modell der Anwendungsfälle des Tei- les Analyse, F. H. Euteneuer 2013 . . . . .	23

# Tabellenverzeichnis

3.1	Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfalls "Einrichtung des Netzwerkes" . . . . .	18
3.2	Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfa' lls "Datenexport" . . . . .	18
3.3	Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfalls "Messung" . . . . .	20
3.4	Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfalls "Datenbearbeitung" . . . . .	20
3.5	Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfalls "Datenvisualisierung" . . . . .	22
3.6	Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfalls "Datenanalyse" . . . . .	22

# Akronyme

**GITEWS** German Indonesian Tsunami Early Warning System. 4

**SOSEWIN** Self-Organising Seismic Early Warning Information Network. 4

**TCP/IP** Transmission Control Protocol/Internet Protocol. 11

**UML** Unified Modeling Language. 10, 12, 17, 18

## Teil I

# Einleitung

# Kapitel 1

## Einführung in die Problematik

Diese Masterarbeit beschreibt den potentiellen Nutzen eines grafischen Management Systems für die Gebäudeüberwachung mittels verschiedener stationärer und mobiler Sensoren. Anhand eines Beispiels soll geklärt werden welche Technologien eingesetzt werden müssten um diese Aufgabe zu lösen, und worin genau der Mehrwert eines solchen Systems gegenüber konventioneller Vermessungssoftware liegt. Die vorgeschlagenen Technologien werden zum Abschluss der Arbeit teilweise praktisch angewandt respektive umgesetzt. Dieser Prototyp soll exemplarisch demonstrieren wie solch ein System arbeiten wird. Kernfragen der Masterarbeit ist, wie kann dieses System Feldingenieuren, die im Bereich der Gebäudeüberwachung arbeiten, generell in den folgenden Bereichen unterstützen:

- Planung und Optimierung der allgemeinen Arbeiten im Feld
- Datenkommunikation mit dem Büro
- Vorabauswertung der Messwerte direkt im Feld

Die Klassische Arbeit von Vermessungsingenieuren besteht aus dem praktischen Teil der im Feld durchgeführt wird, und den anschließenden Auswertungen und der Interpretation im Büro. Durch die räumliche Trennung dieser Beiden dennoch sehr ineinander verzahnten Aufgaben entsteht oftmals eine Verzögerung in den Abläufen und erhöhtes Risiko für vermeidbare Fehler in den Arbeitsabläufen. Das System soll so konzeptioniert sein, dass es die Lücke schließt, zum Einen um die Effizienz der Arbeiten zu erhöhen, und zum Anderen um Fehler bei den Messungen oder der Datenmigration zu erkennen oder von vorn herein zu vermeiden.



Heutzutage ist das Bearbeiten von unterschiedlichen Arbeiten an einem Ort zur gleichen Zeit keine Vision mehr. Mobile Endgeräte wie Smartphones oder Tablet-Computer vereinfachen Arbeitsabläufe, und helfen Zeit zu sparen. Bei den Arbeiten im Feld sind mobile Endgeräte bereits ständig präsent, dennoch helfen sie lediglich bei wenigen Aufgaben wie der papierlosen Bürokratie, der Email-Kommunikation mit dem Büro oder den betrachten vorheriger Messerergebnisse. Vergleiche auch (Breunig et al., 2003a) (Breunig et al., 2003b) Das hier konzipierte System hingegen weist folgende drei Hauptvorteile gegenüber der aktuellen Nutzung von mobilen Endgeräte auf:

- Kernfunktionalität ist das Assistieren des Vermessungsingenieurs. Das heißt es soll Hilfestellung beim Verstehen der Messungen geben (zum Beispiel durch den Vergleich der aktuellen Messungen mit vergangenen Messreihen). → Das Teilen von Informationen zwischen Feld und Büro führt zu einem besseren Kenntnisstand während der Arbeiten im Feld.
- Fehlmessungen wie sie etwa beim vertauschen von Positionen geschehen sollen vermieden werden indem die Messergebnisse direkt nach Eingabe in das System auf ihre Konsistenz hin überprüft werden.
- Für die Aufnahmen im Feld brauchen vorherige Messreihen nicht umständlich exportiert zu werden, sondern diese können von dem Mobilen System direkt von dem gemeinsamen Daten-Server abgerufen werden.

Das hier konzeptionierte System ist keine Alternative für klassische Vermessungssoftware, ist es eine Ergänzung und eine Brücke von den Sensoren direkt zu dem System. Es ermöglicht die Kombination von klassischer Ingenieurvermessung mit Sensornetzwerken.

## 1.1 Vergleichbare Systeme

Das Konzept der vernetzten Sensoren wurde bereits in einigen Systemen erfolgreich angewandt. Gerade bei Problemen die sich auf einen größeren Raum und über eine längere Zeit erstrecken ist es häufig nicht mehr möglich mit Einzelmessungen genug Informationen für eine Analyse zu erhalten. Ein wichtiges Argument für den Einsatz solcher Netzwerke ist natürlich auch die Möglichkeit alle verbundenen Sensoren bequem und ohne den Einsatz zusätzlicher Mittel von einem Ort aus kontrollieren zu können. Fehler in der Software beeinflussen damit natürlich auch das gesamte System, die Fehlersuche beschränkt sich dann aber auch nur auf einen Punkt. Nicht zuletzt spielt auch die Ökonomische Betrachtung solcher Systeme eine wichtige Rolle, Zentralisierung von Kräften bedeutet auch eine Reduzierung von Kosten. Wenige Spezialisten ersetzen eine große Anzahl an Generalisten

im Feld. Eine tiefer gehende Diskussion von Sensornetzwerken im allgemeinen und des Prototypen im Speziellen ist im dritten Teil der Arbeit zu finden.

Ein sehr prominentes Beispiel für den Einsatz von Sensornetzwerken ist das Deutsch-Indonesische Tsunami Frühwarnsystem German Indonesian Tsunami Early Warning System (GITEWS). Nach dem verheerenden Tsunami von 2006 im Pazifischen Ozean, der vor allem in Indonesien viele Opfer forderte, beschloss Deutschland den Aufbau eines Frühwarnsystems, dass die Menschen in Indonesien besser vor Tsunamis warnen sollte. Tsunamis werden meist durch eine spezielle Art von Erdbeben ausgelöst, bei der sich der Seeboden in



Abbildung 1.1: Tsunami Warnzentrum in Indonesien, GITEWS 2011

vertikaler Richtung bewegt und damit Wasser verdrängt. Dadurch entsteht ein Berg aus Wasser, der dann in alle Richtungen ausläuft. Somit können Tsunamis vorhergesagt werden, indem alle vorkommenden Seebeben daraufhin untersucht werden ob und wo ein Tsunami entstehen könnte. Das GITEWS System basiert auf einem dichten Netz aus Seismographen, GPS-Stationen und Pegelstationen rund um Indonesien. Seismographen an sich können zwar Erdbeben registrieren, sind aber alleine nicht in der Lage Aussagen über Epizentrum, Art und Stärke des Erdbebens zuzulassen. Die Vernetzung der Stationen stellt demnach eine der essentiellen Eigenschaften eines Erdbebenwarnsystems dar. Und damit die Warnung früh genug verbreitet werden kann müssen die Daten innerhalb eines äußerst kurzen Zeitraums erfasst und ausgewertet werden. Am besten gelingt das indem die Daten in Echtzeit übermittelt werden, und kontinuierlich ausgewertet werden. Das System dient als Kommunikations-Knoten zwischen allen Sensoren, als Auswertungssystem für die Daten und auch als Visualisierungsplattform für die Ergebnisse. (Lauterjung et al., 2011) (Strobl et al., 2007) (Spahn et al., 2010)

In dem Projekt Self-Organising Seismic Early Warning Information Network (SOSEWIN) beschäftigen sich Wissenschaftler ebenfalls mit einem Netzwerk aus Seismometern und weiteren Messinstrumenten. Bei diesem Projekt sollen jedoch nicht vor Tsunamis, sondern vor Erdbeben im Raum Istanbul gewarnt werden.

