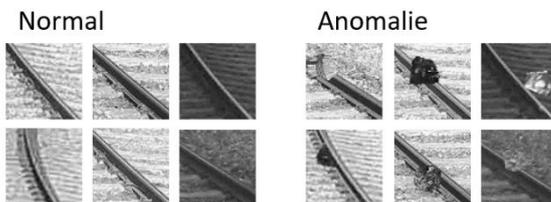
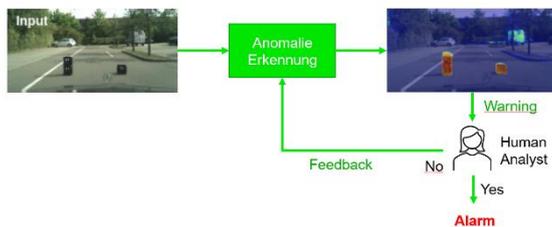


Naturgefahren-Früherkennung für Verkehrsinfrastruktur durch autarke redundante vernetzte Multi-Sensor-Systeme

NANCI

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2020

VIF 2020



IMPRESSUM

Herausgeber und Programmverantwortung:
Bundesministerium für Klimaschutz
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Radetzkystraße 2
1030 Wien

 Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
1020 Wien

 **ÖBB**
INFRA

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-
Aktiengesellschaft
Austro Tower
Schnirchgasse 17
1030 Wien

 **ASFiNAG**

Für den Inhalt verantwortlich:
SWARCO Futurit GmbH
Mühlgasse 86
2380 Perchtoldsdorf

 **swarco** 
SWARCO FUTURIT
Verkehrssignalsysteme Ges.m.b.H.

GEOEXPERT Research & Planning Ges. N. b. H
Brundildengasse 1/1/2, A-1150 Wien

 **GeoExpert**
Research and Planning GmbH

Software Competence Center Hagenberg GmbH
Softwarepark 32a, 4232 Hagenberg

 **scch** {
software
competence
center
hagenberg
}

Programmmanagement:
Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Thematische Programme
Sensengasse 1
1090 Wien

 **FFG**
Forschung wirkt.

Naturgefahren-Früherkennung für Verkehrsinfrastruktur durch autarke redundante vernetzte Multi-Sensor-Systeme

NANCI

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung

VIF 2020

Autorinnen und Autoren:

DI Dr. Klaus POLLHAMMER¹

Mag. Dr. Diethard LEBER²

Mag. Margit Kurka, MSc²

DI Theodorich Kopetzky³

DI Dr. Thomas Hoch³

DI Ewald Kantner³

¹ SWARCO FUTURIT Verkehrssignale Ges.m.b.H., Mühlgasse 86, A-2380 Perchtoldsdorf

² GEOEXPERT Research & Planning Ges. N. b. H, Brundildengasse 1/1/2, A-1150 Wien

³ Software Competence Center Hagenberg GmbH, Softwarepark 32a, 4232 Hagenberg

Auftraggeber:

Bundesministerium für Klimaschutz

ÖBB-Infrastruktur AG

Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

SWARCO FUTURIT Verkehrssignale Ges.m.b.H.

Mühlgasse 86, A-2380 Perchtoldsdorf

GEOEXPERT Research & Planning Ges. N. b. H

Brundildengasse 1/1/2, A-1150 Wien

Software Competence Center Hagenberg GmbH

Softwarepark 32a, 4232 Hagenberg

INHALTSVERZEICHNIS

Impressum.....	2
Inhaltsverzeichnis	5
1 Einleitung.....	7
2 Extremwetterereignisse	9
3 Gefahren für Verkehrswege auf Basis von Extremwetter	11
3.1 Prozessbeschreibung Hochwasser	12
3.1.1 Auslösende Niederschlagsereignisse	13
3.1.2 Fluviales Hochwasser.....	14
3.1.3 Pluviales Hochwasser.....	16
3.2 Hochwasservorhersagen in Österreich	18
3.2.1 Hochwasservorhersagen - Genereller Status.....	20
3.2.2 Hochwasservorhersagen - Vorhandene Informationsplattformen und -quellen	21
3.2.3 Hochwasservorhersagen - Fluviale Hochwasser	25
3.2.4 Hochwasservorhersagen - Pluviale Hochwasser	26
3.2.5 Hochwassersituation mit Bezug auf lineare Infrastruktur.....	30
3.3 Überwachungssysteme für Hochwasser	33
3.3.1 Charakteristik von Überwachungssystemen für Naturgefahrenprozesse	33
3.3.2 Überwachungssysteme - Fluviales Hochwasser	34
3.3.3 Überwachungssysteme – Pluviales Hochwasser	35
3.3.4 Sensorsysteme für die Überwachung von Hochwasser	35
3.4 Prozessbeschreibung gravitative Naturgefahren mit Auswirkungen auf den Fahrweg	40
3.4.1 Gravitative Naturgefahren.....	40
3.4.2 Vorinformationen zu durch gravitative Naturgefahrenprozesse gefährdeten	
Bereichen	41
3.4.3 Überwachungssysteme für gravitative Naturgefahren.....	42

3.5	Szenarienabhängige Anforderungsmodelle	46
3.5.1	Anforderungsszenarien – Allgemeine Priorisierung.....	46
3.5.2	Anforderungsszenarien – Detaillierte Betrachtung	48
4	Low Cost Sensorik zur Erkennung von Objekten	52
4.1	Kamerasysteme.....	52
4.1.1	Test Stereokamerasystem Oak-D.....	54
4.1.2	Technische Lösung Erkennung	56
4.2	Radarsensorik	66
5	Verteilte Multi-Sensor-Systeme.....	73
5.1	Allgemein.....	73
5.2	Schnittstellen	75
5.3	Systemaufbau und Überlegungen.....	75
6	Testinstallationen und Probeläufe	82
6.1	Testphasen Planung.....	82
6.2	Detailergebnisse innerhalb der Testphasen.....	84
6.2.1	Testphase 1.....	84
6.2.2	Testphase 2.....	95
6.2.3	Testphase 3.....	101
6.2.4	Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den Testphasen.....	117
7	Zusammenfassung und Ausblick	118
8	Danksagungen	121
	Abbildungen.....	122
	Tabellen.....	126
	Literatur	128

1 EINLEITUNG

Wie im Projektantrag dargestellt (Swarco Futurit et al., 2021), wurden im Rahmen des Projekts NANJI unterschiedliche Ansätze zur Erkennung und zum Monitoring von Naturgefahrenprozessen im alpinen Raum untersucht. Dies erfolgte insbesondere in Hinblick auf die Gefährdung von linearen höherrangigen Verkehrsinfrastrukturen (Straßennetz ASFINAG, Bahnnetz ÖBB).

Die Bearbeitung im NANJI Projekt gibt Aufschluss, wie technische Schutzmaßnahmen vor sowie Frühwarnsysteme für Naturgefahren angepasst werden können, und so ein erhöhter Schutz gewährleistet werden kann. Der Fokus lag auf der Aufarbeitung bereits vorhandener Informationen, einschließlich Gefahrenhinweiskarten, Berichte technischer Detailprojekte, Ereignis- und Gefahrenzonendokumentation (u. a. GIS-gestützt) und Modellierungen. Ein weiteres Hauptaugenmerk liegt auf der Zusammenfassung bisheriger Herangehensweisen, wie etwa bestehende Monitoring- und Frühwarnsysteme und Kommunikationslösungen. Ziel des Projekts war es, die bestehenden Informationen, Wissensstand und Grundlagen aufzuzeigen, neue Lösungsansätze darauf aufzubauen und diese in weiterer Folge in bestehende Sensor- und Softwareinfrastrukturen zu integrieren. Dies galt vor allem für die Erkennung von flächigen Naturgefahren wie z.B. Rutschungen, Hangmuren oder Hochwasser.

Es wurde ein bestehender Prototyp zur Früherkennung von Naturgefahrenprozessen adaptiert und optimiert, und auf die Anforderungen von ÖBB und ASFINAG ausgerichtet. Des Weiteren lag das Augenmerk auf der Einbindung bestehender Monitoring-/Sensorlösungen und Softwareinfrastrukturen der Infrastrukturbetreiber ÖBB und ASFINAG. Es erfolgte die Entwicklung einer IoT-basierten, modularen, erweiterbaren Lösung eines autarken, redundanten und vernetzten Multi-Sensor-Warnsystems. Hier wiederum mit Hauptaugenmerk auf den Einsatz von optischen und radarbasierten Sensoren und auf der Anwendung von deep learning Algorithmen (KI-Bildanalyse Algorithmen), welche in den letzten Jahren vermehrt Anwendung im Katastrophen-Managementbereich erfahren haben (z. B. Ma et al., 2021 und Sit et al., 2020).

Die konkreten Projektziele laut Antrag für das Forschungsprojekt waren (Swarco Futurit et al., 2021):

- Hauptziel: Entwicklung eines Anwendungssystems zur Erkennung von und Warnung vor Naturgefahrenprozessen
- Modulares und skalierbares System mehrerer verteilter Sensorknoten (Kamera, Radar, Bestandssysteme)

- Kombination ermittelter Kamera- und Radardaten mittels Sensor-Fusion und Edge Computing mit einer lokalen Logik
- Mitteilung vorab definierter Zustände (z. B. erhöhtes Risiko für Überschwemmung entlang der Strecke) von der lokalen Logik zu einem übergeordneten Bestandssystem mittels Mobilfunktechnologie.

2 EXTREMWETTEREREIGNISSE

Ein innerhalb des Projektes zu bearbeitender Punkt war die Analyse von Extremwetterereignissen in Österreich. Diese Analyse wurde von Mag. Wolfgang Traunmüller von der Firma „BLUE SKY Wetteranalysen“ durchgeführt.

Die folgende Zusammenfassung der Aufgabenstellung sowie die Liste, welche die wichtigsten Ergebnisse zusammenfasst, ist direkt übernommen aus dem Bericht **“Starkniederschläge im Alpenraum/Österreich mit Hinsicht auf den Klimawandel, Juni 2022, Mag. Wolfgang Traunmüller“**, welcher als eigenständige Beilage zu diesem Ergebnisbericht vollständig beiliegt.

Die Analyse sollte einen Überblick über die Entstehung, Art und Verteilung von Starkniederschlägen in Österreich gegeben werden. Dazu wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, um den Stand des Wissens abbilden zu können. Die Untersuchungen erfolgten sowohl räumlich als auch zeitlich verteilt und beziehen sich auf statistische Methoden (Extremwertberechnung). Daraus ergab sich eine Häufigkeitsverteilung (Jährlichkeiten) von Starkniederschlagsereignissen in allen Regionen Österreichs.

Ein weiterer Fokus lag auf der meteorologischen Beschreibung von Wetterlagen, die in Österreich Starkregenereignisse verursachen. Abschließend wurde auf die Theorien der Klimaszenarien in Bezug auf Starkniederschläge in den nächsten Jahrzehnten bis zum Jahr 2100 eingegangen.

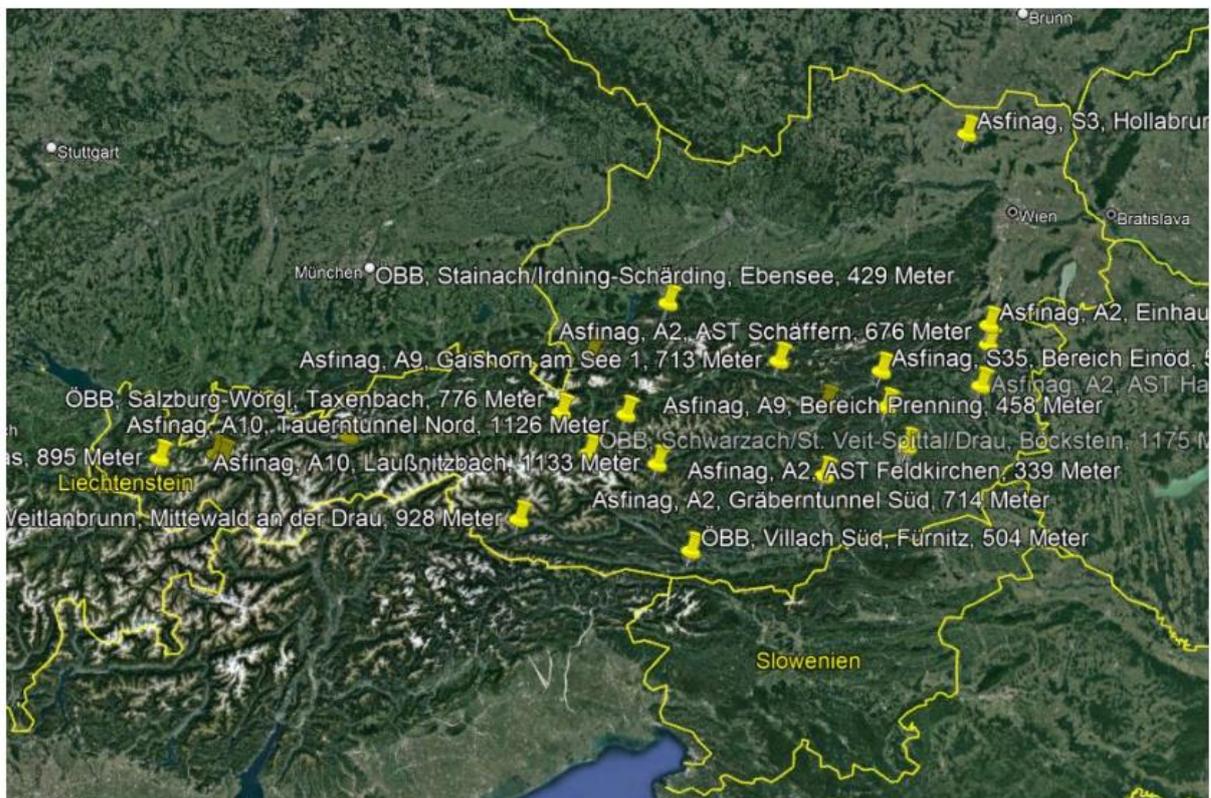
Die wichtigsten Erkenntnisse laut Herrn Mag. Traunmüllers Analyse sind:

- Starkniederschläge werden im Alpenraum und damit auch in Österreich durch großräumige Wetterlagen (Staulagen, Vb-Tiefs) sowie kleinräumig durch konvektive Niederschläge und Gewitter verursacht.
- Die Häufigkeit von Starkregenereignissen ist in Österreich sehr unterschiedlich verteilt. Eine Maßzahl dafür ist die Jährlichkeit, die aus historischen Messdaten berechnet wird und die Häufigkeit eines Niederschlagsereignisses mit einer Regenmenge pro Zeiteinheit definiert.
- Laut derzeitigem Stand der Forschungen hat eine weitere Klimaerwärmung auch einen starken Einfluss auf die Häufigkeit, Intensität und Dauer von Starkniederschlagsereignissen.
- Durch die unterschiedliche Temperaturzunahme in den subtropischen und polaren Gebieten wird die zonale Strömung abnehmen und meridionale Wetterlagen zunehmen. Dadurch hält die Lebensdauer von gewissen und extremen Wetterlagen

wie Hitzeperioden und Starkregenereignisse länger an, diese Wetterlagen haben dann auch größere Auswirkungen.

- Durch die Temperaturzunahme steigt außerdem die Aufnahmefähigkeit von Wasserdampf in der Atmosphäre. Dies führt zur Bildung von flächenmäßig größeren und vertikal mächtigeren Gewitterwolken und in der Theorie zu einer Zunahme der Niederschlagsmengen bei konvektiven Starkregenereignissen.
- Begünstigt werden zunehmende Hochwasser und Überflutungsereignisse außerdem durch die fortschreitende Landversiegelung, Bebauung von hochwassergefährdeten Flächen, intensive Landnutzung, unterdimensionierte Kanalnetze und ausgetrocknete Böden nach Hitze und Dürreperioden.

Zusätzlich hat Herr Mag. Traummüller eine geografische Analyse durchgeführt, welche besonders neuralgische Stellen, die ÖBB und ASFINAG betreffend, in ganz Österreich anzeigt. Eine Übersicht dieser Punkte ist in der folgenden Karte ersichtlich.



**Abbildung 1: Neuralgische Stellen für extreme Wetterlagen in Österreich (ÖBB, ASFINAG),
Quelle BLUE SKY (Mag. Traummüller)**

3 GEFAHREN FÜR VERKEHRSWEGE AUF BASIS VON EXTREMWETTER

Wie im Projektantrag formuliert umfasste die Bearbeitung der Betrachtung von Gefahren für Verkehrswege auf Basis von Extremwetter folgende Bereiche:

- Analyse von Publikationen über Extremwetterereignisse und von, von den Infrastrukturbetreibern zur Verfügung gestellten, fallbezogenen ergänzenden Informationen für die Verbesserung des Prozessverständnisses entlang von Verkehrsinfrastruktur unter Klimawandelbedingungen.
- Darstellung der spezifischen Charakteristik und von Szenarien von flächigen Naturgefahrenprozessen in Einhängen und des Stands-der-Technik bei der Erkennung, dem Monitoring und der Frühwarnung.
- Darstellung von bisher für das Monitoring verwendeten prozessbezogenen Sensornetzwerken unter Einbeziehung von Bestandssystemen bei ÖBB, ASFINAG und Fremdbetreibern.
- Detaillierte Analyse von Prozesseinwirkungen und deren Charakteristik auf den lichten Raum von Gleisanlagen bzw. Fahrspuren und von möglichen Sensorlösungen.
- Erforschung und Beschreibung der Charakteristik von Überflutungsszenarien in alpinen Einzugsgebieten und im Vorland und des Stands-der-Technik von Monitoring-/Sensorsystemen

Aufbauend und ergänzend zu den bereits erfolgten Bearbeitungen in AP 2.2 und AP 2.3 wird in den vorliegenden Ausführungen näher auf den Stand-der-Technik bei Vorhersage, Erkennung, Monitoring und Frühwarnung von Überflutungsprozesse eingegangen, und die hier angeführten Punkte dargestellt:

1. Beschreibung der Charakteristik von Überflutungsszenarien in alpinen Einzugsgebieten und im Vorland, mit Hauptaugenmerk auf Naturgefahren im Zusammenhang mit Überflutungsszenarien in Wildbächen (schnelle Prozesse in kleinen Einzugsgebieten), Flüsse (relativ langsame Prozesse) und Hangwasserabfluss und Hangmuren.
2. Ergänzende Beschreibung genereller Hochwassersituation und Hochwasservorhersagen in Österreich (aufbauend und ergänzend zu Traunmüller, 2022), wobei insbesondere auf bestehende Kartengrundlagen und Informationen (Hora, EHd etc) zur Risikoabschätzung eingegangen wird.
3. Stand der Technik von Monitoring- und Sensorsystemen solcher Prozesse.

3.1 Prozessbeschreibung Hochwasser

Hochwasser wird allgemein definiert als zeitlich beschränkte Überflutung von Land, das normalerweise nicht mit Wasser bedeckt ist. Im Gegensatz zu „Fluvialem Hochwasser“, das von einem Gewässer wie (Wild-)Bächen, Flüssen oder Seen ausgeht, weist „Pluviales Hochwasser“ keinen direkten Bezug zu einem Gewässer auf. Es entsteht durch Oberflächenabfluss, ausgelöst durch vorwiegend lokal begrenzte Niederschläge hoher Intensität, insbesondere als Folge von Starkregenereignissen oftmals weitab von Gewässern (ÖWAV, 2020) wie zum Beispiel auf landwirtschaftlichen Nutzflächen.

Hochwasser entsteht, wenn es in Folge von durch Starkniederschläge bzw. Starkregenereignisse (Traunmüller, 2022), welche sich durch lange Dauer (Dauerregenereignisse) oder starke Intensität (Starkregenereignisse) auszeichnen, oder schnelle Schneeschmelze, zu einem Anstieg des Wasserspiegels über den Normalstand kommt. Hochwasser führt in weiterer Folge zu Überflutungen, wenn das Wasser über die Ufer von Flüssen oder Bächen tritt. Des Weiteren, wenn die Kapazität der Infrastruktur, wie z. B. Kanäle, Versickerungsanlagen, Stauräume und Retentionsbecken, nicht mehr ausreicht, weil der Abfluss über der, bei ihrem Bau bemessenen Wassermengen liegt.

Pluviale Hochwässer (auch Hangwasser) werden meist durch kurzzeitige Niederschlagsereignisse/Gewitter ausgelöst die typischerweise einige Minuten bis wenige Stunden dauern, und innerhalb kurzer Zeit große Regenmengen auf vergleichsweise kleinen Flächen bringen (ÖWAV, 2020).

Suda und Rudolf-Miklau (2012) zum Beispiel unterscheiden zwischen Gefährdung durch fluviale Prozesse wie Überflutung (inkl. dynamischer Überflutung mit Feststoffablagerungen und Anprall), und fluvialer Erosion und durch pluviale Prozesse wie Überschwemmung durch oberirdisches Hangwasser, Grundwasserhochstand und Rück- und Überstau aus dem Kanalnetz. Zum Risiko werden solche Prozesse erst, wenn Menschen und Infrastruktur beeinträchtigt sind und es zu Schäden kommt (Neuhold und Wenk, 2021). In der gegenständlichen Bearbeitung wird gemäß Abbildung 2, in Anlehnung an Zahnt et al. (2018), zwischen fluvialen und pluvialen Hochwässern unterschieden

3.1.1 Auslösende Niederschlagsereignisse

In Traunmüller (2022) werden Niederschlagsereignisse in Österreich wie folgt unterschieden:

- a) konvektive Niederschläge, bei welchen es sich um kleinräumige (10 – 100 km), kurzweilige (1 – 3 h) und intensive Ereignisse handelt (z. B. Gewitter, Kaltfronten; Niederschlagspotential: 50 – 150 mm),
- b) Stau-niederschläge, welche kleinräumig (100 – 300 km) und über mehrere Stunden (6 – 24 h) auftreten (z. B. Warmfronten; Niederschlagspotential: 100 – 300 mm) und
- c) Vb-Tiefs, welche großräumig über einige Tage hinweg das Wettergeschehen beeinflussen (z. B. Adriatief; Niederschlagspotential: 100 – 500 mm) eingeteilt.

In der Bearbeitung und auch in Abbildung 2 werden der Einfachheit halber Dauerregenereignissen wie Stau-niederschläge und Vb-Tiefs als Dauerregen bezeichnet, und Starkregenereignissen wie konvektive Niederschläge und Gewitter als Starkregen. Auch die Schneeschmelze kann der Auslöser für fluviale sowie pluviale Überflutungen sein.

In diesem Zusammenhang ist **Dauerregen** als über einen längeren Zeitraum anhaltender Niederschlag (mehrere Stunden, Tage) zu verstehen, der in der Regel langsame Hochwasserprozesse auslöst, bei welchen Überflutungen erst mit einer Zeitverzögerung eintreten. Daher sind Vorhersagen und Gegenmaßnahmen (z. B. rechtzeitige Evakuierung etc.) zu einem gewissen Maße möglich.

Starkregen ist durch kurzzeitige Niederschläge von großer Intensität und mit großen Niederschlagsmengen gekennzeichnet und ist für rasche Hochwasserprozesse verantwortlich, welche oft zu unvorhersehbaren Überflutungsereignissen führen. Laut Zahnt et al. (2018) können Starkregenereignisse beinahe überall auftreten. Sie sind häufig auf kleine Regionen beschränkt und schwer vorhersagbar (Zahnt et al., 2018). Zahnt et al. (2018) weisen auf Studien hin, welche einen Anstieg in Anzahl und Intensität von Starkregenereignissen voraussagen. Im Zuge des Klimawandels zeigt sich bisher ein Anstieg der mittleren Erwärmung von +2 Grad, was dazu führt, dass eine wärmere Atmosphäre mehr Wasserdampf aufnehmen kann (etwa +7% pro 1°), wodurch eine Zunahme der Tage mit intensivem Niederschlag beobachtet wird (ÖWAV, 2020). Gemäß dem Beitrag von Laimighofer und Formayer (2022), welche die Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit von schweren Gewittern in Österreich auf Grund steigender Temperaturen analysiert haben, ist ein klarer Trend eines Anstiegs solcher Niederschlagsereignisse von bis zu 50% alle 10 Jahre im Osten Österreichs zu erkennen, nicht aber im Westen des Landes.

3.1.2 Fluviales Hochwasser

Bei den fluvialen Hochwasserprozessen lassen sich solche, welche in Flüssen und Bächen im relativ flachen Vorland stattfinden, von Wildbachprozessen, die in alpinen Bächen vonstattengehen, differenzieren.

3.1.2.1 Flüsse und Bäche im Vorland

Im Vorland kann man unter Hochwasser, welches durch relativ langsame Prozesse wie Dauerregen und Schneeschmelze bedingt ist, und Sturzfluten, welche mit Starkregeneignissen zusammenhängen unterscheiden.

Die zeitliche Entwicklung von Überflutungsprozessen kann sich auch im Vorland rasch ändern, wenn bestehende technische Schutzsysteme überlastet werden und versagen. Der Bruch eines Dammes oder das Versagen eines Hochwasserrückhaltebeckens kann innerhalb sehr kurzer Zeit zu einer Beschleunigung der Überflutungsprozesse führen.

HOCHWASSER			
FLUVIAL	Flüsse und Bäche im Vorland	Hochwasser 1)3)	
		Sturzfluten 2)	
	Wildbäche im alpinen Bereich	fluviatiler Feststofftransport (<20% Fest- und Schwebstoffe) 2)1)3)	
		Mure 2)1)3)	murartiger Feststofftransport (20-40% Feststoffe) Murgang (>40% Feststoffe)
PLUVIAL	Oberflächenwasser	Hangwasser/Hangwasserabfluss 1)2)	
		Hangmure 1)2)3)	Hangmure Erd- und Schlammströme (Feinanteil hoch) Schutt- und Geröllströme (Grobanteil hoch)
			Solifluktion, Bodenfließen
		direkter Abfluss aus Schneeschmelze 3)	
	Grundwasser	Grundwasserhochstand 1)	
		Hangwasserhochstand (unterirdisch) 1)	
		erhöhter Abfluss aus Grundwasserquellen 1)	
	Überlastung Entwässerungssystem (anthropolog)	Überlastung Kanalsystem 1)2)	
		Überlastung (offenes) Grabensystem 1)2)	
		Überlastung Versickerungs-/Rückhalteanlagen 2)1)	

AUSLÖSER
1) Dauerregen (langsam)
2) Starkregen (schnell)
3) Schneeschmelze (langsam - schnell)

Basierend auf:
 Zahnt, N., Eder, M. und Habersack, H. (2018) 'Herausforderungen durch pluviale Überflutungen - Grundlagen, Schäden und Lösungsansätze'. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, vol. 70, 1-2, pp. 64-77.
 Suda, J. und Rudolf-Miklau, F. (2012). Bauen und Naturgefahren. Handbuch für konstruktiven Gebäudeschutz. Springer, Wien.
 Cruden, D. M. und Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes. In A. K. Turner & R. L. Schuster (Eds.), Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247 (pp. 36-75). National Academy Press.

Abbildung 2: Hochwasser und seine Ursachen – Übersichtsdarstellung

Im Zusammenhang mit durch Fluss-/Bachhochwasser bedingten Überschwemmungen wird von Schober et al. (2019) und Eder et al. (2022b) auf den negativen Einfluss des Verlustes von Überflutungsflächen durch Besiedelung dieser Bereiche in den letzten Jahrzehnten hingewiesen. In einer Studie über die Überflutungsflächen entlang der Donau wird von einem Verlust solcher Flächen von ca. 79% gesprochen (Eder et al., 2022b). Das Vorhandensein solcher Überflutungsflächen sowie die Charakteristik eines Flussverlaufes, einschließlich

Feststoffhaushalt, Sohleintiefung, Ufererosion und Laufverlagerung, haben großen Einfluss auf die Auswirkungen von fluvialem Hochwasser (Schober et al., 2019; Habersack et al., 2018). Viele Studien legen ihr Hauptaugenmerk auf die Wiederherstellung und Schaffung von Überflutungsflächen entlang von Flussläufen, um negativen Auswirkungen von Hochwässern entgegenwirken zu können (z. B. Eder et al., 2022b, Schober et al., 2019, Eder et al., 2019 Habersack et al., 2018). Andere bekräftigen die Notwendigkeit, zukünftige Entscheidungen im Hinblick auf das Risikomanagement auf historische Informationen zu stützen (z. B. Schober et al., 2019), und heben damit auch die Notwendigkeit einer flächendeckenden Ereignisdokumentation hervor.

3.1.2.2 Wildbäche im alpinen Bereich

Im Falle von Wildbächen handelt es sich bei Überflutungen häufig um rasche Ereignisse, welche im Zusammenhang mit Starkregenereignissen in kleinen Einzugsgebieten stehen, und auf Grund des in Bachläufen und Uferbereichen vorhandenen lockeren Materials (z. B. Sediment, Totholz etc.) erhebliche Mengen an Sedimentfracht transportieren können.

Diesen können aber auch aus Dauerregenereignisse vorhergehen, oder aber Wildbachereignisse werden alleine durch ein langanhaltendes Dauerregenereignis ausgelöst. Je nach Feststoffanteil, der im Zuge des Ereignisses transportiert wird, spricht man von einem fluviatilen Feststofftransport (< 20% Feststoffe) oder von Muren, bei denen zwischen murartigem Feststofftransport (20% bis 40% Feststoffe) oder Murgang (> 40% Feststoffe) unterschieden wird (Suda und Rudolf-Miklau, 2012). Letztere fallen nicht mehr zwingend unter die Bezeichnung „Hochwasser“. Vielmehr handelt es sich um von „Hochwasser“ ausgelöste Massenbewegungen.

3.1.3 Pluviales Hochwasser

Pluviales Hochwasser ist jenes Hochwasser, welches infolge von Niederschlagsereignissen oder Schneeschmelze flächenmäßig über sonst trockene Oberflächen abfließt, bevor das Wasser, Flüsse und Bäche oder auch Entwässerungssysteme erreicht (GIS Steiermark, 2023; ÖWAV, 2013; European Commission, 2013). Pluviale Hochwasserereignisse erreichen oft nur geringe Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten, können aber dennoch zu hohen Schäden führen (Zahnt et al., 2018). Zu pluvialem Hochwasser zählen Oberflächenwasserabfluss, Grundwasser-/Hangwasserhochstand und die Überbelastung von anthropogenen Entwässerungssystemen (Zahnt et al., 2018). Sie treten vor allem in den Berg- und Hügelländern Österreichs auf und werden meist durch Starkregenereignisse (Gewitter im Sommer), aber auch durch Dauerregenereignisse ausgelöst (Zahnt et al., 2018).

Durch den Anstieg der Anzahl und der Intensität der zugrundeliegender Niederschlagsereignisse, aber auch durch die erhöhte Versiegelung von Oberflächen in Siedlungsbereichen, Besiedelung von exponierten Hanglagen und einhergehende Rodungen ist – vor allem in Randlagen von großen Städten, und in gut angebundenen ländlichen Bereichen - ein Anstieg pluvialer Hochwasserereignisse zu erkennen. Damit nehmen auch die Schäden welche durch pluviale Hochwässer in Österreich verursacht werden, zu (Zahnt et al., 2018). Auf Grund ihres kleinräumigen Auftretens und der Standortungebundenheit sind solche Ereignisse schwer prognostizierbar (Zahnt et al., 2018).

3.1.3.1 Oberflächenwasserabfluss

Im Falle von Oberflächenwasser wird hier zwischen Hangwasserabfluss, Hangmuren und direktem Abfluss von Schneeschmelze unterschieden. Die Bezeichnung des flächigen Oberflächenabflusses als Hangwasser wird von Zahnt et al. (2018) linguistisch vor allem dem österreichischen Sprachgebrauch zugeordnet. Hangwasserabfluss kann sowohl durch Dauerregenereignisse, als auch durch Starkregenereignisse bedingt sein. Bei den Hangmuren ist davon auszugehen, dass vor allem Dauerregenereignisse und Schneeschmelze diese auslösen können, aber auch Starkregenereignisse können zu einem Versagen der Hänge in Form von Hangmuren beitragen. Ähnlich wie beim murartigen Feststofftransport und dem Murgang im Falle der Wildbachprozesse, sind Hangmuren und ähnliche Prozesse, wie Erd-/Schlammströme, Schutt-/Geröllströme und Solifluktion nicht mehr zwingend der Naturgefahr „Hochwasser“ zuzuordnen, sondern auch hier handelt es sich um von „Hochwasser“ ausgelöste Massenbewegungen.

3.1.3.2 Grundwasserhochstand

Vor allem bei Dauerregenereignissen kann es zu einem Anstieg des Grundwasserspiegels kommen, und somit auch zu einer erhöhten Schüttung von Grundwasserquellen. Grundwasserhochstände können auch durch Hochwasserführung von Flüssen und Bächen bedingt sein (Zahnt et al., 2018).

3.1.3.3 Hangwasserhochstand (unterirdisch)

Bei Vorhandensein von stauenden geologischen Schichten kann es sowohl bei Dauer- wie auch Starkregenereignissen zu der Bildung von unterirdischem Hangwasser kommen, welches wiederum zu einer Verminderung der Reibung im Untergrund führt (Zahnt et al., 2018). Dadurch können Massenbewegungen wie Rutschprozesse (Rotationsrutschungen, Translationsrutschungen) und Fließprozesse (Hangmuren, Erd-/Schlammströme, Schutt-/Geröllströme, Solifluktion) in den Hängen ausgelöst werden.

3.1.3.4 Überlastung Entwässerungssystem (anthropogen)

Durch Hochwasser verursachte Überflutungen auf Grund der Überlastung von Entwässerungssystemen, wie etwa Kanäle, künstlich angelegten Entwässerungsgräben, Versickerungsanlagen und Rückhalteeinrichtungen, treten vor allem im städtischen Raum oder auch bei Industriestandorten auf. Sie haben aber auch im Bereich von linearer Verkehrsinfrastruktur, wie bei Bahnlinien oder bei Autobahnen eine große Bedeutung.

3.2 Hochwasservorhersagen in Österreich

Generell kann angemerkt werden, dass die (kurzfristige) Vorhersage von Niederschlägen und damit erhöhten Abflüssen, wie auch das Funktionieren von Alarmierungsketten und die Zusammenarbeit mit Katastrophenschutzbehörden und Wetterdiensten entsprechend Habersack et al. (2018) über die Jahre deutlich verbessert wurden. Bei Starkregenereignissen (konvektiven Wetterlagen) bestehen aber weiterhin hohe Unsicherheiten in der Prognose, die in weiterer Folge Auswirkungen auf die Alarmierungskette haben. Auch die Hochwasserprognose für kleine Einzugsgebiete ist schwierig und wird nur allmählich durch neue Ansätze verbessert (z. B. Lamellenprognose) (Habersack et al., 2018). Habersack et al. (2018) sehen hier Bedarf, dass Methoden und Modelle zur Verbesserung der Vorhersage für kleine Einzugsgebiete entwickelt werden.

Auch die Schneeschmelze, insbesondere bei schnellem Abschmelzen von großen Schneevolumina innerhalb kurzer Zeit, kann zu großen unvorhergesehenen Wassermengen führen, die zu einem verstärkten Abfluss auf den Hängen und zu pluvialen Überflutungen führen können. In weiterer Folge kann im Bereich des Vorfluters ein Ansteigen des Wasserspiegels beobachtet werden, und zeitversetzt fluviale Überflutungen eintreten.

