

Safe Buildings for Us

Die Chancen der Digitalisierung nutzen, Gebäude sicherer zu machen

Master-Thesis

Zur Erlangung des Titels

Master of Science FHNW in Virtual Design and Construction (VDC)

verfasst von

**Roman Aerni und
Patrick Mettler**



Institut für Digitales Bauen
Fachhochschule Nordwestschweiz
Muttenz in Baselland
2026

Thesis Begleiter*in:

Prof. Nora Dainton, Leiterin Institut Digitales Bauen
Prof. Oliver Schneider, Dozent für Digitales Bauen

Thesis Expert*in:

Cédric Eschmann, Leiter der Abteilung Haus und Freizeit (BFU)

Praxispartner*in:

Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU)

msc-vdc.habg@fhnw.ch

© 2026

CH 4132 Muttenz

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung, werden vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung reproduziert oder über elektronische Systeme verbreitet werden. Die Genehmigung ist bei der Abteilung Master FHNW Virtual Design & Construction einzuholen. Bei gesperrten Arbeiten ist jegliche Art der Weiterverwendung verboten.

Eigenständigkeitserklärung

Wir erklären hiermit,

dass wir die vorliegende Masterthesis mit dem Titel «Safe Buildings for Us» selbst und selbstständig verfasst haben,

dass wir sämtliche nicht von uns selbst stammenden Textstellen bzw. Bestandteile eines Werkes (Bilder, Grafiken, Codes etc.) gemäss gängigen wissenschaftlichen Zitierregeln korrekt zitiert und die verwendeten Quellen gut sichtbar erwähnt haben;

dass wir in einem Verzeichnis alle verwendeten Hilfsmittel (KI-Assistenzsysteme wie Chatbots [z. B. ChatGPT], Übersetzungs- [z. B. DeepL], Paraphrasier- [z. B. Quillbot]) oder Programmierapplikationen [z. B. GitHub Copilot], Personen und Leistungen bezüglich Korrektorats und/oder Lektorat deklariert und ihre Art der Verwendung offenlege und bei den entsprechenden Textstellen angegeben haben,

dass wir sämtliche immateriellen Rechte an von uns allfällig verwendeten Materialien wie Bilder oder Grafiken erworben haben oder dass diese Materialien von uns selbst erstellt wurden;

dass das Thema, die Arbeit oder Teile davon nicht bei einem Leistungsnachweis eines anderen Moduls verwendet wurden, sofern dies nicht ausdrücklich mit der Dozentin oder dem Dozenten im Voraus vereinbart wurde und in der Arbeit ausgewiesen wird;

dass wir uns bewusst sind, dass unsere Arbeit auf Plagiate und auf Drittauthorschaft menschlichen oder technischen Ursprungs (künstliche Intelligenz) überprüft werden kann;

dass wir uns bewusst sind, dass die Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik einen Verstoß gegen diese Eigenständigkeitserklärung bzw. die ihr zugrunde liegenden Studierendenspflichten der Studien- und Prüfungsordnung der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik verfolgt und dass daraus disziplinarische (Verweis oder Ausschluss aus dem Studiengang) Folgen resultieren können.

Vorname Nachname:

Roman Aerni

Patrick Mettler

Ort, Datum:

Muttenz, 09.01.2026

Muttenz, 09.01.2026

Unterschrift:

Abstract

Die BFU steht im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung von Bau- und Planungsprozessen vor der Aufgabe, sicherheitstechnische Prüfungen weiterhin verlässlich, nachvollziehbar und fachlich fundiert durchzuführen. Digitale Bauwerksmodelle, datenbasierte Planunterlagen und automatisierte Analyseverfahren verändern die Rahmenbedingungen und erhöhen die Anforderungen an Effizienz, Transparenz und Skalierbarkeit. Eine gezielte digitale Aufbereitung der BFU-Empfehlungen ist zentral, um Prüfprozesse in digitalen Bauprozessen weiterzuentwickeln, ohne die Qualität sicherheitstechnischer Beurteilungen zu beeinträchtigen.

Die Masterarbeit untersucht, inwiefern sich ausgewählte BFU-Empfehlungen mithilfe offener Standards sinnvoll in digitale Bauprozesse integrieren lassen und welche Rolle KI-gestützte Werkzeuge bei der Beurteilung von Plänen und digitalen Bauwerksmodellen übernehmen können. Ziel ist eine Standortanalyse sowie die Ableitung einer Handlungsempfehlung, welche den praktischen Mehrwert bestehender Technologien sowie deren funktionale und methodische Grenzen aufzeigt.

Im Rahmen eines Proof of Concept werden verschiedene KI-Tools sowie ein eigens entwickelter Prototyp analysiert und miteinander verglichen. Die Bewertung erfolgt anhand definierter Kriterien wie z.B. Datenzugänglichkeit, Erkennungsgenauigkeit und Skalierbarkeit. Der PoC veranschaulicht, inwiefern automatisierte Prüfverfahren Planungsfehler in frühen Projektphasen reduzieren können.

Die Ergebnisse zeigen, dass KI-gestützte Systeme ein hohes Unterstützungspotenzial besitzen, jedoch technologische und methodische Limitationen aufweisen. Eine vollautomatische, normativ abgeschlossene sicherheitstechnische Prüfung ist derzeit noch nicht möglich. Der Prototyp zeigt jedoch, dass eine regelbasierte und nachvollziehbare Unterstützung menschlicher Prüfprozesse realisierbar ist und eine tragfähige Grundlage für die Weiterentwicklung eines domänenspezifischen Assistenzsystems bildet.

Schlagworte

BFU-Empfehlungen, Digitale Bauprozesse, Automatisierte Sicherheitsprüfung, KI-Tools, Offene Standards, Prototyp

Vorwort

Diese Masterarbeit entstand im Rahmen des Masterstudiengangs Virtual Design and Construction (VDC) in Zusammenarbeit mit der Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU). Ausgangspunkt der Arbeit war die Beobachtung, dass Planungs- und Bauprozesse fortlaufend digitalisiert werden und digitale Bauwerksmodelle sowie datenbasierte Arbeitsweisen in der Praxis zunehmend an Bedeutung gewinnen. Gleichzeitig basieren sicherheitstechnische Prüfungen nach wie vor in hohem Mass auf manuellen, erfahrungsbasierten Verfahren. Vor diesem Hintergrund stellt sich für die BFU die zentrale Frage, wie sie sich fachlich fundiert und methodisch kontrolliert in diese digitale Entwicklung integrieren kann, ohne die Qualität, Nachvollziehbarkeit und Verantwortung sicherheitstechnischer Beurteilungen zu beeinträchtigen oder zu delegieren.

Ziel dieser Arbeit war es nicht, bestehende Prüfprozesse zu ersetzen, sondern zu untersuchen, wie digitale und KI-gestützte Werkzeuge die fachliche Beurteilung sinnvoll unterstützen können. Im Zentrum stand eine Standortanalyse: Wo befindet sich die BFU im Kontext fortlaufend digitalisierter Planungs- und Bauprozesse, welche technologischen Ansätze bieten bereits heute einen realistischen Mehrwert, wo bestehen klare methodische und technologische Grenzen und welche Anforderungen lassen sich daraus für die Konzeption einer zukünftigen BFU-spezifischen Assistenzsystem ableiten. Die Arbeit versteht sich bewusst als explorative Untersuchung und Proof of Concept und nicht als Entwicklung eines marktreifen Produkts.

Einen besonderen Dank gilt der Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) für die enge Zusammenarbeit, die fachliche Unterstützung sowie die Bereitstellung von Testunterlagen. Insbesondere danken wir den Fachpersonen der BFU für die vielfältigen und spannenden Fachgespräche sowie den an der Umfrage teilnehmenden Fachplanenden für ihre praxisnahen Einblicke in bestehende Prüfprozesse, ihre fachlichen Perspektiven und ihre Offenheit im Austausch. Cédric Eschmann danken wir als Hauptansprechpartner der BFU für die kontinuierliche Begleitung dieser Arbeit, die fachliche Einordnung der Fragestellungen sowie die kritische Reflexion der Ergebnisse. Ebenso danken wir Prof. Nora Dainton und Prof. Oliver Schneider für die konstruktive Betreuung, die fundierten Rückmeldungen und die wertvolle Unterstützung während des gesamten Arbeitsprozesses. Ein weiterer Dank gilt dem Gründer von AidOCR für die Bereitschaft, seine Plattform im Rahmen mehrerer Fachgespräche vorzustellen, konkrete Analysen durchzuführen und die Software anhand der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Unterlagen gemeinsam zu testen.

Abschliessend danken wir allen Personen, die diese Arbeit fachlich, organisatorisch oder persönlich unterstützt haben. Die vorliegende Masterarbeit soll einen Beitrag zur Weiterentwicklung sicherheitstechnischer Prüfprozesse leisten und aufzeigen, dass technologische Innovation und sicherheitstechnische Verantwortung nur im Zusammenspiel nachhaltig vorangebracht werden können.

Inhaltsverzeichnis

Eigenständigkeitserklärung.....	I
Abstract.....	II
Vorwort.....	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Glossar.....	V
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage und Motivation	1
1.2 Zielsetzung und Mehrwert.....	3
1.3 Abgrenzung.....	5
2 Methodik	6
2.1 Methodisches Vorgehen	6
2.2 Methodologische Einordnung.....	10
3 Rolle der BFU im Bauwesen.....	11
3.1 Aufgaben der BFU	11
3.2 Fokus Sturzprävention	12
4 Standortanalyse	13
4.1 Stand der Technik.....	14
4.2 Auswertung der Umfrage über die BFU.....	16
4.3 Erkenntnisse der Fachgespräche mit der BFU	20
4.4 Ergebnisse Standortanalyse	30
5 Roadmap	32
5.1 Ideenkatalog – Von der Erkenntnis zur Strategie.....	32
5.2 CBA für Proof of Concept (PoC)	34
5.3 Zeitliche Einordnung – Von der Aktuellen Ausgangslage zur Vision 2030	38
6 Proof of Concept.....	40
6.1 Strategie und Aufbau	40
6.2 Technischer Hintergrund.....	41

6.3	Horizontenerweiterung durch bestehende Tools	45
6.4	BFU Checker entwickeln	68
6.5	Erkenntnisse und Limitationen	90
7	Ergebnisse	93
7.1	Ableitung der finalen Handlungsempfehlung	93
7.2	Validierung durch die BFU	97
8	Diskussion	99
9	Fazit und Ausblick	105
	Literaturverzeichnis	VI
	Abbildungsverzeichnis	VII
	Tabellenverzeichnis	VIII
	Hilfsmittelverzeichnis	IX
	Anhang	X

Glossar

ACC	<p>Automated Compliance Checking</p> <p>ACC bezeichnet die softwaregestützte, automatische Prüfung eines Gebäudedesigns oder -modells gegen definierte Regeln mit Ergebnissen wie «pass» oder «fail». Der Ablauf lässt sich dabei in vier Phasen gliedern. Es umfasst dabei Regelinterpretation, Modellaufbereitung, Regelausführung und Ergebnisdarstellung. (Eastman et al., 2009, pp. 1012–1016)</p>
BFU	<p>Beratungsstelle für Unfallverhütung</p> <p>Die BFU ist ein Kompetenzzentrum, das Unfallursachen erforscht und berät, damit sich in der Schweiz weniger folgenschwere Unfälle ereignen, unter anderem im Strassenverkehr, zu Hause, in der Freizeit und beim Sport. Für diese Aufgaben hat sie seit 1938 einen öffentlichen Auftrag und senkt Unfallrisiken durch aktive Prävention auf wissenschaftlicher und faktenbasierter Grundlage. (BFU, 2025a)</p>
BIM	<p>Building Information Modeling</p> <p>BIM ist eine Methode, die durch digitale Werkzeuge ein umfassendes Bauwerksmodell erschafft. Dieses Modell enthält nicht nur alle geometrischen, physikalischen und funktionalen Eigenschaften des Bauwerks, sondern ermöglicht auch eine durchgängige digitale Unterstützung aller Prozesse - von der Planung über die Ausführung bis zur Bewirtschaftung während des gesamten Lebenszyklus. (Borrmann et al., 2021, p. 856)</p>
CBA	<p>Choosing by Advantage</p> <p>CBA ist ein faktenbasiertes Entscheidungssystem. Es vergleicht Alternativen über die Bedeutung ihrer Vorteile und trennt Wert strikt von Kosten, wodurch Entscheidungen transparent und kontextbezogen werden. (Suhr, 1999, pp. 4–14) In Bauprojekten fördert CBA Zusammenarbeit und nachvollziehbare Entscheide, setzt jedoch Übung in Sprache und Anwendung voraus (Arroyo et al., 2025, pp. 75–95).</p>
CNN	<p>Convolutional Neural Network</p> <p>CNN ist ein Deep-Learning-Ansatz, der in der Computer Vision für Aufgaben wie Bildklassifikation, Segmentierung und Objekterkennung eingesetzt wird (Elyan et al., 2020, pp. 91–93).</p>

GPT	<p>Generative Pre-trained Transformer</p> <p>GPT ist eine von OpenAI entwickelte Familie von grossen Sprachmodellen auf Basis der Transformer-Architektur. Sie erzeugt Text, indem sie jeweils die wahrscheinlich nächsten Wörter ergänzt. (Belcic & Stryker, 2024)</p>
IDS	<p>Information Delivery Specification</p> <p>IDS ist ein buildingSMART-Standard, um Informationsanforderungen in einer maschinenlesbaren Form festzulegen. Damit lassen sich IFC-Modelle automatisch auf die Einhaltung dieser Anforderungen prüfen und es wird definiert, wie Objekte, Klassifikationen, Materialien, Eigenschaften und Werte im IFC geliefert werden sollen. (buildingSMART, 2025a)</p>
IFC	<p>Industry Foundation Classes</p> <p>Das IFC sind ein neutrales und offenes Datenaustauschformat, das unabhängig von Softwareherstellern entwickelt wurde. Dieses standardisierte und objektorientierte Format ermöglicht den Austausch von digitalen Bauwerksmodellen zwischen verschiedenen Anwendungen und Projektbeteiligten. (Borrmann et al., 2021, p. 858)</p>
LLM	<p>Large Language Models</p> <p>LLMs sind Sprachmodelle, welche aus einem bestehenden Text die wahrscheinlich nächsten Wörter (Tokens) vorhersagen und so neuen Text erzeugen. Large bedeutet dabei vor allem grosse Skalierung beim Umfang der Vortrainingsdaten, bei der Anzahl gelernter Parameter und beim Rechenaufwand. (Kamath et al., 2024, pp. 8–12)</p>
OCR	<p>Optical Character Recognition</p> <p>OCR ist eine Technologie, die Bilder von Dokumenten schnell in ein maschinenlesbares Format umwandelt. Dazu liest ein OCR-Programm Text aus gescannten Dokumenten, Kameraaufnahmen oder bildbasierten PDFs aus und macht ihn so zugänglich und bearbeitbar. (Holdsworth, 2024)</p>

Abkürzungsverzeichnis

ACC	Automated Compliance Checking (automatisierte Regel- / Konformitätsprüfung)
AECO	Architecture, Engineering, Construction and Operations
AI	Artificial Intelligence (Künstliche Intelligenz)
API	Application Programming Interface (Programmierschnittstelle)
BCF	BIM Collaboration Format (BIM-Kollaborationsformat)
BFU	Beratungsstelle für Unfallverhütung
BI	(Power) Business Intelligence (Microsoft Software für Datenanalyse)
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-aided design (Computergestütztes Konstruieren)
CBA	Choosing by Advantage (Auswählen nach Vorteilen)
CNN	Convolutional Neural Network (konvolutionales neuronales Netz)
CSV	Comma-separated values (Komma getrenntes Dateiformat)
CV	Computer Vision
DBM	Digitale Bauwerks Modelle
FHNW	Fachhochschule Nordwestschweiz
GPT	Generative Pre-trained Transformer (generativer vortrainierter Transformer)
I-OCR	Intelligent Optical Character Recognition (intelligente optische Zeichenerkennung)
IDM	Information Delivery Manual (Informationslieferhandbuch)
IDS	Information Delivery Specification (Informationslieferungs-Spezifikation)
IFC	Industry Foundation Classes (IFC-Standard für BIM-Datenaustausch)
JSON	JavaScript Object Notation
KI	Künstliche Intelligenz
LLM	Large Language Models (grosse Sprachmodelle)
NLP	Natural Language Processing (Verarbeitung natürlicher Sprache)
OCR	Optical Character Recognition (optische Zeichenerkennung)
PSet	Property Set (Eigenschaftssatz IFC-PropertySet)
RDF	Resource Description Framework (Rahmenwerk zur Ressourcenbeschreibung)
SaaS	Software as a Service
SHACL	Shapes Constraint Language (Sprache für Constraints / Validierungsregeln in RDF)
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SN	Schweizer Norm
SPARQL	SPARQL Protocol and RDF Query Language (Abfragesprache für RDF-Daten)
VDC	Virtual Design and Construction
YAML	YAML Ain't Markup Language (YAML-Format / Konfigurations- / Datenformat)
YOLO	You Only Look Once (YOLO-Objekterkennungsverfahren)

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Motivation

Sicherheitsaspekte im Bauwesen werden trotz fortschreitender Digitalisierung der Planungsprozesse weiterhin überwiegend analog behandelt. Die Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) verfügt mit ihren Richtlinien und Empfehlungen zwar über ein umfangreiches, evidenzbasiertes Wissen zur Sturzprävention und Gebäudesicherheit, doch dieses liegt nach wie vor in Form von Broschüren, PDFs und Checklisten vor. Diese Formate sind weder maschinenlesbar noch für digitale Weiterverarbeitung ausgelegt. Dadurch werden sicherheitsrelevante Problemlagen häufig erst in späten Projektphasen erkennbar, nicht selten erst während der Ausführung oder im Betrieb eines Bauwerks. Das kann zu einem deutlich erhöhten Zeit- und Kostenaufwand führen.

Gleichzeitig entwickeln sich modellbasierte Planungsmethoden wie Building Information Modeling (BIM) zu zentralen Werkzeugen der digitalen Zusammenarbeit. Standardisierte Datenstrukturen und interoperable Modelle ermöglichen es Fachplanenden, Informationen strukturiert auszutauschen und automatisiert zu prüfen. In dieser Umgebung entsteht das Potenzial, Sicherheitsanforderungen nicht nur statisch zu dokumentieren, sondern systematisch regelbasiert und automatisiert zu evaluieren. Sicherheit wird damit zu einem integralen Bestandteil eines datengetriebenen Planungs- und Entscheidungsprozesses.

Die BFU verfolgt langfristig das Ziel, ihre Empfehlungen in digitale Bauprozesse einzubetten und dadurch die Wirksamkeit präventiver Massnahmen zu erhöhen. Derzeit existiert jedoch kein strukturierter Ansatz, der ihre Inhalte in maschinenlesbare Datenformate überführt. Es fehlen sowohl technische Grundlagen als auch organisatorische Rahmenbedingungen, um sicherheitsrelevante Anforderungen direkt im digitalen Modell abzubilden und automatisiert zu prüfen. Ein Teil des BFU-Wissens bleibt daher in der digitalen Baupraxis ungenutzt.

Diese Masterarbeit setzt an der Schnittstelle zwischen präventivem Sicherheitswissen und digitaler Modellierung an. Sie untersucht, wie die Empfehlungen der BFU konzeptionell, organisatorisch und technisch in modellbasierte Planungsprozesse integriert werden können. Ausgangspunkt bildet eine umfassende Standortanalyse, die sowohl die interne Perspektive der BFU als auch die externe Sicht von Fachplanenden einbezieht. Sie erfasst den aktuellen Reifegrad, identifiziert bestehende Prozesse und bestimmt gezielt Optimierungspotenziale.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wird eine Roadmap entwickelt, welche die schrittweise digitale Transformation beschreibt, von der strukturierten Aufbereitung der Inhalte bis zur späteren Etablierung automatisierter Prüfprozesse. Sie bildet den konzeptionellen und organisatorischen Rahmen, um die Empfehlungen der BFU langfristig in digitale Bauprozesse einzubetten.

Ergänzend wird ein Proof of Concept (PoC) erarbeitet, der exemplarisch demonstriert, wie sicherheitsrelevante Anforderungen in unterschiedlichen Planungsständen sowie in digitalen Bauwerksmodellen (IFC-Format) automatisiert geprüft werden können. Damit verbindet die Arbeit theoretische Grundlagen, strategische Planung und praktische Umsetzung zu einem kohärenten Ansatz für die digitale Weiterentwicklung der Präventionsarbeit der BFU.

Die Motivation dieser Arbeit besteht darin, die Potenziale der Digitalisierung gezielt zur Verbesserung der Bau- und Arbeitssicherheit zu nutzen. Während Kosten, Termine und Nachhaltigkeit längst datenbasiert geplant und überwacht werden, bleibt Sicherheit häufig ein begleitendes Qualitätskriterium. Die Integration der BFU-Empfehlungen in digitale Prozesse ermöglicht es, Sicherheit bereits in frühen Planungsphasen zu verankern und systematisch zu prüfen.

Die bestehenden BFU-Empfehlungen verfügen über einen hohen fachlichen Stellenwert, liegen jedoch bislang weder in digital strukturierter Form vor noch sind sie maschinenlesbar oder ohne weiteres in modellbasierte Planungsabläufe integrierbar. Erst durch ihre systematische Aufbereitung und Überführung in digitale, standardisierte Workflows entsteht die Möglichkeit, sicherheitsrelevante Risiken bereits in frühen Projektphasen zu identifizieren, automatisiert zu überprüfen und damit die Wirksamkeit präventiver Massnahmen substantiell zu erhöhen.

Diese Masterarbeit ist als angewandte Forschungsarbeit konzipiert. Sie verbindet theoretische Analyse und praxisorientierte Entwicklung mit dem Ziel, auf Basis wissenschaftlicher Methoden und technischer Standards einen Beitrag zur digitalen Weiterentwicklung der Sicherheitsprävention im Bauwesen zu leisten. Der theoretische Teil untersucht den Digitalisierungsstand der BFU, bestehende Prozesse sowie relevante Normen und Standards. Der praktische Teil umfasst die Entwicklung einer Roadmap und eines Proof of Concept, der die technische Machbarkeit automatisierter Sicherheitsprüfungen demonstriert.

Insgesamt soll die Arbeit einen Beitrag zur Etablierung einer datenbasierten Sicherheitskultur leisten. Prävention wird dabei nicht nur dokumentiert, sondern systematisch, effizient und modellbasiert in Planungs- und Entscheidungsprozesse integriert.

1.2 Zielsetzung und Mehrwert

Ziel dieser Masterarbeit ist es, aufzuzeigen, wie die Empfehlungen der BFU schrittweise in digitale Bauprozesse integriert und über digitale Modelle automatisiert geprüft werden können. Dadurch soll ein praxisorientierter Beitrag zur digitalen Weiterentwicklung der Präventionsarbeit im Bauwesen geleistet werden.

Ausgangspunkt bildet eine Standortanalyse, welche die bestehenden Strukturen, Prozesse und Digitalisierungsinitiativen der BFU untersucht. Diese Analyse dient dazu, den aktuellen Reifegrad der Organisation im Hinblick auf die digitale Strukturierung ihrer Empfehlungen zu bestimmen und zentrale Handlungsfelder zu identifizieren.

Darauf aufbauend wird eine Roadmap entwickelt, die den stufenweisen Übergang zu einer digitalen Integration beschreibt. Sie definiert die notwendigen technischen, organisatorischen und inhaltlichen Schritte, damit sicherheitsrelevante Anforderungen künftig modellbasiert erfasst, strukturiert und automatisiert geprüft werden können.

Um die Machbarkeit zu prüfen, wird ein Proof of Concept erstellt. Dieser zeigt exemplarisch, wie Sicherheitsanforderungen innerhalb eines digitalen Gebäudemodells automatisiert überprüfbar werden. Verschiedene methodische Ansätze und Werkzeuge werden hinsichtlich technischer Umsetzbarkeit, Effizienz und Anwendbarkeit im Planungsalltag analysiert und verglichen. Dadurch entsteht ein praxisnaher Handlungsrahmen, der sowohl strategische als auch operative Potenziale der digitalen Integration konkret aufzeigt.

Die daraus abgeleitete Handlungsempfehlung dient der BFU als strategisches Instrument, um Präventionsansätze gezielt in digitale Planungsprozesse zu überführen und deren Wirksamkeit zu erhöhen.

Auf Basis der einzelnen Bestandteile dieser Masterthesis wird eine Brücke zwischen den Empfehlungen der BFU und der Digitalisierung in der Bauwirtschaft geschlagen (Abbildung 1).

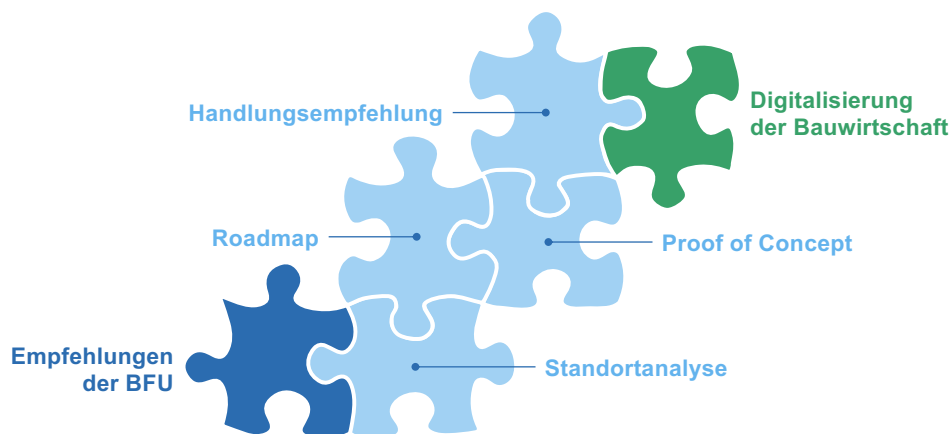


Abbildung 1: Konzeptionelle Einordnung der Masterthesis

Die zentrale Forschungsfrage, die dieser Arbeit zugrunde liegt, lautet:

«Wie kann die BFU aktuelle Entwicklungen in der Digitalisierung nutzen, um ihre Empfehlungen in digitale Bauprozesse zu integrieren und damit Sturzprävention gezielt zu unterstützen?»

Diese Leitfrage bildet den übergeordneten Rahmen der Untersuchung. Sie wird durch mehrere Teilfragen konkretisiert, die verschiedene Betrachtungsebenen organisatorisch, technisch und strategisch abdecken:

1. Wie ist der aktuelle Digitalisierungsgrad innerhalb der BFU zu beschreiben und welche Prozesse, Datenformate und Werkzeuge werden derzeit genutzt?
2. Welche Hürden bestehen bei der Integration der BFU-Empfehlungen in DBM-gestützte Workflows?
3. Welche digitalen Methoden und Standards sind geeignet, um die BFU-Empfehlungen regelkonform in Planungs- und Bauprozesse zu integrieren?
4. Wie kann eine Roadmap gestaltet werden, die durch begleitende Proof of Concepts praxisnah aufzeigt, wie BFU-Empfehlungen digital überprüfbar werden?
5. Wie könnte ein Zielbild für die Zukunft aussehen, in dem die Empfehlungen der BFU vollständig in digitale Bauprozesse eingebettet und automatisiert überprüfbar sind?

Die Beantwortung dieser Fragen erfolgt sowohl auf theoretischer als auch auf praktischer Ebene. Sie verbindet die Analyse des Status quo der BFU mit der Entwicklung eines konzeptionellen und technischen Ansatzes zur digitalen Integration ihrer Empfehlungen.

Zur wissenschaftlichen Fundierung werden folgende Hypothesen überprüft:

H1: Eine systematische digitale Aufbereitung der BFU-Empfehlungen erhöht die Wahrscheinlichkeit ihrer Anwendung in Planungs- und Bauprozessen signifikant.

H2: Offene Standards wie z. B. IFC, IDS oder BCF sind geeignete Instrumente, um sicherheitsrelevante Anforderungen der BFU maschinenlesbar und prüfbar zu machen.

H3: Ein Proof of Concept kann veranschaulichen, wie durch den Einsatz automatisierter Prüfverfahren Planungsfehler in frühen Projektphasen reduziert und damit Sicherheitsdefizite verringert werden können.

Diese Hypothesen bilden die Grundlage für die theoretische Argumentation und die praktische Untersuchung im Rahmen der Arbeit. Sie ermöglichen eine strukturierte Überprüfung, inwieweit die digitale Transformation zur Stärkung der Präventionsarbeit im Bauwesen beitragen kann.

1.3 Abgrenzung

Diese Arbeit konzentriert sich auf die konzeptionelle und technische Integration der BFU-Empfehlungen in digitale Bauprozesse. Im Mittelpunkt steht zunächst die Standortanalyse, welche den aktuellen organisatorischen, technischen und prozessualen Reifegrad der BFU systematisch erfasst. Auf dieser Grundlage wird eine Roadmap entwickelt, die den stufenweisen Übergang zu einer digitalen Umsetzung beschreibt. Ergänzend wird ein Proof of Concept erstellt, der exemplarisch demonstriert, wie sicherheitsrelevante Anforderungen im digitalen Gebäudemodell strukturiert abgebildet und automatisiert geprüft werden können.

Nicht Bestandteil der Arbeit ist die vollständige Implementierung eines produktiv einsetzbaren Systems oder die Entwicklung einer marktfähigen Softwarelösung. Betriebswirtschaftliche, rechtliche und haftungsbezogene Fragestellungen werden bewusst ausgeklammert. Inhaltlich fokussiert die Arbeit auf sicherheitsrelevante Anforderungen der Sturzprävention anhand ausgewählter BFU-Empfehlungen. Weitere Sicherheitsthemen wie Brandschutz oder ergonomische Anforderungen werden nur berücksichtigt, sofern sie für die digitale Strukturierung der Daten erforderlich sind.

Der Proof of Concept dient als technische Machbarkeitsanalyse und umfasst die Entwicklung eines ersten kleinen Prototyps, der exemplarisch zeigt, wie sicherheitsrelevante Anforderungen in digitalen Planungsprozessen automatisiert erkannt und geprüft werden können. Der Schwerpunkt liegt klar auf der Sturzprävention. Der Prototyp bildet die Grundlage, um technische Grenzen und Potenziale sichtbar zu machen. Daraus lassen sich strategische Handlungsempfehlungen für die digitale Weiterentwicklung der Präventionsarbeit der BFU ableiten.

2 Methodik

Dieses Kapitel beschreibt das methodische Vorgehen dieser Masterthesis sowie deren methodologische Einordnung. Zunächst wird dargestellt, wie die Untersuchung schrittweise aufgebaut, strukturiert und durchgeführt wurde. Anschliessend wird erläutert, wie die gewählten Methoden wissenschaftlich verankert sind und welchen forschungslogischen Überlegungen die Arbeit folgt.

2.1 Methodisches Vorgehen

Zur strukturierten Bearbeitung der Fragestellung wurde die Double-Diamond-Methode (Design Council, 2025) als Prozessrahmen adaptiert und um einen dritten Diamanten zur Formulierung des Proposal erweitert. Der in der unterstehenden Abbildung 2 dargestellte Triple-Diamond-Ansatz verbindet die drei Phasen Proposal, Theorie und Entwicklung zu einem klaren, aufeinander aufbauenden Vorgehen. Dieses Modell integriert explorative, kreative und evaluative Schritte, die durch kontinuierliche Reflexion sowie Anpassung begleitet werden. Dadurch lassen sich divergentes Denken (Ideengenerierung) und konvergentes Arbeiten (Fokussierung und Umsetzung) wirkungsvoll kombinieren.

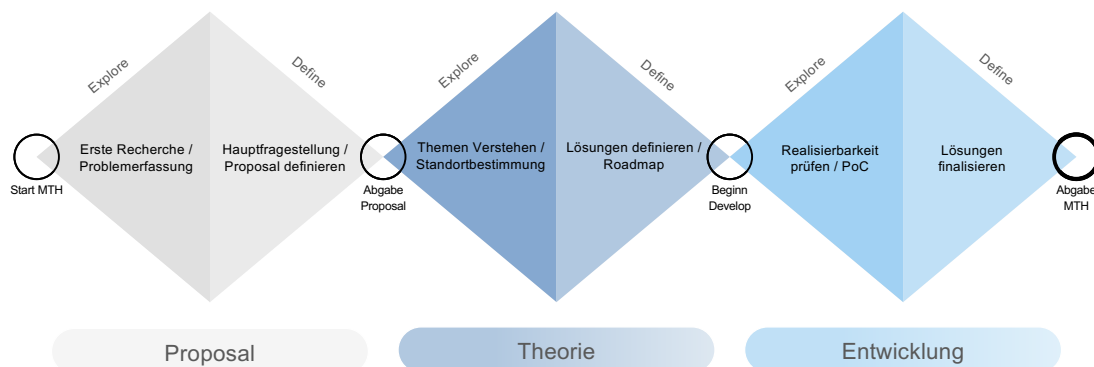


Abbildung 2: Triple-Diamond-Modell als Forschungsrahmen der Arbeit
(eigene Darstellung, in Anlehnung an Design Council, 2025)

Der erste Diamant umfasst die Entwicklung und Finalisierung des Proposal. Dazu gehören die initiale Recherche, die Schärfung der Problemstellung, die Definition der Methodik sowie die formale Ausarbeitung des Forschungsvorhabens. Diese Phase bildet den strategischen Rahmen für die gesamte Arbeit. Dieser Diamant ist mit der Abgabe des Proposal abgeschlossen.

Der zweite Diamant bildet die theoretische Vertiefung. In der Explore-Phase wird die aktuelle Ausgangslage der BFU untersucht, insbesondere Digitalisierungsgrad, interne Abläufe und Zuständigkeiten. Ergänzend erfolgen Fachgespräche, eine systematische Literaturrecherche sowie die Auswertung externer Referenzen, um ein belastbares Bild der Ausgangssituation zu gewinnen. In der anschließenden Define-Phase werden die gewonnenen Erkenntnisse konsolidiert, strukturiert und zu übergeordneten Konzepten verdichtet, die den Grundstein für die nachfolgende Roadmap bilden. Er beinhaltet die Ausarbeitung einer Roadmap zur digitalen Integration der BFU-Empfehlungen sowie die Bewertung möglicher Lösungspfade mithilfe einer Choosing by Advantages-Analyse (CBA).

Der dritte Diamant umfasst den Entwicklungsteil, in dem ein priorisierter Ansatz im Rahmen eines Proof of Concept exemplarisch umgesetzt wird. Dieser beinhaltet die Horizonterweiterung durch bestehende Tools, die Entwicklung eines Prototyps zum Selbsttest und schliesst mit der Erarbeitung einer Handlungsempfehlung ab.

Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt die inhaltliche Logik und Abfolge der Schritte in Theorie und Entwicklung. In der Explore-Phase werden qualitative und quantitative Daten erhoben, basierend auf Fachgesprächen, Umfragen und Literaturrecherche. Diese bilden die Grundlage für die Standortanalyse aus interner und externer Perspektive. In der Define-Phase werden die Daten ausgewertet, strukturiert und in eine Roadmap überführt.

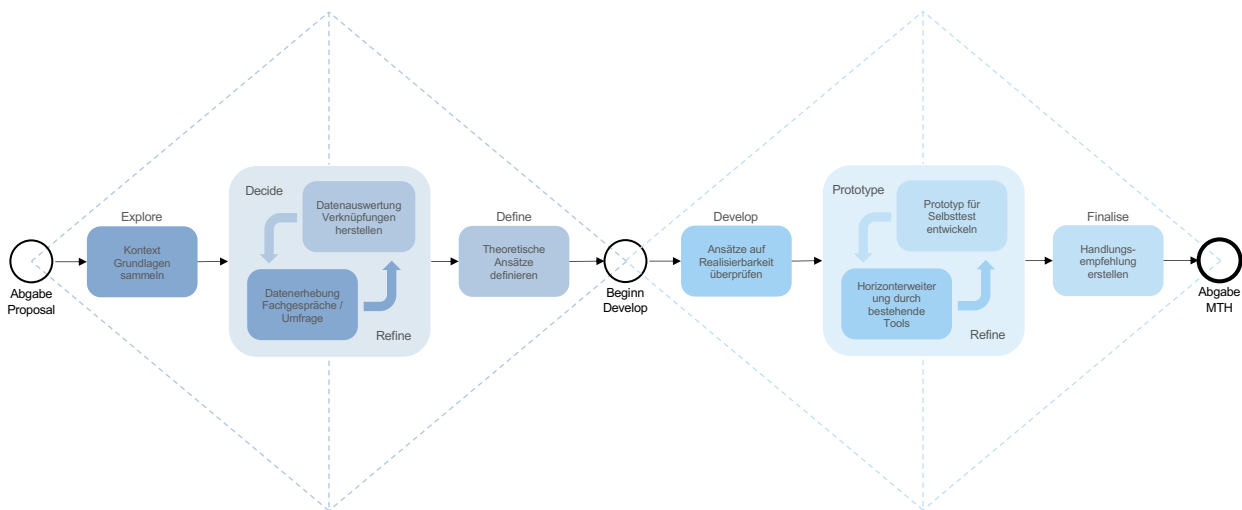


Abbildung 3: Double-Diamond-Zoom-In zur methodischen Vertiefung
(eigene Darstellung, in Anlehnung an Design Council, 2025)

Im Übergang zur Develop-Phase werden die priorisierten Handlungsfelder aus der Roadmap einer CBA-Analyse unterzogen, bei der Nutzen, Aufwand und Machbarkeit systematisch gegenübergestellt werden. Das Ergebnis dieser Analyse bildet die Entscheidungsgrundlage für die Auswahl des Themenbereichs, der im Proof of Concept vertieft untersucht wird. In der Entwicklungsphase werden die Resultate aus Theorie- und Entwicklungsarbeit zusammengeführt, um daraus konkrete Handlungsempfehlungen und strategische Leitlinien für die BFU abzuleiten.

Ein zentraler Bestandteil des theoretischen Teils ist die Standortanalyse der BFU, die aus einer internen und einer externen Perspektive erfolgt (siehe Abbildung 4). Die interne Analyse untersucht bestehende Prozesse und Zuständigkeiten, um den digitalen Reifegrad der Organisation zu bestimmen. Hierfür werden strukturierte Fachgespräche mit Mitarbeitenden der BFU durchgeführt, transkribiert und mit MAXQDA ausgewertet.

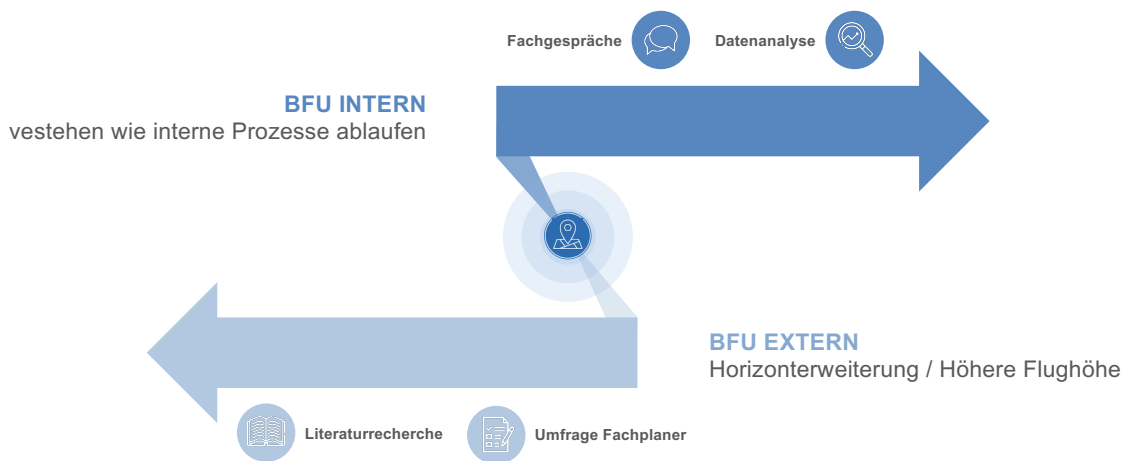


Abbildung 4: Methodisches Vorgehen der Standortanalyse

Die externe Analyse ergänzt diese Sicht durch eine angelegte MS-Forms-Umfrage unter Fachplanenden, um Vergleichswerte zu ermitteln und Entwicklungspotenziale zu identifizieren. Die erhobenen Daten werden in Power BI visualisiert und mit den Ergebnissen der internen Analyse trianguliert. Parallel erfolgt eine vertiefte Literaturrecherche zum Stand der Technik, deren Erkenntnisse zur theoretischen Fundierung beitragen. Durch diesen mehrschichtigen Ansatz entsteht ein differenziertes Gesamtbild des Digitalisierungsstands der BFU, das die Basis für die anschließende Roadmap bildet.

Der Übergang zum praktischen Teil der Arbeit beginnt mit der Entwicklung der Roadmap. Ziel dieses Schrittes ist es, die empirischen und theoretischen Erkenntnisse aus Standortanalyse, Fachgesprächen, Umfrage und Literaturrecherche systematisch in konkrete und spezifizierte Lösungsansätze zu überführen. Hierzu werden zunächst unterschiedliche Ideen und Handlungsoptionen gesammelt, strukturiert und anschliessend mithilfe einer Choosing-by-Advantages-Analyse (CBA) anhand definierter Bewertungskategorien miteinander verglichen.

Das Ergebnis dieser Analyse wird in einen zeitlichen Implementierungsrahmen eingeordnet und bildet die Grundlage für die Priorisierung der Handlungsfelder. Das daraus hervorgehende priorisierte Handlungsfeld wird im weiteren Verlauf vertieft und im Rahmen eines Proof of Concept (PoC) exemplarisch umgesetzt.

Der Proof of Concept veranschaulicht, wie sicherheitsrelevante Anforderungen künftig digital modelliert, miteinander verknüpft und automatisiert überprüft werden können. Er folgt einem zweispurigen methodischen Aufbau (siehe Abbildung 5). Eine Spur fokussiert sich auf das Testen und Bewerten bestehender Werkzeuge. Die zweite Spur umfasst die Entwicklung eines eigenen Prototyps, der im Rahmen dieser Arbeit als «BFU-Checker» bezeichnet wird.

Während der zweispurigen Bearbeitung erfolgt ein kontinuierlicher Abgleich der gewonnenen Erkenntnisse sowie der identifizierten Limitationen. Die Ergebnisse beider Spuren werden abschliessend zusammengeführt und vergleichend ausgewertet, um daraus zentrale technische und organisatorische Erfolgsfaktoren abzuleiten.

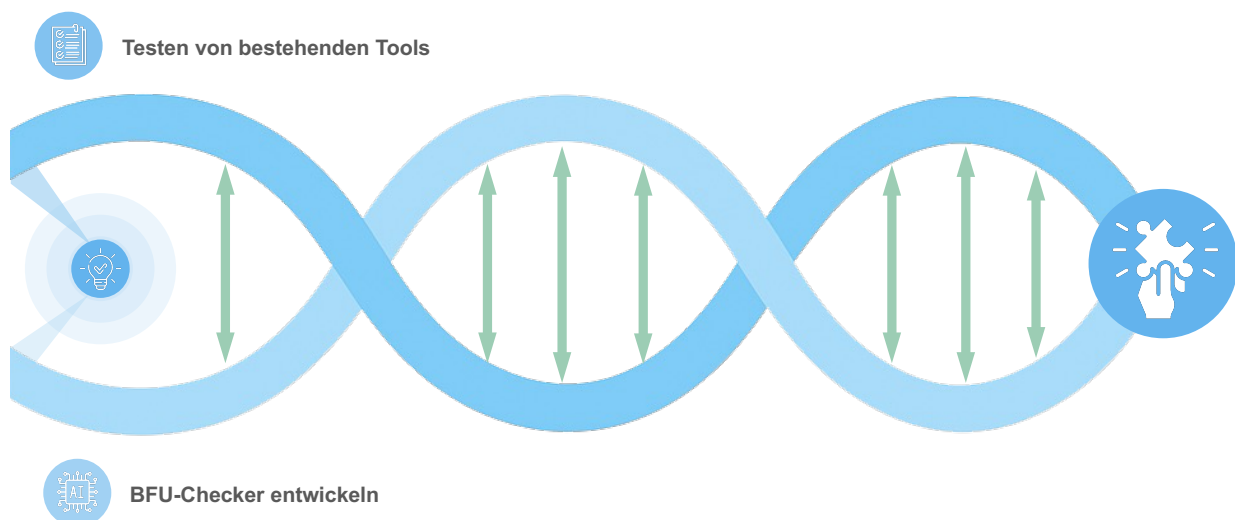


Abbildung 5: Zweispuriger Proof of Concept-Ansatz

Durch die Kombination aus theoretischer Analyse, Roadmap, CBA und Proof of Concept entsteht ein konsistenter Forschungsansatz, der wissenschaftliche Tiefe mit praktischer Umsetzbarkeit verbindet und eine fundierte Basis für eine Handlungsempfehlung an die BFU als strategische Entscheidungsgrundlage für ihre digitale Weiterentwicklung bildet.

2.2 Methodologische Einordnung

Diese Masterthesis ist methodologisch im Bereich der angewandten Forschung verankert. Sie kombiniert theoretische Fundierung, konzeptionelle Entwicklung und praxisorientierte Validierung, um wissenschaftlich begründete, zugleich aber anwendungsnahe Strategien zur digitalen Integration der BFU-Empfehlungen zu entwickeln. Grundlage bildet das Design-Research-Paradigma, das Erkenntnisgewinn und Problemlösung integriert (Design Council, 2025). Im Triple-Diamond-Modell wird dieses Prinzip durch die Abfolge explorativer, analytischer und evaluativer Phasen umgesetzt.

Das methodische Vorgehen folgt einem qualitativ-explorativen Ansatz. Fachgespräche mit internen Mitarbeitenden liefern praxisnahe Perspektiven und bilden die Grundlage der Standortbestimmung. Eine ergänzende Umfrage dient der empirischen Validierung und ermöglicht ein breiteres Meinungsbild. Die theoretische Basis entsteht durch eine systematische Literaturrecherche (siehe Anhang A) mit Suchmaschinen wie Google Scholar, Swiscovery und Research Gate, welche mit Research Rabbit gegengeprüft wird.

Nach Abschluss der Standortanalyse folgt eine Choosing-by-Advantages-Analyse (CBA), der Nutzen, Aufwand und Machbarkeit der identifizierten Ansätze vergleicht. Sie dient als Entscheidungshilfe für die Auswahl des Proof of Concept (PoC), der die technische und organisatorische Umsetzbarkeit der priorisierten Lösung demonstriert.

Die untenstehende Abbildung 6 veranschaulicht die finalen Produkte dieser Masterthesis sowie deren methodischen Zusammenhang. Sie umfasst die Standortanalyse als Ausgangspunkt, eine darauf aufbauende Roadmap, welche die schrittweise digitale Integration der BFU-Empfehlungen bis 2030 beschreibt und zentrale Entwicklungstendenzen aufzeigt, sowie einen Proof of Concept (PoC). Im Rahmen des PoC wird ein priorisiertes Handlungsfeld der Roadmap vertieft betrachtet und exemplarisch praktisch überprüft, um die technische und organisatorische Machbarkeit zu validieren. Aus der Zusammenführung dieser finalen Produkte resultiert die Handlungsempfehlung als zentrales Endprodukt der Arbeit.

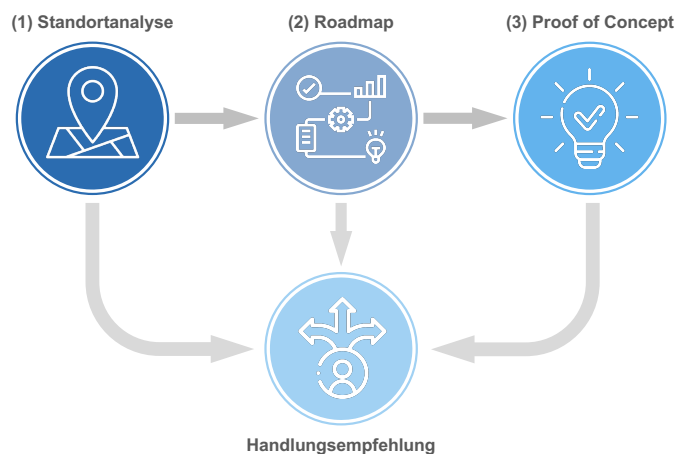


Abbildung 6: Übersicht der finalen Produkte der Masterthesis

3 Rolle der BFU im Bauwesen

Im Rahmen dieser Masterarbeit erfolgt eine enge Zusammenarbeit mit der Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU), welche den zentralen inhaltlichen Bezugspunkt sowie den praxisorientierten Partner der Forschung darstellt. Durch gezielte Fachgespräche mit Vertretern der BFU werden Einblicke in bestehende Präventionsstrukturen, laufende Digitalisierungsinitiativen und zukünftige Anforderungen gewonnen.

Dieses Kapitel verortet die Arbeit theoretisch im Kontext aktueller Forschungs- und Entwicklungsansätze zur Digitalisierung im Bauwesen und zur Integration von Sicherheitsanforderungen in digitale Planungsprozesse. Es schafft die konzeptionelle Grundlage, um die Rolle der BFU im digitalen Umfeld zu definieren. Zudem ordnet es zentrale Begriffe, Methoden und Standards ein, die für die Entwicklung digital überprüfbarer Präventionsmassnahmen relevant sind.

3.1 Aufgaben der BFU

Die Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) ist eine 1938 gegründete, unabhängige Stiftung des Privatrechts mit öffentlichem Auftrag. Sie fungiert als nationales Kompetenzzentrum für die Prävention von Nichtberufsunfällen in den Bereichen Verkehr, Sport sowie Haus und Freizeit. Ziel der Institution ist es, die Sicherheit der Bevölkerung durch Forschung, Beratung, Bildung und Öffentlichkeitsarbeit nachhaltig zu erhöhen. Finanziert wird die BFU hauptsächlich über Zuschläge auf die Prämien der obligatorischen Unfallversicherung, was eine stabile und zugleich unabhängige Grundlage für ihre Tätigkeiten gewährleistet. (BFU, 2025b)

Im Zentrum der Arbeit der BFU steht ein evidenzbasierter Präventionsansatz, der auf einem zyklischen Prozess von Datenerhebung, wissenschaftlicher Analyse, Ableitung von Handlungsempfehlungen und Evaluation der Wirksamkeit beruht. Dieser Ansatz verbindet verhaltensorientierte Massnahmen wie Sensibilisierung und Ausbildung mit verhältnisorientierten Strategien, die auf sichere Produkte, bauliche Strukturen und Infrastrukturen abzielen. Dadurch positioniert sich die BFU an der Schnittstelle zwischen Forschung, Gesellschaft und Planungspraxis. (BFU, 2025b)

In den letzten Jahren hat sich die BFU verstärkt mit der Digitalisierung ihrer Wissens- und Präventionsprozesse auseinandergesetzt. Die bisherige Logik statischer Publikationen, insbesondere PDF-Empfehlungen, stösst zunehmend an Grenzen, sobald sicherheitsrelevante Informationen direkt in digitale Planungsumgebungen integriert werden sollen. Entsprechend verfolgt die BFU das Ziel, ihre Inhalte künftig modular, strukturiert und maschinenlesbar aufzubereiten. So können sie in digitale Werkzeuge wie BIM-basierte Planungs- und Prüfungssysteme eingebunden werden. (Eschmann et al., 2025)

Dieser Wandel markiert den Übergang von einer beratenden Institution hin zu einem datenbasierten Wissenssystem. Dieses macht Sicherheitsinformationen künftig direkt dort verfügbar, wo sie im Bauprozess benötigt werden.

3.2 Fokus Sturzprävention

Innerhalb der drei Tätigkeitsfelder der BFU nimmt die Sturzprävention eine zentrale Stellung ein. Stürze gehören in der Schweiz zu den häufigsten und schwerwiegendsten Unfallarten ausserhalb der Erwerbstätigkeit: Rund 291'000 Personen verletzen sich jedes Jahr so schwer bei Stürzen in Haus- und Freizeitumgebungen, dass sie medizinische Behandlung benötigen. Über die Hälfte aller tödlichen Nichtberufsunfälle sind auf Stürze zurückzuführen, wobei ältere Menschen überproportional betroffen sind. (Niemann et al., 2025, pp. 53–66)

Der volkswirtschaftliche Schaden dieser Unfälle geht in die Milliardenhöhe und stellt somit eine erhebliche gesellschaftliche und finanzielle Belastung dar (Meier et al., 2024, pp. 2–7).

Die BFU begegnet diesem Risiko mit einem ganzheitlichen Präventionsansatz, der bauliche, verhaltensbezogene und organisatorische Massnahmen vereint. Neben nationalen Informationskampagnen wie zum Beispiel «Sicher gehen – Sicher stehen» liegt ein Schwerpunkt auf der baulichen Sturzprävention (BFU, 2025c). Dazu publiziert die BFU praxisnahe Empfehlungen und Richtlinien zu sicherheitsrelevanten Bauelementen wie Treppen, Bodenbelägen, Handläufen oder Beleuchtung (Meier et al., 2024, pp. 2–7). Diese Publikationen dienen Architektinnen, Fachplanern und Behörden als verbindliche Orientierung, um Sturzrisiken bereits in frühen Planungsphasen zu minimieren.

Im Kontext dieser Masterarbeit ist von besonderer Bedeutung, dass die Empfehlungen der BFU bislang nicht digital strukturiert vorliegen. Die Inhalte existieren in unterschiedlichen Formaten und Layouts, was ihre direkte Integration in BIM-Prozesse oder automatisierte Prüfabläufe erheblich erschwert. Eine zukünftige Digitalisierung und semantische Datenmodellierung der Sturzpräventionsinhalte würde es ermöglichen, Empfehlungen als strukturierte Datensätze in Planungssoftware zu hinterlegen und objektspezifisch zu überprüfen. Dadurch könnte der Informationsfluss zwischen Fachplanung, Prävention und Aufsicht wesentlich verbessert und sicherheitsrelevantes Wissen unmittelbar im digitalen Entwurfsprozess nutzbar gemacht werden.

Ein aktueller Schritt in diese Richtung ist die Entwicklung eines KI-gestützten Assistenzsystems, das von der BFU im Sommer 2025 eingeführt wurde, um Inhalte aus ihren umfangreichen PDF-Publikationen automatisiert zu durchsuchen (Eschmann et al., 2025). Dieses System soll die Grundlage für eine zukünftige inhaltlich strukturierte Wissensbasis bilden, in der Empfehlungen nicht mehr nur dokumentorientiert, sondern kontextsensitiv abgerufen und in digitale Anwendungen eingebettet werden können. Damit wird der Weg zu einer maschinell lesbaren und prozessorientierten Prävention geebnet ein entscheidender Schritt, um sicherheitsrelevantes Wissen direkt in Planungs- und Prüfprozesse zu integrieren.

Die Sturzprävention steht somit exemplarisch für den Übergang von einer reaktiven zu einer proaktiven, integrierten Sicherheitsstrategie. Sie verdeutlicht, wie Prävention durch Digitalisierung von einer reinen Kommunikationsaufgabe zu einem Bestandteil digitaler Planungslogik werden kann. Das ist ein Paradigmenwechsel, der die theoretische Grundlage dieser Arbeit bildet.

4 Standortanalyse

Bevor eine Handlungsempfehlung entwickelt werden kann, muss sowohl der externe Stand der Technik als auch die interne Ausgangslage der BFU präzise verstanden werden. Die Standortanalyse verbindet deshalb drei Ebenen: Den aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand im Bereich digitaler Prüfverfahren, die externe Perspektive der Planungs- und Baupraxis der Fachplanenden sowie die interne Sicht der BFU-Mitarbeiter auf ihre Prozesse, Strukturen und Herausforderungen.

Ausgehend von einer Recherche zum Stand der Technik wird zunächst untersucht, welche digitalen Methoden, Standards und Technologien heute verfügbar sind, um sicherheitsrelevante Anforderungen modellbasiert abzubilden und automatisiert zu prüfen. Diese externe technische Referenz bildet den Rahmen, um die digitale Ausgangslage der BFU einzuordnen und deren zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten fachlich fundiert zu bewerten.

Darauf aufbauend wurde die Standortbestimmung durch zwei komplementäre empirische Erhebungen durchgeführt: Eine MS-Forms-Umfrage unter Fachplanenden, deren Ergebnisse in Power BI ausgewertet wurden. Die internen Fachgespräche wurden anhand eines standardisierten Fachgesprächsleitfadens durchgeführt und anschliessend mithilfe von MAXQDA qualitativ ausgewertet. Die daraus abgeleiteten Kernaussagen wurden strukturiert verdichtet und tabellarisch zusammengefasst.

Die externe Befragung zeigt, wie BFU-Empfehlungen in der Planungspraxis genutzt werden, welche Hürden ihre Anwendung behindern und welche Voraussetzungen eine digitale Integration begünstigen. Die internen Gespräche ergänzen diese Einsichten um die organisationsinterne Perspektive und beleuchten Prozesse, Datenstrukturen, Zuständigkeiten und den aktuellen Digitalisierungsgrad der BFU.

Die Verbindung aus technischem Forschungsstand, externer Praxissicht und interner Organisationsanalyse ermöglicht eine umfassende Standortbestimmung. Sie zeigt klar, wo strukturelle, technische und prozessuale Entwicklungsbedarfe bestehen. Zudem bildet sie die Grundlage für die Roadmap, die den Weg zu einer schrittweisen digitalen Integration der BFU-Empfehlungen beschreibt.

4.1 Stand der Technik

Der aktuelle Forschungsstand zeigt eine Entwicklung von regelbasierten Prüfungen hin zu semantisch und durch KI-gestützte Verfahren, die Objekt- und Attributdaten gezielt auswerten können (Amor & Dimyadi, 2021, pp. 2–5; Pauwels et al., 2024, pp. 1–7; Sacks et al., 2025, pp. 62–64). Während IFC das technische Austauschformat für openBIM-Daten bereitstellt, definieren IDM und ISO 19650 die organisatorischen Rollen, Prozessschritte und Informationslieferungen. Zusammen bilden sie den Rahmen für konsistente, qualitätsgesicherte Informationsprozesse im Bauwerkslebenszyklus. (Borrmann et al., 2021, pp. 14–20; SN EN ISO 19650-1, 2020, pp. 9–26; Wimmer et al., 2025, pp. 32–37) IFC-basierte Workflows und Tools fördern den interoperablen Austausch in Planungs- und Prüfprozessen und werden in behördlichen Verfahren erprobt, etwa in der Schweiz und in Wien (Wälchli, 2024, pp. 26–35, 45–48; Zdanowicz, 2024, pp. 25–33).

