

GeoVER: Geowarnungen für den Verkehrsbereich mittels Extended Reality im Anwendungsbereich Luftverkehr

Schlussbericht

Förderkennzeichen: 19F1119A

Förderzeitraum: November 2022 - Oktober 2023

Projektzeitraum: November 2022 - Oktober 2023

Inhaltsverzeichnis

I Kurze Darstellung	4
1 Aufgabenstellung	4
2 Voraussetzungen	5
3 Planung und Ablauf	6
3.1 Planung	6
3.2 Ablauf	6
4 Wissenschaftlicher und Technischer Stand	11
4.1 GeoBroker und DisGB	11
4.2 tinyFaaS	12
4.3 XR	12
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	13
II Eingehende Darstellung	14
1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	14
1.1 Gesamtüberblick über die Ergebnisse	14
1.2 Beteiligung an den Arbeitspaketen	16
2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	28
3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	29
4 Voraussichtlicher Nutzen	30
5 Fortschritte auf dem Gebiet	30
6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	31
A Anhang A	32
A.1 Anforderungsanalysebericht	32
A.2 GeoVER Fortschrittskontrollpunkte	35
B Anhang B	37
B.1 Kick-off Event Agenda	37
B.2 Kick-off Event Folien	39
B.3 Abschluss Event Agenda	44
B.4 Abschluss Event Folien	46

Abbildungsverzeichnis

1	Gantt-Diagramm von GeoVER Arbeit und Zeitplan	6
2	Systementwurf: Abbildung 2a zeigt die konzeptionelle Architektur von GeoVER, die DisGB durch die Einbindung von tinyFaaS über die GeoVER-Bridge erweitert. Abbildung 2b zeigt, wie GeoVER-Bridge zwischen DisGB, tinyFaaS und den Endnutzern interagiert.	17
3	GeoVER-Sequenzdiagramm	19
4	Seite für Benutzereingaben	20
5	Nachrichtendisplay	21
6	Priorität	22
7	Frontend-Endpunkte	22
8	Anzeige der Wetterstation	23
9	XR Visualisierung	25
10	Visualisierung von Datentrends	26
11	Onsite-Vorstellung	26
12	Pressemitteilungen	27

Tabellenverzeichnis

1	GeoVER Arbeitsplan	10
2	Vergleich der Arbeitspakete mit dem tatsächlichen Verlauf	18

I Kurze Darstellung

1 Aufgabenstellung

Die Bereitstellung von mehr Informationen oder Warnungen kann die Sicherheit und den Verkehrsfluß in allen Verkehrsbereichen erheblich verbessern. Für diese Art von Information im Verkehrsbereich ist in der Regel ein geografischer Kontext ausschlaggebend, d. h. der geografische Standort der Informationen muss für die Endnutzer oder die Anwendungen relevant sein. Trotz des Vorhandenseins verschiedener Sensoren und Datenquellen sind die Daten oft isoliert und für Anwendungen nicht direkt zugänglich. GeoVER verfolgte das Ziel, diese unterschiedlichen Verkehrsdaten Verkehrsteilnehmern bereitzustellen und dabei sicherzugehen, dass (i) die Nutzer nur relevante Daten erhalten, z.B. zum Thema, zum Standort der Quelle, oder zum Absender (ii) die Daten so schnell wie möglich geliefert werden (iii) die Daten je nach Anfrage des Nutzers in Informationen und Warnungen sortiert werden.

Um diese Projektziele zu erreichen, sollte mit GeoVER ein erweiterbares IT-System entwickelt werden, das unter Verwendung verschiedener Datenquellen geografisch bezogene Warnungen an designierte Zielgruppen liefern kann. Dieses IT-System sollte mit allen Verkehrsbereichen kompatibel sein.

2 Voraussetzungen

Heutzutage werden Warnungen und Informationen an die Verkehrsteilnehmer meist nur sehr ungenau verteilt, wenn die Verteilung überhaupt stattfindet. Dies geschieht in noch weniger Fällen digital oder in Echtzeit. Dies steht in starkem Gegensatz zu der Tatsache, dass die verbreitete Nutzung von vernetzten Geräten im Internet of Things (IoT) die Menge der Daten deutlich erhöht, welche als Information an Verkehrsteilnehmende weitergegeben werden könnten. Es gibt bereits Forschungsansätze, die eine gezielte Datenverteilung ermöglichen, wie z. B. BCGroups, GeoBroker und DisGB. Diese nutzen die Eigenschaft des IoT, dass Daten abhängig von ihrem geographischen Ursprung unterschiedliche Relevanz für unterschiedende Gebiete besitzen können. Beispielsweise wird ein Pilot, der auf dem Flughafen Schönhagen landen will, in erster Linie an Daten in der Nähe des Flughafens Schönhagen interessiert sein, aber selten an Daten des FRA (Flughafen Frankfurt am Main) oder MUC (Flughafen München). Da diese Forschungsmethoden in der Praxis noch nicht eingesetzt wurden, bestand die Herausforderung für GeoVER darin, ein System zu entwickeln, das in stark unterschiedlichen Verkehrsdomänen eingesetzt werden kann. In diesem Fall ist das übergreifende Problem, das GeoVER versuchte zu lösen, wie die Forschungsansätze auf verschiedene Verkehrsdomänen angewendet werden können, um präzise und echtzeitfähige Datenverteilung zu ermöglichen. Außerdem wurde während des Projekts erkennbar, dass als weitere Voraussetzung benutzerdefinierte Regeln möglich sein müssen. Mit diesen sollten Endnutzer dann für sich selber konfigurieren können, was für sie relevante Informationen sind.

Im Wesentlichen hatte GeoVER die folgenden Projektziele zu erreichen:

1. Ableitung von Anforderungen an ein Geo-Warn- und Informationssystem im Verkehrsbereich.
2. Entwurf und Implementierung eines Prototyps für ein solches System auf Basis von DisGB.
3. Entwicklung eines XR-basierten Clients für Endanwender.
4. Evaluierung im Kontext des Luftverkehrs.

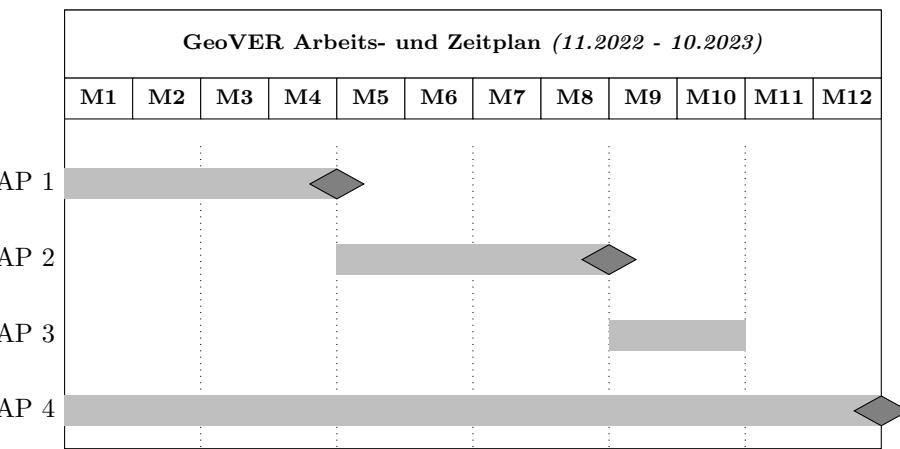


Abbildung 1: Gantt-Diagramm von GeoVER Arbeit und Zeitplan

3 Planung und Ablauf

Das Projekt GeoVER kam im Allgemeinen entsprechend dem geplanten Projektablauf voran. Die erwarteten Aufgaben wurden innerhalb des Zeitplans abgeschlossen und die Ziele, welche im Projektantrag gesetzt wurden, konnten erreicht werden. In den folgenden Unterabschnitten stellen wir den ursprünglichen Projektplan vor und gehen dann auf den Projektverlauf ein.

3.1 Planung

Für GeoVER wurde ein Arbeitsplan mit zwei Meilensteinen erstellt, die jeweils den Abschluss von Arbeitspaket (AP) 1 (M4) und AP2 (M8) definieren, bevor das Projekt dann zu AP3 - Auswertung übergehen sollte. AP4 (Verwertung und Kommunikation) sollte während der gesamten Projektlaufzeit parallel laufen. Der dritte Meilenstein markierte den Abschluss des Projekts mit der Veröffentlichung aller entwickelter Software. Im Rahmen des GeoVER-Projekts wurden jedoch wie geplant keine Daten erhoben. Anstatt dessen wurde sich auf die Entwicklung des Prototypen konzentriert, der der Öffentlichkeit frei zur Verfügung steht. Der geplante Projektablauf ist in Abbildung 1 zu sehen.

In GeoVER wurde mit der Deutschen Telekom zusammen gearbeitet, die sich insbesondere auf die XR-Anwendungsentwicklung konzentriert hat. Der gemeinsame Projektplan mit den ursprünglich geplanten Beiträgen für die Technische Universität Berlin und die Deutsche Telekom ist in Tabelle 1 zu sehen.

3.2 Ablauf

Das Projekt GeoVER startete am 1. November 2022. Um eine geeignete Methode zur Anwendung bestehender Forschungsansätze (in diesem Fall DisGB) für die geografisch genaue Datenverteilung auf die Verkehrsbereiche zu finden, haben wir uns zunächst daran gemacht, eine Prototyparchitektur zu entwerfen und mit der Implementierung zu beginnen. Gleichzeitig bereiteten wir die GeoVER-Auftakt- und Vernetzungsveranstaltung zum Thema "Geowarnungen und Datenverarbeitung für den Luftverkehr" vor, bei dem wir uns mit weiteren mFUND-Projekten sowie ausgewählten BMBF-Projekten, die ähnliche Projektziele haben, vernetzen wollten. Die Einladungen zur Auftaktveranstaltung wurden am 23. November 2022 an den Projekträger,

die DFS (Deutsche Flugsicherung), das LBA (Luftfahrtbundesamt) und diverse verwandte Forschungsprojekte verschickt. Wir haben die Auftaktveranstaltung auf der Website der TU Berlin beworben und auf sozialen Plattformen wie z.B Twitter und LinkedIn geteilt um auf diese aufmerksam zu machen. Bei der Auftaktveranstaltung stellten fünf Projekte ihre Ziele vor, und neunzehn Personen nahmen daran teil. Die Erkenntnisse aus den mFUND-Projekten, die sich jeweils auf unterschiedliche Bereiche konzentrieren, hat sich unserer Meinung nach als hilfreich erwiesen, um unser Verständnis der allgemeinen Thematik zu erweitern. Indem wir uns aktiv am Austausch mit diesen Projekten beteiligten, erhielten wir Einblicke in die besonderen Anforderungen und übergreifenden Ziele, die sie verfolgten. Dies ermöglichte eine breitere Perspektive auf die Besonderheiten der verschiedenen Verkehrssektoren. Dies erleichterte später auch die Erstellung eines Anforderungsanalyseberichts für den Bereich Luftverkehr unter Berücksichtigung anderer Verkehrsbereiche wie z. B. Schienen- und Seeverkehr. Nach der Auftaktveranstaltung haben wir die Folien der mFUND-Projekte und die Kontaktinformationen der Teilnehmer zusammengefasst und an alle Teilnehmenden weitergegeben, um Kommunikation und Vernetzung zu fördern. Anschließend führten wir ein Treffen mit dem Projektleiter der Deutschen Telekom, um die Bestandteile und Schwerpunkte der Anforderungsanalyse für den Luftverkehrssektor zu besprechen. Dabei haben wir auch andere Verkehrsbereiche berücksichtigt und einen vorläufigen Plan entwickelt.