Erhebliche Fortschritte in Hinsicht auf Hochwasservorhersage wurden im Bereich der fluvialen Hochwässer gemacht. Wildbachereignisse wurden über die Jahre ebenfalls vielfach untersucht und ein erhöhtes Verständnis der Prozesse und der mit den Prozessen verbundenen Hochwassergefährdung ist auch in diesem Bereich vorhanden. Wildbachereignisse können allerdings auf Grund der Kleinräumigkeit und Ortsungebundenheit schwieriger vorausgesagt werden als fluviale Überflutungen im Zusammenhang mit großen Fließgewässern. Noch schwieriger werden die Vorhersagen im Falle von pluvialen Hochwässern.

Viele der vorhandenen Möglichkeiten der Hochwasservorhersagen stützen sich auf historische Daten oder Modellierungen von Hochwasser basierend auf Geländeanalysen und

Simulationen von Fließverhalten im Falle unterschiedlicher Niederschlagsszenarien (z. B. 30- (HQ30), 100- (HQ100) oder 300-jährige (HQ300) Wiederkehrwahrscheinlichkeit). Solche Berechnungen zeigen häufig potentielle Auswirkungen der betrachteten Szenarien auf. Gekoppelt mit aktuellen Niederschlagsdaten wird basierend auf solchen Vorhersagen im imminenden Fall agiert und mit den entsprechenden Maßnahmen reagiert. Zusätzlich dienen diese Werkzeuge der Errichtung von Schutzmaßnahmen im Vorfeld, um Menschen, Siedlungsgebiete, Industriegebiete, Natur und Kulturgut zu schützen.

Inwieweit das Monitoring mit verlinkten Sensoren die Hochwasservorhersagen unterstützt wird im Kapitel 3.3 erläutert. Auch hier konnten in den letzten Jahren und Jahrzehnten erhebliche Fortschritte erzielt werden, deren Potential für Hochwasservorhersagen weiter untersucht wird (z. B. Pegelmessungen, Hinderniserkennung, Bewegungsmessung).

Ein entscheidender Faktor für die kontinuierliche Verbesserung solcher Vorhersagen stellt die EU-Hochwasserrichtlinie (EU Richtlinie 2007/60/EG) dar, welche eine Bewertung des Hochwasserrisikos, gemeinsam mit der zur Verfügungstellung von Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten mit Ausweisung von Gebieten mit potenziell signifikantem Hochwasserrisiko, sogenannten APSFR, sowie die Ausarbeitung eines Hochwasserrisikomanagementplan bis 2021 verlangte (Das Land Steiermark, 2023; Land Salzburg, 2023; BM Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018; BML, 2023a). Bundesweit wurde hierfür vom Bund und den Ländern eine einheitliche Bearbeitung durchgeführt und der 2. nationale Hochwasserrisikomanagementplan RMP2021 erstellt (BML, 2023a). Diese Ergebnisse werden derzeit in einem dritten 6-jährigen Zyklus der Implementierung der Hochwasserrichtlinie ergänzt und überprüft (u. a. Land Salzburg, 2023; Das Land Steiermark, 2023; BML, 2023a). Neben der Ausweisung von hochwassergefährdeten Bereichen definiert der Hochwasserrisikomanagementplan auch geeignete Maßnahmen zur Reduktion bestehender Risiken und Vermeidung neuer Risiken, einschließlich technischem Hochwasserschutz wie auch Maßnahmen wie Monitoring, Umdenken in Raum- und Bauordnung, Katastrophenschutz, Land- und Forstwirtschaft, Naturschutz und Bewusstseinsbildung (BML, 2023a; Neuhold und Martin Wenk, 2021). Wobei Neuhold und Wenk (2021) auf die Tatsache aufmerksam machen, dass bei der Errichtung von technischen Maßnahmen Restrisiken bestehen bleiben, und somit auch ein verbessertes Hochwasserrisikobewusstsein wichtig ist, um eben dieses Restrisiko zusätzlich zu vermindern.

3.2.1 Hochwasservorhersagen - Genereller Status

Laut Habersack et al. (2018) wurden in den letzten Jahren Verbesserungen vor allem im Bereich der quantitativen und qualitativen Verdichtung von Messstellen (Niederschlag und Abfluss), und bei der Prognosemodellichte und -güte für Niederschläge und Abflüsse an allen größeren Gewässern erzielt. Laut Habersack et al. (2010) sind Prognosemodelle für fast alle mittleren und größeren Flüsse in Österreich vorhanden, die Ausscheidung von Überflutungsflächen (Lamellenprognose) und Integration dieser Erkenntnisse in den Katastrophenschutz sind erfolgt. Auch Verbesserungen in der flächendeckenden Ereignisdokumentation und der Dokumentation von prozessmorphologischen Veränderungen, sowohl bei Hochwasserprozessen entlang von Flussläufen (Laufverlegung, Ufererosion, Sohldurchschlag etc.) als auch bei Wildbächen (Geschiebeangebot, Wildholz, etc.) und die Adaptierung von Schutzbauwerken und Entsorgungsstrategien (z. B. von Räumgut) sind erfolgt. Gefahrenzonenplänen wurden ausgearbeitet und Richtlinien für die standardisierte Dokumentation von Naturgefahren definiert. Das Restrisiko wird in der Gefahrenzonenplanung und bei der Harmonisierung der Gefahrenzonenplanung (GZP) entsprechend Habersack et al. (2018) nur teilweise mit einbezogen. Trotz der genannten Verbesserungen wird von Habersack et al. (2018) ein Verbesserungsbedarf im Ausbau der Abflussmessnetze und der redundanten Fernübertragung der Messdaten, eine Verdichtung des Messnetzes in Problembereichen (beim Schließen von Lücken in der Niederschlagsprognose) gesehen.

Damit einhergehend ist eine Verbesserung des Prozessverständnisses für alle Beteiligten, eine klare Kommunikation und Darstellung der Schutzziele und eine Fortsetzung der Schaffung von Überflutungs- und Rückhaltebereichen unabdingbar (Habersack et al., 2018). In Wesemann et al. (2020) ist ebenfalls aufgezeichnet, dass die Planung von Hochwasserschutzprojekten und -maßnahmen sowie die Implementierung eines ganzheitlichen Hochwasserrisikomanagementkonzepts, vor allem auf regionaler Ebene ein Verständnis und eine Einschätzung der komplexen Prozessketten von Hochwässern und deren Auswirkungen erfordert.

Gemäß Wesemann et al. (2020) werden in den meisten projektierten Maßnahmen gegen Hochwasser keine Klimawandlungszuschläge berücksichtigt, wodurch es immer häufiger zu Überflutung von und damit verbundenen Schäden in Siedlungs- und Industriegebieten kommt bzw. kommen wird. Auf der anderen Seite schreibt Habersack et al. (2018), dass „in Österreich kein Klimazuschlag erforderlich ist, da die natürlichen Schwankungen der Hochwässer größer sind als Schwankungen infolge des Klimawandels“. In Habersack et al.

(2018) wird darauf hingewiesen, dass „die Auswirkungen der Raumnutzung wesentlich stärkere Folgen für das Hochwasserschadenspotenzial haben als ein unsicheres Klimasignal“. Es existieren einige Datenbanken, welche Informationen über Hochwasser beinhalten, wie zum Beispiel die Hochwasserfachdatenbank mit historischer Ereignisdokumentation und Dokumentation der Auswirkungen, HORA, WISA. Diese decken hauptsächlich Informationen über fluviale Hochwasserprozesse ab, nicht aber über pluviale Ereignisse – zumindest nicht flächendeckend (Zahnt et al., 2018). Diese dienen als die Hauptplanungswerkzeuge für die Vermeidung und Verminderung von Schäden durch Überflutungen in Österreich und werden im Detail im folgenden Kapitel besprochen.

3.2.2 Hochwasservorhersagen - Vorhandene Informationsplattformen und -quellen

3.2.2.1 Niederschlagsereignisse

Die **eHYD Web Applikation** ist die Hauptinformationsquelle für hydrographische Daten und beinhaltet historische Daten der letzten Jahrzehnte (bis heute) von Grundwasser-, Niederschlags-, Quell- und Oberflächengewässermessstellen, sowie die berechneten Bemessungsgrundlagen (BML, 2023c). Diese empirische Datengrundlage (BML, 2023c) wird für Hochwassermodellierungen und für Bauwerksdimensionierungen von Schutzbauten herangezogen.

3.2.2.2 Fluviales Hochwasser - Informationsplattformen

Basierend auf den Ergebnissen des RMP21 (Hochwasserrisikomanagementplan 2021) können auf der Web Applikation WISA, Wasser Informationssystem Austria (vom Umweltbundesamt geführt), (1) Risikogebiete in Hinsicht Überflutung, (2) Gefahrenkarten mit den Überflutungsflächen, (3) Gefahrenkarten mit der Prozessausprägung (z. B. Tiefe des Wassers) und (4) Risikokarten mit den Auswirkungen von Überflutungsereignissen abgerufen werden (BML, 2023b). Es werden auf dem geographischen Informationssystem WISA unterschiedliche Überflutungsszenarien, basierend auf Szenarien-abhängigen unterschiedlichen Hochwasserabflusswerten und -charakteristika dargestellt und die Wahrscheinlichkeiten der jeweiligen Ereignisse (niedrige, mittlere, hohe Wahrscheinlichkeit und Extremereignisse, bei denen die Kapazität von bestehenden Schutzanlagen übertroffen werden) aufgezeigt (BML, 2023b).

Die Risikokarten (1) zeigen die relative (gering, mäßig, hoch, sehr hoch) Anzahl der von Hochwasser betroffenen Flächen pro Gemeinde basierend auf Informationen aus vergangenen Ereignissen und modellierten möglichen Zukunftsszenarien. Dies führt zu einer

Identifikation von Gebieten mit potenziell signifikanten Hochwasserrisiko (APSFR), als auch zu separaten Risikokarten, welche die Auswirkung von Hochwassern auf Betroffene, Landnutzung und Schutzgebiete pro Rasterzelle angeben, mit der Unterscheidung HQ30, \geq HQ100 und HQ300 Ereignisszenarien. Die Überflutungsgefahrenkarten (2) weisen Überflutungsflächen auf, welche mit geringer, mittlerer und hoher Wahrscheinlichkeit auftreten können. Die Gefahrenkarten in Hinblick Prozessausprägung (3) gehen auf die potentiellen Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten ein, mit der Unterscheidung zwischen HQ30, \geq HQ100 und HQ300 Ereignisszenarien. (BML, 2023b).

Diese Kartengrundlagen stehen auch auf diversen Landes-GIS-Plattformen zur Verfügung. Vom Land Steiermark werden z. B. für alle Risikogebiete Gefahren- und Risikokarten, sowie ein Maßnahmenprogramm zur Verfügung gestellt (Das Land Steiermark, 2023).

Das Projekt „**Hochwasserrisikozonierung Austria - HORA**“, ein bundesweites Risikozonierungssystem für Naturkatastrophen mit dem besonderen Schwerpunkt Hochwasser, wurde im Jahr 2002 gestartet (Habersack et al., 2010) und die Ergebnisse sind unter <https://www.hora.gv.at/> (BML und VVO, 2023) abrufbar. Der Informationsinhalt der HORA Webseite beschäftigt sich mit der Darstellung von unterschiedlichen Naturgefahren, einschließlich Hochwasser sowie Extremwetterereignissen (Wetterwarnungen, Schnee, Hagel, Stürme, Blitz). In Hinsicht auf Hochwasser ist auf der Web Anwendung eine Hochwasserrisikozonierung für die Fälle von HQ30, HQ100 und HQ300 Ereignissen ersichtlich, welche auf der Modellierung der Fließgewässer (Flüsse und Wildbäche) und ihrer Einzugsgebiete von Seiten der TU Wien basiert.

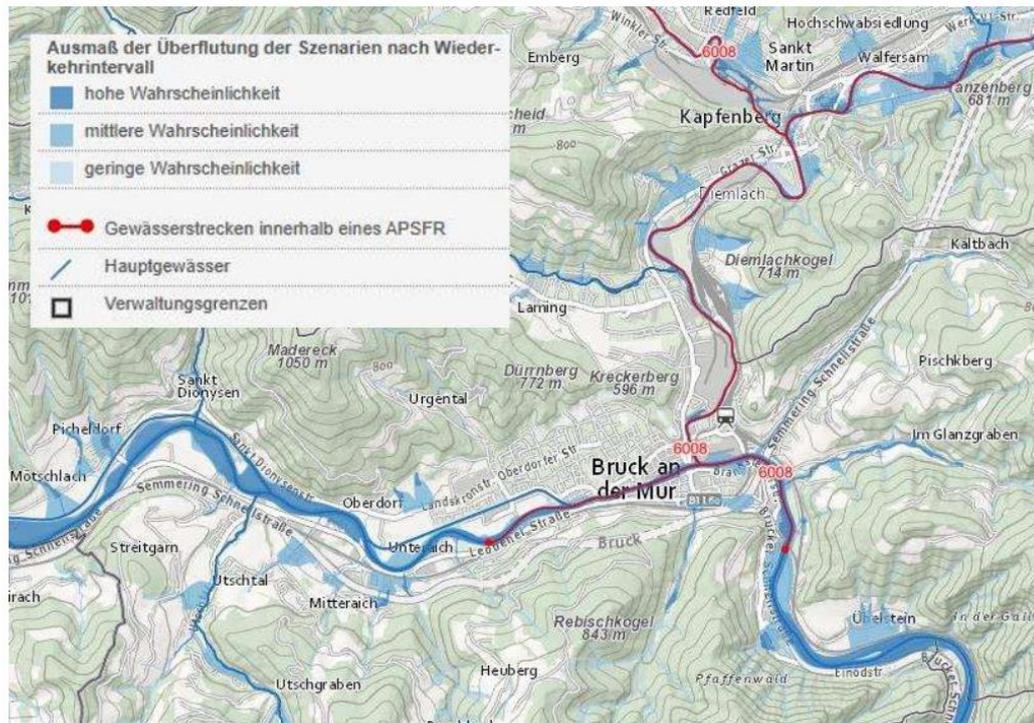


Abbildung 3: Beispiel WISA – Wasserinformationssystem Austria – Gefahrenkarte Überflutungsflächen Bereich Kapfenberg - Bruck an der Mur (Quelle: <https://maps.wisa.bml.gv.at>).



Abbildung 4: Beispiel einer Hochwasserrisikozonierung in „HORA“ (<https://www.hora.gv.at>).

Die Informationen auf dem Wetterwarnungsportal von WISA werden von Geosphere Austria bereitgestellt, basierend auf 3-Tages Prognosen (BML und VVO, 2023). Aktuelle Gewitter können auf WISA via Link zum mobilen Gewitterdienst (ALDISmobile) abgerufen werden. Im Falle von Windgefährdung sowie Hagelgefährdung greift die Plattform auf historische Daten zurück, von welchen auf potentielle Gefährdungen geschlossen wird. (BML und VVO, 2023).

Die **Plattform „Leben mit Naturgefahren“ vom Bundesministerium Land- und Forstwirtschaft**, Regionen und Wasserwirtschaft enthält Informationen über Naturgefahren wie Hochwasser und Wildbachereignisse, Lawinen, Erosion und Steinschlag sowie die Dokumentation von historischen Ereignissen (BML, 2023 (Datengrundlage 2019)). In Hinblick auf Hochwasser erlaubt diese Plattform eine flächige Zuordnung von überflutungsgefährdeten Gebieten im Falle von HQ30, HQ100 und HQ300 Ereignissen auf einer Datengrundlage aus dem Jahr 2019. Bereiche, die unter dem Einfluss von Wildbächen stehen, sind dabei extra ausgeschieden und mit dem Vermerk "Wildbäche: Bebauung nur eingeschränkt und unter Einhaltung von Auflagen möglich" gekennzeichnet. Außerdem ist eine Information über raumrelevante Bereiche (Siedlungsbereiche etc.) und Gewässerzuständigkeit gegeben. (BML, 2023 (Datengrundlage 2019)).

Vom Umweltbundesamt (2023) werden unterschiedlichste Projekte erwähnt, welche sich mit Hochwasser beschäftigen bzw. beschäftigt haben und zu der bestehenden Datengrundlage über Hochwässer beitragen. Eines dieser Projekte ist LIFE IP IRIS AUSTRIA, Integrated River Solutions in Austria, welches an sieben österreichischen Flüssen (Gesamtlänge 600 km) Gewässerentwicklungs- und Risikomanagementkonzepte erarbeitet hat, einschließlich Monitoring, und in Pilotmaßnahmen. Ein weiteres Projekt ist RAINMAN, welches auf regionaler und lokaler Ebene Behörden und Stakeholder unterstützt hat, indem es Lösungen in Form einer Toolbox bereitstellt, welche die Risiken von Starkregenereignissen beurteilt und somit hilft, auf solche Ereignisse vorbereitet zu sein und zu reagieren. Darüber hinaus wird eine verwaltungsinterne „Hochwasserdatenbank“ des Umweltbundesamtes erwähnt, welche Fachdaten über Förderungen, Hochwasserereignisse, Risikomanagementpläne, Gefahren und Risikokarten verwaltet. Diese wird neben der Methodik zur Dokumentation von Hochwasserereignissen im „Leitfaden Hochwasserdokumentation“ beschrieben.

In Bezug auf Wildbachereignisse und Gefahrenzonenplänen der Wildbach- und Lawinerverbauung sind diese bereits auf mehreren Länder-GIS-Plattformen in digitaler Form abrufbar.

3.2.2.3 *Pluviales Hochwasser - Informationsplattformen*

Das geographische Informationssystem WISA enthält Gefahrenhinweiskarten in Hinblick auf von Oberflächenabfluss potentiell gefährdeter Gebiete (z. B. mögliche Eintrittspunkte von Oberflächenabfluss in den Siedlungsraum, Hauptfließwege und Hangneigungen), welche im gegebenen Fall einer detaillierteren Untersuchung vor Ort bedürfen (BML, 2023b). Das Land Niederösterreich weist auf Hangwassergefahrenhinweiskarten, welche vorhanden sind, hin, um ein Bewusstsein für pluviale Abflüsse über meist landwirtschaftlich genutzte Hangflächen, die daraus entstehende Gefährdung durch Wasser, Schlamm und Erosion, wie auch damit verbundene Schäden, zu schaffen (Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2023). Lokal sind auch im Land Steiermark „Hangwasser“-Gefahrenkarten vorhanden, bei welchen es sich um Gefahrenhinweiskarten handelt, die im Auftrag einzelner Gemeinden auf Basis von hydrodynamischen Modellierungen erstellt werden/wurden, um ein präventives Instrument gegen potentielle Schäden durch pluviale Hochwässer an Gebäuden in der Hand zu haben (GIS Steiermark, 2023).

3.2.3 Hochwasservorhersagen - Fluviale Hochwasser

Wie bereits aufgezeigt, wurden im Rahmen des Risikomanagementplans (RMP 2021), der im April 2022 veröffentlicht wurde, APSFR Flächen festgelegt, welche potentiell signifikante Hochwasserrisikobereiche ausweisen (DCNAustria, 2022). Zusätzlich zu den auf WISA und anderen Plattformen ersichtlichen Informationen (siehe letztes Kapitel), wurden in den letzten Jahren einige Studien in Hinblick auf Hochwasservorhersagen von fluvialen Hochwasser durchgeführt.

Im Rahmen der von Löschner et al. (2022), Eder et al. (2022a), Habersack and Schober (2020), Wesemann et al., (2020) und Schober et al. (2018) beschriebenen RegioFEM (Regional Floodplain Evaluation Matrix) werden basierend auf sieben Parametern (u. a. räumlich, hydrologisch, hydraulisch, finanziell) die Hochwassergefährdung, die Exposition und das Schadenspotenzial für verschiedene Planungsvarianten und Szenarien bewertet und veranschaulicht, welche Auswirkungen auf die Raumplanung haben können. Außerdem werden auch die möglichen Konsequenzen des Klimawandels in die Beurteilung eingebunden (Löschner et al., 2022). Gemäß Wesemann et al. (2020) und Eder et al. (2022a) wird dieser Ansatz basierend auf Feedback aus einem Scientist-Stakeholder Workshop als interdisziplinärer und regionaler Ansatz positiv bewertet und eine Einbindung in die Erstellung der Gewässerentwicklungs- und Risikomanagementkonzepte (GERM) angedacht (Wesemann et al., 2020). Die Ergebnisse unterstreichen wiederum die Wichtigkeit des

Vorhandenseins von Überflutungsflächen entlang von Flussläufen, und die Bedeutung von Tools wie RegioFEM, um diese Wichtigkeit an die Öffentlichkeit zu kommunizieren (Eder et al., 2019).

IAN (2010) beschreiben ein Expertensystem, WAU (Warnung vor Unwetter), welches die Vorhersage von fluviatilen Feststofftransport, murartigem Feststofftransport und Murgängen in Wildbächen ermöglichen soll. Die Datenbank wurde kontinuierlich (drei Mal am Tag) mit Wetterdaten (3-Tages Vorschau) gespeist, während die Ereignisdaten, welche von Forsttechnischen Dienst der Wildbach- und Lawinenverbauung und dem Landesfeuerverband zur Verfügung gestellt wurden, nur einmalig zu Beginn des Projekts in die Datenbank transferiert wurden. Historische Daten wurden mit den Wetterdaten (mit geringster Euklidischer Distanz) kombiniert und Informationen über Wildbachereignisse im Zusammenhang mit bestimmten Wetterereignissen extrahiert, um diese als Grundlage für die Bewertung aktueller Wetterverhältnisse und potentieller Gefährdungen heranzuziehen.

3.2.4 Hochwasservorhersagen - Pluviale Hochwasser

Im Bereich der **pluvialen Hochwässer** (auch als Hangwasser bezeichnet) gibt es **unterschiedliche methodische Vorgangsweisen, wie die Prozesse erfasst und abgebildet** werden können. Sehr verbreitet sind inzwischen „**Fließpfadkarten**“ die eine sehr schnelle Abschätzung der Abflusswege erlauben, aber keine Informationen zum tatsächlichen Überflutungsabfluss (Wassermenge, Höhe) geben. Einen groben Hinweischarakter haben auch grobskalige hydraulische Modellierungen (große Zellenauflösungen) bei welchen schon Überflutungsflächen abgebildet werden (ÖWAV, 2020). Erst die **2-D Modellierung mit Koppelung an eine hydrologische Modellierung der Abflussbildung** führt zu brauchbaren Ergebnissen für detailliertere Gefahrenkarten. Für die Modellierungen stehen unterschiedliche Softwareprodukte zur Verfügung, welche unterschiedliche Modellierungsansätze verfolgen, welche sich in folgenden Punkten unterscheiden können:

- Art der hydrologischen Modellierung (rasterbasiert, freie Netze)
- Hydrologische Modellierung zur Erfassung des Oberflächenabflusses
- Möglichkeit Sonderbauwerke abzubilden (Durchlässe, Kanäle, etc.)
- Sensitivität und Parametrierung (Rauheiten, Netzauflösung, Abbildung von Fließhindernissen, Einbau von Sonderbauwerken)

Eine einheitliche Kategorisierung der simulierten Abflussbereiche (Gefährungsdefinition) in den Hinweis- und Gefahrenkarten ist in Österreich noch nicht gegeben. Im Bereich des fluvialen Hochwassers werden vom Wasserbau üblicherweise 30, 100- und 300-jährliche

Abflussereignisse betrachtet und deren Überflutungsflächen und Wassertiefen dargestellt. Im Bereich der Wildbach- und Lawinerverbauung werden Rote und Gelbe Gefahrenzonen ausgewiesen, welchen ein 150-jährliches Bemessungsereignis zu Grunde liegt. Für pluviale Hochwässer gibt es keine Festlegung (ÖWAV, 2020).

Bei pluvialen Überflutungen kann für die Modellierung meist auf keinen definierten Abflussquerschnitt zurückgegriffen werden, und bezüglich Modellkalibrierung und Parameterwahl muss entsprechend dem ÖWAV Regelblatt 2020 nach der Methodik für Einzugsgebiete ohne Abfluss Daten (unbeobachtete Einzugsgebiete) vorgegangen werden. Die Modellparameter (z.B. Oberflächenabflussbeiwert) werden aus Gebietskenngrößen (A-Priori) oder als Standortparameter und Prozessüberlegungen abgeleitet, wie z.B. von Markart et al. (2004) beschrieben.

Da sich durch den Klimawandel pluviale Hochwassersituationen verändern, wird es zunehmend wichtig die methodische Vorgangsweise anzupassen, wobei der ÖWAV in seinem Expertenpapier insbesondere auf den Verbesserungsbedarf bei den für die hydraulische Abflussmodellierung relevanten Randbedingungen hinweist (Netzauflösungen, Rauheiten, hydraulische Modellwahl), als auch auf Verbesserung der Datenbasis zur Abflussbildung (hydrologische Bodendaten) und der dabei genutzten Modellansätze.

Entsprechende Forschungsaktivitäten mit hydraulischen Untersuchungen wurden im Zuge des EU-Interreg-Projektes RAINMAN für Starkregen-Oberflächenabfluss (Hangwasser) in einer Pilotstudie für Oberösterreich durchgeführt (Achleitner et al. 2020a und 2020b). Mehrere Softwareprodukte zur zweidimensionalen hydrodynamischen Modellierung von Oberflächenabfluss infolge von Starkniederschlägen wurden miteinander verglichen, und in Bezug auf ihre Qualität bei der Risikogebietsausweisung hin betrachtet. Die Erkenntnisse wurden in einem Leitfaden zusammengefasst (Achleitner et al, 2020a).

Es hat sich gezeigt, dass es bei den Modellierungsergebnissen aufgrund der unterschiedlichen Modellansätze, selbst bei gleicher Parameterwahl, zu beträchtlichen Unterschieden gekommen ist, wodurch eine Plausibilitätsprüfung unbedingt erforderlich wird. Diese kann durch eine Begehung von Fließwegen und Überflutungsflächen (Ereignisdokumentation) mit lokalen Experten erfolgen, durch die Bewertung der Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen im zeitlichen Ablauf, oder durch die Identifikation von Ausreißern im Vergleich zu Nachbarzellen im Modell (Achleitner et a. 2020a).

Software	Version	Netz	Regen- input	Gleichung	Zeitl. var. NS	Räumlich variabler NS	Verlust modell	Wassertiefen- abhängiger k_{sc}	Lizenzierung
Hydro_AS-2D	4.4.7 5.1.0	Unstrukturiert	ja	Flachwassergl.	ja	ja	nein*	ja	kommerziell
TELEMAC-2D	v7p2	Unstrukturiert	ja	Flachwassergl.	ja	nein**	SCS CN	nein**	open-source
HEC-RAS 2D	5.0.3	Unstrukturiert	ja	Flachwassergl.	ja	nein***	nein***	nein	freeware
FloodArea	10.3.0.7 34	Raster	ja	vereinfachter hydrodyn. Ansatz (Manning-Strickler Formel)	ja	ja****	nein*****	nein	kommerziell
JFLOW	9.4	Raster	ja	Flachwassergl.	ja	ja	SCS-CN*	ja	kommerziell

* In Hydro_AS-2D erfolgt die Eingabe des Niederschlages in den Knoten, eine Berücksichtigung des Verlustes kann in der Standardversion über die Eingabe des Nettoregens erfolgen. An der Universität Innsbruck wurde ein Skript zur Berücksichtigung von Anfangs- und Dauerverlust bzw. des SCS-CN Verlustmodelles für die Hydro_AS-2D Version 4.4.7 entwickelt. In JFLOW erfolgt die Eingabe des Niederschlages in den Rasterzellen, bei diesem Modell ist das SCS-CN Verfahren implementiert und es kann ebenfalls eine Berücksichtigung des Verlustes über Nettoregen erfolgen.

** Telemac-2D kann auf Grund des offenen Quellcodes prinzipiell um diese Funktionalität erweitert werden.

*** Es gibt Pläne der HEC-RAS Entwickler, die Version 5.1 der Software um diese Funktionalität zu erweitern

**** Die Berücksichtigung eines räumlich variablen Niederschlages ist grundsätzlich möglich, erfordert aber ggf. sich näher mit der Software auseinander zu setzen (Modellneustarts oder Scripting der FloodArea Toolbox uU. nötig)

***** Hydrologische Verlustmodelle sind nicht in FloodArea implementiert, die Möglichkeit besteht aber, über Pre-Processing Scripts die Software diesbezüglich zu erweitern (vgl. z.B. Tyra et al., 2017)

Abbildung 5: Die im Projekt RAINMAN verglichenen Softwareprodukte zur zweidimensionalen hydrodynamischen Modellierung von Oberflächenabfluss aufgrund von Starkregenereignisses (aus Achleitner et al., 2020s:Tabelle 1).

Da die Abflusstestehung aus unterschiedlichen Flächen, u.a. abhängig von Vegetationsbedeckung, Versiegelung, Landnutzung, Bodeneigenschaften, also Faktoren, ist die variabel sind, kann es bei gleichen Niederschlägen zu unterschiedlicher Oberflächenabflussbildung kommen.

Dementsprechend ist die Berücksichtigung der vertikal-hydrologischen Prozesse in der Modellierung von Oberflächenabflüssen wichtig. Entsprechende empirische und physikalisch-basierte Modellansätze unterschiedlicher Komplexität existieren, davon sind einige, wie die aus den Arbeiten im Rahmen des RAINMAN-Projektes hervorgeht, in den gängigen Softwarepaketen implementiert (siehe Abbildung 5). In Modellen, in denen räumlich und zeitlich variabler Niederschlag als Randbedingung möglich sind (siehe Abbildung 4), können unabhängig vom implementierten Verlustansatz entsprechende Berechnungen im Preprocessing durchgeführt werden. Der vorab berechnete Nettoregen für unterschiedliche

Zeitschritte kann dann für jedes Element des Rechnernetzes/-rasters als Randbedingung definiert werden. Aus praktischer Sicht stellt sich neben der Wahl des entsprechenden Verlustmodells aber vor allem die Frage nach dessen Parametrisierung.

Ein **pragmatischer Ansatz für Gefahrenhinweiskarten** ist, sofern solche Datengrundlagen zur Verfügung stehen, die **Verwendung entsprechender regionalmaßstäblicher Abflussbeiwertkarten oder Nettoregen-Datensätze**. Ein entsprechender Datensatz für Oberösterreich wird aktuell überarbeitet. **Sofern für ein Untersuchungsgebiet lokal detailliertere Informationen und Anhaltspunkte zum möglichen Abflussbildungsverhalten vorliegen (z.B. aus Berechnungsversuchen, Sickerversuchen, Bodenansprache, Beobachtungen/Messungen abgelaufener Ereignisse, etc.) ist auch die Verwendung von alternativen hydrologischen Abflussbildungsmodellen (z.B. Zemokost, SCS-CN, Green-Ampt, etc.) sinnvoll (vgl. Achleitner et al., 2020b). Die entsprechende Modellparametrisierung sollte dabei bestmöglich an die realen Verhältnisse und das gewählte hydrologische Modell angepasst erfolgen.** Eine Vernachlässigung der hydrologischen Abflussbildungsprozesse in der Modellierung (d.h. konstanter Abflussbeiwert 1 – Nettoregen entspricht Bruttoregen) wird durch Achleitner et al. (2020b) ausdrücklich nicht empfohlen.

Im Bereich der einheitlichen Festlegung der Infiltrationskapazität des Bodens (gesättigte hydraulische Leitfähigkeit) für Österreich gibt es entscheidende Weiterentwicklungen im Rahmen eines Forschungsprojektes. Im Rahmen des vom Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft und dem Institut für Bodenphysik und landeskulturelle Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur gemeinschaftlich durchgeführten InfCapAT-Projektes, wurden mit Hilfe maschineller Lernverfahren auf Basis aller verfügbaren Bodenparameter und Umweltvariablen unter der Annahme statischer Bedingungen, flächig für ganz Österreich die Infiltrationskapazitäten abgeleitet (BOKU, 20).

Neben Projekten, die sich der Ereignisdokumentation and Analyse von pluvialen Hochwässern widmen (Zahnt et al., 2018; z. B. „Ereignisdokumentation und Analyse der Hochwassersaison 2016 in der Steiermark“), wird lokal versucht anhand von Modellierungen (DGM-basiert) das Potential für pluviale Hochwässer auf regionalem Maßstab abzuschätzen (z. B. BML, 2023b; Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2023; Das Land Steiermark, 2023). Dennoch sieht Zahnt et al. (2018) noch weiteren Handlungsbedarf in der Erweiterung der Ereigniserfassung und -nachsorge, Risikodarstellung und Bewusstseinsbildung der Bevölkerung.

Gemäß Zahnt et al. (2018) (Originalzitat: Neuhold, 2014), werden Bemühungen in den verschiedenen Bundesländern unternommen, um eine Kartengrundlage für das Potential und/oder Inventar von Hangwasserereignissen zu schaffen. Unter anderem stellt der Naturgefahrenatlas eine Grundlage für die Einschätzung des Gefährdungspotentials von pluvialen Überflutungen dar (Mergili et al., 2015). Der ÖWAV bzw. das BMLFUW stellen Informationsmaterial zu Themen „Bauen und Naturgefahren“, „Wassergefahren für Gebäude und Schutzmaßnahmen“ für die Bevölkerung und manche Bundesländer (Niederösterreich, Burgenland und Steiermark) Hangwasserkarten (meist im Pilotprojektstatus) auf ihren GIS Plattformen Hangwasserkarten zur Verfügung (Zahnt et al., 2018).

3.2.5 Hochwassersituation mit Bezug auf lineare Infrastruktur

3.2.5.1 Anwendungsfall „Hochwasser“ – Prioritäten bei ÖBB und ASFINAG

Im Rahmen des NANCI-Projekts wurde mit den Auftraggebern ÖBB und ASFINAG im Zuge der Anforderungsanalyse für das Design der Sensor-Monitoring-Lösung erhoben, welche Priorität in jeweiligen Unternehmen je Naturgefahrenprozess gegeben ist. Wie die Auswertung von Befragungen gezeigt hat, wird von ÖBB und ASFINAG die folgende Priorisierung vorgenommen.

Für die ÖBB als auch für die ASFINAG sind pluviale flächige Abflüsse mit Überlastung der Entwässerungssysteme ohne/mit Bodenerosion von hoher Bedeutung für Verkehrswege und die darüber liegenden Hangbereiche. Überschwemmungen von Straßen sind für die ASFINAG von hoher Bedeutung, ob nun durch fluviale oder pluviale Hochwasser bedingt. Der Einstau von Bahndämmen durch fluviale Hochwasser kann in seltenen Fällen vorkommen, wird aber in der derzeitigen Priorität für die ÖBB als niedrig eingestuft. Im Gegensatz dazu hat eine mögliche Überschwemmung der Autobahn bei der ASFINAG eine hohe Priorität (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Prioritäten Anwendungsfälle „Hochwasser“ ÖBB und ASFINAG.