Dazu werden engmaschig Seismometerstationen und zudem im Stadtgebiet Bewegungssensoren und GPS-Empfänger installiert. Aus der Kombination der verschiedenen Messwerte können einige Sekunden vor einem Erdbeben Warnungen ausgegeben werden. Dieses Sensornetzwerk stellt ein sich selbst organisierendes und über TCP/IP kommunizierendes Netzwerk dar. Anders als bei anderen Netzwerken organisiert nicht ein zentraler Knoten alle Sensoren, sondern die Sensoren sind jeweils mit einem Mini-



Abbildung 1.2: Sensor an der Sultan Mehmet-Brücke über den Bosphorus, SOSEWIN 2011

Computer verbunden, der dann aktiv mit den anderen Knoten kommuniziert. Geplant ist auch eine Erweiterung des bestehenden Netzwerkes indem Privathaushalte Sensorkomponenten erwerben, und sich dadurch aktiv an der Frühwarnung beteiligen. Diese Möglichkeit besteht nur weil die Sensoren "quasi-autonomfunktionieren. Zusätzlich sollen auch kritische Infrastrukturen überwacht werden. Testweise wurden bereits Instrumente an der Sultan Mehmet-Brücke über den Bosphorus installiert um deren charakteristischen Eigenschwingungen zu messen. Gerade diese Brückenüberwachung hat gewissen Ähnlichkeit mit dem hier konzipierten Beispielnetzwerk, das zu Grunde liegende System allerdings unterscheidet sich maßgeblich. (Lühr et al., 2011)

## Teil II

# Anforderungen

Die Konzeptions eines Systems muss den Anforderungen der Nutzer entsprechen, und darf nicht an dem bestehenden Bedürfnissen "vorbei geplant" werden. Die Anforderungen an das System ergeben sich aus technischen Anforderungen, Erwartungen potentieller Nutzer und die damit einhergehenden Beispielfunktionen des Systems. Der Aufbau des Anforderungskataloges besteht aus einer Beschreibung des Einsatzgebietes, einer Beschreibung des Systems und den daraus abzuleitenden funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen.

# Kapitel 2

## Einsatzgebiet

Um präzise zu beschreiben was das System können muss, ist es notwendig vorher konkret die vorliegende Situation oder das existierende Problem zu definieren. Solche eine Definition sollte eine Beschreibung der Umgebung beinhalten in der das System eingesetzt werden soll. Nimmt man eine Modellierungssprache zur Hilfe, um die Umgebung zu beschreiben, ist es später einfacher daraus Rückschlüsse auf mögliche Probleme zu ziehen. Für ein solches Modell müssen die Fragen beantwortet werden, in welche Objekte sich die Umgebung aufgliedert, wie diese interagieren und welche Funktionalitäten diese dafür verwenden. Aber auch die teilhabenden Akteure und ihre konkreten Anforderungen an das System müssen modelliert werden. Mit Hilfe von exemplarischen Anwendungsfällen werde ich beschreiben was der tatsächliche Bedarf des Nutzers ist, und wie dieser gedeckt werden kann.

Bevor ich mit dem technischen Ausformulieren der Modellierung beginne, möchte ich kurz in die Thematik einleiten: Das System welches ich mit dieser Arbeit konzeptioniere soll Feldingenieuren helfen im Feld mit den Messungen und Daten verschiedener Sensoren zu arbeiten. Als konkretes Beispiel werde ich den Einsatz des Systems bei der Bauwerksüberwachung mithilfe eines Sensornetzwerkes beschreiben.

Die Überwachung von Bauwerken mittels eines Netzwerkes aus verschiedenen Sensoren hilft ihre Sicherheit ohne den Einsatz großer Bautechnischer Überprüfungen einschätzen zu können. Damit ist es möglich Bauwerke auch weit über ihre geplante Lebensdauer hinweg zu erhalten. Beispielsweise werden Bauunternehmen eine Gewährleistung für die Betriebsfähigkeit ihrer Bauwerke abverlangt, die zu Überwachen mithilfe von solchen Netzwerken möglich ist. Ohne den Einsatz solcher Sensor Netzwerke können die zuständigen Gutachter bei Ablauf der geplanten Lebensdauer nicht darauf

vertrauen, dass das Gebäude auch weiterhin den kontinuierlichen Belastungen gewachsen ist, und somit werden entweder umfangreiche Sanierungen Nötig, oder Bauwerke werde geschlossen. Die Überwachung basiert auf der Messung von Veränderungen von verschiedenen Parametern wie zum Beispiel der Position, der Temperatur oder Feuchtigkeit von Bauteile oder der Abweichungen von charakteristischen Bewegungsmustern von Bauteilen, gemessen durch Beschleunigungssensoren. Die Parameter werden sowohl punktuell verteilt über das gesamt Bauwerk, als auch gesamtheitlich die Struktur des Bauwerkes miteinbeziehend erhoben. Besonders nach oder sogar während extremen Ereignissen kann mithilfe bereits installierter Sensornetzwerke der Zustand beinahe in Echtzeit kontrolliert werden. Für die Messungen werden zum einen automatisch kontinuierlich messende Systeme eingesetzt, und zum anderen seltenere manuelle Messungen, deren Ergebnisse manuell in das System eingegeben werden. Eine detailliertere Beschreibung von Gebäudeüberwachung kann in den Publikationen (Farrar and Worden, 2007) (Worden and Duijckman, 2004) (Boller and Staszewski, 2004) gefunden werden.

Für das bessere Verständnis möchte ich hier ein Beispielfall beschreiben: Ein Brücke erreicht ihre letzten Jahre der Betriebserlaubnis. Danach müssen entweder die Verkehrssicherheit erneut umfangreich geprüft, und zahlreiche Verschleißteile, deren Zustand schlecht zu beurteilen ist, ersetzt werden, oder die Verkehrssicherheit muss auf andere Art überprüft werden. Zahlreiche Sensoren werden an den einzelnen wichtigen Gebäudeteilen eingerichtet, und überwachen nun automatisch über einen bestimmten Zeitraum deren Verhalten und Veränderungen. In periodischen Abständen werden automatisch Diagnosen erstellt, basierend auf der Analyse der Messwerte, der Überprüfung des Materialverschleißes und einiger anderer Einflussgrößen. Eine detailliertere Beschreibung der verwendeten Messungen, Zeitskalen und Analysemethoden werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

In der Einleitung der Arbeit möchte ich mich am Verlauf der Erstellung eines Pflichtenheftes für die Softwareentwicklung orientieren, da so am besten modelliert werden kann wie der Bedarf des Nutzers gedeckt werden kann, siehe auch (Engels, 2006). Beginnen werde ich mit einer textuellen Beschreibung der Situation. Danach folgt eine Modellierung der Prozesse und der Akteure mit ihren jeweiligen Anwendungsfällen. Zum Abschluss werde ich dann die daraus abgeleiteten notwendigen Funktionalitäten des System beschreiben.

## 2.1 Modell des Problembereichs

Die Abbildung 2.1 zeigt ein Unified Modeling Language (UML) Diagramm das die im folgenden beschriebenen verschiedenen Objekte des Systems beinhaltet. Das Modell beschreibt die Beziehungen der einzelnen Objekte untereinander und modelliert keine Aktivitäten oder Funktionen.