BuildingSMART präzisiert diese Basis über IDM und IDS. Während IDM Rollen, Prozesse und benötigte Informationsflüsse beschreibt, legt IDS computerauswertbare Informationsanforderungen auf Klassen-, Attribut- und Werteebene fest, um damit automatische Prüfungen von IFC-Modellen zu ermöglichen (buildingSMART, 2025b, 2025c, 2025a). Mendonça und Ferreira (Mendonça & Ferreira, 2024) zeigen in einem Use Case, dass IDS bereits in gängigen Prüf-Workflows für automatisierte Validierungen eingesetzt wird, vorausgesetzt die Modelle sind hinreichend strukturiert. Dafür beschreibt die IDS-Dokumentation validierbare IDS-Dateien sowie Audit- und Prüfansätze, was einheitliche, automatisierte Prüfungen ermöglicht und die Vergleichbarkeit von Einreichungen unterstützt (buildingSMART, 2025c).

Diese Entwicklung zeigt den Übergang zu maschinenlesbaren Informationsanforderungen und automatisierten Validierungen. Frühere Verfahrensstände nutzten «If-Then-Regeln» und skriptbasierte Logiken, Werkzeuge wie Solibri identifizieren damit geometrische und datenbezogene Abweichungen. Eine zentrale Hürde bleibt die Übersetzung von Rechts- und Normtexten in formale Regeln sowie das robuste Mapping zwischen Modellobjekten und Regelbegriffen über Projekte hinweg, was die Wartbarkeit massgeblich prägt. Semantische Strukturen erhöhen Effizienz, Reproduzierbarkeit und Nachvollziehbarkeit, sofern Datenqualität und Interoperabilität gewährleistet sind. (Amor & Dimyadi, 2021, pp. 3–8; Preidel et al., 2021, pp. 446–454)

Aktuelle Forschungen rücken semantische und ontologische Methoden in den Vordergrund, um Prüfregeln besser zu verstehen und maschinenlesbar umzusetzen (Cerovšek & Omar, 2025, pp. 5–7). Studien von Pauwels et al. (Pauwels et al., 2024, pp. 1–17) und Nuyts et al. (Nuyts et al., 2024, pp. 1–13) zeigen, dass Resource Description Frameworks (RDF) und Shapes Constraint Language (SHACL) die formale Validierung technischer Anforderungen ermöglichen, «ifcOWL» verbindet IFC mit Ontologien und unterstützt die Wiederverwendbarkeit und Erklärbarkeit der Regeln, was in Vergleichen als Stärke semantischer Ansätze sichtbar wird. Weitere Arbeiten zeigen, dass sich Informationsanforderungen mit IDS und Ontologien konsistent und maschinenlesbar beschreiben lassen. Dadurch werden Lücken zwischen Spezifikation, Modell und Prüflogik kleiner, auch wenn sie nicht vollständig geschlossen werden können. (buildingSMART, 2025c; Cerovšek & Omar, 2025, pp. 16–20)

Auf Grundlage dieser semantischen und ontologischen Verfahren entwickeln Forschende zunehmend KI-basierte Ansätze, um Regelwerke automatisch zu interpretieren und mit Modellinformationen zu verknüpfen. Dadurch verbindet sich die semantische Wissensrepräsentation mit der Lernfähigkeit grosser Sprachmodelle, was neue Perspektiven für automatisierte Prüfungen eröffnet. Madireddy et al. (Madireddy et al., 2025, pp. 3–7, 10–11) zeigen, wie LLMs Baubestimmungen lesen, verstehen und in ausführbare Skripte überführen, die in BIM-Workflows eingesetzt werden können, was die semantischen Analysen und Wissensdarstellungen unterstützt.

Chen et al. (Chen et al., 2025, pp. 829–830) kombinieren Sprach- und Bildverarbeitung in Vision-LLMs, um sicherheitsrelevante Situationen im Kontext von Evakuation und Wegführung erkennen und mit Anforderungen zu verknüpfen. Gleichzeitig bleibt die Nachvollziehbarkeit der Prüflöge ein zentrales Thema, weil in der Praxis fehlende Transparenz die Akzeptanz automatisierter Prüfungen beeinträchtigen kann. Zudem zeigen die Arbeiten, dass KI-gestützte Ansätze nur dann verlässlich eingesetzt werden können, wenn die benötigten Informationen im Modell oder in Berichten klar und vollständig vorliegen und die aus Text abgeleitete Prüflöge als formale Bedingungen prüfbar gemacht wird. (Li, 2019, pp. 1–2; Madireddy et al., 2025, pp. 2–6)

In der Praxis sind modellbasierte, regelbasierte Prüfverfahren im Brandschutz gut dokumentiert. Wobei nachvollziehbare Berichte prototypisch umgesetzt wurden und die Bedienbarkeit der Regelwerkzeuge im Fokus steht. (Pfeiffer, 2024, pp. 74–76)

Die Digitalisierung des Baueingaben Prozesses schreitet international unterschiedlich schnell voran. Studien zeigen modellbasierte Einreichungen, automatisierte Vorprüfungen und statusklare Rückmeldungen bei unterschiedlichen Reifegraden und rechtlichen Rahmenbedingungen, die den Übergang in den Regelbetrieb beeinflussen. (Bloch & Fauth, 2023, pp. 8–9)

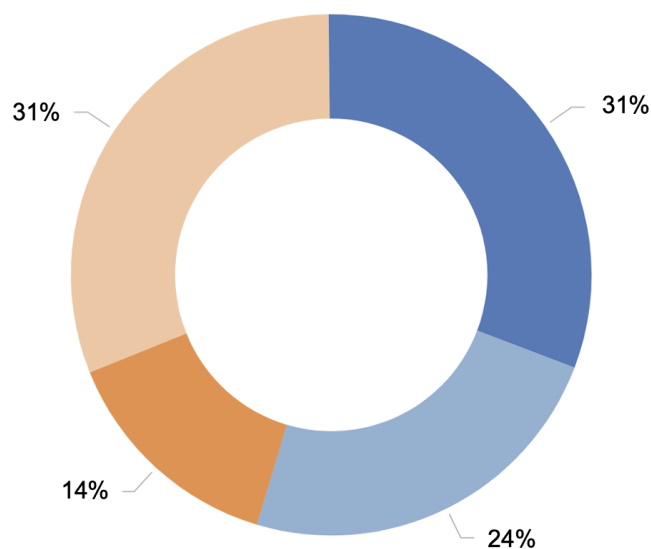
Für die Schweiz beschreibt und entwickelt Wälchli (Wälchli, 2024, pp. 7, 52–55, 69, 76) ein zweistufiges Bewilligungsverfahren mit früher maschinell prüfbarer Formalprüfung und nachgelagerter materieller Bewertung dokumentiert, gestützt durch LOIN-Kriterien, eCH-Standards und kommunale Umsetzungen wie in Thun, die Transparenz und Kommunikation verbessern. Internationale Beispiele wie aus Wien zeigen, dass IFC-Einreichungen mit behördlichen Referenzmodellen und regelbasierten Prüfungen typische baurechtliche Anforderungen wie Abstände oder Raumhöhen prüfen können, wenn Regeln klar formuliert und Modelle konsistent sind (Pfeiffer, 2024, pp. 74–76; Zdanowicz, 2024, pp. 27–28). Wälchli (Wälchli, 2024, p. 28) und Wimmer et al. (Wimmer et al., 2025, pp. 219–220) zeigen ausserdem, dass gezielte Weiterbildung den Wissenstransfer zwischen Verwaltung und Praxis unterstützt.

Der Forschungsstand zeigt, dass digitale Prüfprozesse im Bauwesen zunehmend auf semantische Strukturen und KI-gestützte Methoden setzen. Standards wie IFC, IDM und IDS bilden die technische Grundlage für einheitliche Datenflüsse und automatisierte Prüfungen. Semantische Modelle und KI-Verfahren erweitern diese Ansätze, indem sie Regeln maschinenlesbar interpretieren und Prüfungen effizienter machen. Der Wandel von papier- zu datenbasierten Verfahren ist sichtbar, hängt aber von der Datenqualität, klaren Informationsanforderungen und der rechtlichen Umsetzung in der Verwaltung ab.

4.2 Auswertung der Umfrage über die BFU

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte MS-Forms-Umfrage ist detailliert in Anhang B dokumentiert ersichtlich und umfasst insgesamt 42 Teilnehmende. Sie zeigt, dass die Mehrheit der Teilnehmenden (55 %) die BFU-Empfehlungen zur Sturzprävention kennt und sie in der Planung zumindest teilweise berücksichtigt. Rund ein Drittel der Befragten setzt die Empfehlungen regelmässig ein, ca. ein Viertel davon gelegentlich. Gleichzeitig gibt etwa ein Drittel an, die Inhalte nicht ausreichend zu kennen, um sie gezielt und systematisch in der Praxis anwenden zu können. Rund 14 % der Teilnehmenden geben an, die BFU-Empfehlungen gar nicht zu kennen (siehe Abbildung 7).

Verteilung der Berücksichtigung der BFU-Empfehlungen



Antwortoptionen ● Ja, regelmässig ● Ja, gelegentlich ● Nein ● Ich kenne die BFU Empfehlungen (noch) nicht gut genug

Abbildung 7: Berücksichtigung der BFU-Empfehlungen in Planungsprozessen (Power BI)

Die Hauptgründe für eine fehlende Berücksichtigung liegen vor allem in Wissenslücken und einer fehlenden Verbindlichkeit. Mehrere Teilnehmende gaben an, die Inhalte und Anwendungsmöglichkeiten der Empfehlungen nicht ausreichend zu kennen. Ebenso häufig wurde betont, dass die Auftraggebenden die Umsetzung nicht ausdrücklich einfordern. Weitere genannte Ursachen sind unklare Zuständigkeiten sowie eine im Projektalltag als gering eingeschätzte Relevanz. Zeitdruck und technische Hürden spielen dagegen nur eine untergeordnete Rolle (siehe Abbildung 8).

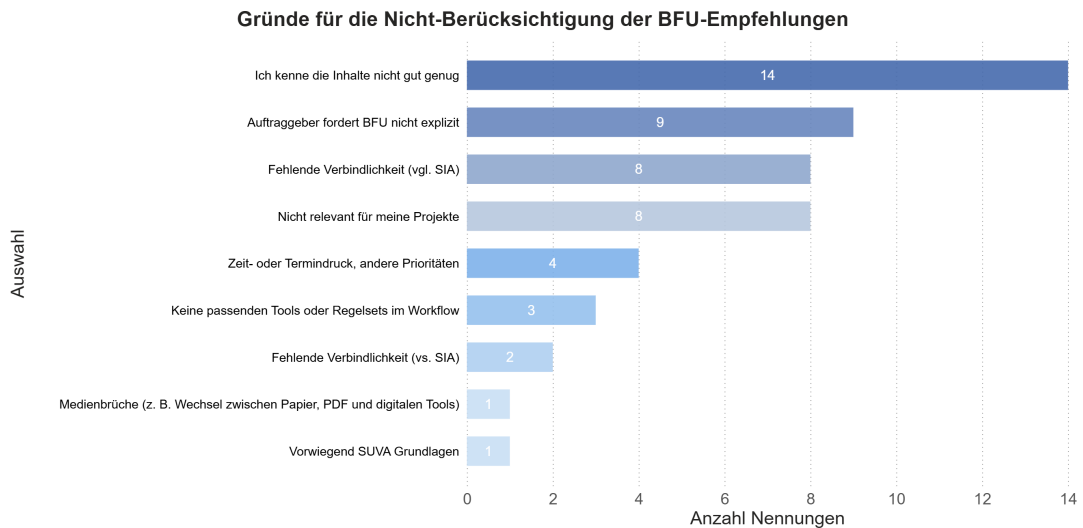


Abbildung 8: Gründe für die Nichtberücksichtigung der BFU-Empfehlungen (Power BI)

Bei der Bewertung potenzieller Hürden ergibt sich folgendes Bild: Als grösste Herausforderungen werden das Fehlen geeigneter digitaler Werkzeuge oder Regelsets sowie der Aufwand und die Kosten bei nachträglichen Anpassungen genannt. Auch die fehlende Verbindlichkeit der Empfehlungen und unzureichende Schulungsangebote werden als hemmende Faktoren wahrgenommen. Medienbrüche und allgemeiner Zeitdruck spielen hingegen eine vergleichsweise geringe Rolle (siehe Abbildung 9).

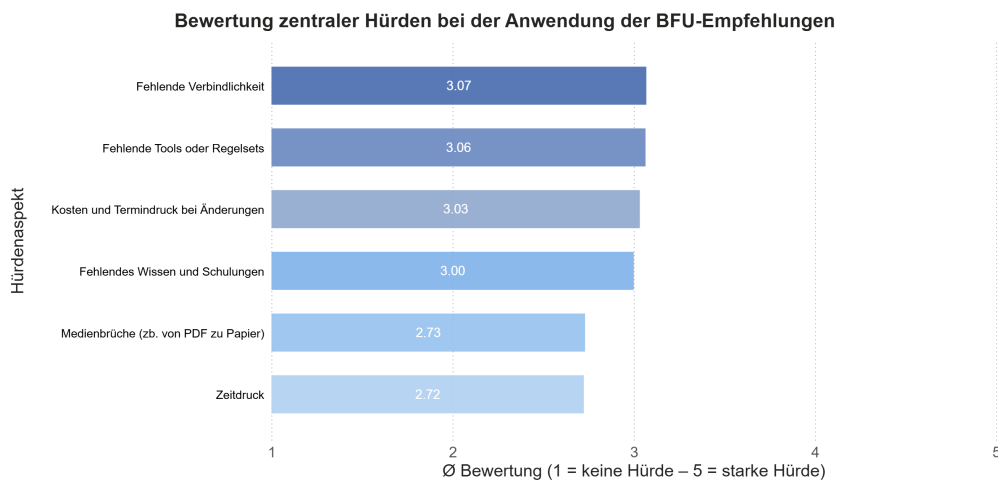


Abbildung 9: Zentrale Hürden bei der Umsetzung der BFU-Empfehlungen (Power BI)

Die berufliche Funktion zeigt einen klaren Einfluss auf die Umsetzung der BFU-Empfehlungen. Bauingenieur*innen und Architekt*innen wenden die Empfehlungen am häufigsten an. In kleineren Rollen innerhalb der gesamten Planung erfolgt die Anwendung deutlich seltener. Das wird häufig mit einer begrenzten Zuständigkeit oder unzureichenden Kenntnissen begründet (siehe Abbildung 10).

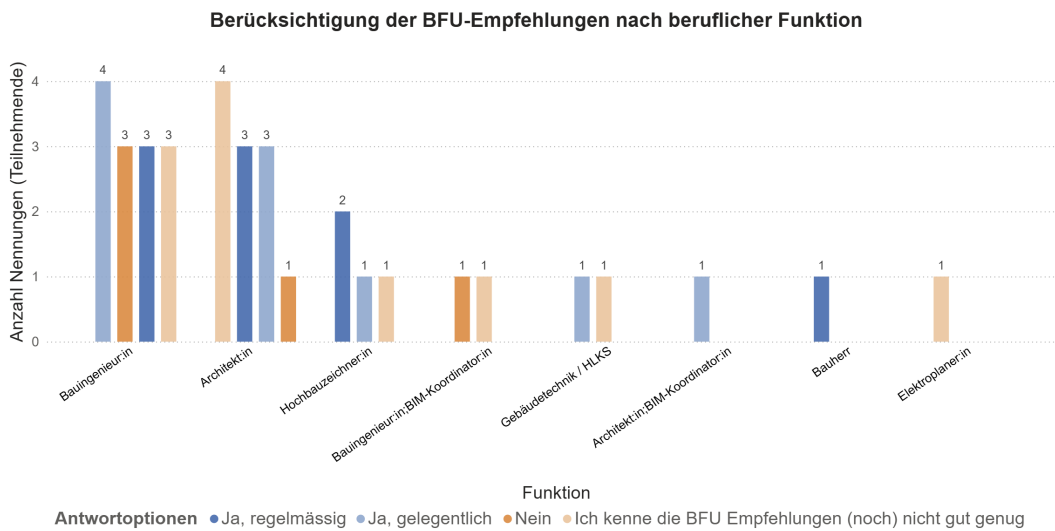


Abbildung 10: Berücksichtigung der BFU-Empfehlungen nach beruflicher Funktion (Power BI)

Die Erwartungen an automatisierte BFU-Prüfungen fallen überwiegend positiv aus. Besonders hoch eingeschätzt wird ihr Potenzial, die Sicherheit zu erhöhen und Planungsfehler zu reduzieren. Zurückhaltender beurteilen die Befragten hingegen den Einfluss auf Termine und Kosten. Insgesamt zeigt sich die Erwartung, dass automatisierte Prüfungen die Qualität und Nachvollziehbarkeit von Planungsprozessen deutlich verbessern können (siehe Abbildung 11).

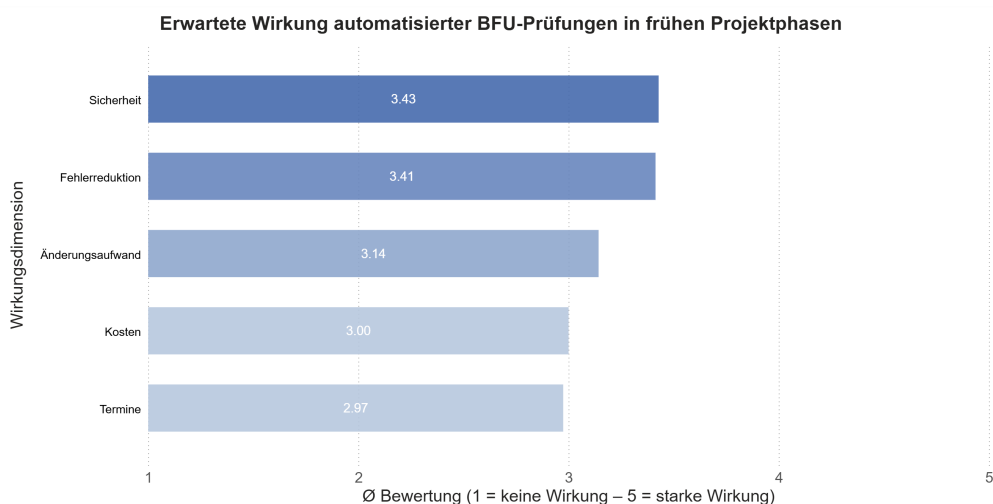


Abbildung 11: Erwartete Wirkung automatisierter BFU-Prüfungen in frühen Projektphasen (Power BI)

Bei den unterstützenden Massnahmen zeigt sich, dass die Mehrheit digitale Hilfsmittel als zentrale Voraussetzung betrachtet, um die BFU-Empfehlungen wirksam umzusetzen. Als besonders hilfreich werden diese wahrgenommen, wenn sie benutzerfreundlich gestaltet sind, einen klaren Mehrwert bieten und eine einfache Integration in bestehende Planungs- und Entscheidungsprozesse ermöglichen (siehe Abbildung 12).



Abbildung 12: Wordcloud zu unterstützenden Massnahmen bei der Umsetzung der BFU-Empfehlungen

Die Analyse nach Berufserfahrung zeigt, dass Fachpersonen mit weniger als fünf Jahren Berufspraxis die BFU-Empfehlungen am häufigsten berücksichtigen. In mittleren Erfahrungsstufen dominiert eine gelegentliche Anwendung, während sehr erfahrene Personen tendenziell selektiver vorgehen. Dies verdeutlicht, dass der Wissensstand über die BFU-Empfehlungen stark vom individuellen Ausbildungskontext und dem Grad der Einbindung in digitale Planungsprozesse abhängt (siehe Abbildung 13).

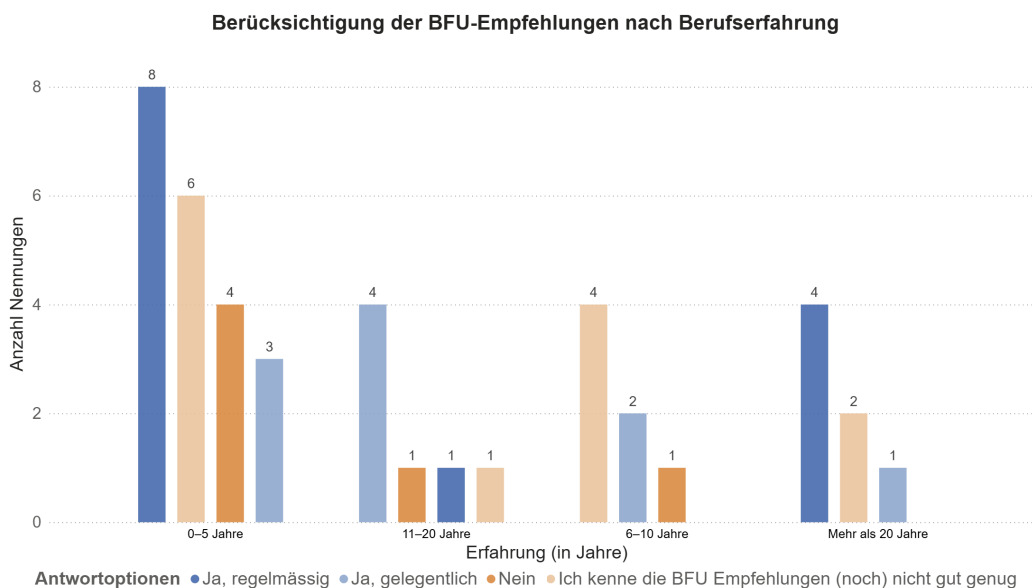


Abbildung 13: Berücksichtigung der BFU-Empfehlungen nach Berufserfahrung (Power BI)

Zwischenfazit Umfrage

Die Ergebnisse der Befragung verdeutlichen, dass die BFU-Empfehlungen in der Planungspraxis zwar bekannt sind, ihre konsequente Anwendung jedoch noch nicht etabliert ist. Hauptursachen sind Wissenslücken, unklare Zuständigkeiten und das Fehlen verbindlicher, digital unterstützter Strukturen. Besonders die Befragten sehen in automatisierten Prüfungen und standardisierten Regelkatalogen ein zentrales Mittel, um die Empfehlungen effizienter in bestehende Planungsprozesse zu integrieren. Dadurch soll ihr präventiver Mehrwert langfristig gesichert werden.

4.3 Erkenntnisse der Fachgespräche mit der BFU

Für die interne Standortbestimmung wurden drei Fachgespräche mit Mitarbeitenden der BFU durchgeführt. Die Gespräche wurden mit dem KI-gestützten Transkriptionstool NoScribe in Text umgewandelt und anschliessend manuell überarbeitet, um eine sprachlich präzise und inhaltlich belastbare Datengrundlage sicherzustellen.

Zur Strukturierung der Analyse diente ein leitfadengestützter Ansatz (siehe Anhang C). Der Fachgesprächsleitfaden umfasste neun Hauptkategorien, die als Basiscodes eingesetzt wurden sechs zum aktuellen Stand heute und drei zum Stand morgen. Eine Übersicht des geplanten Gesprächsverlaufs zeigt die nachfolgende abstrahierte Abbildung 14 mit den verwendeten Hauptkategorien.

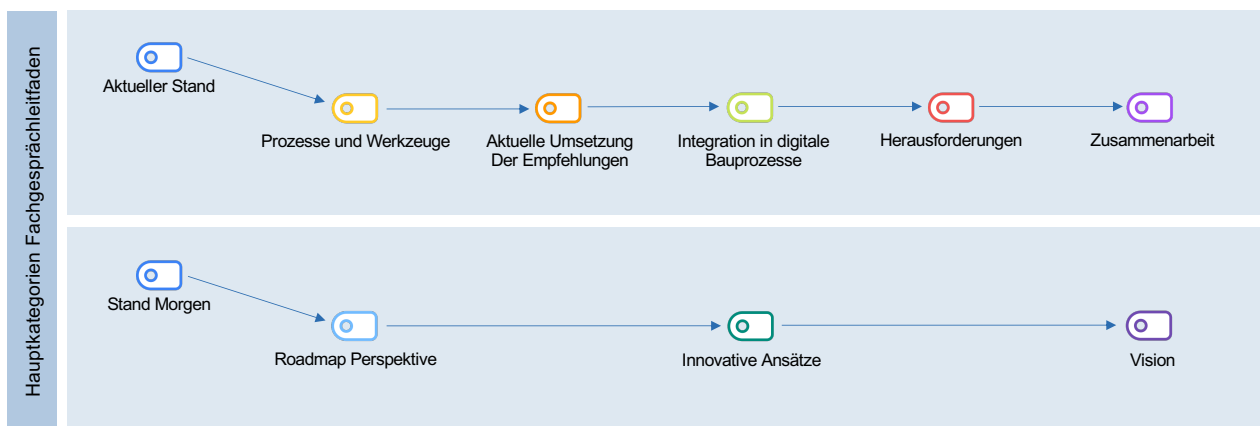


Abbildung 14: Struktur des Fachgesprächsleitfadens

Auf Basis der bereinigten Transkripte erfolgte eine qualitative Inhaltsanalyse in MAXQDA. Zentrale Zitate und Kernaussagen wurden systematisch extrahiert und in einer Auswertungstabelle zusammengefasst (siehe Anhang D).

Die Transkripte wurden zunächst deduktiv vorcodiert, wobei relevante Textpassagen den jeweiligen Hauptkategorien zugeordnet wurden. Anschliessend erfolgte eine Feincodierung, um die Inhalte differenziert zu strukturieren und inhaltliche Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zwischen den Gesprächspartnern zu identifizieren. Auf dieser Grundlage entstanden die hierarchischen Subcode-Modelle zum aktuellen Stand und Stand morgen (siehe Abbildung 15 und Abbildung 16).

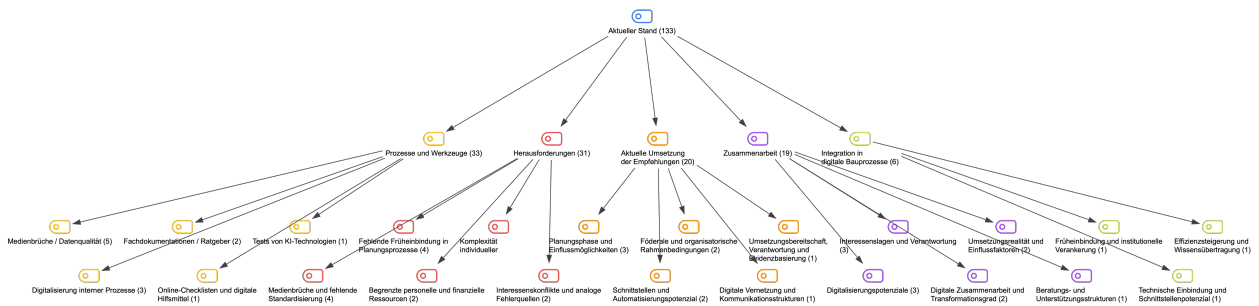


Abbildung 15: Hierarchisches Subcode-Modell des aktuellen Standes (MAXQDA)

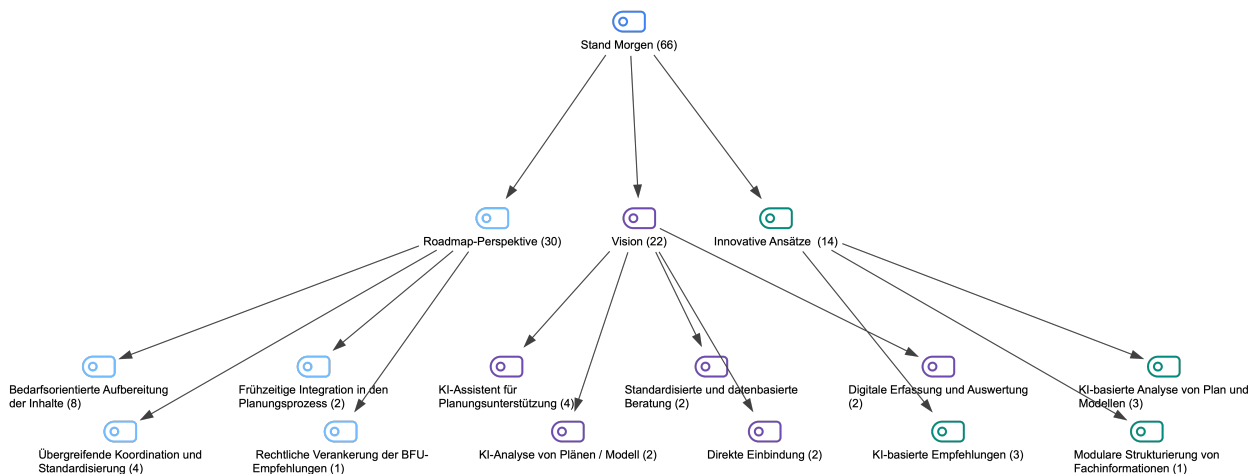


Abbildung 16: Hierarchisches Subcode-Modell des morgigen Standes (MAXQDA)

Unterstützt durch den KI-Assistenten von MAXQDA wurde anschliessend eine Auswertungstabelle erstellt, in der die zentralen Zitate und Kernaussagen pro Kategorie und pro Gesprächspartner zusammengeführt wurden. Diese Tabelle wurde im Anschluss manuell überprüft und redaktionell bereinigt, um inhaltliche Genauigkeit, Klarheit und methodische Konsistenz sicherzustellen.

Die in diesem Kapitel dargestellten Ergebnisse umfassen jene Aussagen, die sich über alle drei Gespräche hinweg wiederholt haben und sowohl organisationsintern als auch in der externen Umfrage unter Fachplanenden erkennbar sind. Die weiterführende Analyse dieser Aussagen erfolgt im nachfolgenden Kapitel 4.4 unter Einbezug des aktuellen Stands der Technik.

Ergänzend wurden methodische Prinzipien nach Kuckartz und Rädiker (Kuckartz & Rädiker, 2024) berücksichtigt, um Transparenz, Reliabilität und Nachvollziehbarkeit des gesamten Analyseprozesses sicherzustellen. Die Ergebnisse bilden eine zentrale Grundlage für die im weiteren Verlauf durchgeführte CBA-Analyse. (Kuckartz & Rädiker, 2024)

Vorstellung der Fachgespräch Partner

Für die interne Analyse wurden drei Fachgespräche mit zentralen Akteuren der Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) geführt. Die Gesprächspartner repräsentieren unterschiedliche Zuständigkeitsbereiche und Erfahrungsniveaus innerhalb und ausserhalb der Organisation, wodurch ein umfassendes Bild des aktuellen Digitalisierungsstands gewonnen werden konnte.

Cédric Eschmann ist seit 2008 bei der BFU tätig und leitet heute die Abteilung «Haus und Freizeit». Seine Funktion umfasst Ressourcenplanung, strategische Projektentwicklung sowie die inhaltliche Verantwortung für zentrale Themen der Sturzprävention. Er bietet eine fundierte organisatorisch-strukturelle Perspektive auf Medienbrüche, Prozessstrukturen und digitale Herausforderungen innerhalb der BFU.

Roger Schmid ist Fachspezialist im Themenbereich «Bau und Freizeit». Er ist verantwortlich für technische Empfehlungen der BFU im baulichen Kontext und engagiert sich stark in der Entwicklung neuer digitaler Formate wie KI-basierte Lernmodule und digitale Weiterbildungsinhalte. Seine Ausführungen zeigen, wie BFU-Empfehlungen im Planungsalltag angewendet werden und wo praktische Hürden bestehen.

Markus Nobs arbeitet als externer Berater im Feld und bringt die operative Sicht der Umsetzungspraxis ein. Er bewertet Sicherheitsrisiken vor Ort, begleitet Gemeinden und Behörden bei Sanierungen und Neubauten und beschreibt realitätsnahe Herausforderungen im Umgang mit den Empfehlungen im baulichen Bestand.

Die Kombination aus praktischer, organisatorisch-technischer und externer operativer Sichtweise ermöglicht eine mehrdimensionale Analyse des Digitalisierungsgrads der BFU. Zugleich bietet sie eine fundierte Grundlage, um bestehende Schwachstellen und zukünftige Potenziale der Integration von Sicherheitsanforderungen in digitale Planungsprozesse zu identifizieren.

Aktueller Stand der Digitalisierung

Der aktuelle Stand der Digitalisierung innerhalb der BFU wird von allen drei Gesprächspartnern übereinstimmend als moderat eingeschätzt. Der geschätzte Reifegrad liegt zwischen Stufe zwei und drei auf einer fünfstufigen Skala, wobei Stufe eins vollständig papierbasierte und Stufe fünf vollständig automatisierte Prozesse beschreibt (siehe Abbildung 17).

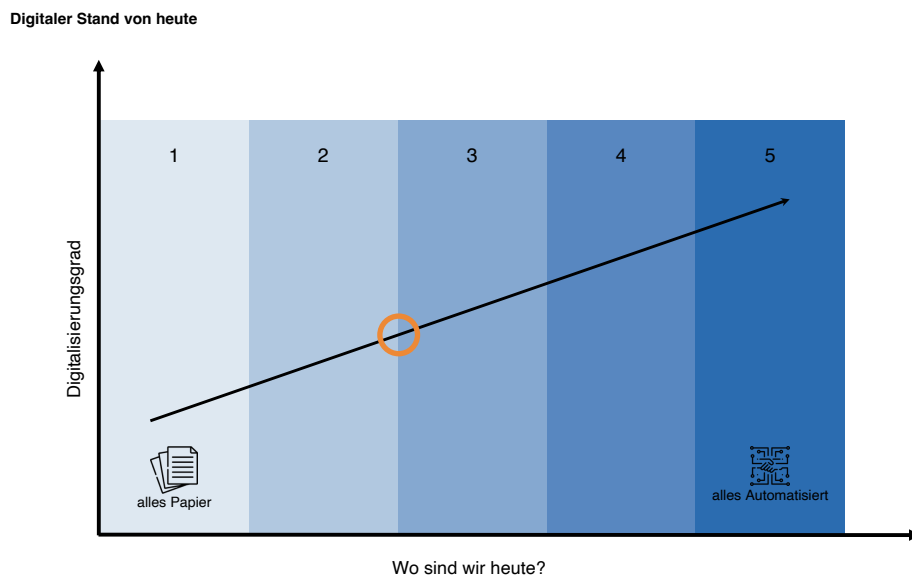


Abbildung 17: Selbsteinschätzung des Reifegrads BFU intern

Zwar bestehen mit Online-Checklisten, digitalen Formularen und einer internen Wissensplattform erste strukturierte Systeme, jedoch ist der Gesamtprozess weiterhin von Medienbrüchen, manuellen Zwischenschritten und redundanten Arbeitsschritten geprägt. Die vorhandenen digitalen Instrumente sind funktional, aber nicht systemisch vernetzt, wodurch Daten mehrfach erfasst und Prozesse unterbrochen werden.

Cédric Eschmann bringt dies prägnant auf den Punkt:

«Wir sind noch nicht an einem Punkt, wo alles digital durchläuft. Vieles basiert auf persönlichem Austausch und Erfahrung.» (Eschmann, 2025)

Diese Einschätzung verdeutlicht, dass digitale Werkzeuge in der BFU zwar punktuell eingesetzt werden, jedoch ohne durchgängige Prozesslogik oder verbindliche Standards. Insbesondere rechtliche Vorgaben, etwa die Notwendigkeit physischer Unterschriften bei technischen Berichten, verhindern bislang vollständig digitale Abläufe.

Insgesamt lässt sich der Digitalisierungsstand der BFU als hybrides System beschreiben. Es existieren einzelne digitale Bausteine, die jedoch nicht in eine kohärente Gesamtarchitektur eingebettet sind.

Für die Forschungsfrage, die den Transfer von Fachwissen in modellbasierte Planungsprozesse untersucht, ergibt sich daraus eine klare Ausgangslage: Die technischen und organisatorischen Grundlagen für eine Integration sind vorhanden, es fehlen jedoch standardisierte Strukturen, einheitliche Datenschnittstellen und klare Verantwortlichkeiten, um eine durchgängige digitale Prozesskette zu gewährleisten.

Ein zentrales Thema, das in allen Fachgesprächen wiederkehrt, betrifft die bestehenden Medienbrüche an den Schnittstellen zwischen internen Systemen der BFU und den externen Planungsprozessen. Digitale Informationen werden häufig manuell in neue Formate übertragen, was zu Ineffizienz, Redundanzen und potenziellen Datenverlusten führt.

Roger Schmid beschreibt diesen Bruch prägnant:

«Ich habe auch das Gefühl, dass dabei viele Daten verloren gehen, besonders beim Übergang von der Webseite hin zu den Planungsunterlagen.» (Schmid, 2025)

Diese Aussage verdeutlicht das Kernproblem der fehlenden Interoperabilität zwischen den Systemen. Zwar liegen viele Fachinhalte der BFU bereits digital vor, sie sind jedoch nicht strukturiert oder maschinenlesbar. Dadurch können Planende die Empfehlungen nicht direkt in ihren digitalen Workflow einbinden, sondern müssen sie manuell übertragen. Auch Markus Nobs bestätigt, dass diese Medienbrüche insbesondere im Austausch mit Gemeinden und Partnerorganisationen zu Verzögerungen und Kommunikationsaufwand führen. Digitale und analoge Verfahren werden derzeit parallel bedient, um allen Beteiligten gerecht zu werden. Diese Anpassungsstrategie ist kurzfristig kundenorientiert, langfristig jedoch strategisch hinderlich, da sie die Entstehung einheitlicher digitaler Standards verzögert. Insgesamt zeigt sich, dass der Brückenschlag zwischen Wissensvermittlung und Planungsanwendung gegenwärtig den zentralen Engpass in der digitalen Transformation der BFU darstellt. Eine konsequent strukturierte und standardisierte Datenbereitstellung wäre Voraussetzung, um Informationen verlustfrei in modellbasierte Arbeitsprozesse zu integrieren.

Prozesse und Werkzeuge

Die bestehenden Arbeitsprozesse innerhalb der BFU sind historisch gewachsen und stark durch individuelle Verantwortung geprägt. Eine klare Prozesslogik oder ein einheitliches digitales Ablaufmodell existiert derzeit nur in Teilbereichen. Roger Schmid beschreibt, dass viele Arbeitsschritte zwar dokumentiert, jedoch nicht verbindlich standardisiert sind, wodurch sich Abläufe zwischen Projekten unterscheiden. Diese Flexibilität ermöglicht zwar eine anpassungsfähige Zusammenarbeit, erschwert jedoch die systematische Weiterentwicklung digitaler Strukturen.

Cédric Eschmann hebt hervor, dass es innerhalb der BFU verschiedene digitale Werkzeuge gibt, deren Einsatz jedoch oft voneinander getrennt erfolgt. Beispiele sind Online-Checklisten, digitale Formulare und interne Datenbanken. Diese Instrumente sind funktional, bilden aber bislang kein

integriertes System, das Prozesse durchgängig digital unterstützt. Dadurch entstehen Schnittstellenprobleme, insbesondere beim Übergang von der Datenerfassung zur Weiterverarbeitung.

Markus Nobs bestätigt aus externer Sicht, dass auch bei der Zusammenarbeit mit Gemeinden und Fachplanern unterschiedliche digitale Werkzeuge eingesetzt werden, was den Austausch zusätzlich erschwert. Eine Vereinheitlichung von Prozessen und Tools würde nicht nur die Effizienz erhöhen, sondern auch die Nachvollziehbarkeit und Konsistenz der Beratungsergebnisse stärken.

Insgesamt zeigt sich, dass die bestehenden Werkzeuge als solide Grundlage dienen, um die Digitalisierung der Prävention weiterzuentwickeln. Der entscheidende Schritt besteht nun darin, Prozesse zu harmonisieren, Schnittstellen zu definieren und Werkzeuge gezielt zu verknüpfen. So können Informationen verlustfrei entlang des gesamten Planungs- und Beratungszyklus genutzt werden.

Umsetzung der Empfehlungen in der Praxis

Die Umsetzung der BFU-Empfehlungen in der Planungspraxis erfolgt nach Aussage aller Gesprächspartner derzeit stark personenabhängig und situationsbedingt. Einheitliche Prozesse oder klar definierte digitale Schnittstellen sind bislang nur in Ansätzen vorhanden.

Markus Nobs schildert, dass viele Beratungen weiterhin analog durchgeführt werden, wobei mit Papier, Kamera und handschriftlichen Notizen gearbeitet wird, bevor die Ergebnisse nachträglich digitalisiert oder archiviert werden. Dieses Vorgehen ermöglicht eine präzise inhaltliche Dokumentation, erschwert jedoch die anschließende digitale Weiterverarbeitung und den effizienten Transfer der gewonnenen Erkenntnisse in andere Systeme.

Cédric Eschmann weist darauf hin, dass die BFU häufig erst in späten Planungsphasen, oftmals während der Ausführungsplanung in Projekte eingebunden wird. Dadurch verlieren die Empfehlungen ihren präventiven Charakter, da notwendige Anpassungen in dieser Phase meist mit erheblichem Aufwand verbunden sind und nur eingeschränkt umgesetzt werden können.

Der Mehrwert einer frühzeitigen digitalen Integration liegt daher klar auf der Hand. Wenn sicherheitsrelevante Anforderungen bereits in der Entwurfs- oder Vorprojektphase modellbasiert berücksichtigt und überprüft würden, könnten Risiken frühzeitig erkannt und Massnahmen gezielt geplant werden. Eine solche Vorgehensweise würde den präventiven Auftrag der BFU stärken und gleichzeitig die Effizienz, Qualität und Nachvollziehbarkeit der Planungsprozesse erhöhen.

Integration in digitale Bauprozesse

Alle Gesprächspartner betonen das Potenzial, die BFU-Empfehlungen direkt in digitale Planungs- und Bauprozesse zu integrieren. Roger Schmid beschreibt die Vision eines Systems, das sicherheitsrelevante Empfehlungen automatisiert mit Planungsdaten abgleicht und Planende bei Abweichungen gezielt darauf hinweist, im Sinne eines digitalen Modell Checkers für Sicherheit.

Markus Nobs ergänzt, dass solche Systeme die Expertise der Planenden nicht ersetzen, sondern gezielt unterstützen sollen. Digitale Prüfmechanismen könnten dazu beitragen, sicherheitsrelevante Aspekte frühzeitig zu erkennen und potenzielle Fehler bereits in der Entwurfsphase zu vermeiden.

Cédric Eschmann hebt hervor, dass eine solche Integration voraussetzt, dass die Empfehlungen strukturiert, semantisch eindeutig und maschinenlesbar vorliegen. Nur so können sie in modellbasierte Arbeitsprozesse, etwa auf Basis von IFC-Strukturen, eingebunden und automatisiert geprüft werden.

Die Einbettung der BFU-Inhalte in digitale Planungsumgebungen wird somit nicht allein als technische, sondern auch als kulturelle Transformation verstanden. Sie markiert den Übergang von dokumentenbasiertem Wissen zu datenbasierten, interaktiven Strukturen, in denen Prävention ein integraler Bestandteil des digitalen Bauprozesses wird.

Herausforderungen und Ressourcen

Die grösste Hürde der Digitalisierung liegt nach Einschätzung aller Gesprächspartner in der begrenzten personellen und zeitlichen Ausstattung. Markus Nobs weist darauf hin, dass viele Digitalisierungsinitiativen zusätzlich zu den bestehenden Aufgaben erfolgen und dadurch häufig an Priorität verlieren.

Roger Schmid betont das Fehlen einer übergeordneten Koordination, die den digitalen Wandel organisatorisch verankert und langfristig absichert. Digitalisierung werde aktuell zu oft als zeitlich begrenztes Projekt und nicht als dauerhafte Struktur verstanden, was die Nachhaltigkeit erzielter Fortschritte mindert.

Cédric Eschmann beschreibt den Transformationsprozess treffend als «Marathon, nicht Sprint» und unterstreicht die Notwendigkeit klar definierter Rollen, Verantwortlichkeiten und Entscheidungswege.

Diese Beobachtungen verdeutlichen eine strategische Leerstelle: Ohne klare Zuständigkeiten, langfristige Budgetierung und eine technische Roadmap bleibt die digitale Entwicklung fragmentiert, abhängig von Einzelinitiativen und damit nur schrittweise voranschreitend.

Zusammenarbeit mit externen Akteuren

Im Austausch mit externen Partnern, insbesondere Gemeinden, Architekturbüros und Fachplanenden, zeigt sich eine deutliche Heterogenität im Digitalisierungsgrad. Während grössere Städte bereits mit durchgängigen E-Government-Lösungen arbeiten, agieren kleinere Gemeinden teilweise noch vollständig analog. Markus Nobs schildert, dass manche Partner «noch physische Pläne per Post» versenden, während andere bereits modellbasierte Datensätze bereitstellen, die aufgrund fehlender interner Infrastruktur bei der BFU kaum weiterverarbeitet werden können.

Die BFU reagiert dadurch meist mit hoher Flexibilität und passt sich den jeweiligen Kommunikationswegen und technischen Voraussetzungen ihrer Partner an, um den Austausch möglichst einfach zu gestalten. Kurzfristig gewährleistet diese Anpassungsfähigkeit eine reibungslose Zusammenarbeit, führt langfristig jedoch zu Parallelstrukturen, Medienbrüchen und erhöhtem Koordinationsaufwand.

Roger Schmid erkennt in dieser Situation zugleich ein Potenzial. Würde die BFU standardisierte digitale Schnittstellen und Austauschformate bereitstellen, könnte sie sich als zentrale Verbindung zwischen Präventionswissen und digitaler Planungssoftware positionieren. Eine solche Entwicklung würde ihre Rolle als nationale Wissensinstitution im Bereich der Sicherheitsprävention nicht nur festigen, sondern auch strategisch stärken.

Potenziale und Weiterentwicklung

Die Fachgespräche verdeutlichen, dass das grösste Potenzial der Digitalisierung in der gezielten Aufbereitung und modularen Bereitstellung der BFU-Inhalte liegt. Roger Schmid beschreibt den entscheidenden Schritt darin, Publikationen künftig nicht mehr ausschliesslich als statische PDF-Dokumente, sondern als strukturierte Datensätze zu veröffentlichen. Dadurch entstünde erstmals die Möglichkeit, Inhalte bedürfnisorientiert zu nutzen und kontextabhängig in verschiedene Planungsumgebungen einzubinden. Roger Schmid beschreibt, dass damit erstmals eine bedürfnisorientierte Nutzung ermöglicht würde:

«Sehr viel Potenzial liegt darin, die Inhalte individueller und bedürfnisorientierter zugänglich zu machen, damit die Leute genau das herausziehen können, was sie brauchen.» (Schmid, 2025)

Diese Aussage verdeutlicht, dass Digitalisierung für die BFU weniger eine technische als vielmehr eine wissensarchitektonische Aufgabe darstellt. Ziel ist es, bestehendes Fachwissen so zu strukturieren, dass es in unterschiedlichen Anwendungsfeldern wie Bauplanung, Sportanlagen oder Freizeitgestaltung maschinell verarbeitet und situationsspezifisch eingesetzt werden kann.

Markus Nobs ergänzt, dass eine solche digitale Transformation zugleich zur Standardisierung von Beratungsprozessen beitragen würde. Empfehlungen, Textbausteine und Planprüfungen könnten dadurch automatisiert generiert und einheitlich angewendet werden.

Dies würde nicht nur die Effizienz steigern, sondern auch die fachliche Konsistenz und Nachvollziehbarkeit der Beratungstätigkeit erhöhen.

Innovation und Künstliche Intelligenz

Ein besonders zukunftsweisendes Handlungsfeld liegt im Einsatz von künstlicher Intelligenz. Markus Nobs beschreibt seine Vision eines automatisierten Systems mit den Worten:

«Wenn man ein Video oder Foto hochlädt und das System erkennt gleich, was nicht stimmt – das wäre optimal.» (Nobs, 2025)

Diese Aussage verdeutlicht den möglichen Paradigmenwechsel hin zu einer datenbasierten Präventionsarbeit. Ein solches System könnte nicht nur Risiken erkennen, sondern auch konkrete Vorschläge für bauliche oder organisatorische Anpassungen generieren. Roger Schmid betont darüber hinaus, dass KI-gestützte Tools den Mehrwert der BFU-Empfehlungen sichtbar machen würden, da Planende unmittelbar erkennen könnten, wo Optimierungspotenzial besteht.

Die Aussagen der Fachgesprächspartner zeichnen das Bild der BFU, welche ihre Fachkompetenz zunehmend algorithmisch operationalisiert und damit eine neue Qualität der Wissensanwendung erreicht. Durch den gezielten Einsatz von KI kann Fachwissen nicht nur reproduziert, sondern situationsspezifisch angewendet und kontinuierlich verbessert werden.

Vision 2030

Langfristig teilen alle Gesprächspartner die Vision einer intelligent vernetzten Präventionsumgebung, in der Fachwissen, Planungsdaten und künstliche Intelligenz nahtlos miteinander verbunden sind. Roger Schmid beschreibt diese Zukunft als Zielbild, in dem KI-basierte Systeme Planungsmodelle automatisch analysieren, sicherheitsrelevante Abweichungen erkennen und den Planenden gezielte Handlungsempfehlungen direkt im Modell bereitstellen.

Markus Nobs ergänzt diese Vorstellung durch eine praxisorientierte Perspektive: Sicherheitsdelegierte könnten künftig mit Tablets oder Mixed-Reality-Geräten durch Gebäude gehen, während das System in Echtzeit visuelle Rückmeldungen liefert und potenzielle Gefahren kontextbezogen identifiziert. Cédric Eschmann hebt hervor, dass diese Vision nur durch die konsequente Strukturierung der BFU-Inhalte als maschinenlesbare, semantisch definierte Datensätze realisierbar ist. Erst dadurch können Empfehlungen in modellbasierte Arbeitsprozesse integriert und über Schnittstellen oder Plug-ins automatisiert geprüft werden.

Die Vision 2030 beschreibt somit eine BFU, die von der beratenden Fachinstitution zu einem datenbasierten, aktiv eingebundenen Akteur innerhalb des digitalen Planungsokosystems wird. Wissen wird dabei nicht mehr nur vermittelt, sondern direkt angewendet: intelligent, objektspezifisch und in Echtzeit. Diese Entwicklung markiert den Übergang von der klassischen Prävention zur integrierten, KI-gestützten Sicherheitssteuerung im digitalen Bauwesen.

Zwischenfazit Fachgespräche

Die interne Analyse verdeutlicht, dass sich die BFU an der Schwelle von einer dokumentenbasierten hin zu einer datenbasierten Organisation befindet. Der aktuelle Digitalisierungsgrad bildet eine solide Ausgangsbasis, ist jedoch weiterhin durch Fragmentierung, manuelle Prozesse und Medienbrüche geprägt.

Die Fachgespräche mit Roger Schmid, Cédric Eschmann und Markus Nobs zeigen, dass der Schlüssel zur Weiterentwicklung weniger in der Einführung neuer Technologien liegt als in der systematischen Strukturierung und Integration vorhandenen Wissens. Entscheidend wird sein, in welchem Ausmass es gelingt, Empfehlungen standardisiert, maschinenlesbar und kontextsensitiv bereitzustellen.

Eine solche Entwicklung würde die interne Effizienz und Nachvollziehbarkeit erhöhen. Gleichzeitig würde sie den präventiven Kernauftrag der BFU nachhaltig in das digitale Zeitalter überführen und institutionell verankern.

4.4 Ergebnisse Standortanalyse

Die Standortanalyse verbindet die empirischen Erkenntnisse der Umfrage und Fachgespräche mit dem Stand der Technik. Sie ordnet den aktuellen Entwicklungsstand der BFU in den internationalen Forschungs- und Entwicklungsdiskurs zur Digitalisierung präventiver Planungsprozesse ein. Dabei werden zentrale Themen wie Informationsstrukturen, Interoperabilität, Künstliche Intelligenz sowie organisatorische Voraussetzungen zusammengeführt, um strategische Schlussfolgerungen für die Weiterentwicklung der digitalen Prävention abzuleiten.

Digitalisierungsgrad und organisatorische Verankerung

Sowohl die externe Befragung als auch die internen Fachgespräche zeigen, dass der Digitalisierungsgrad der BFU als fortgeschritten, jedoch nicht durchgängig integriert wahrgenommen wird. Digitale Instrumente wie Wissensplattformen, Online-Checklisten oder Formulare Systeme sind etabliert, greifen jedoch nur punktuell ineinander.

Die Forschung zeigt, dass Organisationen in ähnlichen Reifegraden häufig über funktionierende Einzellösungen verfügen, es jedoch an strategischer Einbettung, Rollenmodellen und klaren Verantwortlichkeiten fehlt. Genau diese Lücke ist bei der BFU erkennbar: Digitalisierungsinitiativen entstehen vereinzelt ohne übergreifende Koordination oder langfristige Verankerung.

Medienbrüche und Interoperabilität

Ein wiederkehrendes Thema der Analyse sind Medienbrüche an der Schnittstelle zwischen BFU und Planungspraxis. Viele Inhalte liegen zwar digital vor, sind aber nicht strukturiert oder maschinenlesbar. Planende müssen Informationen manuell in CAD-Pläne oder BIM-Modelle übertragen, was zu Zeitverlust, Redundanzen und potenziellen Fehlern führt.

Dieser Befund deckt sich mit der Forschung, die Interoperabilität und semantische Datenstrukturen, etwa über IFC, IDM und IDS, als zentrale Voraussetzung für automatisierte Prüfungen identifiziert. Erst durch die Standardisierung von Wissensstrukturen kann eine Einbettung der Empfehlungen in modellbasierte Workflows erfolgen.

Frühe Integration und präventive Wirkung

Ein weiteres Schlüsselergebnis betrifft die zeitliche Einbindung der BFU. Sowohl intern als auch extern wird deutlich, dass die BFU häufig erst spät in Projekte eingebunden wird, oftmals erst in der Ausführungsplanung. Dadurch verlieren die Empfehlungen ihren präventiven Charakter, da Anpassungen zu diesem Zeitpunkt mit erhöhtem Aufwand verbunden sind.

Die Forschung bestätigt, dass präventive Anforderungen ihre Wirkung vor allem dann entfalten, wenn sie frühzeitig digital integriert werden. Modellerte Prüfregeln in frühen Planungsphasen steigern die Planungsqualität und reduzieren Nachbesserungskosten. Für die BFU ergibt sich daraus der strategische Auftrag, die Prävention stärker in der Entwurfs- und Konzeptphase zu verankern.

Datenbasierte Prävention und KI-Potenzial

Sowohl die Umfrage als auch die Fachgespräche zeigen eine hohe Offenheit gegenüber digitalen Prüfverfahren und KI-gestützten Assistenzsystemen. Ein zentraler Wunsch besteht darin, BFU-Empfehlungen künftig nicht mehr als statische PDF-Dokumente, sondern als strukturierte, maschinenlesbare Datensätze bereitzustellen.

Ein verbesserter KI-Assistent der BFU wird in beiden Datensätzen als Schlüsselfunktion gesehen: Er soll Inhalte automatisiert extrahieren, semantisch verknüpfen und direkt in digitale Planungs- und Prüfprozesse integrieren. Damit würde der Wissenstransfer zwischen Prävention und Planung deutlich effizienter, konsistenter und dynamischer.

Zentrale Handlungsfelder der Analyse

1. Strukturierung und Standardisierung von Daten, um Empfehlungen interoperabel, maschinenlesbar und automatisiert prüfbar zu machen.
2. Digitale Unterstützungswerkzeuge, die Planende kontextsensitiv begleiten und sicherheitsrelevante Anforderungen frühzeitig sichtbar machen.
3. Frühzeitige Integration der Prävention, um sicherheitsrelevante Aspekte bereits in frühen Planungsphasen digital zu verankern.

Zusammenfassung

Im Gesamtergebnis zeigt die Standortanalyse klar, dass sich die BFU im Übergang von einer dokumentenbasierten zu einer datenbasierten Organisation befindet. Die empirischen Ergebnisse belegen denselben Transformationsbedarf, den auch der Stand der Technik fordert: weg von fragmentierten Dokumenten, hin zu standardisierten, interoperablen und KI-gestützten Informationsprozessen. Diese Erkenntnisse bilden die Grundlage für die strategische Ableitung und der Roadmap in Kapitel 5.

5 Roadmap

Das Kapitel Roadmap übersetzt die empirischen und theoretischen Erkenntnisse in konkrete, spezifizierte Lösungsansätze und ordnet diese in einen zeitlichen Implementierungsrahmen ein. Als Ausgangspunkt dient ein selbst erstellter Ideen katalog. Dieser identifiziert jene Entwicklungsfelder, die unter Berücksichtigung aller empirischen und technischen Erkenntnisse den grössten Einfluss auf die Prävention in der Planungsarbeit besitzen.

Abschliessend erfolgt eine Choosing-by-Advantages-Analyse (CBA), mit der die prioritären Handlungsfelder systematisch bewertet werden. Ziel ist die Bestimmung jenes Themas, das den grössten Mehrwert und die höchste Realisierbarkeit bietet und daher im Rahmen des Proof of Concept vertieft bearbeitet werden soll.

Darauf aufbauend werden die einzelnen Umsetzungsschritte in eine zeitliche Struktur überführt. So wird sichtbar, welche Massnahmen kurzfristig realisierbar sind und welche mittel- bis langfristig vorbereitet werden müssen.

5.1 Ideen katalog – Von der Erkenntnis zur Strategie

Die Einordnung der Ergebnisse zeigt, dass die digitale Weiterentwicklung der BFU weniger eine technische Aufgabe darstellt als eine strategische und wissensarchitektonische Transformation. Aus der Kombination von Forschungsstand, externer Praxissicht und interner Organisationsanalyse ergeben sich mehrere Handlungsfelder. Diese sind für die zukünftige Integration der BFU-Empfehlungen in digitale Planungsprozesse zentral.

Strategische Leitperspektive

Die Vision einer datenbasierten, lernenden Präventionsstrategie verbindet Prävention, Planung und Technologie zu einem integrierten digitalen Ökosystem. Dieses System ermöglicht einen durchgängigen Informationsfluss zwischen der BFU und den Planenden und bildet die Grundlage für die spätere Automatisierung von Prüfprozessen. Die strategische Leitperspektive dient als Rahmen, um jene Entwicklungsfelder zu bestimmen, die langfristig den grössten Beitrag zur präventiven Wirkung der BFU leisten.