Naturgefahrenprozess	Anwendungsfall	ÖBB Priorität	ASFINAG Priorität
Flächenabfluss mit Überlastung des Entwässerungssystems ohne/mit Bodenerosion	direkter Verkehrsweg	hoch	hoch (geringer Wasserfilm schon Problem)
Flächenabfluss mit Überlastung des Entwässerungssystems ohne/mit Bodenerosion	Hangbereich	hoch	hoch
Einstau des Bahndamms durch Hochwasser	direkter Verkehrsweg	niedrig	niedrig
Überschwemmung der Strasse	direkter Verkehrsweg	gering	hoch

3.2.5.2 *Interne Vorinformationen zur Hochwasserbetroffenheit bei den Infrastrukturbetreibern*

Im Bereich der ÖBB stehen detailliertere Vorinformationen zur Hochwasserbetroffenheit im „Lichten Raum“, also im Bereich der Schieneninfrastruktur zur Verfügung (siehe auch Leber et al., 2022a). Basierend auf den oben beschriebenen, in den unterschiedlichen Informationsplattformen vorhandenen Informationen zur Hochwasserrisikobereichen und den entsprechenden Gefahrenkarten und zusätzlichen Analysen, stehen betriebsintern detaillierte Informationen zur Verfügung.

Es wurden die Ergebnisse von Abflussuntersuchungen/Modellierungen, die von unterschiedlichen Stellen mit unterschiedlichen Modellen in ganz Österreich berechnet wurden, in einer Datenbank zusammengeführt. Es erfolgte eine Harmonisierung und Qualitätsprüfung durch Wasserbaubüros, wobei auch Geländebegehungen durchgeführt wurden. Für den ÖBB-Streckenbereich wurden auf dieser Basis unter Verwendung von aus dem DHM abgeleiteten Querprofilen, welche alle 100 m generiert wurden, die Hochwasserbetroffenheit der jeweiligen Bahnabschnitte im Falle von HQ100 und HQ200 beurteilt. Aufgrund der zu erwartenden Anschlaglinie wurde beurteilt, ob die Einwirkungen des Hochwassers nur bis unterhalb des Schotterbetts, oder in dieses selbst reichen, wodurch eine Destabilisierung erfolgen kann, was dann Betriebseinschränkungen und Wartungsmaßnahmen nach sich ziehen würde. Auch der Schutz des Bahnkörpers durch Begleitdämme und Hochwasserschutzmaßnahmen findet Berücksichtigung.

Für die Abfrage aus der Datenbank und die Kartendarstellung steht eine Web-GIS-Anwendung zur Verfügung.

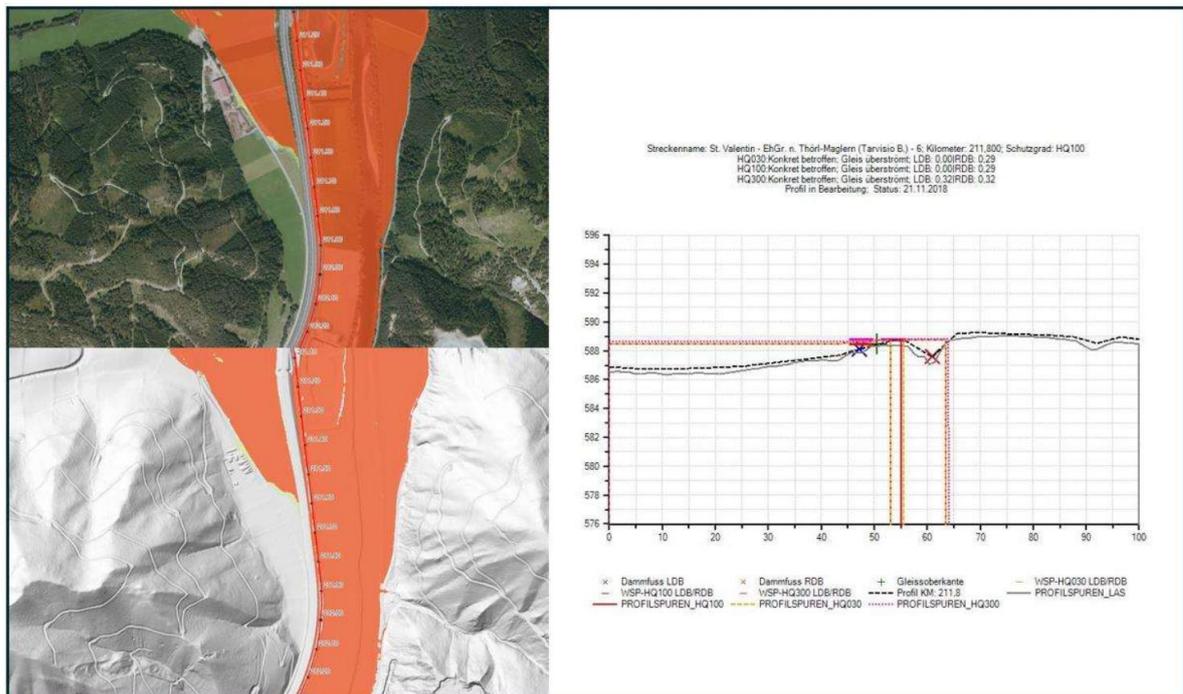


Abbildung 6: Beispiel für die Beurteilung der Hochwasserbetroffenheit „HQ100“ für einen ÖBB Streckenbereich (Quelle ÖBB Infrastruktur/Geoexpert).

Die ASFINAG greift bei der Abschätzung der Hochwasserbetroffenheit auf die oben beschriebenen Informationsplattformen zurück. Im Gegensatz zu den ÖBB kann aber die ASFINAG auf ein engmaschiges Sensor-Monitoring Netzwerk für die jeweiligen Autobahnabschnitte zurückgreifen. Es stehen über 550 Web-Cams und auch Straßenwetterstationen zur Verfügung. Die Straßenwetterstationen, so genannte UDEStationen, erfassen Parameter wie Lufttemperatur und relative Feuchte, Niederschlagsart und Menge, Fahrbahntemperatur, Gefriertemperatur und Fahrbahnzustand. Das ASFINAG/Alp.Lab-Projekt „Autobahn als Sensor“ wurde für den Staatspreis Mobilität nominiert (www.asfinag.at).

3.3 Überwachungssysteme für Hochwasser

3.3.1 Charakteristik von Überwachungssystemen für Naturgefahrenprozesse

Es stehen unterschiedlichste Überwachungssysteme für Naturgefahrenprozesse und damit für Überflutungen/Hochwasser zur Verfügung, wobei zu unterscheiden ist, ob diese Systeme als Warnsysteme oder als Alarmsysteme eingesetzt werden sollen.

Warnsysteme dienen der Messung von Anzeichen eines sich langsam und kontinuierlich entwickelnden, bevorstehenden Naturgefahrenereignisses, wobei von einer Vorlaufzeit von Wochen bis Stunden ausgegangen wird. Alarmsysteme hingegen kommen bei schnellen Naturgefahrenprozessen zum Einsatz, bei welchen es nur kurze Vorlaufzeiten im Bereich von Minuten bis Sekunden gibt (BAFU, 2020). Tabelle 2 zeigt die maßgeblichen Unterschiede von Warn- und Alarmsystemen. Die Meldungen von Monitoringsystemen (Sensoren, Sensornetzwerke) werden in der Regel von Experten beurteilt bevor Maßnahmen eingeleitet werden. Bei Alarmsystemen erfolgt die automatische Einleitung von Maßnahmen.

In Absprache mit den Anwendungspartnern ÖBB und ASFINAG, soll es sich bei dem im Rahmen des NANCI-Projektes ausgearbeiteten Prototypen um ein Warnsystem handeln.

Tabelle 2: Charakteristika von Warn- und Alarmsystemen (aus BAFU, 2020: S. 3).

	Warnsystem 	Alarmsystem 
Funktion	Messung von Anzeichen eines bevorstehenden Ereignisses.	Automatische Erkennung des Ereignisses selbst.
Vorlaufzeit	Stunden – Wochen	Sekunden – Minuten
Aktionen	Interpretation der Erkenntnisse durch Experten. Mögliche Massnahmen werden «manuell» ausgelöst (z.B. Evakuierung).	Sofortige und automatische Aktionen, wie z.B. Sperrung von Strassen, Bahnen oder Evakuierung (z.B. Baustellen).
Anwendung	Sich langsam und kontinuierlich entwickelnde Naturprozesse (z.B. Felswände, Rutschungen)	Spontan auslösende oder schnell aufbauende Naturprozesse (z.B. Lawinen, Murgänge)
Messgrößen	Deformation, Niederschlag, Schneehöhe, Pegel, Temperatur, Aktivität (z.B. Steinschlag, Lawinen), Erschütterung	Deformation, Geschwindigkeit, Druck, Fliesshöhe, Pegel, Erschütterung
Technologien	<ul style="list-style-type: none"> • Interferometrisches Georadar • Deformationskamera • Klufmessgeräte • Druck-, Neigungsmessgeräte • Bewegungssensoren, GPS • Wetterstationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Lawinenradar • Steinschlagradar • Personenradar • Pegelmessungen • Reissleinen

Im Zuge des NANCI-Projektes wurde der Stand-der-Technik bei der Erkennung von fluvialen und pluvialen Hochwasserereignissen untersucht. Dies diente als Basisinformation für ein mögliches Sensor-Design des NANCI-Prototyps. Ein Überblick über Überwachungssysteme für Naturgefahrenprozesse im Rahmen des NANCI-Projektes findet sich in Leber et al, 2022.

Umgelegt auf die Anforderungen innerhalb des NANCI Projektes zeigt die folgende Grafik, welche der Eigenschaften umgesetzt werden können und welche nicht. Zu erkennen ist, dass besonders das letzte Kriterium „Sofortige und automatische Aktionen“ hier den entscheidenden Knackpunkt darstellt. Auf Grund der Gefahr mit Low-Cost Sensorik und neuen Methoden und Algorithmen „False Positives“ zu erzeugen wurde (auch in Absprache mit den Stakeholdern von ÖBB und ASFINAG) entschieden, keinerlei „automatische“ Aktionen (vom Absetzen einer Warnung abgesehen) zu tätigen. Dies führt – per definitionem – dazu, dass das System kein Alarmsystem sein kann.

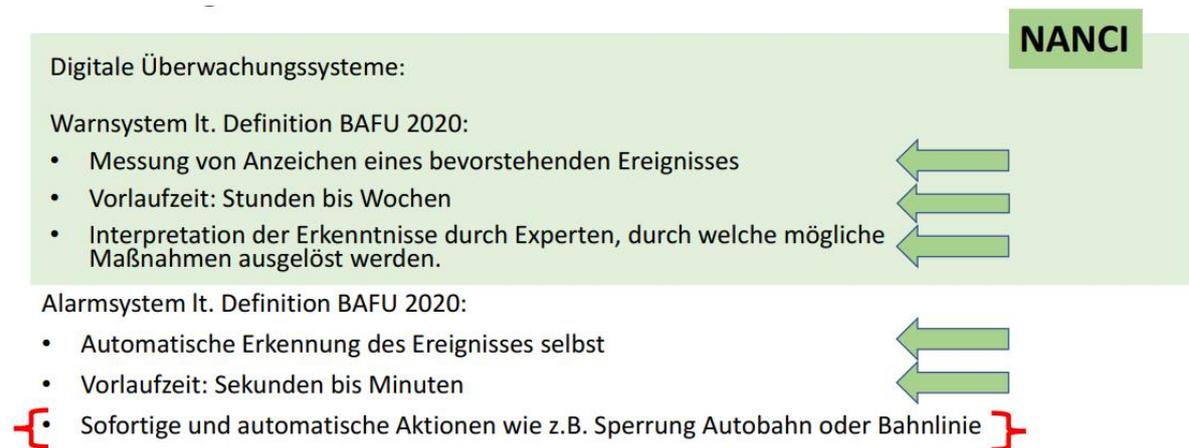


Abbildung 7: Warn- versus Alarmsystem im Zusammenhang mit NANCI

3.3.2 Überwachungssysteme - Fluviales Hochwasser

Für das Monitoring von Überflutungen bestehen unterschiedliche technische Systeme/Sensoren, wobei folgende Systeme am häufigsten eingesetzt werden:

- Optische Systeme (Kameras/Videokameras).
- Radar-Sensoren
- Laser-Systeme
- Ultraschall-Sensoren
- Klassische hydrostatische Pegelsensoren

3.3.3 Überwachungssysteme – Pluviales Hochwasser

Wie bereits von Zahnt et al. (2018) dargestellt, sind pluviale Überflutungsereignisse auf Grund ihres kleinräumigen und standortungebundenen Auftretens schwer vorhersagbar. Wahrscheinlich ist das auch der Grund, dass in Hinblick auf das Monitoring solcher Ereignisse über die systematische Dokumentation im Rahmen von Ereignisdokumentationen und Gefahrenzonenplanungen hinaus kaum Informationen zu finden sind. Obwohl pluviale Hochwasser schwer zu monitoren sind, liegt Potential in der Erkennung von Wasserstand und Geschiebeablagerungen durch den Einsatz von Sensoren wie Pegel und Kamerasystemen (lichtsensitive Kamerasysteme, Stereo-Kamera, redundantes Radar-System). Im Falle von Hangmuren sind erkennbare Parameter die Veränderung von Morphologie und Wasserstand, Bewegung und möglicherweise Erschütterung, welche durch Pegelradar, Geophone, Reissleinen und Murgangradar erkannt werden können. Hierzu werden in Leber et al. (2022a) lichtensitive Kamerasysteme für die Veränderung von Morphologie, Stereokameras zur Volumens Bestimmung und Radar zur Hindernis- und Pegelerkennung vorgeschlagen.

3.3.4 Sensorsysteme für die Überwachung von Hochwasser

3.3.4.1 Optische Kamera-/Videokamerasysteme

Für die Überwachung von Hochwasser kommen unterschiedliche Kamerasysteme zum Einsatz (Einzelfotos oder Videokameras). Entscheidend ist dabei, welcher Kamerateyp Verwendung findet, da generell bei Kamerasystemen eine eingeschränkte Einsetzbarkeit bei schlechten Wetterverhältnissen (Schnee, Regen, Hagel, Nebel) und schlechten Beleuchtungsverhältnissen gegeben ist. Der Effekt der wechselnden Beleuchtungsverhältnisse kann durch Low-light Kameras bzw. Infrarot-Kameras ausgeglichen werden. Stereo-Kameras erlauben eine 3-D Ansicht.

Google Coral Cam

- Edge-AI Board
- Kamera + DL Beschleuniger
- Auswertung der Bilder auf dem Board möglich
 - Energie effiziente Lösung
 - Geringe Latenzen da keine Bilder übertragen werden müssen
- Kosteneffiziente Lösung
- Einschränkungen bei der Kamera Auswahl



Arducam für Raspberry Pi

- Image Sensor: 2MP IMX462
 - Resolution: 1920Hx1080V
 - Pixel Size: 2.9µm x 2.9µm
 - Optical Format: 1/2.8"
 - Lens Spec: M16 lens mount, focal length of 4mm±5%, F/0.95±5%, 92 degrees horizontal field of view (HFOV)
 - Minimum Illumination: 0.01Lux
 - Frame Rate: Adjustable, 5-60fps@1080P
 - Sensor Output Format: RAW10
 - ~ 60 Euro
- <https://www.arducam.com/>



Abbildung 8: Beispiel für zwei Digital-Kamerasysteme.

3.3.4.2 Radar-Systeme

Radar-Systeme sind aufgrund der aktiven Aussendung von Signalen und der verwendeten Wellenlängen von Witterungsverhältnissen und Beleuchtungsverhältnissen unabhängig. Es kommen verschiedene Typen wie Überflutungsradar für Wasserstandsmessungen, Durchflussradar für Füllstandmessungen (Pegelstände), sowie Bewegungsmelder und Fahrzeugradare, welche für Objekterkennung eingesetzt werden können, zum Einsatz. In IAN (2014) wird der Einsatz von Radartechnik für die Erkennung und Interpretation von fluviatilen Naturgefahrenprozessen dargestellt. In dieser Studie wird festgestellt, dass mit dem Einsatz einer derartigen Technologie, ohne Einschränkung durch Außentemperaturen oder andere Umwelteinflüsse, sowohl Wasserstände, Abflussvolumina und Fließgeschwindigkeiten (normaler Abflüsse), als auch Starkregenereignisse dokumentiert werden können. Diese Methode wird in der Studie als zuverlässige Methode mit nur geringem Wartungsaufwand beschrieben.

Überflutungen werden z.B. durch Pegelradar-Systeme gemessen und überwacht, wobei zuverlässig, unabhängig von den Wetterverhältnissen, die Fließhöhe eines Gewässers gemessen wird.

<p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zuverlässigste Technologie zur Pegelmessung von turbulenten Oberflächen, wie z.B. bei Murgängen oder Flutwellen • Unabhängig von Wetter (Regen, Schnee, Nebel) und Tageszeit (Tag / Nacht) • Berührungsloses Messen und keine Beeinträchtigung bei / nach einem Ereignis (Befestigung z. B. unter einer Brücke oder über dem Bachbett gespannten Stahlseilen) • Automatische Alarmierung beim Überschreiten vordefinierter Schwellenwerte, z.B. Strassenschliessung und Benachrichtigung • Permanente Messung des Abflusses und Zugang zu Zeitreihen und aktuellen Daten sowie Bildern jederzeit über das Online Datenportal möglich. 		<p>Quelle: Bundesamt für Umwelt (BAFU, Schweiz), 2020</p> 
<p>Limitationen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nur Ereignisse im Zielgebiet des Radars werden erfasst. Zur Abdeckung eines breiten Flussbettes und/oder aus Redundanzgründen empfehlen wir die Installation von zwei Pegelradaren • Ausfall des Radars bei Zerstörung oder Verstellung durch Treffer von Steinen oder Geschiebe im Bach / Murgang. 		

Abbildung 9: Die Vor- und Nachteile von Pegelradar-Systemen und Beispiele von Messensoren (aus BAFU, 2020).

Neben Pegelradar-Systemen kommen auch Radarsysteme zur Messung des Durchflusses zum Einsatz. Abbildung 8 zeigt ein Durchfluss-Radarmesssystem der Firma Sommer.

DURCHFLUSS RADAR RQ-30 / RQ-30A

Zu MeinPDF hinzufügen | E-Mail | Video | Anhänge herunterladen



BILDERGALERIE



BERÜHRUNGSLOSE DURCHFLUSSMESSUNG MITTELS RADARTECHNOLOGIE FÜR OFFENE GERINNE

Der RQ-30 ist ein Sensor zur berührungslosen und kontinuierlichen Durchflussmessung von Flüssen, offenen Gerinnen und Kanälen. Dazu sind zwei Radar-Messmethoden zur Bestimmung der Oberflächengeschwindigkeit und des Wasserstands im Gerät vereint. Er liefert verlässliche Messergebnisse ohne baulichen Maßnahmen im Wasser.

EIGENSCHAFTEN UND VORTEILE

- ✓ Berührungslose Messung, wartungsfreies System
- ✓ Keine baulichen Maßnahmen im Wasserkörper erforderlich
- ✓ Keine Gefährdung des Systems bei Hochwasser
- ✓ Niedriger Energieverbrauch erlaubt Betrieb mit Solarzellen
- ✓ Erkennung der Fließrichtung
- ✓ Messbereich 0,08 ... 16 m/s (abhängig von den Fließbedingungen)
- ✓ Erkennung von Hysterese-Effekten
- ✓ Messung an Stellen mit Rückstauungen
- ✓ Misst auch bei Verkräutung
- ✓ Messung in Ebbe / Flut beeinflussten Gewässern
- ✓ Automatische Winkelmessung
- ✓ Optional (RQ-30a): Analoge Ausgänge 4 bis 20 mA

EINSATZGEBIETE

Der RQ-30 ermöglicht eine Durchflussmessung für Flüsse, Bäche, offene Gerinne und Kanäle für die eine kontinuierliche Überwachung gewünscht ist. Aufgrund der berührungslosen Radartechnologie ist das Messgerät nicht durch Verschmutzung und Treibgut im Gewässer gefährdet. Dadurch ergibt sich ein sehr wartungsarmer Betrieb und eine erhöhte Ausfallsicherheit vor allem bei Hochwasser.

Abbildung 10: Beispiel für Durchflussmessungen mit einem Radar-System (Quelle: www.sommer.at).

3.3.4.3 Laser-Systeme

Laser-Systeme sind im Vergleich zu anderen berührungslosen Messverfahren durch eine einfache Handhabung und durch eine geringe Störungsanfälligkeit gekennzeichnet. Gebündelte Laserstrahlen bewegen sich in einem sehr geringen Abstrahlwinkel durch den Raum, wobei das Signal auch bei weiteren Entfernungen fokussiert bleibt.

3.3.4.4 Ultraschall-Sensoren (Ultrasonic)

Ultraschall-Sensoren sind eine wichtige Komponente von modernen Systemen für die Detektion von Überflutungen und für Warn- und Alarmsysteme. Die Sensoren verwenden hoch-frequente (ultrasonic) Schallwellen, um die Entfernung zu den Objekten zu messen. Damit können Messungen von Wasserpegelständen oder Wellen verlässlich gemessen werden. Durch ihr meist robustes Design können sie unter schwierigsten Witterungsbedingungen eingesetzt werden. Je nach verwendetem Sensor kann aus

unterschiedlichen Entfernungen gesessen werden. Die Datenübermittlung erfolgt meist über Funk oder GSM (wireless).

Ultraschallsensoren werden auch von der Firma ACS bei autark agierenden HochwasserAlarmsystemen (offene Plätze, Zufahrten etc.) verwendet (siehe https://www.acscontrolsystem.de/wp-content/uploads/IOT_Hochwasser_0821.pdf).



Abbildung 11: Beispiele für Ultraschall-Sensoren der Firma Senix mit unterschiedlichen Einsatzreichweiten und Anordnung zur Pegelmessung (<https://senix.com/ultrasonic-sensors/general-purpose-sensors/>).

3.3.4.5 Klassische hydrostatische Pegelsensoren

Durch die einfache Bauweise ist diese Sensorgruppe ideal für den Einsatz bei schwierigen Umweltbedingungen. Sie erlauben eine kontinuierliche Messung von Pegeln oder Füllständen. Beispiel für einen klassischen Hydrostatischen Pegelmesser (siehe https://www.acs-controlsystem.de/wpcontent/uploads/IOT_Hochwasser_0821.pdf)

3.3.4.6 Schlussfolgerungen für das Design des NANCI-Prototypen

Basierend auf der Analyse des Stands-der-Technik wird daher für den NANCI-Prototypen folgende Konfiguration für die Erkennung von Hochwasser vorgesehen:

- Sensorbox mit Kamera (Low-Light-Kamera) montiert auf Oberleitungsmasten ähnlich erhöhte Position
- Sichtweite bis 100 m.
- Redundante Kombination mit einem Radar-System
- Situationsbewertung in kurzen Zeitabständen: Bildaufnahmen mit unterschiedlichen Kameras abhängig von den Beleuchtungsverhältnissen.
- Auswertung des Bildes. Identifizierung der Bereiche mit Oberflächenwasser.
- Bestimmung der Rate der Flächenänderung.
- Versendung von Warnmeldungen mit Fotos



Abbildung 12: Beispiel für die Identifikation eines überfluteten Bereiches aus Kameraaufnahme (Quelle: Software Competence Center Hagenberg).

3.4 Prozessbeschreibung gravitative Naturgefahren mit Auswirkungen auf den Fahrweg

3.4.1 Gravitative Naturgefahren

Eine weitere Gruppe an Gefahrenquellen, welche teilweise auch durch Extremwetterereignisse ausgelöst werden können, stellen gravitative Naturgefahrenprozesse wie Steinschlag/ Blockschlag/Felssturz, Muren, Rutschungen, und speziell seichtgründige Rutschungen bzw. Hangmuren, aber auch Schneebletter und Lawinen, dar. Darüber hinaus sind Verkehrswege auch durch Baumschlag gefährdet. Alle diese Prozesse führen dazu, dass sich auf den Verkehrswegen „Fremdobjekte“ bzw. Hindernisse/Obstacles befinden, die eine Gefahr für den ordnungsbemäßen Betrieb bzw. Verkehr darstellen. Bei Steinschlag können bereits kleine Gesteinskomponenten zu Schäden führen, bei Rutschungen oder Hangmuren reichen bereits kleine Volumina von Sedimentablagerungen auf dem Bahnkörper aus, um zu einer Beeinträchtigung des Fahrbetriebs oder gar zu Unfällen zu führen.



Abbildung 13: Beispiele für die Auswirkungen der gravitativen Naturgefahren Steinschlag und seichtgründige Rutschung bzw. Hangmure auf die Schieneninfrastruktur.



Abbildung 14: Beeinträchtigung des Betriebsablaufes durch Baumschlag.

3.4.2 Vorinformationen zu durch gravitative Naturgefahrenprozesse gefährdeten Bereichen

Wie auf dem Gebiet der Vorhersage von fluviatilen und pluvialen Überflutungsprozessen gibt es auch im Bereich der Prozesse Steinschlag und Rutschungen Vorinformationen, welche in der Form von Gefahrenzonenplänen bzw. Risikokarten zur Verfügung stehen. Gefahrenzonenpläne werden vom Forsttechnischen Dienst- für Wildbach- und Lawinenverbauung zur Verfügung gestellt und sind auch schon im jeweiligen Landes-GIS abrufbar. Die Bearbeitungen werden allerdings nur für den „Raumrelevanten Bereich“ also den dauerhaft besiedelten Bereich durchgeführt. Das bedeutet, dass weite Bereiche der Bahnlinien bzw. der Autobahnen nicht durch Gefahrenzonenpläne abgedeckt sind. In der folgenden Abbildung findet sich ein Beispiel für einen Gefahrenzonenplan.

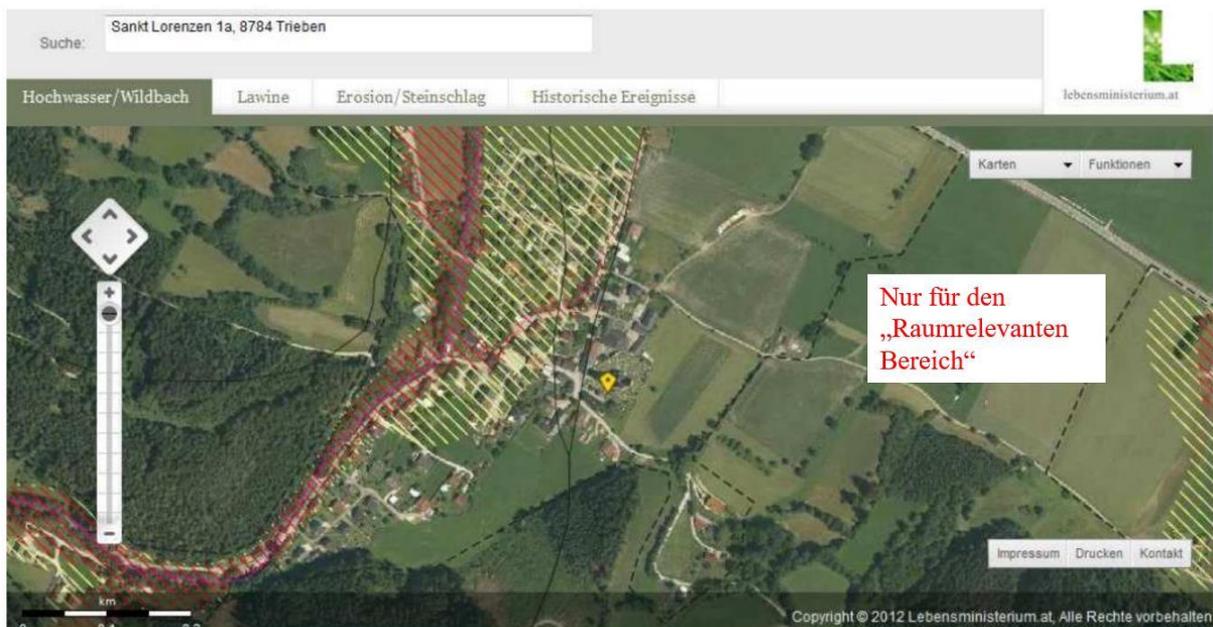


Abbildung 15: Beispiel eines Gefahrenzonenplans mit roter und gelber Zone „Überflutung“.

Die Infrastrukturbetreiber versuchen die für sie relevanten Gebiete durch eigene „Risikokarten“ abzudecken, oder auch die ausgeschiedene Gefährdung/Risiko mit möglichen Maßnahmen in sogenannten „Intervention Maps“ darzustellen. In der folgenden Abbildung findet sich ein Beispiel für eine im Rahmen des Interreg Programmes erstellten „Intervention Map“ für einen Bahnabschnitt am Arlberg.

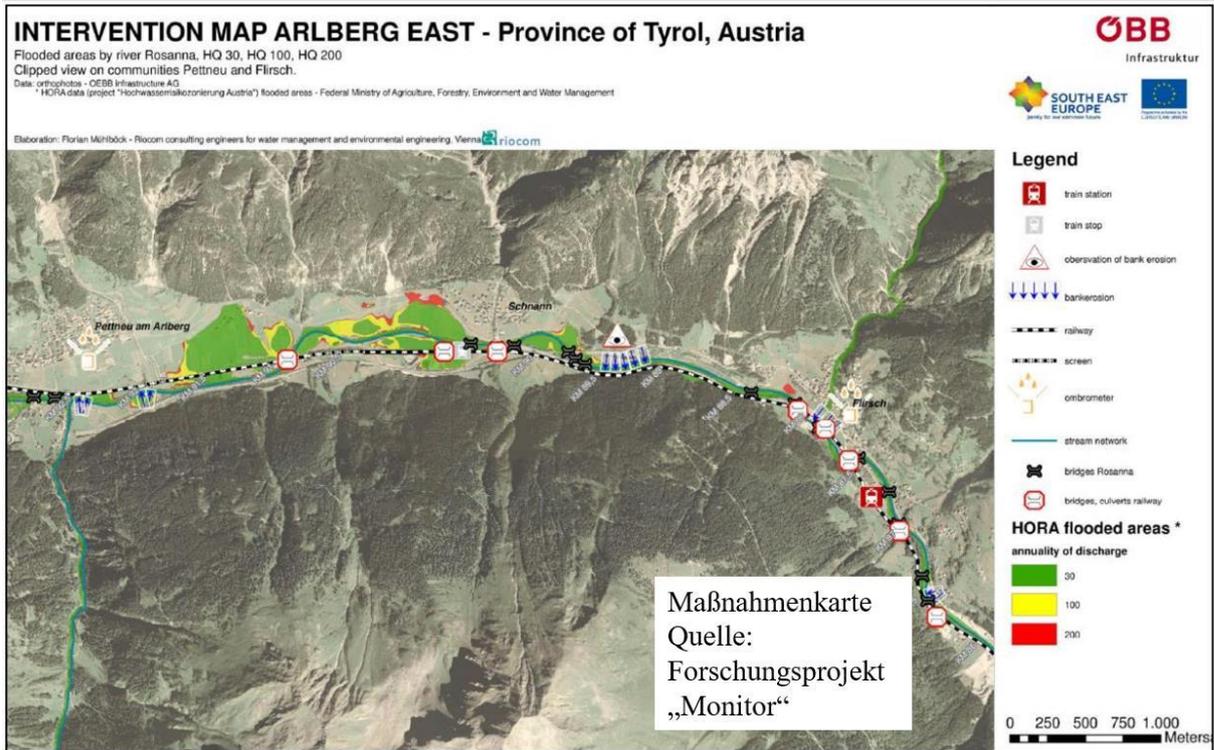


Abbildung 16: Im Rahmen des INTERREG Projektes „MONITOR“ erstellte „Intervention Map“ für einen Bahnabschnitt im Arlberg Gebiet.

3.4.3 Überwachungssysteme für gravitative Naturgefahren

Für die Überwachung von gravitativen Naturgefahren stehen unterschiedlichste Methoden und Sensoren zur Verfügung wobei wieder, wie schon in Kapitel 3.1. beschrieben, zwischen Warn- und Alarmsystemen unterschieden werden muss.

Im Folgenden soll eine kurze Übersicht über die unterschiedlichen Möglichkeiten der Überwachung für einzelne gravitative Naturgefahrenprozesse gegeben werden. Eine detailliertere Darstellung findet sich in Leber et. al. 2022a (Beilage zum NANCI Zwischenbericht). Generell zeigt sich, dass Überwachungslösungen für die unterschiedlichen Naturgefahrenprozesse meist aus einer redundanten Kombination unterschiedlicher Sensortypen aufgebaut sind (BAFU, 2020).

3.4.3.1 Überwachungssysteme für Steinschlag/Blockschlag/Felssturz

Überwachungssysteme für Steinschlag/Blockschlag/Felssturz können als Warnsystem als auch als Alarmsysteme konzipiert sein. Wie aus der Zusammenstellung durch das Schweizer Bundesamt für Umwelt (2020) ersichtlich ist können, bei einem Warnsystem unterschiedliche Sensoren wie Interferometrisches Georadar, Terrestrisches Lidar, Deformationskameras, Total Station und Kluftrastmessgeräte zum Einsatz kommen.

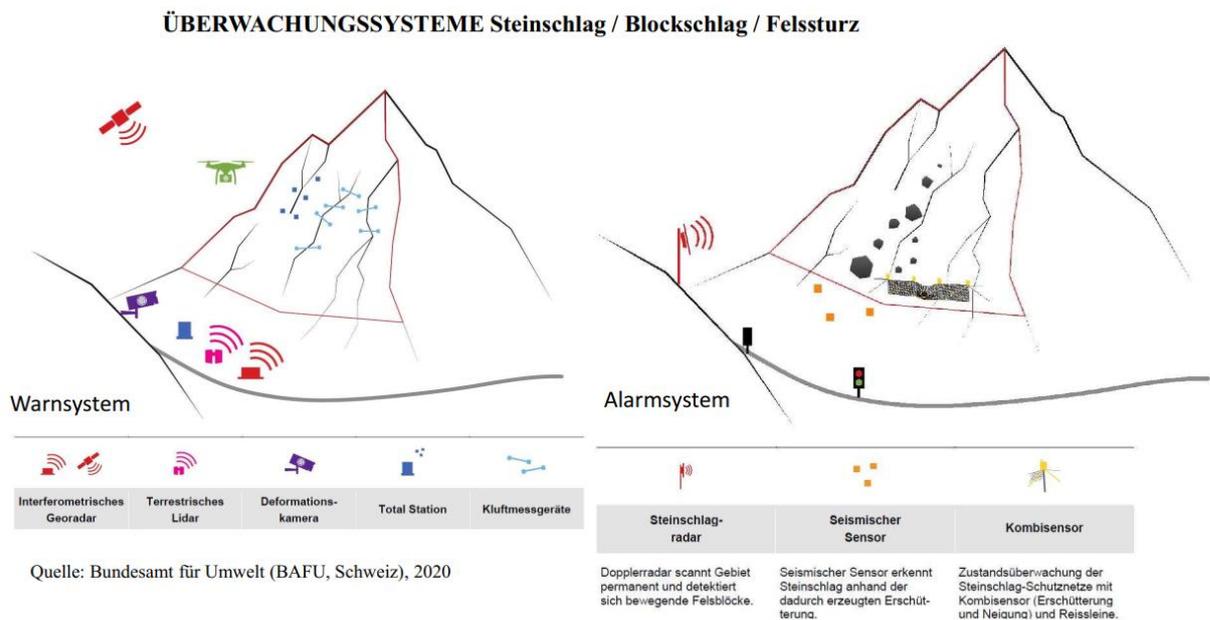


Abbildung 17: Überblick Überwachungssysteme für Steinschlag/Blockschlag/Felssturz (Quelle: BAFU, 2020).