Die Umgebung in der das System eingesetzt werden wird besteht aus fünf verschiedenen Arten von Objekten und deren Beziehungen untereinander. Zentrales Objekt ist der Daten Server, der als Knoten für die Kommunikation zwischen den einzelnen Kompartimente dient. Diese sind hauptsächlich die Sensoren selbst, die jedoch ohne einen Server, der als Steuerungseinheit für jeden Sensor dient, nicht selbständig messen können. Der Server kontrolliert die Sensoren indem er sie aktiviert und deaktiviert. Nichtsdestotrotz können Sensoren in einem separiertem eigenem Netzwerk organisiert sein, das dann wiederum als einzelner Sensor behandelt wird. Die Sensoren senden ihre gemessenen Daten entweder aktiv an den Server beziehungsweise über den Server an die dem Server angeschlossene Datenbank, oder der Server ruft die Daten aktiv ab, und speichert diese dann in der Datenbank.

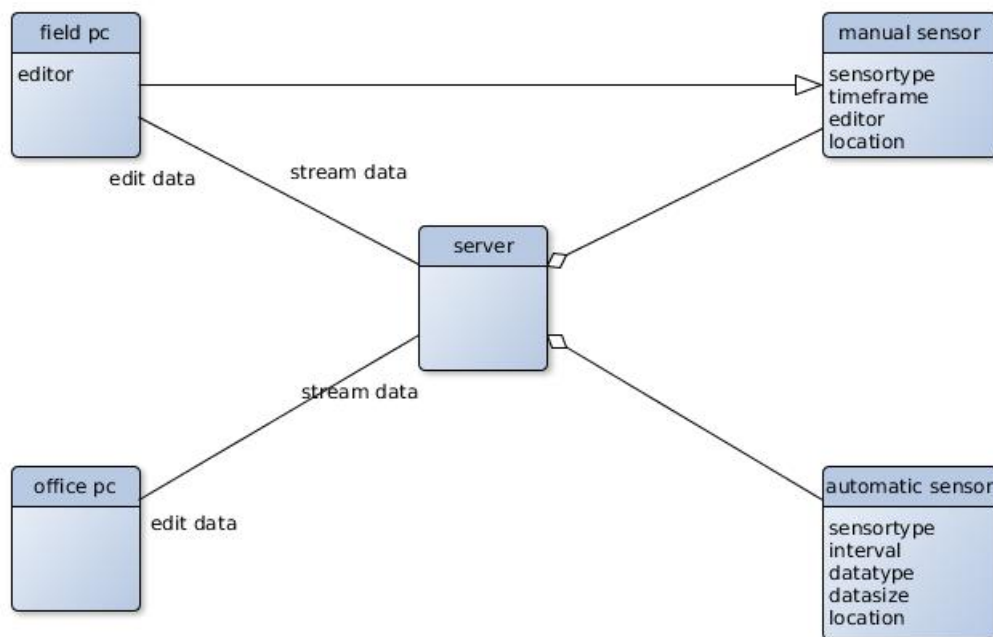


Abbildung 2.1: Modell des Problembereiches mit relevanten Objekten, F. H. Euteneuer 2013

Die Datenbank die and den Server angeschlossen ist speichert sowohl Metadaten zu den Sensoren, als auch die gemessenen Werte. Unter Metadaten sind alle Informationen zu verstehen, die die Sensoren eindeutig beschreiben, und die für weitere Analysen der Messerwerte erforderlich sind (siehe auch



im Glossar Metadaten". Beispielsweise sind das die Positionen der Sensoren, die Messintervalle, die Sensortypen oder die übermittelten Datentypen.

Als Klient des Services kann im Prinzip jede Art von mobilen Systemen eingesetzt werden. Angegeschlossen an die Datenbank dienen diese dann als bildgebender Teil des Systems. Da die Verknüpfung mit einem Server meist über das Protokoll Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) geschieht, müssen mobile Geräte über eine Internetverbindung verfügen. Die Verwendung dieser Geräte bleibt dadurch begrenzt auf Gebiete innerhalb der Handynetz-Abdeckung. Für manuelle Messungen dient der mobile Klient zusätzlich als Eingabegerät für die Messwerte, sofern dies nicht über das Gerät selber erfolgen kann. Dadurch wird der mobile Klient in dem Modell sowohl als bildgebender Teil des Systems, als auch als Sensor behandelt, und ererbt damit die Eigenschaften des Sensor Objekts.

Das System will einen ganzheitlichen Ansatz verfolgen, und beinhaltet somit auch einen Teil der für die umfangreicheren Analysen zuständig ist, sowie durch eine Datenexportfunktion als Schnittstelle zu weiteren Algorithmen und System dient. Dieser Teil des System wird in dem Modell durch den "Desktop-Computerrepräsentiert. Die eigentliche Einrichtung und Planung des Systems wird erwartungsgemäß von diesem, dem bequemerem Arbeitsplatz (verglichen mit dem mobilen Klienten), durchgeführt werden. Zusätzlich zu den Eigenschaften des Feldcomputers sind somit erweiterte Verwaltungs- und Analysefunktionen als Eigenschaften dieses Objektes definiert.

## 2.2 Geschäftsprozesse

Wichtigste Entscheidungshilfe für die Nutzung solch eines Systems wird die Eigenschaft des Systems, eine entscheidungsunterstützende Funktion zu erfüllen, sein. Das System ist fokussiert auf die wichtigen Werkzeuge die die Arbeit des Feldingenieurs vereinfachen sollen, und lässt unwichtige oder komplizierte Werkzeuge komplett weg. Außerdem werden die Informationen die im Feld auf dem mobilen Klienten angezeigt werden derart reduziert, dass lediglich aussagekräftige Werte, die damit Entscheidungen unterstützen können, angezeigt werden. In dem vorherigem Kapitel habe ich den Problembereich beschrieben, nun möchte ich die verschiedenen Prozesse skizzieren die ein Nutzer durchführen könnte.

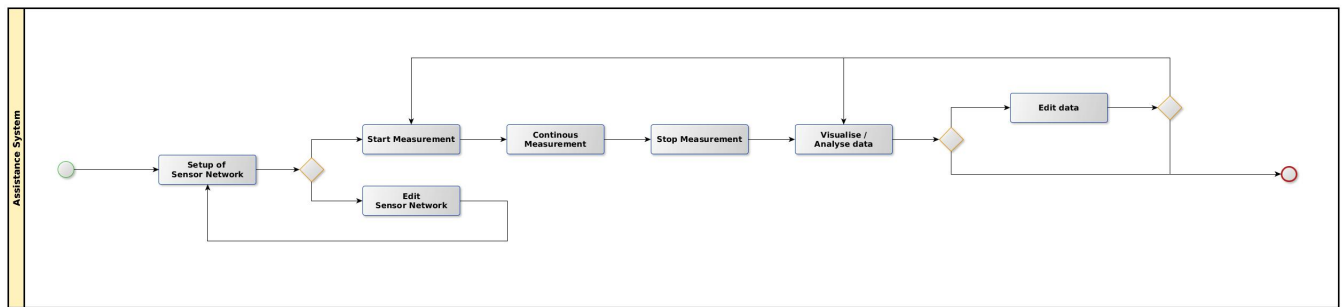


Abbildung 2.2: BPMN (Business Process Model and Notation) Modell relevanter Aktionen welche in dem System durchgeführt werden, F. H. Euteneuer 2013

Ich habe drei verschiedene Hauptaktionen identifiziert, die ein Nutzer durchführen könnte: Das manuelle Messen von Werten, das manuelle Editieren bereits gemessener Werte, und das automatische kontinuierliche Messen. Die Abbildung 2.2 veranschaulicht mittels eines UML Activity Diagrams (UML Aktivitäten Diagramm) die einzelnen Abläufe dieser Aktionen.

