

# Luftgestützte Observation Kritischer Infrastrukturen (LOKI)

## Erstellung von Schadenskatalogen zur Klassifikation von Erdbebenschäden anhand von UAV-Bilddaten und 3D-Punktwolken sowie Fragilitätskurven

### 1. Motivation und Zielsetzung

Das Projekt **LOKI** wird vom **Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)** unter dem Förderkennzeichen **03G0890E** geführt.

**Ziel** des Projektes **LOKI** ist es, ein **interdisziplinäres Gesamtsystem** und dessen Komponenten (Abbildung 1) zu entwickeln, um im Falle eines **Erdbebens** eine **schnelle und zuverlässige luftgestützte Lageerfassung** zu ermöglichen. Dazu werden mit Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) anhand von Missionsplanungen für **Übersichts- und Detailflüge** Bilddaten und 3D-Punktwolken der Schäden nach dem Erdbeben aufgenommen. Diese dienen zur **binären Schadensdetektion** und zur **Schadensklassifikation in fünf Schadensgrade**. Die Schadensbeurteilungen werden einerseits durch **automatische Verfahren** auf Basis von Machine-Learning-Algorithmen und andererseits durch Crowdsourcing-basierte **Micromapping-Ansätze** realisiert. Durch eine schnelle Bereitstellung von Daten können die **Rettungsmaßnahmen unterstützt** und die vorhandenen **Ressourcen effektiv** eingesetzt werden.