Ein Überwachungssystem für Steinschlagprozesse kann auch als Alarmsystem konzipiert werden. Dabei wird meist ein Doppler-Radar-System mit seismischen Sensoren (Geophone) und Sensoren zur Zustandsüberwachung von Steinschlagnetzen kombiniert, um eine Redundanz zu erreichen, und Fehlalarme zu vermeiden. Doppler-Radar-Systeme, wie z.B. das von der Firma Geobruigg vertriebene „ROCYX Steinschlagradar“ mit automatischer Alarmierung können Blockgrößen bis 0,1 m³ bis in 100 m und von 1 m³ bis in 1 km Entfernung detektieren.

Startseite > Systeme > Monitoring ROCYX® Rockfall Radar



Für die Überwachung von Steinschlagaktivitäten oder zur sofortigen Alarmierung und Durchführung z. B. von Strassensperrungen. ROCYX® kann ergänzend oder eigenständig anstelle baulicher Massnahmen eingesetzt werden.

- ▶ Echtzeit-Erkennung von herabfallenden Felsen
- ▶ Funktion bei jedem Wetter (Regen, Nebel, Schnee)
- ▶ Grossflächige Abdeckung
- ▶ Automatische Schliessung und Wiedereröffnung von Verkehrswegen
- ▶ Steinschlag-Tracking und -Abbildung im passwortgeschützten online Datenportal
- ▶ Automatische Benachrichtigung

Mehr Informationen finden Sie auf der Website unseres Partners [Geoprevent](#).

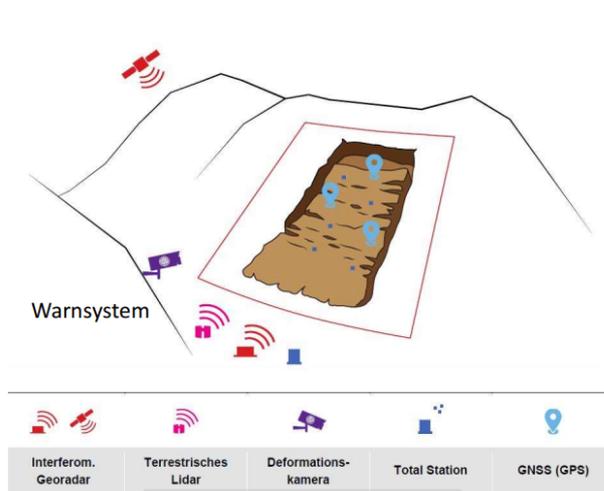
Abbildung 18: Beispiel für ein Alarmsystem für Steinschlagprozesse (Quelle: www.geobrugg.com)

3.4.3.2 Überwachungssysteme für Rutschungen

Für die Überwachung von Rutschungen sind interferometrische Radarsysteme von großer Bedeutung. Diese können sowohl von Satelliten aus operieren, als auch terrestrisch eingesetzt werden.

Darüber hinaus werden noch Terrestrisches LIDAR, Deformationskameras, Total Stationen und GNSS (GPS) verwendet. Die Charakteristik der unterschiedlichen verwendeten Sensorsysteme ist in Abbildung 19 dargestellt. Abbildung 20 zeigt ein Beispiel für ein Geo-Radar-System für die Überwachung von Fels-, Gletscher- und Rutschbereichen.

ÜBERWACHUNGSSYSTEME Rutschungen



Quelle: Bundesamt für Umwelt (BAFU, Schweiz), 2020

	TOTAL STATION	GNSS (GPS)	GEORADAR (SATELLIT)
TYP	Fernmessung, punktuell	Lokale Messung, punktuell	Fernmessung, flächig
GENAUIGKEIT*	einige mm	ca. 1 cm	einige mm - cm
GEBIETS-ABDECKUNG	Reichweite: mehrere km Fläche: mehrere km ²	Beliebig. Bei grossen Gebieten viele Geräte notwendig.	West/Osthänge (Nord/Südexpositionen nicht einsehbar)
SYSTEMVERFÜGBARKEIT	nur bei Sicht (gutes Wetter, Tag/Nacht)	immer (Nebel, Regen, Schnee, Tag/Nacht)	je nach Wiederkehrzeit des Satellits, Messungen aus der Vergangenheit verfügbar

	TERRESTR. GEORADAR	TERRESTR. LIDAR	DEFORMATIONS-KAMERA
TYP	Fernmessung, flächig	Fernmessung, flächig	Fernmessung, flächig
GENAUIGKEIT*	sub-mm	einige cm	einige cm
GEBIETS-ABDECKUNG	Reichweite: bis 5 km Fläche: mehrere km ²	Reichweite: bis 4 km Fläche: mehrere km ²	Reichweite: bis 5 km Fläche: mehrere km ²
SYSTEMVERFÜGBARKEIT	immer (Nebel, Regen, Schnee, Tag/Nacht) schnelle Installation	nur bei gutem Wetter (kein Nebel, Regen, Schnee), schnelle Installation	nur bei Sicht (gutes Wetter, Tag) schnelle Installation

Abbildung 19: Überblick Überwachungssysteme für Rutschungen und deren Charakteristik (Quelle: BAFU, 2020).

GEORADAR: Für die grossflächige Überwachung kritischer Fels- oder Gletscherinstabilitäten

Für die grossflächige Überwachung kritischer Fels- oder Gletscherinstabilitäten mit Millimeter-Genauigkeit. Das interferometrische Georadar arbeitet bei jedem Wetter und zu jeder Tageszeit und ermöglicht die Früherkennung drohender Abbrüche.

- Überwachung von Instabilitäten in Fels und Eis
- Hohe Verfügbarkeit bei jedem Wetter (Nebel, Regen, Schneefall)
- Hohe Reichweite und grossflächige Abdeckung
- Deformationsanalyse schneller und langsamer Bewegungen (bis hin zu mm pro Monat oder pro Jahr) mit proprietären Algorithmen
- Früherkennung von Abbrüchen; der Abbruchzeitpunkt kann geschätzt werden

Mehr Informationen finden Sie auf der Website unseres Partners [Geoprevent](#).

Abbildung 20: Georadar-System für die Überwachung Fels-, Gletscher- und Rutschbereichen (Quelle: www.geobruGG.com)

3.4.3.3 Überwachungssysteme für Muren

Murgänge sind Prozesse, die sehr schnell ablaufen und eine sehr variable Prozesscharakteristik aufweisen. Im oder über dem Gerinne werden Sensorkombinationen installiert, da die Detektion von Murgängen aufgrund ihrer Charakteristik (Strom aus Schlamm, Gesteinsmaterial und Wasser mit einer turbulenten nicht klar definierten Oberfläche) schwer messbar sind. Zur Fernmessung wird ein MURGRADAR verwendet. Weiters werden schnelle Anstiege des Pegels durch ein Pegelradar detektiert. Wie aus der Zusammenstellung des Schweizer Bundesamtes für Umwelt (2020, siehe Abbildung 21) ersichtlich ist, werden weitere Sensoren mit unterschiedlicher Charakteristik eingesetzt.

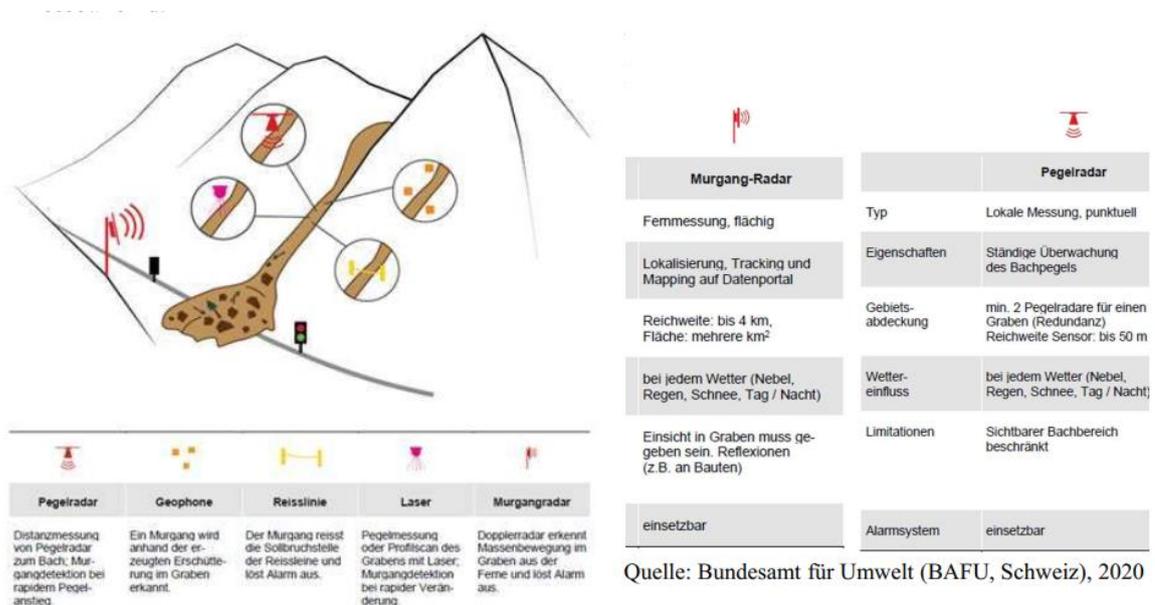


Abbildung 21: Überblick Überwachungssysteme für Murgänge (Quelle: BAFU, 2020).

3.5 Szenarienabhängige Anforderungsmodelle

Zusammen mit Vertretern der Stakeholder ASFINAG und ÖBB konnten in Workshops die einzelnen Szenarien bezüglich Dringlichkeit, Relevanz und Priorität kategorisiert werden. Im Folgenden finden sich Beispiele der entstandenen Anforderungsmodelle.

3.5.1 Anforderungsszenarien – Allgemeine Priorisierung

Der erste Schritt in der Ermittlung der Anforderungsszenarien stellte ein prinzipieller Abgleich unterschiedlicher Naturgefahrenprozesse und deren Priorisierung bei den beiden beteiligten Organisationen (ASFINAG und ÖBB) dar. In den folgenden Übersichten kann das Ergebnis des Abgleichs abgelesen werden. Die erste Übersicht beinhaltet vor allem jene

Naturgefahrenprozesse, die durch Überschwemmungen oder damit in Verbindung stehenden Gefahren entstehen.

Tabelle 3: Übersicht Naturgefahrenprozesse Überschwemmung

Naturgefahrenprozess	Anwendungsfall	ÖBB Priorität	ASFINAG Priorität
Flächenabfluss mit Überlastung des Entwässerungssystems ohne/mit Bodenerosion	direkter Verkehrsweg	hoch	hoch (geringer Wasserfilm schon Problem)
Flächenabfluss mit Überlastung des Entwässerungssystems ohne/mit Bodenerosion	Hangbereich	hoch	hoch
Einstau des Bahndamms durch Hochwasser	direkter Verkehrsweg	niedrig	niedrig
Überschwemmung der Strasse	direkter Verkehrsweg	gering	hoch

In einem weiteren Schritt wurden Objekt-abhängige Prozesse bzw. Prozesse durch gravitative Naturgefahren abgefragt, bei denen ein oder mehrere Objekte bzw. Gesteins- und Sedimentablagerungen Gefahren auf dem Verkehrsweg verursachen.

Tabelle 4: Übersicht gravitative Naturgefahrenprozesse und Objekte

Naturgefahrenprozess	Anwendungsfall	ÖBB	ASFINAG
Steinschlag, Blockschlag	direkter Verkehrsweg	hoch	hoch
Baumschlag	direkter Verkehrsweg	hoch	mittel
Seichtgründige Rutschungen/Hangmuren	direkter Verkehrsweg	hoch	hoch
Seichtgründige Rutschungen/Hangmuren	Hangbereich	hoch	hoch
Schneelawine/Schneerutsch	direkter Verkehrsweg	gering	gering
Schneelawine/Schneerutsch	Hangbereich	gering	gering

Auf Basis dieser gemeinsamen Erhebung wurde in Absprache mit den Stakeholdern beschlossen, die folgenden Szenarien zu priorisieren, da sie von beiden Organisationen in ähnlichem Maße von Interesse sind und auch bezüglich der technischen Realisierung mögliche Synergien erkannt werden konnten:

- Steinschlag/Blockschlag
- Baumschlag
- (Fluviale) Überflutung der Trasse
- Rutschung/(Hang-)Murenerkennung

3.5.2 Anforderungsszenarien – Detaillierte Betrachtung

Die Einzelgefahren wurden hinsichtlich der Möglichkeiten deren Eigenschaften zu verallgemeinern untersucht. Im Folgenden finden sich die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die jeweils in einer standardisierten Form innerhalb des Projektes erarbeitet und zusammengefasst wurden. Folgende Punkte sind allen Beschreibungen zu entnehmen:

- Name des Naturgefahrenprozesses
- Priorität ÖBB
- Priorität ASFINAG
- Definition des Prozesses
- Voraussetzung/Auslösung
- Prozesscharakteristik
- Erkennbare Parameter
- Externe Informationen
- Einwirkung auf Verkehrsweg
- Generelle Sensorik
- Bestandssensorik (bei ÖBB und ASFINAG)
- (mögliche) NINCI Sensorik

Tabelle 5: Gefahrenprozess - Flächenabfluss durch pulviales Hochwasser

Naturgefahrenprozess	Flächenabfluss mit Überlastung des Entwässerungssystems ohne/mit Bodenerosion (pulviales Hochwasser)	Priorität ÖBB: Hang und direkter Verkehrsweg HOCH	Priorität ASFINAG: Hang und Direkter Verkehrsweg (schon bei geringem Wasserfilm) HOCH
Definition des Prozesses	Überflutungen, die aus niederschlagsgenerierten Oberflächenabflüssen und -überflutungen verursacht werden, bevor der Abfluss ein Fließgewässer oder ein Entwässerungssystem erreicht, oder nicht in dieses Netzwerk fließen kann, da seine Kapazitätsgrenzen erreicht ist.		
Voraussetzung/Auslösung	Niederschlag (Vorbefeuchtung), Starkregen, Bodeneigenschaften, Landnutzung, Morphologie		
Prozesscharakteristik	Schneller Abfluß von Starkregen, Oberflächenwasser, Hangwasser, und direkter Abfluss aus Schneeschmelze. Mit Bodenerosion und Geschiebeablagerung.		
Durch Sensoren erkennbare Parameter	Wasserstand	Geschiebeablagerung	
Anbindung an externe Informationen	Meteorologische Informationen zu Niederschlagsmengen, Wetterwarnungen. Informationen und Vorbefeuchtung und Bodenfeuchte.		
Einwirkung bei Verkehrsweg	Lokale Überflutung, teilweise mit Ablagerung von erodiertem Material.		
Generell verwendete Sensorik	Pegel, Kamerasysteme.		
Bestandssensorik	ASFINAG: Kein Sensormonitoring. ÖBB: Kein Sensormonitoring.		
NINCI Sensorik	Lichtsensitives Kamerasystem und Stereo-Kamera für Geschiebeablagerung. Redundantes Radar-System.		

Tabelle 6: Gefahrenprozess - Einstau durch Hochwasser

Naturgefahrenprozess	Einstau des Bahndammes bzw. der Straße durch Hochwasser/Überflutungen(fluvial)	Priorität ÖBB: Direkter Verkehrsweg NIEDRIG	Priorität ASFINAG: Direkter Verkehrsweg (schon bei geringem Wasserfilm) HOCH
Definition des Prozesses	Durch das Zusammenwirken extremer Niederschläge mit gesättigten abflussbereiten Böden entsteht an Flüssen und kleineren Gerinnen ein erhöhter Abfluss der zu Überflutungen (mit und ohne Geschiebetrieb) führt.		
Voraussetzung/Auslösung	Hydroklimatische Situation, Starkregen, hohe Bodenfeuchte		
Prozesscharakteristik	Sich in größeren Gerinnen über Stunden bzw. Tage aufbauender Prozess		
Durch Sensoren erkennbare Parameter	Wasserstand	Fließgeschwindigkeit	
Anbindung an externe Informationen	Meteorologische Informationen wie Niederschlag, Gewitterwarnungen. Pegelmessungen von umgebenden Stationen. Hochwasserwarnungen. Hochwassergefahrenkarten.		
Einwirkung bei Verkehrsweg	Überflutungen mit und ohne Erosion. Geschiebeablagerungen.		
Generell verwendete Sensorik	Messpegel, Fernerkundungsverfahren.		
Bestandssensorik	ASFINAG: Keine Monitoringsensoren. ÖBB: Pegelsensoren (Schall) für Abflusshöhe(z.B. Pass Luegg).		
NANCI Sensorik	Redundante Kombination von lichtsensitivem Kamerasystem mit Pegelradar.		

Tabelle 7: Gefahrenprozess - Steinschlag/Blockschlag

Naturgefahrenprozess	Steinschlag, Blockschlag	Priorität ÖBB: Direkter Verkehrsweg HOCH	Priorität ASFINAG: Direkter Verkehrsweg HOCH
Definition des Prozesses	Sturzprozess. Steinschlag bis 0,5 m Durchmesser. Blockschlag 0,5 m bis 100 m ³ . Größere Massen als Felssturz bezeichnet.		
Voraussetzung/Auslösung	Zerlegung des Gesteins am Trennflächengefüge. Frost- und Tauprozesse. Erschütterungen (Erdbeben). Windwurf mit Blockablösung.		
Prozesscharakteristik	Ablösebereich meist langsamer Prozess mit Zerlegung des Gesteins. Transferbereich sehr schneller Prozess (m/sec).		
Durch Sensoren erkennbare Parameter	Weitung des Trennflächengefüges, beginnende Ablösung	Erschütterung	Bewegung Lärm (akustisch) bei Auftreffen in Sturzbahn
Anbindung an externe Informationen	Meteoreologie: Temperatur (Frost/Tau); Wind/Sturm		
Einwirkung bei Verkehrsweg	Zerstörung von Signalanlagen; Beschädigung von Gleisen oder Straße; Hindernis führt zu Kollisionen		
Generell verwendete Sensorik	Interferometrisches Georadar (Veränderung Morphologie), Terrestrisches Lidar, Deformationskamera, Total Station, Klufmessgeräte, Dopplerradar (Bewegung), Geophon, Kombisensoren an Netzen		
Bestandssensorik	ASFINAG: Keine Sensormonitoring ? ÖBB: Kein systematisches Monitoring; Drucksensoren, Fissurometer, Extensometer und Inklinometer in den Abbruchgebieten für geotechnische Fragen. Teilweise Distributed Acoustic Sensing ; Kipp-/Beschleunigungssensorik für das Monitoring von Maßnahmen des Steinschlagschutzes. FibreOptic Sensing für die Steinschlagdetektion im Lichten Raum.		
NANCI-Sensorik	Verkehrsweg: Kamera mit Hinderniserkennung/Änderung der Morphologie, redundant mit Radar-System(Bewegung/Hindernis). Hang: Radar. Vernetzung mit zus. Sensorik im Ablösebereich und an Schutzmaßnahmen.		

Tabelle 8: Gefahrenprozess - Baumschlag

Naturgefahrenprozess	Baumschlag	Priorität ÖBB: Direkter Verkehrsweg HOCH	Priorität ASFINAG Direkter Verkehrsweg MITTEL
Definition des Prozesses	Rutschen oder Kippen von Bäumen.		
Voraussetzung/Auslösung	Verlust des Zusammenhalts des Wurzelkörpers mit Untergrund (Duchfeuchtung, Kriech- und Rutschprozesse). In Sturzbahnen von Steinschlag und Lawinen. Wind und Stürme. Einwirkungen Borkenkäfer, Trockenheit, Steinschlag.		
Prozesscharakteristik	Schnelle Bewegung in Sturzbahnen. Schnelle Entwurzelung und Umkippen durch Sturm.		
Durch Sensoren erkennbare Parameter	Bewegung	Veränderung der Morphologie	(Erschütterung) (Akustisch)
Anbindung an externe Informationen	Meteorologische Informationen: Wind/Sturm, Niederschlag/Starkregen.		
Einwirkung bei Verkehrsweg	Hindernis und mögliche Kollision mit Fahrzeugen. Beschädigung von Signalanlagen und Oberleitungen.		
Generell verwendete Sensorik	Fernerkundung (LIDAR; Drohnen; Handlaser)		
Bestandssensorik	ASFINAG: Keine. ÖBB: Keine		
Mögliche NANJI-Sensorik	Lichtstarkes Kamerasystem mit Hinderniserkennung über Änderung der Morphologie redundant, mit Radar (Bewegung/Hindernis). Einbindung meteorologischen Informationen.		

Tabelle 9: Gefahrenprozess - Hangmure

Naturgefahrenprozess	Hangmure	Priorität ÖBB: Hang und direkter Verkehrsweg HOCH	Priorität ASFINAG: Hang und Direkter Verkehrsweg HOCH
Definition des Prozesses	Schneller Fließprozess im Lockergestein mit sehr hohem Wasseranteil.		
Voraussetzung/Auslösung	Transportierbares Lockergestein in Hanglage. (Vorbefeuchtung) Regen/Starkregen mit Abfluss. Erschütterungen (Erdbeben). Änderungen der Hangmorphologie, bzw. Nutzung (anthropogen).		
Prozesscharakteristik	Schneller Prozess (bis m/sec) mit mehreren 100 m Reichweite und teilw. erheblichem Volumen.		
Durch Sensoren erkennbare Parameter	Veränderung der Morphologie/Wasserstand	Bewegung	(Erschütterung)
Anbindung an externe Informationen	Meteorologische Informationen wie Niederschlagsmessungen und Gewitterwarnungen		
Einwirkung bei Verkehrsweg	Überflutung, Materialablagerung, Verschüttung/Zerstörung von Signalanlagen		
Generell verwendete Sensorik	Pegelradar, Geophone, Reissleine, Laser, Murgangradar		
Bestandssensorik	ASFINAG: Kein Sensormonitoring. ÖBB: Kein Sensormonitoring.		
Mögliche NANJI Sensorik	Lichtsensitives Kamerasystem mit Erkennung der Änderung der Morphologie; Stereokamera zur Volumbestimmung, Redundanz mit Radar Hinderniserkennung bzw. Pegel.		

Tabelle 10: Gefahrenprozess - Seichtgründige Rutschung

Naturgefahrenprozess	Seichtgründige Rutschung	Priorität ÖBB: Hang und direkter Verkehrsweg HOCH	Priorität ASFINAG: Hang und Direkter Verkehrsweg HOCH
Definition des Prozesses	Unter Gleiten (Rutschen) werden Prozesse verstanden, bei denen miteinander verbundene Massen des Fest- und/oder Lockergesteins entlang einer oder mehrerer Gleitflächen oder entlang dünner Zonen intensiver Scherverformung ohne Verlust des Kontaktes zum unterlagernden Material eine hangabwärts gerichtete Bewegung vollziehen.		
Voraussetzung/Auslösung	Ungünstige geotechnische Eigenschaften, Einfluss von Wasser/Feuchtigkeit, Änderungen in der Morphologie oder Nutzung (anthropogen).		
Prozesscharakteristik	Langsame bis schnelle Bewegung der Rutschmasse von mm pro Jahr bis m pro Stunde. Teilw. beträchtliches Volumen (mehrere 100 m ³).		
Durch Sensoren erkennbare Parameter	Bewegung	Änderung der Morphologie	Erschütterung Deformation
Anbindung an externe Informationen	Meteorologische Informationen: Vorbefeuchtung, Niederschlag, Starkregen.		
Einwirkung bei Verkehrsweg	Verlegung des Verkehrsweges durch die Rutschmassen. Beschädigung von Bahn- und Strassenkörper und von Signalanlagen.		
Generell verwendete Sensorik	Interferometrisches Georadar (terrestrisch und über Satellit), Terrestrisches Lidar, Deformationskamera, Total Station, GNSS(GPS)		
Bestandssensorik	ANFINAG: Kein Sensormonitoring. ÖBB: Kein Sensormonitoring.		
NANCI Sensorik	Lichtsensitives Kamerasystem mit Erkennung der Änderung der Morphologie; Stereokamera zur Volumbestimmung. Redundanz mit Radar (Hinderniserkennung).		

Tabelle 11: Gefahrenprozess - Schneelawine, Schneerutsch

Naturgefahrenprozess FOLIE 1 Schnee ASFINAG: Kein Sensormonitoring	Schneelawine/Schneerutsch	Priorität ÖBB: Hang und direkter Verkehrsweg NIEDRIG	Priorität ASFINAG: Hang und Direkter Verkehrsweg NIEDRIG
Definition des Prozesses	Schneemassen, die bei raschem Absturz auf steilen Hängen, in Gräben und ähnlichem infolge der kinetischen Energie oder der von ihnen verursachten Luftdruckwelle oder durch ihre Ablagerung Gefahren oder Schäden verursachen können		
Voraussetzung/Auslösung	Hanglage; Meteorologische Verhältnisse, wie ein rascher Temperaturanstieg, Neuschneefälle, Schneeverfrachtung durch den Wind; Zusammensetzung des Schnees und Metamorphose von Schneekristallen in der Schneedecke; Erschütterung, Auslösung durch Tiere/Menschen.		
Prozesscharakteristik	Schnelle Rutsch/Fließvorgänge mit hohen kinetischen Energien und Druckwellen mit Geschwindigkeiten bis 100 km/h und Ausdehnungen bis zu mehreren 100 Metern.		
Durch Sensoren erkennbare Parameter	Bewegung	Erschütterung	Schall (Infraschall) Änderungen in der Morphologie
Anbindung an externe Informationen	Meteorologische Informationen zu Niederschlag/Schnee, Schneehöhen (auch aus Fernerkundungsdaten); Beschaffenheit der Schneedecke (Lawinenwarndienst/örtliche Lawinenwarnkommissionen). "Lawineninfo-Österreich"		
Einwirkung bei Verkehrsweg	Verlegung des Verkehrsweges, Kollision mit Fahrzeugen, Beschädigung von Signalanlagen. Druckwelle.		
Generell verwendete Sensorik	Dopplerradar (Bewegung), Geophone, Reissleine, Infraschall, Schneehöhenmessung		
Bestandssysteme	ASFINAG: Kein Sensormonitoring. ÖBB: Kein Sensormonitoring. Organisatorische Warnstufe vorhanden.		
NANCI Sensorik	Lichtsensitives Kamerasystem, Stereokamera zur Bestimmung des Volumens; redundant mit Radar zur Erkennung der Bewegung bzw. des Hindernisses.		

4 LOW COST SENSORIK ZUR ERKENNUNG VON OBJEKTEN

Laut Projektantrag gilt „Die zu verwendeten Technologien werden kosteneffizient, sowie energieeffizient, langlebig und öffentlich beschaffbar sein. Die Komponenten arbeiten innerhalb ihrer Spezifikationen und der natürlichen Gegebenheiten ihre Funktionalität weitestgehend autark, service-arm und verlässlich. Durch die Kombination verschiedenartiger Sensoren in einem Knoten sowie der Verteilung mehrerer Knoten auf bestimmten Streckenabschnitten ist es dabei möglich, längere Streckenabschnitte als bisher abzudecken.

4.1 Kamerasysteme

Der Einsatz eine Kamera in Sensorknoten ist notwendig, da nur so eine visuelle Überprüfung von abgesetzten Alarmmeldungen durch einen Operator möglich wird. Durch die enorme Weiterentwicklung von KI-gestützten bildbasierten Analysemethoden, ist eine visuelle automatische Gefahrenerkennung im Bereich des Möglichen und wird im Projekt Nanci evaluiert. Daher kommt der Auswahl des richtigen Kamerasystems eine zentrale Bedeutung zu. Es wurden daher vier Kamerasysteme näher analysiert und deren Vor- u. Nachteile aufgezeigt (siehe dazu Tabelle 12 - Zusammenstellung der Hauptmerkmale).

Tabelle 12: Vergleich Kamerasysteme

	ArduCam	Coral	OAK-D	Baumer
Sensor	IMX 462	OV5645	IMX 378	vers.
Auflösung	2MP	5MP	12MP	vers.
Öffnungswinkel	92 Grad	84 Grad	81 Grad	vers.
Besonderheit?	Low-Light	Linux Dev Board	Spatial AI (3D)	-
Schnittstellen	USB	USB	USB	USB / Gig-E
DL Beschleuniger	-	TPU	Myriad-X	-
Hauptanwendung	Surveillance	Smart City / Manuf.	Robotik	Industrie, vers.
Kosten	~60 Euro	~130 Euro	~200 Euro	200 – 700 Euro

ArduCam: Besteht aus einem hoch sensitiven Kamerasensor der speziell für Überwachungsszenarien bei schwacher Beleuchtung ausgelegt ist. In Kombination mit einer Infrarot-Beleuchtung lässt sich somit eine dauerhafte Überwachung (auch bei Nacht) des Gefahrenbereiches sicherstellen. Benötigt aber eine extra Recheneinheit für die Bildauswertung (DL Beschleuniger nicht inkludiert).

Coral-Cam: Ein Kamerasystem, das mit einem Linux Dev-Board verbunden ist, auf dem ein DL-Beschleuniger bereitgestellt wird, mit dem eine KI-unterstützte Auswertung des Bild

ermöglicht wird. Die inkludierte Kamera ist für Aufnahmen bei schwachlicht Bedingungen nicht geeignet.

Oak-D: Ein Stereo-Kamerasystem, das ähnlich wie beim Coral-Board, eine zusätzliche Einheit für die Ausführung von DL Anwendungen besitzt. Durch die Stereokamera ist eine 3D Vermessung möglich, was die Abschätzung von Objektgrößen (z.B. bei Steinschlag) ermöglichen würde. Allerdings ist der Einsatzbereich von 3D auf maximal 20 m begrenzt. Das System ist auch nicht für Schwachlicht-Bedingungen geeignet.

Baumer: Baumer ist ein Hersteller von Industriekamerasystemen und die Eigenschaften des Kamerasystems können leichter für den Anwendungsfall adaptiert werden. So kann z.B. der Öffnungswinkel des Kamerasystems durch die Wahl entsprechender Objektive einfach angepasst werden. Schwachlicht Lösungen sind vorhanden. Diese Flexibilität wird durch einen erhöhten Preis erkaufte. Wie bei ArduCam, wird nur die Kamera geliefert, und eine extra Recheneinheit für die Bildauswertung (DL Beschleuniger nicht inkludiert) muss zusätzlich erworben werden.

Basierend auf dieser Analyse haben wir uns im Projekt für das Coral-Board entschieden. Dadurch kann ein kostengünstiges Gesamtsystem aus Kamera und Analyseeinheit als Grundbaustein für den Sensorknoten verwendet werden. Für eine vollumfängliche Überwachung auch bei Nacht kann das System leicht mit der ArduCam kombiniert werden.

Im Zuge der ersten Tests wurde festgestellt, dass die Kamera, welche eigentlich vorgesehen war (Coral Camera), wenn überhaupt, nur die unterste Grenze an Möglichkeiten (und somit eine Art Worst-case) darstellt, auch war die Schwachlichtproblematik weit signifikanter als zuerst gedacht. Es wurde daraufhin **innerhalb des Projektes die bereits beschreibende Möglichkeit der Einbindung der ArduCam** (sh. oben) beschlossen.

Das folgende Bild zeigt eine Gegenüberstellung des Unterschieds wie er auch in der Projektpräsentation Ende März 2023 gezeigt wurde. Die Bilder selbst wurden um den 25. März 2023 in Perchtoldsdorf zu Testzwecken aufgenommen.

4:45

- Google Coral →
 - Lowlight
- ↓



Abbildung 22: Beispielhafte Gegenüberstellung Kamera normal / Kamera Low Light

Zusammenfassend ist zu dieser Gegenüberstellung zu sagen, dass es unzählige Kameras auf dem Markt gibt, die die notwendigen Voraussetzungen bezüglich Schnittstellen, Preis, Auflösung und Lichtempfindlichkeit besitzen, um die definierten Testfälle umsetzen zu können. Eine kleinere Einschränkung kann nur sein, dass für die Umsetzung der Erkennungsmethodik neben den oben genannten Dingen auch der Zugriff auf den „Rohdaten-Stream“ der Kamera relevant ist, da gängige Kameras die Bilder standardmäßig komprimieren und dieser Zwischenschritt die Erkennung erschweren bzw. verunmöglichen kann. Ein weiterer Vorteil der zuletzt gewählten ArduCam ist, dass es unterschiedliche Objektivaufsätze (Weitwinkel, Teleobjektiv,...) gäbe, mit denen die Systeme noch besser auf spezielle Anforderungen angepasst werden könnten.

4.1.1 Test Stereokamerasystem Oak-D

Das untersuchte System von Oak-D arbeitet (wie viele der zur Verfügung stehenden Systeme) hauptsächlich mit Modellen, die zur Erkennung von Personen und bekannten Objekten (Fahrzeugen usw.) geeignet und optimiert sind. Dies wurde auch innerhalb des Projektes mehrmals festgestellt. Eine Erkennung spezieller Objektklassen wie innerhalb der Vorgaben definiert (Bäume, Steine,...) müsste bei einer Umsetzung durch ein spezielles Modell realisiert werden. Da dies bei einer „neuen“ Sensorklasse wie einer Stereo-Kamera innerhalb des vorgegebenen Rahmen schwer umsetzbar war, wurde besonderes Augenmerk auf die „allgemeine“ Erkennung von Objekten gelegt und nicht auf die spezielle – mit dem

Hintergedanken, dass ein angepasstes Modell in einem späteren Schritt (sollte eine Kamera als „geeignet“ erscheinen) umgesetzt werden könnte. Im Folgenden eine kurze Beschreibung der Hardware, sowie der ermittelten Ergebnisse.

4.1.1.1 Hardware

Die Kamera lässt sich in ihrer Hardware auf die zwei Stereokameras (links, rechts) und eine Farbkamera (mitte) aufteilen. Die Tiefenmessung ermöglichen die beiden Stereokameras, indem ihre Bilder interpoliert werden. Die Hersteller geben eine optimale Tiefenauflösung im Bereich von 70cm bis 8m an, wobei:

- Eine höhere Basisdistanz sowie geringerer Bildwinkel führen zu schärferer Auflösung bei größeren Distanzen, diese ist allerdings nicht einstellbar, sondern für jedes Kameramodell festgelegt.
- Die maximal erkennbare Objektdistanz ist, lt. Hersteller, bei entsprechenden Einstellungen ~15m
- (Gemeint ist: bis zu einer Distanz von 15m ist ein Fehler $\leq 10\%$ garantiert)
- Fazit: Rein von den Vorgaben entspricht das Modell nicht den Requirements. Allerdings wurde innerhalb des Projektes entschieden, den Test trotzdem durchzuführen, um etwaige ähnliche Kandidaten besser einschätzen zu können.