Die manuelle Messung beginnt mit der normalen Messung der Werte. Im zweiten Schritt erfolgt die Eingabe der Werte in das System. Die Werte werden automatisch auf ihre Validität hin überprüft, und erste einfache statistische Analysen werden erstellt. Diese erste Statistik ist erforderlich um Informationen über die Qualität der Messung zu erhalten, und dem System die Möglichkeit zu bieten fehlerhafte Messungen zu bemängeln und Neumessungen vorzuschlagen.

Der Nutzer wird die Möglichkeit haben vergangene Messungen manuell zu bearbeiten. Dazu muss ein Datensatz (Üblicherweise ein Messwert) ausgewählt werden, und der Nutzer kann dann entscheiden ob die betreffende Messung wiederholt werden soll, oder die Werte manuell geändert werden sollen. Bei einer Wiederholung der Messung wird die Prozesskette der manuellen Messung durchlaufen.

Die automatische Messung ist die wichtigste Funktion des Systems, und stellt eine der Innovationen dar. Obwohl das Verfahren ein anderes ist, sind die zu Grunde liegenden Funktionen der manuellen und der automatischen Messung sehr ähnlich. Als initiale Handlung muss das Sensor Netzwerk eingerichtet werden, dazu gehören die Eingabe der Metadaten, wie Sensor-Typ und -Position oder benutztes geographisches Referenz System. Welche Parameter tatsächlich benötigt werden um ein lauffähiges Sensoren Netzwerk einzurichten, wird in später folgenden methodischen Teilen genauer beschrieben. Nach der Einrichtung des Netzwerkes hat der Nutzer die Möglichkeit kontinuierliche automatische Messungen zu starten, und später auch wieder zu stoppen. Auch ein nachträgliches Ändern der eingegebenen Parameter ist möglich.

Zum Abschluss dieses Kapitels möchte ich nochmal darauf hinweisen, dass die hier beschriebene Liste an Funktionalitäten lediglich ein sehr rudimentäres System beschreiben, und demnach auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

## Kapitel 3

# Produktfunktionen

Was muss das System nun an Funktionalität anbieten, um den genannten Ansprüchen gerecht zu werden? Um diese Frage besser beantworten zu können möchte ich einige Anwendungsfälle beschreiben, in denen verschiedene Nutzergruppen für sie interessante Aufgaben mit Hilfe des System lösen werden. Nach einer kurzen Beschreibung der verschiedenen Nutzergruppen werde ich jeden Anwendungsfall in tabellarischer Form analysieren.

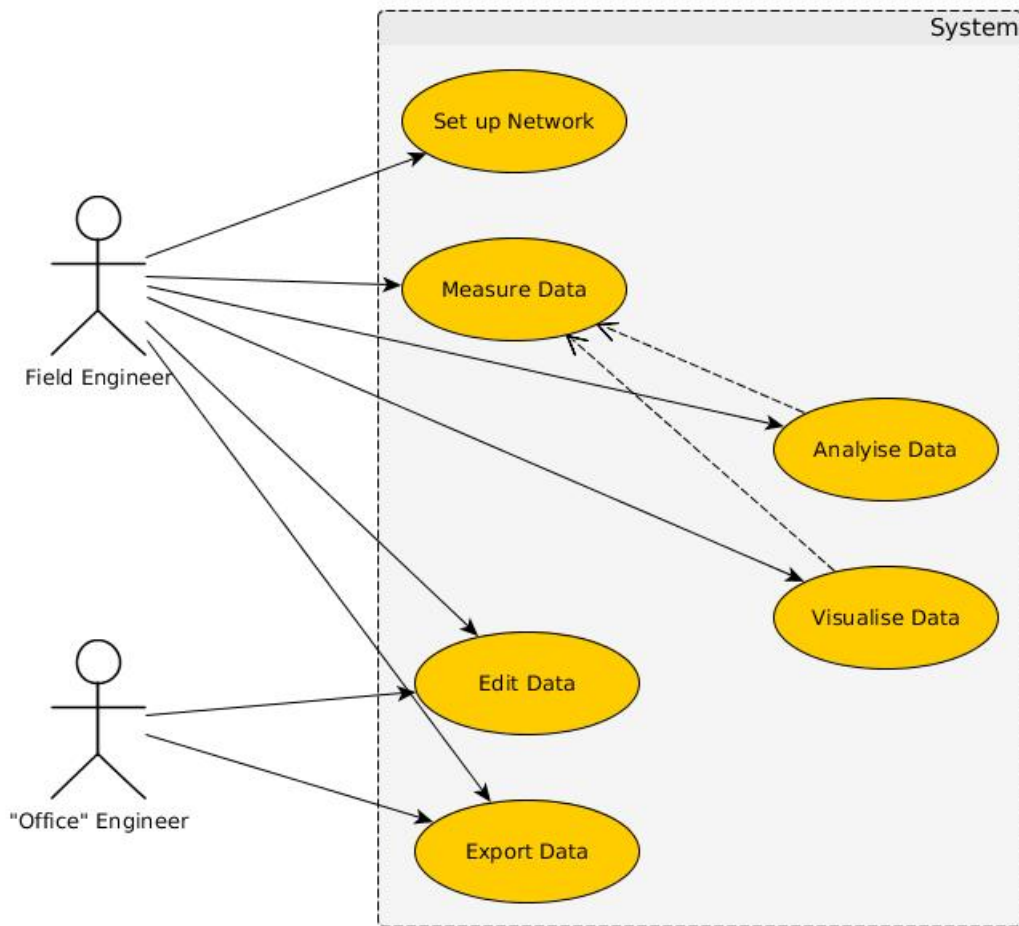


Abbildung 3.1: UML Anwendungsfalldiagramm des beschriebenen Systems und der einzelnen Nutzergruppen mit ihren Anwendungsfällen, F. H. Euteneuer 2013

## 3.1 Nutzergruppen

Die Analyse der verschiedenen Nutzergruppen des Systems bildet eine wichtige Informationsquelle für die Konzeption des Systems. Anstatt wahllos Funktionen zu beschreiben, die vermutlich in ein System gehören sollten, werden so imaginäre aber präzise definierte Nutzer identifiziert und befragt, was sie mit diesem System anfangen wollen. Die Abbildung 3.1 enthält bereits die zwei identifizierten wichtigsten Nutzergruppen die in die Prozesse involviert sind.

### 3.1.1 Feldingenieure

Die Gruppe der Feldingenieure kann als die Gruppe der Ausführenden Personen beschreiben werden, die im direkten Kontakt zu den Sensoren stehen oder selbst manuell die Messungen durchführen.

Für die Kommunikation mit dem System verwenden sie einen mobilen Klienten, dadurch sind sie technisch bestimmten Restriktionen unterworfen. In der Folgenden Liste sind die wichtigsten benannt:

- Kleine Anzeigefläche auf dem Mobilen Klienten (Qualität der Visualisierung ist limitiert)
- Fehlende oder mangelhafte Eingabemöglichkeiten (z.B.: Eingabe nur durch virtuelle Tastatur auf einem Mobilen Computer)
- Hohes Gewicht von nicht mobilen Klienten (z.B.: Verwendung eines konventionellen Notebooks als mobile Lösung, für Arbeiten im stehen oder Laufen aber zu schwer)

Nichtsdestotrotz definiert diese Nutzergruppe die herausforderndsten Anforderungen an das System, beispielsweise durch die Implementierung einer intelligenten Möglichkeit zur Visualisierung. Da diese Nutzergruppe die eigentliche Zielgruppe des Systems darstellt, sollten die Anforderungen dieser Gruppe zu gut als möglich erfüllt werden.