Nun folgte die Arbeit an dem GeoVER-Prototyp. Dieser ist der Öffentlichkeit frei zugänglich. Als diese abgeschlossen war, konzentrierten wir uns auf die Erstellung eines Forschungspapiers. Dies diente dem Zweck, unseren Prototypen, Erkenntnisse, und Forschungsmethoden mit dem wissenschaftlichen Publikum zu teilen (entsprechend dem Verwertungsplan). Außerdem bietet sich durch die Publizierung eines Papers die Möglichkeit, Kollaborationen mit anderen Projekten einzugehen oder Folgeprojekte zu planen. Das Paper mit dem Titel Lotus wurde am 10. März 2023 bei der EdgeSys 2023 eingereicht, angenommen und präsentiert wurden. Die Fertigstellung des Anforderungsanalyseberichts wurde folglich zeitlich verschoben, da Lotus folglich auf einer Konferenz präsentiert wurde. Die Erkenntnisse, die auf der Konferenz gesammelt wurden, konnten folglich mit in AP4 aufgenommen werden. Nach der Einreichung und Präsentation nahmen wir die Arbeit am Bericht wieder auf, der am 6. April erfolgreich abgeschlossen wurde und die Erreichung des ersten Meilensteins im Projektverlauf markierte. Um die Benutzerfreundlichkeit des Systems zu verbessern, haben wir uns folglich der Entwicklung einer benutzerfreundlichen Oberfläche für den GeoVER-Prototyp gewidmet. Diese Schnittstelle ermöglicht es, Informationen für DisGB bereitzustellen, die sowohl das Thema und den Geofence als auch Informationen von bereichsspezifischen Funktionen und Regeln umfassen. Dieser Ansatz verbessert den Einsatz und die Konfiguration von GeoVER und bietet den Benutzern eine Möglichkeit, das System an ihre Bedürfnisse anzupassen. Darüber hinaus verbessert die Schnittstelle die Darstellung von Warnungen und Informationen und sorgt für eine verständlichere Datenpräsentation. Zu diesem Zeitpunkt hatten wir alle entwickelten Komponenten für GeoVER erfolgreich integriert und damit den zweiten Meilenstein erreicht, welche der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen.

Anschließend planten ein Treffen mit der Deutschen Telekom, um das Experimentszenario zu besprechen. Um das Experimentszenario zu vereinfachen, wurde in Abstimmung mit dem Partnerflughafen beschlossen, das gesamte System in einer kontrollierten Testumgebung nachzustellen. Das Experiment konzentriert sich auf den Einfluss von Seitenwind bei der Landung, da diese eine entscheidende Rolle spielen können. Darüber hinaus soll der Einsatz einer XR-Anwendung den Piloten Warnungen bereitstellen und so die Ausgangslage des Piloten verbessern. Gleichzeitig arbeiteten wir aktiv an der Verbesserung der Seitenwindberechnungsfunktion, um sie an die Anforderungen des Anwendungsfalls anzupassen. In diesem Zeitraum wurde auch ein Plan erstellt, welche Hardware für die Experimentszenarien notwendig war und bestellt werden muss. Durch die Integration von Sensoren in GeoVER konnten wir die verschiedenen Anforderungen

der Anwendungsfälle erfüllen. Dies demonstrierte GeoVERs Nutzbarkeit im Luftverkehrssektor und Anpassungsfähigkeit an andere Verkehrsbereiche. In diesem Zusammenhang hatten wir Bestellungen für Folgendes aufgegeben: (i) Tinkerforge-Bestellung: verschiedene Arten von Sensoren als Datenquellen (u.a. mehrere Windsensoren), (ii) Raspberry Pi-Bestellung: Raspberry Pis, um verschiedene Benutzer und Server zu emulieren, (iii) Sonstiges: Für die Kommunikation zwischen den Raspberry Pis benötigen wir einen Router, sowie Ventilatoren, die unterschiedliche Windstärken simulieren sollten. Die Ventilatoren dienten dem Zweck, Szenarien wie Orkanwinde oder plötzliche Böen auch experimentell darstellbar zu machen. Ziel hierbei war auch die Erweiterbarkeit und Anwendbarkeit auf weitere Verkehrsbereiche sicherzustellen und zumindest teilweise zu demonstrieren. Nach der erfolgreichen Integration der bestellten Hardware als externe Datenquellen hatten wir ein Treffen mit der Deutschen Telekom, um als Start von AP3 die Verknüpfung unserer GeoVER-Prototypen zur Evaluierung zu besprechen. Wir wählten WebSocket als Datenkommunikationsmethode zwischen den zwei Prototypen und führten anschließend Live-Tests mit den Prototypen durch. Außerdem diskutierten wir während des Treffens die Terminoptionen für die Abschlussveranstaltung gemeinsam mit Projektträger und Ministerium.

Foglich legten wir die Abschlussveranstaltung offiziell auf den 27. November 2023. Die Einladungen wurden umgehend an die relevanten Stakeholder verschickt, darunter BMDV/mFUND, verwandte mFUND-Projekte, DFS, LBA und den Projektträger. Darüber hinaus haben wir die Abschlussveranstaltung auf der Website der TU Berlin veröffentlicht, um auf diese aufmerksam zu machen. Parallel dazu haben wir die Möglichkeiten von GeoVER durch die Anbindung an eine Datenvisualisierungssoftware erweitert. Diese Anwendung ermöglichte es uns, die sich verändernden Trends in den Daten über bestimmte Zeiträume zu beobachten und auch Nutzern zu präsentieren. Zu diesem Zweck haben wir influxDB¹, eine Open-Source-TimeSeries-Datenbank zur Speicherung von Informationsmeldungen, verwendet. Die Visualisierung wird durch Grafana², eine vielseitige Open-Source-Analytik- und interaktive Visualisierungs-Webanwendung, umgesetzt. Dieser Ansatz stellt sicher, dass GeoVER-Benutzer nicht nur Warnungen über die XR-Anwendung angezeigt bekommen, sondern bei Bedarf auch auf historische Datentrends zugreifen können.

GeoVER endete mit einer Abschlussveranstaltung, bei der die Projektergebnisse vor Ort live demonstriert wurden. Alle Teilnehmer nahmen virtuell teil. Während der Veranstaltung lag der Fokus auf der Vorstellung des Seitenwindszenarios. Dazu wurden drei Raspberry Pis, die drei deutsche Flughäfen repräsentierten, drei Ventilatoren zur Simulation verschiedener Windszenarien, z.B. von leichtem Wind bis hin zu Orkanstärken, und drei Windsensoren als Quellen für Winddaten eingesetzt. Das demonstrierte Experiment verdeutlichte die Fähigkeit von GeoVER, geokontextspezifische Warnungen an die Endnutzer, d.h. die Piloten in diesem Seitenwindszenario, zu liefern. Hierbei wurde gezeigt, dass die geokontextbezogenen Informationen nur an die Personen geschickt wurden, für die diese auch relevant waren. Dies zeigte die praktische Anwendung von GeoVER. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass GeoVER überwiegend dem Projektplan gefolgt ist und das geplante Ziel erreicht hat. Insbesondere übertrifft GeoVER sogar die ursprünglichen Anforderungen des Projekts und geht über den festgelegten Umfang hinaus:

1. **Bereitstellung einer Frontend-Schnittstelle für Benutzerfreundlichkeit:** GeoVER verbesserte die Benutzererfahrung durch die Integration einer benutzerfreundlichen Frontend-Oberfläche und machte die Daten auch hierüber einfach zugänglich.
2. **Angebot von Datenvisualisierung für Datentrends:** Es wurde eine spezielle Datenvisualisierungsanwendung entwickelt, die eine umfassende Analyse der sich ändernden Datentrends ermöglicht und für Benutzer zugänglich ist.

¹InfluxDB Link: <https://www.influxdata.com/products/influxdb/>

²Grafana Link: <https://grafana.com/>

3. **Integration von tinyFaaS für Erweiterbarkeit und Leistung:** GeoVER integrierte tinyFaaS, eine leichtgewichtige serverless-Plattform, um sowohl Erweiterbarkeit als auch optimale Leistung zu gewährleisten. Insbesondere sind hiermit beliebige zustandslose Filter möglich, die weit über die geplanten “Wert-ist-kleiner-als”-Regeln hinausgehen. So wäre es beispielsweise leicht möglich, Sensorwerte mit Hilfe von Machine-Learning zu klassifizieren.
4. **Universelle Anwendbarkeit:** Die technische GeoVER-Plattform wurde so umgesetzt, dass sie vollständig unabhängig vom Anwendungsbereich Verkehr ist und somit auch in anderen Anwendungsdomänen genutzt werden könnte.

Aktuell planen wir wie im Antrag dargestellt Folgeprojekte, die auf GeoVER aufbauen, um insbesondere die Erkenntnisse weiter in die Praxis zu transferieren, ggf. auch durch eine spätere Ausgründung. GeoVER und die Ergebnisse daraus wurden im Kontext mehrerer Lehrveranstaltungen und studentischer Abschlussarbeiten genutzt.

Arbeitspaket	Ziele	Aufgaben
AP1	<p>1. Abgeschlossene Anforderungsanalyse.</p> <p>2. Implementierung aller GeoVER-Einzelkomponenten.</p> <p><i>Milestone 1</i></p>	<p>1. Identifikation von Anforderungen des Luftfahrtszenarios und Abgleich mit Anforderungen anderer Bereiche. (beide Partner)</p> <p>2. Entwicklung einer Warnungsgenerator-Komponente, welche basierend auf den vorhandenen Daten Geowarnungen generieren kann. (TU Berlin)</p> <p>3. Entwicklung eines XR-Prototyps zur Visualisierung von Geowarnungen. (Deutsche Telekom)</p>
AP2	<p>GeoVER-System fertig implementiert und deployed.</p> <p><i>Milestone 2</i></p>	<p>1. Integration und Deployment aller in AP1 entwickelten Komponenten. (beide Partner)</p> <p>2. Adaption und Integration des DisGB-Prototyps. (TU Berlin)</p> <p>3. Anbindung vorhandener Sensorik und externer Datenquellen. (beide Partner)</p>
AP3	Ergebnisbericht, der die Fähigkeiten und Grenzen des GeoVER-Systems erfasst.	Testlauf des Systems und experimentelle Auswertung: Sofern möglich direkt vor Ort mit Piloten, falls nicht gemockt in Testumgebungen bei den Projektpartnern. (beide Partner)
AP4	Öffentlichkeitsarbeit und wissenschaftliche Publikation	<p>1. Wissenschaftliche Veröffentlichung von Ergebnissen. (TU Berlin)</p> <p>2. Ergebniskommunikation gegenüber Medien, Partizipation an mFUND-Begleitforschung u.ä.. (beide Partner)</p>

Tabelle 1: GeoVER Arbeitsplan

4 Wissenschaftlicher und Technischer Stand

Wir verweisen im Folgenden auf die unterliegenden Softwarebauteile, die die Funktionalität von GeoVER ermöglichen.