4.1.1.2 Ergebnisse

Es wurden Versuche zur Personen- und Fahrzeugerkennung in einer Testumgebung durchgeführt. Folgende Erkenntnisse erscheinen in der Zusammenfassung am signifikantesten:

- Bis zu einer Distanz von 10m wurde die Distanz zu den Objekten erkannt
- Der mittlere Fehler für Distanzen $< 5m$ ergibt sich zu 4.54% und der Spitzenfehler zu 8.8%
- Je weiter die Objekte von der Kamera entfernt sind, also je kleiner sie am aufgenommenen Bild/Video dargestellt sind, desto unwahrscheinlicher wird es, dass sie von der Objekterkennung erfasst werden. Objekte, die sich in einer Entfernung $> 25m$ zur Kamera befinden, werden nur sehr unständig erkannt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Distanzmessung mit Hilfe des getesteten Systems bis ~60m nicht ausreichend umgesetzt werden kann. Aus diesem Grund wurde das untersuchte Kamerasystem für das vorliegende Projekt nicht mehr in Betracht gezogen. Eine (ähnliche) Umsetzung bräuchte ein spezielles Kamerasystem mit:

- Ausreichend Abstand zwischen den Objektiven, um eine Triangulation innerhalb des Sichtbereichs zu ermöglichen.
- Ein spezielles Computermodell, um die „NANCI-Objekte“ ausreichend genau zu erkennen
- Ein angepasstes Softwaremodell, um die Objekterkennung mit der Distanzmessung zu koppeln und zu ermöglichen (ein Punkt der bei den meisten bisherigen optischen Systemen nicht beachtet wird.)

4.1.2 Technische Lösung Erkennung

Ziel der technischen Lösung ist die kontinuierliche, automatisierte Analyse von relevanten Bildregionen im Kamerabild und die Absetzung von entsprechenden Warnungen, falls Unregelmäßigkeiten im Bild, die auf eine Naturgefahr hindeuten, erkannt werden. Für die Erkennung von Naturkatastrophen setzten wir im Nanci Projekt auf Verfahren aus der künstlichen Intelligenz (Deep Learning im speziellen), die eine tiefere Analyse der Sensordaten erlauben. Zentrales Element der entwickelten Sensorbox für die Erkennung von Naturgefahren ist ein Kamerasystem, das auf einem Linux-Board mit KI-Beschleuniger aufbaut und durch eine weitere Low-Light Kamera und einer Radarlösung ergänzt wurde, um so die nötige Robustheit gegenüber extremen Lichtschwankungen sicher zu stellen. Im folgendem wird zuerst die technische Lösung der Bildanalyse und dann die Ergänzung durch Radar beschrieben.

4.1.2.1 Bildanalyse

Im ersten Jahr des Projektes wurde der Fokus der Entwicklung auf das Kamerasystem und der darauf aufbauende Bildanalyse basierend auf Deep Learning Methoden gesetzt. Der erste Schritt der Bildanalyse basiert auf einer semantischen Bildsegmentierung, mit der eine pixelgenaue Zuordnung von Bildbereichen zu davor definierten Kategorien wie z.B. Vegetation, Schiene oder Straße generiert werden kann. Dadurch werden die für die weitergehende Analyse relevanten Bildbereiche identifiziert und für die weitergehende Anomalie-Erkennung vorbereitet. Die technische Umsetzung der einzelnen Komponenten ist in den folgenden Abschnitten detailliert beschrieben.

Grundelement der Bildanalyse ist ein Segmentierungsalgorithmus, der auf dem beliebigen DeepLabv3 Modell [1] aufsetzt und für den Einsatz auf den Sensorknoten (Coral-Board) optimiert wurde. Dadurch ist eine zeitnahe Analyse der Bilder möglich (< 1 Sekunde). Abb. 24 zeigt exemplarisch den Aufbau des neuronalen Netzes für die Bildsegmentierung. Über eine Merkmalspyramide werden Bildausschnitte verdichtet und anhand der Merkmale dann in

vorgegebenen Kategorien klassifiziert. Das Ergebnis ist eine Merkmalskarte, die den Bereich identifiziert, der das Merkmal beschreibt (z.B. den Überflutungsbereich in Abb. 24 in pink).

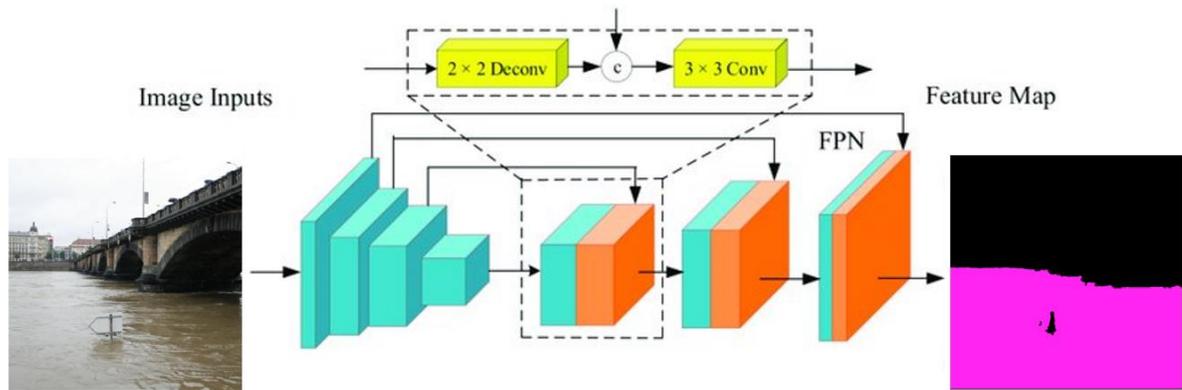


Abbildung 23: Beispielarchitektur des neuronalen Netzes zur Bildsegmentierung.

Im ersten Abschnitt des Projektes wurden drei Segmentierungsmodelle für folgenden Aufgaben erstellt:

- ASFINAG: Ein Modell zur Segmentierung von Straßenszenen basierend auf dem CityScapes Datensatz [2]
- ÖBB: Ein Modell zur Analyse von Gleisabschnitten und Umgebung basierend auf dem RailSem19 Datensatz [3]
- Überflutung (in Kombination mit ASFINAG/ÖBB Modell): Ein Modell zur Erkennung von Überflutungsbereichen im Bild basierend auf einem Datensatz mit Bildern von Überflutungen aus dem Jahre 2013 [4].

4.1.2.2 Anomalie-Erkennung

Die im Projekt anvisierte Anomalie-Erkennung basiert auf einem statistischen Ansatz (Density Estimation). [5] gibt einen guten Überblick über den aktuellen Wissensstand und Vor- und Nachteile verschiedener Verfahren. Wir entschieden uns für den statistischen Ansatz aufgrund des geringen Ressourcenverbrauchs der Methode, was eine Ausführung auf dem Sensorknoten zulässt.



Abbildung 24: Ablauf der Anomalie-Erkennung basierend auf der Bildsegmentierung und synthetisierten Vergleichsbildern.

Abb. 24 zeigt den Ablauf einer Anomalie-Erkennung. Das von der Kamera aufgenommene Bild wird zuerst mit Hilfe der Bildsegmentierung in die für die Analyse relevanten Bereiche segmentiert. Im Falle der ÖBB ist das z.B. der Schienenstrang bzw. bei der Asfinag der Straßenbereich. Dieser Bereich wird dann auf Unregelmäßigkeiten untersucht und mit einem Satz von zuvor synthetisierten Bildern (aus der Einlernphase) verglichen. Dazu wird zuerst der relevante Bildausschnitt in kleine Bildausschnitte aufgeteilt, die dann auf die vom AI-Modell vorgegebene Eingangsgröße skaliert werden. Abb. 25 zeigt exemplarisch diesen Extraktionsprozess anhand einer Aufnahme von der Teststellung in Struden. Zuerst wird der Schienenverlauf extrahiert (Abb. 25, links) und dann dem Schienenverlauf folgenden Bildausschnitte mit zunehmender Größe extrahiert (Abb. 25. rechts).

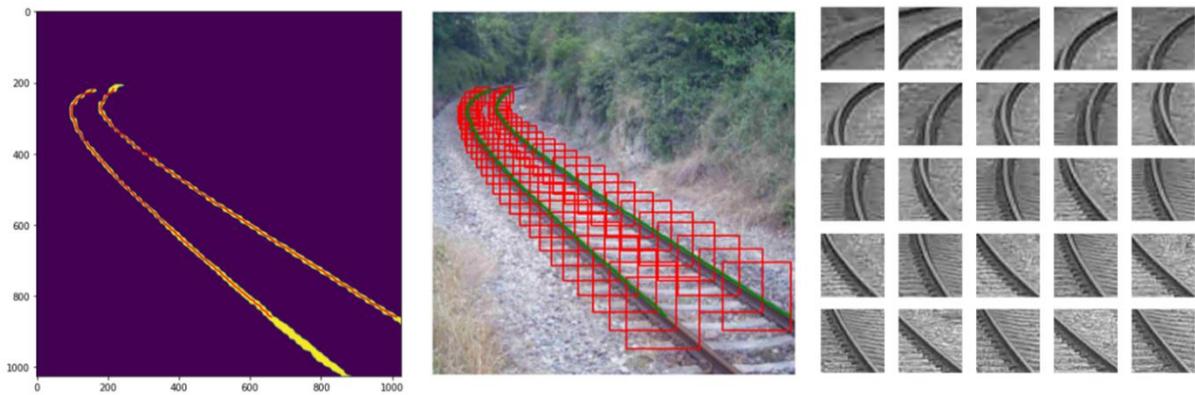


Abbildung 25: Generierung von Bildausschnitten für die Anomalie Erkennung. Zuerst wird der Schienenverlauf extrahiert (links) und dann dem Schienenverlauf folgenden Bildausschnitte (mitte) mit zunehmender Größe extrahiert (rechts).

Die extrahierten Bildausschnitte werden dann mit einem auf Deep-Learning basierenden Neuronalen Netzwerk (basierend auf der Arbeit von [6]) auf Anomalien geprüft. Dieser Vorgang basiert auf einem Distanzvergleich der Pixelrepräsentation des aktuellen Bildes mit den synthetisierten Bildern im Hintergrundmodell. Kommt es zu einer deutlichen Abweichung in einer Region im Vergleich zu erwartender Variabilität in diesem Bereich, dann wird eine Warnung generiert. Entscheidend für eine gute Erkennungsleistung ist eine breite Auswahl von Referenzbildern, die den Normalzustand der Strecke für verschiedene Licht- und Wetterphänomene abbilden. Dieses Set an Bildern wird für das Anlernen des Neuronale Netzwerk herangezogen. Da von der Strecke im Normalfall keine Bilder mit Anomalien vorliegen, werden diese synthetisch mit dem Verfahren Cut&Paste [7] erzeugt. Abb. 26 zeigt ein paar Beispiele für normal und synthetisierte Anomalien.

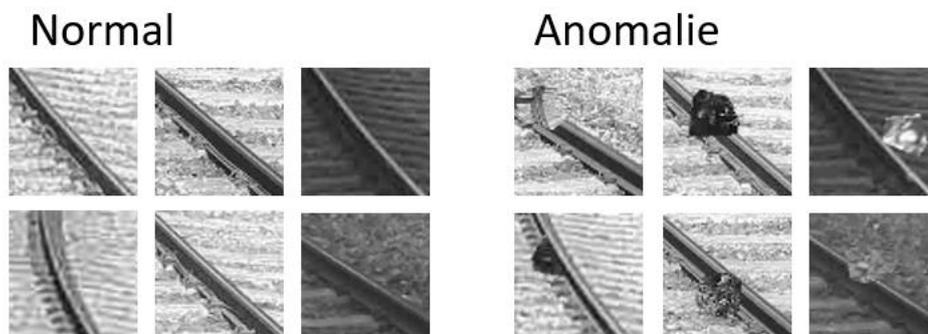


Abbildung 26: Bilder aus dem Trainingsset für die Erstellung eines Neuronalen Netzes zur Erkennung von Anomalien.

Wir gehen davon aus, dass es gerade kurz nach der Anlernphase gelegentlich zu Fehlwarnungen kommen kann. Diese können von einem Analysten dann in das Trainingsset eingespielt werden, um so den zukünftigen Vergleich robuster gegen solche Abweichungen zu machen. Abbildung 27 zeigt den geplanten Prozess zur Optimierung der Naturgefahrenerkennung.

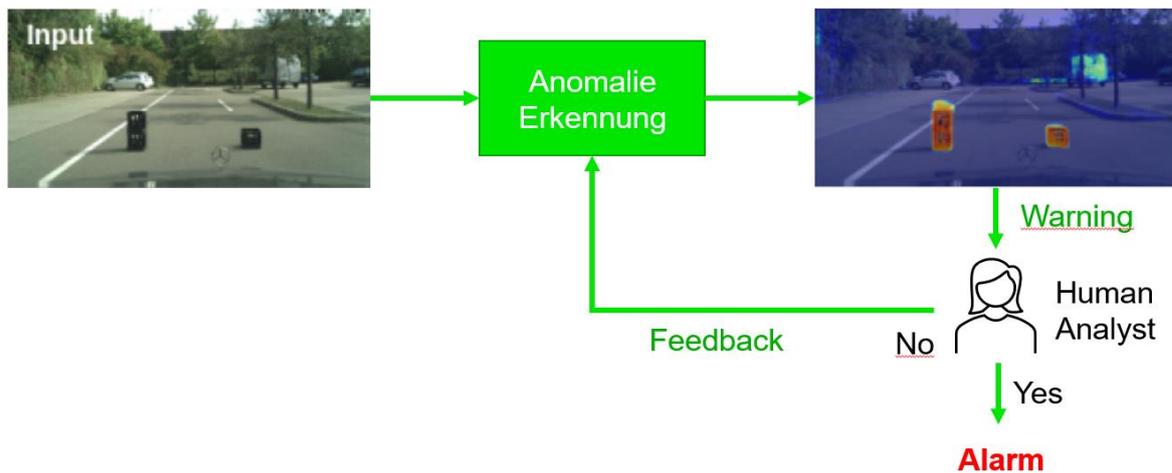


Abbildung 27: Prozess zur kontinuierlichen Verbesserung der Anomalie-Erkennung

4.1.2.3 Erweiterung Asfinag

Die Schwierigkeit beim Autobahn Use-Case liegt in der Besonderheit, dass durch den Autoverkehr die gesamte Fahrbahn nie komplett sichtbar ist, und dadurch die Anomalie-Erkennung erschwert wird. Um dem entgegenzuwirken, wird aus mehreren Einzelbildern eine leere Fahrbahn rekonstruiert. Auf diesem Bild ohne Fahrzeuge wird dann die Anomalie-Erkennung wie oben beschrieben durchgeführt. Abbildung 28 zeigt beispielhaft die Generierung des Bildes aus einer Serie von mehreren Bildern im Frühverkehr auf der Autobahn A21.



Abbildung 28: Generierung Bild der Fahrbahn ohne Verkehr durch Mittelung einer Serie von Einzelbildern.

4.1.2.4 Ergebnisse

Im ersten Abschnitt des Projektes wurde die technische Lösung der Naturgefahrenerkennung basierend auf Bilddaten entwickelt und Anhand von zwei Testszenarien evaluiert (ÖBB Use Case in Blumau-Neurishof; Asfinag Use Case auf dem Firmengelände von Swarco).

Teststellung 1 fand am 21.11.2022 auf der aufgelassenen ÖBB-Strecke in Blumau-Neurishof statt. Das Auftreten einer Anomalie wurde durch das Auslegen von Gegenständen (Steine, Baumstamm, Kiste, Palette) auf dem Gleisstrang simuliert (siehe Abb. 29).



Abbildung 29: Simulation von Naturgefahren (Steinschlag, Erdbeben) durch vier verschiedenen Objektklassen (Baumstumpf, Stein, Kiste, Palette).

Die Anlernphase bestand aus Bildern, die zu einem späteren Zeitpunkt über zwei Tage gesammelt wurden. Das Anomalie-Erkennungsmodell wurde mit dem oben beschriebenen CutPaste Verfahren trainiert und hat zu keinem Zeitpunkt eine der vier Objektklassen in Abb. 29 gesehen. Die Evaluierung basiert auf einzelnen Bildausschnitte, die separat analysiert werden, um so eine möglichst gute Bildsegmentierung entlang des Schienenstranges zu

bekommen. Dadurch kann die hohe Auflösung der Kamera optimal für die Segmentierung verwendet werden. Das Ergebnis der Evaluierung ist in Abb. 30 dargestellt.

Klassifikationsergebnis:

	Precision	Recall	F1 Score	Support
Inlier Class	0.98	0.98	0.98	786
Outlier Class	0.70	0.67	0.69	46

Confusion Matrix:

	Inlier Pred	Outlier Pred
Inlier Class	773	13
Outlier Class	15	31

Abbildung 30: Klassifikationsergebnis für den Feldtest in Blumau-Neurisshof.

Von 786 Bildausschnitten ohne Anomalie wurden 773 richtig klassifiziert. Die 13 Fehlklassifikation beruhen auf Laub auf der Strecke, das so nicht in den Trainingsdaten enthalten war (zu kurze Anlernphase). Durch das Erweitern des Trainingsatzes mit Bildern das Laub auf der Streck zeigt, konnten die 13 Fehlklassifikationen vollständig eliminiert werden. Dieses Beispiel verdeutlicht die Wichtigkeit eines repräsentativen Anlernsatzes, der die volle zu erwartende Variabilität an der Strecke abdeckt. Die Erkennung der Anomalien war zufriedenstellend. Es wurden 31 von 46 Bildausschnitte richtig erkannt. Durch das CutPaste Verfahren werden Objekte tendenziell eher in der Bildmitte platziert, was dazu führt, dass Objekte am Bildrand schlecht bis kaum erkannt werden, was die Erkennungsrate von 69% (F1-Score) erklärt. Da aber die Auswertung im Demo-Betrieb mit stark überlappenden Bildbereichen durchgeführt wird, sollte es immer ein Bildausschnitt geben, indem das Hindernis in der Bildmitte aufscheint und damit zuverlässig erkannt wird.

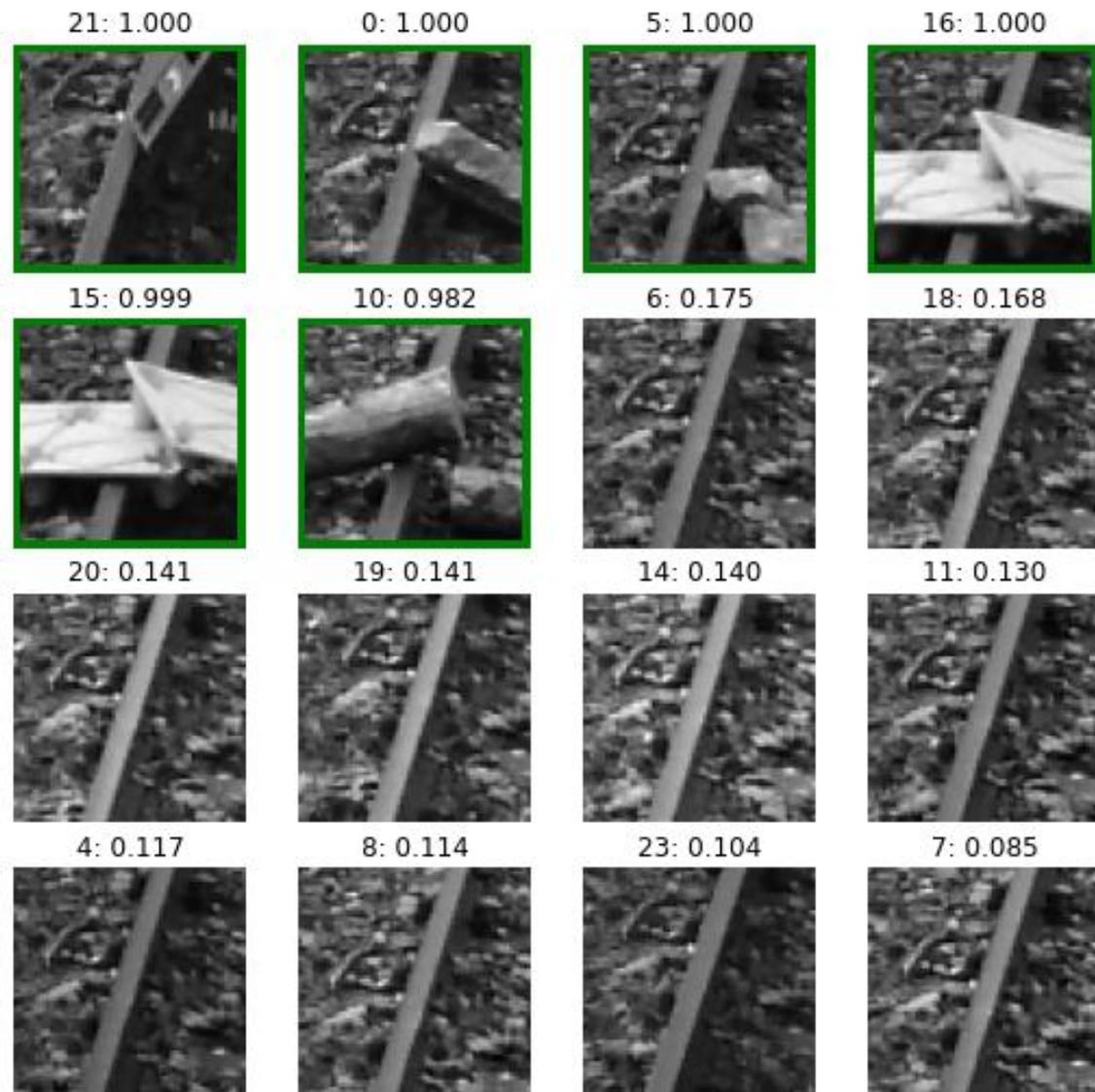


Abbildung 31: Ergebnis der Anomalie-Erkennung. Hindernisse werden mit hoher Zuverlässigkeit erkannt.

Abbildung 31 zeigt das Ergebnis der Anomalie-Erkennung an einem Punkt des Gleisstranges. Die 4 Anomalie-Klassen werden mit hoher Zuverlässigkeit erkannt.

Teststellung 2 fand am 21.11.2022 auf dem Firmengeländer der Swarco statt. Der Anlernsatz bestand lediglich aus einem kleinen Set von Bildern und war daher nicht repräsentativ. Daher wurde die Evaluierung nur qualitativ durchgeführt. Das gelernte Modell konnte die verschiedenen Anomalie-Klassen im vorderen Straßenbereich zuverlässig erkennen, hat aber Schwierigkeiten im weiter entfernten Teil der Straße.



Abbildung 32: Beispiel der Teststellung vom 21.11.2022, Objekt im vorderen Erkennungsbereich

4.1.2.5 Literatur zur technischen Lösung für die Bilderkennung

- [0] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, 521(7553), 436-444.
- [1] Chen, Liang-Chieh, et al. "Rethinking atrous convolution for semantic image segmentation." *arXiv preprint arXiv:1706.05587*. 2017.
- [2] Cordts, Marius, et al. "The cityscapes dataset for semantic urban scene understanding." *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. 2016.
- [3] Zendel, Oliver, et al. "Railsem19: A dataset for semantic rail scene understanding." *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 2019.
- [4] Björn Barz, Kai Schröter, Moritz Münch, Bin Yang, Andrea Unger, Doris Dransch, and Joachim Denzler.
["Enhancing Flood Impact Analysis using Interactive Image Retrieval of Social Media Images."](#)
Archives of Data Science, Series A, 5.1, 2018.
- [5] Yang, Jie, et al. "Visual anomaly detection for images: A survey." *arXiv preprint arXiv:2109.13157*. 2021.
- [6] Liznerski, Philipp, et al. Explainable deep one-class classification. *arXiv preprint arXiv:2007.01760*, 2020.
- [7] LI, Chun-Liang, et al. Cutpaste: Self-supervised learning for anomaly detection and localization. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2021. S. 9664-9674.

4.2 Radarsensorik

Innerhalb des Projektes war die Vorgabe auch radar-basierte Systeme zu nutzen eine schwierig zu erfüllende.

Auf dem Markt zu finden ist Radar-Sensorik für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle. Unter anderem zu finden sind unterschiedliche Modelle für die in der folgenden Tabelle angegebenen Use Cases. Es ist dabei jeweils ein konkretes Modell der Sensorik, welches bei der Recherche zu diesem Punkt ins Auge gestochen ist, angegeben um die möglichen Eckdaten und Unterschiede darstellen zu können. Festzuhalten ist, dass es sich um „typische“ Vertreter der Sensorik handelt und andere Modelle in Details wohl unterschiedlich sein können.

Tabelle 13: Typen von Radarsensoren und Use Cases

	Hang/Lawinen-radar https://www.geopraevent.ch/technologien/lawinenradar/	Bewegungsmelder RAD-MOD Radar-Bewegungsmelder	Wasserstand RR30.DA00-GGPI.9VF	Fahrzeug/Front https://www.bosch-mobility-solutions.com/de/loesungen/sensoren/front-radarsensor/
Größe	25 x 40 x 7 cm / 50kg	7.3 x 2.6 x 1.6 cm	3 x 10.7 cm /	6.3 x 7.2 x 1.9 cm
Reichweite/ Abdeckung/ Öffnungswinkel	5km / mehrere km ² / horizontal: 90° / vertikal: 20°	4-15 m / horizontal: 80° / vertikal: 32°	0.5-60 m / 6°	210 m / horizontal: 60° / vertikal: 15°
Besonderheit?	meist geschlossenes Gesamtsystem / Alarmsystemtauglich		Verschiedene Profile (zeitliche Auflösung usw.)	Erkennung von bewegten Objekten
Schnittstellen	Weboberfläche / App	Open Kollektor / Analog	O-Link V1.1	1 x CAN-FD, 1 X CAN-FD, Flexray oder 100BaseT1 Ethernet
Vorverarbeitung	ja	nein	nein	ja - Objekterkennung
Kosten	Mehrere 10.000€	~40€	~5€	Mehrere 1000€

Die in der Tabelle verglichenen Modelle sind:

- AVYX Lawinenradar - <https://www.geopraevent.ch/technologien/lawinenradar/>
- RAD-MOD Radar-Bewegungsmelder – z.B. <https://www.reichelt.com/ch/de/bewegungsmelder-radar-20--60-c-hyg-rad-mod-p117276.html?CCOUNTRY=459&LANGUAGE=de&&r=1>
- RR30.DA00-GGPI.9VF – z.B. <https://www.baumer.com/ch/de/produktubersicht/distanzmessung/radarsensoren/radarsensoren-mit-io-link/rr30-dao0-ggpi-9vf/p/42888>

- Bosch Mobility Front-Radarsensor - <https://www.bosch-mobility-solutions.com/de/loesungen/sensoren/front-radarsensor/>

Basierend auf den bekannten Anwendungsfällen wurden für die Radar-Sensorik folgende Requirements definiert.

1. Objekterkennung innerhalb von 5-100m
2. Technologisch „offene“ Schnittstelle (USB, seriell, I2C,...)
3. (relativ) Low Cost (innerhalb des Projektes als <5000€ definiert)
4. Kleine und kompakte Bauweise
5. Erkennung von bewegten Objekten
6. Erkennungsmodelle, die die „Anwesenheit“ von Objekten (nach vorab definierten Vorgaben) ermöglichen
7. Auslesen der erkannten Modelle mittels „smarter“ Schnittstelle (hier ist gemeint, dass der Sensor bereits vorab die Objekte erkennt und keine Signalverarbeitung seitens der Sensorknoten notwendig ist)

Diese Requirements wurden von keiner der untersuchten Technologien vollkommen zufriedenstellend abgedeckt, allerdings wurde innerhalb des Projektkonsortiums entschieden, dass auf Basis der Requirements am ehesten ein Front-Radar für den Automotive-Bereich in Frage kommt, da diese Systeme am ehesten den gewählten Vorgaben entsprechen. Folgende Vorgaben erfüllen dabei die meisten Vertreter dieser Kategorie:

1. Objekterkennung innerhalb von 5-100m
2. Technologisch „offene“ Schnittstelle (USB, seriell, I2C,...)
3. (relativ) Low Cost (innerhalb des Projektes als <5000€ definiert)
4. Kleine und kompakte Bauweise
5. Erkennung von bewegten Objekten

Gerade der letzte Punkt ist es allerdings, der einer kritischen Betrachtung standhalten muss (bei jeglichen Modellen der Kategorie Automotive Front-Radar). Zwar ist vom grundlegenden, „eigentlichen“ Anwendungsfall inhärent gegeben, dass bewegte Objekte wie Personen und andere Verkehrsteilnehmer von dieser Sensor-Klasse erkannt werden müssen, allerdings sind die Details des impliziteren Erkennungsmodells von Sensor zu Sensor unterschiedlich. Womit auch die beiden letzten Requirements (Nummer 6 und 7) zumindest nicht als gegeben angenommen werden können.

Eine weitere Schwierigkeit ergab sich, da Radar-Systeme für den Automotive Bereich zwar prinzipiell frei erhältlich sind, die Hersteller allerdings sehr stark auf das Business2Business-Vertriebsmodell fokussiert sind, was das Beziehen eines einzelnen solchen Systems für die projektinterne Evaluierung erschwert und verzögert hat.

Die Wahl fiel auf den Radarknoten UMRR-11 Type 132 der Firma SmartMicro. Laut Datenblatt des Sensors gilt für diesen (Übersetzung aus dem Datenblatt):

https://www.smartmicro.com/fileadmin/media/Downloads/Automotive_Radar/Sensor_Data_Sheets_76-81GHz/UMRR-11_Type_132_Automotive_Data_Sheet.pdf

- UMRR-11 Typ 132 ist ein 77-GHz-Radarsensor für mehrspuriges, objektverfolgendes Verkehrsmanagement unter Anwendung von 4D/UHD-Technologie.
- Das Sichtfeld und die maximale Reichweite kann je nach Bedarf aus den verfügbaren Modellen ausgewählt werden können. Die Antenne Typ 132 zielt auf eine große Reichweite und einen großen horizontalen Abstrahlwinkel. Sie bietet folgende Merkmale:
 - einen Breitstrahlmodus mit mittlerer Reichweite
 - einen Modus mit großer Reichweite und engerem Sichtfeld
- Der Sensor ist nahezu unabhängig von Wetter, Temperatur und Lichtverhältnissen.
- Es widersteht hohen Schock- und Vibrationsbelastungen, ist wartungsfrei und auf eine lange Lebensdauer ausgelegt.
- Die Sensoren können Ziele von Natur aus in zwei Dimensionen unterscheiden: Entfernung und Geschwindigkeit. Das Senden, Empfangen, und die Verarbeitung einer einzigen linearen Frequenzrampe (Chirp) ermöglicht es dem Radar, mehrere Ziele innerhalb des Sichtfelds des Radars zu erkennen und separieren.
- Erkennung von Personen, Motorrädern, Personenkraftwagen und LKWs in einer Distanz zwischen 50 und 300m (vgl. Grafik)
- Interface des Sensors basiert auf CAN bzw. Ethernet

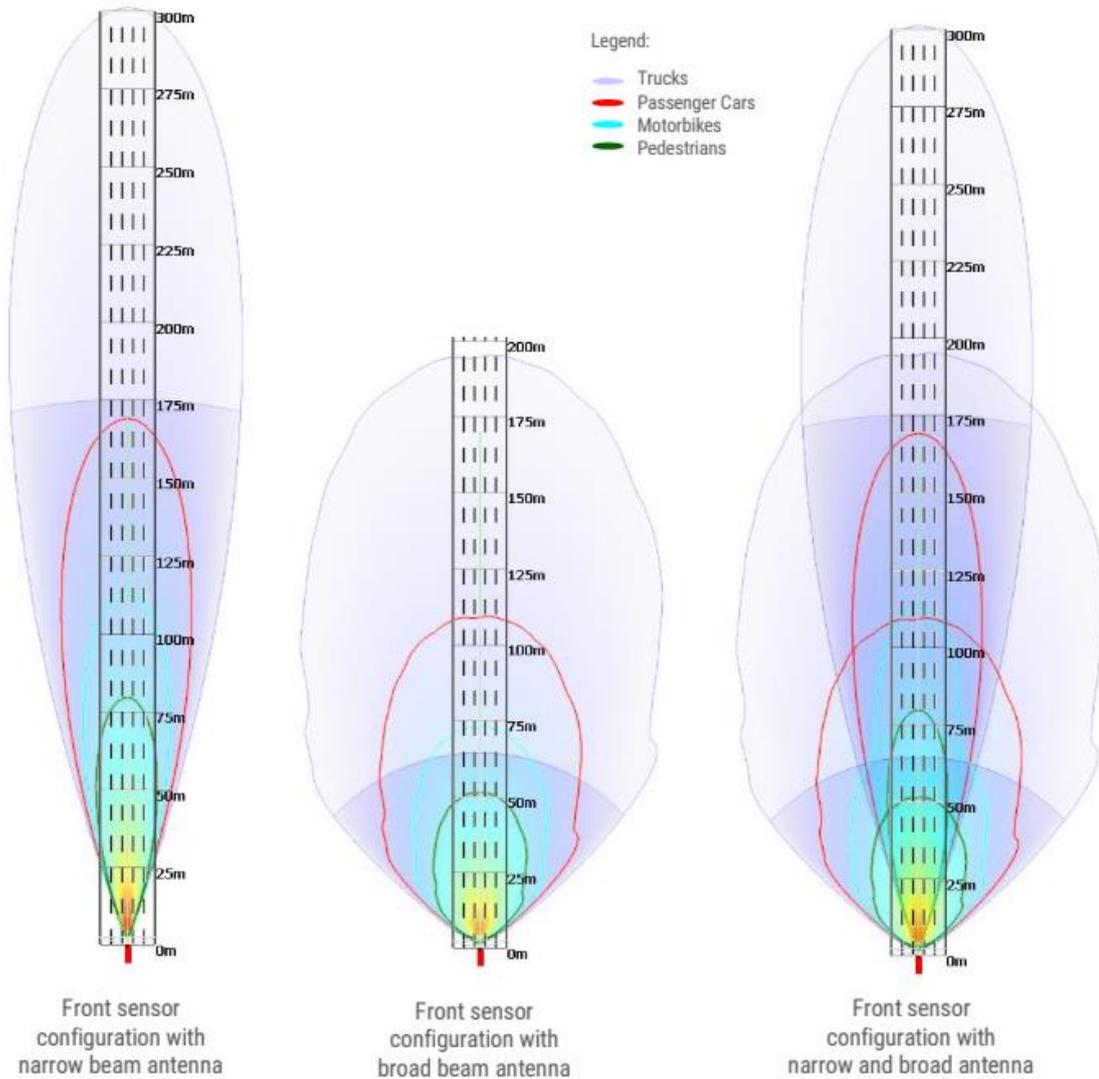


Abbildung 33: Sichtbereiche des Automotive Front Radars UMRR-11 Typ 132 der Firma SmartMicro (Bild übernommen aus dem Datenblatt,

Quelle:

https://www.smartmicro.com/fileadmin/media/Downloads/Automotive_Radar/Sensor_Data_Sheets_76-81GHz/UMRR-11_Type_132_Automotive_Data_Sheet.pdf

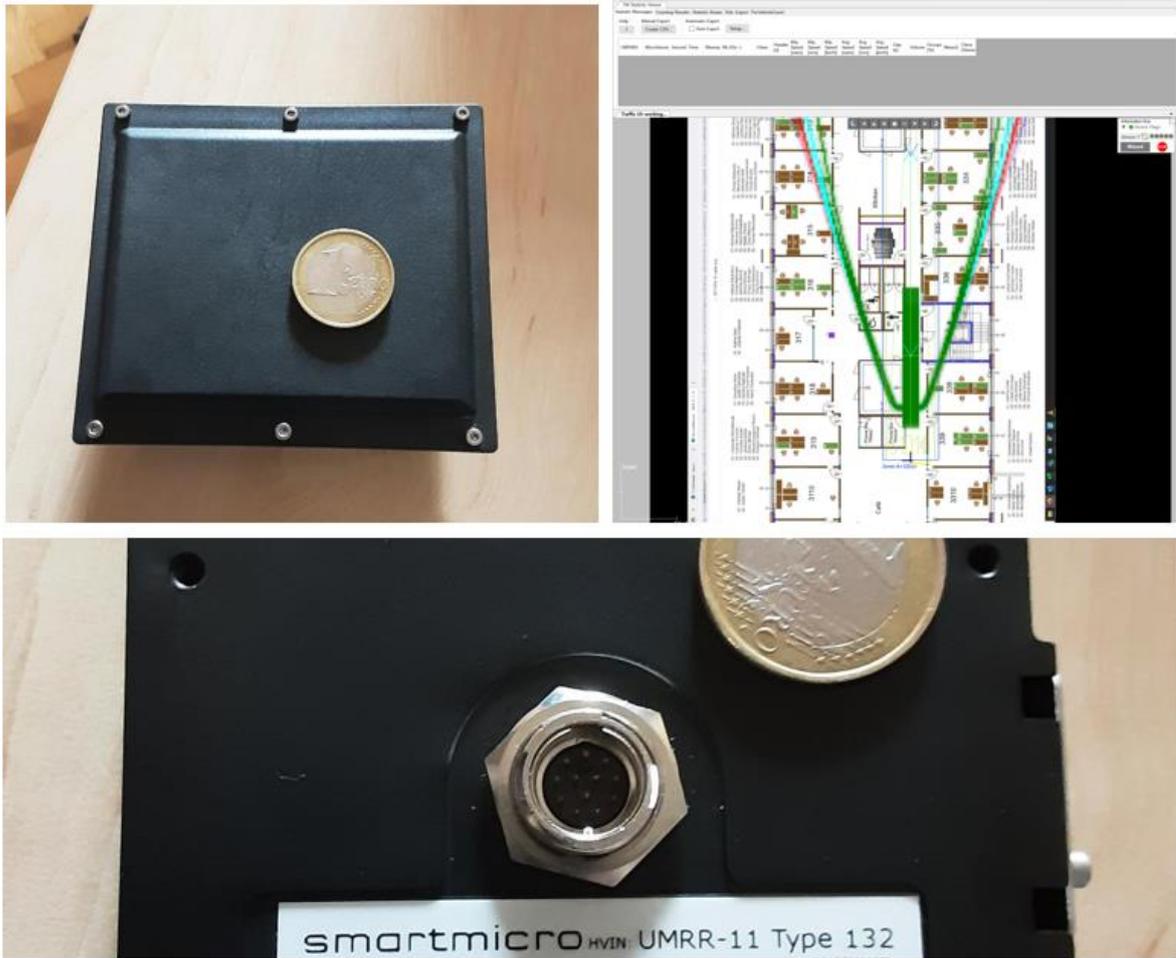


Abbildung 34: Radarknoten von SmartMicro

Nach Inbetriebnahme des Sensors konnten auf Grund des fortgeschrittenen Projektverlaufs nur zwei (grundlegende) Testreihen durchgeführt werden:

- Testreihe 1: Büroumgebung, Erkennung von Personen (da diese dem zugrundeliegenden Erkennungsmodell entsprechen)
- Testreihe 2a: Straßenumgebung, Erkennung von Personen und Motorräder (da diese dem zugrundeliegenden Erkennungsmodell entsprechen)
- Testreihe 2b: Straßenumgebung, Erkennung von NANJI-Objekten

Die Testreihen wurden mit Hilfe einer von SmartMicro zur Verfügung gestellten Testsoftware durchgeführt. Die Hauptfragen waren:

- Wird das Objekt erkannt
- Wird das Objekt richtig klassifiziert*
- Wird die Entfernung des Objektes richtig angegeben

* Die Klassifizierung der Objekte konnte nur anhand des vorgegebenen Erkennungsmodells von SmartMicro durchgeführt werden (Personen, Motorräder, Fahrzeuge), weil eine Neuentwicklung eines radarbasierten Erkennungsmodells für die „NANCI-Objekte“ (Steine, Baumstämme, Überflutungen, Sedimentablagerungen) innerhalb des Projektes NANCI nicht möglich war.