### 3.1.2 Bürokräft

Normalerweise sind die Nutzer Feld- und Büroingenieur vereinigt in einer Person. Projekte die sich mit der Überwachung von Bauwerken befassen können in zwei Teile untergliedert werden. Ein Teil ist für die Installation des Netzwerkes, für etwaige manuelle Messungen und für die Betreuung bestehender Sensornetzwerke zuständig, während sich der andere Teil um die Auswertung der eingehenden Daten, die Postprozessierung (DE: Nachbearbeitung) und die Interpretation der Daten kümmert. Durch die meist sehr komfortabel ausgestattete Informationstechnologie in den Büros erwarte ich hier niedrigere technische Anforderungen an das System.

## 3.2 Anwendungsfälle

Die Abbildung 3.1 zeigt die grundlegenden unterschiedlichen Anwendungsfälle der zwei im vorherigen Kapitel beschriebenen Nutzergruppen. Anwendungsfälle die in der Abbildung genannt werden repräsentieren Handlungsfolgen des jeweiligen Nutzers, die innerhalb des Anwendungsfalles abgeschlossen sein müssen, also ein festgelegtes Ziel erreichen müssen. Ich werde nun die Anwendungsfälle wie bereits erwähnt in tabellarischer Form mit weiteren Parametern beschreiben. Dieser Arbeitsschritt ist essentiell für Planung und Konzeption eines Systems, da hierdurch der tatsächliche Bedarf der Nutzer und damit die zu implementierenden Funktionalitäten beschrieben werden.

Ich werde alle Anwendungsfälle zunächst mit einem Text einleiten, und dann in der Tabelle die wichtigsten Eigenschaften beschreiben. Dazu gehören das festgelegte Ziel eines Anwendungsfalles oder die sogenannte Nachbedingung, die beschreibt in welcher Situation sich das System nach dem erfolgreichem Durchlaufen eines Anwendungsfalles befindet. Anschließend werden die einzelnen zu durchlaufenden Schritte der Anwendungsfälle in einem UML Aktivitäten Diagramm veranschaulicht.

Ich habe die verschiedenen Anwendungsfälle in drei Gruppen gegliedert. Jeweils zwei Anwendungsfälle decken die Gebiete des Daten Managements, der Daten Analyse und der eigentlichen Messung ab.

Die hier vorgestellten Anwendungsfälle repräsentieren keinesfalls alle Arbeitsabläufe die möglich sind, sondern sollen nur einen möglichen Lösungsweg beschreiben, der in dem Prototyp implementiert werden könnte.

### 3.2.1 Management

Management soll hier sowohl für das Management von Daten als auch für das Einrichten und die Betreuung des Systems stehen. Erster Anwendungsfall soll das Aufsetzen eines Sensornetzwerkes beschreiben. Das kann auch als initiale Handlung bei der Verwendung des Systems gesehen werden, und ist damit eine Art Vorbedingung für alle nachfolgenden Anwendungsfälle. Die Tabelle 3.1 beinhaltet die zentralen Eigenschaften dieses Anwendungsfalles.

Das Datenmanagement ist ein erforderlicher Teil eines Systems das sich mit Daten und Metadaten befasst. Daten zu sammeln ohne sie nutzen zu können würde keinen Sinn ergeben, somit ist ein Export der Daten aus dem System heraus eine obligatorische Funktion des Systems. Dieser Anwendungsfall kann also auch als finale Handlung gesehen werden, die unter Verwendung des Systems durchgeführt werden wird. Die zweite Tabelle 3.2 beinhaltet detaillierte Informationen über diesen "Datenexport" genannten Anwendungsfall.

Name	Einrichtung des Netzwerkes
Nutzergruppe	Feldingenieur
Ziel	Eingabe aller Metadaten über die verbundenen Sensoren und Initialisierung des Netzwerkes
Vorbedingung	Das Netzwerk existiert, ist eingerichtet und ist mit dem System verbunden
Nachbedingung	Funktionierendes Netzwerk mit allen Sensoren

Tabelle 3.1: Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfalls "Einrichtung des Netzwerkes"

Name	Datenexport
Nutzergruppe	Bürokrant
Ziel	Auswahl der Daten und Export in einem bestimmten Format
Vorbedingung	Auswahl der Daten nach bestimmten Parametern und spezifiziertes Exportformat
Nachbedingung	Ausgewählte Daten liegen vollständig physikalisch im definiertem Format vor

Tabelle 3.2: Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfalls "Datenexport"

Die Abbildung 3.2 zeigt die Anwendungsfälle die sich mit der Thematik des Managements befassen in einem UML Aktivitätsdiagramm. Die beiden Abläufe weisen keine Interaktionen untereinander auf und sind damit vollständig unabhängig voneinander. Chronologisch hingegen sollte das Einrichten des Netzwerkes vor dem Datenexport erfolgen.

Der Ablauf des Einrichtens des Netzwerkes beinhaltet zwei wichtige Aktionen: Zum Einen das Einrichten der Datenbank und zum Anderen die Eingabe der Sensorparameter. Dies sind die zwei zentralen Teile dieses Anwendungsfalls, und ein Scheitern nur eines dieser Aktionen würde zu einem nicht funktionierendem Netzwerk führen. Die Bearbeitung der Netzwerkeinstellungen, also der einzelnen eingegebenen Parameter, führt zu einem erneuten Durchlaufen der gesamten Prozesskette. Damit sollen fehlerhafte Eingaben vermieden werden, diese Funktion stellt eine Art Assistenzsystem dar, das durch alle wichtigen Einstellmöglichkeiten führt.

Der Anwendungsfall "Datenexport" ist um einiges einfacher als der vorherige, im Prinzip ähnelt



er den meisten klassischen Exportfunktionen oder Speicherfunktionen. Einzig die Auswahl der zu exportierenden Daten durch das setzen eines Zeitrahmens stellt eine größere Herausforderung an das System dar.

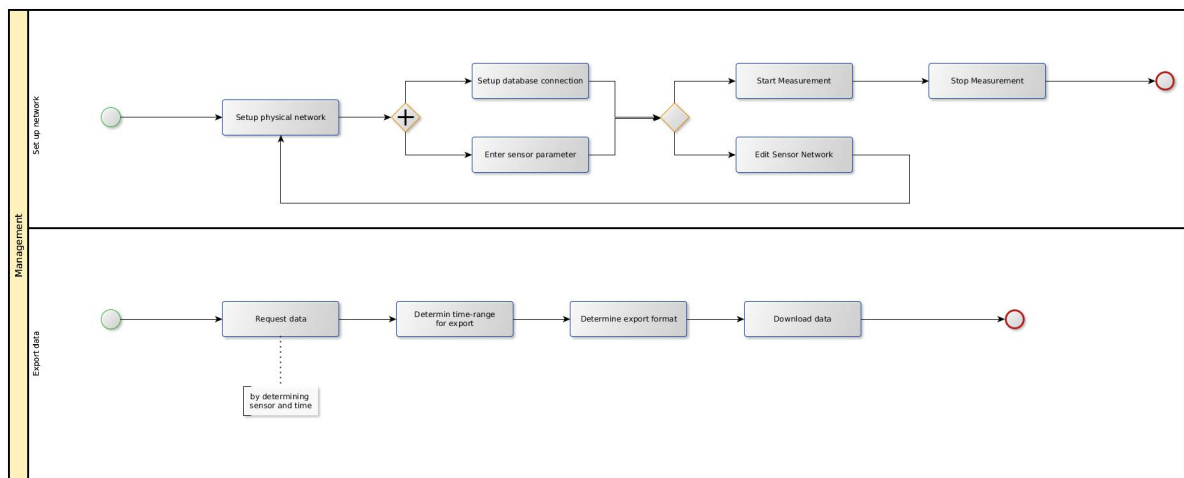


Abbildung 3.2: BPMN (Business Process Model and Notation) Modell der Management Anwendungsfälle, F. H. Euteneuer 2013

### 3.2.2 Messungen

Der Teil des Systems der sich mit den eigentlichen Messungen beschäftigt, könnte als der wichtigste Teil gesehen werden, stellt aber an sich keine wesentliche Innovation dar. Dieser Teil beschreibt als Einziger die manuelle Bearbeitung oder Veränderung der Daten in der Datenbank.