Ableitung der Entwicklungsfelder

Die identifizierten Handlungsfelder verbinden die empirischen Erkenntnisse mit internationalen Forschungstrends. Sie zeigen, in welchen Bereichen strukturelle, technische und organisatorische Anpassungen erforderlich sind, um die Empfehlungen der BFU schrittweise in das digitale Zeitalter zu überführen. Dabei werden sowohl kurzfristig realisierbare Verbesserungen als auch mittel- und langfristige Transformationsschritte berücksichtigt.

Funktion des Ideenkatalogs

Der Ideenkatalog fasst diese prioritären Entwicklungsfelder in Tabelle 1 zusammen und bildet den Kern der nachfolgenden CBA-Analyse. Er dient als strategische Orientierung, um die Potenziale der digitalen Prävention systematisch zu erschliessen. Gleichzeitig bildet er die Grundlage für die CBA-Analyse, in der die Handlungsfelder hinsichtlich Nutzens, Machbarkeit und erwarteter Wirkung bewertet werden.

Gemeinsam tragen diese Elemente dazu bei, den Beratungsauftrag der BFU in eine dynamische, digital unterstützte Präventionsarchitektur zu überführen. In dieser sind Planung, Analyse und Wissenstransfer enger miteinander verknüpft.

Tabelle 1: Priorisierte Entwicklungsfelder zur Digitalisierung der BFU-Empfehlungen

KI-Assistent für Planungsunterstützung	Unterstützt Planende in Echtzeit bei der Erkennung und Bewertung sicherheitsrelevanter Aspekte im Modell und stärkt eine präventive Planungskultur.
KI-Analyse von Plänen und Modellen	Ermöglicht die automatisierte Identifikation und Bewertung potenzieller Risiken auf Grundlage digitaler Entwürfe und trägt zur Vereinheitlichung von Prüfprozessen bei.
Standardisierte und datenbasierte Beratung	Schafft eine maschinenlesbare Grundlage für die strukturierte und vergleichbare Prüfung von Sicherheitsanforderungen und verbessert die Interoperabilität.
Direkte Einbindung durch Plug-in-Lösungen	Integriert BFU-Empfehlungen unmittelbar in Planungssoftware und erleichtert ihre Anwendung im Alltag, wodurch Wissen ohne Medienbruch in die Praxis überführt wird.
Digitale Erfassung und Auswertung von Projektdaten	Erlaubt die systematische Sammlung und Analyse von Projekterfahrungen, um die Wirksamkeit und Weiterentwicklung der Empfehlungen kontinuierlich zu evaluieren.

5.2 CBA für Proof of Concept (PoC)

Das CBA bildet das zentrale Entscheidungsinstrument dieses Kapitels. Ihr Zweck besteht darin, aus den fünf priorisierten Entwicklungsfeldern aus Tabelle 1 jenes Themengebiet zu bestimmen, das im Rahmen des Proof of Concept exemplarisch umgesetzt werden soll. Die Methode ermöglicht eine transparente, nachvollziehbare und zugleich empirisch fundierte Priorisierung, indem die Vorteile der einzelnen Handlungsoptionen systematisch gegenübergestellt und relativ zu ihrem präventiven Potenzial, ihrer technischen Machbarkeit und ihrer strategischen Bedeutung für die BFU bewertet werden.

Das CBA baut methodisch auf zwei Grundlagen auf: Erstens den empirischen Erkenntnissen aus der Standortanalyse, die die realen Herausforderungen, Bedarfe und Potenziale sowohl innerhalb der BFU als auch in der Planungs- und Baupraxis offenlegen. Zweitens dem Stand der Technik, der zeigt, welche digitalen Verfahren bereits heute erfolgreich eingesetzt werden und wie sich Prüfprozesse in Richtung automatisierter, semantischer und KI-gestützter Methoden entwickeln. Durch die Verbindung dieser beiden Perspektiven entsteht ein Bewertungsrahmen, der sowohl praxisnah als auch technisch theoretisch verankert ist.

Für die Analyse wurden sechs Kriterien (siehe Tabelle 2) definiert, die direkt aus Kapitel 4 abgeleitet sind und sowohl strategische, organisatorische, technische als auch nutzerzentrierte Dimensionen der Digitalisierung abbilden. Für die CBA-Bewertung wurde das Kriterium «Relevanz für BFU-Zielsetzung» als Ankerpunkt definiert. Es dient als Referenzgröße, um die Vorteile der übrigen Kriterien konsequent an der zentralen Wirkung für die BFU auszurichten und dadurch die Vergleichbarkeit sowie die Nachvollziehbarkeit der Entscheidung zu erhöhen. Dazu gehören die technische Umsetzbarkeit, die Relevanz für die Zielsetzung der BFU, der konkrete Nutzen für Planende, der erforderliche Aufwand und Ressourcenbedarf, der langfristige Nutzen und die Skalierbarkeit eines Lösungsansatzes sowie der Innovationsgrad. Jedes dieser Kriterien greift ein zentrales Ergebnis der Standortanalyse auf: Den vielfach beschriebenen Wunsch nach strukturierten, maschinenlesbaren Daten, die Notwendigkeit, Planende frühzeitig und kontextspezifisch zu unterstützen, die organisatorischen Engpässe innerhalb der BFU sowie das Potenzial einer schrittweisen digitalen Transformation, die nicht auf disruptiven Systemwechseln basiert, sondern auf konzeptionell gut abgestimmter Weiterentwicklung.

Zur Bewertung werden die Kriterien anhand einer fünfstufigen Skala beurteilt, deren Ausprägungen von «sehr tief» bis «sehr hoch» reichen (siehe Tabelle 3). Die qualitative Einordnung in der CBA-Tabelle wurde im Anschluss in numerische Werte übersetzt, um die Vergleichbarkeit der Entwicklungsfelder sicherzustellen. Diese numerische Abbildung dient jedoch nicht als ein rein quantitatives Punktesystem, sondern als Entscheidungshilfe, welche die relativen Vorteile sichtbar macht. Entscheidend ist nicht das «höchste Resultat», sondern die evidenzbasierte Begründung, weshalb ein Thema mehr Vorteile bietet als ein anderes. Die verwendeten Skalen und Bewertungsstufen sind in den Tabellen 2 und 3 dokumentiert und wurden auf Basis anerkannter Literatur zu CBA-Verfahren sowie projektspezifischer Anforderungen entwickelt.

Tabelle 2: Aufschlüsselung der Bewertungskriterien der CBA-Analyse

Kriterium	Sehr Tief	Tief	Mittel	Hoch	Sehr Hoch
Technische Umsetzbarkeit	Wenig technische Grundlage vorhanden, Grundlegende Systemänderungen erforderlich	Keine bestehende Infrastruktur, Hoher Integrationsaufwand	Bestehende Infrastruktur, Mittlerer Integrationsaufwand	Funktional oder konzeptionell, Auf bestehender Infrastruktur aufbauend	Vollständig integriert, unmittelbar umsetzbar, keine zusätzlichen Schnittstellen nötig
Relevanz für BFU-Zielsetzung	Kein Bezug zu Prävention oder Sicherheit, Kein Mehrwert für Wissensvermittlung	Geringer Bezug zur Prävention, Kein direkter Nutzen	Teilweise Bezug, Potenzial erkennbar	Direkter Beitrag zu Prävention, Sicherheit oder Wissensvermittlung	Zentraler Beitrag zur Kernmission, Unmittelbare Wirkung auf Unfallprävention
Relevanz für Planende	Wenig Nutzen, zusätzliche Komplexität	Geringe Unterstützung kaum Einfluss	Teilweise Entlastung, ergänzende Tools nötig	Direkter Mehrwert, gut integrierbar	Zentrale, intuitive Unterstützung, deutliche Effizienzsteigerung
Aufwand / Ressourcenbedarf	Extrem hoher Entwicklungsaufwand, Dauerhafte personelle Belastung	Sehr hoher Entwicklungsaufwand, fortlaufender Betrieb	Mittlerer Implementierungsaufwand, stabiler Betrieb	Nach Implementierung geringe, Laufende Ressourcenbelastung	Minimaler Aufwand bei maximalem Nutzen, vollständig automatisierter Betrieb
Langfristiger Nutzen / Skalierbarkeit	Kurzfristiger Nutzen, keine Übertragbarkeit	Zeitlich oder thematisch begrenzter Nutzen	Mittelfristig nutzbar, eingeschränkte Übertragbarkeit	Dauerhaft nutzbar, Skalierbar auf andere Bereiche	Nachhaltiger, organisationsweiter Nutzen, Übertragbar auf nationale / internationale Ebene
Innovationsgrad	Keine Neuerung, etablierte Praxis	Bestehende Praxis, geringe Neuheit	Moderate Weiterentwicklung, Kombination bestehender Technologien	Substanziell neuer Ansatz mit Forschungs- oder Pilotcharakter	Disruptive Innovation, Grundlegend neuer technologischer oder methodischer Ansatz

Tabelle 3: Gewichtung und Punkteverteilung der CBA-Bewertungskriterien

Abstufung	Höher ist Besser (Rating)	Tiefer ist Besser (Rating)
Sehr Hoch	100	0
Hoch	75	25
Mittel	50	50
Tief	25	75
Sehr Tief	0	100

Erkenntnisse vom CBA

Die Auswertung der CBA-Analyse in Tabelle 4 (siehe Anhang F) zeigt ein deutliches Priorisierungsmuster. Zwar weisen alle Entwicklungsfelder relevante Vorteile für die digitale Prävention auf, doch verteilt sich ihr Potenzial sehr unterschiedlich. Einige Optionen erscheinen primär theoretisch vielversprechend, scheitern jedoch kurzfristig an fehlenden technischen Grundlagen, hohen Integrationshürden oder einer begrenzten Skalierbarkeit. Andere Felder unterstützen zwar die interne Wissensstrukturierung der BFU, entfalten jedoch erst in späteren Entwicklungsstufen einen spürbaren Nutzen für Planende oder Behörden.

Vor diesem Hintergrund hebt sich das Entwicklungsfeld «KI-Analyse von Plänen und Modellen» klar ab. Es erhält in nahezu allen Bewertungskriterien hohe Vorteilsausprägungen und verbindet technische Realisierbarkeit mit unmittelbarem Mehrwert für die Planungs- und Baupraxis. Da viele Büros mit PDF-Plänen und IFC-basierten Modellen arbeiten, kann der PoC auf etablierte Workflows aufbauen, ohne grundlegende Systemwechsel vorauszusetzen. Die empirischen Ergebnisse der Standortanalyse zeigen zudem eine deutliche Erwartungshaltung seitens der Planenden: Eine modellbasierte, kontextsensitive Unterstützung wird insbesondere dann als wertvoll beurteilt, wenn sie dazu beiträgt, Risiken früh zu erkennen und Nachbesserungen zu reduzieren.

Auch aus organisationsstrategischer Sicht bietet dieses Entwicklungsfeld entscheidende Vorteile. Die KI-gestützte Analyse von Modellinformationen setzt eine klare Strukturierung und Semantisierung der BFU-Empfehlungen voraus. Dadurch entsteht eine Wissensbasis, die sich bei Bedarf später in andere digitale Formate wie IDS-Spezifikationen oder weiterführende Assistenzsysteme überführen lassen könnte. Gleichzeitig bleibt der Entwicklungsaufwand überschaubar, sofern der PoC auf einen eng abgegrenzten Teilbereich der Sturzprävention fokussiert.

Die Bewertungsmatrix (siehe Tabelle 4) zeigt deshalb folgerichtig, dass die «KI-Analyse von Plänen und Modellen» mit 425 Punkten den höchsten Gesamtvorteil erzielt. Das Thema verbindet kurzfristig realisierbare technische Umsetzbarkeit mit langfristigem strategischem Nutzen und adressiert sowohl die Bedürfnisse der Planenden als auch die Digitalisierungsziele der BFU. Während andere Entwicklungsfelder ebenfalls relevante Beiträge zur langfristigen Transformation leisten, bietet dieser Ansatz den klarsten, direkt umsetzbaren Pfad von präventivem Fachwissen zu automatisierten digitalen Prüfprozessen.

Damit liefert die CBA eine klare und transparent begründete Entscheidung: Die KI-gestützte Analyse digitaler Plan- und Modelldaten stellt den strategisch stärksten Ausgangspunkt für den Proof of Concept dar und bildet zugleich einen tragfähigen Pfeiler für die zukünftige digitale Weiterentwicklung der Präventionsarbeit der BFU.

Tabelle 4: Ergebnisse der CBA-Analyse

Faktor (Kriterien)	1: KI-Assistent für Planungsunterstützung	2: KI-Analyse von Plänen und Modellen	3: Standardisierte und datenbasierte Beratung	4: Direkte Einbindung (Plugin)	5: Digitale Erfassung und Auswertung
Technische Umsetzbarkeit	Att. Integration auf BFU-Webseite / Basis schon Vorhanden	Att. Technische Ansätze Vorhanden / Externe Entwicklung (aktualität)	Att. Hohe Standardkompatibilität / Offener Standard	Att. Komplexe Schnittstellen / Einbindung in Nativsoftware	Att. Forschungsansätze Vorhanden / Einfacher Einstieg
(Höher ist besser)	hoch	mittel	mittel	sehr tief	tief
Vorteil:	75	50	50	0	25
Wichtigkeit:	75	50	50	0	25
Relevanz für BFU-Zielsetzung	Att. Direkter Praxisbezug / Objektspezifisch	Att. Automatisierte Plan- und Modellkontrollen / Zeiterparnis	Att. Maschinienlesbar / Nachhaltig	Att. Flächendeckende Lösung / Frühe Planungseinbindung	Att. Direkte Erkennung am Bau / Automatisierte Dokumentation
(Höher ist besser)	hoch	sehr hoch	mittel	mittel	mittel
Vorteil:	75	100	50	50	50
Wichtigkeit:	75	100	50	50	50
Relevanz für Planende	Att. Direkte Abfrage / Empfehlungen schnell auffinden	Att. Analyse von Planungsstand / Visuelle Objektspezifisches	Att. Offener Standard / Anpassbar	Att. Produktivitätssteigerung / schnell abrufbar	Att. Eigene Kontrollen am Bau / Tiefe Hardware kosten
(Höher ist besser)	hoch	sehr hoch	mittel	hoch	tief
Vorteil:	75	100	50	75	25
Wichtigkeit:	75	100	50	75	25
Aufwand / Ressourcenbedarf	Att. Mittlerer Aufwand / Tiefe Ressourcen nach Implementierung	Att. Hoher Aufwand / Mittlerer Unterhaltsaufwand	Att. Mittlerer Aufwand / Hoher Unterhaltsaufwand	Att. Sehr hoher Aufwand / Sehr hoher Unterhaltsaufwand	Att. Sehr hoher Aufwand / Sehr hoher Unterhaltsaufwand
(Tiefer ist besser)	mittel	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch
Vorteil:	50	25	25	0	0
Wichtigkeit:	50	25	25	0	0
Langfristiger Nutzen / Skalierbarkeit	Att. Sehr langer Nutzen / Nahezu Unendliche Skalierbarkeit	Att. Zukunftstechnologie / Nahezu Unendliche Skalierbarkeit	Att. Mittelfristiger Nutzen / Mittlere Skalierbarkeit	Att. Langfristiger Nutzen / Aufwändige Skalierbarkeit	Att. Zukunftstechnologie / Mittlere Skalierbarkeit
(Höher ist besser)	hoch	hoch	mittel	tief	mittel
Vorteil:	75	75	50	25	50
Wichtigkeit:	75	75	50	25	50
Innovationsgrad	Att. Mittlerer Innovationsgrad / Weitverbreitet	Att. Hoher Innovationsgrad / Erste Software	Att. mittlerer Innovationsgrad / Version 1.0 (Juni 2024)	Att. tiefer Innovationsgrad / Etabliert	Att. Hoher Innovationsgrad / Aktuell in der Pilotphase
(Höher ist besser)	mittel	hoch	mittel	tief	hoch
Vorteil:	50	75	50	25	75
Wichtigkeit:	50	75	50	25	75
Total ItoFas	400	425	275	175	225

5.3 Zeitliche Einordnung – Von der Aktuellen Ausgangslage zur Vision 2030

Auf Basis der Ergebnisse der CBA-Analyse und der priorisierten Entwicklungsrichtung stellt dieses Kapitel die zeitliche Einordnung der empfohlenen Implementierungsschritte dar. Der Betrachtungszeitraum umfasst die Jahre 2025 bis 2030 und bildet die strategische Grundlage für die schrittweise Weiterentwicklung des KI-Assistenten der BFU. Ziel ist eine realistische, technisch begründete Entwicklungsabfolge, welche sowohl die bestehende Ausgangslage als auch notwendige interne Voraussetzungen angemessen berücksichtigt.

Die Vision für das Jahr 2030 beschreibt ein vollständig integriertes digitales System, in dem Fachpersonen ihre Modelle und Pläne direkt über die BFU-Webseite hochladen können. Die KI erkennt sicherheitsrelevante Abweichungen automatisch ordnet sie den entsprechenden Passagen der BFU-Empfehlungen zu und erzeugt einen strukturierten Prüfbericht, in dem relevante Risikobereiche im Modell und im Plan visualisiert werden. Damit wird ein zentraler Übergang vollzogen: Fort von dokumentenbasierten Hinweisen hin zu einer datenbasierten Präventionsarchitektur, die präzise, kontextsensitiv und modellbasiert arbeitet.

Um diese Zielarchitektur zu erreichen, müssen allerdings zuerst interne Grundlagen geschaffen werden. Dazu gehören die strukturelle Aufbereitung der Empfehlungen in maschinenlesbare Formate, der Aufbau und die Pflege einer konsistenten Wissens- und Datenbasis, interne Weiterbildungen zur digitalen Planung sowie die stufenweise Integration von KI-Verfahren in bestehende Arbeitsprozesse.

Für die zeitliche Einordnung werden zusätzlich folgende drei zentrale Entwicklungen als plausibel vorausgesetzt:

- BIM setzt sich im öffentlichen Sektor weiter durch und schafft eine verlässlichere Grundlage für modellbasierte Prozesse.
- Modellierungsstandards und digitale Richtlinien entwickeln sich weiter, was die Qualität der eingereichten IFC-Modelle verbessert.
- KI-Methoden werden leistungsfähiger in der Interpretation komplexer Pläne und Modelle und zunehmend in Branchenlösungen integriert.

Die phasenbasierte Roadmap ist in Abbildung 18 auf der folgenden Seite dargestellt und zeigt mögliche Implementierungsstufen des KI-Assistenten von der aktuellen Ausgangslage bis zur angestrebten Zielarchitektur. Bewusst wird auf die Nennung konkreter Jahreszahlen verzichtet, da einzelne Entwicklungsschritte parallel verlaufen oder zeitlich ineinandergreifen können.

Ein zentraler Aspekt der Roadmap betrifft **BFU intern** durchgeführte Schulungen zu KI und BIM, die parallel zu den einzelnen Implementierungsstufen erfolgen sollten. Idealerweise werden zunächst einfachere Anfragen und Prozesse BFU intern schrittweise mithilfe von KI unterstützt und beschleunigt, bevor der Launch eines vollumfänglichen webbasierten Analysetools erfolgt.

Den **Ausgangspunkt** der Roadmap bildet die Einführung eines ersten KI-Assistenten im Sommer 2025 mit grundlegenden textbasierten Funktionen. Diese frühe Ausbaustufe dient als Basisprodukt und schafft die organisatorische sowie technologische Grundlage für weitere Iterationen.

In einer nachfolgenden Phase liegt der Fokus auf der **inhaltlichen Strukturierung**: Die BFU-Empfehlungen werden systematisch aufbereitet und in maschinenlesbare Formate überführt, sodass der KI-Assistent kontextbezogene und objektspezifische Antworten generieren kann.

Darauf aufbauend erfolgt der Übergang zur **modellbasierten Analyse**. Der KI-Assistent liest IFC-Modelle ein, prüft sicherheitsrelevante Objekte regelbasiert und identifiziert erste geometrische Abweichungen, die mit strukturierten BFU-Regelinhalten verknüpft werden. Dadurch entwickelt sich der Assistent zu einem prüffähigen Werkzeug für Planende.

In einer weiteren Ausbaustufe wird die **visuelle Analyse** erweitert. Der KI-Assistent lernt, zweidimensionale Pläne zu erkennen, zu segmentieren und sicherheitsrelevante Komponenten zu identifizieren, wodurch geometrische Informationen aus unterschiedlichen Darstellungsformen interpretiert werden können.

Darauf aufbauend rückt die **Systemintegration** von Zusammenhängen in den Vordergrund. Informationen aus Grundrissen, Schnitten und dreidimensionalen Modellen werden zu einem konsistenten Gebäudeverständnis zusammengeführt, sodass sicherheitsrelevante Situationen ganzheitlich über mehrere Plandisziplinen hinweg analysiert werden können.

In der finalen **Vollintegration** erreicht das System seine angestrebte Reife: Modelle und Pläne können webbasiert eingereicht, automatisiert analysiert, kritische Stellen direkt im Modell markiert und mit relevanten BFU-Empfehlungen in einem strukturierten Prüfbericht zusammengeführt werden.

Mögliche Implementierungsstufen	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ausgangspunkt: Einführung des KI-Assistenten	■					
Inhaltliche Strukturierung: Aufbau der Wissensbasis	■					
Modellbasierte Analyse: IFC-Prüfungen durch KI		■				
Visuelle Analyse: Erkennung von 2D Plänen		■				
Systemintegration: Zusammenhänge Plan / Modell verstehen				■		
Vollintegration: Webanalysetool aufschalten					■	
BFU Intern: Schulungen zu KI & BIM	■					

Abbildung 18: Roadmap mit möglichen Implementierungsstufen bis 2030

6 Proof of Concept

6.1 Strategie und Aufbau

Der Proof of Concept (PoC) basiert auf den Ergebnissen der CBA-Analyse, in der die «KI-Analyse von Plänen und Modellen» als jenes Entwicklungsfeld identifiziert wurde, das den höchsten Gesamtvorteil für die BFU und die Planungspraxis bietet. Ergänzend werden die in der Roadmap definierten Entwicklungsstufen berücksichtigt, um den PoC so auszurichten, dass er einen realistischen und anschlussfähigen Beitrag zur schrittweisen digitalen Transformation der BFU leistet.

Der PoC verfolgt das Ziel, zentrale Elemente dieser Vision prototypisch zu demonstrieren und aufzuzeigen, wie eine spätere Implementierung technisch, organisatorisch und methodisch gestaltet werden kann. Um eine klare Struktur und Vergleichbarkeit sicherzustellen, wird der PoC in zwei komplementäre Teilbereiche gegliedert:

- 1. Horizonterweiterung durch bestehende Tools**
Untersuchung, inwieweit vorhandene Softwarelösungen bereits Funktionen bereitstellen, die für eine automatisierte sicherheitsrelevante Modell- und Plananalyse genutzt werden können.
- 2. Entwicklung eines BFU-Checkers (Basis-KI)**
Aufbau eines eigenen Prototyps, welcher exemplarisch sturzrelevante Elemente in Plänen und Modellen erkennt und mit BFU-Empfehlungen verknüpft.

Das Zusammenspiel dieser beiden Spuren bilden ein hybrides Vorgehen: Einerseits wird geprüft, wie bestehende Technologien genutzt werden können, andererseits werden jene Funktionen prototypisch entwickelt, die aktuell in keinem Tool verfügbar sind. Durch den parallelen Informationsaustausch zwischen Tool-Testings und Prototyp-Entwicklung entsteht ein integrierter Erkenntnisprozess, der sowohl technische Potenziale als auch systemische Limitierungen aufzeigt.

Am Ende des PoC werden die beiden Teilbereiche anhand eines klar definierten Kriterienrasters miteinander verglichen. Die Beurteilung erfolgt entlang zentraler Dimensionen wie zum Beispiel Datenzugänglichkeit, Erkennungsgenauigkeit und Interoperabilität. Auf dieser Grundlage wird eine kompakte Bewertungsmatrix erstellt, welche die Stärken und Schwächen verschiedener Ansätze sichtbar macht und aufzeigt, wo Limitationen bestehen. Der Vergleich ermöglicht eine nüchterne Einschätzung, welcher Ansatz unter den aktuellen Rahmenbedingungen der BFU das grösere Potenzial für eine weiterführende Entwicklung bietet und in welchem Bereich zusätzlicher Forschungs- oder Strukturierungsbedarf besteht.

6.2 Technischer Hintergrund

Dieses Kapitel erläutert die technischen Hintergründe der KI-Verfahren, die im Proof of Concept eingesetzt werden. Im Zentrum stehen drei komplementäre Technologien, die gemeinsam die automatisierte Prüfung sicherheitsrelevanter Anforderungen ermöglichen: Large Language Models, visuelle Plananalyse auf Basis zweidimensionaler Pläne und datenbasierte Modellanalyse auf Grundlage digitaler Bauwerksmodelle. Diese drei Bausteine bilden den methodischen Kern aktueller Entwicklungen im Bereich KI-gestützter Planungs- und Prüfprozesse und schaffen die Grundlage für eine spätere Automatisierung sturzpräventionsrelevanter Anforderungen wie Treppen, Geländer oder Brüstungen.

Large Language Models

Large Language Models sind KI-Systeme, die auf umfangreichen Textkorpora trainiert wurden und dadurch fähig sind, natürlichsprachliche Eingaben zu analysieren, Zusammenhänge zu erkennen und in strukturierte Informationen zu überführen (Kamath et al., 2024). Im Kontext dieses PoC dienen sie vor allem dazu, regulatorische Texte, BFU-Empfehlungen und planerische Dokumente semantisch zu interpretieren und so die Grundlage für automatisierte Prüfprozesse zu schaffen.

Neben kommerziellen Modellen wie ChatGPT von OpenAI oder Gemini von Google hat sich in den letzten Jahren ein vielfältiges Ökosystem offener Modelle entwickelt, die eine transparente Anpassung und lokale Ausführung erlauben (Google, 2025; OpenAI, 2025a). Besonders hervorzuheben ist das Open-Source-LLM Apertus der ETH Zürich, das speziell für wissenschaftliche Anwendungen entwickelt wurde und aufgrund seiner offenen Lizenzierung hohe Flexibilität hinsichtlich Datenschutzes, Nachvollziehbarkeit und domänenspezifischer Anpassung bietet (ETH Zürich et al., 2025). Weitere relevante Open-Source-Modelle sind die Llama-Reihe oder Falcon, die ebenfalls in institutionellen Umgebungen eingesetzt werden können (Falcon, 2025; Llama, 2025).

Aktuelle Studien zeigen, dass moderne LLMs komplexe regulatorische Texte zunehmend zuverlässig interpretieren und in prüfbare Regelstrukturen überführen können, was sie zu einem zentralen Baustein zukünftiger automatisierter Sicherheitsprüfungen macht. Gleichzeitig bleibt die Qualität ihrer Ausgaben abhängig von strukturierten Eingabedaten und klar definierten regelbasierten Kontrollmechanismen. (Chen et al., 2025, pp. 832–835; Li et al., 2024, pp. 3833–3834; Madireddy et al., 2025, p. 6)

Visuelle Plananalyse

Ziel der visuellen Plananalyse ist die Umwandlung statischer zweidimensionaler Baupläne (z. B. PDF) in strukturierte, maschinenlesbare Informationen. Sie bildet die Grundlage, um Sicherheitsanforderungen wie Treppen, Geländer oder Brüstungen auch dann automatisiert prüfen zu können, wenn kein BIM-Modell vorliegt. Hierfür werden zwei KI-basierte Verarbeitungspipelines kombiniert: Intelligent Optical Character Recognition (I-OCR) erkennt textuelle Informationen wie

Legenden, Tabellen und Massangaben, während Computer Vision (CV) die geometrischen und symbolischen Strukturen der Pläne analysiert. Die Kombination beider Verfahren bildet den Kern moderner KI-gestützter Planinterpretation und ermöglicht eine kontextbasierte, inhaltlich vollständige Auswertung technischer Zeichnungen. (Kreo Software, 2025)

I-OCR erweitert klassische Texterkennungssysteme (z. B. Tesseract, (Smith, 2007; Will & Sidiropoulos, 2025)) um Deep-Learning-Mechanismen, die speziell auf technische Zeichnungen trainiert sind. Dadurch lassen sich neben Texten auch Symbole, Masslinien oder Tabellen zuverlässig identifizieren. So können Inhalte wie «Brüstungshöhe 1.0 m» oder «Treppenverhältnis 18/28 cm» automatisiert extrahiert und als semantische Informationen für nachgelagerte Prüfungen genutzt werden. Layout-sensitive Modelle wie das Open-Source-Framework LayoutParser erfassen zudem den räumlichen Kontext von Beschriftungen und verknüpfen Text und Geometrie zu inhaltlich verwertbaren Strukturen. (Shen, 2025)

Computer Vision ergänzt diese semantische Ebene um die geometrische Dimension. Neuronale Netze erkennen Linien, Flächen und Objekte im Plan und ordnen sie Kategorien wie Wand, Tür, Treppe oder Geländer zu (Kreo Software, 2025). Der Mehrwert entsteht aus der Verknüpfung beider Ebenen: Erst durch die Fusion textueller und geometrischer Informationen wird eine vollständige Analyse möglich, etwa zur Kontrolle von Geländerhöhen, Podestbreiten oder Absturzkanten.

Aktuelle Forschung und industrielle Anwendungen wie Kreo Technologies (Kreo Software, 2025) zeigen, dass Deep-Learning-Modelle architektonische Elemente in Plänen bereits robust identifizieren. Bibliotheken wie LayoutParser unterstützen dabei die Segmentierung von Dokumentbereichen und die Integration mit OCR-Engines zur Extraktion technischer Beschriftungen und Massangaben (Shen, 2025).

Auch Studien wie jene von Li und Zhang (Li & Zhang, 2024, pp. 631–636), dass sich durch ein kombiniertes Verfahren aus Regel- und NLP-basierter Informationsextraktion für textbasierte Pläne und OCR (mit Computer-Vision- und KI-gestützter Texterkennung) für gescannte Pläne strukturierte Informationen aus PDF-Bauplänen mit einer Genauigkeit von 97.6 % extrahieren lassen.

Trotz erheblicher Fortschritte bestehen methodische Grenzen. Unterschiede in Planstilen, Massstäben und Symbolsprachen sowie variierende Scanqualität führen zu fehlerhaften Erkennungen. Sicherheitsrelevante Attribute wie Geländerhöhen oder Steigungen sind oft nur in Textform oder Schnitten vorhanden und müssen daraus rekonstruiert werden.

Die planbasierte Analyse gilt dennoch als praxisnaher Ansatz, besonders für Bestandsprojekte ohne BIM-Daten oder in frühen Planungsphasen. Sie kann als Vorstufe zur modellbasierten Regelprüfung dienen, indem sie überprüfbare Fakten in Form strukturierter Daten (z. B. CSV) bereitstellt. Open-Source-Stacks wie Detectron2 und LayoutParser ermöglichen reproduzierbare

Proof-of-Concept-Setups und lassen sich gezielt auf Anwendungsfälle der Sturzprävention anpassen (Facebook AI, 2025; Shen, 2025). Relevante Erkennungsaufgaben sind dabei Treppenhänge, Podeste, Geländer und Absturzkanten. Textanker wie «Geländerhöhe 1.0 m» oder «Steigung 17 / 26 cm» können per OCR extrahiert und den erkannten Treppentypen zugeordnet werden, um potenzielle Sicherheitsdefizite frühzeitig sichtbar zu machen.

Datenbasierte Modellanalyse

Ziel der datenbasierten Modellanalyse ist es, digitale Bauwerksmodelle, insbesondere IFC-Dateien, automatisiert auf die Einhaltung definierter Sicherheitsanforderungen zu prüfen. Dabei werden Regeln in maschinenlesbare Strukturen überführt, die direkt mit den im Modell enthaltenen Objekten, Attributen und Geometrien abgeglichen werden. So lassen sich sicherheitsrelevante Fragen, etwa ob ein Treppengeländer die empfohlenen Mindesthöhen einhält oder ob Absturzkanten korrekt gesichert sind, direkt am 3D-Modell beantworten.

Das Forschungsfeld des Automated Compliance Checking (ACC) bildet hierfür die methodische Grundlage. Es folgt einem etablierten Ablauf aus Regelinterpretation, Modelldatenaufbereitung, Regelausführung und Ergebnisdarstellung (Eastman et al., 2009, pp. 1012–1016; Jia et al., 2025, p. 2). Frühere Ansätze setzten häufig auf fest im Code implementierte Regeln, die bei Änderungen von Normen oder Richtlinien manuell nachgeführt werden mussten. Neuere Entwicklungen arbeiten vermehrt mit formalen Wissensrepräsentationen wie Ontologien und Begriffsdictionaries sowie mit sprach- und logiknahen Verfahren, um natürlichsprachliche Vorgaben in prüfbare Regelstrukturen zu überführen. (Jia et al., 2025, pp. 2, 4, 17-18)

Guo et al. (Guo et al., 2021) sowie auch Jia et al. (Jia et al., 2025, pp. 17–20) zeigen eine semantische Pipeline, die aus Normtexten automatisch SPARQL-Abfragen generiert und auf IFC-Daten anwendet. Chen et al. (Chen et al., 2024, pp. 4, 6) kombinieren Large Language Models (LLMs) mit Deep-Learning-Methoden, um regulatorische Texte zu analysieren und für die regelbasierte Prüfung aufzubereiten. Dadurch kann der Bedarf an manueller Intervention bei der Extraktion, Klassifikation und Umsetzung von Regeln reduziert werden (Chen et al., 2024, pp. 4, 6). Li et al. (Li et al., 2024, pp. 3832–3833) erweitern diesen Ansatz durch die Verbindung sprachspezifischer NLP-Modelle mit Wissensgraph-Technologien, um semantisch robuste Verknüpfungen zwischen BIM-Daten und Vorschriften herzustellen. Diese Entwicklungen markieren den Übergang von fest codierten Skripten zu dynamischen Wissensmodellen, die sich flexibel an neue Anforderungen anpassen lassen (Chen et al., 2024, p. 6; Li et al., 2024, p. 3833).

In der praktischen Umsetzung werden zunehmend offene Software-Stacks eingesetzt. Besonders IfcOpenShell ermöglicht in Python das Auslesen, Abfragen und Analysieren von IFC-Dateien, während BlenderBIM in Kombination mit BIMTester nachvollziehbare Modellprüfungen direkt im 3D-Modell unterstützt (Krijnen et al., 2025; Schultz et al., 2025). Diese Open-Source-Werkzeuge fördern Transparenz, Reproduzierbarkeit und Interoperabilität und bieten damit eine praxisnahe Grundlage für automatisierte Regelprüfungen.

Trotz grosser Fortschritte bestehen methodische Herausforderungen. Die Interpretation natürlichsprachlicher Regeltexte bleibt fehleranfällig und IFC-Modelle weisen in der Praxis häufig unvollständige oder fehlerhafte Attribute auf. Hinzu kommt, dass viele Sicherheitsanforderungen kontextabhängig sind, etwa in Bezug auf Gebäudetyp oder Nutzung. Um robuste Ergebnisse zu erzielen, sind daher Vorverarbeitungsschritte wie die Normalisierung von Bezeichnern, automatische Plausibilitätsprüfungen und gegebenenfalls geometriebasierte Ableitungen beispielsweise zur Ermittlung der Geländerhöhe aus Boxen erforderlich.

Das Potenzial dieser Ansätze liegt in einer automatisierten, skalierbaren und nachvollziehbaren Prüfung sicherheitsrelevanter Anforderungen direkt am digitalen Modell. Bereits in frühen Entwurfsphasen kann überprüft werden, ob sicherheitsrelevante Anforderungen eingehalten werden, bevor physische Planungsentscheidungen getroffen werden. Besonders in Verbindung mit der visuellen Plananalyse entsteht ein intelligenter KI-Assistent, der unterschiedliche, auch unvollständige Plan- und Modellstände auswerten und gezielt Rückmeldungen zur Einhaltung der BFU-Empfehlungen geben kann. Dadurch wird eine kontinuierliche, adaptive Sicherheitsprüfung über alle Planungsphasen hinweg möglich.

Im Kontext der Sturzprävention stehen vor allem die IFC-Entitäten «IfcStair» und «IfcRailing» im Zentrum. Sie bilden die Grundlage, um automatisiert zu prüfen, ob an offenen Treppenseiten Geländer vorhanden sind, ob Mindesthöhen eingehalten werden und ob Podeste korrekt modelliert sind. Durch die Verknüpfung von Regeldefinition und Modellprüfung lassen sich potenzielle Sicherheitsrisiken frühzeitig erkennen, visualisieren und dokumentieren. Damit wird die Sturzprävention zu einem integralen Bestandteil des digitalen Planungsprozesses.

6.3 Horizonterweiterung durch bestehende Tools

Dieses Kapitel untersucht, inwiefern bestehende KI basierte Softwarelösungen als Referenz, Ergänzung oder potenzielle Grundlage für einen zukünftigen KI-Assistenten der BFU dienen können. Der Fokus liegt dabei nicht auf der Auswahl eines einzelnen Produkts, sondern auf einer strukturierten Analyse technologischer Möglichkeiten, Grenzen und Abhängigkeiten. Ziel ist es, ein realistisches Bild des aktuellen Marktangebots zu zeichnen und abzuleiten, welche Funktionen bereits zuverlässig verfügbar sind, welche Anwendungsfälle nur teilweise abgedeckt werden und an welchen Stellen die BFU zwingend eigene Kompetenzen und Systeme aufbauen müsste.

Die Untersuchung erfolgt vor dem Hintergrund eines zentralen Befunds des PoC. Eine automatisierte plan und modellbasierte Sicherheitsprüfung erfordert die Kombination aus Textinterpretation, visueller Plananalyse und datenbasierter Modellprüfung. Die Marktsondierung und die Tests externer Lösungen liefern dabei wertvolle Erkenntnisse sowohl in fachlich technischer Hinsicht als auch in Bezug auf Geschäfts- und Betriebsmodelle, die für die BFU langfristig geeignet oder kritisch zu bewerten sind.

Die Horizonterweiterung durch bestehende Tools erfüllt dabei drei Funktionen. Erstens schafft sie Transparenz über den technologischen Leistungsstand des Marktes, insbesondere in den Bereichen LLM, OCR und modellbasierter Analyse. Zweitens ermöglicht sie eine Einschätzung der Abhängigkeiten, die durch die Nutzung externer Systeme entstehen können, etwa durch lizenzgebundene Plattformen oder datenschutzrelevante Fragestellungen. Drittens unterstützt sie die konzeptionelle Weiterentwicklung des BFU eigenen Checkers, indem sie aufzeigt, welche Funktionen bereits stabil verfügbar sind und wo konkrete technische Lücken bestehen, die eine interne Umsetzung erforderlich machen.

Zur Gewährleistung einer möglichst hohen Vergleichbarkeit werden für die Tests aller untersuchten Tools zwei einheitliche Basisprompts definiert: «Entspricht der Plan den BFU-Empfehlungen?» sowie «Entspricht das Modell den BFU-Empfehlungen?». Auf eine Optimierung der Prompts durch spezialisiertes Prompt Engineering wird bewusst verzichtet, da im angestrebten Anwendungsszenario der Vision 2030 nicht davon ausgegangen werden kann, dass Fachplanende über vertiefte Kenntnisse im Umgang mit KI basierten Tools verfügen.

Der untersuchte Use Case orientiert sich an der in der Standortbestimmung definierten strategischen Ausrichtung der BFU (Vision 2030), in der die BFU als Anbieterin eines digitalen Assistenzsystems auftritt und Fachplanende als Nutzende adressiert werden. Entsprechend liegt der Fokus auf einfachen und allgemein verständlichen Fragestellungen aus der Planungspraxis, während stark individualisierte Abfragen bewusst ausgeklammert werden. Für die Tests wird ein von der BFU als BFU gerecht eingestuftes Detailplan verwendet. Ergänzend kommen zwei IFC-Modelle mit unterschiedlichem Treppenverhältnis zum Einsatz, von denen eines die relevanten Anforderungen erfüllt und eines bewusst nicht konform modelliert ist, um die Reaktionsweise der Tools auf unterschiedliche geometrische und konstruktive Rahmenbedingungen systematisch zu analysieren (siehe Anhang H).

Marktsondierung

Die Marktsondierung hatte zum Ziel, den aktuellen Stand KI gestützter Tools zur Analyse von Bauplänen und digitalen Modellen systematisch zu erfassen und deren Potenzial für eine mögliche Integration in die Präventionsarbeit der BFU zu bewerten. Trotz der dynamischen Entwicklung im KI-Sektor bleibt die automatisierte Auswertung von Plänen und Modellen ein hoch spezialisierter Anwendungsbereich, in dem bislang nur wenige Anbieter belastbare und zuverlässig einsetzbare Lösungen bereitstellen. Die Analyse zeigt zwei klar unterscheidbare Kategorien von KI-Systemen, die unterschiedliche technische und organisatorische Perspektiven für die BFU eröffnen.

Die erste Kategorie umfasst LLM basierte Systeme, die von internationalen Technologieunternehmen wie OpenAI oder Google entwickelt werden und derzeit den KI-Markt massgeblich prägen. Multimodale Modelle wie ChatGPT ermöglichen die Erstellung sogenannter Custom GPTs, in welche organisationsspezifische Dokumente, Anwendungsregeln und Wissensbestände eingebunden werden können. Diese Systeme eignen sich insbesondere für die Interpretation textbasierter Inhalte wie BFU-Empfehlungen, Normtexte oder Richtlinien, da sie komplexe Inhalte verständlich aufbereiten und schnell zugänglich machen. Gleichzeitig ergeben sich Fragestellungen zur Datensouveränität, zur Abhängigkeit von globalen Plattformen sowie zur langfristigen Integrationsfähigkeit in öffentliche Strukturen, insbesondere bei der Verarbeitung interner oder sensibler Daten. Trotz dieser Herausforderungen sind solche Systeme relevant, da grosse KI-Anbieter aufgrund ihrer Marktdominanz, ihrer Skalierung und der kontinuierlichen Weiterentwicklung ihrer Modelle die technologische Entwicklung massgeblich beeinflussen. (Google, 2025; OpenAI, 2025a)

Parallel dazu entwickelt sich ein sehr dynamischer Markt spezialisierter AECO-Lösungen, der von einer Vielzahl neuer KI-Startups geprägt ist. Die zweite Kategorie umfasst Systeme, die gezielt für den Architektur, Ingenieur, Bau und Betriebsbereich entwickelt wurden. Diese Lösungen sind darauf ausgelegt, Planunterlagen, technische Dokumente, BIM Modelle und weitere strukturierte Daten gemeinsam zu analysieren und miteinander zu verknüpfen. Die Nutzung erfolgt primär in Planungsbüros, bei Generalunternehmern und in Facility Management Organisationen und basiert typischerweise auf B2B Modellen wie SaaS Lizenzen oder begleiteten Einführungskonzepten. Durch ihre Spezialisierung ermöglichen diese Systeme eine tiefere Einbettung in Planungsprozesse, führen jedoch zugleich zu funktionalen und wirtschaftlichen Abhängigkeiten von einzelnen Anbietern. Welche dieser Plattformen sich langfristig etablieren werden, ist derzeit offen und wird sich erst im weiteren Verlauf der technologischen und wirtschaftlichen Entwicklung zeigen. (Aidocr AG, 2025; Datagrid, 2025)

Diese beiden Kategorien bilden die Grundlage für die nachfolgende vertiefte Analyse. Sie zeigen auf, welche technologischen Ansätze derzeit marktprägend sind, wo konkrete Potenziale für die BFU bestehen und in welchen Bereichen externe Tools als Referenz oder Inspirationsquelle dienen können. Eine abschliessende Bewertung erfolgt in den folgenden Kapiteln auf Basis einer detaillierten Untersuchung der einzelnen Werkzeuge sowie ihres Abgleichs mit dem spezifischen Kontext der BFU.

Toolkategorie 1: LLM basierte Systeme

Die erste innerhalb der Marktsondierung definierte Toolkategorie umfasst KI-Systeme, die auf grossen Sprachmodellen basieren und sich in den vergangenen Jahren als zentrale Werkzeuge der digitalen Wissensverarbeitung etabliert haben. Modelle wie ChatGPT oder Gemini sind in der Lage, umfangreiche Textsammlungen zu analysieren, semantische Zusammenhänge zu erkennen, Inhalte zu strukturieren und nutzerfreundlich in Dialogform bereitzustellen. Mit konfigurierbaren Umgebungen wie Custom GPTs von OpenAI besteht zudem die Möglichkeit, eigene Assistenten zu erstellen, die mit organisationsspezifischen Dokumenten und Instruktionen angereichert werden und über einen direkten Link oder durch eine Veröffentlichung im GPT-Store zugänglich gemacht werden können. (Google, 2025; OpenAI, 2025b)

Für die BFU bieten diese Systeme mehrere Anknüpfungspunkte. Sie eignen sich insbesondere für die Interpretation und strukturierte Aufbereitung regulatorischer Inhalte wie BFU-Empfehlungen. Gleichzeitig ermöglichen sie den schnellen Aufbau prototypischer Fachassistenten, mit denen unterschiedliche Interaktionsformen getestet und erste Einblicke gewonnen werden können, wie KI gestützte Unterstützung bei sicherheitsrelevanten Fragestellungen funktioniert. Solche explorativen Experimente lassen sich ohne eigene technische Infrastruktur durchführen und machen früh sichtbar, wo funktionale Grenzen LLM basierter Systeme liegen.

Technisch stützen sich diese Werkzeuge im Wesentlichen auf zwei Komponenten. Zum einen wird eine Dokumentenbasis eingebunden, sodass organisationsspezifische Inhalte bei der Generierung von Antworten berücksichtigt werden. Zum anderen steuern Instruktionen das Verhalten des Systems, etwa in Bezug auf Terminologie, Erklärungsstil oder Struktur der Ausgaben. Dadurch lassen sich domänenspezifische Interaktionen simulieren, beispielsweise bei der Interpretation empfohlener Sicherheitsmassnahmen oder komplexer Richtlinien. (OpenAI, 2025b)

Mit der Nutzung externer LLM-Plattformen gehen jedoch auch zentrale Herausforderungen einher, insbesondere für eine öffentliche Institution wie die BFU. Dazu zählen Fragen der Datensicherheit, der Umgang mit internen Dokumenten, die Abhängigkeit von internationalen Anbietern sowie die begrenzte Kontrolle über Modellversionen und algorithmische Änderungen. Diese Aspekte gewinnen vor allem dann an Bedeutung, wenn nicht öffentliche Inhalte verarbeitet werden oder ein langfristig stabiler und reproduzierbarer technischer Rahmen erforderlich ist.

Im Rahmen des Proof of Concept steht daher die explorative Funktion dieser Toolkategorie im Vordergrund. LLM basierte Systeme dienen primär dazu, Anforderungen an einen zukünftigen BFU spezifischen KI-Assistenten zu konkretisieren und jene funktionalen Grenzen zu identifizieren, die eine eigenständige Weiterentwicklung erforderlich machen.

Eigener Test: Aufbau eines Custom BFU GPT

Im Rahmen des Proof of Concept wurde innerhalb der ChatGPT Umgebung ein prototypischer KI-Assistent erstellt, um die Funktionsweise eines Custom GPT praktisch zu erproben. Ziel war es zu untersuchen, wie sich ein solcher Assistent konfigurieren lässt, wie zuverlässig er mit fachspezifischen Dokumenten arbeitet und welche funktionalen Grenzen bei der Analyse von Planunterlagen und digitalen Modellen sichtbar werden. Zu diesem Zweck wurde ein Assistent mit dem Arbeitstitel «Custom BFU GPT» eingerichtet und mit einer klar definierten Rolle versehen (Abbildung 19).

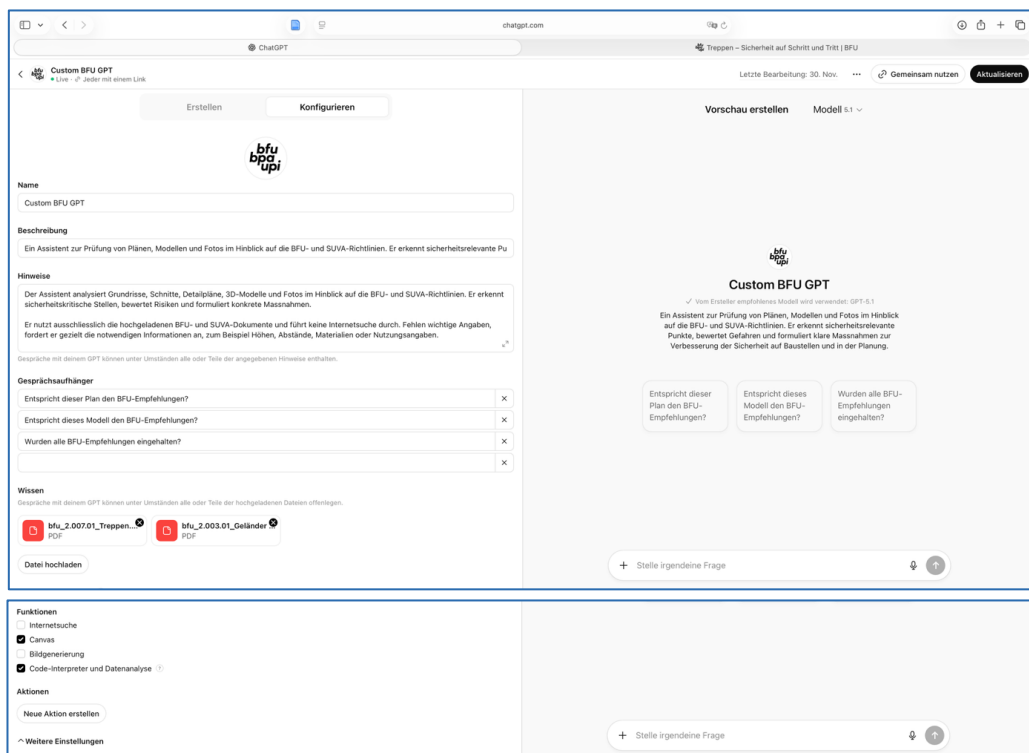


Abbildung 19: Konfiguration eines prototypischen Custom-GPT

Die Konfiguration des Custom GPT für den Anwendungsfall der BFU erfolgte vollständig innerhalb der ChatGPT-Oberfläche. Zu Beginn wurde eine Beschreibung definiert, die späteren Nutzerinnen und Nutzern Zweck und Einsatzbereich des Assistenten erläutert. Darin wird festgehalten, dass der Assistent Planunterlagen, Modelle und Fotos im Hinblick auf BFU-Empfehlungen analysiert, sicherheitskritische Stellen identifiziert und geeignete Massnahmen vorschlägt.

Anschliessend wurden im Hinweisfeld die zentralen Verhaltensregeln definiert. Dabei wurde schrittweise festgelegt, wie der Assistent vorzugehen hat, welche sicherheitsrelevanten Aspekte im Mittelpunkt stehen und wie die eingebundenen Dokumente zu interpretieren sind. Zudem wurde bestimmt, dass der Assistent ausschliesslich mit den bereitgestellten BFU-Dokumenten arbeitet und fehlende Angaben aktiv abfragt, beispielsweise zu Höhen oder Abständen. Weitere Instruktionen, wie der Verzicht auf Emojis und das Schreiben ohne Eszett (ß), wurden ebenfalls in diesem Bereich hinterlegt.

Um den Einstieg für spätere Anwender zu erleichtern, wurden drei kurze Gesprächsaufforderungen als Basisprompts ergänzt. Diese bilden typische Fragestellungen ab, etwa zur BFU-Konformität von Plänen oder Modellen und dienen als Orientierung für eine strukturierte und konsistente Interaktion.

Im nächsten Schritt wurde die Wissensbasis eingerichtet. Dazu wurden zwei exemplarische BFU PDF Dokumente zu den Themen «Treppen» sowie «Geländer und Brüstungen» hochgeladen, sodass der Assistent diese Inhalte bei der Beantwortung von Fragen berücksichtigen kann. Anschliessend erfolgte die Auswahl der technischen Funktionen. Aktiviert wurden Canvas sowie der Code Interpreter für einfache Auswertungen, während Internetsuche und Bildgenerierung bewusst deaktiviert blieben. Dadurch wird sichergestellt, dass der Assistent ausschliesslich auf die bereitgestellten Dokumente zugreift und keine externen Inhalte einbezieht.

Als zugrunde liegendes Modell wurde GPT 5.1 gewählt, da es erweiterte Möglichkeiten der Bildanalyse bietet und damit grundsätzlich geeignet ist, Planunterlagen oder Bildmaterial einzulesen und zu interpretieren (OpenAI, 2025c). Zum Zeitpunkt der Durchführung des Tests war GPT 5.1 zugleich das aktuelle verfügbare Modell von ChatGPT. Der erstellte Assistent ist über einen direkten Link öffentlich zugänglich und könnte theoretisch auch über den GPT-Store veröffentlicht werden, wodurch sich die Auffindbarkeit für potenzielle Nutzende weiter erhöhen würde.

Link zum Modell:

[Custom-bfu-gpt \(Aerni, 2025\)](#)

Während der Tests wurden die Hinweise iterativ ergänzt, um auch bei einfachen Prompts eine möglichst hochwertige Ausgabe zu erzielen. Dabei zeigt Abbildung 20 den finalen Stand der hinterlegten Hinweise.

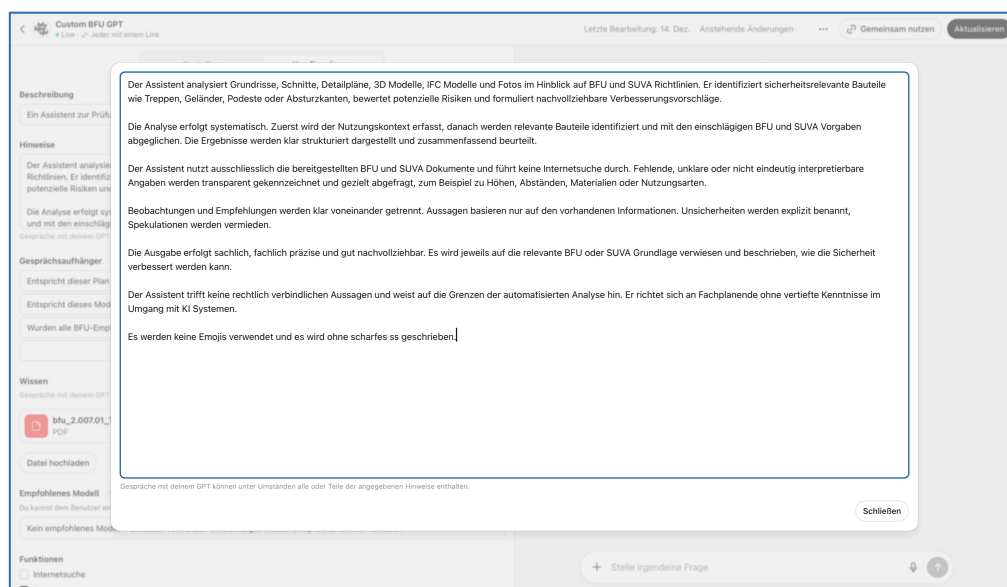


Abbildung 20: Finaler Stand des Hinweisfeldes des Custom BFU GPT mit definierten Analyse- und Verhaltensregeln

Für die Tests wurde bewusst der zuvor definierte Basisprompt verwendet, um die Vergleichbarkeit zwischen den untersuchten Tools sicherzustellen und eine realistische Nutzungssituation abzubilden. Entsprechend wurde lediglich ein einzelner PDF-Plan hochgeladen und mit der Frage «Entspricht dieser Plan den BFU-Empfehlungen?» analysiert. Diese einfache Interaktion entspricht dem angestrebten Anwendungsszenario eines zukünftigen BFU-Assistenten, der auch ohne spezifische Prompt Kenntnisse zuverlässig nutzbar sein soll.

Der Assistent erzeugte daraufhin eine umfassende sicherheitstechnische Einschätzung auf Grundlage der eingebundenen BFU-Dokumente. Dabei zeigte sich, dass relevante Inhalte aus dem Plan erkannt, mit den BFU-Empfehlungen abgeglichen und fachlich nachvollziehbar kommentiert werden konnten. Fehlende oder nicht eindeutig dargestellte Angaben, etwa zur Maschenweite eines Netzgeländers, wurden konsequent als nicht beurteilbar gekennzeichnet. Zudem stellte der Assistent eigenständig gezielte Rückfragen, um fehlende Informationen zu ergänzen und die Bewertung bei Bedarf weiter zu präzisieren (siehe Abbildung 21).

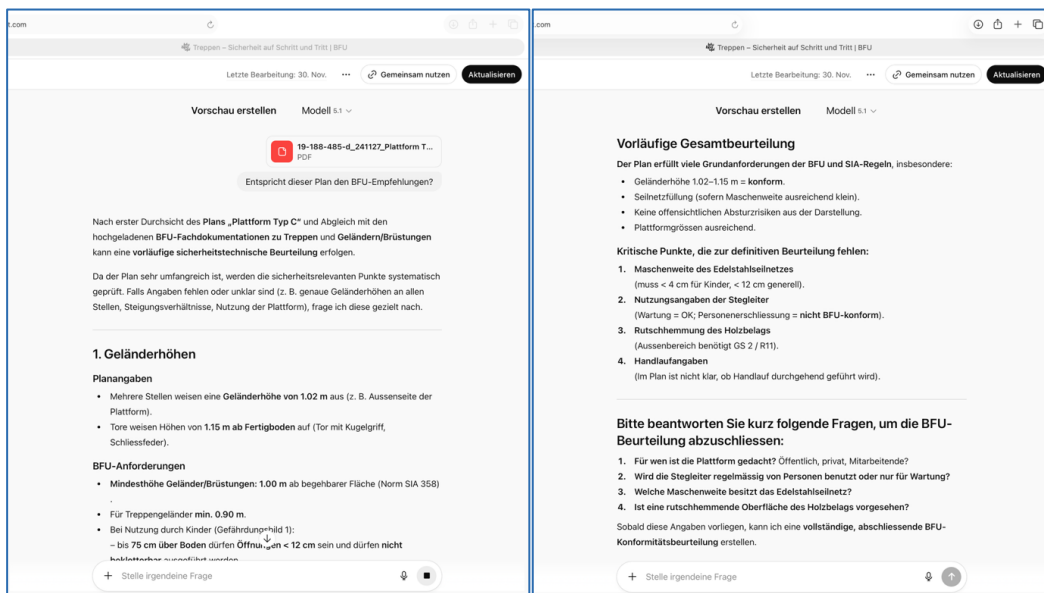


Abbildung 21: Exemplarische Custom-GPT-Antwort zur BFU-Plananalyse mit Detailauswertung (links) und vorläufiger Gesamtbeurteilung (rechts)

Ergänzend wurden textbasierte Szenarien getestet, um zu prüfen, wie zuverlässig das System planerische Angaben interpretieren kann. Abfragen wie «Wie beurteilt die BFU eine Podestbreite von 90 cm?» führten zu korrekten und textnahen Einschätzungen, sofern die entsprechenden Regelinhalte eindeutig in der Wissensbasis hinterlegt waren. Das Modell war in der Lage, die angegebenen Werte zu erfassen, mit den BFU-Empfehlungen abzugleichen und eine nachvollziehbare fachliche Beurteilung zu formulieren.