Die von uns verwendete Verteilungsplatform war DisGB von der Forschungsgruppe Mobile Cloud Computing (MCC). Auf dieser Grundlage zielte GeoVER darauf ab, ein Warnsystem zu entwickeln, der relevante Warnungen an die Betroffenen weiterleitet. Um dies zu ermöglichen, implementierten wir tinyFaaS, eine serverlose Open-Source Plattform, um die GeoVER-Funktionalitäten zu erfüllen. tinyFaaS wurde auch von der Forschungsgruppe MCC entwickelt.

tinyFaaS wurde als Forschungsarbeit in der EuroSys23 veröffentlicht und trägt zum GeoVER-Projekt bei.

In den folgenden Unterabschnitten stellen wir zunächst GeoBroker und DisGB vor, um zu erläutern, wie GeoVER Geokontextinformationen zur Zustellung von Nachrichten nutzt. Letztlich präsentieren wir die Funktionalität von tinyFaaS. Im Wesentlichen kann GeoVER dazu verwendet werden, um Warnungen zu den von ihnen gewünschten Themen zu erhalten, wobei alle Teile des Projekts alle Open-Source auf Github verfügbar sind.

4.1 GeoBroker und DisGB

GeoBroker erweitert das themenbasierte Publisher/Subscriber-System durch die Verteilung von Nachrichten auf der Grundlage von Geofences, und DisGB verwendet Geokontextinformationen für das Nachrichten-Routing.

Pub/Sub wird häufig im Edge-Computing eingesetzt, da es eine skalierbare, latenzgeringe und belastbare Kommunikation zwischen heterogenen Edge-Geräten ermöglicht. Es zeichnet sich dadurch aus, dass Empfänger (Subscriber) sogenannte Topics abonnieren können und Ersteller (Publisher) Daten als Nachrichten an diese Topics senden können. Ähnlich wie bei einer Mailingliste werden diese Nachrichten dann an alle Abonnenten des jeweiligen Themas gesendet. GeoBroker erweitert dieses Konzept (i) indem Ersteller festlegen können, dass ihre Nachrichten nur an Empfänger innerhalb eines Geofence zugestellt werden, (ii) indem es den Datenkonsumenten erlaubt, in ihrem Abonnement festzulegen, dass sie nur Nachrichten von Produzenten erhalten, die sich innerhalb eines anderen Geofence befinden oder die Daten für diesen Geofence produzieren oder Daten für sie produzieren. Ein Geofence verweist hier auf eine Art Bounding Box, die einen nutzerdefinierten Teil der Erde beinhaltet. So können Empfänger selber definieren, welche Daten für sie relevant sind. In der geo-verteilten Umgebung können niedrige Kommunikationslatenz und hohe Skalierbarkeit durch die Verteilung des Brokers und die Begrenzung der Nachrichtenverbreitung mit effizientem Routing erreicht werden. DisGB verwendet verteilte Rendezvous-Punkte in der Nähe von Clients, um sicherzustellen, dass Nachrichten mit geringer Latenzzeit verarbeitet werden.

Das folgende Beispiel zeigt, wie DisGB für geografisch genaue Warnungen verwendet werden kann. Ein Pilot kann das Thema /warnings/airports/crosswind abonnieren und einen Geofence um den Flughafen EDAZ (Flugplatz Schönhagen) erstellen wenn er sich dem Flugplatz nähert. So erhält das Flugzeug Seitenwindwarnungen, die in der Nähe des Flughafens erkannt werden. Das Kernprinzip von Pub/Sub-Systemen (und damit auch DisGB) besteht darin, dass sie eine beliebige Anzahl von Datenproduzenten und -konsumenten flexibel vernetzen können. Dabei können die Akteure auch gleichzeitig Produzenten und Konsumenten sein. Im Bereich des Flugverkehrs kann beispielsweise der Tower Winddaten von Sensoren empfangen (und mittels XR-Technologie lokal visualisieren) und gleichzeitig automatisch eine entsprechende Warnung für Piloten veröffentlichen, wenn sich ein Flugzeug einer Landebahn nähert. GeoVER hat sich zum Ziel gesetzt, diese flexible Vernetzung weiter auszubauen.

4.2 tinyFaaS

Function as a Service (FaaS) ist ein Cloud-Computing-Modell, bei dem Cloud-Anbieter einzelne Funktionen ausführen, sobald sie durch definierte Ereignisse ausgelöst werden. Die Abstraktionen von FaaS sind für Edge Computing von Vorteil, da die bedarfsorientierte Ressourcenzuweisung eine effizientere Nutzung der begrenzten Edge-Ressourcen ermöglicht. Darüber hinaus trägt die höhere Abstraktionsebene für Entwickler dazu bei, von Herausforderungen des Edge Computing wie der geografischen Verteilung zu abstrahieren, da die Verantwortung für die Verwaltung der Edge-Eigenschaften auf die Edge-FaaS-Plattform verlagert wird.

tinyFaaS ist eine FaaS-Plattform für kleine und mittelgroße Einzelknotensysteme, die als Baustein für größere Plattformen konzipiert ist. Sie besitzt durch ein sauberes und effizientes Systemdesign einen geringen Ressourcenbedarf und kann dadurch eine verbesserte Leistung erzielen.

4.3 XR

Der beispielhafte Einsatz von XR-Technologien in GeoVER ist auf der Endnutzerseite für die Darstellung komplexer Nachrichten vorgesehen. In der Anwendung Drohnen in der Nähe von Flughäfen müssen Pilot*innen und Fluglots*innen auf der Basis komplexer Daten wie Positionen im dreidimensionalen Raum, Geschwindigkeiten, Kurse, Fluglagen und Entfernungen zu anderen Objekten Entscheidungen über Landeabbrüche oder Umleitungen treffen. Die Pilot*innen erhalten die für sie wichtigen Daten und Warnungen über ein Heads-up-Display, das auf die Windschutzscheibe ihres Kleinflugzeugs projiziert wird, während die Fluglotsen sich über einen 3D-Bildschirm einen Überblick über die Gefahrensituation in der Flughafenumgebung verschaffen können.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projekts wurden mit diversen Partnern gesprochen, die das Projekt unterstützen. Neben den beiden Projektpartnern, der TU Berlin und der Deutschen Telekom, wurden während den Vernetzungsveranstaltungen unter Anderem sich mit der DFS ausgetauscht. Um eine realitätsnahe Simulation in unseren Experimenten zu ermöglichen, wurde sich öfters auch mit dem Parterflughafen Schönhagen (Flugplatz Schönhagen EDAZ) ausgetauscht. Außerdem wurde sich über mögliche Szenarien unterhalten, die man in den Experimenten implementieren könnte. Weiterhin wurde Kontakt mit dem Luftfahrtbundesamt aufgenommen. Die beiden Projektpartner konzentrierten sich im Projekt auf unterschiedliche Aspekte: Während die Deutsche Telekom hauptsächlich an der XR-Anwendung arbeitete, übernahm die TU Berlin die Implementierung des Geowarnsystems, inklusive der Datensammlung und -verteilung.

II Eingehende Darstellung

1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Zunächst stellen wir die Ergebnisse des Projekts dar. Anschließend werden die aufgeteilten Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete genauer betrachtet.

1.1 Gesamtüberblick über die Ergebnisse

Das Projektziel von GeoVER war es, die Verfügbarkeit von geographisch relevanten Informationen und Warnungen im Verkehrsbereich durch die Nutzung bestehender Forschungsansätze zu fördern und dadurch die Sicherheit und Effizienz zu verbessern.

Die Errungenschaften von GeoVER spiegelten sich vor allem in drei Bereichen wider: technische Ergebnisse, wissenschaftliche Leistungen und Beiträge zu sozialen Netzwerken.

Technische Ergebnisse

GeoVER hat eine konzeptionelle Architektur entworfen und als Proof-of-Concept ein erweiterbares IT-System implementiert³. Das System (i) ist durch die Einbindung in ein FaaS(Function as a Service)-Modell flexibel in allen Bereichen des Verkehrs einsetzbar, (ii) ist in der Lage, Daten aus verschiedenen Datenquellen zielgruppenspezifisch auf Basis von Geofences in Echtzeit zu verteilen. (iii) kann Geowarnungen an eine Vielzahl von Empfängern weiterleiten, die unterschiedliche Geofences definiert haben können.

GeoVER steuerte außerdem eine XR-Anwendung zur besseren Datenvisualisierung für Endnutzer bei. Diese konnte unter Anderem auch schon bei der Endveranstaltung präsentiert werden. Da es sich bei der Endveranstaltung um ein hybrides Format handelte, haben wir die XR-Datenvisualisierung auf dem Web-Frontend implementiert, was den virtuellen Teilnehmern ein besseres Erlebnis bietet sowie die Zugänglichkeit für zukünftige Benutzer vereinfacht.

Um die Benutzerfreundlichkeit des Systems zu verbessern, wurde im Rahmen des Projekts außerdem eine benutzerfreundliche Front-End-Schnittstelle entwickelt. Diese Schnittstelle unterstützt die Endnutzer bei der intuitiven Konfiguration der wesentlichen Informationen für Dis-GB, einschließlich Themen, Geofences sowie Funktionen und Regeln für den Warngenerator, die auf bestimmte Anwendungsfälle zugeschnitten sind. Endbenutzer können hier Warnungen in der Warnliste manuell als Information einstufen, indem sie die Priorität der Nachricht ändern. Dadurch erhalten die Benutzer eine größere Kontrolle über die Reaktionsfähigkeit des Systems auf verschiedene Warnungen und die Verbreitung von Informationen, und können selber kontrollieren, was Warnungspotenzial besitzt.

Wir erweiterten GeoVER um eine Datenvisualisierungsfunktionalität, die die Beobachtung dynamischer Datentrends über definierte Zeiträume ermöglicht. Hierfür benutzen wir InfluxDB, eine TimeSeries-Datenbank für die Informationsspeicherung. Die von influxDB gesammelten Daten wurden dann Grafana, eine vielseitige Open-Source-Analyse- und interaktive Visualisierungs-Webanwendung, gegeben, um diese Funktionalität zu erreichen. Dadurch wurde sichergestellt, dass GeoVER-Endbenutzer nicht nur Warnungen über die XR anzeigen können, sondern bei Bedarf auch auf historische Datentrends zugreifen können, um mögliche Zukunftsereignisse zu antizipieren.