In diesem Teil habe ich zwei wichtige Anwendungsfälle identifiziert: Der Erste beschäftigt sich mit dem initialen Eingabe von Daten die durch die Messungen produziert wurden. Die Charakteristiken dieses Anwendungsfalles sind in der Tabelle 3.3 beschrieben. Im Gegensatz zu den automatischen Messungen beschreibt dieser Anwendungsfall die manuelle Eingabe von nur einem Datensatz.

Der Zweite Anwendungsfall behandelt das manuelle Bearbeiten der bereits in der Datenbank gespeicherten Werte. Die Tabelle 3.4 beinhaltet alle wichtigen Informationen dazu. Das Bearbeiten von Daten gehört zu den Standardoperationen für System die sich auf Datenbanken stützen. Dennoch ist es wichtig zu beschreiben, wie dieser Anwendungsfall mit dem der Messungen zusammenhängt. Im Falle von Neumessungen bestimmter Werte oder des Validieren von Daten wird die Prozesskette der Messung durchlaufen obwohl es im Grunde eine Bearbeitung bereits bestehender Werte ist.

Name	Messung
Nutzergruppe	Feldingenieur
Ziel	Eingabe aller Messergebnisse von Einzelmessungen per Hand
Vorbedingung	Lauffähiges System mit Verbindung zur Datenbank
Nachbedingung	Gültige Daten in der Datenbank mit vollständigen Metadaten

Tabelle 3.3: Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfalls "Messung"

Name	Datenbearbeitung
Nutzergruppe	Bürokräft
Ziel	Auswahl der Datensätze nach Parametern und Bearbeitung der Werte per Hand oder durch Neumessung
Vorbedingung	Lauffähiges System mit Verbindung zur Datenbank
Nachbedingung	Veränderte Daten in der Datenbank mit vollständigen Metadaten

Tabelle 3.4: Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfalls "Datenbearbeitung"

Bei manuellen Messungen sind die Aktionen die in der oberen Reihe des Aktivitätendiagrammes 3.3 angegeben werden unabdingbar. Das System wird nach der Durchführung der Messungen eine schnelle Analyse der Messergebnisse durchführen um deren Qualität zu bewerten. Nach diesem Schritt wird das System entweder auf mögliche Fehler in der Messung hinweisen, oder die Messwerte direkt in die Datenbank schreiben.

Die zweite Linie des Diagramms beschreibt die Handlungskette der Datenbearbeitung. Der Nutzer hat zwei Möglichkeiten Daten nachträglich zu bearbeiten, zum Einen durch die erneute Messung der Daten, zum Anderen durch das manuelle Bearbeiten, also die Eingabe neuer Werte und das Überschreiben der alten Werte.

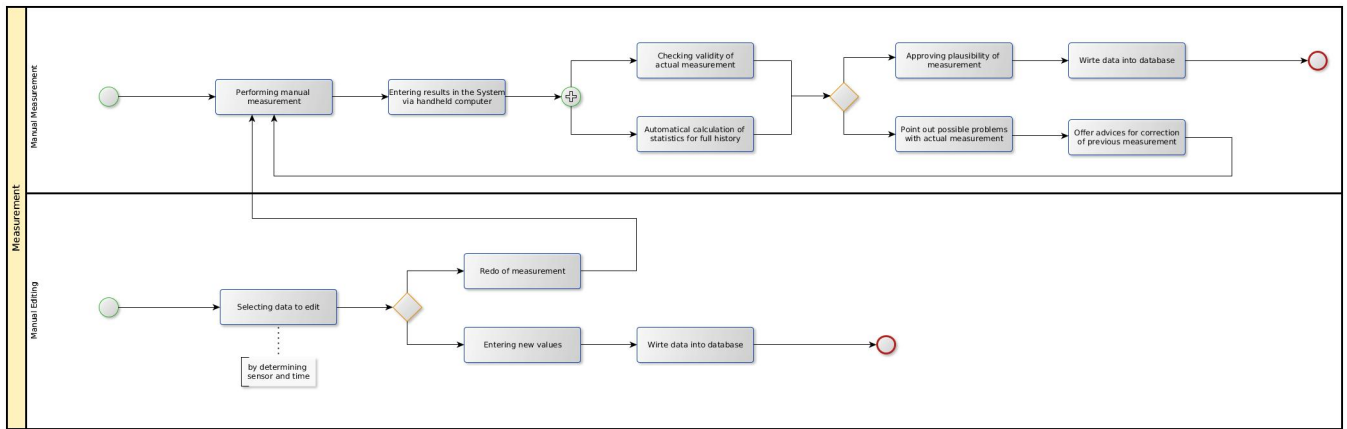


Abbildung 3.3: BPMN (Business Process Model and Notation) Modell der Anwendungsfälle des Teiles Messungen, F. H. Euteneuer 2013

### 3.2.3 Analyse

In den vorherigen Kapiteln habe ich oft von einer Analyse der Daten gesprochen, bislang aber nichts Genaueres dazu gesagt. Die Analyse stellt den wohl schwierigsten Teil der Konzeption dar, weil dieser die eigentliche Innovation darstellt. Die Analyse die ich hier beschreiben werde unterscheidet sich allerdings von der auch oft erwähnten Überprüfungen der Daten. Diese *ad hoc* Statistiken stellen lediglich eine schnelle und unpräzise Vorabinformation über die Qualität der Daten dar. Um die Frage beantworten zu können ob Messungen einen Sinn ergeben, also die Konsistenz der Daten beurteilen zu können, bedarf es komplexere Algorithmen, die außer den eigentlich zu beurteilenden Daten auch die vorhergegangenen Beobachtungen (Epochen) mit einbeziehen. Diese Algorithmen erzeugen trotzdem nur eine schnelle Übersicht über Mögliche Abweichungen oder Ereignisse, nichtsdestotrotz wird der Nutzer mithilfe dieser Analysen in der Lage sein Mögliche Verfahrensfehler bei den Messungen direkt im Feld zu identifizieren. Die Funktionalität wird in der tabellarischen Beschreibung 3.6 des Anwendungsfalls "Datenanalyse" charakterisiert.

Der zweite Teil des Analyse Bereiches basiert auf einer visuellen Analyse der Daten durch den Nutzer. Kern dieser Funktionalität sind eine Visualisierung des zu überwachenden Objektes und der Ergebnisse bereits erfolgter Analysen und werden in der Tabelle 3.5 charakterisiert. Das System wird eine grafisches Modell des zu überwachenden Objektes generieren, und die Optionen anbieten Messergebnisse und berechnete Statistiken ebenfalls in die Grafik zu integrieren. Der Nutzer ist dann in der Lage Messungen in Echtzeit zu überwachen, und beispielsweise auch Auswirkungen von Experimenten zu verfolgen. Die Art und Weise der Visualisierung von Objekt, Messung und

Statistik wird genauer im methodischen Teil der Arbeit beschrieben.