Gleichzeitig zeigte sich, dass geometrische Zusammenhänge nicht implizit aus Textbeschreibungen abgeleitet werden können. Masse, Abstände oder räumliche Relationen werden nur dann korrekt berücksichtigt, wenn sie explizit angegeben sind. Fehlen solche Angaben, ist weder eine belastbare Bewertung möglich noch eine vollständige Aussage zur BFU-Konformität ableitbar.

Ein weiterer Test untersuchte die Analyse eines IFC-Modells anstelle eines PDF-Plans. Dazu wurde ein IFC hochgeladen und mit dem Basisprompt «Entspricht dieses Modell den BFU-Empfehlungen?» abgefragt. Der Assistent meldete zunächst, dass die Datei nicht inhaltlich ausgewertet werden könne, da das Custom GPT keinen direkten Zugriff auf räumliche Modelldaten besitzt (siehe Abbildung 22 links).

Nach einer Anpassung der Hinweise, in der explizit festgelegt wurde, dass auch IFC-Modelle berücksichtigt werden sollen, sowie der Aktivierung der Internetsuche, änderte sich die Ausgabe zwar formal, jedoch ohne fachlichen Mehrwert. Sicherheitsrelevante geometrische Parameter wie Höhen, Auftrittsmass oder Öffnungen konnten weiterhin nicht erkannt oder geprüft werden. Gleichzeitig wies das Modell darauf hin, dass kein IFC-Parser wie beispielsweise «IfcOpenShell» zur Verfügung steht und somit keine echte modellbasierte Analyse möglich ist. Die Antworten beschränkten sich folglich auf allgemeine, textbasierte Hinweise zu den BFU-Empfehlungen ohne Bezug zur tatsächlichen Geometrie des Modells (siehe Abbildung 22 rechts).

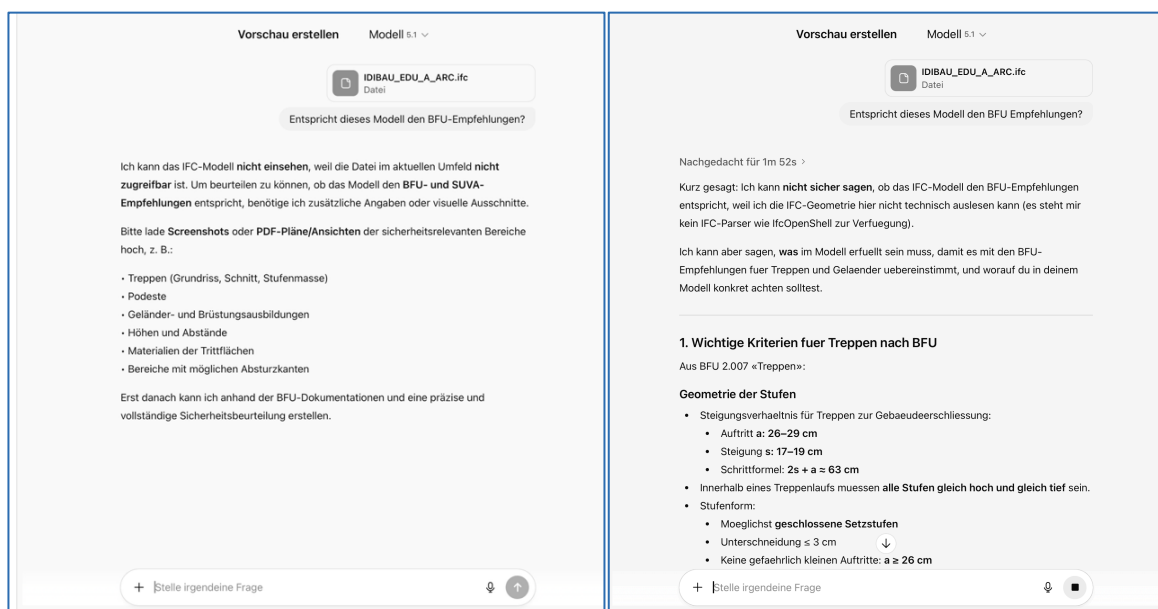


Abbildung 22: Antworten des Custom GPT auf die IFC-Anfrage vor (links) und nach Anpassung der Hinweise (rechts)

Ein anschließender Test im offenen GPT 5.1 Modell bestätigte diese Einschränkung. Ohne grafische oder geometrische Analyse kann lediglich die IFC-Textstruktur ausgelesen werden, also eine Auflistung der im Modell enthaltenen Objekttypen. Zwar erkannte das Modell korrekt das Vorhandensein sowie die Anzahl der Treppen «IfcStair» und verschiedener Geländer und Handlaufobjekte, sicherheitsrelevante Parameter wie Höhen, Steigungen oder Öffnungen konnten jedoch nicht ausgelesen oder bewertet werden.

Die im IFC enthaltenen Masse sind Bestandteil der parametrischen Geometrie und können nur mithilfe spezialisierter IFC-Parser oder BIM Werkzeugen interpretiert werden. Da GPT 5.1 keinen Zugriff auf diese Geometriedaten besitzt, ist weder eine normative Bewertung noch eine Überprüfung der modellierten Bauteile anhand der BFU-Empfehlungen möglich. Stattdessen beschränkt sich die Ausgabe auf allgemeine Hinweise zu prüfenden Aspekten, womit eine IFC gestützte Sicherheitsprüfung nicht umsetzbar ist.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass ein Custom GPT vor allem als dialogorientierte Unterstützung geeignet ist, insbesondere bei der Interpretation textbasierter Regeln und Empfehlungen. Gleichzeitig werden die funktionalen Grenzen klar sichtbar. Eine automatisierte Auswertung von Plänen oder Modellen ist nur dort zuverlässig möglich, wo sicherheitsrelevante Informationen eindeutig textuell vorliegen. Geometrische Relationen, räumliche Zusammenhänge oder rein plansymbolische Angaben können nicht eigenständig interpretiert werden. Auch IFC-Dateien lassen sich lediglich in begrenztem Umfang datenbasiert erfassen, ohne daraus eine belastbare sicherheitstechnische Beurteilung abzuleiten.

Die zentralen Beobachtungen wurden für den weiteren Vergleich in einer Erkenntnistabelle (Tabelle 5) zusammengefasst.

Tabelle 5: Zusammenfassung zentraler Erkenntnisse aus den Custom-GPT-Tests

Kategorie	Testschritt	Beobachtung / Ergebnis	Bewertung 1-5
Setup & Zugang	Registrierung, Upload, Dateiformate	Einrichtung in wenigen Minuten möglich; Individuell anpassbar; Upload stabil; Formate PDF/IFC werden akzeptiert; IFC wird jedoch nur datenbasiert gelesen, nicht geometrisch.	5
Texterkennung / Symbolerkennung	Legenden, Masslinien, Tabellen, Höhenangaben, Plansymbole	Texte aus PDF sicher erkannt; Masslinien und Tabellen interpretierbar; Plansymbole und Legenden nur teilweise; keine konsistente Plansymbolik-Erkennung.	4
Geometrieanalyse	Linien, Räume, Flächenabgrenzungen	Keine automatische Geometrieverarbeitung; IFC wird als Text gelesen, nicht als 3D Modell; Kein Abgleich sicherheitsrelevanter Parameter möglich; Es kann jedoch sagen wie viele Elemente vorhanden sind.	2
Exportfähigkeit	PDF-Bericht, JSON, CSV, Annotationen	Inhalte können manuell kopiert werden; kein strukturierter Export; keine automatisierten Annotationen.	2
Geschwindigkeit	Rechenzeit & Antwortzeiten	Sehr schnell bei Textfragen; bei PDF-Analyse leicht verzögert, aber durchgehend unter wenigen Sekunden; IFC ca. 2 min aber Ausgabe ungenügend für unseren Anwendungsfall	5
Skalierbarkeit	API, Erweiterbarkeit, Custom Models	Begrenzte Skalierbarkeit; keine API, keine automatisierte Pipeline; stark an ChatGPT Umgebung gebunden.	2

Toolkategorie 2: Spezifische AECO-Tools

Die zweite Toolkategorie der Marktsondierung umfasst spezialisierte Softwarelösungen aus dem AECO-Bereich, die gezielt für die strukturierte Auswertung von Planunterlagen, BIM Modellen und technischen Dokumenten entwickelt wurden. Sie richten sich primär an Planende, Bauleitende und Betreiberorganisationen und verfolgen das Ziel, Informationen aus unterschiedlichen Quellen zusammenzuführen sowie wiederkehrende Arbeitsabläufe zu automatisieren. Im Mittelpunkt steht dabei nicht die dialogorientierte Textverarbeitung, sondern die präzise Analyse von Dokumenten, Zeichnungen und Modelldaten.

Viele dieser Werkzeuge verfügen zwar über ein integriertes Sprachmodell (LLM), dieses dient jedoch vorwiegend als Nutzerschnittstelle für die Textausgabe. Die fachliche Leistungsfähigkeit entsteht durch die Kombination zusätzlicher Module wie OCR-Verarbeitung, visuelle Plananalyse, regelbasierte Prüflogiken und modellbasierte Datenextraktion. Dadurch sind AECO-Tools in der Lage, grosse Mengen an Planunterlagen, technischen Spezifikationen oder BIM Modellen strukturiert auszulesen, miteinander zu verknüpfen und in konkrete Verarbeitungsschritte zu überführen. Häufig kommen agentenorientierte Architekturen zum Einsatz, bei denen spezialisierte KI-Komponenten klar abgegrenzte Aufgaben übernehmen, etwa den Vergleich von Dokumentversionen, baubegleitendes Reporting oder die automatisierte Erstellung von Berichten. Die Ergebnisse können über Schnittstellen direkt in bestehende Projektplattformen integriert und in laufende Planungs- und Bauprozesse eingebunden werden.

Im Unterschied zu sprachbasierten Modellen liegt der Schwerpunkt dieser Systeme nicht auf dem Dialog, sondern auf der automatisierten Bearbeitung projektbezogener Aufgaben. Für die BFU ist diese Toolkategorie besonders relevant, da AECO-Systeme funktional und technisch deutlich über klassische LLM basierte Werkzeuge können. Ziel der Analyse ist dabei nicht die Auswahl einer konkreten Plattform, sondern die Identifikation jener technologischen Ansätze, deren Funktionalitäten grundsätzlich auf ein BFU spezifisches System übertragbar sind.

Der Markt für KI gestützte AECO-Lösungen ist derzeit sehr dynamisch und durch eine wachsende Zahl spezialisierter Startups geprägt. Im Rahmen dieser Arbeit konnten daher nur ausgewählte Systeme vertieft betrachtet werden. Für die praktische Untersuchung wurden zwei Tools gewählt, deren Preisstruktur und Zugangsmöglichkeiten eine Evaluation im gegebenen Rahmen erlauben. Datagrid steht dabei exemplarisch als US-Lösung für umfassende, agentenbasierte AECO-Plattformen mit starker Integration in bestehende Projektumgebungen, während AidOCR als Schweizer Startup einen stärkeren modell- und datengetriebenen Ansatz mit Fokus auf die Verknüpfung heterogener AECO-Datenformate verfolgt. Beide Systeme liefern wertvolle Referenzpunkte für die konzeptionelle Weiterentwicklung eines BFU spezifischen Assistenzsystems.

Eigener Test: Nutzung von Datagrid

Datagrid ist eine US-amerikanische Plattform, die sich auf agentenbasierte Automatisierung im AECO-Umfeld spezialisiert hat. Im Unterschied zu klassischen KI-Assistenzsystemen, die primär dialogorientiert arbeiten, verfolgt Datagrid den Ansatz, komplette Arbeitsabläufe automatisiert auszuführen. Dazu kombiniert die Plattform Sprachmodelle mit spezialisierten Analyse- und Aktionsmodulen, um Informationen aus Dokumenten, Plänen, Tabellen und Modellen nicht nur zu interpretieren, sondern direkt weiterzuverarbeiten.

Zentral ist dabei eine agentenorientierte Architektur. Einzelne KI-Agenten übernehmen klar definierte Aufgaben wie Dokumentensuche, Versionsvergleiche, Submittal-Prüfungen oder Reporting. Diese Agenten greifen auf unterschiedliche Datenquellen zu und verknüpfen Informationen aus verschiedenen Systemen innerhalb eines gemeinsamen Workspaces. Datagrid richtet sich damit gezielt an Projektteams im Bau- und Immobilienumfeld und ist auf eine tiefe Integration in bestehende digitale Arbeitsumgebungen ausgelegt. Ein besonderer Fokus liegt auf Nachvollziehbarkeit und Quellenbezug der Analyseergebnisse, was insbesondere für sicherheitsrelevante Anwendungen von Bedeutung ist (Datagrid, 2025).

Um die Leistungsfähigkeit von Datagrid im Vergleich zu anderen Tools zu beurteilen, wurde die Plattform im Rahmen des PoC praktisch getestet. Für die Evaluation kam die Pro-Version mit einem Abonnement von 49 USD pro Monat zum Einsatz. Ziel war es zu untersuchen, inwiefern Datagrid sicherheitsrelevante Informationen aus Planunterlagen sowie aus einem exemplarischen IFC-Modell automatisiert erkennen, strukturieren und auswerten kann.

Nach der Registrierung zeigte sich, dass Datagrid nicht als klassisches dialogorientiertes Assistenzsystem konzipiert ist, sondern eine agentenbasierte Arbeitsumgebung bereitstellt, in der dokumentenbasierte Analyse-Workflows definiert und ausgeführt werden. Für den Datenimport stehen unter anderem cloudbasierte Projektplattformen wie SharePoint oder Autodesk Construction Cloud zur Verfügung, wobei eine Anbindung an Trimble Connect laut Anbieter derzeit im Beta-Status ist (siehe Abbildung 23). Da im PoC ausschliesslich PDF-basierte BFU-Empfehlungen sowie ausgewählte Beispielpläne und IFC-Dateien vorlagen, wurden die relevanten Dateien manuell in den Workspace hochgeladen und für die weitere Analyse vorbereitet.

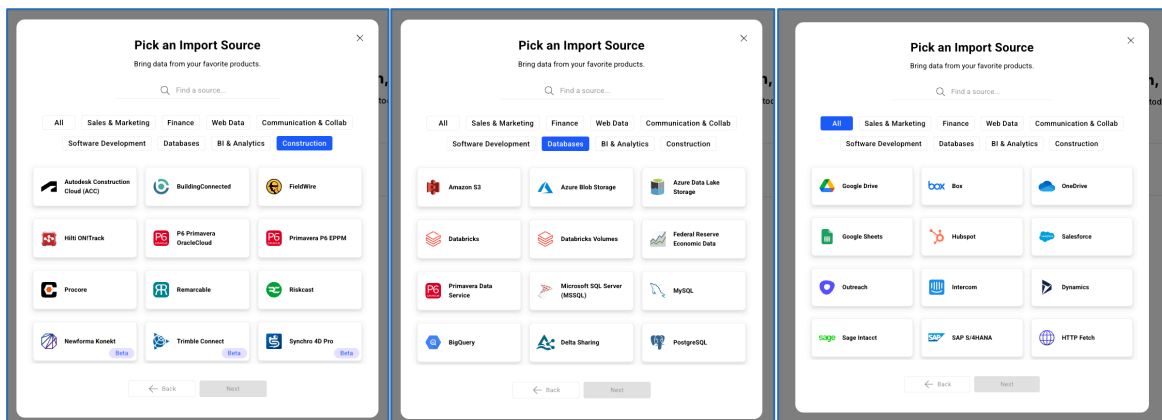


Abbildung 23: Mögliche Importquellen von Datagrid

Nach dem Upload der BFU-Empfehlungen erzeugt Datagrid automatisch eine tabellarische Struktur, in der jede Seite einzeln erfasst wird. Dabei werden sowohl extrahierte Textinhalte als auch gerenderte Seitenbilder gespeichert (siehe Abbildung 24). Bereits in dieser frühen Testphase zeigte sich, dass Datagrid stark auf Dokumentstrukturen, OCR-Verarbeitung und klassifizierende Mechanismen ausgerichtet ist. Der Schwerpunkt liegt somit auf dem Erkennen, Ordnen und Strukturieren von Inhalten.

#	pageNumber	text
1	1	Beatrix JeannotatBern, 2020Fachdokumentation2_ 007 Treppen Postfach, 3001 E ...
2	2	Autorin Beatrix Jeannotat Dipl. Ing. Arch. HdK mit CAS in bewegungsbalierterArch ...
3	3	Treppen Treppen sicher gestalten 3 Treppen Bauliche Massnahmen zur Unfallprä ...
4	4	Treppen sicher gestalten 1. Treppen sicher gestalten 5 1. Häufige Unfallursachen ...
5	5	Treppen Treppen sicher gestalten 5 Von einer guten Treppenplanung, bei der die T ...
6	6	Treppen sicher gestalten 3. Feuerpolizeiche Aspekte Bei Planung und Ausführu ...
7	7	Treppen Treppen sicher gestalten 7 8. Geltungsbereich Auch bei der Planung eine ...
8	8	Treppen sicher gestalten 8 1. Hindernisfreies Bauen Für alle öffentlich zugänglic ...
9	9	Treppen Treppenformen 9 1. Treppenlitt Treppenlitt sollten nur innerhalb einer W ...
10	10	10 Anforderungen an Treppenanlagen nach Geltungsbereich Treppen Treppen zur ...
11	11	Treppen Anforderungen an Treppenanlagen nach Geltungsbereich 11 Tabelle 2: St ...
12	12	12 Anforderungen an Treppenanlagen nach Geltungsbereich Tabelle 3: Neigungsw ...
13	13	Treppen Anforderungen an Treppenanlagen nach Geltungsbereich 13 Tabelle 4: Pt ...
14	14	14 Anforderungen an Treppenanlagen nach Geltungsbereich Tabelle 5: Sichtbarke ...
15	15	Treppen Anforderungen an Treppenanlagen nach Geltungsbereich 15 Tabelle 6: Tr ...
16	16	16 Anforderungen an Treppenanlagen nach Geltungsbereich Tabelle 7: Handlauf H ...
17	17	Treppen Anforderungen an Treppenanlagen nach Geltungsbereich 17 Handlauf Dk ...
18	18	18 Anforderungen an Treppenanlagen nach Geltungsbereich Abbildung 18Handlau ...
19	19	Treppen Treppen im Aussenbereich 19 1. Aussentreppe Bei Verkehrsanlagen, auf c ...
20	20	20 Quellenverzeichnis [1] Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesgesetz bet ...
21	21	Treppen Fachdokumentationen 21 Haus und Freizeit Nr. 2.003 Geländer und Brüst ...
22	22	22 Impressum Herausgeberin BFU, Beratungsstelle für Unfallverhütung Postfach, ...
23	23	
24	24	Beratungsstelle fürUnfallverhütungPostfach, 3001 Berninfo@bfu.ch bfu.ch Die BFU ...

Abbildung 24: Tabellarische Aufschlüsselung eines BFU-Empfehlungsdokuments (PDF) in Datagrid

Nach der Einrichtung der Umgebung wurde zur Vergleichbarkeit mit dem Custom GPT derselbe Basisprompt verwendet. Als Grundlage diente erneut die Frage «Entspricht dieser Plan den BFU-Empfehlungen?». Datagrid erlaubt es, die Wissensquellen eindeutig festzulegen, sodass klar definiert ist, auf welche Dokumente das System zugreift (siehe Abbildung 25 links). Der Analyseprozess war dabei transparent nachvollziehbar. Während der mehrminütigen Verarbeitung zeigte die Plattform fortlaufend an, welche Verarbeitungsschritte durchgeführt werden und welche Module aktiv sind (siehe Abbildung 25 rechts). Während des Verarbeitens kam es jedoch vereinzelt zu kurzen Rucklern und temporären Unterbrüchen der Benutzeroberfläche, was auf eine hohe Verarbeitungslast oder technische Grenzen der Webanwendung hindeutet.

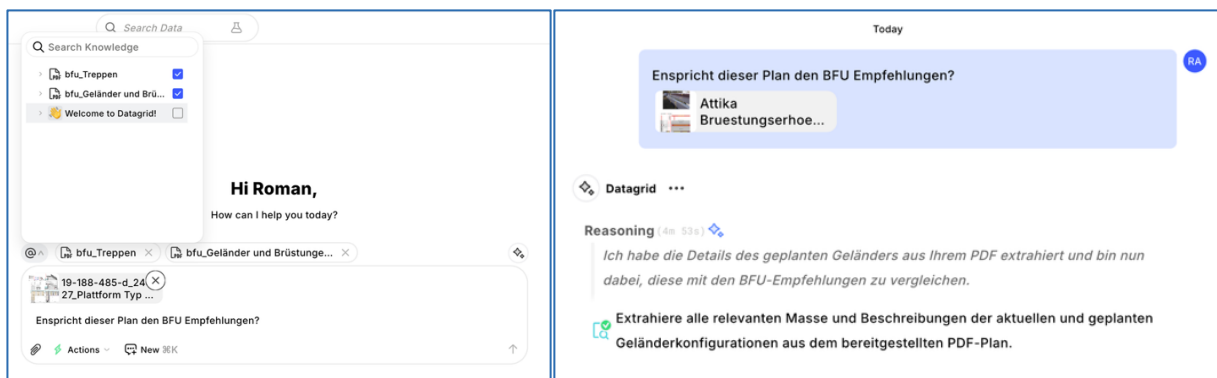


Abbildung 25: Basisprompt mit Wissensquellen (links) und laufendem Analyseprozess (rechts) in Datagrid

Nach einigen Minuten (ca. 5 min) lag die erste Auswertung vor. Datagrid stufte den Plan nicht als BFU konform ein und verwies gleichzeitig auf «erhebliche Mängel». Auffällig war jedoch, dass sicherheitsrelevante Masse wie Steigung, Auftritt oder Geländerhöhe nicht automatisch erkannt wurden, obwohl im Plan klare Masslinien vorhanden waren. Dies deutet darauf hin, dass das zugrunde liegende OCR Verfahren Masslinien in erster Linie als grafische Elemente interpretiert und numerische Werte nur dann extrahiert, wenn ein eindeutiger Textanker vorhanden ist, beispielsweise Begriffe wie Steigung oder Geländerhöhe.

Zusammenfassende Bewertung

Der Plan 'Plattform Typ C' weist **erhebliche Mängel** in Bezug auf die BFU-Empfehlungen auf, hauptsächlich aufgrund fehlender kritischer Masse und Spezifikationen.

Die wichtigsten Punkte, die dringend überarbeitet werden müssen, sind:

- 1. Angabe der Treppenmasse (Steigung und Auftritt):** Diese sind für die Sicherheitsbeurteilung unerlässlich.
- 2. Angabe der Geländerhöhe:** Eine klare Höhenangabe ist für die Absturzsicherung zwingend erforderlich.

Abbildung 26: Antwort von Datagrid auf eine Plananfrage

In einem weiteren Schritt wurde gezielt nachgefragt, weshalb diese Informationen nicht im ersten Durchlauf erkannt wurden. Datagrid erklärte, dass die initiale Analyse auf übergeordnete Prüfpunkte ausgerichtet sei und keine detaillierte dimensionsbezogene Prüfung vornehme. Durch die gezielte Nachfrage gelang es, die Geländerhöhe und das Steigungsverhältnis korrekt auszulesen, nachdem diese Werte direkt angesprochen wurden. Die Tests zeigten damit, dass Datagrid durchaus Zahlenwerte aus Masslinien extrahieren kann, jedoch nur dann, wenn die Anfrage sehr konkret formuliert ist und die Information klar zugeordnet werden kann. In einem späteren Durchlauf wurde der Plan als BFU konform eingestuft, ohne dass Anpassungen vorgenommen wurden. Einzig der Hinweis zur Prüfung der Rutschhemmung blieb bestehen.

RA Roman Aerni

Die Geländerhöhe und die Treppenstufen sind im Plan mit Masslinien vermasst. Weshalb liest du diese Angaben nicht aus?

Datagrid ... 3 steps >

Hallo Roman Aerni,

Vielen Dank für Ihren Hinweis. Sie haben Recht, die Geländerhöhe und die Treppenstufenmasse sind im Plan 'Plattform Typ C' vermasst. Ich habe den Plan erneut detailliert analysiert und die entsprechenden Masse erfolgreich extrahiert.

Abbildung 27: Datagrid-Antwort nach Rückfrage

Im weiteren Verlauf zeigte sich, dass es sich dabei nicht um einen Einzelfall handelt. Datagrid erkennt bei einfachen Prompts nicht immer alle relevanten Angaben bereits im ersten Durchlauf. Informationen, die im Plan eindeutig vorhanden waren, wurden teilweise erst nach gezieltem Nachfragen extrahiert. Dies verdeutlicht, dass die Leistungsfähigkeit der Analyse stark von der Präzision des Prompts sowie von vorhandenen Textankern im Dokument abhängt. Für den Anwendungsfall der BFU ist dies kritisch, da ein Assistenzsystem möglichst ohne detailliertes Nachfragen verlässliche und vollständige Ergebnisse liefern sollte. Eine nachvollziehbare Begründung für ausgelassene Werte liefert Datagrid in diesen Fällen nicht. Häufig verweist das System lediglich auf einen logisch aufgebauten Analyseprozess, ohne transparent darzulegen, weshalb bestimmte Angaben nicht erkannt wurden.

Parallel dazu wurden jedoch auch funktionale Stärken sichtbar. Datagrid bindet die relevanten PDF-Seiten der BFU-Empfehlungen automatisch in die Analyse ein und erzeugt zusätzlich strukturierte tabellarische Datensätze, die gemeinsam mit den Originalseiten exportiert werden können. Diese Kombination aus textlicher Auswertung, visuellen PDF-Ausschnitten und strukturierten Tabellen ist in Abbildung 28 exemplarisch dargestellt. In der praktischen Nutzung zeigte sich allerdings, dass diese Funktionen nicht in jedem Durchlauf automatisch ausgelöst werden. Ohne präzise Nachfragen werden einzelne Informationen übernommen, während andere ausgelassen bleiben, was zu variierenden Analyseergebnissen führt. Positiv hervorzuheben ist jedoch, dass Datagrid bei jeder Analyse automatisch einen vollständigen PDF-Bericht generiert, der sowohl die textliche Bewertung als auch visuelle Ausschnitte der geprüften Planbereiche enthält.

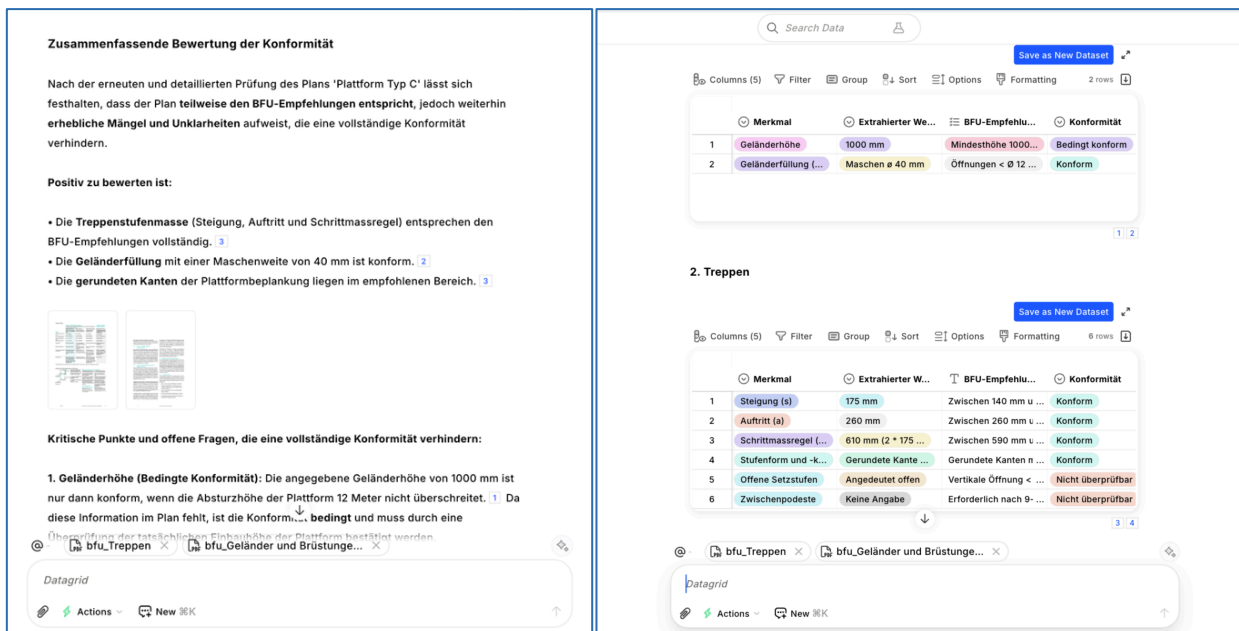


Abbildung 28: Grafisch unterstützte Konformitätsbewertung eines Plans in Datagrid

Im zweiten Teil des Tests wurde geprüft, ob Datagrid ein IFC-Modell auswerten kann. Der Upload über die Chatoberfläche führte zunächst zu Fehlermeldungen, konnte jedoch durch das manuelle Verschieben der Datei in den «Datagrid-TeamSPACE» umgangen werden. In der anschließenden Datenansicht wurden dennoch keine inhaltlichen Informationen angezeigt. Anstelle tabellarischer Bauteil- oder Strukturangaben wie bei den BFU-Empfehlungen erschien lediglich der Hinweis, dass keine Daten verfügbar seien, obwohl das IFC-Modell vollständig hochgeladen war. Erwartete Struktur- und Objektdaten wurden somit nicht generiert, was auf fehlende oder stark eingeschränkte IFC-Analysefähigkeiten innerhalb der Plattform hindeutet.

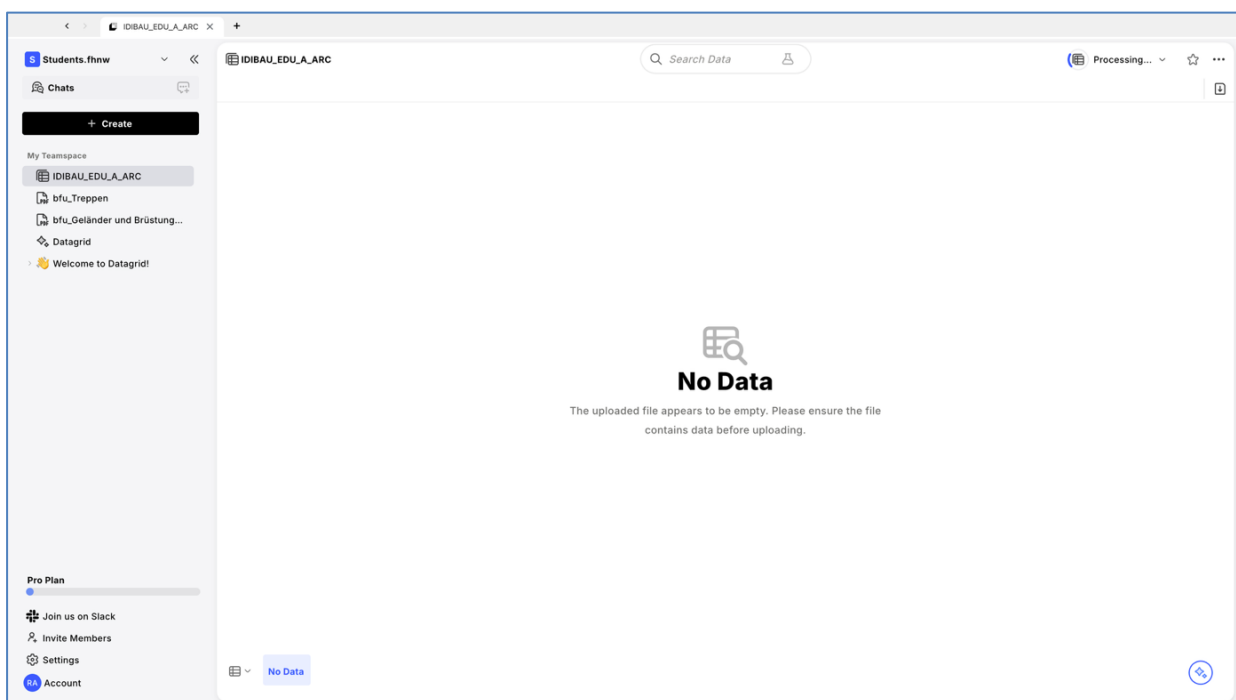


Abbildung 29: Fehlermeldung bei IFC-Datei

Ergänzend wurde dennoch eine Abfrage auf das leere Dokument durchgeführt. Wie erwartet war Datagrid beim Prompt «Entspricht dieses Modell den BFU-Empfehlungen?» nicht in der Lage, die IFC-Datei auszuwerten. Stattdessen stellte das System Rückfragen zu grundlegenden Modelleigenschaften wie Modelltyp oder verwendeten Materialien. Dies verdeutlicht, dass IFC-Dateien ohne spezifische Konfiguration nicht als geometrisches Modell interpretiert werden, sondern lediglich als Dateiobjekt ohne inhaltliche Struktur behandelt werden. Auch nach gezielten Nachfragen, etwa «Kannst du die Masse selbstständig aus dem IFC-Modell auslesen?» beschränkten sich die Antworten auf generische Rückfragen, ohne dass sicherheitsrelevante geometrische Parameter extrahiert werden konnten.

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, inwiefern sich Datagrid mit Trimble Connect verbinden lässt. Diese Funktion befindet sich derzeit noch im Beta-Status. Die Anbindung konnte zwar erfolgreich hergestellt werden und die Metadaten der hochgeladenen Modelle wurden tabellarisch dargestellt (siehe Abbildung 30). Eine inhaltliche Auswertung der IFC-Struktur, weder daten- noch geometriebasiert, war weiterhin nicht möglich. Eine IFC-spezifische Analyse des Modellinhalts lässt sich demnach in Datagrid (Stand 15.12.2025) nicht umsetzen.

ID	Project Name	Lo...	Crea...	Created ...	Modified On	Last Visited On	# Size	# Files ...	# Folder..	+ Add
UE05Gyhh3Yk	YOND Test	europa	11/13/2024	Roman	11/13/2024	1/23/2025	260430980	9	1	9
S4Gv51WW1dQ	TTL	europa	3/31/2023	Wissam	11/19/2025	1/23/2025	143159577	14	3	27
U0grPMObel0	IP2A HS24 Gruppe BF	europa	11/7/2024	Oliver	9/18/2025	1/21/2025	15845719	12	4	12
c0qRMfyd2bo	MT MSc VDC BFU	europa	11/7/2025	Oliver	12/4/2025	11/17/2025	92872951	15	5	15

Abbildung 30: Metadatenübersicht eines Trimble-Connect-Beispielprojekts

Das IFC-Format ist in den USA deutlich weniger verbreitet als in Europa. Vor diesem Hintergrund erscheint es plausibel, dass Datagrid primär auf proprietäre Datenpipelines ausgelegt ist, die im Rahmen dieses Tests nicht zur Verfügung standen. Auch an der Stanford University wurde IFC nach Aussage der dortigen Ansprechpersonen bislang eher unterschwellig behandelt. Die Modellbearbeitung konzentriert sich dort nahezu ausschliesslich auf Autodesk oder Revit-Produkte, was vermutlich damit zusammenhängt, dass viele Projekte über Generalplaner abgewickelt werden und Closed-BIM-Ansätze innerhalb eines einheitlichen Softwareökosystems als effizienter gelten. (Fischer, 2025)

Relevant wäre zudem die Frage, ob eine direkte Anbindung an die Autodesk Construction Cloud auch für 3D-Modelldaten genutzt werden könnte. Dies konnte im Rahmen dieser Arbeit aufgrund fehlender Softwarelizenzen nicht geprüft werden. Für den Anwendungsfall der BFU wäre eine solche Closed-BIM-Lösung jedoch nur eingeschränkt geeignet, da eine offene, transparente und dauerhaft nachvollziehbare Arbeitsweise angestrebt wird und das IFC-Format hierfür weiterhin eine zentrale Rolle spielt.

Ein weiterer eher negativer Aspekt betrifft die Kostenstruktur der Plattform. Jede erweiterte Analyse verbraucht Credits. Nach zwei einfachen Planabfragen standen von den ursprünglich 1000 Credits eines 49-Dollar-Monatsabonnements nur noch 960 Credits zur Verfügung. Eine zweistufige Analyse verursacht damit Kosten von rund 1.96 USD beziehungsweise etwa 1.58 CHF (Stand 30.11.2025). Abhängig vom Umfang und der Bearbeitungsdauer ergibt sich ein Richtwert von etwa 0.50 bis 0.90 CHF pro Prompt. Bei intensiver Nutzung wird die Preisgestaltung somit zu einem relevanten Faktor.

Zusammenfassend zeigt der Test, dass Datagrid über leistungsfähige Funktionen zur Dokumentaufbereitung, Textextraktion und Prozessautomatisierung verfügt. Gleichzeitig wurde deutlich, dass das System weder Planmasslinien noch geometrische Zusammenhänge zuverlässig erkennt und IFC-Modelle nicht modellbasiert analysieren kann. Die Auswertung bleibt weitgehend textorientiert, wodurch sicherheitsrelevante Parameter wie Auftritte, Steigungen oder Geländehöhen nur nach expliziter Nachfrage ermittelt werden konnten. Zusätzlich traten wiederholt Stabilitätsprobleme in Form von Freeze-Effekten auf, während der kreditbasierte Verbrauch bereits bei einfachen Tests spürbar anstieg. Insgesamt liefert Datagrid viele interessante Impulse zur Automatisierung dokumentenbasierter Prozesse, eignet sich jedoch nicht für eine normative, geometriegestützte Analyse, wie sie für einen BFU-spezifischen Assistenzansatz erforderlich wäre.

Die nachfolgende Tabelle fasst die gewonnenen Erkenntnisse strukturiert zusammen.

Tabelle 6: Zusammenfassung zentraler Erkenntnisse aus den Datagrid-Tests

Kategorie	Testschritt	Beobachtung / Ergebnis	Bewertung 1-5
Setup & Zugang	Registrierung, Upload, Dateiformate	Einrichtung möglich, aber weniger intuitiv; PDF-Upload stabil; IFC-Upload möglich, aber ohne Modellvorschau und ohne tabellarische Extraktion; Kreditmodell verursacht hohe Kosten bei intensiver Nutzung.	3
Texterkennung / Symbolerkennung	Legenden, Masslinien, Tabellen, Höhenangaben, Plansymbole	Texte und Tabellen aus PDFs zuverlässig per OCR erkannt; textuelle Angaben gut interpretierbar; Masslinien, Plansymbole und Legenden nur teilweise erkannt; keine konsistente symbolbasierte Planinterpretation.	2
Geometrieanalyse	Elemente, Räume, Flächenabgrenzungen	Keine automatische Geometrieverarbeitung; IFC wird nicht als 3D-Modell interpretiert; keine Auswertung von Höhen, Steigungen oder Öffnungen möglich; lediglich Metadaten oder Dateinformationen verfügbar bei Trimble Connect Anbindung	1
Exportfähigkeit	PDF-Bericht, JSON, CSV, Annotationen	Automatische Erstellung strukturierter PDF-Berichte möglich; Automatisch generierte Datensheets; Abfragen können als JSON CSV exportiert werden	5
Geschwindigkeit	Rechenzeit & Antwortzeiten	Längere Laufzeiten bei komplexen Abfragen (bis mehrere Minuten); gelegentlich Freeze Effekte.	1
Skalierbarkeit	API, Erweiterbarkeit, Custom Models	Sehr viele Integrationen verfügbar; agentenbasierte Struktur skalierbar	4

Eigener Test: Nutzung von AidOCR

AidOCR ist ein Schweizer Startup, das eine KI-gestützte Analyseplattform für den AECO-Bereich entwickelt, welche digitale Planunterlagen, IFC-Modelle und weitere projektrelevante Daten strukturiert auswertet und miteinander verknüpft. Nach Eigendarstellung positioniert sich die Plattform bewusst als Alternative zu rein sprachbasierten Modellen auf Basis von Large Language Models (LLM). Ziel ist es, Bauvorhaben mithilfe eines datengetriebenen Assistenzsystems zu unterstützen, das technische Informationen aus unterschiedlichen Quellen nachvollziehbar analysiert und strukturiert aufbereitet, wobei AECO-typische Datenformate gemeinsam ausgewertet und in Beziehung gesetzt werden. (Aidocr AG, 2025)

Aus zeitlichen Gründen war es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, AidOCR direkt auf den eigenen Endgeräten einzusetzen. Für eine produktive Nutzung wird nach Aussage des Gründers eine vorgängige Schulung empfohlen. Die Evaluation erfolgte daher auf Basis zweier Fachgespräche, in denen der Gründer von AidOCR die Plattform live demonstrierte, die internen Analyseprozesse erläuterte und die definierten Abfragen stellvertretend ausführte. Das erste Gespräch diente der Einführung in die Systemarchitektur und die verfügbaren Analysepipelines, während ein weiteres Gespräch zur Durchführung konkreter Abfragen anhand der von der BFU bereitgestellten Planunterlagen sowie eines IFC-Modells genutzt wurde. (Wartmann, 2025)

Im Rahmen der Gespräche wurde erläutert, dass AidOCR je nach Dateityp unterschiedliche Verarbeitungslogiken anwendet. Bei PDF-Plänen analysiert das System sowohl den extrahierten Text als auch die visuelle Struktur der Seite. Zum Einsatz kommen dabei OCR-Verfahren, das Erkennen von Textkernern, die Segmentierung von Planbereichen sowie die Verknüpfung dieser Inhalte mit hinterlegten Wissensquellen. Für IFC-Modelle nutzt AidOCR eine modellbasierte Analysepipeline, die auf dem IFC-Parser IfcOpenShell aufbaut. Damit können Bauteile, Abmessungen, Attribute, Rauminformationen sowie geometrische Beziehungen ausgelesen und im integrierten IFC-Viewer visuell markiert werden. Der Umfang der extrahierbaren Informationen hängt dabei stark von der Modellstruktur, der Detailtiefe sowie von der konsistenten Verwendung der IFC-Klassen ab. Die Ergebnisse werden laut Gründer konsequent mit Verweisen auf die jeweilige Quelle ausgegeben, um die Nachvollziehbarkeit zu erhöhen und nicht belegbare Aussagen zu vermeiden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, relevante IFC-Elemente direkt in einem integrierten IFC-Viewer visuell markieren zu lassen. (Wartmann, 2025)

AidOCR kann ohne aktive Internetsuche betrieben werden. Sämtliche Auswertungen basieren ausschliesslich auf den hinterlegten Daten. Für die durchgeführten Tests wurden die beiden BFU-Empfehlungen als Wissensbasis eingebunden, sodass alle Antworten direkt auf diese Dokumente Bezug nahmen. (Wartmann, 2025)

Im ersten Test wurde ein PDF-Plan aus den BFU-Testunterlagen analysiert und mit dem vordefinierten Basisprompt «Entspricht dieser Plan den BFU-Empfehlungen?» abgefragt. Die von AidOCR generierte Antwort erwies sich als umfangreich und klar strukturiert. Das System identifizierte die für den Plan relevanten BFU-Vorgaben, ordnete diese systematisch und versah jede Position mit direkten Verweisen auf die entsprechenden Stellen in den Originaldokumenten der BFU-Empfehlungen (siehe Abbildung 31). Dadurch wurde transparent nachvollziehbar, auf welcher fachlichen Grundlage die einzelnen Aussagen basieren.

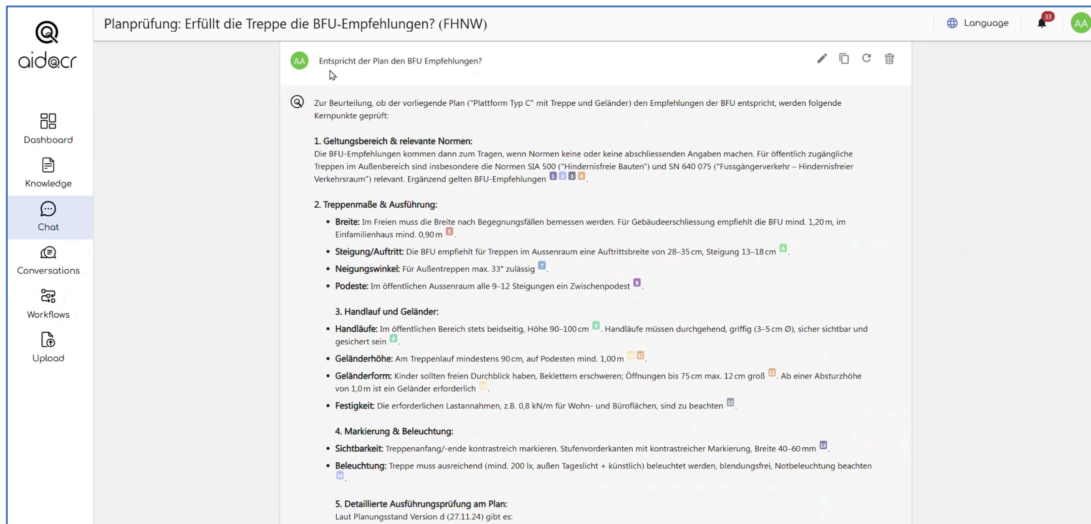


Abbildung 31: Strukturierte AidOCR-Ausgabe zur Analyse eines PDF-Plans

Im Fazit bewertete AidOCR den Plan insgesamt als weitgehend BFU-konform. Es wurde festgehalten, dass die in den BFU-Empfehlungen als zentral eingestuftten Anforderungen grösstenteils erfüllt sind. Gleichzeitig identifizierte das System einzelne kleinere Abweichungen und wies darauf hin, dass für eine abschliessende Beurteilung bestimmte Detailpunkte noch schriftlich zu verifizieren sind. Zu diesem Zweck formulierte AidOCR gezielte Rückfragen, die sich an den typischen Prüfschritten einer manuellen Plananalyse orientieren (siehe Abbildung 32).

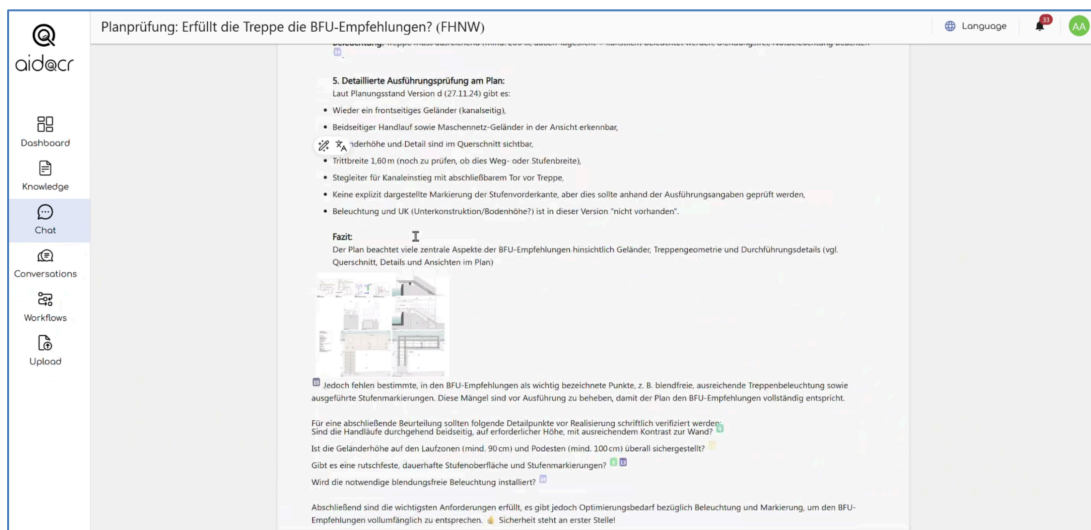


Abbildung 32: Ergebnis der AidOCR-Planprüfung mit identifizierten Abweichungen

In einem zweiten Test wurde das bereitgestellte IFC-Modell analysiert und mit dem vordefinierten Basisprompt «Entspricht dieses Modell den BFU-Empfehlungen?» abgefragt. AidOCR stellte dabei fest, dass das IFC-Modell selbst keine expliziten Verweise auf BFU-Empfehlungen enthält und somit keine direkte BFU-Konformität aus den reinen Modelldaten abgeleitet werden kann. Stattdessen identifizierte das System die für das Modell relevanten BFU-Vorgaben und ordnete diese thematisch den potenziell betroffenen Bauteilen im IFC-Modell zu. Dadurch wurde nachvollziehbar aufgezeigt, welche sicherheitsrelevanten Anforderungen grundsätzlich zu prüfen wären, auch wenn diese nicht explizit im Modell hinterlegt sind (siehe Abbildung 33).

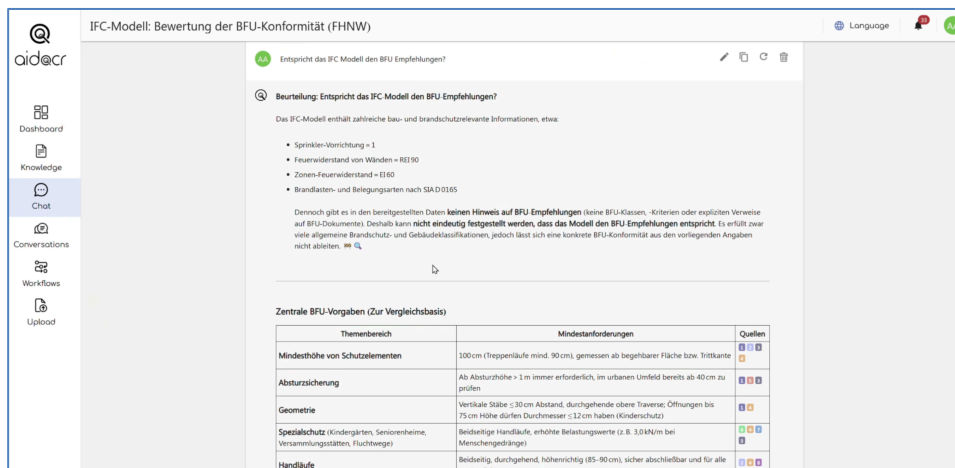


Abbildung 33: Strukturierte AidOCR-Ausgabe zur BFU-Konformitätsbewertung eines IFC-Modells

Im Fazit hielt AidOCR fest, dass ohne ein separates Abgleichdokument keine abschliessende Beurteilung möglich ist. Die im Modell dargestellten Geometrien, Höhen, Abstände und technischen Ausstattungen müssen systematisch mit den BFU-Fachdokumentationen verglichen werden, um eine verlässliche Aussage zur Konformität treffen zu können. AidOCR formulierte daher explizit den Bedarf einer detaillierten modellbasierten Prüfung, bei der die IFC-Daten gezielt mit normativen Vorgaben abgeglichen werden müssen (siehe Abbildung 34).

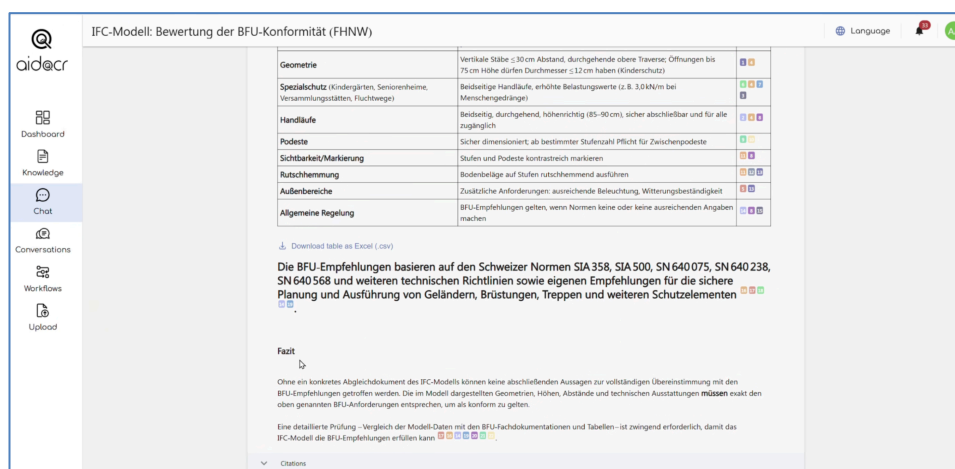


Abbildung 34: Ergebnis der AidOCR-Analyse eines IFC-Modells

Ergänzende, gezielt formulierte Abfragen zeigten, dass AidOCR geometrische Informationen wie die Anzahl der Treppen, die Stufenanzahl sowie Treppenverhältnisse aus dem IFC-Modell auslesen und tabellarisch darstellen kann. Zudem konnten die identifizierten Elemente direkt in einem integrierten IFC-Viewer visualisiert und gezielt hervorgehoben werden (siehe Abbildung 35).

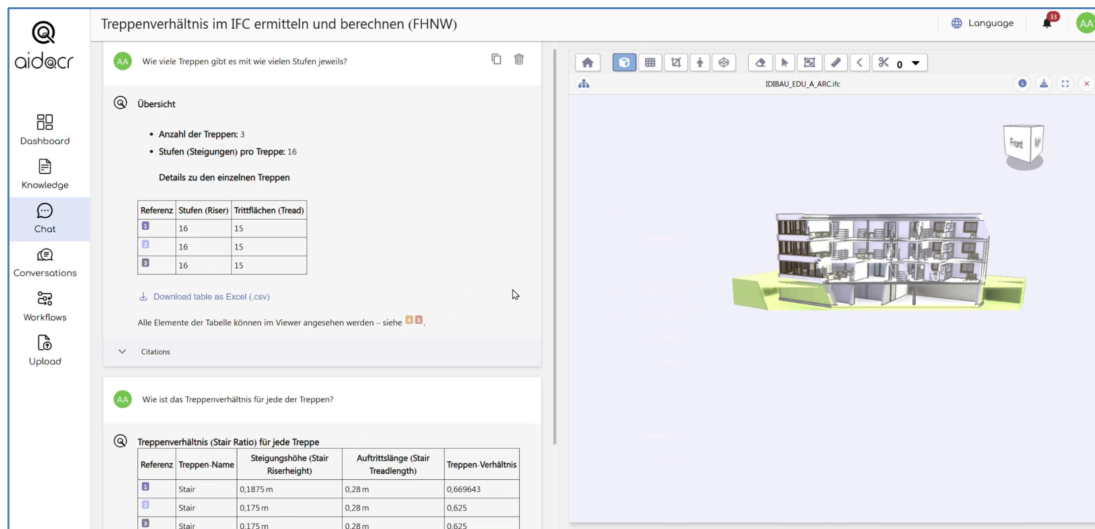


Abbildung 35: AidOCR-Modell-Viewer

Im Austausch mit dem Gründer zeigte sich, dass Qualität und Tiefe der Auswertung stark vom gewählten Prompt abhängen. Allgemein formulierte Fragestellungen wie die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Basisprompts führen entsprechend zu eher allgemeinen Ergebnissen. Deutlich präzisere und belastbarere Resultate lassen sich erzielen, wenn einzelne Aspekte gezielt abgefragt werden, etwa Treppenverhältnisse, die Anzahl der Treppen oder die Ausführung der Geländer. Technisch ist das System in der Lage, diese Informationen aus dem IFC-Modell zu extrahieren und geometrisch zu berechnen, sofern die Abfrage klar strukturiert und fachlich präzise formuliert ist.

Dabei wurde betont, dass der Prompt idealerweise den fachlichen Prüfworkflow einer BFU-Fachperson abbilden sollte, etwa die schrittweise Erfassung der Treppen, die Analyse der Treppenverhältnisse, die Prüfung der Geländer sowie die anschließende Bewertung anhand der relevanten BFU-Empfehlungen. Für die BFU stellt sich damit die Frage, inwieweit solche Abläufe künftig über strukturierte Prompts oder vordefinierte Analyseworkflows direkt in der Software implementiert werden können.

Die gewählte Evaluationsmethodik stellt sicher, dass die Ergebnisse auf real durchgeführten Analysen beruhen, auch wenn diese nicht eigenständig reproduziert wurden. Gleichzeitig wird transparent aufgezeigt, unter welchen Rahmenbedingungen die Beobachtungen entstanden sind und welche Rolle die Entwickler bei der Durchführung der Tests einnahmen. Die gewonnenen Erkenntnisse erlauben eine fundierte Einordnung der Funktionsweise von AidOCR innerhalb der Toolkategorie spezialisierter AECO-Systeme.