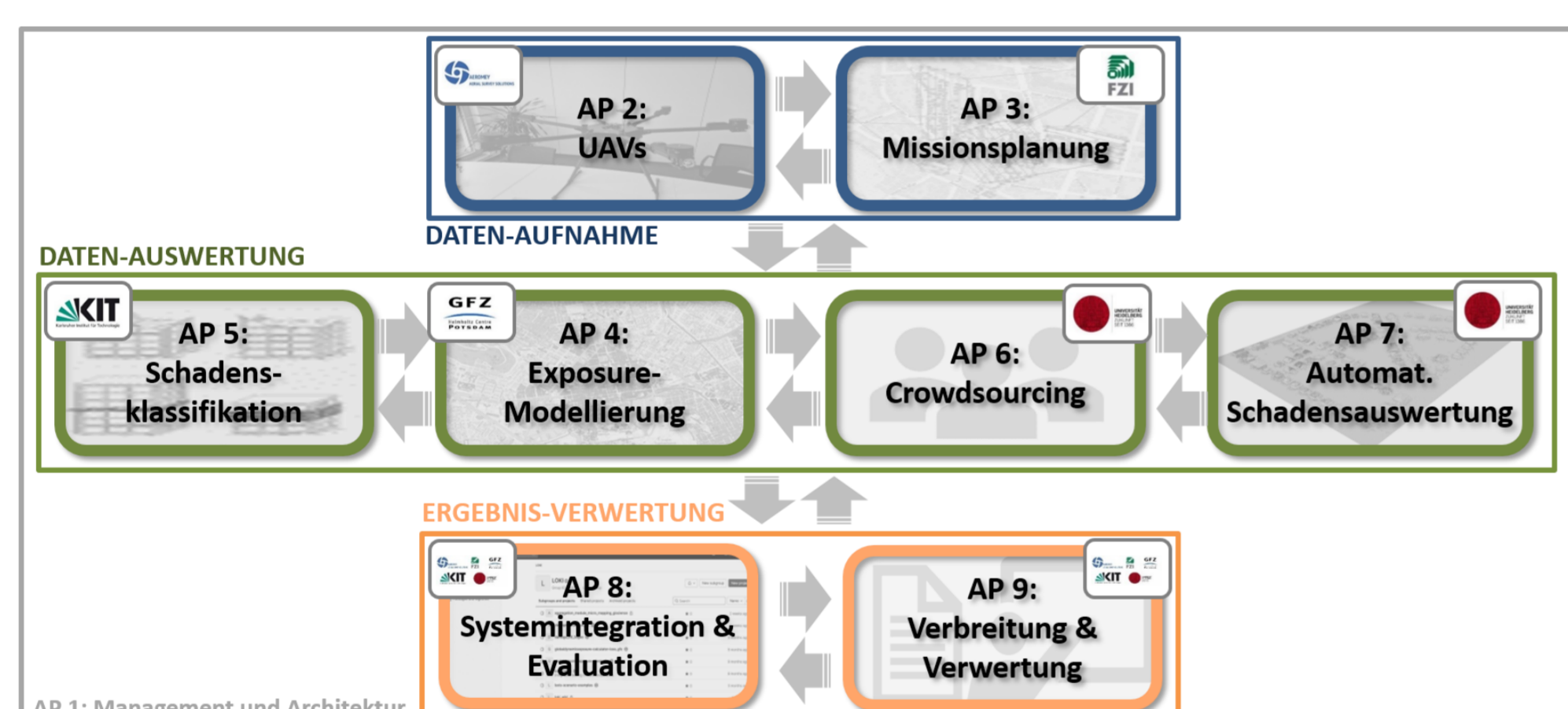


Abbildung 1: Arbeitspakete des LOKI-Projekts und deren Interaktion

### 2. Vorgehen

Der **Forschungsschwerpunkt** des IMB liegt in der **Schadensklassifikation**. Dazu werden **Schadenskataloge** für verschiedene Materialien entwickelt, die sowohl materialspezifische als auch globale Schadensmerkmale für fünf Schadensgrade enthalten. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung von **Fragilitätskurven**, die, basierend auf Gebäudeeigenschaften und Erdbebenparametern, zur Abschätzung einer ersten Schadensverteilung, als Ausgangspunkt für die Übersichtsflüge dienen.

Ein Fokus liegt außerdem auf der **Integration der Anwender** in die **Systementwicklung**. Daher werden die Anforderungen verschiedener Anwendergruppen im Katastrophenschutz (THW, DRK, Feuerwehr) erhoben und das System im Austausch iterativ verbessert, sodass eine **Anwendung in der Praxis** sichergestellt ist.

**Julia Kohns M.Sc.**  
Gotthard-Franz-Straße 3, 76131 Karlsruhe  
Telefon: +49 721 608-44096  
E-Mail: julia.kohns@kit.edu



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung  
FKZ: 03G0890E

### 3. Ergebnisse

Die entwickelten **Schadenskataloge** enthalten **materialspezifische** sowie **globale Merkmale** und sind in [1] beschrieben. Sie bilden die Grundlage für generalisierte Schadensbilder und eindeutige Merkmale für die **automatisierte Schadensklassifizierung** mittels **Änderungsanalyse** [2]. Andererseits dienen sie als Basis für ein **Tutorial** und **Klassifizierungsaufgaben** zur Schadensklassifikation mit der Anwendung **CrowdMap-App** [3]. Dabei können Freiwillige die einfachen Klassifizierungsaufgaben (binär und in 5 Schadensgrade) lösen und somit Experten unterstützen.

**Fragilitätskurven** beschreiben die Wahrscheinlichkeit des Überschreitens eines Schadensgrads für eine definierte Gebäudestruktur und Intensität. Zur Ermittlung der Fragilitätskurven wurde ein **multiskalarer Ansatz** entwickelt, der numerische Kriterien zur **Definition der Schadensgrade auf verschiedenen Ebenen** verwendet um möglichst alle Schadensmuster abzudecken. Dazu werden sowohl **materialspezifische** als auch **globale Kriterien** von der Element- bis zur Gebäudeebene definiert. Über Häufigkeit und räumliche Verteilung werden diese Schadenskriterien mit ihren definierten Grenzwerten den fünf Schadensgraden zugeordnet und die **Lage der Schadensgrade** auf der Antwortkurve des Gebäudes (Pushover-Kurve) bestimmt. Die beispielhaft ermittelten **Fragilitätskurven** für ein regelmäßiges viergeschossiges Stahlbetonrahmengebäude sind in Abbildung 2 dargestellt. Einzelheiten finden sich in [4].