Name	Datenvisualisierung
Nutzergruppe	Feldingenieur
Ziel	Visuelle Unterstützung bei Messungen und Interpretation
Vorbedingung	Vorhandene Metadaten für die Betreffende Messung (z.B. verwendeter Sensor, Orientierung, ..)
Nachbedingung	Aussagekräftige und unterstützende Grafik der ausgewählten Daten

Tabelle 3.5: Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfalls "Datenvisualisierung"

Name	Datenanalyse
Nutzergruppe	Feldingenieur
Ziel	Erhalt von Informationen über Gültigkeit der Daten verglichen mit vergangenen Epochen
Vorbedingung	Bereits mehr als zwei Messungen liegen vor
Nachbedingung	Informationen über Gültigkeit der Messergebnisse

Tabelle 3.6: Tabellarisierte Beschreibung aller Charakteristika des Anwendungsfalls "Datenanalyse"

Die Abbildung 3.4 zeigt die Ereignisabläufe der beiden ausgewählten und beschriebenen Anwendungsfälle des Analyseteils des Systems. In der ersten Reihe ist als wichtiger Schritt die Definition der historischen Daten hervorzuheben. Erst damit werden Werte aussagekräftig.

Die Visualisierung der Daten ist untergliedert in zwei Typen. Der Nutzer kann zwischen der Visualisierung der gemessenen Werte und der berechneten Statistiken wählen. Für die Visualisierung der Statistiken müssen die Statistiken bereits berechnet worden sein. Die Durchführung der Analyse kann auch aus der Visualisierungs-Funktion heraus aufgerufen werden.

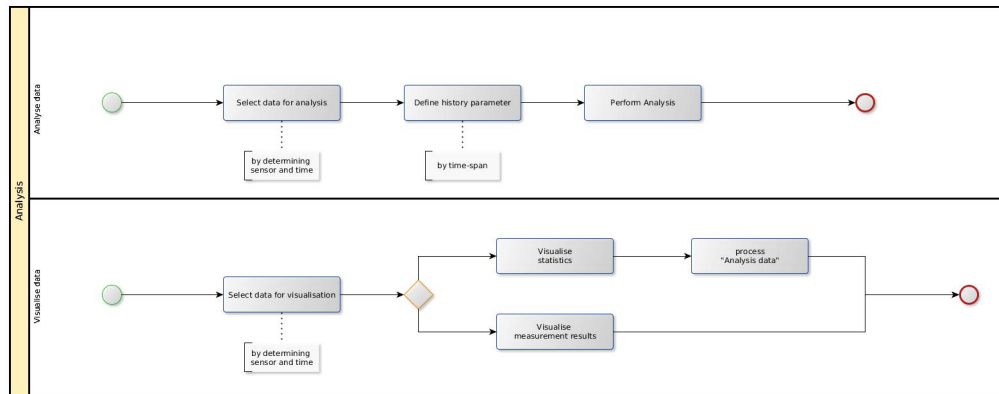


Abbildung 3.4: BPMN (Business Process Model and Notation) Modell der Anwendungsfälle des Teiles Analyse, F. H. Euteneuer 2013

## Kapitel 4

# Nicht-funktionale Anforderungen

In diesem Kapitel beschreibe ich die nicht-funktionalen Anforderungen an das System beschreiben. Nicht-funktional bedeutet, dass beschrieben wird wie das System wo eingesetzt werden soll. Es handelt sich also um Eigenschaften des Systems, die keine technischen Funktionen sind.

**Portabilität** Da das System besonders auf die Kommunikation zwischen der Arbeit im Feld und der Auswertung im Büro zugeschnitten ist, werden besondere Anforderungen an die Möglichkeit der Portierung auf verschiedene Betriebssysteme der mobilen Klienten gestellt. Das System soll damit Plattform-unabhängig sein.

**Rechenleistung** Wie im Punkt zuvor beschrieben soll das System auf unterschiedlichen mobilen Klienten eingesetzt werden können. Deren Auslegung auf die Mobilität geht meist zu Lasten der Rechenleistung der Hardware. Damit das Arbeiten mit dem System dennoch effizient und einfach gehalten werden kann, muss der mobile Teil des Systems für diese kleine Rechenleistung zugeschnitten werden.

**Einfachheit** Die Hauptnutzer des Systems werden Ingenieure sein, die oft unter schwierigen Bedingungen arbeiten müssen. Die Bedienung eines IT-Systems sollte demnach so intuitiv und einfach wie möglich gestaltet werden, damit der Nutzer nicht unnötig Zeit in die Suche von Funktionen oder das Verstehen von Grafiken aufbringen muss.

Diese Liste beschreibt sehr grundlegende Anforderungen an ein System. Vor Allem wenn es sich um ein System handelt, das eine mobile Komponente beinhaltet. Dennoch sind dies sehr zentrale Anforderungen die in den nachfolgenden Kapiteln der Arbeit detaillierter aufgegriffen werden. Bei der näheren Beschreibung der Komponenten und ihrer Funktionsweise wird überprüft inwieweit diese den nicht-funktionalen Anforderungen gerecht wird. Ein System dass funktioniert, aber nicht

in der geplanten Umgebung eingesetzt werden kann, erfüllt genauso wenig die Anforderungen, wie ein System dass den funktionalen Anforderungen nicht entspricht.

# Kapitel 5

## Prototyp

Ein Prototyp stellt in diesem Fall eine Software dar, die demonstrieren soll wie die Architektur und ein Teil der geplanten und beschriebenen Funktionen aussehen könnten. Mit Hilfe dieses Prototypen kann auch leicht evaluiert werden inwieweit die Funktionen die Probleme lösen können, und ob eine Weiterentwicklung in der eingeschlagenen Richtung Sinn machen würde. Üblicherweise stellt ein Prototyp lediglich einen Ausschnitt des Gesamtkonzeptes dar, im Folgenden möchte ich festlegen worauf ich mich mich verstärkt konzentrieren werde, und was in dem Prototypen enthalten sein wird. Die Grundlage für meine Auswahl waren zum Einen die Realisierbarkeit einer Implementierung in der kürze der Zeit und zum Anderen die mir zur Verfügung stehenden Mittel.

In der Grafik 2.1 habe ich die einzelnen Teile des Systems beschrieben. Für das Komplettsystem sind zweifelsohne alle Teile wichtig. Die Verbindung aus Server, mobiler Klient und automatische Sensoren stellt jedoch den Teil mit der größten Innovation dar. Ohne die beiden anderen Teile vollständig außer Acht zu lassen werde ich mich in den nachfolgenden Kapiteln verstärkt mit dieser Verbindung und der Beschreibung der drei Teile befassen.

Die Architektur und Funktionsweise des Prototypen wird im dritten Teil der Arbeit beschrieben. Dort werden auch die in diesem Teil beschriebenen Arbeitsabläufe getestet und evaluiert. Am Ende soll eine Aussage darüber möglich sein, ob das System funktionstüchtig konzipiert wurde, ob alle wesentliche Teile enthalten sind, und ob für die Nutzergruppen ein Mehrwert geschaffen wurde.



## Teil III

# Architektur

# Kapitel 6

## Werkzeuge

### 6.1 Bauwerksüberwachung

In der Einleitung wurde bereits beschrieben, wozu dieses System dienen soll, und was unter der Überwachung von Bauwerken zu verstehen ist.

### 6.1.1 Sensortypen

**6.1.1.1 manuelle Sensoren**

**6.1.1.2 automatische Sensoren**

**6.1.2 Relevante Eigenschaften**

## 6.2 Entscheidungs-Unterstützung

## 6.3 Sensornetzwerke

Diese Arbeit beschreibt ein System, das die Arbeit mit einem Netzwerk aus Sensoren organisieren und vereinfachen soll. Werden Sensoren in einem Netzwerk organisiert, übernimmt die Aufgabe des Messens eine Software die den Sensor fernsteuert. Klassischerweise gehört dazu das Messen selbst, das Speichern der Daten und gegebenenfalls die Auswertung der Daten und damit verbunden eine mögliche Ereigniserkennung. Arbeitsabläufe die für diese Arbeit von Belang sind wurden in den Anforderungen zu Beginn der Arbeit detailliert beschrieben.