Zusammenfassung der Ergebnisse

- Radar detektiert „vorgesehene“ Klasse an Objekten sehr gut (in diesem Fall also Personen bzw. Motorrädern)
- Radar filtert „falsche“ Objekte sehr gut (im vorliegenden Fall, also alles „außer“ Personen bzw. Motorräder)
- Die Klassifizierung der Objekte ist weitgehend richtig
- Die Distanzen sind richtig angegeben
- „NANCI-Objekte“ für Radar nicht/schwer erkennbar
- Trotz anders lautender Angaben auf der Herstellerhomepage: nicht-bewegte Objekte werden nicht erkannt, es werden Objekte erkannt, die sich in den Erfassungsbereich „hineinbewegen“ – und diese können eine Zeit lang „gepuffert“ werden. Sobald die Objekte eine Weile statisch sind, werden sie aus der Erkennungslogik „gelöscht“.
- Es konnten keine Unterschiede zwischen Büro- und Straßenumgebung festgestellt werden, die Erkenntnisse decken sich sehr gut.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für innerhalb von NANCI definierten Use Cases Automotive Front Radar Sensorik am ehesten geeignet scheint. Allerdings gibt es momentan auf dem Markt keinen Sensor, der dem Projektkonsortium bekannt ist, der „out of the box“ die notwendigen Objekte erkennen würde. Das wird als größte Schwierigkeit seitens des Projektkonsortiums für eine Umsetzung gesehen.

Hier müsste der Hersteller des Radarsystems eine Anpassung des Erkennungsmodells vornehmen. Es wird angenommen, dass dies ähnlich komplex wäre wie das Anpassen eines

solchen Modells bei bildgebenden Verfahren ist. Der Ersteller des Modelles (ob es sich um den Sensorhersteller oder eine andere Partei handelt) bräuchte eine große Menge an fertig klassifizierten Trainingsdaten. um die Sensorik ausreichend zu trainieren.

Darüber hinaus gibt es bei Radar-Sensorik immer das weitere Problem, dass prinzipiell nur bewegte Objekte erkannt werden können (also statische Objekte „unsichtbar“) sind. Dies wird bei Automotive-Sensorik meist ausgeglichen, da sich der Sensor selbst (mit dem Auto) bewegt und somit eine Bewegung im Bezugssystem stattfindet. Da dies bei NINCI durch statisch montierte Sensoren nicht der Fall wäre, muss auch das bei einer möglichen Verwendung des Sensors bedacht werden. Die untersuchte Sensorik von SmartMicro hat allerdings eine Art „Hysterese“-Funktion, die einmal erkannte Objekte, auch wenn sie sich nicht mehr bewegen, für eine bestimmte Zeit im internen Speicher behalten. Es wird vom Konsortium angenommen, dass eine kurzfristige Bewegung durch ein fallendes Objekt oder ähnliches durchaus geeignet ist als „Trigger“ in einer späteren Erkennung oder Validierung durch eine andere Art der Sensorik (z.B. visuell) zu fungieren.

5 VERTEILTE MULTI-SENSOR-SYSTEME

5.1 Allgemein

Laut Projektantrag ist das Hauptziel des Projektes ein modulares und skalierbares System flächig anzuordnender, verteilter Sensorknoten zu entwickeln und zu demonstrieren. Das System soll mittels eines kombinierten Sensor-Ansatzes (Kamera, Radar, Integration Bestandssysteme) und Edge-Computing, basierend auf vertrauenswürdigen und öffentlich beschaffbaren Komponenten, mögliche Naturgefahrenprozesse - wie sie verstärkt bei Extremwetterereignissen vorkommen - auf effiziente Art und Weise detektieren und melden.

Neben den betrieblichen Anforderungen an ein System, die Komponenten und einen Standort wurde innerhalb des Projektteams (und auch im Austausch mit den Stakeholdern) lange darüber gesprochen, welcherart das zu entwickelnde System im Zusammenhang mit den innerbetrieblichen Prozessen und Abläufen hinsichtlich „Warnungen“ und „Alarmen“ sein soll. Während im sprachlichen Gebrauch zwischen einer Warnung und einem Alarm – je nach Organisation strenger oder weniger streng unterschieden wird, gelten für so genannte „Warn- und Alarmsysteme“ laut „Überwachungssysteme für gravitative Naturgefahren Handbuch“ des Bundesamts für Umwelt (BAFU) der Schweizer Eidgenossenschaft aus dem Jahr 2020 unter anderem die folgenden Annahmen:

Warnsystem lt. Definition BAFU 2020:

- Funktion: Messung von Anzeichen eines bevorstehenden Ereignisses
- Vorlaufzeit: Stunden bis Wochen
- Aktionen: Interpretation der Erkenntnisse durch Experten, durch welche mögliche Maßnahmen ausgelöst werden.
- Anwendung: Sich langsam und kontinuierlich entwickelnde Naturprozesse (z.B. Felswände, Rutschungen)
- Messgrößen: Deformation, Niederschlag, Schneehöhe, Pegel, Temperatur, Aktivität (z.B. Steinschlag, Lawinen), Erschütterung
- Technologien:
 - Interferometrisches Georadar
 - Deformationskamera
 - Kluftrastmessgeräte
 - Druck-, Neigungsmessgeräte
 - Bewegungssensoren, GPS
 - Wetterstationen

Alarmsystem lt. Definition BAFU 2020:

- Funktion: Automatische Erkennung des Ereignisses selbst
- Vorlaufzeit: Sekunden bis Minuten
- Aktionen: Sofortige und automatische Aktionen, wie z.B. Sperrung von Straßen, Bahnen oder Evakuierung (z.B. Baustellen).
- Anwendung: Spontan auslösende oder schnell aufbauende Naturprozesse (z.B. Lawinen, Murgänge)
- Messgrößen: Deformation, Geschwindigkeit, Druck, Fließhöhe, Pegel, Erschütterung
- Technologien:
 - Lawinenradar
 - Steinschlagradar
 - Personenradar
 - Pegelmessungen
 - Reißleinen

Auch wenn das geplante System durchaus in der Lage sein soll, Anwendungen und Technologien einzubinden, die laut dieser Definitionen eigentlich einem „Alarmsystem“ entsprechen, wurde aus (unterschiedlichen) Gründen mit den Stakeholdern vereinbart, dass das Resultat des Projektes NANJI immer als Warnsystem zu kategorisieren ist. Die Gründe dafür sind:

Vorlaufzeit: Zum Zeitpunkt der Berichtslegung kann auf Grund der bislang nicht erprobten Radar/Lidar-Sensorik nicht von einer zuverlässigen Erkennung von Naturgefahrenprozessen während der Nachtstunden ausgegangen werden. Auf Grund dessen, muss momentan von einer Vorlaufzeit im „Stunden“ Bereich ausgegangen werden – eindeutig eher im Bereich eines Warnsystems.

Aktionen: Auch wenn eine (halb-)automatische Erkennung realisiert werden soll, kann auf Grund des experimentellen Charakters des gesamten Setups nicht auf eine Experteneinschätzung bei Folgemaßnahmen verzichtet werden. Auch ist die Gefahr so genannter „False Positives“ ebenfalls durch den Versuchscharakters des Projektes gerade in der Testphase zu hoch, um automatische Betriebssperren, wie es ein „Alarmsystem“ beinhalten würde, zu vertreten.

5.2 Schnittstellen

Prinzipiell wurde bereits im Projektantrag eine mögliche Einbindung des Zielsystems in eine übergeordnetes (Management)-System skizziert. Diese Verbindung an ein übergeordnetes Bestandsystem sollte (wenn notwendig) erkannte kritische Situationen mittels Mobilfunklink, Web-Technologien und offener Daten-Definitionen (json, xml) realisiert werden. Da eine Integration in die Bestandsysteme der Stakeholder ASFINAG und ÖBB auf Grund der weitreichenden Netzwerk- und Systemsicherheitsvorgaben derselben allerdings zeitlich innerhalb des Projektzeitraums schwer realisierbar sind, wurde mit den Vertretern der ASFINAG und ÖBB (Hrn. Berghold und Stern) vereinbart, dass eine „Warnung“ des Testsystems über eine relativ niedrighschwellige technologische Umsetzung (SMS, Email) innerhalb des Projektes ausreicht.

Auf Basis dieser Entscheidung hat das Konsortium eine solche Warnung auf einem der vorgeschlagenen Kommunikationswege umgesetzt, da die Umsetzung einer (ausreichend abgesicherten) M2M-Schnittstelle (machine2machine) nicht mit den Ressourcen des Projektes (besonders der zeitlichen Vorgaben) realisierbar schien. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass eine solche Einbindung zwar ressourcen- und zeitintensiv ist, allerdings (aus technologischer Sicht) keine ausreichend große Problematik darstellt, um sie im Zuge eines forschungslastigen Projektes umzusetzen.

5.3 Systemaufbau und Überlegungen

Die bereits im Antrag illustrierte mögliche System-Skizze hat auch im Projektverlauf den Entwicklungen standgehalten und muss nur dahingehend geändert werden, dass das „Lokale Logik“ genannte Modul von einer der Sensorboxen selbst bzw. deren Berechnungseinheit übernommen wird, die „Lokale Logik“ somit keine eigene physische Einheit bleibt, sondern zu einer rein logischen Einheit wird. Dies hat den Vorteil, dass einzelne Knoten – theoretisch – Funktionalitäten der logischen Einheit bereits im Knoten übernehmen können, andererseits kann man sich durch die Auswahl der Verarbeitungseinheiten innerhalb der einzelnen Knoten physische Einheiten ersparen.

Systemskizze NANCI

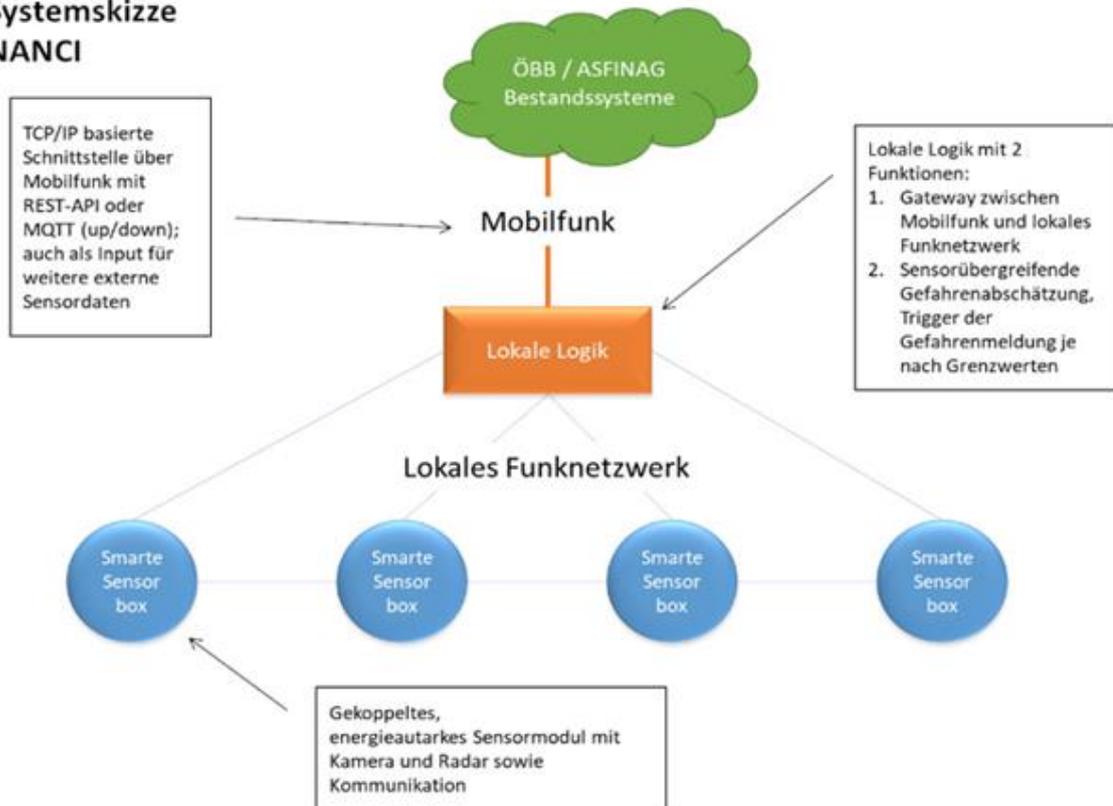


Abbildung 35: Systembild laut Antrag

Ausschlaggebend für die Entwicklung eines modular erweiterbaren Sensorknotens waren die folgenden Vorgaben, die aus den Projektvorgaben, sowie den durchgeführten Anforderungsanalysen abgeleitet wurden:

- Sensorik und andere Komponenten sollen „Low Cost“ sein.
- Das System soll modular erweitert werden können, um auf lokale Gegebenheiten (potentiell) angepasst werden zu können.
- Die Betriebssicherheit darf selbst bei einer Montage auf Masten/Gantriy u.Ä. durch die Komponenten nicht gefährdet sein
- Unterschiedliche Anwendungsfälle sollen mittels Sensorik erkannt werden können
- Sensorknoten sollen vor Ort über ein lokales Netz Informationen abstimmen und austauschen können.
- Es soll möglichst nur eine Verbindung in ein übergeordnetes System geben – diese über „offene“ Standards, bzw. etablierte Technologien.

Um dem „Prototyp“-Gedanken des Projektes zu folgen, wurde auf Basis dieser Vorgaben ein Test-Modul realisiert. Im Folgenden eine schematische Darstellung. Es handelt sich hier um

ein auf visueller (herkömmlicher Kamera-) Technologie basierter Knoten, da die Radar-Sensorik erst sehr spät im Projekt evaluiert werden konnte.

Kameraeinheit

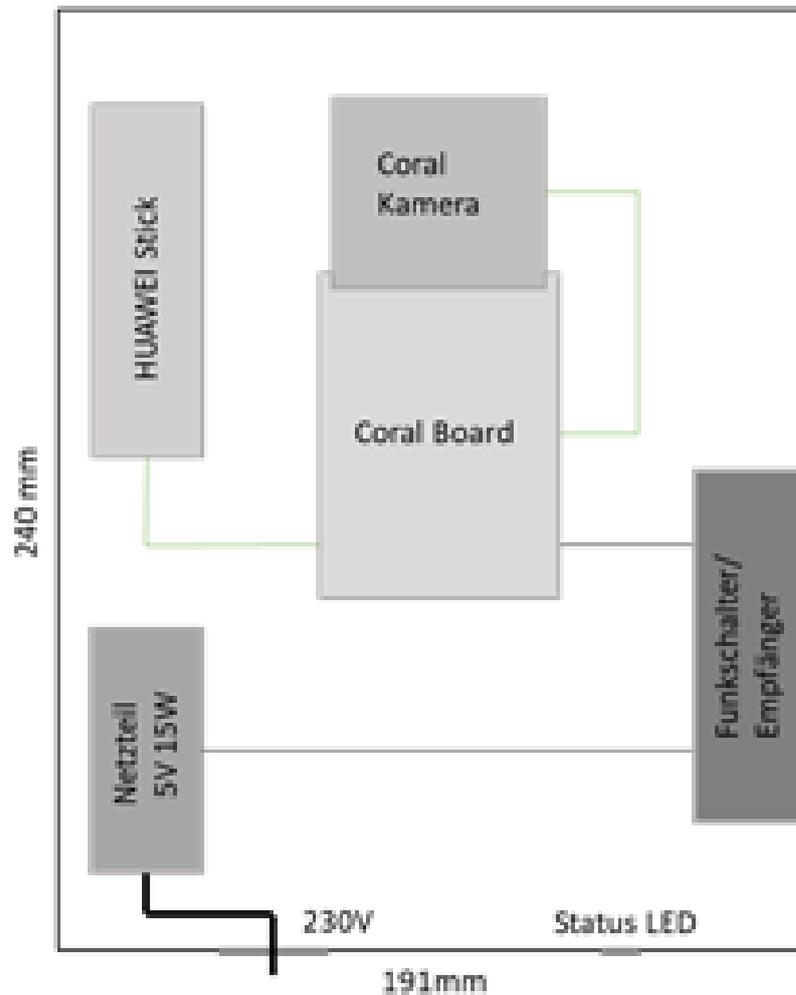


Abbildung 36: Details Sensorknoten, Prototyp 1

Das System besteht aus:

1. Installationsgehäuse
2. Kamera***
3. Coral Verarbeitungseinheit*
4. Konnektivität 2G/4G (HUAWEI Stick)
5. Funkschalter**
6. Netzteil

7. Status LED

* Das Coral Board bietet die Möglichkeit Aufnahme/Verarbeitung und lokale Konnektivität „aus einem System“ zu bekommen

** Für Demo-Installationen hat sich ein solcher Funkschalter bewährt, um im Falle eines Problems einen „Hardware-Reset“ durchführen zu können, auch wenn ein Sensor außerhalb der Reichweite (z.B. auf einem Masten) von Servicepersonal montiert wurde.

*** Im Lauf des Projektes wurde die zuerst eingesetzte Coral-Kamera durch ein besser geeignetes Model ersetzt. Der prinzipielle Systemaufbau wurde dadurch allerdings nicht geändert.



Abbildung 37: Sensorknoten NANCI



Abbildung 38: Sensorknoten Nanci Komponenten

Auf Basis dieser Knoten wurden erste Tests durchgeführt und danach bzw. währenddessen die folgenden (teilweise noch offenen) Fragen gelöst:

- Weitere Sensorik (z.B. Radar) soll mit dem System verbunden werden können, dazu muss es eine Evaluierung von existierenden Sensorik-Lösungen geben, die hier Verwendung finden kann. Wobei mögliche lokale Schnittstelle (WLAN) bereits eingeplant sind.
- Die Realisierung des eigentlichen Warn- / Meldemechanismus musste umgesetzt werden. Anmerkungen dazu siehe auch den Punkt „Anforderungen an das Gesamtsystem“. In Einigung mit den Auftraggebern wurde beschlossen, dass dieser Punkt innerhalb des Projektes durch Absetzen einer Warn-Email durchgeführt werden kann, da die eigentliche Einbindung eines Sensorknotens in die Bestandssysteme der ÖBB und ASFINAG, nur für einen Prototypen, einen nicht darzustellenden Mehraufwand bedeutet hätte.

Für die Erkennung von Naturkatastrophen setzten wir im NANCI Projekt auf Verfahren aus der künstlichen Intelligenz, die eine Analyse der Sensordaten erlauben. Zentrales Element der Sensorbox für die Erkennung von Naturgefahren ist ein Kamerasystem, dass durch eine Radarlösung ergänzt werden soll (siehe Analyse in Kapitel 3 – Technische Spezifikation).

Ziel der technischen Lösung ist die kontinuierliche, automatisierte Analyse von relevanten Bildregionen des Kamerabildes und die Absetzung von entsprechenden Warnungen, falls Unregelmäßigkeiten im Bild, die auf eine Naturgefahr hindeuten, erkannt werden.

Eine weitere Iteration des Innenlebens der Sensorknoten kann im folgenden Bild gesehen werden. Diese Änderungen waren auf Grund des Wechsels des Kamerasystems später im Projekt notwendig geworden.

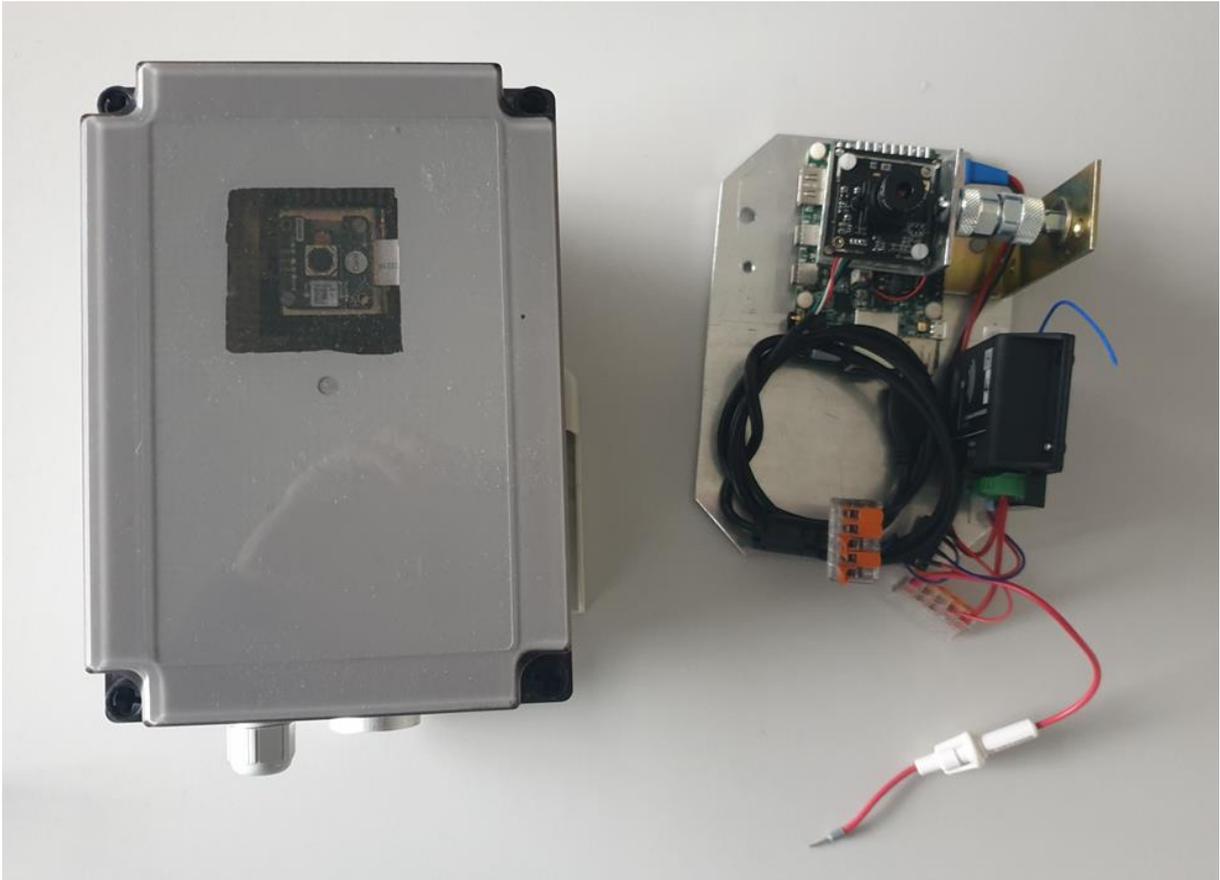


Abbildung 39: Sensorknoten Nanci adaptiert (Kamera neu)

Ein letzter Punkt war die Umsetzung einer lokalen Netzwerkbildung zwischen den an einem Standort installierten Knoten. Diese wurde erfolgreich umgesetzt und getestet indem von einem der Knoten mit dem internen, vorhandenen Netzwerkinterface basierend auf WLAN (IEEE 802.11) ein lokales Netzwerk gebildet wurde. Über dieses Netzwerk wurde von beiden Knoten eine Verbindung ins Internet aufgebaut, um die simulierten Warnmeldungen (in diesem Fall eine Email mit einem Bild und der automatisch generierten Erkennungsmeldung) abzusetzen.

Diese lokale Verbindung funktionierte innerhalb der von WLAN bekannten Parameter wie gewünscht und kann aus diesem Grund als erfolgreich angesehen werden.

6 TESTINSTALLATIONEN UND PROBELÄUFE

Für die das Projekt abschließende Projektierung wurde ein mehrstufiger Phasenplan entwickelt. Dies war notwendig, um einerseits die Mustererkennung kontinuierlich zu verbessern und andererseits auf mögliche (notwendige) Änderungen im Prototyp eingehen zu können. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf die innerhalb des Projektes gelegt, vor allem um in Phase 3 (sh. unten) geeignete Teststandorte auswählen zu können. Eine wesentliche Anmerkung ist, dass innerhalb des Projektkonsortiums in der Startphase des Projektes ein Test auf dem Testgelände „Erzberg“ ins Auge gefasst wurde. Dies wurde im späteren Verlauf des Projektes aus zwei Hauptgründen verworfen: einerseits war die notwendige Planung sehr umfangreich und andererseits konnten die innerhalb des Testes am Erzberg geplanten Inhalte und Testfälle im späteren Projektverlauf an anderer Stelle auf geeignete Art und Weise durchgeführt werden (sh. Detailbeschreibung der Pilotierungsphasen).

6.1 Testphasen Planung

Gemeinsam mit den Stakeholdern wurde ein Fahrplan zu einer möglichen Pilotierung entwickelt und ein dreistufiger Phasenplan abgestimmt. Diese Pilotierung war dabei auf drei grundlegende Schritte fokussiert.

1. Test der Erkennungsmodelle durch Test „abseits“ der Verkehrswege
2. Kurztests im Rahmen der eigentlichen Einsatzstandorte
3. Demo-Betrieb vor Ort über längere Perioden (Praxistest Naturgefahren).

Darauf basierend wurden die folgenden grundlegenden Phasen definiert. Eine Zusammenfassung der innerhalb der Testreihen und Installationen erfolgten wesentlichen Ergebnisse und Änderungen folgt in einem nachfolgenden Abschnitt.

- **Phase 1 (ab Juli 2022):** Diese Phase umfasste die Kalibrierung der Mustererkennung für den Use Case ÖBB (vor allem da Testbilder für die Erkennung von Objekten auf Gleiskörpern ermittelt werden mussten). Außerdem waren in dieser Phase grundlegende (visuelle) Detektionstests geplant.
- **Phase 2 (ab Oktober 2022):** Diese Phase umfasste eine weitere Kalibrierung, welche vor allem aus den in Phase 1 durchgeführten Detektionstests gespeist wurde. Darüber hinaus waren ersten Tests bezüglich des Use Cases ASFINAG hier eingeplant.
- **Phase 3 (geplant ab Februar 2023, durchgeführt ab April 2023):** In dieser Phase sollte ein Langzeittest je Use Case durchgeführt werden, bei dem vor allem die

Stabilität und Verlässlichkeit des Systems getestet wurde. Diese Tests sollten dabei möglichst „vor Ort“ (also an einer Strecke der ÖBB und der ASFINAG) durchgeführt werden. Aus diesem Grund war auch die entsprechende Sichtung und Planung der Teststellungen Teil der Pilotierungsphase.



Abbildung 40: Überblick Testphasen

6.2 Detailergebnisse innerhalb der Testphasen

In diesem Teil des Berichts werden die innerhalb der einzelnen Projektierungsphasen ermittelten Ergebnisse und Erkenntnisse zusammengefasst. Dabei wird auch auf unterschiedliche Änderungen, die beispielsweise bei der verwendeten Kamera notwendig wurden und ihre Gründe bzw. Vor- und Nachteile eingegangen.

6.2.1 Testphase 1

Innerhalb dieser Phase wurden folgende (grundlegende) Arbeiten durchgeführt

- Ermittlung von Test- und Beispielbildern „Use Case ÖBB“ an einem Teststandort in Blumau/Neurisshof (NÖ), sowie teilweise entlang der Südbahnstrecke bei Perchtoldsdorf
- Erkennungstests „Objekte“ in Blumau/Neurisshof
- Ermittlung von Test- und Beispielbildern „Use Case ASFINAG“ an mehreren Standorten entlang von A21 und S1

Während der Ermittlung der Testbilder wurde festgestellt, dass die eigentlich innerhalb des Projektes verwendete Kamera das Coral-Boards für die Objekterkennung mit den gewünschten Parametern (Objektgröße, Entfernungen, Lichtverhältnisse) zwar prinzipiell verwendbar ist, mit nur geringen Änderungen (Austausch der Kamera) allerdings signifikante Verbesserungen möglich sind. Diese Verbesserungen umfassen neben einer besseren Auflösung (und damit einhergehend implizit besseren Objekterkennung in Art, Typ und Entfernung) auch ein signifikant besseres Ergebnis bezüglich Lichtstärken. In einigen Testreihen während dieser Pilotierungsphase konnte ermittelt werden, dass die Kameras etwa 45 Minuten früher (bzw. länger) Objekte auf Bildern erkennen können, was eine effektive Verlängerung der Einsatzzeit der Kamera um 90 Minuten pro Tag bedeutet.

Aus diesem Grund wurde der Prototyp für alle weiteren Testreihen mit der „neuen“ Kamera ausgestattet (und die Erkennungssoftware bzw. das Klassifizierungsmodell auf die höhere Auflösung angepasst).

6.2.1.1 ÖBB - Blumau/Neurisshof

Einen passenden Teststandort für den ÖBB Use Case zu finden war essentiell, denn gerade für das Bilderkennungsmodell zur Detektion von Objekten war nach eingehender Recherche klar geworden, dass die Herausforderung Trainingsdaten mit Schienenwegen schwer bis gar nicht zur Verfügung stehen würden und deswegen innerhalb des Projektes generiert werden

mussten. Folgende Anforderungen an einen möglichen Standort wurden seitens des Projektteams definiert.

- Zugänglich auch von „außerhalb“ der Bahninfrastruktur
- Zugänglich ohne potentielle Sicherheitsrisiken
- Zugänglich auch ohne spezielle Sicherheitseinschulung (die bei Schienenwegen notwendig ist)
- Relativ schnell erreichbar (um Testbilder in unterschiedlichen Witterungs- und Lichtverhältnissen generieren zu können)

Nach Rücksprache mit den Vertretern der Auftraggeber wurde eine aufgelassene Schienenstrecke im Bereich Blumau/Neurisshof vorgeschlagen und nach ersten Begehungen als passend empfunden.