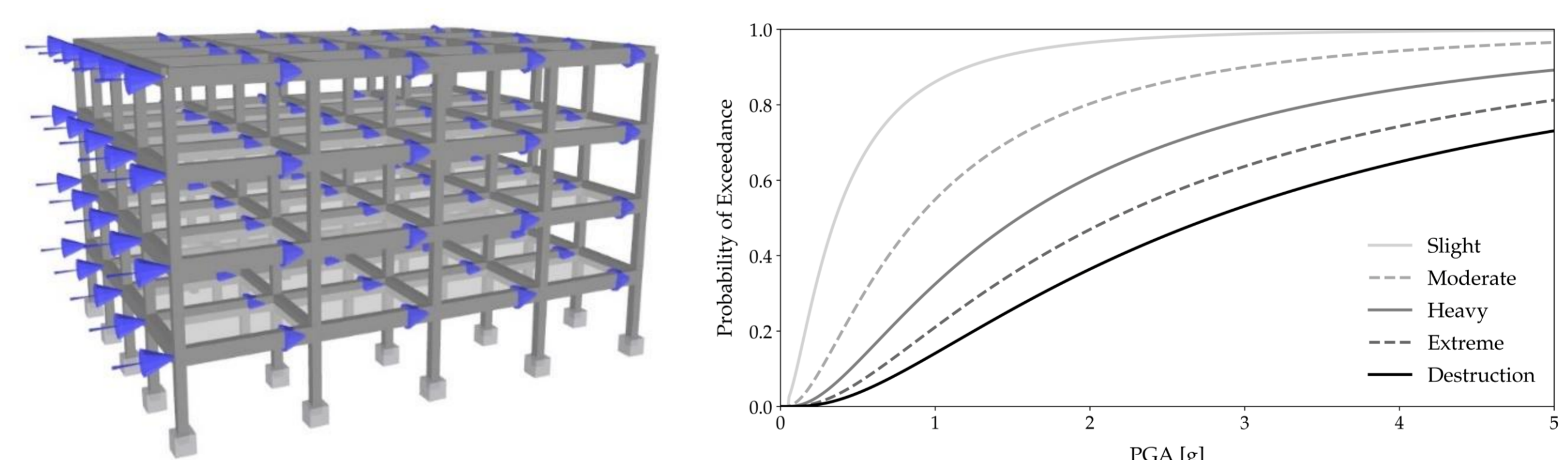


Abbildung 2: Fragilitätskurven eines Stahlbetonrahmengebäudes [4]

Der Workflow des LOKI-Frameworks mit allen Modulen einschließlich aller Schnittstellen wurde getestet. Außerdem wurden Modultests mit den Anwendergruppen durchgeführt und Verwertung und Verbreitung diskutiert.

Die Module und ein ausführlich erläuterndes Wiki sind in GitLab öffentlich zugänglich: <https://git.gfz-potsdam.de/loki>  
Für weitere Informationen: [www.uni-heidelberg.de/loki](http://www.uni-heidelberg.de/loki)

[1] Kohns, J., Stempniewski, L., Stark, A. (2022a): Entwicklung von Schadenskatalogen für die visuelle Beurteilung von Gebäuden im Erdbebenfall. BAUINGENIEUR BD. 97 (2022) NR. 12, 403-412. DOI: 10.37544/0005-6650-2022-12-39  
[2] Zahs et al. (2023): Classification of structural building damage grades from multi-temporal photogrammetric point clouds using a machine learning model trained on virtual laser scanning data. Preprint. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.12591>  
[3] <https://crowdmap.heigit.org/#/>  
[4] Kohns, J., Stempniewski, L., Stark, A. (2022b): Fragility Functions for Reinforced Concrete Structures Based on Multiscale Approach for Earthquake Damage Criteria. Buildings, 12 (8). DOI: 10.3390/buildings12081253.