Ein weiterer technischer Beitrag bestand darin, dass wir die Nutzbarkeit von GeoVER durch eine Live-Demonstration vor Ort in einem Seitenwindszenario im Bereich des Luftverkehrs überprüft haben. Wir haben das Experiment und die Präsentation in unserem Seminarraum aufgebaut, d.h.

³Wir stellen unsere Prototyp-Implementierung Lotus als Open-Source-Software zur Verfügung: <https://github.com/Mhwww/Lotus>.

Raspberry Pis, Hardware-Sensoren und Lüfter. Hiermit simulierten wir ein Szenario für Flugzeuge, die auf dem Flughafen landen und von Seitenwind betroffen sind. Die Ergebnisse zeigten, dass GeoVER geografisch bezogene Warnungen und Nachrichten für Piloten bereitstellen kann, die sich mit Seitenwindproblemen beschäftigen.

Forschungsergebnisse

Das erste Projektziel von GeoVER war die Erstellung eines umfassenden Bedarfsanalyseberichts für den Luftverkehr, der auch Überlegungen aus anderen Verkehrsbereichen einbezieht. Dieses Ziel wurde vollständig erreicht, und bietet somit eine Bedarfsanalyse, die auch in anderen Forschungsprojekten benutzt werden kann.

Die zweite wichtige Forschungsleistung von GeoVER war die Veröffentlichung eines Forschungspapiers bei der EdgeSys 2023. Mit diesem Artikel wurden die GeoVER-Konzepte und -Methoden im akademischen Kreis verbreitet, sowie die Zusammenarbeit von GeoVER mit ähnlichen Projekten weiter gefördert. Das Forschungspapier zeigte den Fortschritt, sowie die Neuartigkeit und die Nutzbarkeit von GeoVER aus der Perspektive des Forschungsbereichs.

Vernetzungsergebnisse

Um den sozialen Beitrag von GeoVER zu stärken, wurden zwei Vernetzungsveranstaltungen organisiert, die den Beginn und den Abschluss des Projekts markierten. Diese Veranstaltungen dienten als zentrale Plattformen für die Verbreitung der Projektziele und -ergebnisse und förderten die Zusammenarbeit mit anderen mFUND-Projekten sowie anderen relevanten Institutionen.

Zusätzlich zu gezielten Einladungen wurden beide Netzwerkveranstaltungen auf der MCC Website und diversen sozialen Medien bekannt gemacht. Dieser integrative Ansatz erwies sich als fruchtbar und zog u.A Teilnehmende aus anderen mFUND-Projekten an.

Diese bewusste Mischung aus gezielten Einladungen und Bekanntmachung vergrößerte die Reichweite des Projekts.

1.2 Beteiligung an den Arbeitspaketen

In diesem Abschnitt stellen wir zunächst den Vergleich zwischen dem Arbeitsplan und dem tatsächlichen Arbeitsfortschritt in Table 2 dar. Folglich gehen wir in den folgenden Unterabschnitten auf die Projektergebnisse ein. Abschließend geben wir einen Überblick über die Dokumentationsergebnisse, die im Anhang zu finden sind.

Vergleich des Arbeitsfortschritts Der Übersichtlichkeit halber wird in Tabelle 2 ein Vergleich zwischen den vorgeschlagenen Arbeitspaketen des Projekts und dem tatsächlichen Fortschritt dargestellt. Wie aus der Tabelle hervorgeht, hielt sich GeoVER im Allgemeinen an den vorgeschlagenen Arbeitsplan, wobei es aus praktischen Gründen einige Anpassungen gab. Was die Arbeitsergebnisse betrifft, so hat GeoVER darüber hinaus einige zusätzliche Arbeiten geleistet, wie z. B. eine benutzerfreundliche Frontend-Schnittstelle und eine Anwendung zur Visualisierung von Datentrends.

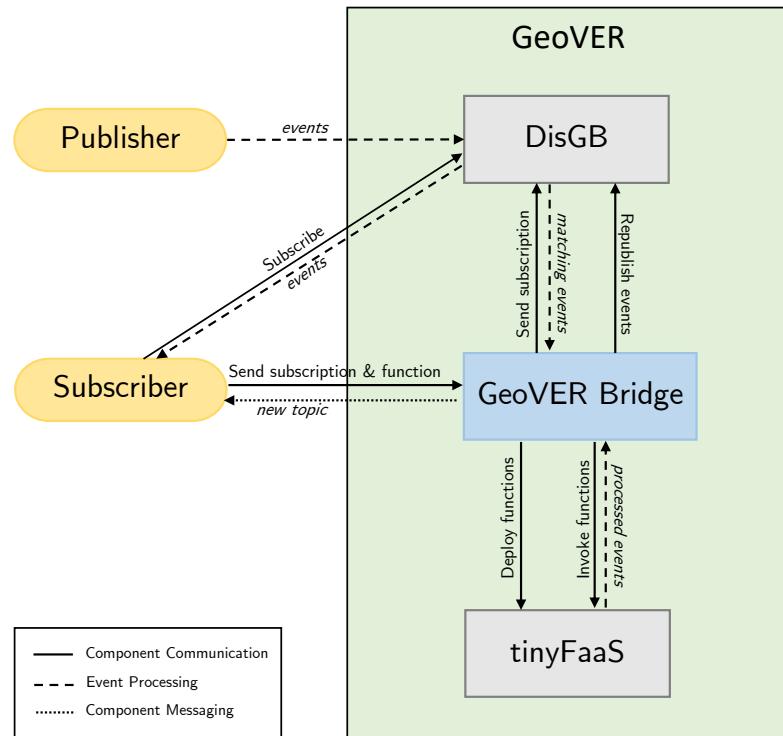
Außerdem verwendeten wir während der Projektdurchführung eine Checkpoint-Liste, um sicherzustellen, dass wir alle vorgesehenen Aufgaben erledigen. Das Dokument mit den Checkpoints befindet sich im A.2.

Systemarchitektur Wir entwarfen das System mit zwei Zielen, d.h. GeoVER sollte (i) Warnungen oder Informationen mit Geokontext generieren können (ii) und leicht auf verschiedene Verkehrsbereiche erweitert werden können. Basierend auf diesen Zielen erstellen wir eine Kotlin-basierte Open-Source-Implementierung dieses Systems. Wir präsentieren einen Überblick über die konzeptionelle Architektur von GeoVER in Abbildung 2a.

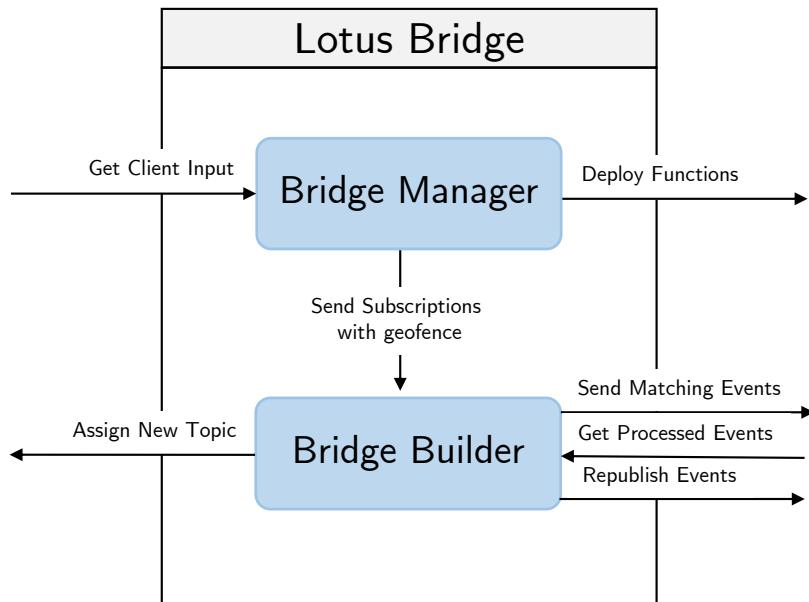
Die Systemarchitektur besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten, nämlich DisGB, tinyFaaS und der GeoVER-Bridge (in der EdgeSys-Publikation Lotus-Bridge genannt). Der Herausgeber kann dabei ein Datensor oder ein System sein, das entsprechende Informationen bereitstellt. Der Abonnent ist der Endnutzer, der Geowarnungen erhalten möchte. GeoVER erweiterte DisGB, das ein Geo-Aware-Pub/Sub-System ist, mit Unterstützung für den Aufruf von Funktionen auf tinyFaaS für Endnutzeranfragen. Endnutzer geben ihre Interessen über GeoVER an, d.h. Thema, Ort, Geofence, Funktionscode und Regeln. Hier verarbeitet DisGB den Inhalt von Nachrichten in einem geodistributiven Kontext, und tinyFaaS ermöglicht es den Nutzern, Code hochzuladen und isoliert auszuführen. Die *GeoVER-Bridge* ermöglicht die Kombination der Informationen miteinander und folgliche Kommunikation mit dem Endnutzer.

Als Proof-of-Concept implementierten wir einen Prototyp von GeoVER, der eine gezielte Datenverteilung unterstützt und dabei sowohl den geographischen Kontext der Clients als auch benutzerdefinierte Funktionalität in Form von Funktionen berücksichtigt. Das bedeutet, dass die Endnutzer nur Nachrichten erhalten, die durch die geografische Kontextprüfung von DisGB und die Upload-Funktion geprüft wurden. Wir zeigen die wichtigsten Funktionen von GeoVER-Bridge in Abbildung 2b. Die Hauptkomponenten sind der Bridge-BUILDER und der Bridge-MANAGER. Der Bridge-MANAGER bietet einen Einstiegspunkt für die Anfragen der Endbenutzer, und der Bridge-BUILDER ist für die Interaktionen zwischen DisGB und tinyFaaS verantwortlich. Zur besseren Veranschaulichung der Systemdetails stellen wir ein Sequenzdiagramm in Abbildung 3 bereit.

Um Warnungen von GeoVER zu erhalten, müssen Endnutzer*innen ein Abonnement einrichten und spezifische Regeln für die Warnungen konfigurieren. Dann weist die GeoVER-Bridge nach Erhalt von Nutzeranfragen synchron Abonnements für DisGBs zu und stellt die entsprechenden Funktionen für tinyFaaS bereit, einschließlich der Einrichtung von Regeln. In Luftverkehrsszenarien wie Seitenwindeinfluss wird beispielsweise als Funktion eine Seitenwindberechnung für eine sichere Landung ausgewählt, während die festgelegten Regeln der oder des Pilot*in Landeanforderungen wie Flugzeugtyp und Richtung der Landebahn sind. Dies begrenzt die Infor-



(a) GeoVER Architektur



(b) GeoVER-Bridge-Funktionalitäten

Abbildung 2: **Systementwurf:** Abbildung 2a zeigt die konzeptionelle Architektur von GeoVER, die DisGB durch die Einbindung von tinyFaaS über die GeoVER-Bridge erweitert. Abbildung 2b zeigt, wie GeoVER-Bridge zwischen DisGB, tinyFaaS und den Endnutzern interagiert.