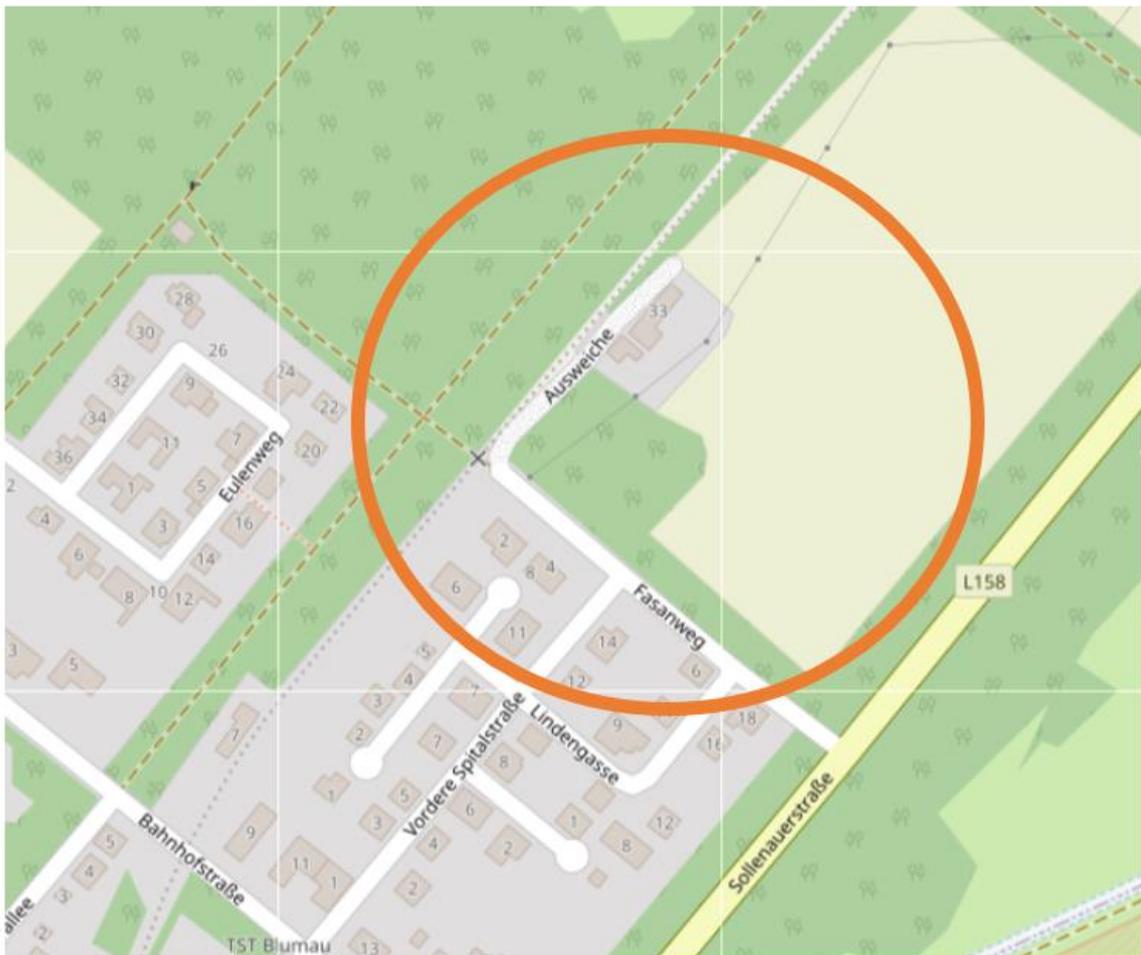


Abbildung 41: Lage Teststandort Blumau/Neurisshof (OpenStreetMap)



Abbildung 42: Beispiel Testbild Blumau

In Blumau wurden erste Testbilder für die Objektdetektion auf Schienenstrecken generiert, die in Folge dann zum ersten Training des Erkennungsmodells genutzt wurden. Dafür wurden verschiedene Objekte in unterschiedlichen Distanzen auf die Strecke gelegt und aufgenommen.

Die Objekte umfassten:

- 3 Steine in verschiedenen Größen
- 3 Teile von Baumstämmen (um einen Baumstamm zu „simulieren“)
- Holzpaletten, um Verschüttungen zu simulieren
- Getränkekisten, um „unbekannte Objekte“ zu simulieren.

Die Objekte wurden jeweils in 10, 20, 30, 40 und 50m abgelegt und ein entsprechendes Foto aufgenommen.



Abbildung 43: Testsetup Blumau Objekttests



Abbildung 44: Objekttest Blumau Holzstämmen, Entfernung zum Sensor 10m



Abbildung 45:Objekttest Blumau „Verschüttung“, Entfernung zum Sensor 30m

6.2.1.2 ASFINAG - S1 / A21

Testbilder für die ASFINAG-Use Cases wurden an unterschiedlichen Standorten generiert. Für die Standorte galten dabei die folgenden prinzipiellen Voraussetzungen.

- Zugänglich auch von „außerhalb“ der Autobahninfrastruktur

- Zugänglich ohne potenzielle Sicherheitsrisiken
- Relativ schnell erreichbar (um Testbilder in unterschiedlichen Witterungs- und Lichtverhältnissen generieren zu können)

Die Wahl fiel dabei auf zwei Standorte, die seitens SWARCO schon vorab für andere Tests mit ähnlichen Ausgangslagen gesucht und gefunden wurden.

- Speziell handelt es sich dabei um einen Standort an der S1 zwischen Leopoldsdorf und Schwechat in der Nähe eines Umspannwerks. Die dort befindliche (Straßen) Brücke über die S1 ist leicht über das niederrangige Straßennetz erreichbar und die Brücke bietet einen idealen, erhöhten Standort für Testaufnahmen auf die Autobahn.
- Der zweite Standort ist eine Fußgängerbrücke über die A21 im Ortsgebiet von Brunn am Gebirge, kurz vor dem Knoten Vösendorf. Wiederum ist der erhöhte Standort leicht und sicher über das niederrangige Straßennetz erreichbar und bietet einen erhöhten Blick auf die Autobahn.

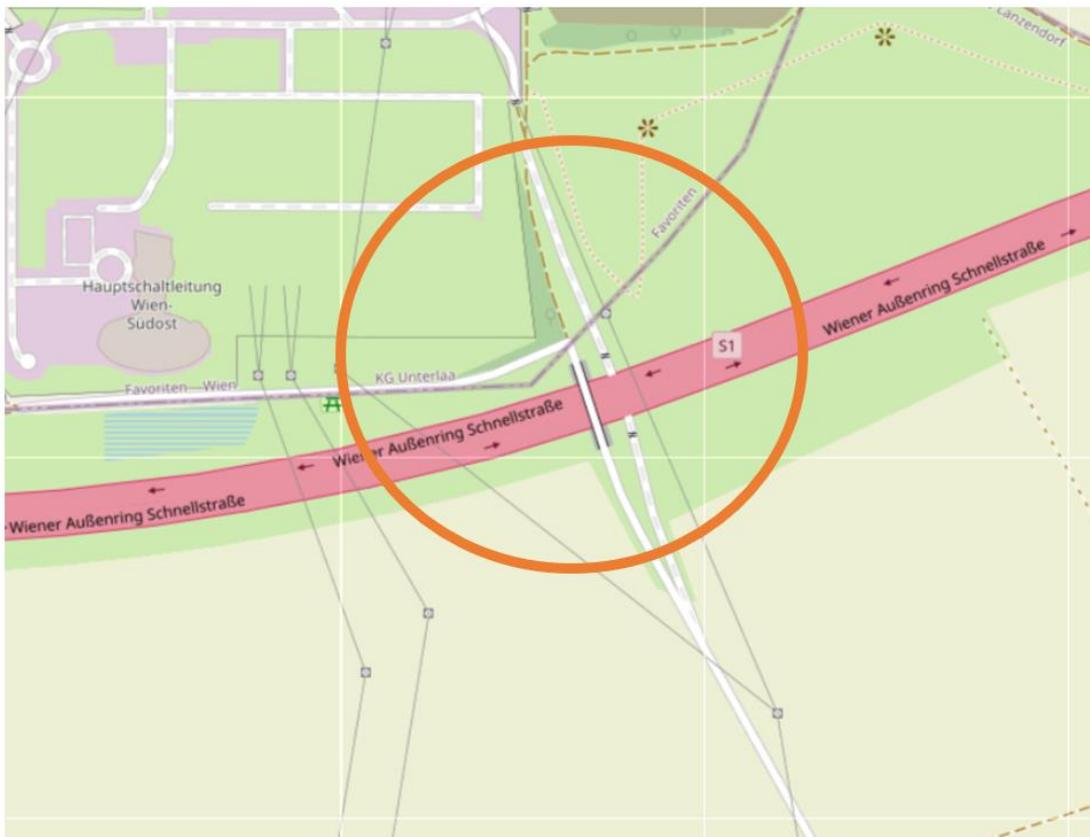


Abbildung 46: Lage Teststandort S1 (OpenStreetMap)

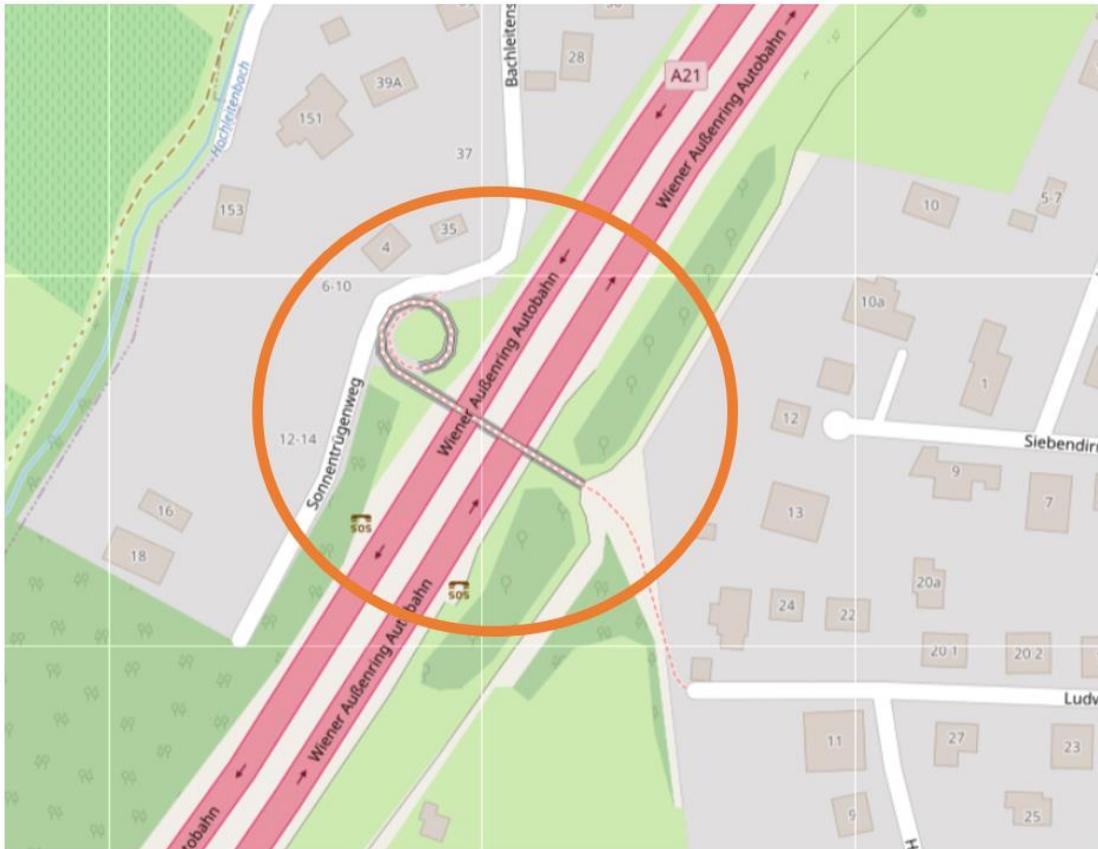


Abbildung 47: Lage Teststandort A21 (OpenStreetMap)

Im Zuge der ersten Phase wurden von den ASFINAG-Teststandorten Testbilder zu verschiedenen Zeiten und bei unterschiedlicher Witterung aufgenommen. Diese Bilder waren unter anderem der Hauptgrund, weshalb die Wahl der Kamera noch einmal überdacht worden ist, da sich bei schlechten Sichtverhältnissen auf Grund von Dunkelheit selbst auf einer (durch Scheinwerfer und anderen Lichtquellen) leicht beleuchteten Autobahn die Erkennung von Objekten nicht möglich war.



Abbildung 48: Beispiel Testbild 1 A21

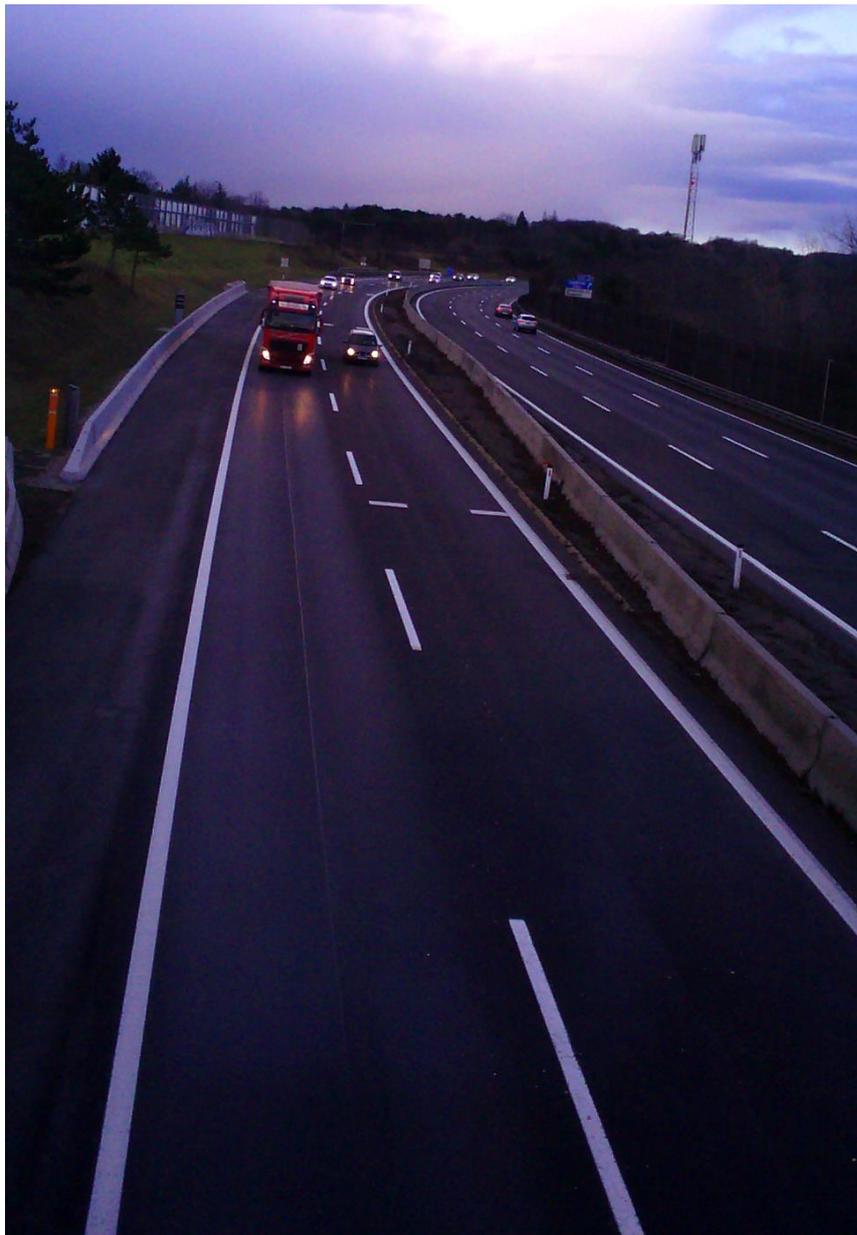


Abbildung 49: Beispiel Testbild 2 A21



Abbildung 50: Beispiel Testbild S1

6.2.2 Testphase 2

Innerhalb dieser Phase wurden folgende Arbeiten durchgeführt

- Ermittlung von Test- und Beispielbildern „Use Case ÖBB“ an einem Teststandort in Blumau/Neurisshof (NÖ)
- Ermittlung von Test- und Beispielbildern „Use Case ASFINAG“ an mehreren Standorten entlang von A21 und S1
- Erkennungstests „Objekte“ bei SWARCO Futurit für den Use Case „ASFINAG“
- Mehrtägige Testreihen in Blumau/Neurisshof und an der S1 (zwischen Leopoldsdorf und Schwechat)
- Ermittlung von Testbildern bei unterschiedlichen Witterungs- und Lichtverhältnissen

Diverse Verbesserungen an den Erkennungsmodellen konnten durchgeführt werden, wobei die Optimierung für die NANJI-Objektklassen mehrmals durchgeführt werden musste, da die Testreihen zeigten, dass leicht unterschiedliche Beobachtungswinkel bei den Kameras zu (teilweise) unterschiedlichen Detektionsraten führten.



Abbildung 51: Bildserie Teststandort Blumau

6.2.2.1 ÖBB

Während dieser Testphase wurde für den ÖBB Use Case weitere Testfotos in Blumau generiert. Darüber hinaus wurden auch erste Langzeittest in Blumau (siehe auch Phase 1) durchgeführt. Dabei wurde der Knoten (temporär) installiert, um erste Langzeit-Tests für

Witterungs-/Lichtänderungen und Nachrichtenübermittlung durchzuführen. Der Knoten war dabei etwa 24h mit Hilfe eines ausreichend großen Akku-Packs installiert.

6.2.2.2 ASFINAG

Während die Objekterkennungstests im Fall von ÖBB in Blumau durchgeführt werden konnten, musste im Fall der ASFINAG auf ein anderes Testsetting gesetzt werden. Dies lag vor allem daran, dass eine ähnlich sichere und gleichzeitig realitätsnahe Umgebung im ASFINAG-Fall nicht vorlag. Innerhalb des Projektteams wurde deswegen beschlossen, dass ein Straßen-Setting am Standort Perchtoldsdorf der Firma SWARCO ausreichen würde. Diese Entscheidung war auch deswegen möglich, dass der Use Case „Objekte auf Straßen“ zu detektieren auf Grund der inhärent größeren Menge an vorhandenen Trainingsdaten leichter realisiert werden konnte. Die Reihentests in Perchtoldsdorf wurden in der Folge vor allem aus dem Grund durchgeführt, um die Objektklassen, welche bei NANCI priorisiert erkannt werden sollten, auf einer Straße zu positionieren und ein Trainingsset zu generieren.

Die Objekte umfassten:

- 3 Steine in verschiedenen Größen
- 3 Teile von Baumstämmen (um einen Baumstamm zu „simulieren“)
- Holzpaletten um „Verschüttungen“ zu simulieren
- Getränkekisten um „unbekannte Objekte“ zu simulieren.

Die Objekte wurden jeweils in 10, 20, 30, 40 und 50m abgelegt und ein entsprechendes Foto aufgenommen.



Abbildung 52: Testsetup Perchtoldsdorf Objekttests (Objekt Stein „Gross“ im Vordergrund)



Abbildung 53: Objekttest Perchtoldsdorf Holzstämmen in 10m Entfernung zum Sensor



Abbildung 54: Objekttest Perchtoldsdorf Kiste in 30m Entfernung zum Sensor

Im Zusammenhang mit den Tests in Perchtoldsdorf wurde auch ein erster längerer Test des Sensorknotens am Standort S1/Leopoldsdorf (siehe auch Phase 1) durchgeführt. Dabei wurde der Knoten unterhalb der Autobahnbrücke (temporär) installiert, um erste Langzeit-Tests für Witterungs-/Lichtänderungen und Nachrichtenübermittlung durchzuführen. Der Knoten war dabei über 48h mit Hilfe eines ausreichend großen Akku-Packs installiert.



Abbildung 55: Testsetup Phase 2 S1



Abbildung 56: Bildserie Teststandort S1

6.2.3 Testphase 3

Innerhalb dieser Phase wurden folgende Arbeiten durchgeführt

FFG 886141

101

NANCI

- Ermittlung der notwendigen Rahmenbedingungen für „On Site Tests“
- Vor-Ort Recherche möglicher Teststandorte entlang der Donau-Ufer-Strecke (ÖBB) im Bereich Grein
- Vor-Ort Recherche möglicher Teststandorte entlang der Wechsel-Strecke (ASFINAG)
- Installation & Durchführung & Abbau Langzeittest Grein (Währenddessen: Inzidenz-Tests bei gesperrter Strecke)
- Auswertung Testergebnisse Grein
- Durchführung Tests Wechsel-Abschnitt
- Auswertung Testergebnisse Wechsel
- Inbetriebnahme und Objekttests Radar unter Laborbedingungen*

*Wurde auf Grund der Umstände innerhalb dieser Phase zusätzlich vom SCCH durchgeführt.

6.2.3.1 Teststandorte allgemein

Es wurden im Lauf der Projektzeit zwei geeignete Teststandorte gefunden – ein Standort in St. Nikola/Struden (ÖBB) und einer im Wechselabschnitt in der Nähe der Gemeinde Pinggau (ASFINAG). An den entsprechenden Stellen wurden längerfristige Tests und Testreihen durchgeführt. Die folgenden Bilder zeigen einige Eindrücke der Tests, beginnend mit den Teststandorten und danach einigen Ergebnisbildern.

6.2.3.1.1 St. Nikola/Struden

Für die Auswahl des ÖBB-Streckenbereichs für den Praxistest „Naturgefahren Warnsystem“ wurden folgende Kriterien festgelegt:

- Der Streckenbereich muss etwa 80 m einsehbar sein.
- Installation von zwei Sensorboxen (1 x Normalkamera, 1 x Lowlight Kamera) in etwa 4 m Höhe - entweder auf Teleskopstange oder auf ÖBB-Masten/Überführungen montiert.
- Es kann eine durchgehende Stromversorgung mit 230 V Wechselspannung gewährleistet werden.
- Die Sensorboxen verfügen über W-LAN/Internet-Wartungsschnittstellen damit man den Sicherheitsbereich nur beim Auf- und Abbau betreten muss.
- Die Warnmeldungen (mit dazugehörigem Foto mit identifizierten Objekten) werden über eine SIM-Karte gesendet (1x pro Box) – d.h. an der Stelle muss eine Mobilfunkverbindung möglich sein.

- Während der etwa 1-monatigen Testphase ist der Zugang zum Streckenbereich 7-8 Mal möglich.
- Es handelt sich um einen Streckenbereich mit Naturgefahrenprozessen.
- Mögliche Auslösung von Events z.B. durch Absteinen durch die Lehnentrupps
- Möglicher Vergleich mit bereits von den ÖBB installierten Steinschlagsensoren?

Aufgrund der durch die ÖBB im Vorfeld bekannt gegebenen Streckenbereiche, welche von Interesse sind, wurden drei Streckenbereiche in die nähere Auswahl einbezogen:

- Variante 1: Salzkammergutbahn (Stainach-Irdning bis Schärding) – Bereich Lehne Bahnhof Pürgg
- Variante 2: Salzkammergutbahn (Stainach-Irdning bis Schärding) – Bereich Ebensee Lehne Sonnstein
- Variante 3: Donauuferbahn – Lehnbereiche zwischen Grein und Sarmingstein

Im Zuge der Koordination mit den ÖBB, unter Berücksichtigung der oben genannten Kriterien wurde schließlich die Variante 3, der Streckenbereich Donauuferbahn Grein – Sarmingstein, OÖ ausgewählt, und im Rahmen einer gemeinsamen Begehung mit einem Vertreter der Naturgefahren-Abteilung der ÖBB, wurde schließlich der Streckenabschnitt bei der Burg Werfenstein, als Teststandort für den Praxistest Naturgefahren festgelegt.

Der Standort (ÖBB) in St. Nikola/Struden (bei Grein) war geeignet, da es sich bei der Strecke um eine „typische“ österreichische Strecke mit engeren Bogenradien handelt. Darüber hinaus war auch eine Konstantspannungsversorgung gegeben und die Sensoren waren so aufgehängt, dass ein Betreten der Strecke nicht notwendig war. Darüber hinaus fiel in den Testzeitraum eine Phase der (geplanten) Wartung und die Strecke war gesperrt. Dadurch konnten „Realtests“ an der Strecke durchgeführt werden. Zusammenfassung der Vorteile des Standortes in St. Nikola:

- Die leichte Erreichbarkeit und Zugänglichkeit – Nähe zu Linz, durch die Westautobahn erreichbar (für Wartung durch SCCH)
- Mehrere unterschiedliche Naturgefahrenprozesse im Abschnitt (Steinschlag/Baumschlag/Wildbach).
- Nur geringe Frequenz bei Bahnbetrieb (1-Stunden Intervall für Personenzüge). Kein Personenverkehr in der Nacht. Streckensperre für Wartungsarbeiten im August und September 2023.
- Lokale Stromversorgung durch Anrainer möglich.

- Bereits Sensoren (Lichtwellenleiter) durch die ÖBB Naturgefahrenabteilung installiert.

Böschungen auf beiden Seiten der Bahn, damit Prozesse durch Lehnentrupps ausgelöst werden können, oder Testobjekte abgerollt oder auf die Strecke geworfen werden können.

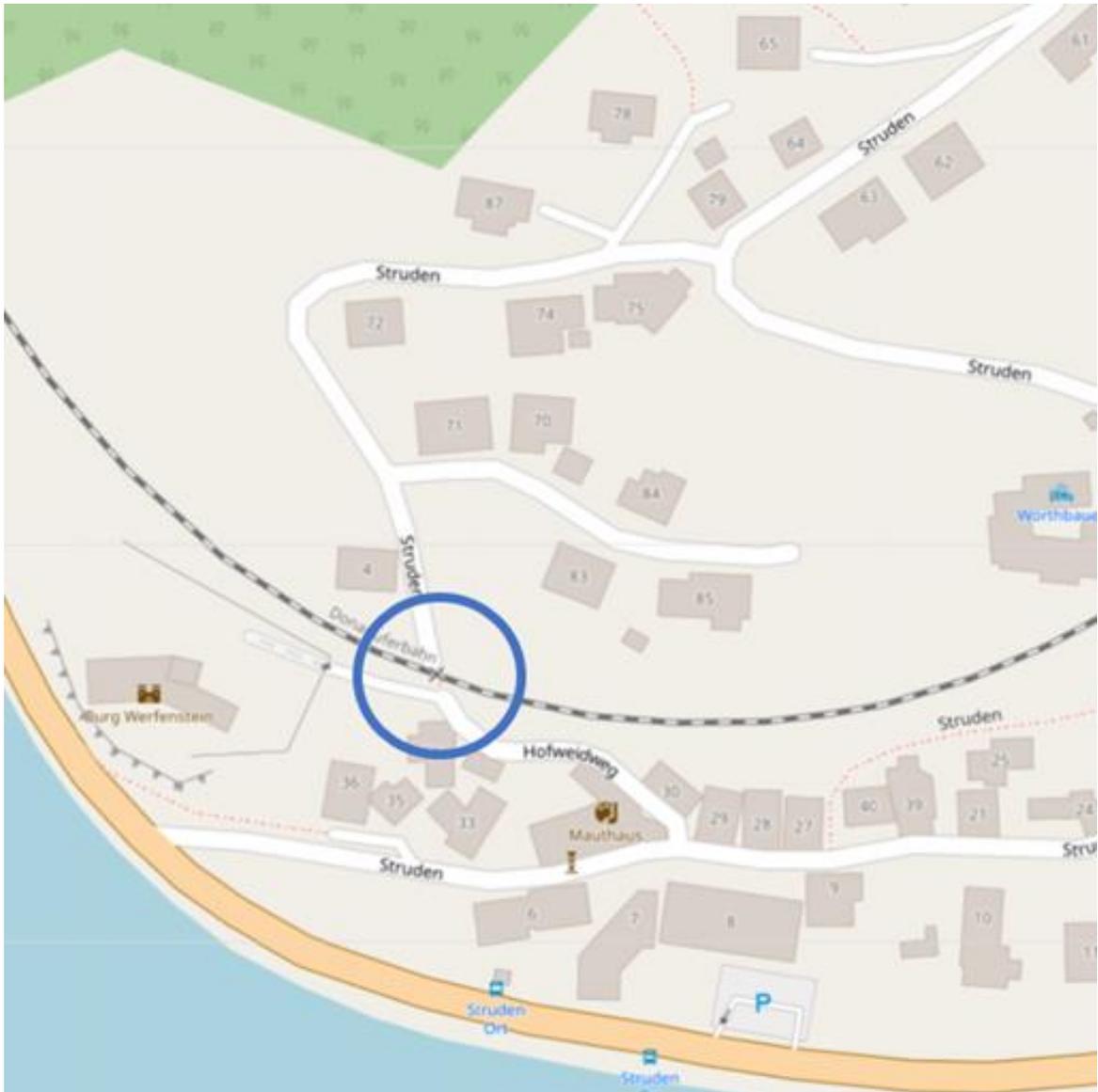


Abbildung 57: Überblick Standort Grein (OpenStreetMap)

Die Nanci Sensorboxen wurden bei Bahnkilometer 72,2 nahe einem Bahnübergang, unterhalb der Burg Werfenstein, an einem Masten montiert. Die Versuchsobjekte wurden teilweise vom von der Böschung/Lehne auf die Bahnlinie geworfen, in einigen Fällen auch dort direkt platziert.

Bei den Testobjekten handelte es sich bei den größeren Objekten (Objekt 5 und 4) um in Leinen eingeschlagene Strohballen, bei den kleinen Objekten um verpackte Polster (Objekt 3

und 2) bzw. um einen Biwaksack. Durch die Art der Testobjekte konnte eine Beschädigung des Gleiskörper ausgeschlossen werden. Zusätzlich wurde für den Praxistest noch ein Baumast verwendet.

Die Testinstallation erfolgte im Juni-August 2023, wobei zuerst eine Zeit für die Kalibrierung auf die Strecken- und Lichtverhältnisse erfolgte, und schließlich am 31. Juli und 1. August 2023 der Praxistest mit den Objekten selbst durchgeführt wurde.



Abbildung 58: Standort Grein - Knoten installiert

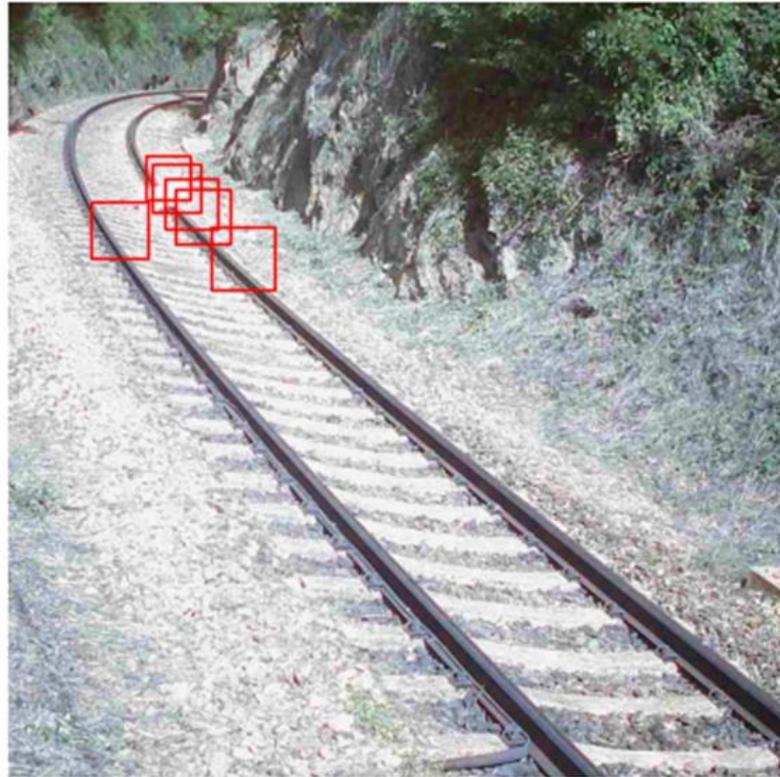


Abbildung 59: Standort Grein - Detektion Beispiel



Abbildung 60: Beispielobjekte

6.2.3.1.2 Pinggau

Ein geeigneter Standort für den ASFINAG Use Case wurde im Bereich Pinggau im Wechselabschnitt der A1 (Südautobahn) gefunden. Die entsprechende Autobahnbrücke ist gut (und sicher) über das niederrangige Straßennetz erreichbar und somit konnte mehrmals mehrere Stunden in diesem Bereich gemessen werden.

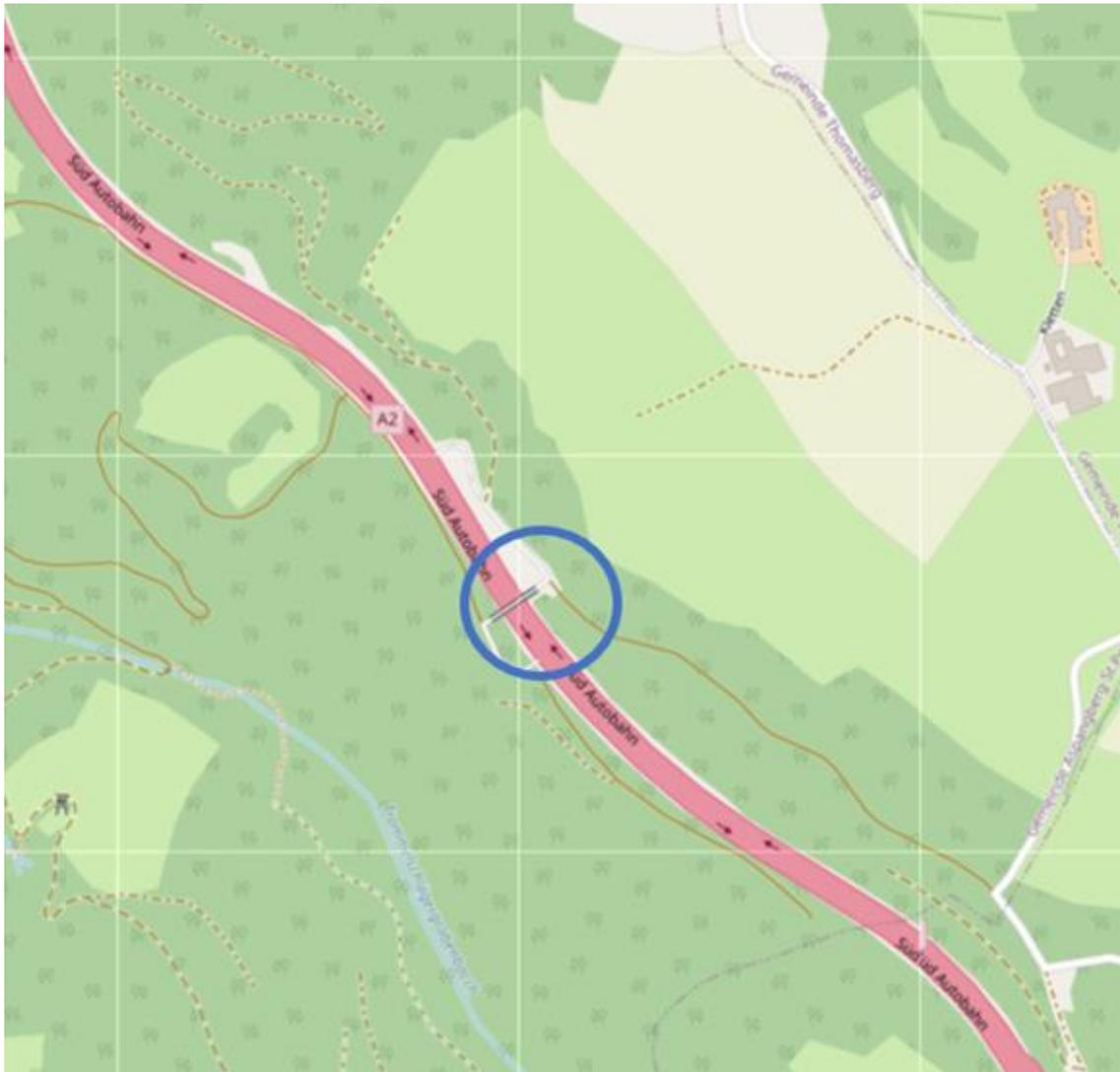


Abbildung 61: Überblick Standort Wechselabschnitt (OpenStreetMap)

Dabei wurden (im Gegensatz zu den langfristigen Tests in Grein) allerdings keine Objekte in den Fahrweg gelegt oder geworfen, schon alleine aus Sicherheitsgründen. Aus diesem Grund wurde angenommen, dass auch „stehende“ Fahrzeuge (eigentlich keine NANCI-Objektgruppe aber in vielen Erkennungsmodellen bereits gut repräsentiert) erkannt werden sollten und diese

Situation entsprechend gemeldet. Dies würde dem gewünschten und vorab definierten Ablauf entsprechen:

Trasse überwacht → Objekt erkannt → Situation gemeldet

Der Schritt sich auf Fahrzeuge zu konzentrieren, um den allgemeinen Ablauf zu testen, wurde nach eingehender Untersuchung der Ergebnisse aus den Objekttests beim Testlauf Grein beschlossen, da sämtliche im Zusammenhang mit Gleiskörpern getätigten Tests und Aussagen – sowie sämtliche ermittelten Ergebnisse der dort durchgeführten Objekttests sowohl für den ÖBB Use Case auch für den ASFINAG Use Case gültig sind.