Die nachfolgende Tabelle fasst die gewonnenen Erkenntnisse strukturiert zusammen:

Tabelle 7: Zusammenfassung zentraler Erkenntnisse aus den AidOCR-Tests

Kategorie	Testschritt	Beobachtung / Ergebnis	Bewertung 1-5
Setup & Zugang	Registrierung, Upload, Dateiformate	Upload von PDF- und IFC-Dateien möglich; IFC-Modelle können im integrierten Viewer geöffnet werden; der Zugang erfolgt typischerweise über Enterprise-Angebote inklusive Schulung; im Rahmen dieser Arbeit erfolgte der Zugriff ausschließlich über geführte Live-Demonstrationen durch den Gründer.	3
Texterkennung / Symbolerkennung	Legenden, Masslinien, Tabellen, Höhenangaben, Plansymbole	Sehr zuverlässige Erkennung textbasierter Inhalte in PDF-Plänen; BFU-relevante Textstellen werden systematisch identifiziert, strukturiert nummeriert und mit direkten Quellenverweisen im Originaldokument verknüpft; hohe Nachvollziehbarkeit der textlichen Ableitungen.	4
Geometrieanalyse	Elemente, Räume, Flächenabgrenzungen	Durch den integrierten IFC Parser «IfcOpenShell» ist eine geometrische Analyse von IFC-Modellen möglich, jedoch nur bei gezieltem Prompten; Treppen, Stufenanzahl, Abmessungen und Treppenverhältnisse können extrahiert und tabellarisch dargestellt werden; Die Qualität der Ergebnisse hängt stark von der Modellstruktur ab.	5
Exportfähigkeit	PDF-Bericht, JSON, CSV, Annotationen	Strukturierte Textausgaben und tabellarische Ergebnisse sind möglich; Tabellen können exportiert werden; zusätzlich lassen sich relevante Bauteile direkt im integrierten IFC-Viewer visuell markieren und hervorheben.	4
Geschwindigkeit	Rechenzeit & Antwortzeiten	Antwortzeiten während der Demonstrationen stabil; umfangreiche Analysen benötigen längere Rechenzeiten 1-3 min; die Ausgaben bleiben jedoch transparent nachvollziehbar und schrittweise aufgebaut.	4
Skalierbarkeit	API, Erweiterbarkeit, Custom Models	Hohe Skalierbarkeit durch modulare Systemarchitektur; API-Anbindungen und klarer Enterprise-Fokus; komplexe Analyseworkflows können abgebildet werden; sie erfordern jedoch eine fachlich präzise Definition der Prüfschritte.	4

Fazit Horizonterweiterung

Die Horizonterweiterung zeigt deutlich, dass bestehende KI-gestützte Werkzeuge wertvolle Orientierungspunkte für die Konzeption eines zukünftigen BFU-Assistenzsystems liefern. Gleichzeitig wird ersichtlich, dass derzeit kein einzelnes System existiert, das die für die BFU erforderliche Kombination aus textbasierter Regelinterpretation, visueller Plananalyse und modellbasierter Geometrieprüfung vollständig und zuverlässig abdeckt.

LLM-basierte Systeme wie ChatGPT eignen sich insbesondere für dialogorientierte Anwendungsfälle sowie für die Interpretation und Aufbereitung textlicher Empfehlungen und Richtlinien. Sie ermöglichen einen niederschweligen Zugang zu komplexen Regelwerken und unterstützen die strukturierte Beantwortung fachlicher Fragestellungen. Die im Rahmen des Proof of Concept durchgeführten Tests zeigen jedoch klar, dass diese Systeme deutliche Grenzen aufweisen, sobald geometrische Informationen aus Plänen oder IFC-Modellen erforderlich sind. Eine verlässliche plan- oder modellbasierte Sicherheitsprüfung ist mit rein LLM-basierten Ansätzen aktuell nicht möglich. Das getestete Custom-GPT stellt somit ein sinnvolles unterstützendes Assistenzwerkzeug dar, eignet sich jedoch nicht als eigenständiges, normativ belastbares Prüfinstrument. Dieses Defizit ist jedoch nicht grundsätzlich, da sich die Leistungsfähigkeit solcher Systeme mit zukünftigen Erweiterungen, etwa durch die Integration eines IFC-Parsers oder verbesserter Bild- und Geometrieanalyse, vergleichsweise rasch erhöhen könnte.

Datagrid zeigt exemplarisch die Stärken spezialisierter AECO-Plattformen im Bereich der Dokumentenaufbereitung, Textextraktion und agentenbasierten Prozessautomatisierung. Besonders hervorzuheben sind die transparente Darstellung der Analyseprozesse, die strukturierte Aufbereitung grosser Dokumentmengen sowie die automatische Erstellung von Berichten. Gleichzeitig wurde deutlich, dass Datagrid derzeit weder eine geometrische Modellanalyse noch eine inhaltliche IFC-Auswertung ermöglicht. IFC-Dateien werden nicht als geometrische Modelle interpretiert, sondern lediglich als Dateiobjekte oder Metadatenquellen behandelt. Zudem zeigte sich, dass auch bei Datagrid die Qualität der Ergebnisse stark von der Präzision der Abfragen abhängt. Allgemein formulierte Prompts führen zu unvollständigen Resultaten, was den Einsatz als niedrigschwelliger Assistenzdienst einschränkt. Für normative, geometriegestützte Prüfungen ist Datagrid daher aktuell nicht geeignet.

AidOCR hebt sich innerhalb der betrachteten Toollandschaft als technisch am weitesten entwickeltes AECO-spezifisches System der analysierten Tools hervor. Die Kombination aus dokumentenbasierter Analyse, modellgestützter IFC-Auswertung und visueller Rückverfolgbarkeit der Ergebnisse stellt einen klaren Mehrwert gegenüber rein sprachbasierten Systemen dar. Die Fähigkeit, geometrische Informationen wie Treppenzahl, Stufenanzahl oder Treppenverhältnisse direkt aus IFC-Modellen zu extrahieren und mit normativen Anforderungen zu verknüpfen, kommt den Anforderungen der BFU deutlich näher. Gleichzeitig zeigt sich auch hier eine hohe Prompt Abhängigkeit. Präzise Ergebnisse erfordern fachlich strukturierte Abfragen, die den manuellen Prüfworkflow einer BFU-Fachperson widerspiegeln. Eine vollautomatische, normativ abgeschlossene Prüfung ohne fachliche Steuerung ist somit auch mit AidOCR derzeit noch nicht gegeben.

Die Horizonterweiterung macht deutlich, dass eine gezielte Zusammenarbeit mit spezialisierten Anbietern wie AidOCR grundsätzlich ein denkbarer Ansatz ist. So wäre es möglich, BFU-spezifische Prüfworkflows, Regelwerke und Bewertungsschritte direkt in ein bestehendes System zu integrieren und AidOCR als internes Analysewerkzeug zu nutzen. Voraussetzung hierfür wäre jedoch, dass die fachlichen Prüflogiken der BFU strukturiert abgebildet, kontrollierbar betrieben und langfristig unabhängig weiterentwickelt werden können. Eine solche Kooperation könnte Entwicklungsaufwand reduzieren, ersetzt jedoch nicht die Notwendigkeit, die inhaltliche und technologische Hoheit über zentrale Sicherheitsprüfungen bei der BFU zu verankern.

Ein zentraler Aspekt in diesem Zusammenhang ist der Datenschutz. Als öffentliche Institution verarbeitet die BFU potenziell sensible Projektinformationen, interne Prüfgrundlagen sowie nicht öffentliche Plan- und Modelldaten. Der Einsatz externer, cloudbasierter KI-Plattformen wirft daher grundlegende Fragen zur Datenhoheit, zur Speicherung, zur Weiterverwendung von Eingaben sowie zur langfristigen Nachvollziehbarkeit von Analyseprozessen auf. Insbesondere bei international betriebenen Plattformen bestehen eingeschränkte Einflussmöglichkeiten auf Datenflüsse, Modellupdates und Infrastrukturentscheidungen. Für ein zukünftiges BFU-Assistenzsystem ist es daher entscheidend, datenschutzrechtliche Anforderungen von Beginn an systematisch zu berücksichtigen und eine Lösung zu wählen, bei der Kontrolle, Transparenz und Compliance dauerhaft gewährleistet sind.

Über alle getesteten Systeme hinweg wird deutlich, dass die Prompt Abhängigkeit ein zentrales strukturelles Thema darstellt. Insbesondere bei Datagrid und AidOCR hängt die Qualität der Ergebnisse stark davon ab, inwiefern fachliche Prüfschritte explizit in der Abfrage abgebildet sind. Für die BFU ist dies kritisch, da ein zukünftiger Assistenzdienst robuste und nachvollziehbare Ergebnisse auch bei einfachen, nicht spezialisierten Eingaben von Fachplanenden liefern sollte.

Die Horizonterweiterung zeigt klar, dass der Aufbau einer eigenständigen, domänenspezifischen KI-Lösung für die BFU technologisch sinnvoll und strategisch gut begründbar ist. Eine solche Lösung muss die Stärken bestehender Systeme gezielt kombinieren und zugleich Unabhängigkeit von proprietären Plattformen, Datenschutz, Nachvollziehbarkeit sowie langfristige Skalierbarkeit gewährleisten.

Welche der zahlreichen AECO-spezifischen KI-Lösungen sich langfristig am Markt durchsetzen werden, ist derzeit offen. Ebenso bleibt ungewiss, inwiefern grosse Technologieunternehmen künftig eigene AECO-Integrationen entwickeln oder bestehende spezialisierte Anbieter akquirieren werden. Diese Unsicherheit unterstreicht die Bedeutung einer technologisch offenen, modularen und schrittweise erweiterbaren Architektur als Grundlage für einen BFU-eigenen digitalen Assistenzsystem.

6.4 BFU Checker entwickeln

Ziel des im Rahmen dieses Proof of Concept entwickelten BFU-Checkers ist die automatisierte Prüfung ausgewählter BFU-Empfehlungen anhand digitaler Pläne und Bauwerksmodelle. Das Tool dient dabei als unterstützendes Assistenzsystem zur Ergänzung der fachlichen Beurteilung durch menschliche Fachpersonen und ist ausdrücklich nicht als vollständiger Ersatz dieser Kontrollen konzipiert. Der BFU-Checker wurde bewusst als Proof of Concept umgesetzt, um aufzuzeigen, welche technischen Möglichkeiten bereits heute mit vergleichsweise geringem Aufwand und unter Nutzung frei verfügbarer Ressourcen wie Open-Source-Bibliotheken, GitHub, Stack Overflow und KI-gestützter Entwicklung realisierbar sind, um manuelle Prüfprozesse zu verkürzen. Gleichzeitig werden die methodischen und technischen Grenzen der Automatisierung transparent gemacht, insbesondere dort, wo sicherheitstechnische Bewertungen eine kontextuelle oder interpretative Einschätzung erfordern. Der Fokus liegt somit auf der strukturierten Kontrolle ausgewählter BFU-Empfehlungen.

In Abbildung 36 ist das Grobkonzept der Systemarchitektur des BFU-Checkers zu sehen. Die Darstellung zeigt schematisch, aus welchen Hauptkomponenten das System besteht.

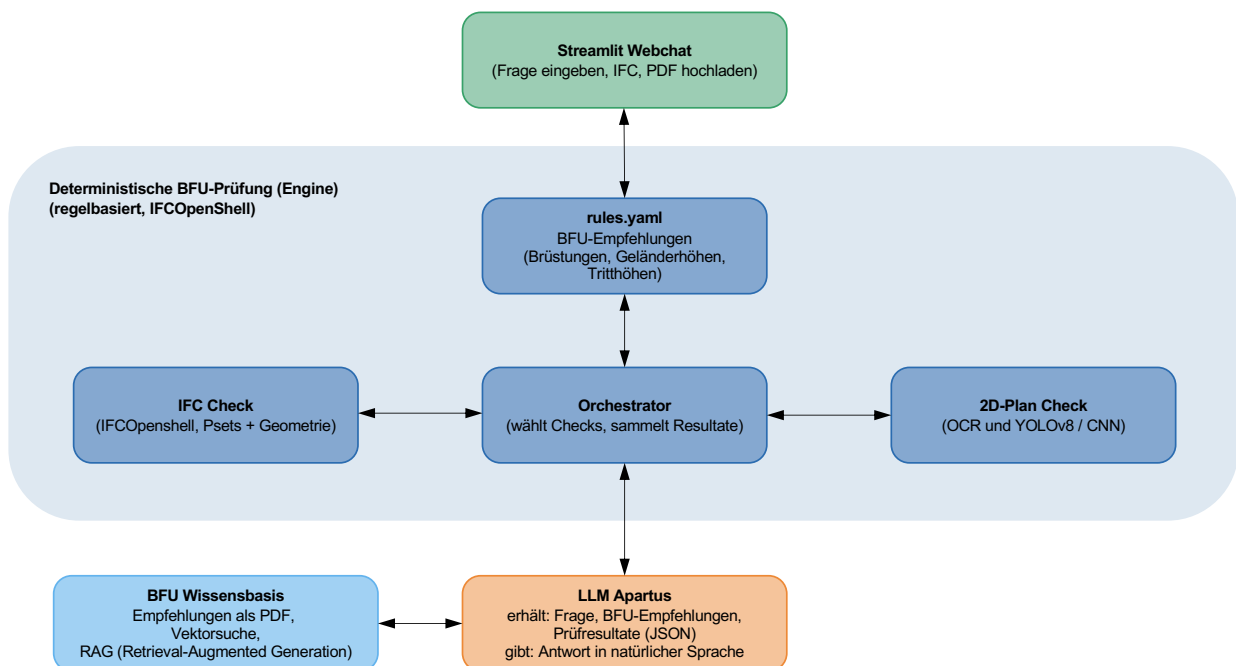


Abbildung 36: Grobkonzept der Systemarchitektur des BFU-Checkers

Der BFU-Checker arbeitet mit zwei zentralen Datengrundlagen. Einerseits werden zweidimensionale Planunterlagen verwendet, andererseits dreidimensionale digitale Bauwerksmodelle. Die Pläne werden überwiegend als PDF bereitgestellt und 3D-Modelle liegen im IFC-Format vor (siehe Abbildung 37).

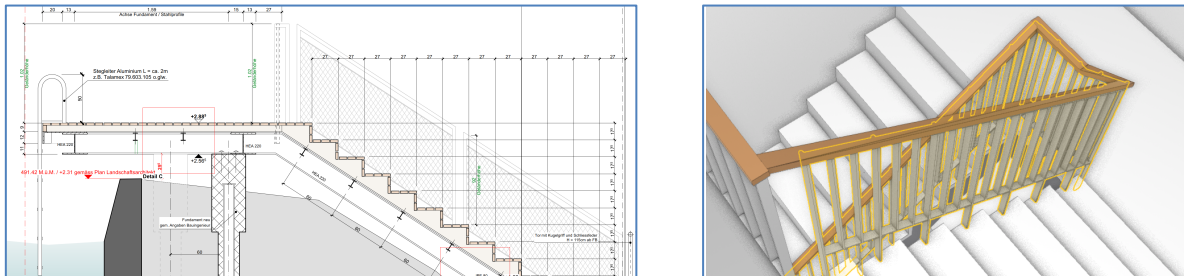


Abbildung 37: Beispielhafte Eingabedaten (links: Ausschnitt PDF-Plan; rechts: Ausschnitt IFC-Modell)

PDF-Pläne enthalten primär grafische Informationen wie Grundrisse, Schnitte, Detailzeichnungen, Bemassungen sowie ergänzende Textangaben. IFC-Modelle hingegen bilden das Bauwerk strukturiert ab und enthalten geometrische sowie optional semantische Informationen. Für beide Datentypen werden unterschiedliche, spezialisierte Auswertungsmethoden eingesetzt, die im weiteren Verlauf dieses Kapitels näher erläutert werden.

Ein Anliegen des Tools ist es, normative Anforderungen aus den BFU-Empfehlungen in ein maschinenlesbares Regelwerk zu überführen. Es sollen die relevanten Kriterien aus den PDF der BFU-Empfehlungen abgeleitet und strukturiert werden.

Ein Augenmerk wurde auch auf die Zugänglichkeit und Benutzerfreundlichkeit der Anwendung gelegt. Die praktische Anwendbarkeit des BFU-Checkers hängt von einer einfach zu bedienenden Benutzeroberfläche ab, die mit dem Python Framework Streamlit umgesetzt wurde. Wie in Abbildung 38 ersichtlich stellt das Framework die Chat-Umgebung unmittelbar im Browser bereit. Es erlaubt, die Prüfabläufe aus Sicht der Anwenderinnen und Anwender ohne zusätzliche Installation und ohne lokale Entwicklungsumgebung auszuführen (Streamlit, 2025).

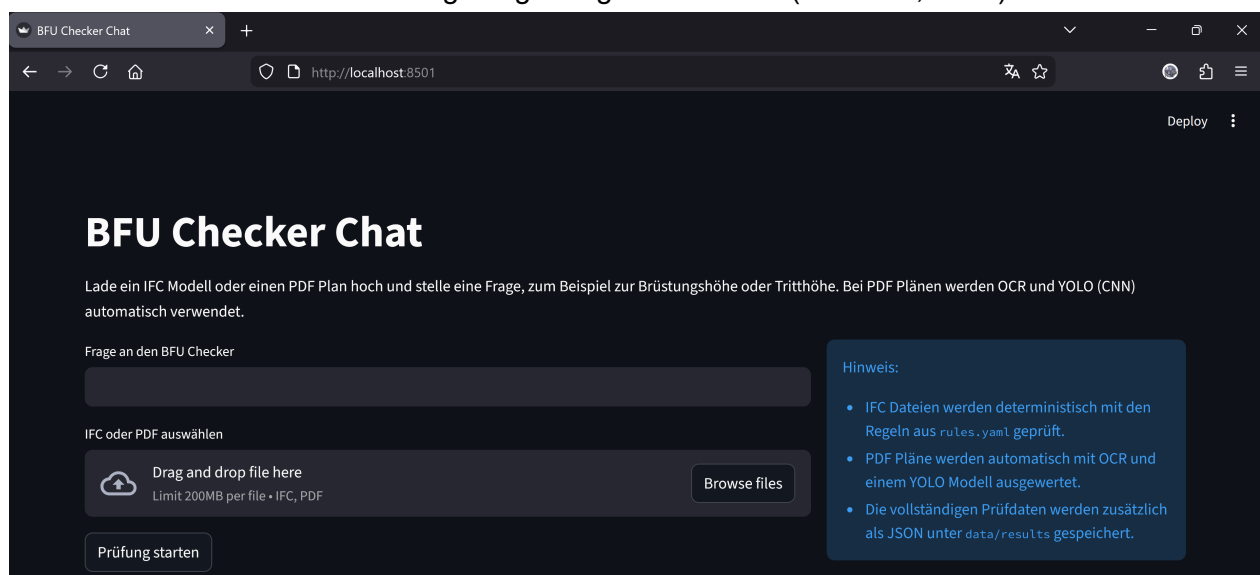


Abbildung 38: Weboberfläche des BFU Checkers mit Eingabefeld, Upload, Hinweise und «Prüfung starten» Button

So können Nutzerinnen und Nutzer PDF Pläne oder IFC-Modelle direkt per «Drag-and-drop» oder über «Browse files» hochladen. Danach wird die Prüfroutine gestartet. Nach Abschluss der Analyse werden die Resultate in strukturierter Form über die Weboberfläche wiedergegeben. Als Teil dieser Oberfläche ist das Eingabefeld für Fragen an den BFU-Checker zuständig. Diese Fragestellungen werden mithilfe einer natürlichsprachlichen Interaktion über das Apertus LLM bearbeitet. Dieses analysiert die Anfrage, erkennt relevante Begriffe und verknüpft sie mit den passenden Prüfergebnissen und Modulen. Eine Frage wie «*Stimmen die Höhen der Treppenstufen?*» führt beispielsweise dazu, dass die Resultate der Treppenprüfung gefiltert und jene Bauteile ausgewählt werden, welche die Grenzwerte nicht einhalten (siehe Abbildung 39).

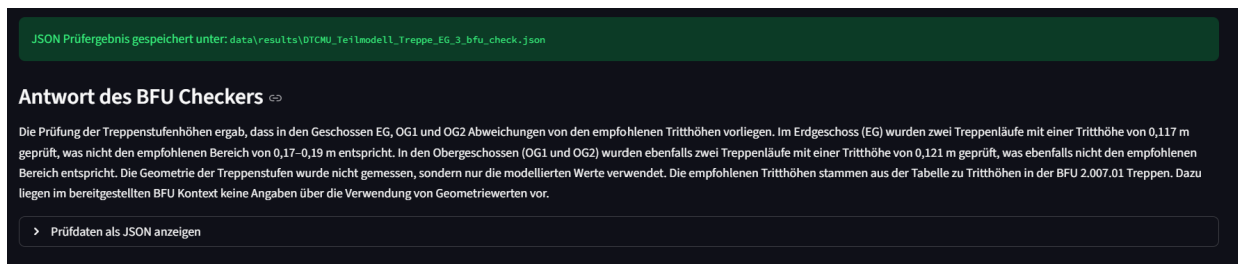


Abbildung 39: Apertus-Antwort auf Basis der Prüfergebnisse

Zusätzlich wird eine JSON-Datei generiert, die detailliert dokumentiert, aus welchen Elementen und Attributen des IFC-Modells die jeweiligen Resultate abgeleitet wurden (siehe Abbildung 40).

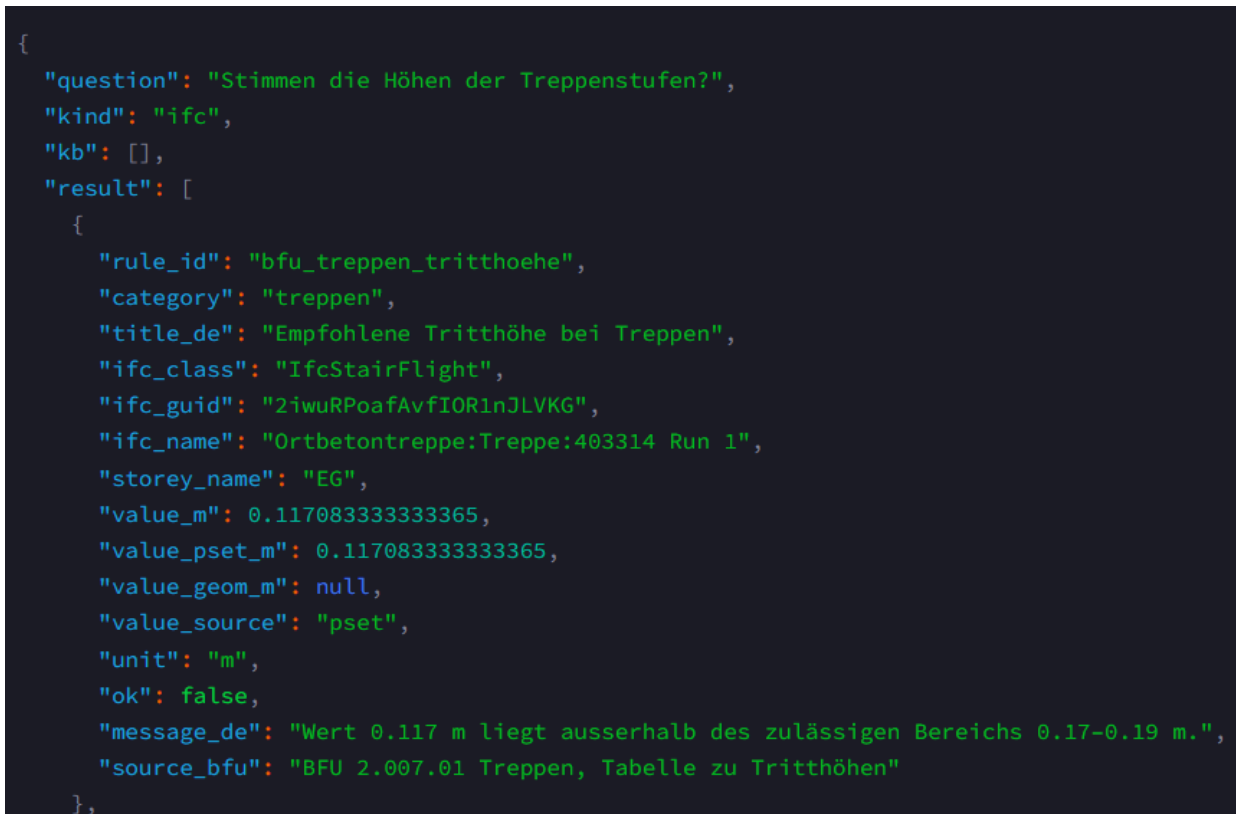


Abbildung 40: Ausschnitt aus dem generierten JSON-File mit den rohen Ergebnissen vor der KI Text Generierung

Apertus übernimmt dabei eine erklärende und vermittelnde Rolle zwischen Fachpersonen und technischer Infrastruktur ein. Das Modell hilft, komplexe Prüfergebnisse zu erklären und in eine verständliche Sprache zu übersetzen, ohne Messwerte oder Regeln zu verändern. Das LLM greift nicht in die eigentlichen Berechnungen ein, unterstützt jedoch das Verständnis der Prüflöge und der Resultate.

Apertus ist ein in der Schweiz entwickeltes, vollständig offenes und mehrsprachiges Sprachmodell. Es wird von EPFL, ETH Zürich und dem Swiss National Supercomputing Centre CSCS im Rahmen der Swiss AI Initiative aufgebaut. Der Ansatz legt besonderen Wert auf Transparenz, Reproduzierbarkeit und Datensouveränität und eignet sich damit speziell für Szenarien, in denen sensible Planungsdaten verarbeitet werden und die Kontrolle über Infrastruktur und Datenflüsse wichtig ist (ETH Zürich et al., 2025). Dies passt gut zu den Zielen des BFU-Checkers, der ein nachvollziehbares und erweiterbares Prüfsystem bereitstellt.

Methodischer Ansatz und wissenschaftliche Grundlagen

Die digitale Bauwerksprüfung im BFU-Checker vereint Methoden aus BIM, der rechnergestützten Geometrieverarbeitung und der künstlichen Intelligenz. Ausgangspunkt aller methodischen Überlegungen ist die Tatsache, dass Projektdaten in der Praxis unterschiedliche Strukturen, Qualitäten und Formate aufweisen. Häufig entsteht eine hybride Datenumgebung, in der das digitale Bauwerksmodell im IFC-Format und die Planunterlagen im PDF nicht vollständig synchron sind. Modell und Plan beschreiben zwar dasselbe Bauwerk, bilden jedoch unterschiedliche Detailgrade ab oder widersprechen sich teilweise.

Um unterschiedliche planerische Darstellungsformen abzudecken, verfolgt der BFU-Checker einen integrierten Ansatz. Zweidimensionale PDF-Pläne werden durch OCR und CNN ausgewertet, während dreidimensionale IFC-Modelle deterministisch anhand der BFU-Regeln geprüft werden. Dadurch können modellierte Werte, geometrische Eigenschaften und planbasierte Detailangaben parallel berücksichtigt und gemeinsam interpretiert werden. Eine direkte Konsistenzprüfung zwischen PDF-Plänen und IFC-Modell ist im aktuellen Proof of Concept noch nicht umgesetzt, die gewählte Systemarchitektur schafft jedoch die strukturellen Voraussetzungen für eine spätere Erweiterung. Auf dieser Basis können sicherheitsrelevante Anforderungen aus den BFU-Empfehlungen sowohl im Plan als auch im Modell geprüft und im Rahmen einer übergeordneten Datenfusion zusammengeführt werden.

Da PDF-Pläne in vielen Projekten weiterhin eine zentrale Rolle spielen und als referenzierte Grundlage dienen, ist deren Prüfung essenzieller Bestandteil des BFU-Checkers. Denn sie enthalten Grundrisse, Schnitte und Detailzeichnungen mit Darstellungen von Treppen, Geländern und weiteren Bauteilen sowie Bemassungen und textlichen Hinweisen. Für den Computer stellen diese Pläne zunächst lediglich Pixel oder Vektorinformationen dar. Relevante Inhalte müssen daher in einen maschinenlesbaren und kontextbezogenen Datenbestand überführt werden, bevor eine regelbasierte Prüfung möglich wird.

Für die Planauswertung kommen optische Zeichenerkennung und PDF-Analyse zum Einsatz. Vektorbasierte Texte werden direkt aus dem PDF ausgelesen. Wo dies nicht möglich ist, werden die Seiten in Pixelbilder umgewandelt und mit Tesseract zeilenweise ausgewertet. So lassen sich Beschriftungen und Bemassungen erfassen, die für die BFU-Prüfung relevant sind. In technischen Plänen stösst OCR jedoch rasch an seine Grenzen. Überlagerte Masslinien, dichte Schraffuren, komplexe Symbole und kleine Schriftgrößen können dazu führen, dass einzelne Zeichen falsch oder gar nicht erkannt und ganze Textfragmente falsch interpretiert werden. In der Fachliteratur wurden bereits früh typische Herausforderungen bei der OCR-Verarbeitung realer Scans beschrieben, etwa Schräglage und gekrümmte Grundlinien, schwierige Wortabstände sowie gebrochene Zeichen (Smith, 2007).

Für die visuelle Analyse wird ein Objekterkennungsmodell der YOLOv8 Reihe eingesetzt. Das Modell identifiziert trainierte Klassen in technischen Zeichnungen, etwa Treppenläufe, Geländer Elemente oder Richtungspfeile. Diese Detektionen ergänzen die OCR-Auswertung, liefern zusätzliche visuelle Hinweise und werden gemeinsam mit OCR- und IFC-Daten interpretiert, ersetzen jedoch keine regelbasierte Prüfung.

Studien wie Elyan et al. (Elyan et al., 2020, pp. 95–97) bestätigen die Eignung von CNN-Modellen anhand einer CNN-basierten Objekterkennung (YOLO) für die Symbolerkennung in technischen Zeichnungen. Solche Modelle können grundsätzlich eine hohe Genauigkeit erreichen, wobei die Erkennungsleistung insbesondere bei Klassen mit zu wenigen Trainingsbeispielen abnimmt und das Verfahren vollständig annotierte Trainingsdaten voraussetzt (Elyan et al., 2020, pp. 95–97). Für den BFU-Checker wurde YOLOv8 gewählt, weil es eine gute Balance zwischen Erkennungsleistung und Integrationsaufwand bietet. Neuere Modelle lassen sich prinzipiell einbinden, erfordern aber zusätzliche Trainingsdaten und Evaluation, bevor sie verlässlich eingesetzt werden können.

Neben den Plänen wird auch das IFC-Format immer weiterverbreitet und eingesetzt. Es wird hier verwendet, um die modellbasierte Analyse durchzuführen. Denn als herstellernerutraler Standard beschreibt es bauliche Elemente als Objekte mit geometrischen Informationen und optionalen semantischen Eigenschaften. Ein Geländer kann zum Beispiel als «IfcRailing» und ein Treppenlauf als «IfcStairFlight» modelliert werden. Und mit Angaben zu Steigungen, Tritten oder Materialien ergänzt werden. So entsteht eine strukturierte Abbildung des Bauwerks, die sich grundsätzlich für automatisierte Auswertungen eignet.

Der Zugriff auf die Modellinformationen erfolgt über die Open-Source-Bibliothek «IfcOpenShell», einen IFC-Parser mit integrierter Geometrie-Engine, der Funktionen zum Einlesen, Durchsuchen und zur geometrischen Interpretation von IFC-Modellen bereitstellt (Krijnen et al., 2025). Über das Modul «ifcopenshell.geom» wird aus jedem relevanten Element, etwa «IfcRailing» oder «IfcStairFlight», ein trianguliertes 3D Modell erzeugt, dessen Eckpunkte als kartesische Koordinaten vorliegen. Auf dieser Grundlage können einfache metrische Größen wie die vertikale Ausdehnung eines Geländers oder die mittlere Tritthöhe eines Treppenlaufs rekonstruiert werden.

Diese Werte entstehen durch Messoperationen auf dem Mesh. Zum Beispiel werden sie über die Differenz zwischen maximaler und minimaler z-Koordinate oder über die Division der Gesamthöhe durch die Anzahl der modellierten Steigungen berechnet.

Die Verfahren ermöglichen eine robuste, modellierungsunabhängige Abschätzung zentraler sicherheitsrelevanter Grössen. Sie ersetzen jedoch keine vollständige geometrische Topologie Analyse. Der aktuelle Prototyp rekonstruiert weder einzelne Stufenprofile noch erkennt er einzelne Geländer Stäbe, weshalb komplexe Anforderungen wie Öffnungsweiten der Staketen oder die exakte Identifikation von Podesten nicht zuverlässig ableitbar sind. Die Analyse ist daher auf global messbare Grössen beschränkt, die sich aus der Bounding Box Geometrie oder aus einfachen relationalen Kennwerten ergeben.

In der praktischen Anwendung zeigt sich eine grosse Spannweite in der Qualität von IFC-Modellen. Einige Modelle enthalten detaillierte Geometrien und sorgfältig gepflegte Attribute, andere weisen lückenhafte, uneinheitliche oder vollständig fehlende Semantik auf. Die Arbeit von Li et al. (Li et al., 2025, pp. 4–10) zeigt, dass man räumliche Beziehungen zwischen IFC-Objekten berechnen kann, wenn man zuerst die 3D-Geometrie aus dem Modell sauber extrahiert. Danach lassen sich Beziehungen wie «getrennt», «berührt», «überlappt» oder «liegt innerhalb» mit Geometrie- und Schnitt-Tests bestimmen. Gleichzeitig weisen sie darauf hin, dass das Ableiten solcher Beziehungen bei komplexer Geometrie ohne saubere Aufbereitung fehleranfällig sein kann. (Li et al., 2025, pp. 4–10)

Diese Erkenntnis stützt den Ansatz des BFU-Checkers, die Geometrie als weitere Informationsquelle zu verwenden und semantische Angaben ergänzend heranzuziehen. Selbst wenn ein Bauteil semantisch falsch klassifiziert ist, etwa wenn ein Geländer als Wand oder Möbel erfasst wird, bleibt seine geometrische Ausprägung mit Form und Lage im Raum erhalten und kann interpretiert werden. Die geometrische Information dient daher als zusätzliche Grundlage der Validierung berücksichtigt. Die IFC-Entity-Typen wie «IfcRailing» oder «IfcStairFlight» werden dabei verwendet, um relevante Bauteile einzugrenzen.

Die im BFU-Checker eingesetzten Verfahren der Computational Geometry nutzen die mit «IfcOpenShell» erzeugten triangulierten Meshes des Modells. Aus diesen Flächen werden einfache geometrische Grössen wie Geländerhöhen, Absturzhöhen und grundlegende Masse von Treppenläufen rekonstruiert, soweit die Modellierung dies zulässt und anschliessend mit den Anforderungen der BFU-Empfehlungen verglichen. Semantische Attribute wie «IsExternal» oder «LoadBearing» können zusätzlich ausgewertet werden. Sie können jedoch potenziell unzuverlässig sein, da sie häufig vergessen, falsch gesetzt oder uneinheitlich modelliert werden. Die Ableitung geprüfter Eigenschaften aus der Geometrie bietet in diesem Umfeld eine Robustheit gegenüber solchen menschlichen Fehlern.

Allerdings ist die geometrische Rekonstruktion in IFC-Modellen häufig eingeschränkt oder sogar fehlerhaft, dies weil sie häufig vereinfachte Geometrien enthalten. So werden Geländer und Treppenläufe oft nur als vereinfachte Volumenkörper ohne einzelne Staketen, Tritte oder Podestkanten modelliert sind. Zudem liefert «ifcopenshell.geom» je nach Exportqualität unvollständige oder grob triangulierte Meshes, sodass feine Details wie Öffnungsweiten oder exakte Stufenprofile nicht zuverlässig bestimmt werden können.

Neben der geometrischen und bildbasierten Analyse spielt die regelbasierte Bewertung eine zentrale Rolle. Automatisierte Prüfungen benötigen ein maschinenlesbares Regelwerk, das definiert, wie die aus Modell und Plan abgeleiteten Merkmale zu beurteilen sind. Die Publikation «BIM-Reason» von Zech et al. (Zech et al., 2024, pp. 59–62) schlägt vor, dass eine klare Trennung zwischen dem Checking Framework und den regelbasierten Spezifikationen mit dem Ziel, die Transparenz, Wartbarkeit und Erweiterbarkeit von Prüfsystemen zu verbessern. Durch die strukturierte Ablage von Regeln, Ontologien und SPARQL Abfragen in einer einheitlichen Spezifikationsschicht können Prüfregele unabhängig vom Quellcode entwickelt, verwaltet und reproduzierbar ausgeführt werden (Zech et al., 2024, pp. 59–62). Dieser Ansatz wird im BFU-Checker übernommen. Sämtliche relevanten Prüfkriterien werden strukturiert in der Datei «rules.yaml» abgelegt, welche Grenzwerte, logische Bedingungen und erläuternde Beschreibungen enthält. Dadurch ist nachvollziehbar dokumentiert, auf welcher Grundlage die Bewertung erfolgt und die Regeln können bei Änderungen der BFU-Empfehlungen einfach aktualisiert oder erweitert werden.

Systemarchitektur des BFU-Checkers

Die einzelnen Python Module (siehe Abbildung 41) übernehmen klar definierte Rollen, greifen aber über einfache Schnittstellen ineinander.

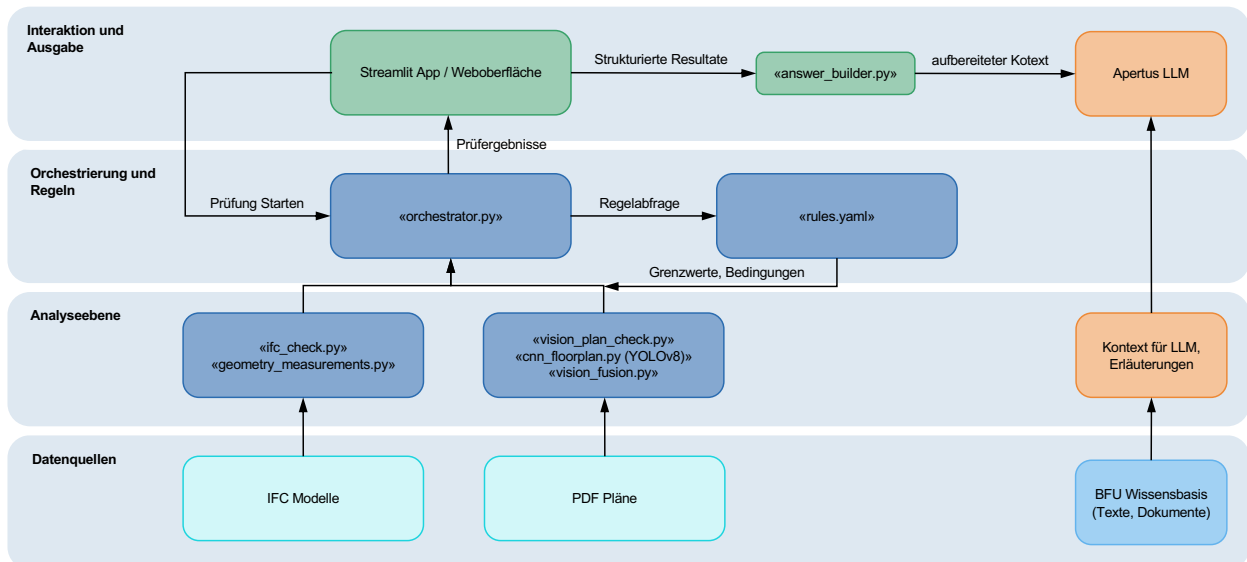


Abbildung 41: Systemarchitektur des BFU-Checkers mit zentralen Python Modulen und Datenflüssen

Im Zentrum steht das Python-File «orchestrator.py». Wie in Abbildung 42 ersichtlich steuert dieses Modul den gesamten Ablauf. Anhand der Dateierweiterung entscheidet das Modul, ob ein PDF-Plan oder eine IFC-Datei vorliegt. Für PDF-Pläne wird zunächst die planbasierte Analyse in «vision_plan_check.py» aufgerufen, während bei IFC-Dateien die modellbasierte Prüfung über «ifc_check.py» erfolgt. Parallel importiert «orchestrator.py» über «nl_router.py» mit «retrieve_bfu_passages» passende Textstellen aus den BFU PDFs und übergibt am Schluss alle strukturierten Ergebnisse an «answer_builder.py» mit «build_answer», dass die Sprachantwort mit dem LLM erzeugt. Optional kann «orchestrator.py» zusätzlich «ifc_ai_mapping.py» aufrufen, um IFC-Elemente durch das LLM in Kategorien wie Treppe oder Geländer einordnen zu lassen.

```

1     import json
2     from pathlib import Path
3     from typing import Dict, Any
4
5     from vision_plan_check import analyze_pdf_or_image
6     from ifc_check import check_ifc_file
7     from nl_router import retrieve_bfu_passages
8     from answer_builder import build_answer
9
10    try:
11        from ifc_ai_mapping import classify_ifc_elements

```

Abbildung 42: Codeausschnitt aus «orchestrator.py» zum Abruf der Module für die Prüfung

Die modellbasierte Analyse für IFC-Modelle ist in «ifc_check.py» und «geometry_measurements.py» umgesetzt. Danach lädt «ifc_check.py» mit «IfcOpenShell» das IFC-Modell, bestimmt die verwendete Längeneinheit und skaliert alle Messwerte konsistent auf Meter. Anschliessend liest das Modul «rules.yaml» (siehe Abbildung 43) ein und gruppiert die Regeln nach IFC-Klassen.

```

#-----
# Treppen - Tritthöhe
#-----
- id: bfu_treppen_tritthoehe
  category: treppen
  title_de: Empfohlene Tritthöhe bei Treppen
  description_de: Prüft, ob die Tritthöhe einer Treppe
                 im empfohlenen Bereich von 17 bis 19 Zentimetern liegt.
  target:
    ifc_class: IfcStairFlight
    psets: ["Pset_StairFlightCommon"]
    property: "RiserHeight"
    attributes: ["RiserHeight"]
  check:
    type: range
    min: 0.17 # 17 cm
    max: 0.19 # 19 cm
    unit: "m"
    severity: hinweis
    source_bfu: "BFU 2.007.01 Treppen, Tabelle zu Tritthöhen"

```

Treppen zur Gebäudeerschliessung			
Wenn die Normen keine Angaben machen, kommen die Empfehlungen der BFU zum Tragen.			
Empfehlungen der BFU für den privaten Innen- und Aussenbereich	Norm SIA 500 SN 521 500* «Hindernisfreie Bauten»	Planungsrichtlinien «Altersgerechte Wohnbauten» *	
Stufen			
Steigungsverhältnis a/s	a: 26-29 cm s: 17-19 cm	a: ≥ 28 cm s: ≤ 17,5 cm	a: ≥ 28 cm s: ≤ 17,5 cm

Abbildung 43: Links: Ausschnitt aus dem File «rules.yaml» zu den Tritthöhen. Rechts: Ausschnitt aus der Tabelle 2: Stufen aus der BFU-Empfehlung. Quelle PDF: (Jeannotat, 2020)

Für jede Regel und jedes relevante Element fragt «ifc_check.py» entweder Property Sets (siehe Abbildung 44), direkte Attribute oder geometrische Kennwerte ab.

```

def __get_pset_value(model, obj, psets: List[str], prop: Optional[str]) -> Optional[float]:
    """
    Holt einen numerischen Wert aus den angegebenen PropertySets.
    Hier wird angenommen, dass die Werte in Meter modelliert sind.
    """
    if not psets or not prop:
        return None
    try:
        from ifcopenshell.util import element as ifc_elem
    except ImportError:
        ifc_elem = None

    if ifc_elem is None:
        return None

    for pset_name in psets:
        try:
            pset = ifc_elem.get_pset(obj, pset_name)
        except Exception:
            continue
        if not pset:
            continue
        if prop in pset:
            try:
                return float(pset[prop])
            except Exception:
                return None
    return None

```

Abbildung 44: Codeausschnitt, um numerische Werte aus den PropertySets des IFCs zu laden

Numerische Prüfungen wie Mindesthöhe, Maximalwert oder Wertebereich werden deterministisch ausgewertet und das Resultat als Liste von «Findings» mit Regel ID, Einheit, Quelle des Wertes und erläuternder Nachricht abgelegt. Dafür stellt «geometry_measurements.py» Funktionen zur Verfügung, die aus der modellierten Geometrie metrische Grössen ableiten, etwa einfache Geländerhöhen oder Kenngrössen von Treppenläufen.

In Abbildung 45 ist ein Ausschnitt aus dem Code «geometry_measurements.py» zusehen, wie dies für die Ableitung von Geländer- oder Brüstungshöhen gemacht wurde.

```
def measure_railing_height(model, railing) -> Optional[float]:
    """
    Schätzt die Geländer- oder Brüstungshöhe aus der Geometrie als
    vertikale Ausdehnung (max_z - min_z) in Meter.
    """
    z_ext = _get_bbox_z_extents(model, railing)
    if z_ext is None:
        return None
    min_z, max_z = z_ext
    h = max_z - min_z
    if h <= 0:
        return None
    return float(h)
```

Abbildung 45: Ausschnitt aus «geometry_measurements.py» zur Bestimmung von Geländer- oder Brüstungshöhen.

Die Berechnungen stützen sich auf Bounding Boxen und einfache räumliche Beziehungen und sind bewusst robust gegenüber unterschiedlichen Modellierungsstilen, bleiben aber auf global messbare Größen beschränkt.

Die planbasierte Analyse ist in «vision_plan_check.py», «cnn_floorplan.py» und «vision_fusion.py» gekapselt. Dabei nimmt «vision_plan_check.py» jede PDF- oder Bilddatei entgegen und wendet einen zweistufigen Ansatz an. Zuerst werden mit «pdfplumber» vektorbasierte Texte direkt aus dem PDF ausgelesen. Schlüsselwörter wie Brüstung, Geländer oder Treppe werden gesucht und in der Nähe liegende Zahlen mit Einheiten (zum Beispiel 1.10 m oder 120 cm) räumlich zugeordnet (siehe Abbildung 46).

```
try:
    with pdfplumber.open(str(path)) as pdf:
        for page_idx, page in enumerate(pdf.pages):
            words = page.extract_words() or []
            if not words:
                continue

            # numerische Wörter sammeln
            numeric_words = []
            for w in words:
                txt = w.get("text", "") or ""
                m = DIM_PAT.search(txt)
                if not m:
                    continue
                x0 = float(w.get("x0", 0.0))
                top = float(w.get("top", 0.0))
                x1 = float(w.get("x1", x0))
                bottom = float(w.get("bottom", top))
                center = ((x0 + x1) / 2.0, (top + bottom) / 2.0)
                numeric_words.append(
                    {
                        "value": m.group(1).replace(",", "."),
                        "unit": (m.group(2) or "").lower(),
                        "text": txt,
                        "bbox": (x0, top, x1, bottom),
                        "center": center,
                    }
                )
```

Abbildung 46: Code Teil aus «vision_plan_check.py» um mit «pdfplumber» Schlüsselwörter zu sammeln.

Falls diese vektorbasierte Auswertung nicht genügt oder keine Texte liefert, wird dieselbe Seite in ein Pixelbild umgewandelt, mit einem «Preprocessing» für bessere Lesbarkeit aufbereitet und mit Tesseract (pytesseract) über «image_to_data» zeilenweise ausgewertet (siehe Abbildung 47).

```
def _extract_text_regions(img: Image.Image) -> List[Dict[str, Any]]:

    def _run_ocr(one_img: Image.Image):
        return pytesseract.image_to_data(
            one_img,
            output_type=pytesseract.Output.DICT,
            lang="deu+eng",
            config="--psm 6",
        )
```

Abbildung 47: Code Teil, bei welchem Tesseract aufgerufen wird, um von einem Bild Daten zu erhalten

Auch hier werden Schlüsselwörter und zugehörige Zahlen erkannt und extrahiert. Optional ruft «vision_plan_check.py» zusätzlich «cnn_floorplan.py» auf und importiert «run_yolo_inference», um mit YOLOv8 typische Elemente wie Treppen oder Geländer Symbole zu detektieren (siehe Abbildung 48).

```
def run_yolo_inference(
    image_path: str,
    weights_path: str = "models/yolo_fp.pt",
    conf: float = 0.25,
    iou: float = 0.5,
    class_names: List[str] = DEFAULT_CLASSES,
) -> Dict[str, Any]:
    model = load_model(weights_path)
    if model is None:
        return {"path": image_path, "detections": [], "warning": "YOLO-Modell konnte nicht geladen werden."}

    res = model.predict(source=image_path, conf=conf, iou=iou, verbose=False)
    detections = []
    if not res:
        return {"path": image_path, "detections": detections}

    r0 = res[0]
    im_h, im_w = r0.orig_img.shape[:2]
```

Abbildung 48: Teilabschnitt zu «run_yolo_inference» aus dem File «cnn_floorplan.py»

Danach werden die Resultate an «vision_fusion.py» übergeben, wo sie durch «fuse_cnn_ocr» mit OCR-Treffern verknüpft werden sollen, um einfache Zusammenhänge zwischen erkannten Elementen und nahe gelegenen Text oder Bemassungseinträgen herzustellen. In Abbildung 49 ist diese Codestelle zusehen.

```
def fuse_cnn_ocr(cnn_dets: Dict[str, Any], ocr_result: Dict[str, Any]) -> Dict[str, Any]:
    rules = load_rules()
    pairing_px = int(rules.get("tolerances", {}).get("ocr_pairing_px", 120))
```

Abbildung 49: Ausschnitt aus dem Code von «vision_fusion.py» wo mit «fuse_cnn_ocr» die Resultate der Text Erkennung mit den erkannten Elementen verknüpft.

Die Wissensbasis aus den BFU-Empfehlungen wird durch «ingest_bfu_pdfs.py» und «nl_router.py» aufgebaut und genutzt. Alle BFU PDFs werden mit «ingest_bfu_pdfs.py» aus dem Ordner «data/bfu_pdfs» gelesen, danach extrahiert «pdfplumber» die Volltexte, zerlegt sie in sinnvolle Textabschnitte und erzeugt mit einem «SentenceTransformer» Modell Vektor-Embeddings. Diese werden zusammen mit Metadaten wie Dateiname in einer Chroma Datenbank unter data/vectors gespeichert. Nachfolgenden zeigt Abbildung 50 den gesamten Code von «ingest_bfu_pdfs.py».

```
import re
from pathlib import Path
import pdfplumber
from sentence_transformers import SentenceTransformer
import chromadb

# Relativer Pfad - NUR dieses Verzeichnis wird eingelesen
BFU_DIR = Path("data") / "bfu_pdfs"
VEC_DIR = Path("data") / "vectors"
VEC_DIR.mkdir(parents=True, exist_ok=True)

def clean_text(t: str) -> str:
    return re.sub(r"\s+", " ", t).strip()

def chunk_text(txt: str, max_chars=900):
    parts, buf, total = [], [], 0
    for sent in re.split(r"(?<=[.!?])\s+", txt):
        if total + len(sent) > max_chars and buf:
            parts.append(" ".join(buf).strip())
            buf, total = [sent], len(sent)
        else:
            buf.append(sent)
            total += len(sent)
    if buf:
        parts.append(" ".join(buf).strip())
    return [p for p in parts if len(p) > 30]

def extract_pdf_text(pdf_path: Path) -> str:
    pages = []
    with pdfplumber.open(pdf_path) as pdf:
        for p in pdf.pages:
            pages.append(p.extract_text() or "")
    return clean_text("\n".join(pages))

def main():
    if not BFU_DIR.exists():
        raise SystemExit("Ordner data/bfu_pdfs existiert nicht.")

    # PDFs einlesen
    docs = []
    for f in sorted(BFU_DIR.glob("*.pdf")):
        txt = extract_pdf_text(f)
        for i, chunk in enumerate(chunk_text(txt)):
            docs.append({
                "id": f"{f.name}-{i}",
                "text": chunk,
                "source": f.name
            })

    print(f"Ingestion abgeschlossen. {len(docs)} Textabschnitte verarbeitet.")

    client = chromadb.PersistentClient(path=str(VEC_DIR))
    coll = client.get_or_create_collection("bfu_kb")

    model = SentenceTransformer("sentence-transformers/all-MiniLM-L6-v2")

    ids = [d["id"] for d in docs]
    texts = [d["text"] for d in docs]
    metas = [{"source": d["source"]} for d in docs]
    embeds = model.encode(texts, show_progress_bar=True).tolist()

    # Vorherige Einträge löschen
    try:
        coll.delete(ids=ids)
    except Exception:
        pass

    coll.add(
        ids=ids,
        documents=texts,
        embeddings=embeds,
        metadatas=metas
    )

    print("Vektorspeicher erstellt unter data/vectors.")

if __name__ == "__main__":
    main()
```

Abbildung 50: Kompletter Code des Python-Files «ingest_bfu_pdfs.py»

Dabei lädt «nl_router.py» (siehe Abbildung 51) bei einer Anfrage den Vektorspeicher, codiert die Frage mit demselben Embedding-Modell und holt die ähnlichsten Textpassagen aus den BFU-Empfehlungen. Zusätzlich enthält «nl_router.py» eine einfache Zielerkennung, die aus der Frage heuristisch ableitet, ob eher Treppen, Brüstungen, IFC oder Plananalyse gemeint sind und welche Teilprüfung im Vordergrund steht.

```
from typing import Dict, Any, List
from pathlib import Path
import chromadb
from sentence_transformers import SentenceTransformer

# Relativer Pfad zum Vektorspeicher
VEC_DIR = Path("data") / "vectors"

def retrieve_bfu_passages(question: str, top_k=5) -> List[Dict[str, Any]]:
    """
    Lädt ausschliesslich den Vektorindex aus data/vectors,
    der wiederum NUR aus data/bfu_pdfs stammt.
    """
    client = chromadb.PersistentClient(path=str(VEC_DIR))
    coll = client.get_or_create_collection("bfu_kb")

    model = SentenceTransformer("sentence-transformers/all-MiniLM-L6-v2")

    q_emb = model.encode([question]).tolist()[0]

    res = coll.query(query_embeddings=[q_emb], n_results=top_k)

    passages = []
    for i in range(len(res["ids"][0])):
        passages.append({
            "id": res["ids"][0][i],
            "text": res["documents"][0][i],
            "source": res["metadatas"][0][i]["source"]
        })
    return passages

def extract_targets(question: str) -> Dict[str, bool]:
    q = question.lower()
    return {
        "check_2d": any(k in q for k in ["plan", "grundriss", "schnitt", "pdf", "bild"]),
        "check_ifc": any(k in q for k in ["ifc", "modell", "3d"]),
        "bruestung": any(k in q for k in ["brüstung", "bruestung", "geländer", "gelaender"]),
        "treppe": any(k in q for k in ["treppe", "stufe", "stufen"])
    }
```

Abbildung 51: Kompletter Code vom File «nl_router.py»

Die Verbindung zur Sprach-KI übernimmt «llm_client.py». Dieses Modul kapselt den Zugriff auf das LLM konkret auf das Apertus-Modell und stellt mit der Funktion «call_llm» eine einheitliche Schnittstelle zur Erzeugung der natürlichsprachlichen Ausgabe bereit. Dabei nimmt «call_llm» den Prompt sowie Parameter wie maximale Token Anzahl und Temperatur entgegen und gibt den reinen Antworttext zurück. Dadurch bleibt der übrige Code unabhängig von der konkreten LLM API. Abbildung 52 zeigt den Beginn des Codes aus dem File «llm_client.py» mit dem Aufruf des Apertus LLMs und der Funktion «call_llm».

```
import os
import requests

# Public AI Gateway (OpenAI-kompatibel)
BASE_URL = "https://api.publicai.co/v1/chat/completions"

# Apertus Modell-ID gemäss Public-AI (ggf. anpassen, falls sich der Name ändert)
MODEL_ID = "swiss-ai/apertus-8b-instruct"

# API Key und User-Agent aus Umgebungsvariablen
PUBLICAI_API_KEY = os.environ.get("PUBLICAI_API_KEY")
PUBLICAI_USER_AGENT = os.environ.get("PUBLICAI_USER_AGENT", "bfu-checker/0.1")

def call_llm(
    prompt: str,
    max_new_tokens: int = 512,
    temperature: float = 0.3,
    top_p: float = 0.9,
```

Abbildung 52: Start des Codes vom «llm_client.py» File mit Apertus LLM Verknüpfung und der «call_llm» Funktion

Darauf baut «answer_builder.py» auf. Es nimmt die von «orchestrator.py» gesammelten Daten entgegen, erzeugt zuerst eine rein regelbasierte Kurzantwort aus den strukturierten «Findings» und filtert die Ergebnisse abhängig von der Frage, zum Beispiel nur Tritthöhenregeln oder nur Geländer Regeln (siehe Abbildung 53).

```
findings = findings_all
if kind == "ifc":
    if _is_tritthoehe_question(question):
        findings = [f for f in findings_all if f.get("rule_id") == "bfu_treppen_tritthoehe"]
    elif _is_bruestung_question(question):
        findings = [
            f for f in findings_all
            if f.get("category") in ["gelaender", "geländer", "glas"]
        ]
```

Abbildung 53: Funktion im Code von «answer_builder.py» welche die Ergebnisse gemäss gestellter Frage filtert.

Danach erstellt «answer_builder.py» einen Prompt, der die Frage, die Kurzantwort, die übergebenen BFU-Textpassagen und einen kompakten Auszug der passenden Prüfergebnisse enthält. In Abbildung 54 sind die für den Prompt vorbereiten Variablen ersichtlich.

```

kb_text = "\n\n".join([p["text"] for p in kb[:3]])

if kind == "ifc":
    f_relevant = [f for f in findings if not f.get("ok")]
    if not f_relevant:
        f_relevant = findings
    f_snip = json.dumps(f_relevant[:10], ensure_ascii=False, indent=2)
    geom_summary = _build_geom_summary(f_relevant)
else:
    f_snip = json.dumps(findings[:10], ensure_ascii=False, indent=2)
    geom_summary = ""

mapping_snip = ""
if isinstance(ai_mapping, dict):
    subset = {}
    for i, (guid, info) in enumerate(ai_mapping.items()):
        if i >= 20:
            break
        subset[guid] = info
    mapping_snip = json.dumps(subset, ensure_ascii=False, indent=2)

prompt = f"""
Du erhältst Daten aus einem BFU Prüfsystem für Gebäude.

```

Abbildung 54: Aus dem File «answer_builder.py» ersichtliche Code der vorbereitenden Variablen für den Prompt.