Arbeitspakete	Chronologischer Verlauf
AP1: M1-M4 1. Anforderungsanalyse. 2. Erfassung verfügbarer Sensoren auf dem Flugplatz. 3. Implementierung aller Einzelkomponenten. <i>Milestone 1</i>	1. Vorbereitung und Durchführung der Eröffnungsveranstaltung (inkl. Vernetzungsevent). 2. Treffen mit der Deutschen Telekom zur Bedarfsanalyse. 3. Architekturentwicklung der GeoVER-Komponenten. 4. wissenschaftliche Publikation.
AP2: M5-M8 Das GeoVER-System wird vollständig implementiert und eingesetzt. <i>Milestone 2</i>	1. Fertigstellung des Anforderungsanalyseberichts. 2. Integration der Prototypen beider Partner. 3. Weitere Arbeit an der Datenvisualisierung, d.h. Frontend, InfluxDB, Grafana und Wetterstation.
AP3: M9-M10 Ergebnisbericht, der die Möglichkeiten und Grenzen des GeoVER-Systems aufzeigt.	1. Entwurf von Demonstrationsszenarien. 2. Testen des Gesamtsystems.
AP4: M11-M12 Öffentlichkeitsarbeit und wissenschaftliche Veröffentlichung. <i>Milestone 3</i>	1. Vorbereitung und Durchführung der Abschlussveranstaltung. 2. Arbeit am Abschlussbericht.

Tabelle 2: Vergleich der Arbeitspakete mit dem tatsächlichen Verlauf

mationen, die erhalten werden, auf das Nötigste. Gleichzeitig weist die GeoVER-Bridge den Endnutzern ein neues Thema zu, damit diese sich für den Empfang von Warnungen anmelden kann. Wenn DisGB Geo-Matching-Nachrichten von Nachrichtenerstellern erhält, leitet es diese an die GeoVER-Bridge zur Verarbeitung in tinyFaaS weiter. Diese Nachrichten stellen die für die Endnutzer*innen relevanten Warnungen dar und werden in dem zuvor zugewiesenen Republishing-Thema veröffentlicht. Somit erhalten die Endnutzer*innen die gewünschten Warnungen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass GeoVER eine effiziente Architektur zur Erfüllung der Projektziele einführte. Endbenutzer*innen erhalten nur Nachrichten, die ihren konfigurierten Regeln entsprechen und aus den von ihnen angegebenen Interessengebieten stammen. GeoVER minimierte die Redundanz, indem es Warnungen in einem neuen Thema neu veröffentlicht, so dass Benutzer*innen mit ähnlichen Anforderungen auf Warnungen aus demselben neu veröffentlichten Thema zugreifen können, ohne dass erneute Nachrichtenübertragungen erforderlich sind.

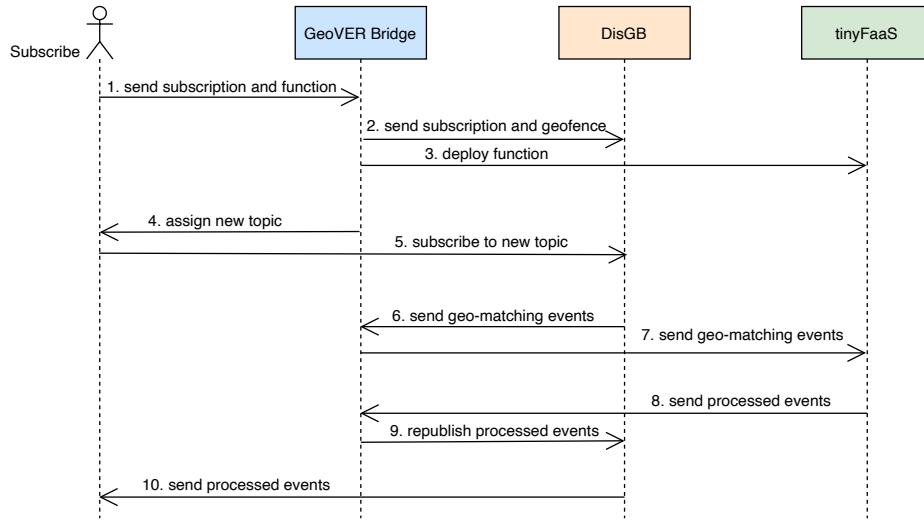


Abbildung 3: GeoVER-Sequenzdiagramm

Benutzerfreundliche Frontend-Schnittstelle Um die Benutzerfreundlichkeit zu verbessern, stellten wir eine Frontend-Schnittstelle zur Verfügung. Wir zeigen die Eingabeseite in Abbildung 4. Es gibt vier Hauptbestandteile, die die GeoVER-Endbenutzer angeben müssen, bevor das System tatsächlich ausgeführt wird, nämlich,

1. Abonnementinformationen einschließlich des Themas, für das sich die Nutzer interessieren, und des Themas, zu dem der Nutzer die Warnungen erhalten möchte.
2. Geografische Informationen, einschließlich des Standorts des Nutzers und der Reichweite der Nachrichten, an denen er interessiert ist.
3. Funktionsinformationen, d.h. die Funktion, die zur Erzeugung von Warnungen verwendet wird.
4. Regelinformationen, spezifische Regeln, die von den Benutzern konfiguriert werden.

Die Eingabeseite des Seitenwindszenarios wird in Abbildung 4 angezeigt. Ein Pilot möchte die Warnungen (*Warning Topic* input frame) von Seitenwind (*Topic* input frame) kennen. Die benötigte geografische Information ist, dass der Pilot Warnungen vom Flughafen Schönhagen (Dropdown-Auswahlfeld) im Umkreis von zwei Kilometern (Eingaberahmen) erhalten möchte. Als Funktion wird die Funktion *Crosswind Landing* gewählt. Die erforderlichen Regeln beziehen sich auf den spezifischen Anwendungsfall, d.h. auf die gewählte Funktion. Hier gibt der Pilot die Regeln an, einschließlich der Richtung der Start- und Landebahn, d.h. RWY07, die die bestehende Richtung der Start- und Landebahn am Flughafen Schönhagen ist, und des Flugzeugtyps, d.h. Boeing 767. Nachdem der Pilot auf die Schaltfläche *Regeln speichern* geklickt hat, kann er GeoVER durch Klicken auf die Schaltfläche *Warnung anzeigen* starten. GeoVER leitet dann auf die Warnseite weiter, die in Abbildung 5a angezeigt wird.

Auf der Warnseite werden alle GeoVER-Konfigurationsinformationen auf der linken Seite angezeigt, während alle pilotenspezifischen Warnungen auf der rechten Seite erscheinen, damit

The screenshot shows a web browser window with the URL `localhost:8082/index.html`. The title bar features the text "GeoVER". The main content area contains a header with two airplane icons and the text "GeoVER". Below this is a form titled "Subscription". It includes fields for "Subscription Topic" (set to "crosswind") and "Warning Topic" (set to "warning"). There is also a "Geofence" section with "Location" set to "Schönhagen Airport" and "Radius" set to "2". A "Function Selector" dropdown is set to "Crosswind Landing".

(a) Subscriptioneingabe

The screenshot shows a "Rules" configuration page. It has four input fields: "Topic", "Operator", "Constraints", and "Connector". Below these is a "Add Rule" button. Underneath the button are two entries: "aircraft = Boeing767" and "runway = RWY07". At the bottom are "Save Rules" and "Show Warnings" buttons.

(b) Rules-Eingabe

Abbildung 4: Seite für Benutzereingaben

The screenshot shows a web browser window titled "Warnings" with the URL `localhost:8082/warning.html?subscription={"topic":"crosswind","repubTopic":"warning","locationName":"Schönhagen","rad":"2","functionNam...`. The interface features a header with the GeoVER logo and two tabs: "Show Warnings" (selected) and "Show information".

Subscription:

Topic	crosswind
Target Topic	warning
Location	Schönhagen
Radius	2
Function Name	Crosswind

Rule:

- 1 aircraft = Boeing767
- 2 runway = RWY07

Warnings: (#14)

TOPIC	LOCATION	MESSAGE
warning	Schoenhagen Airport	Wind Velocity: 15.1 Temperature: 21.6 show more
warning	Schoenhagen Airport	Wind Velocity: 15.1 Temperature: 21.6 show more
warning	Schoenhagen Airport	Wind Velocity: 15.3 Temperature: 21.6 show more
warning	Schoenhagen Airport	Wind Velocity: 15.3 Temperature: 21.6 show more
warning	Schoenhagen Airport	Wind Velocity: 15.3 Temperature: 21.6 show more

(a) Warnungsanzeige

The screenshot shows a web browser window titled "Warnings" with the same URL as in (a). The interface features a header with the GeoVER logo and two tabs: "Show Warnings" (selected) and "Show information".

Subscription:

Topic	crosswind
Target Topic	warning
Location	Schönhagen
Radius	2
Function Name	Crosswind

Rule:

- 1 aircraft = Boeing767
- 2 runway = RWY07

Information: (#33)

TOPIC	LOCATION	MESSAGE
crosswind	Schoenhagen Airport	Time Sent: 7418237658625 Wind Velocity: 6.7 Temperature: 21.6 Priority: false Wind Direction: 0
crosswind	Schoenhagen Airport	Time Sent: 7428267361291 Wind Velocity: 6.7 Temperature: 21.6 Priority: false Wind Direction: 0
		Time Sent: 7438288594541

(b) Informationsanzeige

Abbildung 5: Nachrichtendisplay

Warnings: (#6)		
TOPIC	LOCATION	MESSAGE
warning	Schoenhagen Airport	Wind Velocity: 24.7 Temperature: 19.7 Priority: Warning Wind Direction: 0 Time Sent: 6723157430291 show less

(a) Warnung

Warnings: (#6)		
TOPIC	LOCATION	MESSAGE
warning	Schoenhagen Airport	Wind Velocity: 24.7 Temperature: 19.7 Priority: Information Wind Direction: 0 Time Sent: 6723157430291 show less

(b) Informationen

Abbildung 6: Priorität

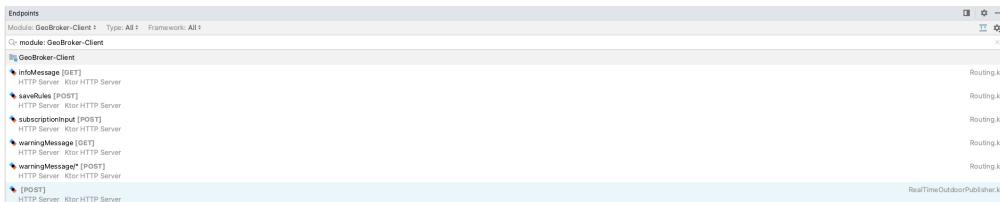


Abbildung 7: Frontend-Endpunkte

sie leicht zu erkennen sind und beachtet werden können. Wenn Sie auf *Informationen anzeigen* klicken, werden alle Meldungen angezeigt, die dem Geokontext entsprechen, einschließlich derjenigen, die nicht den Regeln entsprechen, also *Informationen*. Die Seite mit der Informationsanzeige wird in Abbildung 5b angezeigt.