Dies liegt daran, dass die zugrundeliegenden Mechanismen bei der Bilderkennung denselben Schritten folgen:

- Es ist immer zuerst ein Objekterkennungsmodell speziell für den gewünschten Anwendungsfall zu erstellen (oder ein bestehendes generisches Modell mit Bildern des gewünschten Standorts „anzureichern“). Dies ist unabhängig vom „Hintergrund“ der Bilder (als Schiene oder Fahrbahn).
- Dann läuft das Erkennungsmodell und meldet die erkannten Objekte.

Der einzige Unterschied bei ASFINAG versus ÖBB Use Case ist die Tatsache, dass es für die Bilderkennung bei Zugstrecken leichter ist, einen „Idealzustand“ festzustellen, da die Strecke (im Vergleich mit üblichen Verarbeitungszyklen) relativ lange „frei“ und „leer“ erscheint. Damit ist gemeint, dass zu beliebigen Tageszeiten an den zu untersuchenden (weniger befahrenen) Zugstrecken durchaus Minuten (bis Stunden) zwischen dem Auftreten von durchfahrenden Schienenfahrzeugen auftreten können. Auf der Autobahn sind solche Perioden sehr viel kürzer. Dadurch ist eine Zwischenberechnung notwendig, um ein „leeres“ Bild (Medianbild) zu erzeugen (vergleiche 4.1.2.3). Die Tests im Abschnitt Pinggau haben diesem Umstand Rechnung getragen und es wurde speziell darauf geachtet, dass diese „Leerbilderzeugung“ im Rahmen der Tests eingehend betrachtet wurde.



Abbildung 62: Medianbild Ausgangsbilder



Abbildung 63: Medianbild Ergebnis

Insgesamt kann gesagt werden, dass die notwendigen Schritte (Background Subtraction, Segmentierung, Erkennung) auch hier gut funktioniert haben und ein (zusätzlicher) Versuch

unternommen wurde, um mittels eines homografischen Transformationsverfahrens die Erkennung noch einmal zu verbessern. Dieses Verfahren soll dazu führen, dass weiter entfernte (und somit im Bild kleinere) Objekte mittels geeigneter Transformation der „essentiellen Bereiche“ hervorgehoben und somit besser detektierbar werden.

Zusammenfassend kann man sagen:

- Erstellung des so genannten Median Bildes funktioniert
- Background-Subtraction des Bildes und der Kanten funktioniert
- Es gibt einige Artefakte dadurch, dass manche Autos näher sind als andere.
- Durch eine homographische Transformation (Rotation einer angenommenen 2D-Fläche im 3D-Raum) wird das Bild so verändert, dass alle Autos ca. gleich groß sind. Was gut funktioniert hat.
- Das neuronale Netz sollte erkennen, was Straße ist und was nicht. Die Ergebnisse waren leider nicht wie erhofft, was ziemlich sicher an den Trainingsdaten (KITTY Road Dataset) liegt. Es wird angenommen, dass ein besser geeignetes Trainingsset hier erhebliche Optimierungen zulassen.



Abbildung 64: Standort Wechsel – Homografische Transformation und Segmentierung

6.2.4 Zusammenfassung der Erkenntnisse aus den Testphasen

Während der ÖBB Use Case durchgehend über mehrere Wochen getestet wurde, wurde der ASFINAG Use Case über mehrere Tage (nicht in Folge) umgesetzt. Das Testsystem mit dem (Low-Cost) Sensorknoten und der schmalbandigen Verbindung unter Ausnutzung von Rechenleistung "vor Ort" hat sich prinzipiell bewährt, allerdings ist die Güte des zugrundeliegenden Erkennungsmodells bei jeglicher Sensorik von fundamentaler Bedeutung und muss für den jeweiligen Anwendungsfall speziell angepasst bzw. trainiert werden.

Einige Erkenntnisse aus der Auswertung waren überraschend und sollen deswegen hier hervorgehoben werden.

1. Bisherige Annahme war, dass große Objekte automatisch leichter als kleine erkannt werden. Das ist nicht immer der Fall. Wenn Objekte mehrere Patches ausfüllen, werden sie oft nur an den Rändern erkannt. Die Erzeugung der synthetischen Trainingsdaten kann dahingehend verbessert werden, dass die synthetisch hineinkopierten Objekte manchmal den Patch größtenteils oder vollständig ausfüllen.
2. Dass Objekte, die (perspektivisch) eine Schiene unterbrechen, einfacher erkannt werden als Objekte, die zwischen den Schienen liegen, ist keine Überraschung. Jedoch werden auch Objekte, die zwischen den Schienen liegen, auf den Patches, die von einer Schiene durchquert werden, sehr viel eher erkannt als auf anderen Patches. Das trifft auch dann zu, wenn das Objekt nur in einer Ecke in den Patch hineinragt. Möglicherweise liegt das daran, dass es deutlich mehr Patches mit Schienen gibt. Bei der Erzeugung der synthetischen Daten kann in Zukunft eine 1:1-Verteilung gewählt werden, was die Erkennungsrate bei Objekten, die zwischen den Schienen liegen, erhöhen sollte.
3. Bei Tests für längere Abschnitte sind hochauflösende Kameras (mit möglicher Zusatz"beleuchtung", z.B. mit Infrarot-Licht) unerlässlich.

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das Projekt fokussierte sich auf die Untersuchung von Extremwetterereignissen und Naturgefahren, die Verkehrswege gefährden können. Im Speziellen lag der Fokus auf der Entwicklung von Methoden zur Erkennung dieser Gefahren mittels Kameras und Radarsensorik auf eine Gleis oder Straßenlänge von 50-200m, sowie der prototypischen Umsetzung und einer Evaluierung basierend auf Testreihen an Demostandorten.

Methoden

- Datenerhebung: Sammlung von Daten zu Extremwetterereignissen und Naturgefahren sowie zu existierenden Kamerasystemen und Radarsensoren entlang von Verkehrswegen.
- Analyse: Auswertung der Daten zur Identifizierung von besonders signifikanten Use Cases.
- Entwicklung von Erkennungsmethoden: Entwicklung von Algorithmen zur automatischen Erkennung von Gefahren wie z.B. Überflutungen, Erdbeben, Objekte durch Kameras und Radarsensorik.
- Tests: Validierung der entwickelten Erkennungsmethoden anhand von realen Daten und Testreihen an unterschiedlichen realitätsnahen Teststandorten

Ergebnisse

- Gefahrenidentifizierung: Identifizierung von relevanten Extremwetterereignissen und Naturgefahren für Verkehrswege in der untersuchten Region.
- Erkennungsmethoden: Entwicklung von prototypischen Erkennungsmethoden für verschiedene Arten von Naturgefahren.
- Evaluierung: Die entwickelten Methoden zeigten in den Tests die prinzipielle Umsetzbarkeit, wobei die Radar-Sensorik unter den Erwartungen zurückblieb.

Diskussion

- Die Ergebnisse des Projekts zeigen das Potenzial von Kameras und Radarsensorik zur Erkennung von Naturgefahren und zur Verbesserung der Sicherheit von Verkehrswegen. Die entwickelten Methoden können als Grundlage für die Implementierung von Frühwarnsystemen und anderen Maßnahmen zur Risikoreduzierung genutzt werden.

Empfehlungen

- Weiterentwicklung der Erkennungsmethoden: Die entwickelten Methoden sollten weiterentwickelt und an die spezifischen Anforderungen verschiedener Verkehrswege, Umgebungen und Regionen angepasst werden.
- Gerade die Erkennung durch Radar-Sensorik steckt für die gewählten Anwendungsfälle noch in den Kinderschuhen und ist definitiv einer der Punkte, die innerhalb des Projektes nicht ausreichend genug untersucht werden konnten. Dies liegt vor allem daran, dass die Erkennungsmodelle für die gewünschten Objekte nicht optimiert und angepasst sind.
- Implementierung von Frühwarnsystemen: Die entwickelten Erkennungsmethoden sollten in Frühwarnsysteme integriert werden, um Verkehrsteilnehmer und Behörden rechtzeitig vor Gefahren warnen zu können.

Zusammenfassung

Das Projekt hat wichtige Erkenntnisse zur Erkennung von Naturgefahren und zur Verbesserung der Sicherheit von Verkehrswegen geliefert. Insbesondere die Untersuchung der durch Extremwetterereignissen hervorgerufenen Störungen und Gefahren auf den Verkehrswegen der ÖBB und der ASFINAG kann als wichtiges Ergebnis verbucht werden.

Die entwickelten Methoden und Ergebnisse können als Grundlage für die Umsetzung von Maßnahmen zur Risikoreduzierung und zur Stärkung der Widerstandsfähigkeit von Verkehrsinfrastruktur gegen Extremwetterereignisse und Naturgefahren genutzt werden. Die getesteten Sensoren aus dem visuellen und dem radarbasierten Bereich zeigen gerade bei größeren Distanzen (ab 100m) Schwierigkeiten die gewünschten Vorgaben, was Auflösung und Erkennung angeht, zuverlässig einzuhalten. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass unter „idealen“ Bedingungen (ausreichend hoher Montagehöhe, freie Sichtachse, entsprechend große Objekte) auch bei höheren Entfernungen gute Ergebnisse erzielt werden können.

Dabei kann eine gewünschte flächige Verteilung der Sensorik auf einem Streckenabschnitt als machbar eingestuft werden. Wie sich das Zusammenspiel der Sensorknoten gestaltet, hängt von den Faktoren Distanz, Kommunikationsrequirements (Bandbreite, Latenz, Geschwindigkeit, Redundanz, Resilienz, Zuverlässigkeit u.a.) und der Strecke selbst ab. Gerade bei engen Bogenradien kann eine „durchgehende“ Überwachung einer Strecke mehr Sensorknoten benötigen als bei geraden Streckenabschnitten, da diese bei gängigen Kommunikationsmechanismen (wie z.B. IEEE 802.11 „WLAN“ basierten Protokollen) bei

direkter Sichtverbindung durchgehend weitere Übertragungswege ermöglichen. Enge Bogenradien führen also sowohl wegen der Sichtlinien als auch wegen der Kommunikationsverbindungen zwischen den Knoten zur Notwendigkeit von mehr Knoten.

Auch die (ständige) Verbesserung und leichtere Bereitstellung von Rechenkapazitäten auch innerhalb der Sensorknoten erleichtert die gewünschten Funktionalitäten wie Bildverarbeitung oder Sensor-Daten-Fusion und macht diese auch mit finanziell

Die Fokussierung auf Low-Cost und Off-the-Shelf Sensorik, wie von den Auftraggebern gewünscht, stellte eine besondere Herausforderung dar, da die entwickelten Methoden für diese „low performance“ Sensorik spezielle ausgerichtet und angepasst werden musste. Trotzdem konnte ein Prototyp entwickelt und erfolgreich getestet werden. Herauszustreichen ist, dass selbst günstige „System on a Chip“-Board (Raspberry Pi, Google Coral) ausreichende Rechenleistung bereitstellen um umfangreiche und rechenintensive Analysen bereits im Feld durchzuführen und Bildanalyse-Algorithmen und Sensor-Daten-Fusion schon vor Ort zu ermöglichen. Allerdings ist hier anzumerken, dass diese Systeme – wenn auch für Prototypen ausreichend – nicht immer die notwendigen industriellen Maßstäbe für Temperaturbereiche und ähnliches einhalten, man hier also entsprechende Alternativsysteme ins Auge fassen sollte (welche aber erfahrungsgemäß nicht sehr viel teurer wären).

Die Methoden und Use Cases wurden in umfassenden Testreihen an Teststandorten getestet und haben die Machbarkeit des Ansatzes „Low Cost und IoT-basierte Sensorknoten zur Erkennung von Naturgefahren durch Extremwetter“ unterstreichen können

8 DANKSAGUNGEN

Das Projektteam möchte sich bei den Vertretern der Infrastrukturbetreiber und Auftraggeber des Projektes bedanken. Insbesondere bei Herrn Dipl.-Ing. Jürgen Stern (ÖBB Infrastruktur AG) und Herrn D.WI (FH) Heimo Berghold (ASFINAG) für die fachliche Betreuung bei der Bearbeitung, und wichtige Diskussionsbeiträge bei den Videokonferenzen. Frau Romane Blanchard Ph.D. M. Sc. und Frau DI Dr. Anna Bleier (ÖBB Forschung) danken wir für die Betreuung des Projektes. Herrn Dipl.-Ing. Dr. Michael Brauner (ÖBB Infrastruktur-AG) möchten wir für die Koordination des „Praxistests Naturgefahren ÖBB“ in Grein/Struden und für die Unterstützung bei den Tests im Gelände danken.

Dank gilt auch Dr. Andreas Fertin von der Forschungsförderungsgesellschaft FFG.

Eine durchgängige Stromversorgung der Sensorbox in Grein/Struden wurde durch Frau Karin Steindl ermöglicht, bei der wir uns bedanken.

ABBILDUNGEN

Abbildung 1: Neuralgische Stellen für extreme Wetterlagen in Österreich (ÖBB, ASFINAG), Quelle BLUE SKY (Mag. Traunmüller).....	10
Abbildung 2: Hochwasser und seine Ursachen – Übersichtsdarstellung	15
Abbildung 3: Beispiel WISA – Wasserinformationssystem Austria – Gefahrenkarte Überflutungsflächen Bereich Kapfenberg - Bruck an der Mur (Quelle: https://maps.wisa.bml.gv.at).....	23
Abbildung 4: Beispiel einer Hochwasserrisikozonierung in „HORA“(https://www.hora.gv.at).....	23
Abbildung 5: Die im Projekt RAINMAN verglichenen Softwareprodukte zur zweidimensionalen hydrodynamischen Modellierung von Oberflächenabfluss aufgrund von Starkregenereignisses (aus Achleitner et al., 2020s:Tabelle 1).....	28
Abbildung 6: Beispiel für die Beurteilung der Hochwasserbetroffenheit „HQ100“ für einen ÖBB Streckenbereich (Quelle ÖBB Infrastruktur/Geoexpert).....	32
Abbildung 7: Warn- versus Alarmsystem im Zusammenhang mit NANJI.....	34
Abbildung 8: Beispiel für zwei Digital-Kamerasysteme.....	35
Abbildung 9: Die Vor- und Nachteile von Pegelradar-Systemen und Beispiele von Messsensoren (aus BAFU, 2020).	36
Abbildung 10: Beispiel für Durchflussmessungen mit einem Radar-System (Quelle: www.sommer.at).....	37
Abbildung 11: Beispiele für Ultraschall-Sensoren der Firma Senix mit unterschiedlichen Einsatzreichweiten und Anordnung zur Pegelmessung (https://senix.com/ultrasonic-sensors/general-purpose-sensors/).....	38
Abbildung 12: Beispiel für die Identifikation eines überfluteten Bereiches aus Kameraaufnahme (Quelle: Software Competence Center Hagenberg).....	39
Abbildung 13: Beispiele für die Auswirkungen der gravitativen Naturgefahren Steinschlag und seichtgründige Rutschung bzw. Hangmure auf die Schieneninfrastruktur.....	40
Abbildung 14: Beeinträchtigung des Betriebsablaufes durch Baumschlag.	40
Abbildung 15: Beispiel eines Gefahrenzonenplans mit roter und gelber Zone „Überflutung“.....	41

Abbildung 16: Im Rahmen des INTERREG Projektes „MONITOR“ erstellte „Intervention Map“ für einen Bahnabschnitt im Arlberg Gebiet.....	42
Abbildung 17: Überblick Überwachungssysteme für Steinschlag/Blockschlag/Felssturz (Quelle: BAFU, 2020).....	43
Abbildung 18: Beispiel für ein Alarmsystem für Steinschlagprozesse (Quelle: www.geobrugg.com).....	44
Abbildung 19: Überblick Überwachungssysteme für Rutschungen und deren Charakteristik (Quelle: BAFU, 2020).....	45
Abbildung 20: Georadar-System für die Überwachung Fels-, Gletscher- und Rutschbereichen (Quelle: www.geobrugg.com).....	45
Abbildung 21: Überblick Überwachungssysteme für Murgänge (Quelle: BAFU, 2020).....	46
Abbildung 22: Beispielhafte Gegenüberstellung Kamera normal / Kamera Low Light	54
Abbildung 23: Beispielarchitektur des neuronalen Netzes zur Bildsegmentierung.....	57
Abbildung 24: Ablauf der Anomalie-Erkennung basierend auf der Bildsegmentierung und synthetisierten Vergleichsbildern.	58
Abbildung 25: Generierung von Bildausschnitten für die Anomalie Erkennung. Zuerst wird der Schienenverlauf extrahiert (links) und dann dem Schienenverlauf folgenden Bildausschnitte (mitte) mit zunehmender Größe extrahiert (rechts).	59
Abbildung 26: Bilder aus dem Trainingsset für die Erstellung eine Neuronalen Netzes zur Erkennung von Anomalien.....	59
Abbildung 27: Prozess zur kontinuierlichen Verbesserung der Anomalie-Erkennung.....	60
Abbildung 28: Generierung Bild der Fahrbahn ohne Verkehr durch Mittelung einer Serie von Einzelbildern.	61
Abbildung 29: Simulation von Naturgefahren (Steinschlag, Erdbeben) durch vier verschiedenen Objektklassen (Baumstumpf, Stein, Kiste, Palette).	61
Abbildung 30: Klassifikationsergebnis für den Feldtest in Blumau-Neurisshof.....	62
Abbildung 31: Ergebnis der Anomalie-Erkennung. Hindernisse werden mit hoher Zuverlässigkeit erkannt.	63

Abbildung 32: Beispiel der Teststellung vom 21.11.2022, Objekt im vorderen Erkennungsbereich.....	64
Abbildung 33: Sichtbereiche des Automotive Front Radars UMRR-11 Typ 132 der Firma SmartMicro (Bild übernommen aus dem Datenblatt, Quelle: https://www.smartmicro.com/fileadmin/media/Downloads/Automotive_Radar/Sensor_Data_Sheets_76-81GHz/UMRR-11_Type_132_Automotive_Data_Sheet.pdf)	69
Abbildung 34: Radarknoten von SmartMicro	70
Abbildung 35: Systembild laut Antrag	76
Abbildung 36: Details Sensorknoten, Prototyp 1	77
Abbildung 37: Sensorknoten NANCI	78
Abbildung 38: Sensorknoten NANCI Komponenten	79
Abbildung 39: Sensorknoten NANCI adaptiert (Kamera neu).....	81
Abbildung 40: Überblick Testphasen.....	83
Abbildung 41:Lage Teststandort Blumau/Neurisshof (OpenStreetMap)	85
Abbildung 42: Beispiel Testbild Blumau	86
Abbildung 43:Testsetup Blumau Objekttests.....	87
Abbildung 44: Objekttest Blumau Holzstämme, Entfernung zum Sensor 10m.....	88
Abbildung 45:Objekttest Blumau „Verschüttung“, Entfernung zum Sensor 30m.....	89
Abbildung 46: Lage Teststandort S1 (OpenStreetMap).....	90
Abbildung 47: Lage Teststandort A21 (OpenStreetMap).....	91
Abbildung 48: Beispiel Testbild 1 A21	92
Abbildung 49: Beispiel Testbild 2 A21	93
Abbildung 50: Beispiel Testbild S1	94
Abbildung 51: Bildserie Teststandort Blumau.....	95
Abbildung 52:Testsetup Perchtoldsdorf Objekttests (Objekt Stein „Gross“ im Vordergrund)	97
Abbildung 53: Objekttest Perchtoldsdorf Holzstämme in 10m Entfernung zum Sensor	98
Abbildung 54: Objekttest Perchtoldsdorf Kiste in 30m Entfernung zum Sensor.....	99

Abbildung 55: Testsetup Phase 2 S1	100
Abbildung 56: Bildserie Teststandort S1	101
Abbildung 57: Überblick Standort Grein (OpenStreetMap)	104
Abbildung 58: Standort Grein - Knoten installiert.....	105
Abbildung 59: Standort Grein - Detektion Beispiel	106
Abbildung 60: Beispielobjekte	106
Abbildung 61: Überblick Standort Wechselabschnitt (OpenStreetMap)	111
Abbildung 62: Medianbild Ausgangsbilder	113
Abbildung 63: Medianbild Ergebnis.....	114
Abbildung 64: Standort Wechsel – Homografische Transformation und Segmentierung....	116

TABELLEN

Tabelle 1: Prioritäten Anwendungsfälle „Hochwasser“ ÖBB und ASFINAG.	30
Tabelle 2: Charakteristika von Warn- und Alarmsystemen (aus BAFU, 2020: S. 3).....	33
Tabelle 3: Übersicht Naturgefahrenprozesse Überschwemmung.....	47
Tabelle 4: Übersicht gravitative Naturgefahrenprozesse und Objekte	47
Tabelle 5: Gefahrenprozess - Flächenabfluss durch pulviales Hochwasser	48
Tabelle 6: Gefahrenprozess - Einstau durch Hochwasser.....	49
Tabelle 7: Gefahrenprozess - Steinschlag/Blockschlag.....	49
Tabelle 8: Gefahrenprozess - Baumschlag	50
Tabelle 9: Gefahrenprozess - Hangmure	50
Tabelle 10: Gefahrenprozess - Seichtgründige Rutschung	51
Tabelle 11: Gefahrenprozess - Schneelawine, Schneerutsch	51
Tabelle 12: Vergleich Kamerasysteme.....	52
Tabelle 13: Typen von Radarsensoren und Use Cases	66
Tabelle 14: Grein - Versuchsobjekte	107
Tabelle 15: Grein - Versuch 1	107
Tabelle 16: Grein - Versuch 2	107
Tabelle 17: Grein - Versuch 3	108
Tabelle 18: Grein - Versuch 4	108
Tabelle 19: Grein - Versuch 5	108
Tabelle 20: Grein - Versuch 6	108
Tabelle 21: Grein - Versuch 7	109
Tabelle 22: Grein - Versuch 8	109
Tabelle 23: Grein - Versuch 9	109
Tabelle 24: Grein - Versuch 10	109
Tabelle 25: Grein - Versuch 11	109

Tabelle 26: Grein - Versuch 12	110
Tabelle 27 Grein - Versuch 13	110
Tabelle 28 Grein - Versuch 14	110
Tabelle 29: Grein - Versuch 15	110
Tabelle 30: Grein - Versuch 16	110

LITERATUR

Achleitner, S., Huber, A., Lumassegger, S., Kohl, B., Spira, Y. und Weingraber, F. (2020a): Modellierung von Starkregen-Oberflächenabfluss/Hangwasser, Pilotstudie Oberösterreich. Technischer Bericht im Rahmen des EU-Interreg-Projekts RAINMAN, Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck, BFW Innsbruck, Umweltbundesamt (UBA) Wien und Land Oberösterreich.

Achleitner, S., Kohl, B., Lumassegger, S., Huber, A., Formayer, H. und Weingraber, F. (2020b): Sturzfluten. In: Glade, T., Mergili, M., Sattler, K. (Hrsg.): ExtremA 2019. Aktueller Wissensstand zu Extremereignissen alpiner Naturgefahren in Österreich. Vienna University Press, S. 247– 286, , ISBN Print: 9783847110927 – ISBN E-Lib: 9783737010924

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2023. Hochwasserschutz. <https://www.noel.gv.at/noel/Wasser/Hochwasserschutz.html>.

Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018: Umsetzung Hochwasserrichtlinie.

BML, 2023a. Hochwasserrisiko. <https://info.bml.gv.at/themen/wasser/wisa/hochwasserrisiko.html> (25 September 2023). BML, 2023 (Datengrundlage 2019). Leben mit Naturgefahren. <https://maps.naturgefahren.at> (25 September 2023).

BML, 2023b. Wasser WebGIS Anwendungen. WISA Wasser Informationssystem Austria - Hochwassergefahren- und Risikokarten (GKRK). https://maps.wisa.bml.gv.at/gefahren-undrisikokarten-zweiter-zyklus?g_card=hwrisko_gefahren_ueff (25 September 2023).

BML, 2023c. WebGIS Applikation eHYD. www.ehyd.gv.at (25 September 2023).

BML, VVO, 2023. HORA - Natural Hazard Review and Risk Assessment Austria. <https://www.hora.gv.at> (25 September 2023).

Bundesamt für Umwelt, Schweiz (BAFU, 2020). Überwachungssysteme für gravitative Naturgefahren – Handbuch – Gefahrenprävention 2020.

Clemens Neuhold, Martin Wenk, 2021. Hochwasserrisikomanagement - Ziele und Maßnahmen, Wien.

DCNAustria (Ed.), 2022. Disaster Research Days 2022 - Konferenzband. mit Beiträgen aus der Sicherheits- und Katastrophenforschung. Disaster Competence Network Austria.

Eder, M., Herrnegger, M., Hogl, K., Löschner, L., Nordbeck, R., Scherhauser, P., Schober, B., Seher, W., Wesemann, J., Zahnt, N., Habersack, H., 2019. A NOVEL RIVER-BASIN APPROACH FOR REGIONAL FLOOD RISK MANAGEMENT (REGIO-FEM). In: 38th IAHR World Congress - "Water: Connecting the World". The International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR), pp. 591-599.

Eder, M., Löschner, L., Herrnegger, M., Hogl, K., Nordbeck, R., Scherhauser, P., Schober, B., Seher, W., Wesemann, J., Zahnt, N., Habersack, H., 2022a. RegioFEM — Applying a floodplain evaluation method to support a future-oriented flood risk management (Part II). J Flood Risk Management 15.

Eder, M., Perosa, F., Hohensinner, S., Tritthart, M., Scheuer, S., Gelhaus, M., Cyffka, B., Kiss, T., van Leeuwen, B., Tobak, Z., Sipos, G., Csikós, N., Smetanová, A., Bokal, S., Samu, A., Gruber, T., Gălie, A.-C., Moldoveanu, M., Mazilu, P., Habersack, H., 2022b. How Can We Identify Active, Former, and Potential Floodplains? Methods and Lessons Learned from the Danube River. Water 14, 2295.

Fuchs, S., kein Datum (nach 2007). Integrate, Consolidate and Disseminate European Flood Risk Management Research. 2nd ERA-NET CRUE Research Funding Initiative; Flood Resilient Communities - Managing the Consequences of Flooding; Final Report - Austria: RISK MAP: Improving Flood Risk Maps as a Means to Foster Public Participation and Raising Flood Risk Awareness: Toward Flood Resilient Communities. funded by: BMBF (Germany), DEFRA (UK), BMLFUW (Austria), MEDDTL (France).

GIS Steiermark, 2023. Digitaler Atlas. Naturgefahren - Hangwasser. <https://gis.stmk.gv.at/wgportal/atlasmobile/map/Gew%C3%A4sser%20-%20Wasserinformation/Naturgefahren> (25 September 2023).

European Commission, 2013. Guidance for Reporting under the Floods Directive 2007/60/EC.

Habersack, H., Bürgel, J., Kanonier, A., Neuhold, C., Stiefelmeyer, H., Schober, B., 2018. Erzielte Verbesserungen und verbleibender Handlungsbedarf im Integrierten Hochwasserrisikomanagement in Österreich – FloodRisk_E(valuierung). Österr Wasser- und Abfallw 70, 20-28.

Habersack, H., Bürgel, J., Kanonier, A., Stiefelmeyer, H., 2010. FloodRisk I und II: Grundlagen für ein integriertes Hochwassermanagement in Österreich. Originalarbeit. ÖWAW 1-2, 1-6.

Habersack, H., Schober, B., 2020. Floodplain evaluation matrix FEM: A multiparameter assessment methodology. J Flood Risk Management 13.

Das Land Steiermark, 2023. Risikogebiete.
<https://www.hochwasser.steiermark.at/cms/ziel/142693637/DE/> (25 September 2023).

Hoch, T., Kopetzky, T., 2022. Energy-Efficient IoT Solution for Traffic Monitoring. Chapter 11. In: Schirrer, A., Gratzner, A.L., Thormann, S., Jakubek, S., Neubauer, M., Schildorfer, W. (Eds.), Energy-Efficient and Semi-automated Truck Platooning. Springer International Publishing, Cham.

IAN, 2010. IAN Report 126 - Heuristische Verfahren zur Früherkennung von starkniederschlagsbedingten Naturgefahrenereignissen. Auftraggeber: WLV, Sektion Vorarlberg.

IAN, 2014. Automatische Detektion alpiner Massenbewegungen mittels Hochfrequenzradartechnik, Naturgefahren-Radar. Ein Projekt finanziert im Rahmen der Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung 2011(VIF2011). Abschlussbericht.

IAN, 2017. IAN Report 166. Identification of sediment-related disaster based on seismic and acoustic signals (MM-Identification). Endbericht; gefördert von: ÖAW, ESS.

IAN and Geexpert GmbH, 2016. IAN Report 147 - Automatic Detection of Alpine Mass Movements (AMM Detection). Endbericht. Projektnummer 836474 - gefördert von: FFG, Wien.

Laimighofer, J., Formayer, H., 2022. Abhängigkeit von Starkniederschlägen zu Wolkentemperatur und Gewitterintensität. In: DCNAustria (Ed.), Disaster Research Days 2022 - Konferenzband. mit Beiträgen aus der Sicherheits- und Katastrophenforschung. Disaster Competence Network Austria.

Land Salzburg, 2023. Hochwasserrisikomanagementplan.
https://www.salzburg.gv.at/umweltnaturwasser_/Seiten/hochwasserrisikomanagementpl.aspx (25 September 2023).

Leber, D., Volk, G., Hoch, T. & Pollhammer, K. (2022a). Naturgefahrenprozesse und Überwachungssysteme. AP 2.2 Analyse und Charakteristik flächiger Naturgefahrenprozesse und Stand-der-Technik Monitoring und Frühwarnung ;AP 2.3 Analyse Prozesseinwirkungen auf Lichten Raum und Überwachungsmöglichkeiten. Beilage zum Zwischenbericht Projekt NANCI - FFG 556141 (AP22_23_Teil1.pdf).

Leber, D., Pollhammer, K., & Hoch, T. (2022b). Prozesscharakteristik Naturgefahren und Use Case Definition. AP 2.2 Analyse und Charakteristik flächiger Naturgefahrenprozesse und Stand-der Technik Monitoring und Frühwarnung; AP 2.3 Analyse Prozesseinwirkungen auf

den Lichten Raum und Überwachungsmöglichkeiten. Beilage zum Zwischenbericht Projekt NANCI - FFG 886141 (AP22_23_Teil2.pdf).

Löschner, L., Eder, M., Herrnegger, M., Hognl, K., Nordbeck, R., Scherhauser, P., Schober, B., Seher, W., Wesemann, J., Zahnt, N., Habersack, H., 2022. RegioFEM – Informing futureoriented flood risk management at the regional scale (Part I). J Flood Risk Management 15.

Markart, G., Kohl, B., Sotier, B., Schauer, T., Bunza, G. und R. Stern (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). BFW-Dokumentation Nr. 3, Bundesamts und Forschungszentrums für Wald, Wien, 83 S.

Ma, Z., Mei, G., Piccialli, F., 2021. Machine learning for landslides prevention: a survey. Neural Comput & Applic 33, 10881-10907.

Mergili, M., Tader, A., Glade, T., Neuhold, C., Stiefelmeyer, H., 2015. The Atlas of Natural Hazards and Risks of Austria: first results for fluvial and pluvial floods. EGU General Assembly 2015 - Geophysical Research Abstracts 17.

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV, 2019): ÖWAV-Regelblatt 220, Niederschlag-Abfluss-Modellierung, Wien, 2019.

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV, 2020): Klimawandelanpassung Wasserwirtschaft – Pluviales Hochwasser/Oberflächenabfluss. ÖWAV Expertenpapier. ÖWAV Forum „Klimawandel“, Wien.

Moy de Vitry, M., Kramer, S., Wegner, J.D., Leitão, J.P., 2019. Scalable flood level trend monitoring with surveillance cameras using a deep convolutional neural network.

Neuhold, C. (Ed.), 2014. Risikomanagement pluvialer Hochwässer in Österreich. ÖWAV, 2013. Leitfaden „Wassergefahren für Gebäude und Schutzmaßnahmen“, Wien.

Schober, B., Hauer, C., Habersack, H., 2018. Floodplain Evaluation Matrix (FEM) – Eine umfassende Methode zur Bewertung von Überflutungsräumen im Rahmen eines integrierten Hochwasserrisikomanagements. Österr Wasser- und Abfallw 70, 54-63.

Schober, B., Hauer, C., Habersack, H., 2019. Integrative View of Historic and Future Floodplain Changes and Their Role within an Integrated Flood Risk Management. In: 38th IAHR World Congress - "Water: Connecting the World". The International Association for HydroEnvironment Engineering and Research (IAHR), pp. 1752-1759.

Sit, M., Demiray, B.Z., Xiang, Z., Ewing, G.J., Sermet, Y., Demir, I., 2020. A comprehensive review of deep learning applications in hydrology and water resources. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research* 82, 2635-2670.

Suda, J., Rudolf-Miklau, F., 2012. *Bauen und Naturgefahren. Handbuch für konstruktiven Gebäudeschutz.* Springer Vienna, Vienna.

Swarco Futurit, Geoexpert, SCCH, 2021. *Naturgefahren-Früherkennung für Verkehrsinfrastruktur durch autarke redundante vernetzte Multi-Sensor-Systeme.* Vollantrag NINCI. 39049298.

Traunmüller, W., 2022. NINCI Projektarbeit: "Starkniederschläge im Alpenraum/Österreich mit Hinsicht auf den Klimawandel.". Auftraggeber: SWARCO FUTURIT Verkehrssignalsysteme Ges. m. b. H.

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt (BOKU, 2021). *InfCapAT – Infiltrationskapazität Österreich – Endbericht.*

Umweltbundesamt, 2023. *Hochwasser.* <https://www.umweltbundesamt.at/wasser/informationen/oberflaechengewaesser/hochwasser> (25 September 2023).

Wang, H., Zhang, L., Yin, K., Luo, H., Li, J., 2021. Landslide identification using machine learning. *Geoscience Frontiers* 12, 351-364.

Wesemann, J., Eder, M., Habersack, H., Hognl, K., Löschner, L., Nordbeck, R., Scherhauser, P., Schober, B., Seher, W., Zahnt, N., Herrnegger, M., 2020. Regionale Entwicklung des Hochwasserrisikos unter Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen.

Zahnt, N., Eder, M., Habersack, H., 2018. Herausforderungen durch pluviale Überflutungen – Grundlagen, Schäden und Lösungsansätze. *Österr Wasser- und Abfallw* 70, 64-77.

Zhang, W., Kumar, M., Liu, J., 2019. Multi-parameter online measurement IoT system based on BP neural network algorithm. *Neural Comput & Applic* 31, 8147-8155.