Sensornetzwerke spielen bei einer Vielzahl der im Alltag integrierten technischen Geräte bereits eine große Rolle. In modernen Autos werden kontinuierlich Parameter wie SSpritverbrauch oder Drehzahl gemessen und dann eine mögliche verbleibende Reichweite errechnet. In Computern drehen die Lüfter erst dann in einer höheren Drehzahl wenn die automatische gemessene Temperatur des Prozessors eine festgelegte Stufe erreicht. Und in besonders sensiblen Geräten wie Flugzeugen findet sich eine noch viel größere Anzahl von Sensoren und auch die Auswertung der gelieferten Messerwerte wird durch komplexe Algorithmen im Cockpit für den Piloten verständlich angezeigt. Die hier aufgezählten Beispiele stellen aber jeweils ein in sich geschlossenes System dar, bei dem Datenübermittlung oder Datenmanagement einfach geregelt werden kann. Einfach soll aber nichts als technische Trivialität verstanden werden, sondern lediglich darauf hinweisen, dass die dafür verwendete Technologie bereits sehr weit entwickelt ist.

In Bereichen deren wissenschaftliche Ausrichtung die Überwachung von räumlich größeren Objekten ist, halten seit einigen Jahren verstärkt Sensornetzwerke Einzug (siehe hier auch die Vorstellung der Projekte in der Einleitung). Derartige Sensornetzwerke haben mit einer Vielzahl von Problemen zu kämpfen, die gerade in der großen räumlichen Ausdehnung begründet ist. Dazu gehören die Stromversorgung im Feld, die Datenübertragung über große Strecken und nicht zuletzt häufig auch die Witterung welche Einfluss auf verschiedene Faktoren nimmt. Um diese Probleme zu lösen haben sich grundsätzlich zwei verschiedene Architekturen von Sensornetzwerken herausgebildet. Zum einen agieren die Sensoren autonom, zum anderen sind sie Abhängig von einem zentralen Knoten. Ich werde beide Ansätze im Folgenden näher erläutern und gegenüberstellen.



**6.3.1 autonome Sensornetzwerke**

**6.3.2 nicht-autonome Sensornetzwerke**

**6.3.3 IT Konzepte**

**6.3.3.1 SensorML**

**6.3.3.2 Metadaten**

**6.3.3.3 Sensor Web Enablement**

**6.3.3.3.1 52North**

**6.3.3.3.2 istSOS**

## 6.4 Dateninfrastruktur

### **6.4.1 Datentypen und Datenformate**

#### **6.4.1.1 Keyhole Markup Language**

#### **6.4.1.2 Geographic Markup Language**

### **6.4.2 Geodatenbanken**

#### **6.4.2.1 PostGIS**

#### **6.4.2.2 Oracle Spatial**

### **6.4.3 Webdienste**

#### **6.4.3.1 Web Map Service**

#### **6.4.3.2 Web Feature Service**

#### **6.4.3.3 Web Catalogue Service**

## 6.5 Analysemethoden

**6.5.1 Methode der finiten Elemente**

**6.5.2 Datenkonsistenz**

## 6.6 Mobile Dienste

In der Einleitung bin ich bereits umfangreich auf die besonderen Charakteristiken von mobilen Diensten eingegangen, insbesondere auf die nicht-funktionellen Eigenschaften. In diesem Kapitel skizziere ich die aktuellen Forschungen in diesem Bereich und gehe detailliert darauf ein welche Rolle sie für diese Arbeit spielen können.

Der bereits zitierte Martin Breunig, siehe (Breunig et al., 2003a), wies bereits früh auf das Potential von Geographischen Informationen für mobile Dienste hin. Die wesentlichen Teile eines solchen Systems haben sich bis heute kaum verändert, deren heutiger Entwicklungsstand ist jedoch seit dem um einiges weiter fortgeschritten. Breunig beschreibt ebenfalls die Nutzung von standardisierten Schnittstellen (siehe Kapitel Dateninfrastruktur), die besonderen Anforderungen der System-Architektur sowie die Datenvisualisierung als Kernpunkte eines Konzeptes für ein mobiles System.

## Kapitel 7

# Softwareentwurf



## 7.1 Sensor Web Enablement

## 7.2 Datenanalyse

## 7.3 Visualisierung

## 7.4 Benutzeroberfläche

# Literaturverzeichnis

- Christian Boller and W. J. Staszewski. Structural health monitoring. In *Proceedings of the Second European Workshop on Structural Health Monitoring, Munich*, page 7–9, 2004. URL <http://www.gruppofrattura.it/pdf/eventi/2008/SHM%20Cracow.PDF.pdf>. 00012.
- Martin Breunig, Rainer Malaka, Wolfgang Reinhardt, and Joachim Wiesel. Entwicklung mobiler geodienste. *Geodaten-und Geodienste-Infrastrukturen-von der Forschung zur praktischen Anwendung, Beiträge zu den Münsteraner GI-Tagen*, 18:253–264, 2003a. URL <http://gi-tage.de/archive/2004/downloads/gitage2003/tagungsband/breunig.pdf>. 00002.
- Martin Breunig, Rainer Malaka, Wolfgang Reinhardt, Joachim Wiesel, and Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme. Vision mobiler geodienste. In *Mobilität und Informationssysteme*, 2003b. URL [http://pdf.aminer.org/000/488/508/vision\\_mobiler\\_geodienste.pdf](http://pdf.aminer.org/000/488/508/vision_mobiler_geodienste.pdf). 00002.
- Gregor Engels. Vorlesung softwareentwurf - AG engels, datenbank- und informationssysteme, 2006. URL [http://www2.cs.uni-paderborn.de/cs/ag-engels/ag\\_dt/Courses/Lehrveranstaltungen/WS0607/SE/unterlagen.html](http://www2.cs.uni-paderborn.de/cs/ag-engels/ag_dt/Courses/Lehrveranstaltungen/WS0607/SE/unterlagen.html). 00000.
- Charles R. Farrar and Keith Worden. An introduction to structural health monitoring. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365 (1851):303–315, 2007. URL <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/365/1851/303.short>.
- J. Lauterjung, W. Hanka, T. Schöne, M. Ramatschi, A. Babeyko, J. Wächter, C. Falck, C. Milkereit, U. Münch, and A. Rudloff. GITEWS—das tsunami-frühwarnsystem für den indischen ozean. *GFZ - System Erde*, 1:48, 2011. 00001.
- B-G. Lühr, C. Milkereit, S. Parolai, M. Picozzi, H. Woith, A. Strollo, A. Ansal, and J. Zschau. Sekunden für istanbul. *GFZ - System Erde*, 1:18, 2011.
- H. Spahn, M. Hoppe, H. D. Vidiarina, and B. Usdianto. Experience from three years of local

capacity development for tsunami early warning in indonesia: challenges, lessons and the way ahead. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(7):1411–1429, July 2010. ISSN 1684-9981. doi: 10.5194/nhess-10-1411-2010. URL <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/1411/2010/>.

Christian Strobl, Ralph Kiefl, Torsten Riedlinger, and Günter Strunz. Geodatenmanagement und-dienste am beispiel des tsunami-frühwarnsystems für den indischen ozean. 2007. URL <http://www.preagro.de/ezai/index.php/eZAI/article/viewArticle/25>.

K. Worden and J. M. Dulieu-Barton. An overview of intelligent fault detection in systems and structures. *Structural Health Monitoring*, 3(1):85–98, January 2004. ISSN 1475-9217, 1741-3168. doi: 10.1177/1475921704041866. URL <http://shm.sagepub.com/content/3/1/85>. 00138.