GeoVER bestimmt, ob eine Nachricht eine Warnung oder eine Information ist, indem es eine Nachrichtenpriorität festlegt. Diese kann manuell in eine Information oder Warnung umgewandelt werden, indem die Eigenschaft *Priorität* einer Nachricht bearbeitet wird. Wir zeigen die Nachrichtenpriorität in Abbildung 6 an.

Wir stellen diese Funktion zur Verfügung, weil wir während der Anforderungsanalyse gelernt haben, dass die Benutzer durch unkontrollierte und sich wiederholende Warnungen belästigt werden, und die Datenverteilungslogik von GeoVER vermeidet diese redundanten Warnungen bereits.

Außerdem zeigen wir die Frontend-Client-Endpunkte in Abbildung 7. Es gibt fünf Schnittstellen, die *Abonnementeingabe* und *Regeln speichern* dienen der Eingabe der Benutzerkonfiguration. Die Schnittstellen *Warnmeldung* und *Informationsmeldung* werden zur Anzeige der GeoVER-Ergebnisse benutzt. *Warnmeldung/** kann zur Änderung der Nachrichtenpriorität eingesetzt werden.

```
WARNING Message Number #18
Location: Dresden Airport
Wind Speed: 23.1
Wind Direction: North
Temperature: 21.6
```

```
INFO Message Number #41
Location: Hamburg Airport
Wind Speed: 19.1
Wind Direction: North
Temperature: 21.6
```

```
WARNING Message Number #19
Location: Hamburg Airport
Wind Speed: 19.1
Wind Direction: North
Temperature: 21.6
```

(a) Nachricht für den Flughafen Schönhagen

```
INFO Message Number #36
Location: Schoenhagen Airport
Wind Speed: 6.5
Wind Direction: North
Temperature: 21.6
```

```
INFO Message Number #37
Location: Dresden Airport
Wind Speed: 23.1
Wind Direction: North
Temperature: 21.6
```

```
WARNING Message Number #15
Location: Dresden Airport
Wind Speed: 23.1
Wind Direction: North
Temperature: 21.6
```

(b) Nachrichten für andere Flughäfen

Abbildung 8: Anzeige der Wetterstation

Wetterstation GeoVER stellt eine Kommandozeilenanwendung zur Verfügung, die alle Warnungen und Informationsmeldungen überwacht. Für das Seitenwindszenario stellt die Kommandozeilenanwendung eine Wetterstation dar. Wir zeigen die Meldungen der Wetterstation in Abbildung 8.

XR Visualisierung GeoVER stellt eine XR-Visualisierung zur Verfügung, um eine intuitive Darstellung der Meldungen zu ermöglichen. Dies wurde getan, da die Verkehrsmeldungen in der Regel komplex sind und eine Visualisierung bei der Interpretation unterstützen kann. Wir zeigen die XR-Visualisierung für den Anwendungsfall Seitenwind in Abbildung 9a und 9b, die die Informationen bzw. Warnungen präsentieren.

Das XR-Visualisierungssystem wurde für eine Nutzung am Flughafen Schönehangen gebaut, sodass das Umfeld und die Landebahnen entsprechend den tatsächlichen Flughafenbedingungen entworfen wurden. Benutzer können durch einen eingebetteten Pfeil einfach die Seitenwindrichtung erkennen, wobei die Farbe des Pfeils die Stärke des Windes symbolisiert. Hier wird ähnlich wie bei einer Ampel grün für sichere Bedingungen, gelb für Vorsicht, und rot für gefährliche

Situationen eingesetzt.

Visualisierung von Datentrends GeoVER bietet eine Datenvisualisierungsanwendung, die es ermöglicht, die sich ändernden Trends in den Daten über bestimmte Zeiträume anzuschauen. Die Visualisierung wurde durch influxDB und Grafana erreicht. Auf diese Weise ermöglichte GeoVER nicht nur die Anzeige von Warnungen über die XR-Anwendung, sondern auch den Zugriff auf historische Datentrends, wodurch ein besserer Informationsstand erreicht wird. Wir zeigen das Ergebnis der Visualisierung für das Seitenwindszenario in Abbildung 10.

Die Seitenwindwarnungen und -informationen werden in verschiedenen Dashboards angezeigt, und die Windrichtung wird außerdem in einem separaten Dashboard präsentiert.

Onsite Demonstration GeoVER führte im Rahmen der Abschlussveranstaltung eine Live-Vorstellung vor Ort durch. Wir zeigen den Einrichtungsplan in Abbildung 10, der sich hauptsächlich auf das Seitenwindszenario konzentriert. Die Seitenwind-Vorstellung umfasste drei Flughäfen, die jeweils mit einem Raspberry Pi als Endbenutzer, einem physischen Windsensor für Wetter- und insbesondere Windinformationen sowie einem Ventilator zur Simulation verschiedener Windszenarien ausgestattet sind.

Zusätzlich zu dem Seitenwindszenario, stellten wir auch eine Schneeeentfernungsanwendung während der Livevorstellung vor. Dies zeigte GeoVERs Anpassungsfähigkeit zu anderen Verkehrsbergen und die möglichen Beiträge in anderen Benutzungsfällen. Weiterhin wurde ein Temperatursensor implementiert, um auf niedrige Temperaturen hinzuweisen. Uns war bewusst, dass weitere Faktoren außerhalb der Temperatur Auswirkungen auf Schneebildung haben, aber aus praktischen Gründen messten wir nur diesen. Es sollte gezeigt werden, dass auch weitere Datenquellen für GeoVER benutzt werden können.

Pressemitteilungen Pressemitteilungen finden Sie in dem separaten Dokument zur Öffentlichkeitsarbeit.

Dokumente Die Endergebnisse von GeoVER enthalten diverse Dokumente, die wir in den Anhang aufnehmen.

Dazu gehören insbesondere Dokumente zur AnforderungsanalyseA.1; Kontrollpunkte zum ProjektfortschrittA.2; Tagesordnung der AuftaktveranstaltungB.1 und FolienB.2, und Agenda der AbschlussveranstaltungB.3 und FolienB.4.



(a) XR Informationen



(b) XR Warnungen

Abbildung 9: XR Visualisierung

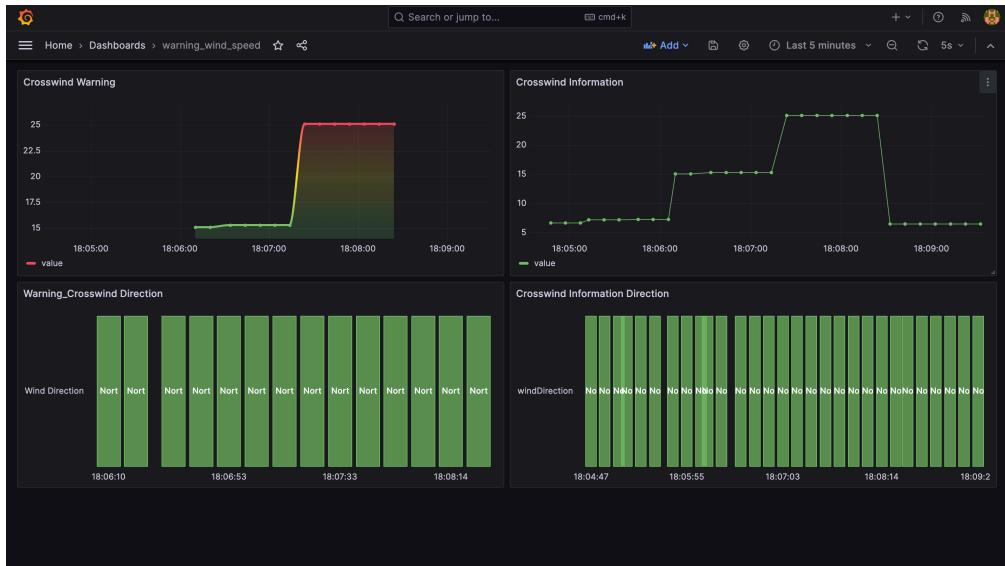


Abbildung 10: Visualisierung von Datentrends

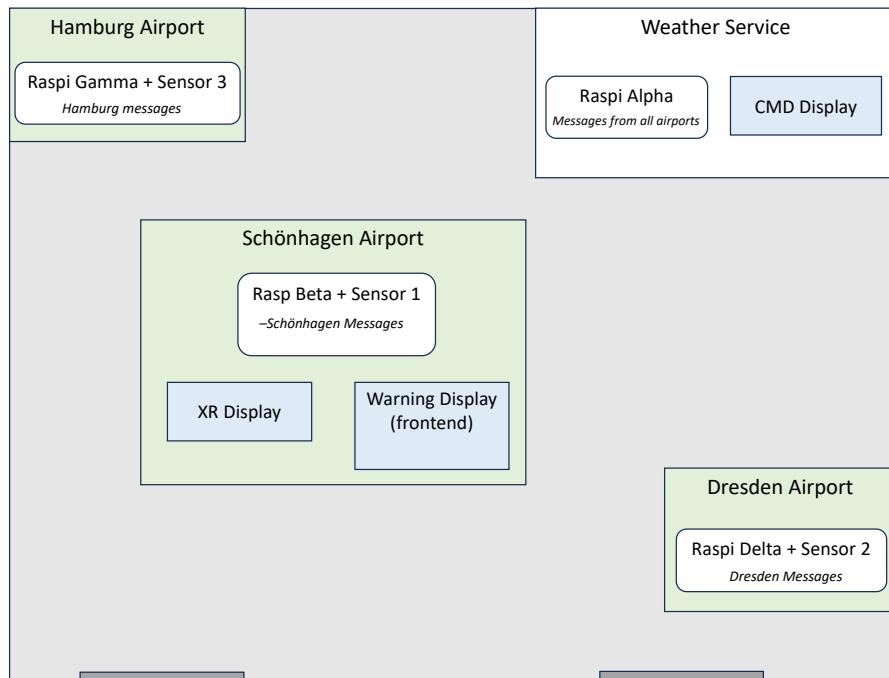


Abbildung 11: Onsite-Vorstellung



(a) Kick-off-Event



(b) Abschlussevent

Abbildung 12: Pressemitteilungen

2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Wir haben die Finanzpläne für GeoVER vorgeschlagen, und haben uns im Allgemeinen an den ursprünglichen Plan gehalten. Die Mittelverwendung deckt drei Bereiche ab, nämlich die Bezahlung von Personal, Reisekosten und Materialkosten.