Der Prompt enthält die Anweisung, nur diesen Kontext zu verwenden und klar zwischen modellierten Werten, geometrischen Werten und deren Bewertung zu unterscheiden (siehe Abbildung 55). Die von «call_llm» gelieferte Antwort wird an die Streamlit-Oberfläche zurückgegeben.

```

prompt = f"""
Du erhältst Daten aus einem BFU Prüfsystem für Gebäude.

SEHR WICHTIG:
- Du darfst ausschliesslich Informationen aus dem untenstehenden Kontext verwenden.
- Der Kontext besteht aus Auszügen der BFU PDFs (Ordner data/bfu_pdfs) und den
regelbasierten Prüfergebnissen.
- Verwende KEIN sonstiges Wissen aus deinem Training, aus Normen oder aus dem Internet.
- Beantworte NUR die konkret gestellte Frage. Wenn z.B. nach Tritthöhen gefragt wird,
sollst du NICHT über Geländerhöhen oder andere Themen schreiben, ausser die Frage
erwähnt diese ausdrücklich.
- Wenn eine Zahl, ein Grenzwert oder eine Norm im Kontext NICHT vorkommt,
darfst du sie nicht nennen.
- Wenn eine Frage mit dem vorhandenen Kontext nicht beantwortet werden kann,
schreibe klar: "Dazu liegen im bereitgestellten BFU Kontext keine Angaben vor."

Aufgabe:
Formuliere eine verständliche, präzise Zusammenfassung der Prüfung
in Schweizer Rechtschreibung. Erkläre nur die Aspekte, die in der Frage vorkommen.

Frage der Benutzerin oder des Benutzers:
(question)

Regelbasierte Kurzantwort:
(base_answer)

Auszug aus relevanten BFU Empfehlungen (nur aus den hinterlegten PDFs):
(kb_text)

Auszug aus den passenden Prüfergebnissen (gekürzt):
(f_snip)
"""

    if geom_summary:
        prompt += f"""

Zusätzliche Übersicht zu modellierten Werten vs. Geometriewerten:
(geom_summary)
"""

        if mapping_snip:
            prompt += f"""

KI Klassifikation der IFC Elemente (Beispiele):
(mapping_snip)
"""

    prompt += """

Formuliere eine Antwort in maximal etwa 10 Sätzen, ohne Listenstil.
Verwende nur die Informationen aus dem Kontext oben.
Wenn eine gewünschte Information im Kontext fehlt, sage explizit,
dass sie im bereitgestellten BFU Kontext nicht enthalten ist.
Gehe nur auf die Themen der Frage ein und lasse andere Prüfpunkte weg.
"""

```

Abbildung 55: Aufbau des Prompt Strings in «answer_builder.py»

Die Benutzerschnittstelle, wie in Abbildung 38 gezeigt, ist in «app_chat.py» mit dem Code Teil von Abbildung 56 implementiert. Dieses Skript startet die Streamlit-Anwendung stellt Eingabefelder für Frage und Datei Upload bereit und ruft beim Drücken des Startknopfs «orchestrator.run_check» auf. Die KI-Antwort wird als Fliesstext angezeigt, ergänzt durch einen optionalen Überblick über die verwendeten BFU-Passagen. Alle Dateien werden in einem Upload Ordner abgelegt, sodass die gleichen Prüfungen auch über die Kommandozeile wiederholt werden können.

```
def main():
    st.set_page_config(page_title="BFU Checker Chat", layout="wide")
    st.title("BFU Checker Chat")

    st.markdown(
        "Lade ein IFC Modell oder einen PDF Plan hoch und stelle eine Frage, "
        "zum Beispiel zur Brüstungshöhe oder Tritthöhe. "
        "Bei PDF Plänen werden OCR und YOLO (CNN) automatisch verwendet."
    )

    col1, col2 = st.columns([2, 1])

    with col1:
        question = st.text_input("Frage an den Bfu Checker", value="")
        upload = st.file_uploader("IFC oder PDF auswählen", type=["ifc", "pdf"])
        start = st.button("Prüfung starten")

    with col2:
        st.info(
            "Hinweis:\n\n"
            "- IFC Dateien werden deterministisch mit den Regeln aus `rules.yaml` geprüft.\n"
            "- PDF Pläne werden automatisch mit OCR und einem YOLO Modell ausgewertet.\n"
            "- Die vollständigen Prüfdaten werden zusätzlich als JSON unter `data/results` gespeichert."
        )
```

Abbildung 56: Code Teil für die Darstellung der Weboberfläche des BFU-Checkers

Übersicht Prozess – wofür Apertus, YOLO, CNN und «rules.yaml» eingesetzt werden

Der gesamte Ablauf des Prozesses (Abbildung 57) lässt sich vereinfacht wie folgt skizzieren:

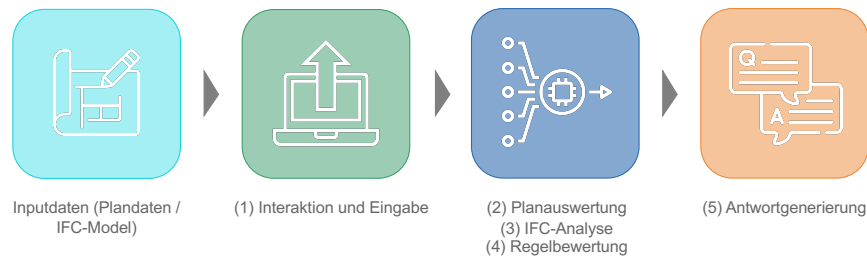


Abbildung 57: Prozessübersicht von Eingabe bis Antwortgenerierung

1. Interaktion und Eingabe

- Nutzerinnen und Nutzer laden PDF-Pläne oder IFC-Modelle über die Streamlit App hoch.
- Zusätzlich können Fragen in natürlicher Sprache eingegeben werden.
- Diese Eingaben werden vom Backend mit den Ergebnissen aus IFC-Analyse, Planauswertung und den BFU-Dokumenten verknüpft und in strukturierter Form für die Beantwortung aufbereitet.
- Apertus startet selbst keine neuen Analysen, sondern greift ausschliesslich auf bereits ausgeführte Prüfungen und vorhandene BFU-Texte zurück und formuliert eine Antwort.

2. Planauswertung (OCR + CNN / YOLOv8)

- «vision_plan_check.py» extrahiert mit OCR-Text, Zahlen und Bemassungen aus PDF-Plänen.
- Das YOLOv8-Modell erkennt grafische Muster wie Treppen, Geländer Linien oder Pfeile und unterstützt so die Interpretation der Pläne.
- Die bildbasierten Erkennungen liefern zusätzliche Hinweise, übernehmen aber keine normative Prüfrolle.

3. IFC-Analyse («IfcOpenShell» + rekonstruktive Geometrie)

- «ifc_check.py» identifiziert relevante Bauteile wie «IfcRailing» und «IfcStairFlight» und prüft sie deterministisch mit den Regeln aus «rules.yaml».
- «geometry_measurements.py» versucht zusätzlich rekonstruktive Geometrien abzuleiten (Geländerhöhen, einfache Steigungen usw.).

4. Regelbewertung (rules.yaml)

- «orchestrator.py» steuert den Prüfablauf, führt IFC-Analyse und Planauswertung aus und sammelt sämtliche Ergebnisse.
- «rules.yaml» definiert maschinenlesbaren Grenzwerte und Bedingungen für die BFU-Prüfung.
- Die gemessenen Werte werden gegen diese Regeln geprüft und mit erläuternden Beschreibungen angereichert.

5. Antwortgenerierung («answer_builder.py» + Apertus)

- «answer_builder.py» filtert die Ergebnisse passend zur Frage und erstellt daraus einen strukturierten Analysebericht.
- Apertus formuliert daraus eine verständliche natürlichsprachliche Antwort, welche IFC Daten, Planauswertungen und relevante BFU-Textpassagen zusammenführt.
- Apertus verändert weder Messwerte noch Regeln und erfindet keine zusätzlichen Anforderungen, sondern übernimmt eine vermittelnde und erklärende Rolle zwischen technischer Prüflogik und fachlicher Interpretation.

Ergebnisse und Fazit

Der BFU-Checker liegt als funktionsfähiges Proof of Concept vor. Er verbindet IFC basierte Prüfungen mit einer regelbasierten Auswertung und einer Weboberfläche, über die Modelle geladen und Ergebnisse eingesehen werden können. Der Quellcode ist auf GitHub veröffentlicht und kann über den hier aufgeführten Link eingesehen werden.

Link zum Quellcode des BFU-Checkers auf GitHub:

[BFU-Checker auf GitHub](#) (Mettler, 2025)

In den Tests mit IFC-Modellen konnte der Checker ausgewählte Anforderungen der BFU-Empfehlungen erkennen und Regelverletzungen nachvollziehbar ausweisen (siehe Abbildung 58), sofern die Modelle klar strukturierte Treppen und Geländer enthalten und die Geometrien einfach rekonstruiert werden können. Unter diesen Bedingungen entstanden konsistente Resultate, etwa bei zu geringen Geländerhöhen oder abweichenden Tritthöhen. Die separate Ablage der Regeln ermöglicht eine transparente Zuordnung zwischen Messwerten und BFU-Empfehlungen. Die natürlichsprachliche Interaktion erleichtert den Zugang zu diesen Resultaten und unterstützt das Verständnis der Prüflogik, ohne die deterministischen Berechnungen zu verändern.

The screenshot shows the 'BFU Checker Chat' interface. At the top, it says 'Lade ein IFC Modell oder einen PDF Plan hoch und stelle eine Frage, zum Beispiel zur Brüstungshöhe oder Tritthöhe. Bei PDF Plänen werden OCR und YOLO (CNN) automatisch verwendet.' Below this is a text input field with the question 'Entsprechen die Geländerhöhen den BFU Empfehlungen?'. To the right, a 'Hinweis:' box lists: '• IFC Dateien werden deterministisch mit den Regeln aus rules.yaml geprüft.', '• PDF Pläne werden automatisch mit OCR und einem YOLO Modell ausgewertet.', and '• Die vollständigen Prüfdaten werden zusätzlich als JSON unter data/results gespeichert.' Below the input field is a section for file upload: 'IFC oder PDF auswählen' with a 'Drag and drop file here' area (Limit 200MB per file • IFC, PDF) and a 'Browse files' button. A file named 'DTCMU_Teilmodell_Treppe_EG_3.ifc' (279.2KB) is shown. A 'Prüfung starten' button is at the bottom left. A green bar at the bottom indicates 'JSON Prüfergebnis gespeichert unter: data/results\DTCMU_Teilmodell_Treppe_EG_3_bfu_check.json'. The 'Antwort des BFU Checkers' section states: 'Basierend auf den bereitgestellten Daten und dem Kontext, entsprechen die Geländerhöhen nicht den BFU Empfehlungen. Es wurden insgesamt 60 Geländer gefunden, von denen 18 die BFU Vorgaben erfüllen und 42 davon abweichen. Die Abweichungen betreffen hauptsächlich die Mindesthöhe, die in mehreren Fällen unter 1.0 m liegt. Die bereitgestellten Daten enthalten keine weiteren Informationen über die Geländerhöhen, wie z.B. die maximale Höhe oder spezifische Anforderungen für bestimmte Geschosse. Daher kann keine Aussage über die Einhaltung dieser zusätzlichen Anforderungen getroffen werden. Die bereitgestellten Daten beziehen sich ausschließlich auf die Mindesthöhe von 1.0 m, die in mehreren Fällen nicht eingehalten wird.'

Abbildung 58 Beispielhafte Bewertung von Treppen und Geländern mit BFU-Grenzwerten

Das Proof of Concept zeigt zugleich deutliche technische und methodische Grenzen. Die wichtigste Einschränkung betrifft die starke Abhängigkeit von der Modellqualität. Viele reale IFC-Modelle sind unvollständig oder uneinheitlich modelliert. In solchen Fällen können geometrische Größen nur teilweise oder gar nicht rekonstruiert werden, was direkt zu fehlenden oder unzuverlässigen Prüfergebnissen führt. Komplexe Geometrien und Sonderfälle werden vom aktuellen Stand der rekonstruktiven Verfahren nicht abgedeckt.

Besonders kritisch fällt die Bilanz der Plananalyse aus. Bei den getesteten PDF-Plänen lieferte der Checker keine verwertbaren Resultate. Weder die OCR-Auswertung noch die auf einem YO-LOv8 Modell basierende Objekterkennung konnten Treppen oder andere sicherheitsrelevante Elemente stabil identifizieren. Dies blieb auch so, nachdem der Suchradius für die Erkennung vergrößert und Parameter mehrfach angepasst wurden. Die Plananalyse trägt im jetzigen Stand nicht zur BFU-Prüfung bei und bleibt ein reiner Experimentierpfad ohne praktischen Nutzen.

Auch die Integration der natürlichsprachlichen Komponente bringt Einschränkungen mit sich. Zwar kann die Anbindung an ein Sprachmodell wie Apertus Prüfergebnisse in verständlicher Form erklären. Gleichzeitig besteht das Risiko unpräziser oder missverständlicher Formulierungen. In einzelnen Fällen lieferte das Modell trotz korrekter JSON-Daten und geprüfter Regeln falsche Aussagen zu der Anzahl konformer Bauteile. Wie in Abbildung 59 dargestellt, wird ausgegeben, dass sich die Werte für die Tritthöhen in den Geschossen 3 bis 7 ausserhalb des zulässigen Bereiches von 0.17 - 0.19 m befinden.

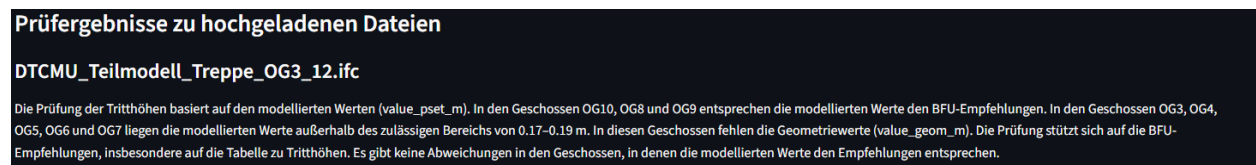


Abbildung 59: Fehlklassifikation einer Tritthöhe durch KI zu den Tritthöhen in den Geschossen 3 bis 7

Nach der Prüfung des JSON-Files konnte, wie in Abbildung 60 zu erkennen ist, belegt werden, dass die Werte der Geschosse 3 bis 7 doch innerhalb des zulässigen Bereichs befinden.



Abbildung 60: Ausschnitt aus dem JSON-File, der zeigt, dass die Tritthöhe innerhalb des zulässigen Bereichs ist

Mehrere dieser Probleme wurden mithilfe von ChatGPT analysiert und behoben. Anpassungen am Code und an den Promptvorlagen konnten einzelne Fehler korrigieren. Grundlegende Limitationen im Umgang mit komplexen Antwortstrukturen und der zuverlässigen Verknüpfung von Rohdaten und Textantworten blieben jedoch bestehen.

Die Evaluation des BFU-Checkers ist insgesamt auf einen kleinen Satz von Testmodellen und Plänen beschränkt. Es liegen keine breit abgestützten Kennzahlen zu Erkennungsraten, Fehleraten oder Robustheit vor. Der Umfang des implementierten Regelsets deckt zudem nur einen Ausschnitt der BFU-Empfehlungen ab. Der Prototyp darf daher nicht als vollständige oder verlässliche Prüfinstanz verstanden werden, sondern als technischer Machbarkeitsnachweis mit klar begrenztem Geltungsbereich.

Die Masterarbeit zeigt, dass sich zentrale Komponenten einer digitalen BFU-Prüfung technisch zusammenführen lassen. IFC-Modelle können unter geeigneten Voraussetzungen automatisch gegen ausgewählte Regeln geprüft werden. Die Ergebnisse lassen sich über eine Weboberfläche und eine natürlichsprachliche Schnittstelle nachvollziehbar darstellen. Damit ist die grundsätzliche Machbarkeit eines integrierten BFU-Checkers auf Basis von BIM, regelbasierten Spezifikationen und KI gestützter Interpretation belegt. Gleichzeitig machen die Versuche mit realen Projektdaten deutlich, dass der aktuelle Prototyp nicht für einen produktiven Einsatz geeignet ist. Die Abhängigkeit von Modell und Planqualität, die fehlende Stabilität der PDF-Auswertung und die begrenzte Kontrolle über sprachmodellbasierte Antworten schränken die Zuverlässigkeit stark ein. Der BFU-Checker kann bestehende Prüfprozesse nicht ersetzen. Stand heute kann er höchstens als ergänzendes Werkzeug in kontrollierten Testszenarien dienen.

Aus den Ergebnissen ergeben sich mehrere konkrete Schritte für eine Weiterentwicklung. Ein naheliegender Schwerpunkt ist der Ausbau und die systematische Strukturierung des Regelkatalogs, um einen grösseren Teil der BFU-Empfehlungen maschinenlesbar abzubilden und komplexere Bedingungen zu erfassen. Parallel dazu müssten die Algorithmen zur rekonstruktiven Geometrie robuster werden, mit klaren Plausibilitätsprüfungen und einer sauberen Kennzeichnung unsicherer Messungen. Für die Plananalyse wäre ein grundlegender Neustart erforderlich, basierend auf einem kuratierten Datensatz mit annotierten Plänen einer angepassten OCR-Pipeline und speziell trainierten Modellen, die auf die Symbolik sicherheitsrelevanter Elemente zugeschnitten sind.

Auf der Systemebene wäre eine deutlich stärkere Fehlerbehandlung mit Logging, Tests und klarer Dokumentation nötig, um das Verhalten des Checkers in Grenzfällen nachvollziehbar zu machen. Im Umgang mit Sprachmodellen bieten sich strengere Antwortformate, explizite Verweise auf die geprüften Regeln und zusätzliche Prüfmechanismen an. So lassen sich fehlerhafte oder halluzinierte Aussagen früh erkennen.

In einem nächsten Schritt wäre zu klären, in welchen Szenarien ein solcher Checker sinnvoll in Planungs- und Prüfprozesse eingebunden werden kann. Denkbar ist etwa der Einsatz für Vorprüfungen, für die Aufbereitung von Prüfdaten oder als Lernumgebung für den Umgang mit BFU-Empfehlungen in digitalen Modellen. Die vorliegende Arbeit bildet dafür eine Grundlage, indem sie sowohl die Potenziale als auch die aktuellen Grenzen offenlegt.

Die zentralen Beobachtungen wurden für den weiteren Vergleich in einer Erkenntnistabelle (Tabelle 8) zusammengefasst.

Tabelle 8: Zusammenfassung zentraler Erkenntnisse aus dem selbst entwickelten BFU-Checker

Kategorie	Testschritt	Beobachtung / Ergebnis	Bewertung 1-5
Setup & Zugang	Registrierung, Upload, Dateiformate	Alle benötigten Module, Codes und KI-Apertus sind OpenSource und somit gratis verfügbar; IFC so wie auch PDFs können hochgeladen werden.	4
Texterkennung / Symbolerkennung	Legenden, Masslinien, Tabellen, Höhenangaben, Plansymbole	Funktioniert in der Momentanen Version nicht.	1
Geometrieanalyse	Elemente, Räume, Flächenabgrenzungen	Es können mithilfe von «IfcOpenShell» Geometrien berechnet und PropertySets ausgelesen werden; Limitationen bestehen vor allem bei komplexeren Geometrien, nicht sauber modellierten Modelle und fehlenden oder falschen PropertySets.	3
Exportfähigkeit	PDF-Bericht, JSON, CSV, Annotationen	Die Exportfähigkeit kann individuell angepasst werden. Braucht aber einen grösseren Initialaufwand, um die gewünschte Struktur und Layout in den PDF-Berichten zu erhalten.	3
Geschwindigkeit	Rechenzeit & Antwortzeiten	Ist abhängig von der Dateigrösse, Anfrage und Hardware.	3
Skalierbarkeit	API, Erweiterbarkeit, Custom Models	Eigene Codeumgebung daher grosser Aufwand für Anbindungen von anderen Herstellern, was dadurch die Skalierbarkeit erschwert.	2

6.5 Erkenntnisse und Limitationen

Die im Rahmen des PoC durchgeführten Tooltests sowie die Entwicklung des BFU-Checkers ermöglichen eine differenzierte Einordnung aktueller KI-gestützter Ansätze zur sicherheitstechnischen Prüfung von Plänen und Modellen. Die Gegenüberstellung von Custom GPT, Datagrid, AidOCR und dem prototypischen BFU-Checker in Tabelle 9 zeigt, dass sich die Systeme in ihren Stärken und Limitationen deutlich unterscheiden. Die folgenden Abschnitte interpretieren die gewonnenen Erkenntnisse entlang der definierten Bewertungskriterien und ordnen diese im Hinblick auf die Anforderungen der BFU ein.

Tabelle 9: Vergleich von Stärken und Limitationen der untersuchten Systeme

Kategorie	Custom GPT	Datagrid	AidOCR	BFU Checker
Setup & Zugang	5	3	3	4
Texterkennung / Symbolerkennung	4	2	3	1
Geometrieanalyse	2	1	5	3
Exportfähigkeit	2	5	4	3
Geschwindigkeit	5	1	4	3
Skalierbarkeit	2	4	3	2

Setup und Zugang

Im Kriterium Setup und Zugang zeigt sich ein Spannungsfeld zwischen niedriger Einstiegshürde und fachlicher Steuerbarkeit. LLM-basierte Systeme wie das Custom GPT ermöglichen einen sehr schnellen und intuitiven Zugang. Upload, Abfrage und erste Auswertungen sind ohne technisches Vorwissen möglich, was insbesondere für explorative Fragestellungen und frühe Abklärungen vorteilhaft ist. Gleichzeitig fehlen jedoch Mechanismen zur strukturierten Konfiguration, Reproduzierbarkeit und Qualitätssicherung der Ergebnisse.

Datagrid und AidOCR weisen eine höhere Einstiegshürde auf. Beide Systeme sind auf strukturierte Workspaces, definierte Analyseprozesse und teilweise auf Schulungen ausgelegt. Diese reduzierte Spontaneität wird jedoch durch eine kontrolliertere Datenverarbeitung kompensiert. Der BFU-Checker positioniert sich zwischen diesen Ansätzen. Als Prototyp erfordert er initiale technische Kenntnisse, erlaubt jedoch eine gezielte Anpassung an BFU-spezifische Anforderungen und Prüfschritte.

Texterkennung / Symbolerkennung

Die Texterkennung stellt eine grundlegende Stärke aller getesteten Systeme dar. Textbasierte Inhalte wie Empfehlungen, Tabellen und beschriftete Planinformationen werden grundsätzlich zuverlässig erkannt. Custom GPT eignet sich gut zur Interpretation textlicher Empfehlungen, bleibt jedoch dialogorientiert und nicht strukturiert.

Datagrid und AidOCR liefern in diesem Bereich deutlich strukturiertere Ergebnisse. AidOCR identifiziert BFU-relevante Textstellen systematisch, nummeriert diese und verknüpft sie direkt mit den Originalquellen. Die Symbolerkennung, etwa von Plansymbolen oder Masslinien, bleibt jedoch auch bei diesen Systemen eingeschränkt und ist stark von der Planqualität und der Abfrageformulierung abhängig.

Der BFU-Checker zeigt in diesem Kriterium derzeit die grössten Limitationen. Die Texterkennung basiert primär auf OCR-Auswertung und einfachen Heuristiken. Eine robuste Symbolerkennung oder konsistente Interpretation grafischer Planzeichen ist im aktuellen Prototyp umgesetzt, müsste jedoch noch mit Trainingsdaten trainiert werden, um zu funktionieren.

Geometrieanalyse

Die Geometrieanalyse stellt den zentralen Differenzierungsfaktor zwischen den Systemen dar. Custom GPT ist nicht in der Lage, geometrische Informationen aus Plänen oder IFC-Modellen zuverlässig zu extrahieren. Datagrid zeigt ebenfalls klare Limitationen, da IFC-Dateien nicht als geometrische Modelle interpretiert werden.

AidOCR erreicht in diesem Kriterium die höchste Bewertung. Durch den Einsatz eines IFC-Parsers können Bauteile, Abmessungen, Treppenzahl, Stufenanzahl sowie Treppenverhältnisse aus dem Modell ausgelesen und mit normativen Anforderungen verknüpft werden. Gleichzeitig zeigt sich jedoch eine starke Abhängigkeit von der Modellstruktur und der Präzision der Abfragen.

Der BFU-Checker ermöglicht eine grundlegende geometrische Auswertung ausgewählter IFC-Elemente. IFC-Klassen wie «IfcStairFlight» oder «IfcRailing» werden genutzt, um relevante Bauteile einzugrenzen. Komplexe Geometrien, Staketengeländer oder detaillierte Podest Logiken können jedoch im aktuellen Prototyp noch nicht zuverlässig rekonstruiert werden.

Exportfähigkeit

Im Bereich der Exportfähigkeit weisen AECO-spezifische Plattformen klare Vorteile auf. Datagrid und AidOCR ermöglichen strukturierte Exporte in Form von Berichten, Tabellen oder maschinenlesbaren Formaten. Dies erlaubt eine Weiterverarbeitung der Ergebnisse in bestehenden Prüf- und Dokumentationsprozessen.

Custom GPT bietet diese Möglichkeiten nicht. Ergebnisse verbleiben im Dialogformat und müssen manuell weiterverarbeitet werden. Der BFU-Checker generiert eine strukturierte Ausgabe in Form von JSON-Dateien, die transparent dokumentieren, aus welchen Modellinformationen die Resultate abgeleitet wurden. Die Exportmöglichkeiten sind jedoch noch wenig ausgereift und primär auf den PoC-Charakter ausgerichtet.

Geschwindigkeit

Hinsichtlich Geschwindigkeit zeigen sich deutliche Unterschiede. Custom GPT liefert sehr schnelle Antworten, da keine komplexen Analyseprozesse im Hintergrund stattfinden. Datagrid weist bei umfangreichen Dokumentanalysen teilweise längere Laufzeiten auf, was sich in Wartezeiten und temporären Unterbrüchen der Benutzeroberfläche äussert.

AidOCR zeigt ein ausgewogenes Verhalten. Umfangreiche Analysen benötigen zwar mehr Rechenzeit, bleiben jedoch nachvollziehbar und transparent aufgebaut. Der BFU-Checker liegt in seiner Geschwindigkeit im Mittelfeld. Die Auswertung von IFC-Modellen ist rechenintensiv, bleibt im Rahmen des Prototyps jedoch akzeptabel.

Skalierbarkeit (Implementierungskomplexität, Ressourcenbedarf und Datenschutz)

Die Skalierbarkeit eines Systems ist eng mit Implementierungskomplexität, Ressourcenbedarf und Datenschutz verknüpft. Externe KI-Plattformen lassen sich kurzfristig einsetzen, verursachen jedoch laufende monetäre Kosten, Abhängigkeiten von proprietären Anbietern und eine begrenzte Einflussnahme auf Weiterentwicklungen. Bei intensiver Nutzung steigt der Ressourcenbedarf in Form von Credits oder Lizenzen deutlich an.

Eine eigenständige Entwicklung wie der BFU-Checker erfordert ein höheres initiales Investment in Know-how, Entwicklungszeit und technische Infrastruktur. Langfristig ermöglicht dieser Ansatz jedoch eine gezielte Anpassung an BFU-spezifische Workflows, eine kontrollierte Skalierung und eine bessere Planbarkeit der Ressourcen.

Ein zentraler Aspekt ist der Datenschutz. Als öffentliche Institution verarbeitet die BFU sensible Plan- und Modelldaten. Der Einsatz externer, cloudbasierter KI-Systeme wirft grundlegende Fragen zur Datenhoheit, Speicherung und Nachvollziehbarkeit auf. Eine eigenständige oder intern betriebene Lösung erlaubt es hingegen, datenschutzrechtliche Anforderungen von Beginn an systematisch zu berücksichtigen und dauerhaft zu gewährleisten.

Zusammenfassende Einordnung

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass aktuelle KI-Werkzeuge wertvolle Unterstützungspotenziale für die sicherheitstechnische Prüfung bieten, jedoch keine vollumfängliche, automatisierte Lösung darstellen. Die Limitationen liegen weniger in einzelnen Technologien, sondern in der fehlenden Integration aller erforderlichen Fähigkeiten in einem konsistenten, BFU-spezifischen System.

7 Ergebnisse

7.1 Ableitung der finalen Handlungsempfehlung

Die Handlungsempfehlung wird aus einer integrativen Betrachtung der drei Hauptteile der Arbeit abgeleitet. Die in Kapitel 4 dargestellte Standortanalyse identifiziert zentrale Herausforderungen und organisatorische Rahmenbedingungen der heutigen Anwendung der BFU-Empfehlungen. Kapitel 5 überführt diese Erkenntnisse in eine priorisierte Roadmap und ordnet sie in eine langfristige Entwicklungsperspektive bis 2030 ein. Kapitel 6 vertieft die technischen Aspekte und beleuchtet die Ergebnisse sowie Limitationen der Horizonterweiterung, der Tooltests und der Entwicklung des «BFU-Checkers» im Rahmen des Proof of Concept. Als Grundlage dient unter anderem Tabelle 9 mit einem strukturierten Kategorienvergleich der eingesetzten Werkzeuge.

Die Ergebnisse zeigen, dass die unzureichende Anwendung der BFU-Empfehlungen weniger auf fehlendes Wissen als vielmehr auf strukturelle und prozessuale Defizite zurückzuführen ist. Entsprechend besteht der strategische Anspruch darin, BFU-Wissen so aufzubereiten, dass es frühzeitig und wirksam in digitale Planungsprozesse integriert werden kann. Dabei soll keine automatisierte Sicherheitsfreigabe suggeriert werden.

Gleichzeitig zeigen die Tooltests und der BFU-Checker, dass der Markt zwar starke Einzellösungen bietet, aber keine integrierte, verlässlich nutzbare Gesamtlösung für den BFU Usecase vorhanden ist. So fehlt derzeit die Fähigkeit kombiniert, Text, Plan und Modell robust zusammenzuführen und dabei auch bei einfachen Eingaben reproduzierbare Resultate zu liefern. Insgesamt bleibt Prompt Abhängigkeit ein zentrales Risiko für robuste Resultate bei einfachen Eingaben. Der Einsatz bleibt deshalb grundsätzlich fachlich gesteuert, datenqualitätsabhängig und in der Verantwortung von Expertinnen und Experten.

Daraus ergibt sich eine Handlungsempfehlung, die nicht auf ein einziges Werkzeug setzt, sondern auf eine modulare und schrittweise erweiterbare Systemarchitektur. Sie soll die Stärken der getesteten Ansätze kombinieren, gleichzeitig aber Unabhängigkeit, Datenschutz, Nachvollziehbarkeit und langfristige Skalierbarkeit sicherstellen.

Für die Umsetzung empfiehlt sich ein Stufenmodell, das schrittweise umgesetzt werden kann und bewusst mit dem internen Betrieb beginnt. Die daraus abgeleitete Handlungsempfehlung wird in Form eines vierstufigen Stufenmodells in Abbildung 61 (siehe Anhang I) zusammenfassend visualisiert.

Handlungsempfehlung Schrittweise Einführung eines BFU-Assistenzsystems

Modulares Stufenmodell auf Basis von Standortanalyse, Roadmap und Proof of Concept



Stufe 1: Formale Wissensbasis (interner Fokus)

- Strukturierte Aufbereitung der Empfehlungen in maschinenlesbarer Form
- Versionierte Wissensbasis mit klar definierten Regeln, Parametern, Grenzwerten und Ausnahmen
- Trennung von Regelinhalt, Interpretation und Anwendungskontext
- Klare Zuständigkeiten für Pflege, Qualitätssicherung und formale Freigabe der Inhalte

Ziel: Voraussetzung für jede konsistente und nachvollziehbare digitale Prüfung



Stufe 2: Interner Probetrieb (Lern- und Kontrollphase)

- Einsatz des Prüfsystems BFU als Lern- und Unterstützungswerkzeug
- Interne Pilotanwendungen mit einfachen, klar abgegrenzten Fragestellungen
- Identifikation von Datenlücken, Interpretationsspielräumen sowie modellbedingten Abhängigkeiten
- Klare Abgrenzungen: Prüfhilfe ≠ Entscheidungs- oder Freigabesystem

Ziel: Verständnis für Funktionsweise, Grenzen und Risiken digitaler Prüfungen aufbauen



Stufe 3: Externe Pilotphase

- Auswahl geeigneter externer Partnerprojekte für Tests
 - Modul 1: Textbasierter Assistenzteil
 - Modul 2: Regel- und Datenbasierte Prüfung
 - Modul 3: Berichts- und Exportschicht
- Prüfsystems in reale Planungsprozesse zu Testzwecken
- Überprüfung der Verständlichkeit für Anwender ohne Spezialwissen

Ziel: Operative Tauglichkeit unter realen Bedingungen prüfen und falsche Erwartungshaltungen frühzeitig vermeiden



Stufe 4: Öffentliche Bereitstellung des BFU-Assistenzsystems

- Bereitstellung eines öffentlichen webbasierten BFU-Assistenzsystems
- Modularer Zugriff auf strukturierte Empfehlungen sowie regelbasierte Prüfhypothesen und nachvollziehbare Prüfberichte
- Klare Kommunikation der Systemrolle als unterstützendes Hilfsmittel
- Keine automatisierte Sicherheitsfreigabe oder Haftungsverschiebung

Ziel: Transparente, nachvollziehbare und rechtlich klar abgegrenzte Unterstützung der Planung, ohne Entscheidungs- oder Freigabeverantwortung seitens der BFU.

Leitprinzipien des Assistenzsystems: Datenschutz, Datenhoheit, Nachvollziehbarkeit, langfristige Unabhängigkeit

Abbildung 61: Handlungsempfehlung zur schrittweisen Einführung eines BFU-Assistenzsystems

Stufe 1: Formale Wissensbasis (interner Fokus)

In der ersten Stufe werden sämtliche von der BFU erarbeiteten Empfehlungen schrittweise in eine gepflegte, versionierte und maschinenlesbare Wissensbasis überführt. Inhaltlich sind Begriffe, Parameter, Grenzwerte, Ausnahmen und Geltungsbereiche so zu strukturieren, dass sie eindeutig formuliert und konsistent gepflegt werden können. Organisatorisch erfordert dies klare Zuständigkeiten für Regelpflege, Qualitätssicherung und Freigabe, damit der Wissensstand reproduzierbar bleibt und Änderungen kontrolliert in die digitale Logik überführt werden können.

Die Umsetzung sollte abteilungsweise erfolgen und durch Feedbackschlaufen ergänzt werden. Dadurch können Probleme und Schnittstellenkonflikte bei der Digitalisierung der Empfehlungen frühzeitig erkannt und gezielt behoben werden. Diese erste Stufe reduziert Medienbrüche bereits ohne den Einsatz eines Prüfsystems. Sie bildet zudem die zwingende Voraussetzung für jedes spätere Assistenzsystem, da digitale Prüfungen nur so präzise sein können wie die zugrunde liegende Formalisierung.

Stufe 2: Interner Probetrieb (Lern- und Kontrollphase)

In der zweiten Stufe sollte die BFU ein Prüfsystem zunächst intern einsetzen, bevor ein öffentliches Online-Angebot für Planende aufgebaut wird. Der interne Einsatz dient als Unterstützungswerkzeug für Beratung und Prüfung innerhalb der einzelnen Abteilungen. Auf diese Weise können Erfahrungen gesammelt werden, die später in die Konzeption eines öffentlichen Dienstes einfließen.

Der interne Betrieb verfolgt dabei drei zentrale Lernziele. Erstens sollen reale Datenqualitätsprobleme systematisch sichtbar gemacht und dokumentiert werden. Zweitens soll die Prüflogik in geführte Abläufe übersetzt werden, sodass Ergebnisse nicht von freien Prompts abhängen. Drittens soll das Rollenverständnis geschärft werden, indem das Prüfsystem klar als Hinweis- und Vorprüfungsinstrument positioniert wird, während die fachliche Verantwortung bei der BFU verbleibt.

Dieser Schritt ist wesentlich, da die Tooltests zeigen, dass niedrige Einstiegshürden häufig mit geringer Steuerbarkeit, fehlender Reproduzierbarkeit und eingeschränkter Qualitätssicherung einhergehen. Für die BFU sind jedoch kontrollierbare und nachvollziehbare Prozesse entscheidend, nicht lediglich schnelle Antworten.

Stufe 3: Externe Pilotphase und modulare Systemarchitektur

Mit der Auswahl geeigneter externer Partnerprojekte beginnt die dritte Stufe, welche die Grundlage für eine spätere öffentliche Bereitstellung bildet. In den Pilotprojekten ist zu prüfen, ob die Ergebnisse in reale Planungs- und Freigabeprozesse integrierbar sind und ob die Bedienung auch ohne Spezialwissen zu stabilen und nachvollziehbaren Resultaten führt. Dadurch soll sichergestellt werden, dass ein späterer Dienst in bestehende Arbeitsprozesse eingebettet werden kann und keine zusätzlichen Hürden oder falschen Erwartungen erzeugt.

Technologisch empfiehlt sich in dieser Phase eine klare modulare Trennung der Systemarchitektur. Ein erstes Modul bildet der textbasierte Assistenzteil, der den Zugang zu Regeln unterstützt und konsequent auf BFU-Inhalte begrenzt ist. Dadurch können Wissenslücken adressiert werden,

ohne geometrische Prüfungen zu suggerieren, die rein sprachbasierte Systeme nicht verlässlich leisten können. Die regel- und datenbasierte Prüfung stellt ein zweites Modul dar, welches strukturierte Prüfergebnisse liefert.

Als drittes Modul ist eine Berichts- und Exportschicht vorzusehen. Die Tooltests zeigen deutlich, dass Exportfähigkeit und transparente Prozessdarstellung für die Weiterverarbeitung in bestehende Dokumentationsabläufe entscheidend sind. Die vom BFU-Checker und den getesteten Tools erzeugten strukturierten Ausgaben müssen daher in Formate überführt werden, die nachvollziehbar in Projekt- und Berichtsdocumentationen integriert werden können.

Ergänzend sollte ein Data-Quality-Check eingeführt werden. Die Prüfbarkeit der Eingabedaten ist systematisch zu berücksichtigen, da Aussagen andernfalls nicht belastbar sind. Die Ergebnisse der Modellprüfungen zeigen, dass komplexe Geometrien und uneinheitliche Modellstrukturen zu unzuverlässigen Resultaten führen können. Praktisch bedeutet dies, dass das System zunächst überprüft, ob ein Plan oder ein IFC-Modell definierte Mindestanforderungen erfüllt. Erst danach werden Hinweise zu Abweichungen ausgegeben. Dadurch werden Fehlerquellen transparent gemacht und die Verantwortung der Nutzerinnen und Nutzer für die Datenqualität klarer verortet.

Stufe 4: Öffentliche Bereitstellung eines BFU-Assistenzsystems

In einer vierten Stufe kann auf Basis der internen Lernphase und der externen Pilotprojekte die öffentliche Bereitstellung eines webbasierten BFU-Assistenzsystems erfolgen. Ziel dieser Stufe ist es, Planende frühzeitig und niederschwellig bei der Anwendung der BFU-Empfehlungen zu unterstützen, ohne dabei eine automatisierte Sicherheitsfreigabe oder eine Verlagerung der fachlichen Verantwortung zu erzeugen.

Der öffentliche Dienst soll modular aufgebaut sein und einen strukturierten Zugang zu formalisierten Empfehlungen, regelbasierten Prüfhilfen sowie nachvollziehbaren Prüfberichten ermöglichen. Die klare Kommunikation der Systemrolle ist dabei zentral: Das Assistenzsystem dient ausschliesslich als unterstützendes Hilfsmittel zur Orientierung und Vorprüfung, nicht als Entscheidungs- oder Freigabesystem.

Datenschutz und institutionelle Unabhängigkeit sind als öffentliche Rahmenbedingungen konsequent zu berücksichtigen. Die Horizonterweiterung zeigt, dass cloudbasierte Plattformen und proprietäre Anbieter Abhängigkeiten sowie eingeschränkte Kontrolle über Datenflüsse, Modelupdates und Infrastrukturentscheidungen erzeugen können. Für sensible Plan- und Modelldaten sowie interne Prüfgrundlagen ist dies kritisch. Datenschutz, Datenhoheit, Transparenz und Compliance müssen daher von Beginn an klar definiert und systematisch umgesetzt werden. Kooperationen mit spezialisierten Anbietern können punktuell sinnvoll sein, sind jedoch nur vertretbar, wenn die BFU die fachliche Prüflogik, Regelversionen und Qualitätskriterien kontrollierbar abbilden kann und die langfristige Unabhängigkeit gewahrt bleibt.

Zusammenfassung der Handlungsempfehlung

Zusammenfassend wird empfohlen, die Wissensbasis der BFU zunächst maschinenlesbar und konsistent pflegbar aufzubauen, anschliessend ein Prüfsystem intern zu betreiben, um geführte Prüfabläufe, Datenqualitätsstandards und klare Rollen zu entwickeln, darauf aufbauend externe Pilotprojekte durchzuführen und erst danach einen öffentlichen Dienst bereitzustellen. Auf diese Weise kann eine nachhaltige Umsetzung einer nicht voll automatisierten, fachlich verantworteten Prüfumgebung für die Öffentlichkeit erreicht werden.

7.2 Validierung durch die BFU

Nach Abschluss des Proof of Concept wurde der Praxispartnerin BFU die Ergebnisse der Arbeit bis dahin zur Validierung (siehe Anhang J) vorgelegt. So beurteilte die BFU den im Proof of Concept verfolgten technischen Ansatz als überzeugend und als passend zu aktuellen sowie absehbaren Entwicklungen der Digitalisierung im Bauwesen. Besonders positiv wird die Kombination aus planbasierter Computer Vision und modellbasierter IFC-Analyse und einem klar strukturierten, maschinenlesbaren Regelwerk auf Basis der BFU-Empfehlungen bewertet. Aus Sicht der BFU adressiert dieser Ansatz eine reale Marktlücke, weil bestehende AECO-Tools und allgemeine KI-Systeme sicherheitsrelevante Prüfungen derzeit nicht als integrierte Prüfung von Text, Plan und Modell anhand eines Empfehlungskatalogs leisten. Die modulare Struktur eines BFU KI-Checkers wird als Grundlage für eine erweiterbare und langfristig weiterentwickelbare Lösung eingeordnet.

Die BFU bestätigt zudem die in der Arbeit vertretene Einschätzung zur technologischen Entwicklung. Textverarbeitung durch GPT basierte und multimodale Modelle wird als weit fortgeschritten beschrieben, während die Interpretation technischer Zeichnungen und BIM Modelle noch im Aufbau ist. Gleichzeitig erwartet die BFU substantielle Fortschritte bei visueller Analyse, Mustererkennung und geometrischer Rekonstruktion. Die Annahmen der Arbeit, dass KI künftig robustere Plan und Modellanalysen ermöglichen kann, werden als plausibel bewertet. Als technisches Grundrisiko wird die Abhängigkeit modellbasierter Geometrieanalysen von Qualität und Standardisierung der IFC-Daten hervorgehoben.

Für die Realisierbarkeit eines BFU KI-Checkers sieht die BFU die entscheidenden Faktoren weniger in technischen Limitationen, sondern in der strategischen Entwicklung und Investitionsbereitschaft der BFU. Genannt werden Investitionen in interne Kompetenzen wie Datenmanagement, KI-Knowhow und Governance sowie in externe Entwicklungsressourcen. Zentral ist aus Sicht der BFU die Digitalisierung und Strukturierung der BFU-Grundlagen. Ein Checker kann nur so präzise arbeiten, wie die zugrunde liegenden Empfehlungen formalisiert, gepflegt und maschinenlesbar vorliegen. Als Ergänzungen und Warnhinweise werden die rechtliche und organisatorische Verankerung, ein integraler Datenqualitätscheck, die interne Kompetenzentwicklung und die Integration in bestehende Arbeitsprozesse genannt. In der Gesamtschau beurteilt die BFU den Ansatz als technologisch zeitgemäss und strategisch sinnvoll und hält eine mittelfristige Realisierung unter klaren Voraussetzungen für möglich.

Der Abgleich mit den Ergebnissen dieser Arbeit zeigt eine hohe Übereinstimmung. Die Standortanalyse identifizierte Medienbrüche und den Bedarf an maschinenlesbaren Datensätzen als Grundlage für eine digitale Integration der BFU-Empfehlungen. Diese Priorität deckt sich mit der BFU-Aussage, dass die digitale Aufbereitung der Empfehlungen ein strategischer Erfolgsfaktor ist. Auch die Markteinschätzung stimmt überein. Die Tool-Tests zeigten, dass aktuell keine einzelne Lösung die Kombination aus Textinterpretation, Plananalyse und Modellprüfung vollständig abdeckt und dass eine modulare Eigenlösung Abhängigkeiten reduziert. Die von der BFU betonte Abhängigkeit von IFC-Datenqualität bestätigt die PoC Ergebnisse, die unvollständige oder uneinheitliche Modellierung als eine Ursache für unzuverlässige Prüfergebnisse identifizierte. Somit kann geschlussfolgert werden, dass ein modularer BFU KI-Checker strategisch sinnvoll und mittelfristig realisierbar ist, jedoch nur bei konsequenter Digitalisierung und Pflege der Empfehlungen, gesicherter Datenqualität sowie klarer Governance und ausreichenden Ressourcen.

8 Diskussion

Die Hauptfrage dieser Arbeit richtete sich darauf, wie die BFU die Digitalisierung nutzen kann, um ihre Empfehlungen in digitale Bauprozesse zu integrieren und damit die Sturzprävention wirksamer zu machen. Insgesamt zeigt sich ein Bild, in dem technische Machbarkeit und organisatorische Anschlussfähigkeit gleich wichtig sind. Die Arbeit zeigt, dass eine digitale Lösung nur dann Wirkung entfaltet, wenn sie Präventionswissen in nutzbare Formen für Planung und Ausführung übersetzt. Gleichzeitig muss sie die Realität unvollständiger Daten sowie heterogener Prozesse berücksichtigen.

Die Standortanalyse zeigte, dass das zentrale Problem weder ausschliesslich in fehlender Kenntnis noch allein in der Umsetzung lag. Die Umfrage mit 42 Fachplanenden ergab, dass 55 Prozent die BFU-Empfehlungen zur Sturzprävention kannten und zumindest teilweise berücksichtigten, rund ein Drittel sie regelmässig einsetzte und 14 Prozent die BFU-Empfehlungen gar nicht kannten. Diese Streuung ist inhaltlich wichtig, weil sie zeigt, dass fehlende Kenntnis und selektive Nutzung nebeneinander vorkommen. Die Fachgespräche und die interne Analyse ergänzten dieses Bild und machten Hürden sichtbar, die durch mehr Information allein kaum verschwanden. Dazu gehörten Medienbrüche, fehlende Verbindlichkeit in Projekten sowie eine unklare Zuordnung, wer zu welchem Zeitpunkt für Präventionsanforderungen verantwortlich war. Gleichzeitig verortete die Selbsteinschätzung der BFU den Digitalisierungsgrad zwischen Stufe zwei und drei auf einer fünfstufigen Skala. Damit zeigte sich eine realistische Ausgangslage mit digitalen Einzelementen, jedoch ohne durchgängige datengetriebene Prozesse.

In der Konzeptphase stützten das CBA und die Tooltests die Annahme, dass der grösste Hebel dort vermutet wurde, wo Präventionswissen direkt an die üblichen Planungselemente anschliesst. Die CBA-Methode wies die Idee einer KI-Analyse von Plänen und Modellen als vorteilhafteste Option aus und erreichte mit 425 Punkten den höchsten Gesamtvorteil. Für die Diskussion war dabei weniger die Punktzahl entscheidend als die Interpretation. Das Resultat machte sichtbar, dass Potenzial insbesondere in der direkten Kopplung an Pläne und 3D Modelle gesehen wurde. Gleichzeitig verdeutlichte die Arbeit, dass eine solche Priorisierung stark von der Auswahl der Kriterien und ihrer Gewichtung abhing. Das CBA erhöhte die Transparenz und half begründet, auf das PoC Thema zu fokussieren. Es ersetzte jedoch nicht die Frage, ob eine Lösung organisatorisch tragfähig, marktkompatibel und im Projektalltag nachhaltig einbettbar war.

Aus dieser Fokussierung entstand im PoC ein prüfbarer Prototyp. Der BFU Checker liegt als funktionsfähiger Prototyp vor, der ausgewählte Prüfungen regelbasiert auswertete und über eine Weboberfläche zugänglich macht. In Tests mit IFC-Modellen erkannte der Checker bestimmte BFU relevante Elemente und wies Regelverletzungen nachvollziehbar aus. Gleichzeitig zeigte sich deutlich, dass die Prüfbarkeit stark von der Modellierungsqualität und der Modellierungstiefe der IFC-Daten abhing. Damit verschob sich der Engpass von der reinen Algorithmik hin zum Informationsmanagement. Nicht das Austauschformat allein bestimmte die Prüfbarkeit, sondern die Frage, ob relevante Elemente konsistent typisiert waren, ob Attribute vorhanden waren und ob geometrische Grössen verlässlich abgeleitet werden konnten.

Besonders kritisch fiel die Bilanz der planbasierten Analyse aus. Bei mehreren PDF-Plänen lieferte der Checker keine verwertbaren Resultate, weder über die OCR-Auswertung noch über die Vision Erkennung. Der Ansatz blieb attraktiv, weil er potenziell auch Projekte ohne sauberes BIM Modell erreichen könnte. Stabil wurde er im PoC jedoch nicht, weil robuste Erkennung in heterogenen realen Planunterlagen ohne domänenspezifischen Datensatz, Annotationen und Training ausblieb. Damit zeigte die Arbeit eine Differenz zwischen Wirkungsraum und Realisierungsaufwand, die für eine BFU-Strategie entscheidend ist.

Ebenfalls deutlich wurde eine Grenze bei der natürlichsprachlichen Ausgabe. Eine sprachlich korrekt wirkende Zusammenfassung enthielt in Tests auch falsche Aussagen, obwohl die Prüfdaten strukturiert vorlagen. Das Beispiel einer falschen Aussage zu Tritthöhen über mehrere Geschosse zeigte, dass Fehler nicht nur in Messungen entstehen können, sondern auch in der Verdichtung und Erklärung. Aus Präventionssicht ist das heikel, weil Nutzende eine überzeugende Formulierung leicht als geprüfte Wahrheit interpretieren können. Daraus ergab sich eine klare Konsequenz. Eine natürlichsprachliche Ausgabe musste stärker an strukturierte Befunde gebunden werden, Aussagen müssen auf prüfbare Daten zurückführbar bleiben, und zusätzliche Verifikationen der Textaussagen gegen Rohdaten sind sinnvoll, um Fehlinterpretationen systematisch zu reduzieren.

Damit lassen sich die Hypothesen differenziert bewerten. Die Hypothese H1 ging davon aus, dass eine systematische digitale Aufbereitung der BFU-Empfehlungen die Wahrscheinlichkeit ihrer Anwendung in Planungs- und Bauprozessen erhöht. Die Arbeit stützte diese Annahme im Kern, machte jedoch verschiedene Bedingungen sichtbar. Digitale Aufbereitung wirkte besonders dort, wo fehlendes Wissen eine Barriere bildete. Wenn Empfehlungen suchbar, aktuell, projektnah und verständlich bereitstehen, senkt das die Hürden zur Anwendung. Gleichzeitig zeigte die Standortanalyse, dass die fehlende Verbindlichkeit mindestens gleich stark wirkte. So kann eine digitale Aufbereitung die Anwendung nur dann plausibel erhöhen, wenn sie in Prozesse eingebettet wurde, in denen Entscheidungen tatsächlich gefällt werden, etwa in frühen Entwurfsphasen, in Koordinationssitzungen oder in formellen Prüf- und Abnahmeabläufen. Als separates Dokument oder freiwillige Zusatzabfrage ausserhalb des Projektflusses dürfte sie im Tagesgeschäft übergangen werden. Damit konnte die Digitalisierung als Verstärker der Anschlussfähigkeit sichtbar gemacht werden, jedoch nicht als Ersatz für Verantwortungszuordnung und Verbindlichkeit.

In Hypothese H2 wird behauptet, dass offene Standards wie z.B. IFC, IDS oder BCF geeignet sind, um sicherheitsrelevante Anforderungen maschinenlesbar und prüfbar zu machen. Das PoC und der theoretische Teil unterstützten diese Hypothese, zeigten aber eine klare Einschränkung. IFC eignete sich als herstellerneutrales Austauschformat und stellte Informationen über Bauteile und Geometrien bereit, wodurch Prüfungen unabhängig von der Autorensoftware möglich wurden. Gleichzeitig verdeutlichte der PoC, dass ein Standardformat nicht automatisch standardisierte Inhalte liefert. Prüfbarkeit hing nicht nur am Format, sondern an Informationsanforderungen, Modellierungskonventionen und Datenqualität. Genau hier gewann IDS-Bedeutung, weil IDS-Anforderungen auf Klassen, Attribute und Werte herunterbrechen kann. In der Logik dieser Arbeit waren offene Standards daher weniger die Lösung an sich als das Rückgrat einer Lösung,

die erst durch Governance und definierte Erwartungen an Daten vollständig wurde. Als Feedbackkanal in den Projektworkflow wäre es naheliegend, müsste aber in einer nächsten Ausbaustufe konkret umgesetzt und evaluiert werden.

Die dritte Hypothese H3 nahm an, dass ein PoC veranschaulichen kann, wie automatisierte Prüfverfahren Planungsfehler in frühen Projektphasen reduzieren und damit Sicherheitsdefizite verringern können. Aus Sicht der Autorenschaft erfüllte sich diese Hypothese gerade deshalb, weil der PoC nicht nur Erfolge zeigte, sondern auch Grenzen präzise sichtbar machte. Die modellbasierte Prüfung verdeutlichte, dass sicherheitsrelevante Regeln früh automatisiert geprüft werden konnten, wenn das IFC-Modell relevante Elemente sauber abbildete. Gleichzeitig zeigte der Checker, welche Regeln sich gut formalisiert prüfen liessen und wo unmittelbar Interpretationsfragen entstanden. Im Gegensatz dazu hat die Analyse von 2D-Plandaten gezeigt, dass die Vision einer universellen Auswertung von PDF-Plänen im aktuellen Stand nicht stabil funktioniert. Das gilt zumindest dann, wenn kein Datensatz und Training vorliegt und der Anwendungsbereich nicht klar eingeschränkt wird. Es ist daher kein Scheitern des PoC, sondern ein wissenschaftlicher Mehrwert. Die Limitationen sind nicht mehr allein von theoretischer Natur, sondern konnten praktisch nachgewiesen werden und der nächste Entwicklungsbedarf wurde konkret.

Wird die Einordnung der Resultate in den Kontext bestehender Literatur gebracht, verstärkt dies die vorhergegangene Interpretation. Automated Compliance Checking beschrieb seit langem, dass die Formalisierung von Regeln ein Engpass ist und dass Prüfungen nur so gut sind wie die Daten, auf die sie angewendet werden (Amor & Dimyadi, 2021; Jia et al., 2025; Pauwels et al., 2024; Sacks et al., 2025). Die Arbeit beschrieb diese Kette aus Regelinterpretation, Modellzugriff, Regelausführung und Ergebnisdarstellung, und der PoC vollzog sie praktisch nach. Der Beitrag lag dabei auch im Präventionsfokus. Während viele Compliance Themen auf formelle Baueingaben oder Normen zielen, brachte die BFU-Perspektive einen wirkungsorientierten Blick ein. Die Relevanz lag nicht nur in korrekter Regelprüfung, sondern in der Reduktion realer Gefahren. Daraus folgte, dass ein System nicht nur korrekt prüfen sollte, sondern so kommunizieren musste, dass es im Projekt zu besseren Entscheidungen führte.

Beim Vergleich mit der Literatur zu semantischen Methoden und grossen Sprachmodellen entstand ein differenziertes Bild. Ontologien und formale Validierungsmechanismen wie RDF oder SHACL können dazu beitragen, Begriffe, Beziehungen und Regeln konsistent abzubilden (Cerošek & Omar, 2025; Nuyts et al., 2024; Pauwels et al., 2024). Die Tooltests deuteten darauf hin, dass Strukturierung ein zentraler Erfolgsfaktor war. Systeme mit strukturierten Workspaces, definierten Analyseschritten und nachvollziehbaren Exporten wirkten prozessnäher. Sprachmodelle erwiesen sich in dieser Arbeit vor allem als Zugang und Vermittlung. Sie erleichterten Interaktion, erklärten Inhalte und machten Prüfergebnisse lesbar. Für die Bewertung geometrischer Anforderungen eigneten sie sich jedoch nicht als alleinige Instanz. Somit konnte festgehalten werden, dass Sprachmodelle ein Interface sind, aber keine Messmaschine.

Die methodische Reflexion zeigt, dass die Anlage der Arbeit geeignet ist, solche Spannungsfelder sichtbar zu machen. Der gewählte Triple Diamond Prozess hat eine klare Abfolge aus Problemraum, Lösungsraum, Priorisierung und technischer Erprobung ermöglicht. Die Kombination aus Umfrage, Fachgesprächen, CBA und zweispurigem Proof of Concept reduzierte die Gefahr, technische Machbarkeit mit praktischer Wirksamkeit zu verwechseln. Die Standortanalyse verhinderte, dass die Arbeit nur von einem Blickwinkel aus betrachtet wurde. Stattdessen ging sie von der Frage aus, warum Empfehlungen heute nicht konsequent wirkten und welche Rolle digitale Prozesse dabei spielten. Dadurch blieb die Handlungsempfehlung anschlussfähig und zielte auf eine modulare Architektur sowie eine stufenweise Entwicklung statt auf ein einzelnes Produkt.

Trotzdem blieben Limitationen bestehen, welche die Aussagekraft einschränken. Die Umfrage umfasst 42 Teilnehmende und ist damit klein. Sie bildet Tendenzen ab, aber sie kann die Branche nicht komplett repräsentieren. Die Gefahr von einer Selbstselektion ist plausibel gegeben, dies weil Personen mit Interesse an Prävention oder Digitalisierung eher daran teilgenommen haben dürften. Die internen Fachgespräche lieferten Tiefe, deckten jedoch nicht die gesamte Bandbreite der BFU ab und könnten interne Sichtweisen verstärken. Auch das CBA blieb subjektiv, weil die Kriterien Wahl und Gewichtung die Ergebnisse beeinflussten und Wechselwirkungen zwischen den Kriterien nicht vollständig erfasst wurden. Im technischen Teil ist das PoC bewusst auf ausgewählte Empfehlungen, Regeln und auf wenige Testdaten begrenzt worden. Damit lässt sich Machbarkeit zeigen, aber die Robustheit nicht unter echten Praxisbedingungen bestätigen.

Die Validität und Zuverlässigkeit der technischen Resultate waren dadurch eingeschränkt. Regelbasierte Prüfschritte arbeiteten zuverlässig, solange Eingabedaten korrekt waren und Regeln eindeutig formuliert wurden. Die Arbeit zeigte jedoch die Sensitivität gegenüber Modellierungsentscheidungen. Wenn ein Geländer zum Beispiel als «IfcRailing» typisiert war, waren andere Prüfungen möglich als bei generischen Bauteilen ohne Typisierung. Wenn Massangaben als Attribute vorlagen, war eine Prüfung direkter, als wenn Grössen aus Geometrie rekonstruiert werden mussten. Diese Sensitivität schränkte die Generalisierbarkeit ein, war aber zugleich eine zentrale Erkenntnis. Prävention in digitalen Prozessen hing nicht nur an Prüfalgorithmen, sondern an Informationsanforderungen und Datenqualität. Ein vorgeschalteter Data Quality Check erschien daher als sinnvoller Bestandteil, weil er die Voraussetzung schaffen kann, Ergebnisse korrekt einzuordnen und eine Nichtprüfbarkeit transparent auszuweisen.

