

AMAzE 2.0 - Digitale Baueinreichung mit Fokus auf Bauwerks- und Grundstücks- begrünung sowie dem Versiegelungsgrad

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 54/2026

Wien, 2026

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination: Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien

Leitung (interimistisch): DIⁱⁿ (FH) Isabella Warisch

Autorinnen und Autoren:

DI Dr. Christina Petschnigg (Fraunhofer Austria Research GmbH – Innovationszentrum für Digitalisierung und Künstliche Intelligenz KI4LIFE)

DI Alexander Pamler, Dipl.-Math. Dr. Torsten Ullrich (Fraunhofer Austria Research GmbH – Geschäftsbereich Data Driven Design)

DI Kurt Battisti, DI Markus Dörn, DI Jacqueline Scherret (A-NULL Development GmbH)

DI Günter Koren (Magistrat der Landeshauptstadt Klagenfurt – Abteilung für Vermessung und Geoinformation)

DI Jan Morten Loës, M.Sc. (VIE Build GmbH)

DI Daniel Pfeiffer, Assistant Prof. DI Dr. Harald Urban (Technische Universität Wien – Forschungsbereich Digitaler Bauprozess)

Wien, Klagenfurt 2026. Stand: Juni 2026

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Rückmeldungen:

Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an iii3@bmimi.gv.at.

Rechtlicher Hinweis

Dieser Ergebnisbericht wurde von die/der Projektnehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die/der Projektnehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die/der Projektnehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die/der Projektnehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMIMI publiziert und elektronisch über die Plattform nachhaltigwirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	8
2	Abstract.....	10
3	Ausgangslage.....	12
	3.1. Ausgangssituation	12
	3.1.1. Motivation und Forschungsfrage	13
	3.1.2. Zielsetzung des Projekts	13
	3.2. Stand der Technik	14
	3.2.1. Integration von GIS und BIM	14
	3.2.2. Digitale Baueinreichung.....	14
	3.2.3. Fernerkundung und KI-gestützte Analyse	15
	3.2.4. Vorarbeiten.....	15
4	Projekthalt.....	16
	4.1. Gesamtmethodik und Prozessansatz.....	16
	4.2. Datenintegration und ETL-Prozesse.....	17
	4.3. BIM-Modellierung und IFC-Erzeugung.....	18
	4.4. KI-gestützte Analyseverfahren.....	19
	4.5. Bewertung der Methoden und Herausforderungen	19
5	Ergebnisse	21
	5.1. Projektergebnisse von AMAzE 2.0	21
	5.2. Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“	22
6	Schlussfolgerungen	24
7	Ausblick und Empfehlungen	26
8	Verzeichnisse.....	28
9	Anhang.....	31
	9.1. Data Management Plan (DMP)	31

1 Kurzfassung

Die zunehmende Urbanisierung sowie steigende Anforderungen an nachhaltige und klimaresiliente Stadtentwicklung erfordern neue, datengetriebene Ansätze zur Planung, Genehmigung und Überwachung von Bauvorhaben. Insbesondere die Berücksichtigung von Grünraum und Versiegelung spielt eine zentrale Rolle im Kontext von Klimawandelanpassung, Biodiversität und urbaner Lebensqualität. Gleichzeitig sind bestehende Baueinreichungsprozesse häufig durch heterogene Datenformate und manuelle Prüfverfahren geprägt, was zu Ineffizienzen und eingeschränkter Nachvollziehbarkeit führt. Vor diesem Hintergrund adressiert das Projekt AMAzE 2.0 die Forschungsfrage, inwieweit eine durchgängige digitale Prozesskette auf Basis von Building Information Modeling (BIM), Geoinformationssystemen (GIS) und Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) entwickelt werden kann, um eine automatisierte und überprüfbare Baueinreichung mit besonderem Fokus auf den Außenraum zu ermöglichen.

Der aktuelle Stand der Technik ist durch fragmentierte Systemlandschaften und eine unzureichende Interoperabilität zwischen GIS- und BIM-Systemen gekennzeichnet. Während sich BIM zunehmend als Standard für die digitale Modellierung von Bauwerken etabliert hat, liegen wesentliche Planungsgrundlagen wie Katasterdaten, Geländemodelle oder Umweltinformationen überwiegend in GIS-basierten Formaten vor. Eine nahtlose Integration dieser Daten ist bislang nur eingeschränkt möglich. Darüber hinaus bestehen Defizite in der automatisierten Überprüfung von Einreichungen, insbesondere im Bereich des Außenraums. Gleichzeitig bieten moderne Fernerkundungsmethoden großes Potenzial für eine objektive und automatisierte Bestandsanalyse, werden jedoch bislang kaum systematisch in Genehmigungsprozesse integriert. Ein wesentliches Hindernis stellt zudem die eingeschränkte Verfügbarkeit standardisierter Schnittstellen dar.

Ziel des Projekts AMAzE 2.0 war die Entwicklung und prototypische Umsetzung eines durchgängigen digitalen Workflows für die Baueinreichung sowie das anschließende Monitoring von Bauvorhaben vor allem im Hinblick auf den Außenraum. Im Fokus standen die Integration von GIS- und BIM-Daten in einer konsistenten Datenpipeline, die automatisierte Transformation heterogener Ausgangsdaten in standardisierte IFC-Modelle (Industry Foundation Classes) sowie die Definition von Informationsanforderungen für BIM-basierte Einreichmodelle. Ergänzend wurden KI-gestützte Verfahren zur Analyse von Luftbild- und Punktwolkendaten entwickelt und ein SOLL-IST-Abgleich zwischen Planung und realisiertem Bestand prototypisch umgesetzt.