Bezahlung von Personal

Die Hauptausgaben des Projekts bestanden in erster Linie aus den Personalkosten. Konkret mussten wir einen Mitarbeiter einstellen, der folgende Aufgaben übernahm: (i) die Entwicklung des GeoVER-Prototyps, (ii) die Zusammenarbeit mit der Deutschen Telekom und (iii) die Durchführung von projektbezogenen Veranstaltungen. Minghe Wang wurde für das GeoVER-Projekt als wissenschaftlicher Mitarbeiterin in der Forschungsgruppe Mobile Cloud Computing ab November 2022 eingestellt. Die Mitarbeiterin wurde für einen Zeitraum von 12 Monaten nach TVL13 vergütet.

Materialkosten

Darüber hinaus fielen Materialkosten für die Anschaffung zusätzlicher wesentlicher Komponenten wie Sensoren und Edge-Computing-Geräte wie Raspberry Pi mit dem entsprechenden Zubehör an. Im Einzelnen haben wir für die GeoVER-Experimente Sensoren als Datenquellen und Raspberry Pis als Endnutzer sowie das notwendige unterstützende Zubehör gekauft.

Reisekosten

Außerdem fielen Kosten für Veröffentlichungen und Reisen an. GeoVER hatte ein akzeptiertes Papier auf der EdgeSys 2023. Minghe Wang, die für den Inhalt des GeoVER-Projekts verantwortlich war, präsentierte das Papier in Rom und hatte folglich Kosten für die Veröffentlichung und Reisekosten.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Im Verkehrsbereich benötigen die Endnutzer Warnungen oder Kenntnisse über die Verkehrsbedingungen, um die Effizienz des Verkehrs und die Vermeidung von Gefahren zu gewährleisten. Hier gibt es für unterschiedliche Verkehrsbereiche zutreffende Szenarien:

- Drohnenverkehr in der Nähe der Landebahn
- Containerbewegung in einem Hafen
- Defekte Züge oder Aufzüge in öffentlichen Verkehrsmitteln;
- Verkehrsstau
- Zerbrochenes Glas auf einem Fahrradweg

All diese Warnungen oder Informationen sind eng mit dem geografischen Standort verknüpft, z. B. sind die Informationen des Berliner Windsensors hauptsächlich für die Endnutzer in der Nähe von Berlin nützlich und für die Nutzer in Frankfurt in der Regel nicht interessant. Die Kategorisierung von Informationen oder Warnungen nach geografischem Standort kann also die Bereitstellung und Verteilung nutzloser Informationen effektiv reduzieren, die Informationsnutzung verbessern, die Verschwendungen von Netzwerkbandbreite reduzieren und die Erfahrung der Endbenutzer verbessern.

Wenn GeoVER also in der Praxis genutzt werden würde, lassen sich folgende Vorteile erwarten:

1. Eine verkehrsbereichübergreifende Technologie, die angepasste Informationen für Verkehrsteilnehmende bereitstellen kann
2. Die Verbesserung der Sicherheit und des Verkehrsflusses in unterschiedlichen Bereichen
3. Die Reduzierung von unnötigen Emissionen durch Optimierung des Verkehrs
4. Die Verbesserung des Informationslevels von Verkehrsteilnehmenden

4 Voraussichtlicher Nutzen

Der Nutzen von GeoVER, wie auch schon im letzten Abschnitt angesprochen, beinhaltet die Verbesserung des Verkehrsflusses, die Verteilung von Informationen an betroffene Teilnehmende und die Reduzierung von Emissionen durch Verkehrsmittel. Außerdem entsteht durch den besseren Informationsstand eine allgemein größere Verkehrssicherheit, sowie Kostenreduzierungen durch Prozessoptimierung. Außerdem bietet GeoVER eine intuitive Möglichkeit, historische Daten und Informationen mittels der XR-Anwendung nachzuvollziehen.

5 Fortschritte auf dem Gebiet

GeoVER zielte darauf ab, Ansätze aus unterschiedlichen Forschungsbereichen wie Geo-Kontextuale IoT Datenverteilungssysteme, Edge-basierte Systeme, Geowarnungen und XR um eine vielseitige Lösung zu erstellen, die auf diverse Verkehrssituationen und -bereiche angewendet werden kann. Soweit wir es wissen wurde dies noch nicht untersucht, da Ansätze für gezielte Verteilung von IoT-Daten auf Basis von Geo-Kontext-Informationen erst kürzlich aufgetaucht und erforscht werden.

Ähnlich wie GeoVER zielten auch die mFUND-Projekte CITRAM, mFund-ITP, HOCHFEIN und SiUSpace darauf ab, verschiedene Aspekte des täglichen Lebens durch Informationen aus dem Internet der Dinge (IoT) zu verbessern. Diese Projekte nutzten jedoch keinen der neuartigen Ansätze zur Verteilung von Informationen auf der Grundlage von Geokontextinformationen. Darüber hinaus hat GeoVER eine Lösung entwickelt, die als Grundlage für weitere Projekte dienen kann, während die genannten Projekte alle auf spezifische Anwendungsszenarien abzielen.

Je nach Anwendungsbereich können mFUND-Projekte wie FASaN, SmartHel oder AmseL als Datenempfänger für die GeoVER-Plattform dienen, während ParkControl, SmartWalk, MERIDIAN, DEUS-SmartAir, Safesky, Ideals und vor allem ISRV perfekte Datenquellen für GeoVER sind. GeoVER ermöglichte die Verknüpfung von Datenquellen und intelligenten Datensenken, was die genannten Projekte nur z.T alleine abdecken.

Weitere mFUND-Projekte mit Bezug zu XR sind PAPS-XR und COLLISION ZERO, hier werden jedoch keine Echtzeitinformationen ausgewertet. GeoVER bot somit auch in diesem Aspekt eine neuartige Angehensweise im XR-Bereich.

Alle zugehörigen Projekte finden Sie auf der mFUND-Projektwebsite⁴.

⁴mFUND Projekte Link: <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/mFund/Projekte/mfund-projekte.html>

6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Das GeoVER-Projekt wurde in seiner verallgemeinerten Form unter dem Namen Lotus veröffentlicht.

Lotus bietet drei Funktionen:

1. Bereitstellung eines Einstiegspunkts für IoT-Anwendungen zur Übergabe von Abonnements und Funktionen
2. Hinzufügen eines verarbeiteten Abonnements zu DisGB,
3. Das Bereitstellen oder Entfernen von kundenspezifischen Funktionen in tinyFaaS, das Senden der passenden Ereignisse an die Funktion und das Weiterleiten der verarbeiteten Ergebnisse.

Da alle Komponenten gemeinsam auf demselben physischen Knoten bereitgestellt werden, entsteht keine zusätzliche Kommunikationslatenz. Um redundante Nachrichten zu vermeiden, veröffentlicht Lotus die von der Funktion verarbeiteten Ereignisse erneut in dem neuen Thema, das der Client nun abonniert hat, so dass die Abonnenten verarbeitete Ereignisse direkt von DisGB erhalten. Wenn mehrere Abonnenten dasselbe Thema mit derselben Verarbeitungsfunktion abonnieren, wird das Ereignis nur einmal verarbeitet.

Die Projektergebnisse werden erwartbar zum Teil in Folgepublikationen mit aufgenommen.

1. Wang M, Schirmer T, Pfandzelter T, et al. Lotus: Serverless In-Transit Data Processing for Edge-based Pub/Sub[C]//Proceedings of the 6th International Workshop on Edge Systems, Analytics and Networking. 2023: 31-35.

A Anhang A

A.1 Anforderungsanalysebericht

GeoVER Requirement Analysis

15.02.2023

GeoVER is a system that could provide geographically precise warnings with arbitrary expert-defined rules. It is intended to support different traffic domains, such as vehicle traffic, bicycle traffic, and marine traffic. This document will focus on the air traffic domain to elaborate on the concrete requirements, but the requirement analysis will expand to all traffic domains to develop a system that is applicable to all domain areas.

We will introduce the GeoVER requirements from two aspects, i.e., the functional requirements and the non-functional requirements.

Functional Requirements

In this section, the GeoVER functionalities will be elaborated.

1. The event receivers can arbitrarily define areas of interest for the events, and only the events from there will be received.
2. The event receiver could use heartbeat actively check if the event senders are still active:
3. The event receivers can use heartbeat to actively check if the event senders are still alive.
4. The events can be divided into warning and information messages based on priority.
5. The event receivers can manage the received events:
 - a. Duplicated events can be aggregated.
 - b. Unnecessary event contents can be ignored.
 - c. Low-priority events can be left out during system overload.
6. Both event senders and receivers can use rules to send derived events (warning, information) based on incoming events.
7. The system can be compatible with existing technologies and standards in the different traffic domains. This ensures that the system can integrate with other systems and work seamlessly with existing infrastructure.

Non-Functional Requirements

This section describes the GeoVER characteristics.

1. Scalability:

The system can effectively accommodate varying workload and resource demands.

2. Reliability:

The passing events should arrive **at least once**.

a. High Availability: The system can continuously provide stable services.

b. Fault tolerance:

i. Hardware: System downtime arising from hardware defects is avoided by applying appropriate redundant equipment.

ii. Software: When faults occur, the system can continue services at a reduced capacity, rather than completely shutting down.

3. Performance:

a. Low Latency: The passing events should be delivered in real-time or near real-time.

b. Concurrency: Different user requests could be handled simultaneously without affecting each other.

A.2 GeoVER Fortschrittskontrollpunkte

1. Collect concrete requirements from the airport application:
 - a. A complete overview of requirements for such data distribution systems in air traffic field.
2. Compared to requirements from other traffic areas.
 - a. If the requirements of different traffic areas conflict, it is easily possible to operate different system variants of the GeoVER platform in parallel.
3. Develop and evaluated an prototypical IT system in air traffic use case:
 - a. users can define appropriate rules for sending warnings.
 - i. standard comparison operators (such as >, >=, etc.)
 - ii. boolean links (AND, OR, NOT, etc.)
 - b. GeoVER automatically implement the rules.
 - c. publish corresponding warning messages.
 - d. test run of the system and experimental evaluation./ evaluate in cooperation with Schönhagen airport.
4. A final report that provides insights into:/ Results report capturing the capabilities and limitations of the GeoVER system
 - a. the suitability of such a system in the air traffic field.
 - b. the necessary extension directions in other traffic domains.
 - c. the further research needs and directions.
5. Scientific publication of results.
6. Communication of results to the media, participation in mFUND accompanying research, etc.

B Anhang B

B.1 Kick-off Event Agenda

Dec 16, 2022. 10.30-12.30h
The event language is English.



If you are interested in participating, please, email mw@mcc.tu-berlin.de for the Zoom link.