Aus der Diskussion ergab sich eine Einordnung zum praktischen Nutzen. Die Arbeit stellte plausibel dar, dass ein digitaler BFU-Ansatz zuerst als Assistenzsystem und nicht als Zertifizierungsinstrument eingesetzt werden sollte. Einsatzmöglichkeiten liegen in frühen Planungsphasen als Vorprüfung zur Unterstützung bei der Interpretation von Empfehlungen und als Kommunikationshilfe zwischen Prävention und Planung. In dieser Rolle kann das System Hinweise geben, kritische Bereiche hervorheben und Dokumente strukturieren. Es ersetzte jedoch keine fachliche Verantwortung und kann nicht garantieren, dass ein Projekt sicher ist. Für einen produktiven Einsatz werden deshalb klare Aussagen über Prüfbereich, Datenbasis und Unsicherheit notwendig, weil falsch negative Ergebnisse trügerische Sicherheit erzeugen und falsch positive Ergebnisse Vertrauen untergraben sowie unnötige Nacharbeit auslösen können.

In diesem Zusammenhang ist auch die Abgrenzung zwischen BFU Checker und produktivem System wichtig. Das PoC zeigte, dass eine modulare Architektur, IFC-Zugriff, regelbasierte Bewertung und verständliche Ausgabe kombinierbar sind. Es hat aber ebenso aufgezeigt, dass ein produktives System zusätzliche Anforderungen erfüllen muss. Dazu gehören stabile Schnittstellen, robuste Fehlerbehandlung, Monitoring, Versionierung von Regeln, Dokumentation der Datenannahmen und ein klar definierter Supportprozess. Dazu kommt, dass bei einem eingesetzten System die Skalierung nicht nur technisch, sondern organisatorisch betrachtet werden muss. Denn die Frage lautet auch, wer pflegt Regeln, wer priorisiert Anpassungen, wie werden Änderungen kommuniziert und wie wird mit Konflikten zwischen Empfehlungen und Normen umgegangen. Diese Fragen liessen sich im PoC nicht abschliessend lösen, sie müssen aber früh sichtbar sein, damit eine Umsetzung realistisch bleibt.

Die Validierung durch die BFU stützte diese Einschätzung. Die Praxispartnerin ordnete die Vision eines BFU Checkers grundsätzlich als plausibel ein, betonte jedoch, dass entscheidende Faktoren weniger in technischen Limitierungen lagen als in der Qualität und Standardisierung der IFC-Daten, in Governance Fragen und in ausreichenden Ressourcen. Damit bestätigte sich die Kernaussage der Arbeit, dass Barrieren nicht als reine Technikprobleme zu verstehen sind, sondern als Zusammenspiel von Wissensbasis, Datenqualität und organisatorischer Entwicklung. Sie verlangt nicht, dass die BFU sofort einen grossen öffentlichen Checker baut, sondern dass sie zuerst Grundlagen schafft und intern Wissen aufbaut, bevor sie skaliert.

Schliesslich beeinflussen auch der Datenschutz und die Unabhängigkeit die Realisierbarkeit möglicher Lösungen. Cloubasierte Systeme waren in den Tooltests zwar schnell zugänglich, erzeugten jedoch Zielkonflikte, wenn Projektdaten nicht für externe Plattformen bestimmt sind. Der BFU Checker wählte mit der Anbindung an ein Open-Source-Sprachmodell (Apertus) eine datenschutzfreundliche Richtung, sofern das Modell lokal betrieben und Projektdaten nicht an externe Plattformen übertragen werden. Dadurch wurde sichtbar, dass Prävention im Bauwesen oft an frühen Entwurfsdaten hängt, die in Projekten als sensibel gelten. Ein reiner Kauf eines Tools kann kurzfristig wirken, schafft jedoch Abhängigkeiten bei Preismodellen, Updates und Funktionsänderungen. Eine offene modulare Architektur reduziert Anbieterbindung, verlangt aber eigene Kompetenzen für den Betrieb, die Wartung und Qualitätskontrolle. Für die BFU ist dies eine strategische Abwägung zwischen Ressourcenbindung und Glaubwürdigkeit durch Transparenz und Nachvollziehbarkeit.

Aus diesen Limitationen können Empfehlungen für zukünftige Arbeiten abgeleitet werden, die direkt an der Leitfrage anknüpfen. Eine Aufgabe ist der Aufbau einer gepflegten, versionierten und maschinenlesbaren Wissensbasis der BFU-Empfehlungen. Dazu gehört ein Regelmodell, das Grenzwerte, Bedingungen, Begriffe und Ausnahmen strukturiert abbildet. In diesem Schritt ist auch zu entscheiden, welche Teile der Empfehlungen deterministisch prüfbar sind und wo Spielräume für Interpretationen bleiben. Darauf aufbauend sind Informationsanforderungen und Datenqualitätskriterien nötig, die festlegen, welche Modellinhalte für welche Prüfungen zwingend sind. Ein Data Quality Check könnte als Einstieg etabliert werden, damit Ergebnisse nicht nur berechnet, sondern korrekt interpretiert werden.

Für die Integration in den Projektalltag ist zudem eine Schnittstelle in einen Koordinationsprozess nötig. Ergänzend ist zu klären, wie die BFU ihre Rollen definiert. Wenn die BFU einen öffentlichen Checker anbietet, muss klar sein, ob dies eine freiwillige Hilfe, ein Bildungsinstrument oder ein Bestandteil eines formellen Prozesses ist. Je nach Rolle ändern sich Anforderungen an Haftungsabgrenzung, an Dokumentation und an Qualitätsnachweise. Beim Einsatz von Sprachmodellen werden ein geführter Prüfablauf mit eindeutigen Ergebnisformaten notwendig dies, um die Abhängigkeit von zufälligen Prompt Effekten zu reduzieren. Die Trennung zwischen Messlogik und erklär Logik bleibt entscheidend, damit Sprache nicht zur Fehlerquelle wird.

Für die planbasierten Analysen sind weiterer Untersuchungen und Tests notwendig. Denn wenn die BFU auch Projekte ohne BIM Modell erreichen will, braucht es einen annotierten Datensatz von typischen Planstiele und eine klare Fokussierung auf bestimmte Planarten. Ohne domänen-spezifisches Training wird die Erkennung sicherheitsrelevanter Elemente in heterogenen Plänen nicht stabil. Ein Zwischenziel könnte sein, standardisierte Detailpläne oder definierte Planvorlagen zu unterstützen, um dann schrittweise zu generalisieren. Diese passt zur Roadmap Logik der Arbeit, die zuerst interne Kompetenzen und eine Datenbasis aufbaut und erst danach breiter skaliert.

Die Arbeit zeigte, dass digitale Prävention im Bauwesen keine fernes Zukunftsbild ist, sondern an konkreten Punkten ansetzen kann. Gleichzeitig verdeutlicht sie, dass der Weg zur Wirkung über die Formalisierung von Wissen, Datenqualität und Prozessintegration führt. Genau dort liegen die nächsten Schritte, wenn die BFU ihre Empfehlungen nicht nur publizieren, sondern in digitalen Bauprozessen wirksam verankern will.

9 Fazit und Ausblick

Diese Masterarbeit hat untersucht, wie die BFU aktuelle Entwicklungen der Digitalisierung nutzen kann, um ihre Empfehlungen zur Sturzprävention wirksam in digitale Planungs- und Bauprozesse zu integrieren. Im Zentrum stand der Anspruch, Präventionswissen so aufzubereiten, dass es nicht nur informativ bleibt, sondern in den tatsächlichen Arbeitsmitteln der Planung anschlussfähig wird. Dafür wurde die Ausgangslage empirisch und organisatorisch erhoben sowie der Stand der Technik für digitale Prüfprozesse eingeordnet. In einem weiteren Schritt wurde eine Roadmap als Grundlage für die Handlungsempfehlung formuliert, die schrittweise umgesetzt werden kann. Anschliessend wurde die technische Machbarkeit ausgewählter Prüfungen in einem PoC überprüft.

Die Standortanalyse basierte auf einer externen Umfrage mit 42 Teilnehmenden sowie auf internen Fachgesprächen. Aus der Datenerhebung ging hervor, dass die Empfehlungen im Planungsalltag nicht durchgehend konsistent berücksichtigt werden und dass die Ursachen vielschichtig sind. Nebst Wissenslücken und Zuständigkeiten wirkten strukturelle Faktoren wie fehlende Verbindlichkeit, Zeitdruck und Prozessunterbrüche zwischen Informationssuche und Anwendung in Modell und Plan. In den internen Rückmeldungen wurde zudem deutlich, dass digitale Bausteine zwar vorhanden sind, jedoch keine durchgängige Prozesskette entsteht. Die interne Selbsteinschätzung ordnete die digitale Reife zwischen Stufe 2 und Stufe 3 auf einer fünfstufigen Skala ein, was eine teilweise Digitalisierung einzelner Arbeitsschritte, aber noch keine konsistente End to End Integration beschreibt.

Parallel dazu wurde der Stand der Technik zu digitalen Prüfprozessen im Bauwesen aufgearbeitet und für den Kontext der BFU übertragen. Ergänzend wurden KI basierte Werkzeuge getestet. Die Tests zeigten, dass sprachbasierte Systeme insbesondere dort nützlich sind, wo es um Orientierung im Textbestand, rasches Auffinden relevanter Passagen und um verständliche Erklärungen geht. Ohne domänenspezifische Strukturierung, kontrollierte Datenflüsse und klare Trennung von Prüflogik und Interpretation entstand keine verlässliche technische Prüfung. Spezialisierte Plattformen deckten einzelne Anforderungen ab, für eine integrierte BFU-Lösung sind jedoch Datenkontrolle, nachvollziehbare Ableitungen und die Einbettung in ein BFU-eigenes Regel- und Wissensmodell erforderlich.

Auf Grundlage der empirischen und theoretischen Ergebnisse wurde eine Roadmap entwickelt, die Umsetzungsfelder priorisierte und zeitlich strukturierte. Der Ideenkatalog wurde durch eine CBA-Analyse bewertet. Darauf aufbauend wurde eine Roadmap zur zeitlichen Verordnungsstellung erstellt. In dieser Priorisierung erhielt die KI gestützte Analyse von Plänen und Modellen den höchsten Gesamtvorteil und wurde damit als zentraler Entwicklungspfad festgehalten. Entscheidend war die Verbindung aus maschinenlesbarem BFU-Wissen, Datenanforderungen und reproduzierbarer Prüfbarkeit für Projektentscheide. Die Roadmap formulierte eine stufenweise Entwicklung bis zum Zieljahr 2030. Dabei ordnete sie die Weiterentwicklung von der Grundlagenarbeit an der Wissensbasis über die schrittweise Ausweitung von Prüfungen bis hin zur breiteren Integration in Planungsprozesse.

Zur technischen Machbarkeitsprüfung wurde ein PoC umgesetzt. Es wurde ein prototypischer BFU Checker entwickelt, der IFC-Modelle einliest, relevante Elemente identifiziert und ausgewählte Empfehlungen deterministisch auswertet. Die Regeln wurden in einem maschinenlesbaren Regelwerk abgebildet und so organisiert, dass Spezifikation und Ausführung getrennt bleiben. Die modellbasierte Auswertung nutzte je nach Verfügbarkeit direkt modellierte Werte aus Property Sets sowie abgeleitete geometrische Kenngrößen, die aus einfachen Rekonstruktionen gewonnen wurden. Damit konnte gezeigt werden, dass deterministische Prüfungen für ausgewählte Anforderungen grundsätzlich möglich sind, sofern die erforderlichen Informationen im Modell konsistent vorhanden sind und die Modellierung eine Auswertung zulässt. Gleichzeitig wurde sichtbar, dass die modellbasierte Prüfung nur so robust ist wie die Eingabedaten und die definierte Semantik. Bei uneinheitlicher Modellierung oder fehlenden Informationen reduzierte sich die Prüfung auf eine informative Rückmeldung mit transparent ausgewiesener Unsicherheit.

Im PoC wurde zusätzlich eine planbasierte Auswertung über PDF-Pläne aufgebaut. Dabei wurde eine Pipeline mit OCR und bildbasierter Erkennung eingesetzt. In den Tests mit realen Plänen ergaben sich keine stabilen, wiederholbaren Resultate. Damit wurde als Ergebnis festgehalten, dass eine planbasierte Interpretation in diesem Rahmen vorerst experimentell bleibt und ohne domänenspezifische Datenbasis sowie gezielte Modelle nicht zuverlässig ist. Im Zusammenspiel zwischen strukturierten Prüfdaten und natürlichsprachlicher Erklärung zeigte sich ausserdem, dass die sprachliche Ausgabe nicht automatisch korrekt bleibt. Das gilt selbst dann, wenn die zugrunde liegenden Befunde strukturiert vorhanden sind. Daraus folgte, dass Erklärung und Prüfung strikt zu trennen sind und Antworten an überprüfbare Daten gebunden bleiben müssen.

Damit wurde die Forschungsfrage beantwortet. Die BFU kann aktuelle Entwicklungen der Digitalisierung nutzen, indem sie ihr Präventionswissen in eine maschinenlesbare, gepflegte und versionierte Struktur überführt, diese Struktur mit offenen Standards wie IFC oder IDS an modellbasierte Prozesse koppelt und die digitale Prüfung auf eindeutig operationalisierbare Anforderungen fokussiert, die deterministisch auswertbar sind. Die Zielsetzung der Masterarbeit wurde erreicht. Es entstand eine belastbare Ausgangslage, eine Roadmap und ein funktionaler Prototyp, der die Machbarkeit ausgewählter Prüfungen gezeigt hat. Gleichzeitig hat die technische Erprobung klar abgegrenzt, welche Wege im aktuellen Stand tragfähig sind und welche Ansätze unter den gegebenen Rahmenbedingungen keinen zuverlässigen Nutzen liefern.

Die Einordnung in den Forschungsstand ergibt sich aus der Art der Ergebnisse. Digitale Prüfprozesse funktionieren nur dann gut, wenn die Anforderungen klar und prüfbar formuliert sind und die Daten eine ausreichende Qualität haben. Zusätzlich müssen die Ergebnisse nachvollziehbar in den Projektablauf zurückfliessen, damit sie dort genutzt werden können. Die Arbeit hat diese bekannten Voraussetzungen im BFU-Kontext greifbar gemacht. Sie hat Schritt für Schritt gezeigt, wie aus textlichen Empfehlungen konkrete Regeln, klare Datenanforderungen und eine prüfbare Auswertungslogik entstehen. Der Beitrag lag in der systematischen Übertragung eines Präventionskatalogs in eine digitale Prüflogik und in der Abgrenzung dessen, was heute zuverlässig prüfbar ist.

Die Begrenzungen dieser Arbeit liegen in der Breite der Erhebung, in der Natur der Tooltests und in der Reichweite des Proof of Concept. Die externe Umfrage und die internen Gespräche liefern eine plausible Orientierung, sind jedoch nicht als repräsentative Abbildung der gesamten Planungspraxis angelegt. Die Tooltests bilden Momentaufnahmen ab und können Funktionsänderungen oder Betriebsbedingungen externer Systeme nicht kontrollieren. Der PoC fokussierte sich bewusst auf einen Ausschnitt der Empfehlungen und auf eine prototypische Umsetzung, wodurch Aussagen zu Robustheit, Skalierbarkeit, Betriebssicherheit und langfristiger Wartung nur eingeschränkt möglich sind. Gerade diese Einschränkungen sind für die BFU als Ergebnis relevant, weil sie die Differenz zwischen einem überzeugenden Prototyp und einem produktiven System klar markieren.

Der Ausblick knüpft direkt an diese Grenzen an. Eine zentrale Weiterentwicklung betrifft die Regelbasis. Zukünftige Arbeiten könnten die maschinenlesbare Abbildung der Empfehlungen vertiefen, indem Begriffe konsistent definiert, Ausnahmen strukturiert erfasst und Regelversionen so verwaltet werden, dass Änderungen in der Prüfung und in der Kommunikation nachvollziehbar bleiben. Eng damit verbunden ist die Definition von Informationsanforderungen an Modelle, die prüfbar formuliert sind und über IDS sowie ergänzende Konventionen in der Modellierung verantwortet werden können. Ein vorgelagerter Data Quality Check, der die Prüfbarkeit transparent beurteilt und Unsicherheit explizit ausweist, würde den Nutzen einer digitalen Prüfung erhöhen, weil fehlende oder widersprüchliche Daten als eigener Befund sichtbar werden.

Für die technische Weiterentwicklung bietet sich eine Erweiterung der modellbasierten Prüfungen auf zusätzliche Empfehlungsteile an, begleitet von einer breiteren Evaluation mit unterschiedlichen Modellierungsstilen und Detaillierungsgraden. Damit könnte untersucht werden, welche Regeln robust über verschiedene Autorentools und Modellierungsarten hinweg funktionieren und wo Anpassungen an Datenanforderungen nötig sind. Gleichzeitig könnte die Prozessintegration stärker in den Vordergrund rücken. Wenn Prüfergebnisse nicht dort landen, wo Entscheidungen getroffen werden, bleiben sie ein Zusatzdokument. Eine konsequente Rückführung über standardisierte Rückmeldemechanismen wie BCF könnte dafür sorgen, dass Befunde als nachvollziehbare «Issues» in den Projektworkflow einfließen. So würden sie nicht als isolierter Bericht enden.

Für die natürlichsprachliche KI-Komponente ergibt sich ein eigener Forschungsbedarf. Ziel wäre nicht, die Prüfung durch Sprache zu ersetzen, sondern die Erklärung so zu gestalten, dass sie aus geprüften Daten aufgebaut wird und nicht frei formuliert. Weiterführende Arbeiten können kontrollierte Antwortformate, automatische Konsistenzprüfungen zwischen Text und Befund sowie Mechanismen zur klaren Kennzeichnung von Unsicherheit untersuchen. Damit würde die Rolle der Sprache präzisiert, als Assistenz zur Interpretation und Kommunikation, nicht als Quelle der Bewertung. Dazu gehört auch, dass Verantwortung, Dokumentation und Nachvollziehbarkeit in einem Prüfsystem klar geregelt sind. So wird verhindert, dass scheinbar klare Formulierungen zu Fehlinterpretationen führen.

Wenn die BFU auch Projekte ohne konsistente BIM-Modelle erreichen will, braucht es weiterhin eine planbasierte Analyse. Dieser Entwicklungsweg ist eigenständig und deutlich aufwendiger. Weiterführende Arbeiten könnten domänenspezifische Datensätze aufbauen, Planstile systematisch erfassen und Modelle zur Elementerkennung gezielt trainieren. Ohne eine solche Datenbasis ist eine robuste Auswertung heterogener PDF-Pläne nicht zu erwarten. Ergänzend sind Untersuchungen zur Akzeptanz und zur Nutzung im Projektalltag sinnvoll, damit sichtbar wird, welche Rückmeldungsformen in frühen Entwurfsphasen tatsächlich genutzt werden und welche Informationsdichte als hilfreich gilt, ohne zusätzliche Belastung zu erzeugen.

Damit kommt die Arbeit zum Schluss, dass digitale Sturzprävention nicht von einer einzelnen Technologie abhängt. Entscheidend ist vielmehr das koordinierte Zusammenspiel aus strukturiert aufbereitetem Fachwissen, klar definierten Datenanforderungen, verlässlicher und nachvollziehbarer Prüflöge, transparent ausgewiesenen Unsicherheiten sowie einer konsequenten Integration in den Arbeitsalltag von Planung und Prüfung. Nur durch diese ganzheitliche Herangehensweise kann digitale Unterstützung einen wirksamen Beitrag zur Prävention leisten, ohne fachliche Verantwortung zu automatisieren oder zu verlagern.

Literaturverzeichnis

- Aerni, R., 2025. ChatGPT - Custom BFU GPT [WWW Document]. ChatGPT. URL <https://chatgpt.com/g/g-692c150cb540819194e6ac133391189e-custom-bfu-gpt> (accessed 27.12.25).
- Aidocr AG, S., 2025. Aidocr [WWW Document]. URL <https://aidocr.com/> (accessed 27.12.25).
- Amor, R., Dimyadi, J., 2021. The promise of automated compliance checking. *Dev. Built Environ.* 5, 100039. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100039>
- Arroyo, P., Schöttle, A., Christensen, R., 2025. Building Decisions: How Choosing by Advantages Drives Project Success. Routledge, London. <https://doi.org/10.1201/9781003518310>
- Belcic, I., Stryker, C., 2024. What is GPT (generative pre-trained transformer)? | IBM [WWW Document]. IBM What GPT Gener. Pretrained Transform. URL <https://www.ibm.com/think/topics/gpt> (accessed 26.12.25).
- BFU, 2025a. Über die BFU [WWW Document]. BFU. URL <https://www.bfu.ch/de/die-bfu/ueber-die-bfu> (accessed 26.12.25).
- BFU, 2025b. BFU Jahresbericht 2024, Zusammen in einer verdichteten Schweiz (Jahresbericht). BFU, Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern.
- BFU, 2025c. Kampagne «Sicher stehen – sicher gehen» [WWW Document]. BFU. URL <https://www.bfu.ch/de/die-bfu/kampagnen/sicher-gehen> (accessed 26.12.25).
- Bloch, T., Fauth, J., 2023. The unbalanced research on digitalization and automation of the building permitting process. *Adv. Eng. Inform.* 58, 102188. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102188>
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (Eds.), 2021. Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis, 2nd ed, VDI-Buch. Springer Fachmedien, Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-33361-4>
- buildingSMART, 2025a. Information Delivery Specification - buildingSMART International. Inf. Deliv. Specif. IDS. URL <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/information-delivery-specification-ids/> (accessed 25.10.25).
- buildingSMART, 2025b. Information Delivery Manual (IDM). Build. Tech. URL <https://technical.buildingsmart.org/standards/information-delivery-manual/> (accessed 25.10.25).
- buildingSMART, 2025c. IDS/Documentation at development · buildingSMART/IDS [WWW Document]. GitHub. URL <https://github.com/buildingSMART/IDS/tree/development/Documentation> (accessed 25.10.25).

Cerovšek, T., Omar, M., 2025. Advancing Semantic Enrichment Compliance in BIM: An Ontology-Based Framework and IDS Evaluation, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Buildings 15, 2621. <https://doi.org/10.3390/buildings15152621>

Chen, D., Long Chen, Yiheng Zeng, Craig Hancock, Russell Lock, Simon Sølvsten, 2025. Vision LLM-Driven Operational Hazard Recognition for Building Fire Safety Compliance Checking, EasyChair, in: ICCBEI 2025: Volume Information Proceedings of The Sixth International Conference on Civil and Building Engineering Informatics. Presented at the Proceedings of The Sixth International Conference on Civil and Building Engineering Informatics, EasyChair, pp. 829–840. <https://doi.org/10.29007/7x7r>

Chen, N., Lin, X., Jiang, H., An, Y., 2024. Automated Building Information Modeling Compliance Check through a Large Language Model Combined with Deep Learning and Ontology, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Buildings 14, 1983. <https://doi.org/10.3390/buildings14071983>

Datagrid, 2025. Datagrid [WWW Document]. URL <https://www.datagrid.com> (accessed 27.12.25).

Design Council, 2025. The Double Diamond - Design Council [WWW Document]. URL <https://www.designcouncil.org.uk/our-resources/the-double-diamond/> (accessed 21.9.25).

Eastman, C., Lee, Jae-min, Jeong, Y., Lee, Jin-kook, 2009. Automatic rule-based checking of building designs. Autom. Constr. 18, 1011–1033. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.07.002>

Elyan, E., Jamieson, L., Ali-Gombe, A., 2020. Deep learning for symbols detection and classification in engineering drawings. Neural Netw. 129, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2020.05.025>

Eschmann, C., 2025. Fachgespräch BFU.

Eschmann, C., Brügger, O., Schmid, R., 2025. Fachgespräch vor Ort bei der BFU in Bern.

ETH Zürich, EPFL, Schweizerische Supercomputing-Zentrum CSCS, 2025. Apertus [WWW Document]. Swiss AI. URL <https://www.swiss-ai.org/apertus> (accessed 26.12.25).

Facebook AI, R., 2025. GitHub - facebookresearch/detectron2 [WWW Document]. Detectron2. URL <https://github.com/facebookresearch/detectron2> (accessed 26.12.25).

Falcon, 2025. Introducing the Technology Innovation Institute's Falcon 3 Making Advanced AI accessible and Available to Everyone, Everywhere [WWW Document]. Falcon Llm. URL <https://falconllm.tii.ae/> (accessed 26.12.25).

Fischer, M., 2025. Gespräche am 2025 CIFE Summer Program an der Universität Stanford.

- Google, 2025. Gemini – der KI-Assistent von Google für alle Gelegenheiten [WWW Document]. Gemini. URL <https://gemini.google/ch/about/?hl=de> (accessed 26.12.25).
- Guo, D., Onstein, E., Rosa, A.D.L., 2021. A Semantic Approach for Automated Rule Compliance Checking in Construction Industry. *IEEE Access* 9, 129648–129660. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3108226>
- Holdsworth, J., 2024. What Is Optical Character Recognition (OCR)? | IBM [WWW Document]. IBM. URL <https://www.ibm.com/think/topics/optical-character-recognition> (accessed 26.12.25).
- Jeannotat, B., 2020. Treppen: Bauliche Massnahmen zur Unfallprävention. (Fachdokumentation No. 2.007), Treppen. BFU, Beratungsstelle für Unfallverhütung, 3001 Bern.
- Jia, L., Chen, M., Chen, C., Jin, Y., 2025. A Semantic Web and IFC-Based Framework for Automated BIM Compliance Checking, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. *Buildings* 15, 2633. <https://doi.org/10.3390/buildings15152633>
- Kamath, U., Keenan, K., Somers, G., Sorenson, S., 2024. Large Language Models: A Deep Dive: Bridging Theory and Practice. Springer Nature Switzerland, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-65647-7>
- Kreo Software, 2025. From Pixels to Profit: Floor Plan Recognition Technologies and Their Strategic Application in Kreo — Kreo [WWW Document]. URL <https://www.kreo.net/news-2d-takeoff/floor-plan-recognition-technologies> (accessed 3.1.26).
- Krijnen, T., Singh, C., Villagrana, C., Schultz, R., 2025. IfcOpenShell [WWW Document]. GitHub. URL <https://github.com/IfcOpenShell> (accessed 27.11.25).
- Kuckartz, U., Rädiker, S., 2024. Fokussierte Interviewanalyse mit MAXQDA: Schritt für Schritt, 2nd ed. Springer Fachmedien, Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-40212-9>
- Li, A., Wong, P.K.-Y., Tao, X., Ma, J., Cheng, J.C.P., 2025. An interactive system for 3D spatial relationship query by integrating tree-based element indexing and LLM-based agent. *Adv. Eng. Inform.* 66, 103375. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2025.103375>
- Li, R.Y.M., 2019. Construction Safety Informatics. Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-5761-9>
- Li, S., Wang, J., Xu, Z., 2024. Automated compliance checking for BIM models based on Chinese-NLP and knowledge graph: an integrative conceptual framework. *Eng. Constr. Archit. Manag.* 32, 3832–3856. <https://doi.org/10.1108/ECAM-10-2023-1037>
- Llama, 2025. Industry Leading, Open-Source AI | Llama [WWW Document]. Ind. Lead. Open-Source AI Llama. URL <https://www.llama.com/> (accessed 26.12.25).

Madireddy, S., Gao, L., Din, Z., Kim, K., Senouci, A., Han, Z., Zhang, Y., 2025. Large Language Model-Driven Code Compliance Checking in Building Information Modeling, arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.20551>

Meier, D., Bächli, M., Niemann, S., 2024. Sicherheitsbarometer 2024: Sicherheitsniveau in Haus und Freizeit. BFU, Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern. <https://doi.org/10.13100/BFU.2.538.01.2024>

Mendonça, E.A. de, Ferreira, S.L., 2024. Use case for Automated Code Compliance Checking of Accessibility Rules in BIM models using the IDS standard., in: Proceedings of the 41st International Conference of CIB W78. Presented at the International Conference of CIB W78, Marrakesh, Morocco.

Niemann, S., Stürmer, Y.A., Ellenberger, L., Meier, D., 2025. Status 2025: Statistik der Nichtberufsunfälle und des Sicherheitsniveaus in der Schweiz. BFU, Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern. <https://doi.org/10.13100/BFU.2.559.01.2025>

Nobs, M., 2025. Fachgespräch BFU.

Nuyts, E., Bonduel, M., Verstraeten, R., 2024. Comparative analysis of approaches for automated compliance checking of construction data. Adv. Eng. Inform. 60, 102443. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102443>

OpenAI, 2025a. OpenAI [WWW Document]. URL <https://openai.com/de-DE/> (accessed 26.12.25).

OpenAI, 2025b. Custom GPTs - Resource [WWW Document]. OpenAI Acad. URL <https://academy.openai.com/public/clubs/work-users-ynjqu/resources/custom-gpts> (accessed 27.12.25).

OpenAI, 2025c. GPT-5.1: Ein intelligenteres, stärker dialogorientiertes ChatGPT [WWW Document]. GPT-5.1. URL <https://openai.com/de-DE/index/gpt-5-1/> (accessed 27.12.25).

SN EN ISO 19650-1, 2020. Organisation von Daten zu Bauwerken - Informationsmanagement mit BIM - Teil 1: Konzepte und Grundsätze (ISO 19650-1:2018), SIA, Zürich.

Pauwels, P., van den Bersselaar, E., Verhelst, L., 2024. Validation of technical requirements for a BIM model using semantic web technologies. Adv. Eng. Inform. 60, 102426. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102426>

Pfeiffer, D., 2024. Entwicklung von Prüfregeleln zur (teil-)automatischen Bestimmung und Überprüfung von Brandabschnitten (Masterthesis). Technische Universität Wien.

Preidel, C., Borrmann, A., Beetz, J., 2021. Prüfung der Einhaltung von Normen und Richtlinien mittels BIM, Springer Fachmedien, in: Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (Eds.), Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Springer Fachmedien, Wiesbaden, pp. 443–462. https://doi.org/10.1007/978-3-658-33361-4_23

- Sacks, R., Lee, G., Burdi, L., Bolpagni, M., 2025. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers, 4th ed, BIM Handbook. John Wiley & Sons, Ltd, Hoboken, New Jersey.
<https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Schmid, R., 2025. Fachgespräch BFU.
- Schultz, R., Villagrasa, C., Singh, C., Krijnen, T., 2025. Bonsai - OpenBIM with Blender [WWW Document]. URL <https://bonsaibim.org/> (accessed 26.12.25).
- Shen, S., 2025. Layout Parser [WWW Document]. Layout Parser. URL <https://layout-parser.github.io/> (accessed 26.12.25).
- Smith, R., 2007. An Overview of the Tesseract OCR Engine, in: Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007). Presented at the Ninth International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2007), pp. 629–633.
<https://doi.org/10.1109/ICDAR.2007.4376991>
- Streamlit, 2025. Get started with Streamlit - Streamlit Docs [WWW Document]. URL <https://docs.streamlit.io/> (accessed 30.12.25).
- Suhr, J., 1999. The choosing by advantages decision making system. Quorum, Westport, Conn.
- Wälchli, T.-B., 2024. Baubewilligung mit digitalen Bauwerksmodellen. Ein neuer Verfahrensprozess (Masterthesis). Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik FHNW, Muttenz.
- Wartmann, C., 2025. Fachgespräch AidOCR.
- Will, L., Sidiropoulos, C., 2025. Tesseract für Windows [WWW Document]. Tesseract_Dokumentation. URL https://ub-mannheim.github.io/Tesseract_Dokumentation/Tesseract_Doku_Windows.html (accessed 26.12.25).
- Wimmer, R., Niels Bartels, Tobias Maile, 2025. Next Generation BIM - Für Praxis und Lehre, 1st ed. bSD Verlag, Schiffbauerdamm 40, 10117 Berlin.
- Zdanowicz, S., 2024. Modellbasierte Überprüfung baurechtlicher und bautechnischer Bestimmungen mittels IFC (Masterthesis). Technische Universität Wien.
- Zech, P., Burger, P., Hammes, S., Geisler-Moroder, D., Brey, R., 2024. BIMReason: Validating BIM model correctness. Bauphysik 46, 332–339. <https://doi.org/10.1002/bapi.202400035>

Abbildungsverzeichnis

Alle Grafiken, Screenshots und Bilder in dieser Arbeit wurden von den Autoren selbst erstellt, sofern nicht anders angegeben. Externe Abbildungen sind entsprechend gekennzeichnet, um die Quellen eindeutig nachzuvollziehen.

<i>Abbildung 1: Konzeptionelle Einordnung der Masterthesis</i>	3
<i>Abbildung 2: Triple-Diamond-Modell als Forschungsrahmen der Arbeit (eigene Darstellung, in Anlehnung an Design Council, 2025)</i>	6
<i>Abbildung 3: Double-Diamond-Zoom-in zur methodischen Vertiefung (eigene Darstellung, in Anlehnung an Design Council, 2025)</i>	7
<i>Abbildung 4: Methodisches Vorgehen der Standortanalyse</i>	8
<i>Abbildung 5: Zweispuriger Proof of Concept-Ansatz</i>	9
<i>Abbildung 6: Übersicht der finalen Produkte der Masterthesis</i>	10
<i>Abbildung 7: Berücksichtigung der BFU-Empfehlungen in Planungsprozessen (Power BI)</i>	16
<i>Abbildung 8: Gründe für die Nichtberücksichtigung der BFU-Empfehlungen (Power BI)</i>	17
<i>Abbildung 9: Zentrale Hürden bei der Umsetzung der BFU-Empfehlungen (Power BI)</i>	17
<i>Abbildung 10: Berücksichtigung der BFU-Empfehlungen nach beruflicher Funktion (Power BI)</i>	18
<i>Abbildung 11: Erwartete Wirkung automatisierter BFU-Prüfungen in frühen Projektphasen (Power BI)</i>	18
<i>Abbildung 12: Wordcloud zu unterstützenden Massnahmen bei der Umsetzung der BFU-Empfehlungen</i>	19
<i>Abbildung 13: Berücksichtigung der BFU-Empfehlungen nach Berufserfahrung (Power BI)</i>	19
<i>Abbildung 14: Struktur des Fachgesprächsleitfadens</i>	20
<i>Abbildung 15: Hierarchisches Subcode-Modell des aktuellen Standes (MAXQDA)</i>	21
<i>Abbildung 16: Hierarchisches Subcode-Modell des morgigen Standes (MAXQDA)</i>	21
<i>Abbildung 17: Selbsteinschätzung des Reifegrads BFU intern</i>	23
<i>Abbildung 18: Roadmap mit möglichen Implementierungsstufen bis 2030</i>	39
<i>Abbildung 19: Konfiguration eines prototypischen Custom-GPT</i>	48
<i>Abbildung 20: Finaler Stand des Hinweisfeldes des Custom BFU GPT mit definierten Analyse- und Verhaltensregeln</i>	49
<i>Abbildung 21: Exemplarische Custom-GPT-Antwort zur BFU-Plananalyse mit Detailauswertung (links) und vorläufiger Gesamtbeurteilung (rechts)</i>	50
<i>Abbildung 22: Antworten des Custom GPT auf die IFC-Anfrage vor (links) und nach Anpassung der Hinweise (rechts)</i>	51
<i>Abbildung 23: Mögliche Importquellen von Datagrid</i>	54
<i>Abbildung 24: Tabellarische Aufschlüsselung eines BFU-Empfehlungsdokuments (PDF) in Datagrid</i>	55
<i>Abbildung 25: Basisprompt mit Wissensquellen (links) und laufendem Analyseprozess (rechts) in Datagrid</i>	55
<i>Abbildung 26: Antwort von Datagrid auf eine Plananfrage</i>	56
<i>Abbildung 27: Datagrid-Antwort nach Rückfrage</i>	56
<i>Abbildung 28: Grafisch unterstützte Konformitätsbewertung eines Plans in Datagrid</i>	57
<i>Abbildung 29: Fehlermeldung bei IFC-Datei</i>	58
<i>Abbildung 30: Metadatenübersicht eines Trimble-Connect-Beispielprojekts</i>	59
<i>Abbildung 31: Strukturierte AidOCR-Ausgabe zur Analyse eines PDF-Plans</i>	62
<i>Abbildung 32: Ergebnis der AidOCR-Planprüfung mit identifizierten Abweichungen</i>	62
<i>Abbildung 33: Strukturierte AidOCR-Ausgabe zur BFU-Konformitätsbewertung eines IFC-Modells</i>	63
<i>Abbildung 34: Ergebnis der AidOCR-Analyse eines IFC-Modells</i>	63
<i>Abbildung 35: AidOCR-Modell-Viewer</i>	64
<i>Abbildung 36: Grobkonzept der Systemarchitektur des BFU-Checkers</i>	68
<i>Abbildung 37: Beispielhafte Eingabedaten (links: Ausschnitt PDF-Plan; rechts: Ausschnitt IFC-Modell)</i>	69

Abbildung 38: Weboberfläche des BFU Checkers mit Eingabefeld, Upload, Hinweise und «Prüfung starten» Button 69

Abbildung 39: Apertus-Antwort auf Basis der Prüfergebnisse 70

Abbildung 40: Ausschnitt aus dem generierten JSON-File mit den Rohen Ergebnissen vor der KI Text Generierung 70

Abbildung 41: Systemarchitektur des BFU-Checkers mit zentralen Pythonmodulen und Datenflüssen 75

Abbildung 42: Codeausschnitt aus «orchestrator.py» zum Abruf der Module für die Prüfung..... 75

Abbildung 43: Links: Ausschnitt aus dem File «rules.yaml» zu den Tritthöhen. Rechts: Ausschnitt aus der Tabelle 2: Stufen, aus der BFU-Empfehlung. Quelle PDF:(Jeannotat, 2020) 76

Abbildung 44: Codeausschnitt, um numerische Werte aus den PropertySets des IFCs zu laden..... 76

Abbildung 45: Ausschnitt aus «geometry_measurements.py» zur Bestimmung von Geländer- oder Brüstungshöhen. 77

Abbildung 46: Code Teil aus «vision_plan_check.py» um mit «pdfplumber» Schlüsselwörter zu sammeln. 77

Abbildung 47: Code Teil bei welchem Tesseract aufgerufen wird, um von einem Bild Daten zu erhalten 78

Abbildung 48: Teilabschnitt zu «run_yolo_inference» aus dem File «cnn_floorplan.py»..... 78

Abbildung 49: Ausschnitt aus dem Code von «vision_fusion.py» wo mit «fuse_cnn_ocr» die Resultate der Text Erkennung mit den erkannten Elementen verknüpft. 78

Abbildung 50: Kompletter Code des Python Files «ingest_bfu_pdfs.py» 79

Abbildung 51: Kompletter Code vom File «nl_router.py»..... 80

Abbildung 52: Start des Codes vom «llm_client.py» File mit Apertus LLM Verknüpfung und der «call_llm» Funktion 81

Abbildung 53: Funktion im Code von «answer_builder.py» welche die Ergebnisse gemäss gestellter Frage filtert.... 81

Abbildung 54: Aus dem File «answer_builder.py» ersichtliche Code der vorbereitenden Variablen für den Prompt. ... 82

Abbildung 55: Aufbau des Prompt Strings in «answer_builder.py» 83

Abbildung 56: Code Teil für die Darstellung der Weboberfläche des BFU-Checkers..... 84

Abbildung 57: Prozessübersicht von Eingabe bis Antwortgenerierung..... 85

Abbildung 58 Beispielhafte Bewertung von Treppen und Geländern mit BFU-Grenzwerten..... 86

Abbildung 59: Fehlklassifikation einer Tritthöhe durch KI zu den Tritthöhen in den Geschossen 3 bis 7..... 87

Abbildung 60: Ausschnitt aus dem JSON-File, der zeigt, dass die Tritthöhe innerhalb des zulässigen Bereichs ist... 87

Abbildung 61: Handlungsempfehlung zur schrittweisen Einführung eines BFU-Assistenzsystems 94

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Priorisierte Entwicklungsfelder zur Digitalisierung der BFU-Empfehlungen.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabelle 2: Aufschlüsselung der Bewertungskriterien der CBA-Analyse.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabelle 3: Gewichtung und Punkteverteilung der CBA-Bewertungskriterien.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabelle 4: Ergebnisse der CBA-Analyse.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabelle 5: Zusammenfassung zentraler Erkenntnisse aus den Custom-GPT-Tests.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabelle 6: Zusammenfassung zentraler Erkenntnisse aus den Datagrid-Tests.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabelle 7: Zusammenfassung zentraler Erkenntnisse aus den AidOCR-Tests.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabelle 8: Zusammenfassung zentraler Erkenntnisse aus dem selbst entwickelten BFU-Checker.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabelle 9: Vergleich von Stärken und Limitationen der untersuchten Systeme.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabelle 10: Übersicht der eingesetzten digitalen Hilfsmittel.....</i>	<i>IX</i>

Hilfsmittelverzeichnis

Im der folgenden Tabelle 10 wird eine vollständige Übersicht aller in dieser Masterarbeit eingesetzten digitalen Hilfsmittel dargestellt. Aufgeführt sind jeweils das verwendete Tools, die entsprechende Stelle(n) in der Arbeit sowie die Art des Einsatzes.

Tabelle 10: Übersicht der eingesetzten digitalen Hilfsmittel

Assistenzsystem	Stelle(n) in der Arbeit	Art des Einsatzes
Adobe InDesign	Kapitel 7.1, Anhang	Erstellen und Layouten der Handlungsempfehlung
Adobe Photoshop	Kapitel 7.1, Anhang	Erstellen von Icons und Hintergrund der Handlungsempfehlung
Anaconda	Kapitel 6.4	Packet und Umgebungsmanager, Ausführen des Codes
Apertus LLM	Kapitel 6.4	Open Source LLM mit API-Schnittstelle für Textausgabe des «BFU-Checker»
ChatGPT 5.1 Pro / 5.2 Pro	Alle Kapitel, Anhang	Übersetzungen, Synonymsuche, Formulierungshilfe, Kürzen von Textstellen, Dokumentenanalyse, Drittmeinung, Kernaussagen extrahieren, Basis für Custom GPT Tool Test, Codeschreiben, Debugging, Erstellen von Grafiken, Erstellen von Icons, RGB zu HEX Umrechnungen
DeepL	Alle Kapitel, Anhang	Übersetzungen
DeepL Write	Alle Kapitel, Anhang	Formulierungshilfe, Überarbeitung verschiedener Textabschnitte
Duden-Mentor	Alle Kapitel, Anhang	Rechtschreibprüfung
Flaticon	Kapitel 1.2, 2.1, 2.2, 6.4, 7.1, Anhang	Recherche und Inspiration für Erstellung der Icons
Gemini Advanced	Alle Kapitel, Anhang	Übersetzungen, Synonymsuche, Formulierungshilfe, Kürzen von Textstellen, Dokumentenanalyse, Drittmeinung
GitHub	Kapitel 6.4	Recherche für Entwicklung «BFU-Checker», Repositories nutzen
Google Scholar	Alle Kapitel	Literaturrecherche gesamte Arbeit
MaxQDA inkl. AI-Assist	Kapitel 4.3	Codierung und Auswertung der drei Fachgespräche, KI-Assistenz bei der Generierung von Sub-Codes für Vordefinierte Leitthemen, Erstellung von Hierarchischen Subcode-Modellen

Verzeichnisse

Assistenzsystem	Stelle(n) in der Arbeit	Art des Einsatzes
Microsoft Excel	Kapitel 5.2, Anhang	Erstellen der CBA-Tabelle
Microsoft Forms	Kapitel 4.2, Anhang	Tool zur Durchführung der Umfrage unter Fachplanenden
Microsoft Power BI	Kapitel 4.2	Erstellen von Analysegrafiken aus den MS Forms Umfragedaten
Microsoft PowerPoint	Alle Kapitel	Erstellen von Grafiken
Microsoft Teams	Nicht im Text ersichtlich	Dokumentenablage, Kanbanboard, Mirointegration, Austausch mit betreuenden Personen, Durchführung von den drei Fachgesprächen mit den BFU internen Personen. Austausch mit Gründer von AidOCR
Microsoft Word	Alle Kapitel, Anhang	Dokumentation der gesamten Arbeit
Miro	Nicht direkt in der Thesis ersichtlich	Zum Planen und Organisieren der Arbeit
NoScribe	Nicht direkt in der Thesis ersichtlich	Transkriptionshilfe der drei Fachgespräche mit der BFU für Basis von Auswertungstabelle
Python v. 3.12	Kapitel 6.4	Programmierungssprache
Research Gate	Alle Kapitel	Recherche Gesamte Arbeit
Research Rabbit	Alle Kapitel	Recherche Gesamte Arbeit
Stack Overflow	Kapitel 6.4	Hilfestellungen für Codedebugging
Swisscovery	Alle Kapitel	Recherche Gesamte Arbeit
Trimble Connect	Kapitel 6.3, 6.4	BIM Viewer, Tooltest Datagrid
Visual Studio Code	Kapitel 6.4	Programmierungsoberfläche (Editor) zum erstellen von Codes
Zotero	Alle Kapitel	Literaturverwaltungssoftware zum Organisieren und Zitieren von Literatur

Anhang

A Rechercheportfolio	109
B Detaillierte Fragen und Ergebnisse der MS-Forms Umfrage	120
C Fachgespräch Leitfaden	125
D Auswertungstabelle Fachgespräche	130
E Einverständniserklärungen Fachgespräche	133
F CBA Tabelle	138
H Rohe Testdaten	140
I Handlungsempfehlung	142
J Validierung BFU	144

A Rechercheportfolio

Hauptfragestellung – Suchbegriffe

Wie kann die **BFU** aktuelle Entwicklungen in der **Digitalisierung** nutzen, um ihre Empfehlungen in digitale **Bauprozesse** zu **integrieren** und damit **Sturzprävention** gezielt zu unterstützen?

	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5
Stichworte	BFU	Digitalisierung	Bauprozess	Integration	Sturzprävention
Übersetzung	Safety	Digitalization	Construction	Integration	Fall-prevention
Synonyme	Prävention	Technologie	Planung	Implementierung	Sicherheit
	Sicherheitsberatung	Innovation	Baustelle	Einbindung	Absturz
	Schutz	Automatisierung	Bauwesen	Umsetzung	Arbeitsschutz
	Beratung	Vernetzung	Prozess	Adaption	Gefahren
	Sicherheitsförderung	Daten	Koordination	Einbettung	Risiko
Schlagworte	Sicherheit	Digital	Modell	Workflow	Vorsorge
	Kampagne	Datenbank	Ausführung	Datenaustausch	Vermeidung
	Analyse	Automatik	Kollaboration	Schnittstelle	Arbeit
	Beratung	Cloud	BIM	Prozess	Schutz
	Pläne	Texterkennung	Bauwesen	IT-Sicherheit	Regeln

Bildung des Suchstrings mit AND / OR:

("BFU" OR Prävention OR Sicherheitsberatung OR Schutz OR Beratung OR Sicherheitsförderung) AND (Digitalisierung OR Digitalization OR Technologie OR Innovation OR Automatisierung OR Vernetzung OR Daten OR Datenbank OR Cloud OR Automatik)

(Integration OR Implementierung OR Einbindung OR Umsetzung OR Adaption OR Einbettung OR Workflow OR Schnittstelle OR Prozess OR Datenaustausch)

(Bauprozess OR Construction OR Planung OR Baustelle OR Bauwesen OR Prozess OR Koordination OR Modell OR Ausführung OR BIM) AND (Sturzprävention OR Fall-prevention OR Sicherheit OR Absturz OR Arbeitsschutz OR Gefahren OR Risiko OR Vorsorge OR Vermeidung OR Schutz)

(Sturzprävention OR "fall prevention" OR "fall hazard") AND (BIM OR IFC OR "building information modeling") AND (Digitalisierung OR digitalization OR automation)

("construction safety" OR "Sicherheit am Bau" OR hazard) AND (BIM OR IFC) AND ("compliance checking" OR "code compliance" OR Regelprüfung)

("safety informatics" OR Sicherheitsinformatik) AND (construction OR Bauwesen) AND (BIM OR IFC)

("engineering drawings" OR Baupläne OR "technical drawings") AND (OCR OR Texterkennung OR "computer vision") AND (BIM OR IFC OR "semantic enrichment")

Hypothese 1 – Suchbegriffe

Eine **systematische digitale Aufbereitung** der BFU-Empfehlungen erhöht die Wahrscheinlichkeit ihrer **Anwendung** in Planungs- und **Bauprozessen** signifikant.

	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5
Stichworte	Systematisch	Digital	Aufbereitung	Anwendung	Bauprozess
Übersetzung	Systematic	Digital	Processing	Implementation	Construction
Synonyme	Geordnet	Elektronisch	Strukturierung	Nutzung	Planung
	Methodisch	Virtuell	Organisation	Einsatz	Bauwesen
	Strukturiert	Technologisch	Aufschlüsselung	Verwendung	Projekt
	Analytisch	Datenbasiert	Analyse	Umsetzung	Ablauf
	Planvoll	Automatisiert	Darstellung	Implementierung	Ausführung
Schlagworte	Methode	Technologie	Daten	Effizienz	Bauphase
	Struktur	Transformation	Information	Produktivität	Koordination
	Ordnung	Digitalisierung	System	Integration	Prozess
	Konzept	Automatisierung	Inhalt	Optimierung	Umsetzung
	Vorgehen	KI	Verwaltung	Anwendung	Ablauf
Später ergänzt	Strategie	Innovation	Modell	Erfolg	Entwicklung

Bildung des Suchstrings mit AND / OR:

(Systematisch OR Systematic OR Geordnet OR Methodisch OR Strukturiert OR Analytisch OR Planvoll OR Methode OR Struktur OR Konzept OR Vorgehen OR Strategie) AND (Digital OR Digitalisierung OR Elektronisch OR Virtuell OR Technologisch OR Datenbasiert OR Automatisiert OR Technologie OR Transformation OR KI OR Innovation)

(Aufbereitung OR Processing OR Strukturierung OR Organisation OR Analyse OR Darstellung OR Daten OR Information OR System OR Modell OR Verwaltung) AND (Anwendung OR Implementation OR Nutzung OR Einsatz OR Verwendung OR Umsetzung OR Implementierung OR Effizienz OR Integration OR Optimierung OR Erfolg)

(Bauprozess OR Construction OR Planung OR Bauwesen OR Projekt OR Ablauf OR Ausführung OR Bauphase OR Koordination OR Prozess OR Umsetzung OR Entwicklung)

(Guidelines OR Empfehlungen OR recommendations) AND (Formalisation OR formalization OR "digitale Aufbereitung") AND (BIM OR IFC)

("automated compliance checking" OR Regelprüfung OR "rule checking") AND (BIM OR IFC) AND (guidelines OR requirements OR Anforderungen)

("rule-based checking" OR "design rule checking") AND (BIM OR IFC) AND (process OR workflow OR Prozess)

(NLP OR "natural language processing" OR "sprachbasierte") AND (BIM OR IFC) AND (requirements OR Anforderungen) AND (compliance OR checking)

Hypothese 2 – Suchbegriffe

Offene Standards wie z. B. IFC, IDS oder BCF sind geeignete Instrumente, um sicherheitsrelevante Anforderungen der BFU maschinenlesbar und prüfbar zu machen.

	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5
Stichworte	Standard	IFC	Anforderungen	Maschinenlesbar	Prüfbar
Übersetzung	Standard	Industry Foundation Classes	Requirements	Machine-readable	Verifiable
Synonyme	IDS	Datenformat	Vorgaben	Automatisiert	Kontrollierbar
	Richtlinie	Datenmodell	Kriterien	Digital	Bewertbar
	Format	Austauschformat	Bedingungen	Kodiert	Testbar
	Offenheit	BCF	Spezifikationen	Algorithmisch	Validierbar
	Open Source	Mapping	Empfehlungen	Lesbar	Überprüfbar
Schlagworte	Interoperabilität	BIM	Sicherheit	Daten	Qualität
	Standardisierung	Modellierung	Vorgabe	Digitalisierung	Kontrolle
	Normung	Bauinformatik	Spezifikation	Automatisierung	Verifikation
	Richtlinie	Bauwesen	Regelwerk	Informationsaustausch	Nachweis
	Framework	Planung	Parameter	Kodierung	Bewertung
Später ergänzt	Schnittstelle	Austausch	Vorschrift	Prozess	Analyse

Bildung des Suchstrings mit AND / OR:

(Standard OR Offenheit OR IDS OR Richtlinie OR Format OR Open-Source OR Standardisierung OR Normung OR Framework OR Schnittstelle) AND (IFC OR "Industry Foundation Classes" OR Datenformat OR Datenmodell OR Austauschformat OR BCF OR Mapping OR BIM OR Modellierung OR Bauinformatik OR Planung OR Austausch)

(Anforderungen OR Requirements OR Vorgaben OR Kriterien OR Bedingungen OR Spezifikationen OR Empfehlungen OR Sicherheit OR Vorgabe OR Spezifikation OR Regelwerk OR Parameter OR Vorschrift) AND (Maschinenlesbar OR "Machine-readable" OR Automatisiert OR Digital OR Kodiert OR Algorithmisch OR Lesbar OR Daten OR Digitalisierung OR Automatisierung OR Informationsaustausch OR Kodierung OR Prozess)

(Prüfbar OR Verifiable OR Kontrollierbar OR Bewertbar OR Testbar OR Validierbar OR Überprüfbar OR Qualität OR Kontrolle OR Verifikation OR Nachweis OR Bewertung OR Analyse)

(IFC OR openBIM) AND (IDS OR "Information Delivery Specification" OR BCF) AND (validation OR Validierung OR checking)

(IDS OR "Information Delivery Specification") AND (Anforderungen OR requirements OR "model requirements") AND (IFC OR BIM)

("open standards" OR "offene Standards") AND (BIM OR IFC) AND (compliance OR checking OR prüfbar)

("semantic web" OR Ontologie OR ontology) AND (IFC OR BIM) AND (requirements OR Anforderungen) AND validation

Hypothese 3 – Suchbegriffe

Ein **Proof-of-Concept** kann veranschaulichen, wie durch den Einsatz **automatisierter Prüfverfahren** **Planungsfehler** in **frühen Projektphasen** reduziert und damit Sicherheitsdefizite verringert werden können.