Geowarnungen für den Verkehrsbereich mittels Extended Reality im Anwendungsbereich Luftverkehr – GeoVER

Kick-Off Meeting and Networking Event

Agenda

10:30	Welcome	David Bermbach	TU Berlin
		Niklas Adorf	Projektträger
10:40	GeoVER Introduction	David Bermbach	TU Berlin
11:00	6G-TakeOff	Markus Breitbach	Deutsche Telekom
11:15	6G NeXt	Mandy Galkow-Schneider Robert Vilter	Deutsche Telekom TH Wildau
11:30	SafeSky	Stefan Langguth	GNS-Electronics GmbH
11:45	IDEALS	Ertug Olcay	Fraunhofer Institut für Verkehrs und Infrastruktursystem
12:00	ISRV	Julian Hofmann	RWTH Aachen University
12:15	Discussion and Networking		

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



B.2 Kick-off Event Folien



GeoVER: Geowarnungen für den Verkehrsbereich mittels Extended Reality im Anwendungsbereich Luftverkehr

Kick-off & Networking Event on Geo Warnings and Data Processing for Air Traffic

Welcome + Participants

GeoVER

- TUB: David Bermbach, Minghe Wang, Nils Japke, Trever Schirmer
- DT: Ingo Friese
- EDAZ/IDRF: Klaus-Jürgen Schwahn

Projekträger: Niklas Adorf

BMBF projects

- 6G-TakeOff: Markus Breitbach
- 6G NeXt: Mandy Galkow-Schneider, Robert Vilter

mFUND projects

- SafeSky: Stefan Langguth
- IDEALS: Ertug Olcay
- ISRV: Julian Hofmann

Agenda

1. mFUND at a glance
2. Overview GeoVER
3. Related projects
 - 6G-TakeOff
 - 6G NeXt
 - SafeSky
 - IDEALS
 - ISRV
4. Discussions

OVERVIEW GEOVER

Motivation



Information and warnings can improve safety and efficiency of traffic in all domains. Information often has a geo-context.

Examples:

- Drone traffic in the vicinity of the runway
- Container movement in a harbor
- Broken train or elevator in public transport
- Traffic jam
- Broken glass on a bike lane
- ...

Page 5

Motivation (cont.)



Such information is often siloed – can we make it available to traffic participants while asserting...

- ...that users only receive relevant data (topic, source location, sender),
- ...that delivery is in (near) real time,
- ...that data are accessible to end users,
- ...that we can deal with both information and warnings?

=> Feasibility study for an air traffic use case.

Page 6

Project goals in GeoVER



1. Derive requirements for geo-warning and information system in traffic
2. Design and implement a prototype for such a system building on DisGB
3. Develop XR-based client for end users
4. Evaluate in the context of air traffic

Page 7

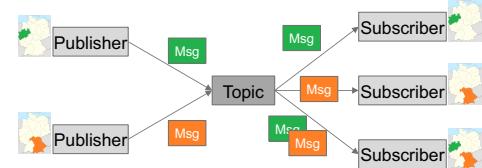
GeoBroker/DisGB



GeoBroker extends topic-based pub/sub with geo-contexts.



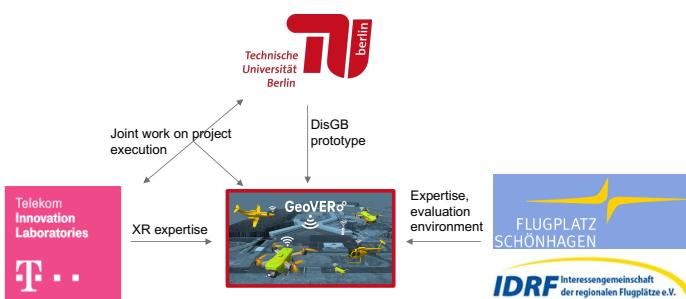
DisGB uses geo-context information for message routing.



Page 8



GeoVER consortium



Page 9

Work plan



- WP 1: Requirements, individual components => Feb 2023
- WP 2: DisGB extension, integration of components => Jun 2023
- WP 3: Evaluation experiments => Aug 2023

+ ongoing: WP 4: Exploitation, communication => Oct 2023

Page 10

Expected impact of GeoVER



Proof-of-concept prototype and evaluation experiments demonstrating that it is possible to deliver geo-warnings and information for traffic use cases

- ...in near real-time
- ...in an understandable way
- ...to all (and only) interested parties.

Planned next step: apply approach to other traffic domains.

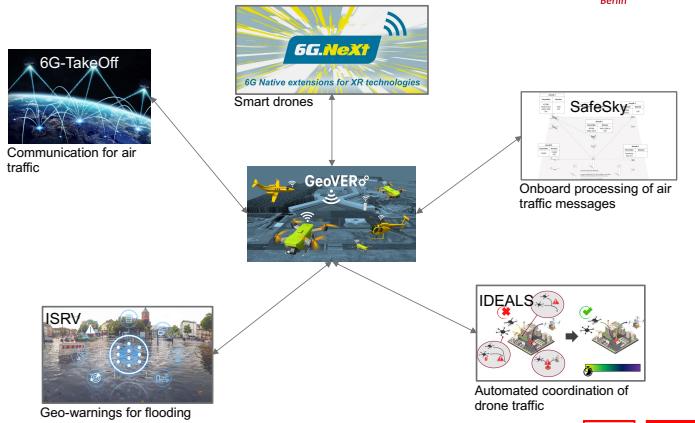
AND FINALLY...



Page 11

Page 12

Links to the other projects



Page 13

Thank you.



Questions?

Page 14



B.3 Abschluss Event Agenda

Nov 27, 2023. 15.00-17.00h

Technische Universität Berlin
Einsteinufer 17
Raum EN152
10587 Berlin



If you are interested in participating, please email mw@mcc.tu-berlin.de for the Zoom link.

Geowarnungen für den Verkehrsbereich mittels Extended Reality im Anwendungsbereich Luftverkehr – GeoVER

End Event

Agenda

15:00	Welcome	David Bermbach	TU Berlin
		Tim Rittmann	BMDV/mFUND
15:25	GeoVER Demonstration	David Bermbach	TU Berlin
		Ingo Friese	Deutsche Telekom
16:25	Conclusions and Next Steps	David Bermbach	TU Berlin
		Ingo Friese	Deutsche Telekom
16:40	Q&A		
17:00	End of the Event		

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

B.4 Abschluss Event Folien



Agenda



1. Welcome

2. GeoVER Demonstration
3. Conclusion & Next Steps
4. Q&A

GeoVER End Event & Airport Use Case Demonstration

Minghe Wang, Martin Grambow, Nils Japke, David Bermbach
Mobile Cloud Computing Research Group | 26. November 2023



Page 2 Minghe Wang & David Bermbach | MCC | GeoVER End Event



Welcome + Participants



- GeoVER
 - TUB: David Bermbach, Minghe Wang, Trever Schirmer
 - DT: Ingo Friese, Benjamin Zachev
- BMDV/mFUND: Tim Rittmann

WELCOME –Tim Rittmann

Page 3 Minghe Wang & David Bermbach | MCC | GeoVER End Event



Page 5 Minghe Wang & David Bermbach | MCC | GeoVER End Event



GeoVER OVERVIEW

Motivation

Information and warnings can improve safety and efficiency of traffic in all domains. Information often has a geo-context.

Examples:

- Drone traffic in the vicinity of the runway
- Container movement in a harbor
- Broken train or elevator in public transport
- Traffic jam
- Broken glass on a bike lane

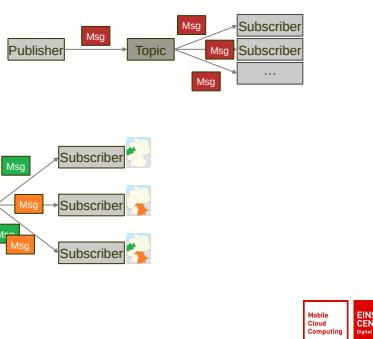
Project Goals in GeoVER

1. Derive requirements for geo-warning and information system in traffic
2. Design and implement a prototype for such a system building on DisGB
3. Develop XR-based client for end users
4. Evaluate in the context of air traffic

=> Feasibility study for an air traffic use case.

GeoBroker/DisGB

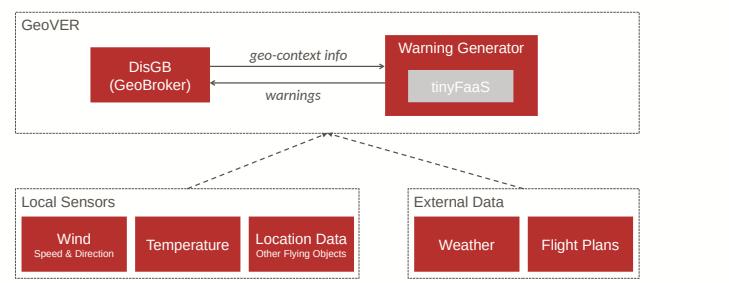
- GeoBroker extends topic-based pub/sub with geo-contexts.
- DisGB uses geo-context information for message routing.



Page 10 Minghe Wang & David Bermbach | MCC | GeoVER End Event



GeoVER Architecture



Page 11 Minghe Wang & David Bermbach | MCC | GeoVER End Event



GeoVER Consortium



Page 12 Minghe Wang & David Bermbach | MCC | GeoVER End Event



GeoVER DEMONSTRATION



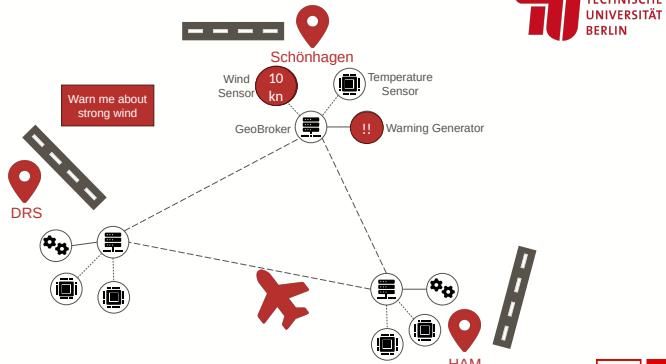
Scenarios



1. Crosswind Application

2. Snow Clearing Application

CROSSWIND CONDITIONS –Ingo Friese



XR Visualization –Benjamin Zachey

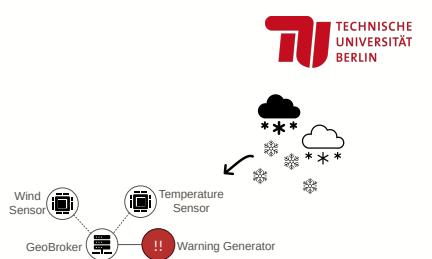
GeoVER LIVE DEMONSTRATION

SNOW-CLEARING APPLICATION

Page 18 Minghe Wang & David Bermbach | MCC | GeoVER End Event



Warn me
when I need to
clear snow



Page 19 Minghe Wang & David Bermbach | MCC | GeoVER End Event

Page 19 Minghe Wang & David Bermbach | MCC | GeoVER End Event

Thank you.

Questions?

Page 21 Minghe Wang & David Bermbach | MCC | GeoVER End Event