	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5
Stichworte	Proof-of-Concept	Automatisierung	Prüfverfahren	Planungsfehler	Projektphasen
Übersetzung	Proof of Concept	Automation	Verification process	Design error	Project phase
Synonyme	PoC	Automatik	Kontrolle	Entwurfsfehler	Entwurfsphase
	Machbarkeitsstudie	Prozessautomatik	Validierung	Konstruktionsfehler	Planungsphase
	Konzeptnachweis	Robotik	Inspektion	Koordinationsfehler	Entwicklungsphase
	Testmodell	Algorithmus	Überprüfung	Fehlplanung	Startphase
	Demonstration	KI	Analyse	Irrtum	Konzeptphase
Schlagworte	Prototyp	Workflow	Qualitätssicherung	Planung	Frühphase
	Konzept	Effizienz	Test	Koordination	Projektstart
	Experiment	Software	Simulation	Fehler	Projektbeginn
	Nachweis	Automatisch	Kontrolle	Risiko	Konzeptentwicklung
	Veranschaulichung	Technologie	Bewertung	Mangel	Entwurfentwicklung

Bildung des Suchstrings mit AND / OR:

("Proof-of-Concept" OR PoC OR Machbarkeitsstudie OR Konzeptnachweis OR Testmodell OR Demonstration OR Prototyp OR Konzept OR Experiment OR Nachweis OR Veranschaulichung) AND (Automatisierung OR Automation OR Automatik OR Prozessautomatik OR Robotik OR Algorithmus OR KI OR Workflow OR Effizienz OR Software OR Technologie)

(Prüfverfahren OR "Verification process" OR Kontrolle OR Validierung OR Inspektion OR Überprüfung OR Analyse OR Qualitätssicherung OR Test OR Simulation OR Kontrolle OR Bewertung) AND (Planungsfehler OR "Design error" OR Entwurfsfehler OR Konstruktionsfehler OR Koordinationsfehler OR Fehlplanung OR Irrtum OR Planung OR Risiko OR Fehler OR Mangel)



(Projektphase OR "Project phase" OR Entwurfsphase OR Planungsphase OR Entwicklungsphase OR Startphase OR Konzeptphase OR Frühphase OR Projektstart OR Projektbeginn OR Konzeptentwicklung OR Entwurfentwicklung)



(LLM OR "large language model" OR Sprachmodell) AND (BIM OR IFC) AND ("compliance checking" OR "code compliance" OR Regelprüfung)



(LLM OR "large language model") AND (ontology OR Ontologie OR "knowledge graph") AND (BIM OR IFC) AND compliance



("computer vision" OR "deep learning" OR CNN) AND (Baupläne OR "engineering drawings") AND (OCR OR Texterkennung OR "symbol detection")



("hazard recognition" OR Gefährdungserkennung OR "fire safety" OR Brandschutz) AND (LLM OR "large language model") AND compliance



Suchkanal	Suchanfrage			☆☆☆
Google Scholar Hauptfragestellung	("BFU" OR Prävention OR Sicherheitsberatung OR Schutz OR Beratung OR Sicherheitsförderung) AND (Digitalisierung OR Digitalization OR Technologie OR Innovation OR Automatisierung OR Vernetzung OR Daten OR Datenbank OR Cloud OR Automatik) AND (Integration OR Implementierung OR Einbindung OR Umsetzung OR Adaption OR Einbettung OR Workflow OR Schnittstelle OR Prozess OR Datenaustausch) AND (Bauprozess OR Construction OR Planung OR Baustelle OR Bauwesen OR Prozess OR Koordination OR Modell OR Ausführung OR BIM) AND (Sturzprävention OR Fall-prevention OR Sicherheit OR Absturz OR Arbeitsschutz OR Gefahren OR Risiko OR Vorsorge OR Vermeidung OR Schutz) (Sturzprävention OR "fall prevention" OR "fall hazard") AND (BIM OR IFC OR "building information modeling") AND (Digitalisierung OR digitalization OR automation) ("construction safety" OR "Sicherheit am Bau" OR hazard) AND (BIM OR IFC) AND ("compliance checking" OR "code compliance" OR Regelprüfung) ("safety informatics" OR Sicherheitsinformatik) AND (construction OR Bauwesen) AND (BIM OR IFC) ("engineering drawings" OR Baupläne OR "technical drawings") AND (OCR OR Texterkennung OR "computer vision") AND (BIM OR IFC OR "semantic enrichment") NOT (Automobilindustrie OR Gaming OR Medizin OR Arzt OR Gesundheit OR Erkrankung OR Spital OR Psychologie)	260'000 Seit 2021: 19'600	DE / EN	Einige sehr gute und Relevante Treffer Viele neue Spannende Artikel mit verwandten Themen. BIM for Safety: Applying Real-Time Monitoring Technologies to Prevent Falls from Height in Construction (2025) The Use of Digital Technologies in Construction Safety: A Systematic Review (2025) Digital technologies in construction: A systematic mapping review of evidence for improved occupational health and safety (2023) Li, H., Zhang, J., 2024. Information Extraction for Semantic Enrichment of BIM for Bridges Sacks et al., 2025. BIM Handbook Eastman et al., 2009. Automatic rule-based checking of building designs. Mendonça, E.A. de, Ferreira, S.L., 2024. Use case for Automated Code Compliance Checking of Accessibility Rules in BIM models using the IDS standard Nuyts, E., Bonduel, M., Verstraeten, R., 2024. Comparative analysis of approaches for automated compliance checking of construction data. Jia, L., et al. 2025. A Semantic Web and IFC-Based Framework for Automated BIM Compliance Checking (abgelegt in Zotero)

Suchkanal	Suchanfrage			☆☆☆
Google Scholar H1	(Systematisch OR Systematic OR Geordnet OR Methodisch OR Strukturiert OR Analytisch OR Planvoll OR Methode OR Struktur OR Konzept OR Vorgehen OR Strategie) AND (Digital OR Digitalisierung OR Elektronisch OR Virtuell OR Technologisch OR Datenbasiert OR Automatisiert OR Technologie OR Transformation OR KI OR Innovation) AND (Aufbereitung OR Processing OR Strukturierung OR Organisation OR Analyse OR Darstellung OR Daten OR Information OR System OR Modell OR Verwaltung) AND (Anwendung OR Implementation OR Nutzung OR Einsatz OR Verwendung OR Umsetzung OR Implementierung OR Effizienz OR Integration OR Optimierung OR Erfolg) AND (Bauprozess OR Construction OR Planung OR Bauwesen OR Projekt OR Ablauf OR Ausführung OR Bauphase OR Koordination OR Prozess OR Umsetzung OR Entwicklung) (Guidelines OR Empfehlungen OR recommendations) AND (Formalisation OR formalization OR "digitale Aufbereitung") AND (BIM OR IFC) ("automated compliance checking" OR Regelprüfung OR "rule checking") AND (BIM OR IFC) AND (guidelines OR requirements OR Anforderungen) ("rule-based checking" OR "design rule checking") AND (BIM OR IFC) AND (process OR workflow OR Prozess) NLP OR "natural language processing" OR "sprachbasierte") AND (BIM OR IFC) AND (requirements OR Anforderungen) AND (compliance OR checking) NOT (Automobilindustrie OR Gaming OR Medizin OR Arzt OR Gesundheit OR Erkrankung OR Spital OR Psychologie)	5'999'000 seit 2021: 79'700	DE / EN	Relevante Treffer, höhere Flughöhe Industrie 4.0, Verknüpfung Technologie Prozessmanagement aber durchaus spannende Artikel. Buch: Digitale Tranformation strategisch steuern: Vom Zufallstreffer zum Systematischen vorgehen (2019) Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment (2020) Li, Rita Yi Man – Construction Safety Informatics (Springer, Singapore 2019) Amor & Dimyadi, 2021. The promise of automated compliance checking. Preidel et al., 2021. Prüfung der Einhaltung von Normen und Richtlinien mittels BIM. Guo, D., et al., 2021. A Semantic Approach for Automated Rule Compliance Checking in Construction Industry. Li, S., et al., 2024. Automated compliance checking for BIM models based on Chinese-NLP and knowledge graph: an integrative conceptual framework. Chen, N., et al., 2024. Automated Building Information Modeling Compliance Check through a Large Language Model Combined with Deep Learning and Ontology (abgelegt in Zotero)

Suchkanal	Suchanfrage			☆☆☆
Google Scholar H2	(Standard OR Offenheit OR IDS OR Richtlinie OR Format OR Open-Source OR Standardisierung OR Normung OR Framework OR Schnittstelle) AND (IFC OR "Industry Foundation Classes" OR Datenformat OR Datenmodell OR Austauschformat OR BCF OR Mapping OR BIM OR Modellierung OR Bauinformatik OR Planung OR Austausch) AND (Anforderungen OR Requirements OR Vorgaben OR Kriterien OR Bedingungen OR Spezifikationen OR Empfehlungen OR Sicherheit OR Vorgabe OR Spezifikation OR Regelwerk OR Parameter OR Vorschrift) AND (Maschinenlesbar OR "Machine-readable" OR Automatisiert OR Digital OR Kodiert OR Algorithmisch OR Lesbar OR Daten OR Digitalisierung OR Automatisierung OR Informationsaustausch OR Kodierung OR Prozess) AND (Prüfbar OR Verifiable OR Kontrollierbar OR Bewertbar OR Testbar OR Validierbar OR Überprüfbar OR Qualität OR Kontrolle OR Verifikation OR Nachweis OR Bewertung OR Analyse) (IFC OR openBIM) AND (IDS OR "Information Delivery Specification" OR BCF) AND (validation OR Validierung OR checking) (IDS OR "Information Delivery Specification") AND (Anforderungen OR requirements OR "model requirements") AND (IFC OR BIM) ("open standards" OR "offene Standards") AND (BIM OR IFC) AND (compliance OR checking OR prüfbar) ("semantic web" OR Ontologie OR ontology) AND (IFC OR BIM) AND (requirements OR Anforderungen) AND validation NOT (Automobilindustrie OR Gaming OR Medizin OR Arzt OR Gesundheit)	411'000 Seit 2021: 18'200	DE / EN	Gute Treffer zu IDS / leider nicht viel andere Open Standards Everything you need to know about Information Delivery Specification (IDS) Solibri 2024 Mendonça, E.A. de, Ferreira, S.L., 2024. Use case for Automated Code Compliance Checking of Accessibility Rules in BIM models using the IDS standard Borrmann, A., et al., 2021. Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis Cerovšek, T., Omar, M., 2025. Advancing Semantic Enrichment Compliance in BIM: An Ontology-Based Framework and IDS Evaluation Pauwels, P., et al., 2024. Validation of technical requirements for a BIM model using semantic web technologies. (abgelegt in Zotero)

Suchkanal	Suchanfrage			☆☆☆
Google Scholar H3	("Proof-of-Concept" OR PoC OR Machbarkeitsstudie OR Konzeptnachweis OR Testmodell OR Demonstration OR Prototyp OR Konzept OR Experiment OR Nachweis OR Veranschaulichung) AND (Automatisierung OR Automation OR Automatik OR Prozessautomatik OR Robotik OR Algorithmus OR KI OR Workflow OR Effizienz OR Software OR Technologie) AND (Prüfverfahren OR "Verification process" OR Kontrolle OR Validierung OR Inspektion OR Überprüfung OR Analyse OR Qualitätssicherung OR Test OR Simulation OR Kontrolle OR Bewertung) AND (Planungsfehler OR "Design error" OR Entwurfsfehler OR Konstruktionsfehler OR Koordinationsfehler OR Fehlplanung OR Irrtum OR Planung OR Risiko OR Fehler OR Mangel) AND (Projektphase OR "Project phase" OR Entwurfsphase OR Planungsphase OR Entwicklungsphase OR Startphase OR Konzeptphase OR Frühphase OR Projektstart OR Projektbeginn OR Konzeptentwicklung OR Entwurfsentwicklung) (LLM OR "large language model" OR Sprachmodell) AND (BIM OR IFC) AND ("compliance checking" OR "code compliance" OR Regelprüfung) Ontologie OR "knowledge graph") AND (BIM OR IFC) AND compliance ("computer vision" OR "deep learning" OR CNN) AND (Baupläne OR "engineering drawings") AND (OCR OR Texterkennung OR "symbol detection") NOT (Automobilindustrie OR Gaming OR Medizin OR Arzt OR Gesundheit)	158'000 Seit 2021	DE / EN	Meist gute Treffer, zudem auch relevant fürs Thema Madireddy, S., et al., 2025. Large Language Model-Driven Code Compliance Checking in Building Information Modeling Chen, N., et al., 2024. Automated Building Information Modeling Compliance Check through a Large Language Model Combined with Deep Learning and Ontology Chen, D., et al., 2025. Vision LLM-Driven Operational Hazard Recognition for Building Fire Safety Compliance Checking Kamath, U., et al., 2024. Large Language Models: A Deep Dive: Bridging Theory and Practice Li, A., et al., 2025. An interactive system for 3D spatial relationship query by integrating tree-based element indexing and LLM-based agent. Elyan, E., et al., 2020. Deep learning for symbols detection and classification in engineering drawings. Smith, R., 2007. An Overview of the Tesseract OCR Engine

Suchkanal	Suchanfrage			☆☆☆
Reseach Rabbit	<p>Paper: Digital technologies in construction: A systematic mapping review of evidence for improved occupational health and safety (2023) Newer and older References / Similar work Um verwante artikel zu finden</p>	38	EN	<p>Relevante gute Artikel zum Thema Safety und Construction und Automation</p> <p>Barriers to Digitalisation of Construction Health, Safety, and Well Being Regulations Enforcement and Compliance Checking (Umeokafor & Teizer, 2023) https://orbit.dtu.dk/files/329047959/Barriers_to_digitisation.pdf</p> <p>The Use of Digital Technologies in Construction Safety: A Systematic Review (Daniel et al., 2025)</p> <p>Automated verification of digital information models of buildings for compliance with fire safety requirements (https://www.researchgate.net/publication/382269081_RETRACTED_Automated_verification_of_digital_information_models_of_buildings_for_compliance_with_fire_safety_requirements#:~:text=functions%20%20and%20%20parameters,a%20%20data%20%20exchange)</p>
Reseach Rabbit	LLM, AI, BIM, Construction	50	EN	<p>AI gestütztes Modell Checking ist gerade Trendthema von 2025 gefühlt</p> <p>Barriers to Digitalisation of Construction Health, Safety, and Well Being Regulations Enforcement and Compliance Checking (Umeokafor & Teizer, 2023) https://orbit.dtu.dk/files/329047959/Barriers_to_digitisation.pdf</p> <p>Madireddy, S., et al., 2025. Large Language Model-Driven Code Compliance Checking in Building Information Modeling</p> <p>Digital information technologies for PtD (Farghaly et al., 2022)</p> <p>Yogana et al. (2025) – LLM-gestützte Compliance Checking in BIM (https://arxiv.org/html/2506.20551v1?utm_source=chatgpt.com)</p>
Research Rabbit	<p>Martin Fischer Automation, Safety Co-Autor oder ähnliche Artikel</p>	294	EN	<p>Viele allgemeine Pinoneer Artikel, wenige mit Safety aber doch einige Fundamente der Automation und Checking.</p> <p>Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules (Zhang et al. 2013)</p> <p>Automatic rule-based checking of building designs (Eastman et al. 2009)</p>

Suchkanal	Suchanfrage			☆☆☆
Reseach Rabbit	Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules (Zhang et al. 2013) Newer Similar Articles	936	EN	Neue Artikel gefunden welche BIM und Sicherheit verbidnen Automated rule-based safety inspection and compliance (2024) Automated Rule-Based Code Compliance Checking of Excavation Safety Using BIM (2025) An Automated Safety Checking for Staircase Hazards on BIM (2025) https://www.mdpi.com/2673-4109/6/2/27 (abgelegt in Zotero)

B Detaillierte Fragen und Ergebnisse der MS-Forms Umfrage

Übersicht über Antworten Aktiv

Antworten

42



Durchschnittliche Zeit

05:45



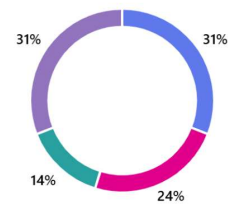
Dauer

95 Tage



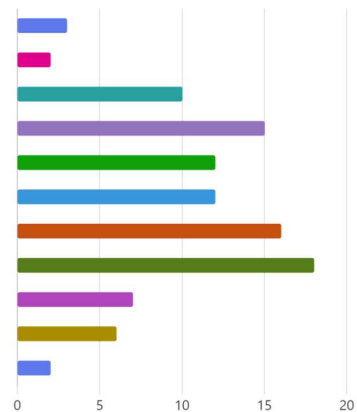
1. Berücksichtigen Sie in Ihren Projekten die BFU-Empfehlungen zur Sturzprävention?

● Ja, regelmässig	13
● Ja, gelegentlich	10
● Nein	6
● Ich kenne die BFU Empfehlungen (noch) nicht gut genug	13



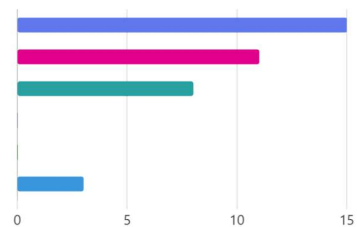
2. In welchen Projektphasen berücksichtigen Sie die BFU-Empfehlungen?

● Strategische Planung / Machbarkeit	3
● Vorstudie	2
● Vorprojekt	10
● Bauprojekt	15
● Bewilligungsverfahren	12
● Ausschreibung	12
● Ausführungsprojekt	16
● Ausführung	18
● Inbetriebnahme / Abnahme	7
● Betrieb / Nutzung	6
● Wettbewerb	2



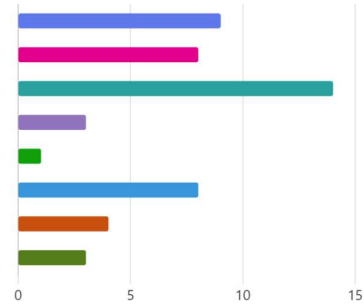
3. Welche Hilfsmittel oder Tools nutzen Sie heute, um BFU-Empfehlungen umzusetzen?

● manuelle Kontrolle von 2D-Plänen	15
● Checklisten (Excel, PDF etc.)	11
● BIM-Modell (Revit, ArchiCAD, IFC etc.)	8
● BCF (BIM Collaboration Format) Tickets	0
● Prüfsoftware (Solibri, BIMcollab etc.)	0
● Sonstiges	3



4. Warum berücksichtigen Sie die BFU-Empfehlungen zur Sturzprävention derzeit nicht?

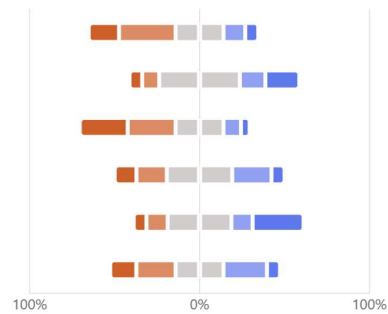
- Auftraggeber fordert BFU nicht explizit 9
- Fehlende Verbindlichkeit (vgl. SIA) 8
- Ich kenne die Inhalte nicht gut genug 14
- Keine passenden Tools oder Regelsets im Workflow 3
- Medienbrüche (z. B. Wechsel zwischen Papier, PDF und digitalen Tools) 1
- Nicht relevant für meine Projekte 8
- Zeit- oder Termindruck, andere Prioritäten 4
- Sonstiges 3



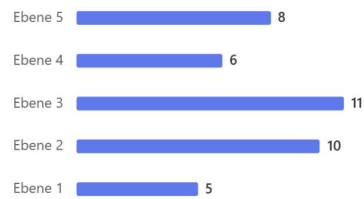
5. Bitte bewerten Sie die folgenden Hürden bei der Anwendung der BFU-Empfehlungen.

- 1 = keine Hürde
- 2
- 3
- 4
- 5 = sehr grosse Hürde

- Zeitdruck
- Fehlende Verbindlichkeit
- Medienbrüche (zb. von PDF zu Papier)
- Fehlende Tools oder Regelsets
- Fehlendes Wissen und Schulungen
- Kosten und Termindruck bei Änderungen



6. BFU-Empfehlungen sind in meinem Umfeld eher nice to have statt teil vom Standard Prozess.

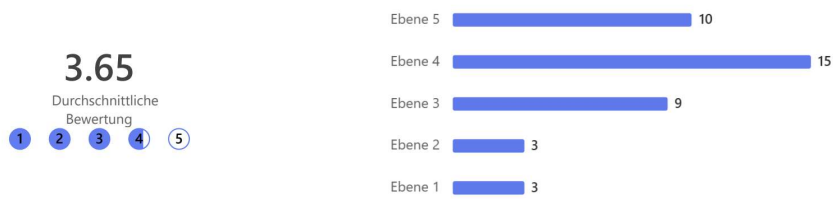


7. Setzen Sie bereits allgemein automatisierte Regelprüfungen (digital strukturierte Regeln zur automatischen Prüfung) ein?

- Ja, produktiv und regelmässig 2
- Ja, als Pilotprojekt 1
- Nein 39



8. Wie hilfreich wäre ein digitaler, maschinenlesbarer BFU-Regelkatalog? (digital strukturierte Regeln zur automatischen Prüfung)



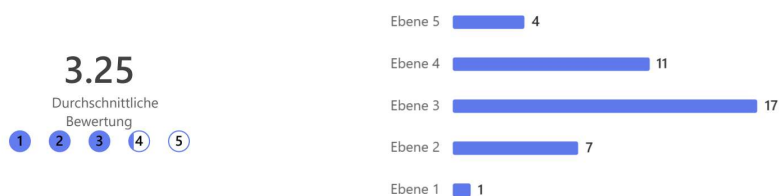
9. Was wäre für Sie am Hilfreichsten um die BFU-Empfehlungen anzuwenden?



4 Befragten (20%) antworteten Wissen für diese Frage.



10. Angenommen, es gäbe eine BFU Check Funktion in einer Prüfsoftware oder in einem CDE: Wie wahrscheinlich würden Sie diese in Ihren Standard Workflow integrieren?



11. Welche 2 bis 3 Bedingungen müssten, für diese Integration erfüllt sein?

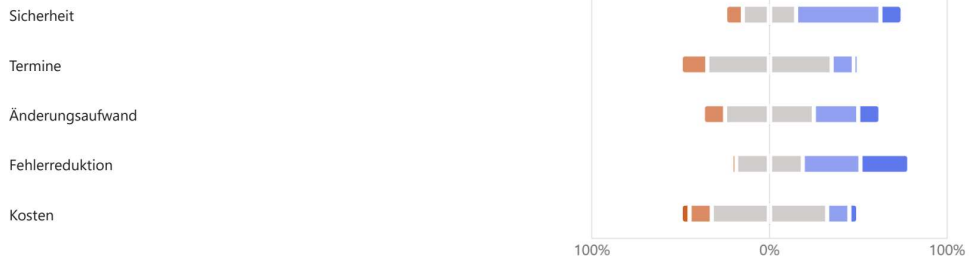


2 Befragten (8%) antworteten BFU für diese Frage.



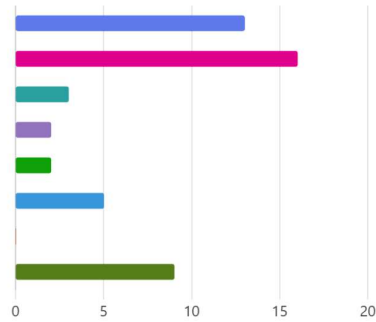
12. Welche Wirkung erwarten Sie von automatisierten BFU-Prüfungen bereits in frühen Projektphasen (z. B. im Vorprojekt)?

1 = Sehr Negativ 2 3 4 5 = Sehr Positiv



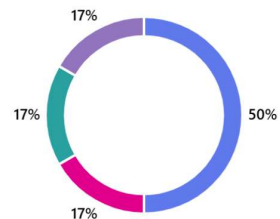
13. Funktion

- Architektin 13
- Bauingenieur:in 16
- BIM-Koordinator:in 3
- Elektroplaner:in 2
- Gebäudetechnik / HLKS 2
- Hochbauzeichner:in 5
- Tiefbauzeichner:in 0
- Sonstiges 9



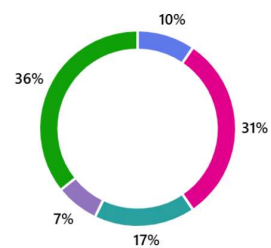
14. Erfahrung in der Praxis

- 0-5 Jahre 21
- 6-10 Jahre 7
- 11-20 Jahre 7
- Mehr als 20 Jahre 7



15. Büro- / Unternehmensgröße

- 1-5 Mitarbeitende 4
- 6-20 Mitarbeitende 13
- 21-50 Mitarbeitende 7
- 51-100 Mitarbeitende 3
- Mehr als 100 Mitarbeitende 15

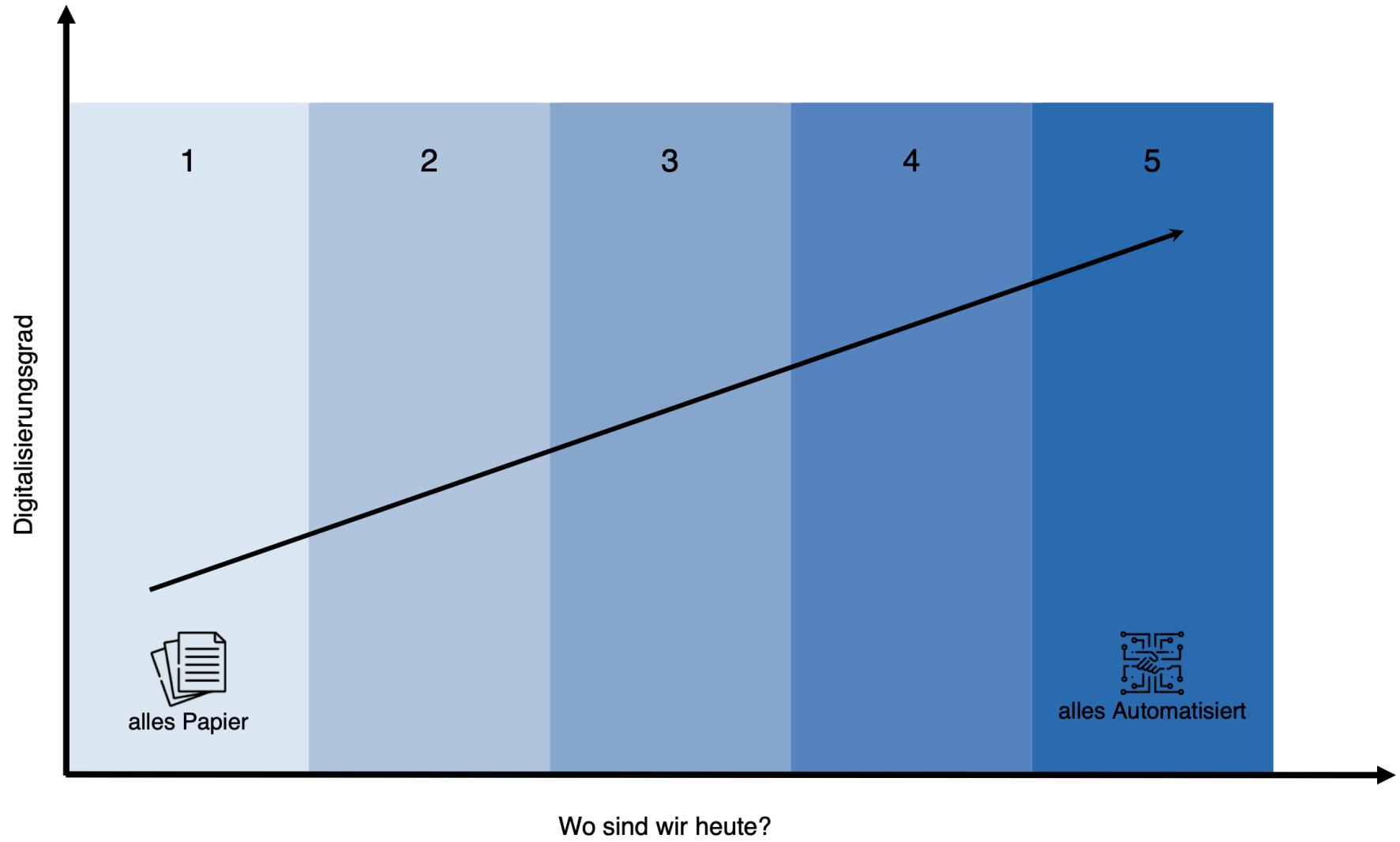


C Fachgespräch Leitfaden

Safe Buildings for Us – Die Chancen der Digitalisierung nutzen, Gebäude sicherer zu machen	
Hauptfragestellung Masterthesis	
Wie kann die BFU aktuelle Entwicklungen in der Digitalisierung nutzen, um ihre Empfehlungen in digitale Bauprozesse zu integrieren und damit Sturzprävention gezielt zu unterstützen?	
Ziel des Fachgesprächs	
Das Ziel dieses Fachgesprächs ist es, den aktuellen Stand der Digitalisierung bei der BFU zu verstehen und zu erfahren, welche Hürden und Chancen es für die Integration der Empfehlungen in digitale Bauprozesse gibt. Zudem möchten wir gemeinsam überlegen, welche Schritte für eine Roadmap sinnvoll wären und wie ein mögliches Zukunftsbild in einigen Jahren aussehen könnte.	

Einleitung	
Vorstellung	
Begrüßung und kurze Vorstellung des Forschungsthemas. Erklärung des Ziels des Fachgesprächs und der Bedeutung der individuellen Perspektiven. Hinweis darauf das die Antworten auf Wunsch anonym bleiben und die Möglichkeit, das Fachgespräch jederzeit zu unterbrechen. Erlaubnis für die Audio-Aufzeichnung einholen.	Notizen:
Einstiegsfragen	
Seit wann arbeiten Sie bei der BFU und in welcher Rolle? Welche Aufgaben decken Sie in Ihrer Funktion hauptsächlich ab?	Notizen:
Skalierbare Frage	
Wo würden sie die BFU bezüglich Digitalisierung auf dieser Skala von 1-5 Platzieren? Und wieso?	Vorbereitung: - Grafik Digitalisierungsgrad (1-5)

Digitaler Stand von heute



Hauptteil (Stand Heute)				
Thema	Erzählgenerierende Frage	Keywords – Wurden diese erwähnt?	Aufrechterhaltungs- / Steuerungsfragen	Ziel der Frage zum Thema / Bezug zur Fragestellung
Aktueller Stand / Standortbestimmung	Wie würden Sie den aktuellen Stand der Digitalisierung innerhalb der BFU beschreiben?	Digitalisierungsgrad, Reifegrad, Sicherheitsmanagement, Prozesse	<ul style="list-style-type: none"> - Wo werden aktuell digitale Tools oder Datenstrukturen eingesetzt? - Wo bestehen aus Ihrer Sicht die grössten Lücken oder Medienbrüche? - Wie würden Sie den digitalen Reifegrad auf einer Skala einschätzen? 	Erfasst den Digitalisierungsstand der BFU als Basis für Standortbestimmung und Roadmap.
Prozesse und Werkzeuge	Welche Prozesse, Datenformate und Werkzeuge nutzen Sie derzeit im Zusammenhang mit den BFU-Empfehlungen?	Integration, Schnittstellen, Standards, Datenformate	<ul style="list-style-type: none"> - Welche Software oder Plattformen sind heute im Einsatz? - Was würde die Umsetzung vereinfachen? - Welche Standards oder Tools fehlen, um die Umsetzung effizienter zu gestalten? 	Identifiziert Hindernisse und Potenziale als Basis für Handlungsfelder und PoC.
Aktuelle Umsetzung der Empfehlungen:	Wie gelangen die BFU-Empfehlungen heute in die Praxis und wo sehen Sie dabei Schwierigkeiten und Medienbrüche?	Umsetzung, Kommunikation, Prävention, Risiko	<ul style="list-style-type: none"> - In welcher Projektphase wird Sicherheit aktuell behandelt? - Welche Vorteile hätte eine frühere Integration? - Wo treten aus Ihrer Sicht die grössten Reibungsverluste auf? 	Zeigt Medienbrüche und Optimierungspotenzial zur Begründung einer frühzeitigen digitalen Integration.
Integration in digitale Bauprozesse	Wo sehen Sie Möglichkeiten, die BFU-Empfehlungen stärker in digitale Planungs- und Prüfprozesse (z. B. BIM, offene Standards) einzubinden?	Modellbasiert, offene Standards, BIM, Datenstruktur	<ul style="list-style-type: none"> - Welche Prozesse könnten davon besonders profitieren? - Welche Hürden wären am grössten? - Welche technischen oder organisatorischen Voraussetzungen wären nötig? 	Liefert Ansätze zur Digitalisierung der BFU-Empfehlungen für Roadmap und PoC.
Herausforderungen	Welche Hürden (technischer, organisatorischer oder menschlicher Art) stehen einer stärkeren Digitalisierung der BFU-Empfehlungen aktuell am meisten im Weg?	Barrieren, Akzeptanz, Ressourcen, Schnittstellen	<ul style="list-style-type: none"> - Welche Hürde wiegt am schwersten? - Wo sehen Sie den grössten Handlungsbedarf? - Wie könnten diese Hürden überwunden werden? 	Zeigt Problemfelder und Prioritäten als Grundlage für Handlungsempfehlungen.
Zusammenarbeit	Wie erleben Sie die Zusammenarbeit mit externen Akteuren (Planende, Behörden, Bauherren) beim Umgang mit den BFU-Empfehlungen und wo sehen Sie Verbesserungspotenzial?	Kommunikation, Rollenverständnis, Koordination, Schnittstellen	<ul style="list-style-type: none"> - Wie erfolgt aktuell die Abstimmung zwischen den beteiligten Akteuren? - Wo kommt es häufig zu Missverständnissen oder Informationsverlust? - Was würde die Zusammenarbeit Ihrer Meinung nach verbessern? 	Verdeutlicht Abstimmungsbedarf als Basis für organisatorische Empfehlungen in der Roadmap.

Hauptteil (Stand Morgen)				
Thema	Erzählgenerierende Frage	Keywords – Wurdendiese erwähnt?	Aufrechterhaltungs- / Steuerungsfragen	Ziel der Frage zum Thema / Bezug zur Fragestellung
Roadmap-Perspektive	Welche ersten Schritte wären aus Ihrer Sicht kurz- bis mittelfristig notwendig, um die Empfehlungen digital einsetzbar zu machen?	Automatisierbar, maschinenlesbar, Implementierung, Prioritäten	- Welche Massnahmen wären kurzfristig realisierbar? - Wo sollte die BFU mit der Digitalisierung beginnen? - Welche Unterstützung wäre dafür am wichtigsten?	Definiert kurz- und mittelfristige Schritte für die Roadmap und zeigt realistische Integrationspfade.
Innovative Ansätze	Welche Rolle könnten in Zukunft KI-Tools oder neue Technologien spielen, um die Einhaltung von BFU-Empfehlungen zu unterstützen?	KI, Automatisierung, Datenanalyse, intelligente Prüfung	- Wo sehen Sie das grösste Potenzial für KI oder Automatisierung? - Welche Risiken oder Grenzen erkennen Sie? - Haben Sie Beispiele, wo solche Technologien schon erfolgreich eingesetzt werden?	Liefert Zukunftsperspektiven und bewertet Potenziale innovativer Technologien im Sicherheitskontext.
Vision	Wie stellen Sie sich die ideale Situation in 5 Jahren vor, wenn die BFU-Empfehlungen vollständig in digitale Bauprozesse integriert und automatisiert überprüfbar sind?	Zukunftsbild, Digitalisierung, Akzeptanz, Nachhaltigkeit	- Wie sähe der Nutzen für Planende und Fachleute aus? - Welche Veränderungen erwarten Sie im Arbeitsalltag?	Erfasst das Zielbild einer digital integrierten Präventionskultur und leitet strategische Ziele ab.

Abschluss	
Rückblick	Ausblick
<ul style="list-style-type: none"> - Zusammenfassung der wichtigsten Punkte und Möglichkeit, Feedback oder Ergänzungen zu geben. - Gibt es Aspekte, die wir noch nicht angesprochen haben, die aber Ihrer Meinung nach wichtig sind? 	<ul style="list-style-type: none"> - Information über das weitere Vorgehen und wie die Ergebnisse des Fachgespräches verwendet werden. - Verabschiedung und Bedankung für die Teilnahme

D Auswertungstabelle Fachgespräche

Thema	Fachgespräch 1: Roger Schmid BFU (Sport und Freizeit), ca. 10 Jahre Erfahrung		Fachgespräch 2: Cédric Eschmann BFU (Abteilungsleiter S.+F.), ca. 15 Jahre Erfahrung		Fachgespräch 3: Markus Nobs Sicherheitsberater BFU, ca. 20 Jahre Erfahrung	
	Inhaltsanalyse	Zitat	Kernaussage	Zitat	Kernaussage	Zitat
Aktueller Stand / Standortbestimmung	«Manchmal schicken uns die Planer PDF-Pläne, manchmal IFC, aber eine einheitliche Struktur gibt es nicht.»	Aktuelle Abläufe sind teils digital, aber nicht standardisiert; Datenformate variieren stark.	«Wir sind noch nicht an einem Punkt, wo alles digital durchläuft. Vieles basiert auf persönlichem Austausch und Erfahrung.»	Digitale Durchgängigkeit fehlt, Prozesse beruhen auf individuellen Lösungen.	«Im Moment mache ich Fotos, lade sie im Büro hoch und schreibe dann meine Berichte – das ist der Ablauf.»	Dokumentation bleibt manuell; keine automatisierte Datenerfassung.
Prozesse und Werkzeuge	«Wir arbeiten mit Checklisten und Excel-Vorlagen, aber die sind nicht mit Modellen verknüpft.»	Digitale Checklisten und Planungs-Tools vereinfachen Abläufe, fehlen aber noch in etablierten Systemen.	«Es wäre schön, wenn wir nicht jedes Mal dieselben Informationen mehrfach eintragen müssten.»	Interne Prozesse sind klar strukturiert, aber stark papierbasiert; diverse Medienbrüche.	«Ich habe mein Ablauf-Chart im Büro, schreibe alles manuell um – das geht, ist aber nicht ideal.»	Prozess basiert auf Erfahrung und Nachbearbeitung, nicht auf Echtzeit-Daten.
Aktuelle Umsetzung der Empfehlungen	«Unsere Empfehlungen kommen gut an, aber sie werden nicht immer eins zu eins übernommen.»	Akzeptanz der Empfehlungen vorhanden, Umsetzung hängt von Projektbeteiligten ab.	«Die BFU-Empfehlungen werden unterschiedlich interpretiert – je nach Planer und Kanton.»	Fehlende Einheitlichkeit führt zu variabler Umsetzungspraxis.	«Manchmal wird das umgesetzt, was wir sagen, manchmal nicht – es hängt stark von Gemeinde und Budget ab.»	Umsetzung scheitert teils an politischen oder finanziellen Rahmenbedingungen.
Integration in digitale Bauprozesse	«Ideal wäre, wenn unsere Daten direkt ins Modell integriert würden – also Empfehlungen als Layer oder Property Set.»	Ziel ist BIM-Integration der Empfehlungen in Planungsmodelle.	«Wir müssen dahin kommen, dass wir mit IFC und digitalen Tools direkt arbeiten können.»	Integration erfordert standardisierte Datenmodelle und Schulung der Beteiligten.	«Wenn man ein Video oder Foto hochlädt und das System erkennt gleich, was nicht stimmt – das wäre optimal.»	Vision: Automatische Fehlererkennung durch visuelle Datenanalyse.
Herausforderungen	«Ich habe auch das Gefühl, dass dabei viele Daten verloren gehen, besonders beim Übergang von der Webseite hin zu den Planungsunterlagen»	Strukturelle Fragmentierung behindert Digitalisierung.	«Manchmal fehlt schlicht die Zeit, um sich in neue Tools einzuarbeiten.»	Zeitmangel und Ressourcenknappheit hemmen Innovation.	«Technische Hürden sind meist auch menschliche Hürden auf Entscheidungsebene.»	Akzeptanzprobleme wichtiger als technologische Grenzen.

Zusammenarbeit	«Die Zusammenarbeit mit externen Planern funktioniert, aber sie ist stark personenabhängig.»	Kooperation hängt von Kommunikationsqualität ab, nicht von Systemen. verknüpfen und als Standard im Planungsprozess zu etablieren.	«Wenn man früh eingebunden wird, klappt es – wenn man erst am Ende beigezogen wird, ist es schwierig.»	Frühe Einbindung in Planungsphase entscheidend für Wirkung.	«Ich sehe die Hürden von aussen, wir werden oft zu spät beigezogen.»	Fehlende Integration der BFU in frühe Planungsprozesse.
Roadmap-Perspektive	«Es braucht zuerst Pilotprojekte, dann kann man das System schrittweise aufbauen.»	Realistische Einführung über Test- und Evaluationsphasen.	«Kurzfristig muss man die Datenstrukturen schaffen, langfristig die Schnittstellen.»	Stufenmodell der Implementierung: Struktur vor Automation.	«Ich glaube, es braucht etwas von oben, also Bund oder Kantone, die das koordinieren.»	Top-down-Steuerung notwendig, um flächendeckende Wirkung zu erzielen.
Innovative Ansätze	«Sehr viel Potenzial liegt darin, die Inhalte individueller und bedürfnisorientierter zugänglich zu machen, damit die Leute genau das herausziehen können, was sie brauchen»	Langfristig strebt die BFU eine vollständig digitale Beratungsstruktur an, in der KI und Bildanalyse automatisch Präventionsempfehlungen ableiten – ein deutlicher Schritt in Richtung automatisierter Sicherheitsbewertung.	«Automatische Auswertung von 3D-Modellen wäre ein riesiger Schritt.»	Vision: Automatisierte Analyse der Planmodelle zur Prävention.	«Es gibt Programme, die erkennen, wo Treppen fehlerhaft sind – so etwas wäre perfekt.»	Anwendung von KI zur visuellen Fehlererkennung auf Baustellen.
Vision	«In fünf Jahren wäre ideal, wenn die Planer unsere Empfehlungen automatisch im Modell sehen.»	Zielbild: dynamische Einbindung der BFU-Empfehlungen direkt im Planungsmodell.	«Ich wünsche mir ein System, das automatisch Feedback gibt, bevor ein Fehler gebaut wird.»	Präventive, nicht reaktive Anwendung der Richtlinien.	«Ich filme ein Objekt, das System erkennt alles und zeigt Empfehlungen direkt an.»	Vollautomatisierte Integration von Erfassung und Beratung durch KI.
Was ich sonst noch sagen wollte...	«Wir dürfen das Thema nicht liegen lassen – es braucht Kontinuität, sonst verpassen wir den Anschluss.»	Nachhaltige Weiterführung der Digitalisierung entscheidend.	«Wenn wir das schaffen, kann die BFU als Vorbild für andere Bereiche dienen.»	Potenzial zur strategischen Positionierung der BFU als Innovationstreiber.	«Das wäre eine Erleichterung für alle, wenn es funktioniert – weniger Aufwand, mehr Nutzen.»	Digitalisierung soll Praxis vereinfachen und Mehrwert für Anwender schaffen.

E Einverständniserklärungen Fachgespräche

Einverständniserklärung zur Teilnahme an der studentischen Arbeit (Masterthesis)

von Aerni Roman / Mettler Patrick

Titel der Studie:

Safe Buildings for Us – Die Chancen der Digitalisierung nutzen, Gebäude sicherer zu machen

Verfasser der Masterthesis: Roman Aerni, MSc VDC Masterstudent
Patrick Mettler, MSc VDC Masterstudent

Nora Dainton / Oliver Schneider

Studienverantwortung: FHNW Campus MuttENZ
Hofackerstrasse 30
Kontaktinformation: 4132 MuttENZ
Tel. 061 228 55 55
Mail Studiengangleitung:

Informationen zur Studie:

Im Rahmen dieser Masterthesis wird untersucht, wie die Empfehlungen der Beratungsstelle für Unfallverhütung (BFU) schrittweise in digitale Bauprozesse integriert werden können, um die Sturzprävention zu verbessern.

Die Fachgespräche dienen der Erhebung qualitativer Erkenntnisse zu folgenden Themen: Digitalisierung, Informationsfluss, Rollenverständnis und Umsetzung sicherheitsrelevanter Anforderungen im Bauwesen.

Teilnahme:

Ihre Teilnahme umfasst ein etwa einstündiges Fachgespräch, das mit Ihrer Zustimmung aufgezeichnet wird. Die Teilnahme erfolgt freiwillig. Sie können das Gespräch jederzeit abbrechen, ohne Begründung.

Datenschutz und Anonymität

Die erhobenen Daten werden ausschliesslich im Rahmen dieser Masterthesis verwendet.

Alle personenbezogenen Informationen (wie Name, Kontaktdaten oder Stimme) werden vertraulich behandelt und nur mit Ihrer ausdrücklichen Zustimmung veröffentlicht.

Die inhaltlichen Aussagen aus dem Fachgespräch können in der Masterthesis **in anonymisierter Form** oder (sofern Sie unten zustimmen) **unter Nennung Ihres Namens und Ihrer Funktion** verwendet werden.

Damit bleibt Ihre Identität geschützt, sofern Sie eine Anonymisierung wünschen.

Ich wünsche eine anonyme Verwendung meiner Aussagen.

Ich stimme der namentlichen Nennung (Name und Funktion) in der Masterarbeit zu.

Die fertige Arbeit kann im internen Archiv der Hochschule veröffentlicht werden. Dabei wird gewährleistet, dass nur freigegebene oder anonymisierte Aussagen enthalten sind.

Veröffentlichung

Die Masterthesis wird im Rahmen des MSc VDC-Studiengangs eingereicht und wird im internen Hochschularchiv publiziert werden. Mit der Teilnahme sind Sie sich bewusst, dass Inhalte der Arbeit veröffentlicht werden.

Widerruf der Einwilligung

Sie können Ihre Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen. In diesem Fall werden alle Sie betreffenden Daten unverzüglich gelöscht.

Einverständniserklärung:

Ich habe die Informationen zur Studie gelesen und verstanden. Mir wurde Gelegenheit gegeben, Fragen zu stellen, die vollständig beantwortet wurden. Ich stimme der Teilnahme und der beschriebenen Datennutzung zu.

Student:

Einverständlich eingeholt von:

Roman Aerni

Cédric Eschmann

Datenschutz und Anonymität

Die erhobenen Daten werden ausschliesslich im Rahmen dieser Masterthesis verwendet.

Alle personenbezogenen Informationen (wie Name, Kontaktdaten oder Stimme) werden vertraulich behandelt und nur mit Ihrer ausdrücklichen Zustimmung veröffentlicht.

Die inhaltlichen Aussagen aus dem Fachgespräch können in der Masterthesis **in anonymisierter Form** oder (sofern Sie unten zustimmen) **unter Nennung Ihres Namens und Ihrer Funktion** verwendet werden.

Damit bleibt Ihre Identität geschützt, sofern Sie eine Anonymisierung wünschen.

Ich wünsche eine anonyme Verwendung meiner Aussagen.

Ich stimme der namentlichen Nennung (Name und Funktion) in der Masterarbeit zu.

Die fertige Arbeit kann im internen Archiv der Hochschule veröffentlicht werden. Dabei wird gewährleistet, dass nur freigegebene oder anonymisierte Aussagen enthalten sind.

Veröffentlichung

Die Masterthesis wird im Rahmen des MSc VDC-Studiengangs eingereicht und wird im internen Hochschularchiv publiziert werden. Mit der Teilnahme sind Sie sich bewusst, dass Inhalte der Arbeit veröffentlicht werden.

Widerruf der Einwilligung

Sie können Ihre Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen widerrufen. In diesem Fall werden alle Sie betreffenden Daten unverzüglich gelöscht.

Einverständniserklärung:

Ich habe die Informationen zur Studie gelesen und verstanden. Mir wurde Gelegenheit gegeben, Fragen zu stellen, die vollständig beantwortet wurden. Ich stimme der Teilnahme und der beschriebenen Datennutzung zu.

Student:

Einverständlich eingeholt von:

Roman Aerni

Markus Nobs

F CBA Tabelle

Faktor (Kriterien)	1: KI-Assistent für Planungsunterstützung	2: KI-Analyse von Plänen und Modellen	3: Standardisierte und datenbasierte Beratung	4: Direkte Einbindung (Plugin)	5: Digitale Erfassung und Auswertung
Technische Umsetzbarkeit	Att. Integration auf BFU-Webseite / Basis schon Vorhanden	Att. Technische Ansätze Vorhanden / Externe Entwicklung (aktualität)	Att. Hohe Standardkompatibilität / Offener Standard	Att. Komplexe Schnittstellen / Einbindung in Nativsoftware	Att. Forschungsansätze Vorhanden / Einfacher Einstieg
(Höher ist besser)					
Vorteil:	hoch	mittel	mittel	sehr tief	tief
Wichtigkeit:	75	50	50	0	25
Relevanz für BFU-Zielsetzung	Att. Direkter Praxisbezug / Objektspezifisch	Att. Automatisierte Plan- und Modellkontrollen / Zeitersparnis	Att. Maschinenlesbar / Nachhaltig	Att. Flächendeckende Lösung / Frühe Planungseinbindung	Att. Direkte Erkennung am Bau / Automatisierte Dokumentation
(Höher ist besser)					
Vorteil:	hoch	sehr hoch	mittel	mittel	mittel
Wichtigkeit:	75	100	50	50	50
Relevanz für Planende	Att. Direkte Abfrage / Empfehlungen schnell auffinden	Att. Analyse von Planungsstand / Visuelle Objektspezifisches	Att. Offener Standard / Anpassbar	Att. Produktivitätssteigerung / schnell abrufbar	Att. Eigene Kontrollen am Bau / Tiefe Hardware kosten
(Höher ist besser)					
Vorteil:	hoch	sehr hoch	mittel	hoch	tief
Wichtigkeit:	75	100	50	75	25
Aufwand / Ressourcenbedarf	Att. Mittlerer Aufwand / Tiefe Ressourcen nach Implementierung	Att. Hoher Aufwand / Mittlerer Unterhaltsaufwand	Att. Mittlerer Aufwand / Hoher Unterhaltsaufwand	Att. Sehr hoher Aufwand / Sehr hoher Unterhaltsaufwand	Att. Sehr hoher Aufwand / Sehr hoher Unterhaltsaufwand
(Tiefer ist besser)					
Vorteil:	mittel	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch
Wichtigkeit:	50	25	25	0	0
Langfristiger Nutzen / Skalierbarkeit	Att. Sehr langer Nutzen / Nahezu Unendliche Skalierbarkeit	Att. Zukunftstechnologie / Nahezu Unendliche Skalierbarkeit	Att. Mittelfristiger Nutzen / Mittlere Skalierbarkeit	Att. Langfristiger Nutzen / Aufwändige Skalierbarkeit	Att. Zukunftstechnologie / Mittlere Skalierbarkeit
(Höher ist besser)					
Vorteil:	hoch	hoch	mittel	tief	mittel
Wichtigkeit:	75	75	50	25	50
Innovationsgrad	Att. Mittlerer Innovationsgrad / Weitverbreitet	Att. Hoher Innovationsgrad / Erste Software	Att. mittlerer Innovationsgrad / Version 1.0 (Juni 2024)	Att. tiefer Innovationsgrad / Etabliert	Att. Hoher Innovationsgrad / Aktuell in der Pilotphase
(Höher ist besser)					
Vorteil:	mittel	hoch	mittel	tief	hoch
Wichtigkeit:	50	75	50	25	75
Total IofAs	400	425	275	175	225

H Rohe Testdaten

Folgende Rohdaten wurden für die Tooltests primär verwendet:

- H1 BFU_Geländer und Brüstungen.pdf
- H2 BFU_Treppen.pdf
- H3 BFU-Konformer Detailplan
- H4 BFU-Konformes Modell
- H5 Nicht BFU-Konformes Modell

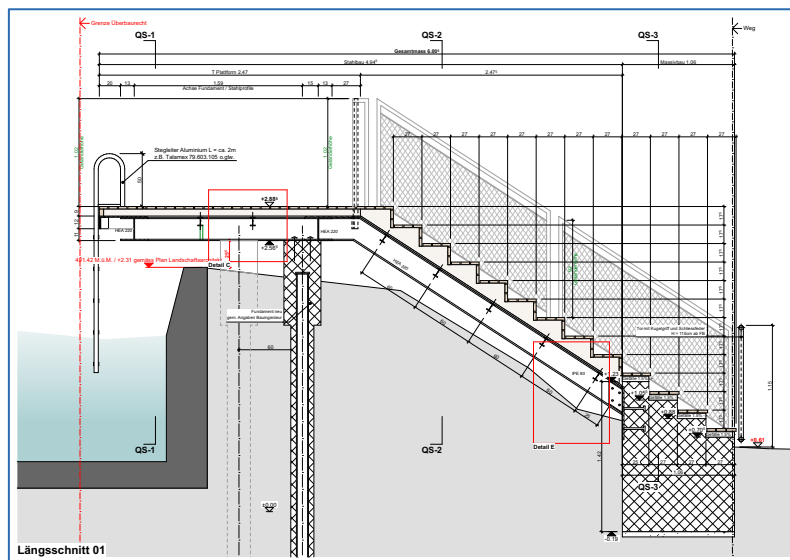
Zip Dateiordner:



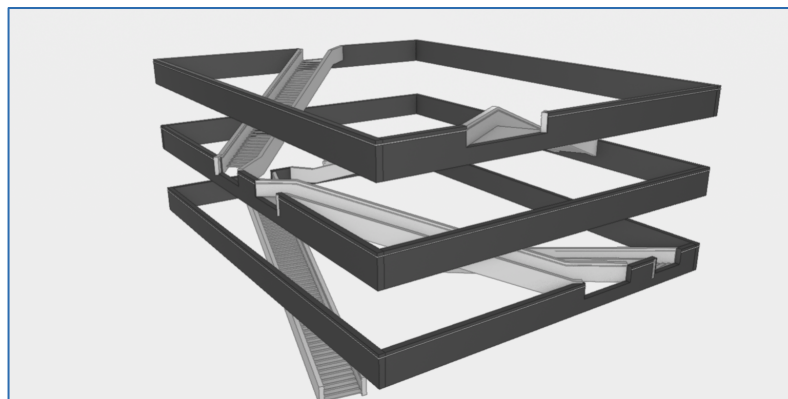
Anhang H Rohe Testdaten.zip

Beispielauszüge aus den Rohdaten:

Screenshot aus «H3 BFU-Konformer Detailplan»:



Screenshot aus «H5 Nicht BFU-Konformes Modell»:



I Handlungsempfehlung

Handlungsempfehlung

Schrittweise Einführung eines BFU-Assistenzsystems

Modulares Stufenmodell auf Basis von Standortanalyse, Roadmap und Proof of Concept



Stufe 1: Formale Wissensbasis (interner Fokus)

- Strukturierte Aufbereitung der Empfehlungen in maschinenlesbarer Form
- Versionierte Wissensbasis mit klar definierten Regeln, Parametern, Grenzwerten und Ausnahmen
- Trennung von Regelinhalt, Interpretation und Anwendungskontext
- Klare Zuständigkeiten für Pflege, Qualitätssicherung und formale Freigabe der Inhalte

Ziel: Voraussetzung für jede konsistente und nachvollziehbare digitale Prüfung



Stufe 2: Interner Probetrieb (Lern- und Kontrollphase)

- Einsatz des Prüfsystems BFU als Lern- und Unterstützungswerkzeug
- Interne Pilotanwendungen mit einfachen, klar abgegrenzten Fragestellungen
- Identifikation von Datenlücken, Interpretationsspielräumen sowie modellbedingten Abhängigkeiten
- Klare Abgrenzungen: Prüfhilfe ≠ Entscheidungs- oder Freigabesystem

Ziel: Verständnis für Funktionsweise, Grenzen und Risiken digitaler Prüfungen aufbauen



Stufe 3: Externe Pilotphase

- Auswahl geeigneter externer Partnerprojekte für Tests
 - Modul 1: Textbasierter Assistenzteil
 - Modul 2: Regel- und Datenbasierte Prüfung
 - Modul 3: Berichts- und Exportschicht
- Prüfsystems in reale Planungsprozesse zu Testzwecken
- Überprüfung der Verständlichkeit für Anwender ohne Spezialwissen

Ziel: Operative Tauglichkeit unter realen Bedingungen prüfen und falsche Erwartungshaltungen frühzeitig vermeiden



Stufe 4: Öffentliche Bereitstellung des BFU-Assistenzsystems

- Bereitstellung eines öffentlichen webbasierten BFU-Assistenzsystems
- Modularer Zugriff auf strukturierte Empfehlungen sowie regelbasierte Prüfhypothesen und nachvollziehbare Prüfberichte
- Klare Kommunikation der Systemrolle als unterstützendes Hilfsmittel
- Keine automatisierte Sicherheitsfreigabe oder Haftungsverschiebung

Ziel: Transparente, nachvollziehbare und rechtlich klar abgegrenzte Unterstützung der Planung, ohne Entscheidungs- oder Freigabeverantwortung seitens der BFU.

Leitprinzipien des Assistenzsystems: Datenschutz, Datenhoheit, Nachvollziehbarkeit, langfristige Unabhängigkeit

J Validierung BFU

Masterthesis FHNW «Die Chancen der Digitalisierung nutzen, Gebäude sicherer zu machen»

Validierung des Proof of Concept durch die BFU

Fachliche Validierung des Proof of Concept (PoC) und des technischen Ansatzes

Der im vorliegenden Proof of Concept verfolgte technische Ansatz ist aus fachlicher Sicht insgesamt überzeugend und entspricht den aktuellen sowie absehbaren Entwicklungen in der Digitalisierung des Bauwesens. Die gewählte Kombination aus modellbasierter IFC-Analyse, planbasierter Computer Vision sowie einem klar strukturierten, maschinenlesbaren Regelwerk auf Basis der **BFU-Empfehlungen** stellt eine sinnvolle, moderne und methodisch fundierte Architektur dar. Sie adressiert eine reale Lücke im Markt, da weder bestehende AECO-Tools noch allgemeine KI-Systeme derzeit in der Lage sind, sicherheitsrelevante Prüfungen gleichzeitig textuell, geometrisch und kontextbezogen anhand solcher Empfehlungskataloge vorzunehmen. Die modulare Struktur eines BFU-KI-Checkers ermöglicht zudem eine spätere Erweiterung und schafft eine solide Grundlage für eine skalierbare, langfristig weiterentwickelbare Lösung.

Die Einschätzung der technologischen Entwicklungslinien ist differenziert und realistisch. Der PoC zeigt zutreffend auf, dass GPT-basierte und multimodale Modelle enorme Fortschritte in der Verarbeitung textueller Inhalte aufweisen, ihre Fähigkeiten zur Interpretation technischer Zeichnungen und BIM-Modelle jedoch noch im Aufbau sind. Gleichzeitig ist absehbar, dass diese Systeme in den kommenden Jahren substantiell leistungsfähiger werden – insbesondere im Bereich visueller Analyse, Mustererkennung und geometrischer Rekonstruktion. Die im PoC vorgenommenen Annahmen, wonach KI künftig robustere Plan- und Modellanalysen leisten kann, sind aus unserer Sicht plausibel und fachlich gut fundiert. Ebenso ist die Einschätzung korrekt, dass modellbasierte Geometrieanalysen weiterhin stark von der Qualität und Standardisierung der IFC-Daten abhängig bleiben, was ein technisches Grundrisiko darstellt, das selbst mit modernster KI nur teilweise kompensiert werden kann.

Die Vision eines BFU-eigenen KI-Checkers, der sicherheitsrelevante Aspekte anhand der **BFU-Empfehlungen** automatisiert beurteilt, erscheint grundsätzlich tragfähig und zukunftsorientiert. Allerdings hängt ihre tatsächliche Realisierbarkeit weniger von technischen Limitationen als vielmehr von der strategischen Entwicklung der BFU in den kommenden Jahren ab. Entscheidend wird sein, in welchem Umfang die BFU bereit ist, **in die Digitalisierung zu investieren** – sowohl in interne Kompetenzen (Datenmanagement, KI-Know-how, Governance) als auch in externe Entwicklungsressourcen. Zudem wird die Tragfähigkeit des Checkers stark davon beeinflusst, wie gut er mit anderen grossen Digitalisierungsinitiativen verknüpft wird, insbesondere mit der **Digitalisierung und Strukturierung der BFU-Grundlagen**. Ein Checker kann nur so präzise arbeiten, wie die zugrunde liegenden Empfehlungen formalisiert, gepflegt und maschinenlesbar vorliegen. Damit wird die digitale Aufbereitung der BFU-Empfehlungen zu einem strategischen Erfolgsfaktor des Projekts.

Aus Expertensicht sind bei der Weiterentwicklung des Ansatzes folgende Ergänzungen und Warnhinweise zentral:

1. **Rechtliche und organisatorische Verankerung:** Die Abgrenzung zwischen automatisierter Einschätzung anhand der BFU-Empfehlungen, fachlicher Prüfung durch Menschen und allfälligen rechtlichen Implikationen muss frühzeitig definiert werden.
2. **Datenqualitätsmanagement:** Die Analysequalität ist direkt abhängig von der Güte der Eingangsdaten. Ein vorgeschalteter «Data Quality Check» (IFC-Standards, Plan-Darstellungskonventionen) sollte integraler Bestandteil des Systems sein.
3. **Interne Kompetenzentwicklung:** Die BFU wird mittelfristig eigenes technisches und organisatorisches Know-how benötigen, um ein solches KI-Instrument nachhaltig zu betreiben.



4. **Integration in bestehende Arbeitsprozesse:** Der Checker muss so gestaltet sein, dass er sich sinnvoll in Planungs- und Freigabeprozesse integrieren lässt, ohne zusätzliche Hürden für Fachplanende zu schaffen.

Insgesamt zeigt der PoC, dass der gewählte technische Ansatz sachlich nachvollziehbar, technologisch zeitgemäss und strategisch sinnvoll ist. Er belegt, dass ein BFU-KI-Checker mittelfristig realisierbar ist – unter der Voraussetzung, dass die BFU ihre Digitalisierungsstrategie konsequent weiterentwickelt, in die Strukturierung ihrer Grundlagen investiert und organisatorische Rahmenbedingungen schafft, die eine nachhaltige Weiterführung des Projekts ermöglichen.

BFU, Cédric Eschmann, Abteilungsleiter Haus und Freizeit

15.12.2025