Die methodische Umsetzung basiert auf der integrierten Kombination von GIS, BIM, ETL-Datenverarbeitung (Extract, Transform, Load) und KI. Kern des Ansatzes ist eine mithilfe von FME (Feature Manipulation Engine) realisierte ETL-basierte Datenpipeline, die heterogene Geodaten integriert und in konsistente, semantisch strukturierte IFC-Modelle überführt. Ergänzende skriptbasierte Prozesse ermöglichen dabei eine präzise Steuerung der Modellstruktur und sichern die Qualität und Stabilität der erzeugten BIM-Daten. Parallel dazu wurde eine modulare KI-Pipeline entwickelt, die von der Datenextraktion über die semantische Segmentierung bis hin zur statistischen und visuellen Auswertung reicht. Der Einsatz spektraler Indizes wie des Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) verbessert zusätzlich die Qualität der Grünraumerkennung.

Ein weiterer zentraler Beitrag des Projekts liegt in der Entwicklung KI-gestützter Verfahren zur automatisierten Auswertung von Luftbild- und Punktwolkendaten. Die eingesetzten neuronalen Netze

ermöglichen eine pixelgenaue Segmentierung und liefern robuste Klassifikationsergebnisse für verschiedene Oberflächenklassen. Die Evaluierung zeigt, dass die Kombination aus Fernerkundungsdaten und KI-basierter Analyse eine geeignete Grundlage für den automatisierten SOLL-IST-Abgleich darstellt, wobei weiterhin Herausforderungen hinsichtlich Datenverfügbarkeit und Schnittstellen bestehen.

Aufbauend auf den erzielten Ergebnissen ergeben sich mehrere Ansatzpunkte für zukünftige Entwicklungen. Ein zentraler Fokus liegt auf der Weiterentwicklung hin zu einer vollständig API-basierten Systemarchitektur (Application Programming Interface), um bestehende Medienbrüche zu reduzieren. Darüber hinaus besteht Potenzial in der Weiterentwicklung der KI-Modelle durch größere und diversere Trainingsdatensätze sowie durch die Integration zusätzlicher Datenquellen. Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Überführung der prototypischen Lösungen in operative Anwendungen im behördlichen Kontext. Hierfür sind insbesondere geeignete rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen zu schaffen. Darüber hinaus ist eine stärkere Standardisierung von Datenmodellen und Schnittstellen erforderlich, um die Interoperabilität langfristig sicherzustellen. Insgesamt kann der im Projekt entwickelte Ansatz einen wesentlichen Beitrag zur Digitalisierung und Automatisierung von Bau- und Genehmigungsprozessen leisten und damit effizientere, transparentere und nachhaltigere Stadtentwicklungsprozesse unterstützen.

2 Abstract

The increasing urbanization as well as rising demands for sustainable and climate-resilient urban development require new data-driven approaches for the planning, approval, and monitoring of construction projects. In particular, the consideration of green spaces and surface sealing plays a central role in the context of climate change adaptation, biodiversity, and urban quality of life. At the same time, existing building permit processes are often characterized by heterogeneous data formats and manual verification procedures, resulting in inefficiencies and limited traceability. Against this background, the AMAzE 2.0 project addresses the research question of the extent to which an end-to-end digital process chain based on Building Information Modeling (BIM), Geographic Information Systems (GIS), and methods of Artificial Intelligence (AI) can be developed to enable an automated and verifiable building permit process with a particular focus on the outdoor environment.

The current state of the art is characterized by fragmented system landscapes and insufficient interoperability between GIS and BIM systems. While BIM is increasingly established as a standard for digital building modeling, essential planning data such as cadastral information, terrain models, or environmental data are predominantly available in GIS-based formats. Seamless integration of these data is currently only possible to a limited extent. In addition, there are deficits in the automated verification of submissions, particularly in the area of outdoor spaces. At the same time, modern remote sensing methods offer significant potential for objective and automated as-built analysis but are rarely systematically integrated into approval processes. A further major limitation is the restricted availability of standardized interfaces.

The objective of the AMAzE 2.0 project was the development and prototypical implementation of an end-to-end digital workflow for building permit submission as well as the subsequent monitoring of construction projects, with a particular focus on outdoor spaces. The focus was on the integration of GIS and BIM data within a consistent data pipeline, the automated transformation of heterogeneous input data into standardized IFC (Industry Foundation Classes) models, and the definition of information requirements for BIM-based submission models. In addition, AI-based methods for the analysis of aerial imagery and point cloud data were developed, and an as-planned versus as-built comparison was prototypically implemented.

The methodological approach is based on the integrated combination of GIS, BIM, ETL-based data processing (Extract, Transform, Load), and AI. At the core of this approach is an ETL-based data pipeline implemented using FME (Feature Manipulation Engine), which integrates heterogeneous geospatial data and transforms them into consistent, semantically structured IFC models. Complementary script-based processes allow for precise control of the model structure and ensure the quality and stability of the generated BIM data. In parallel, a modular AI pipeline was developed, covering data extraction, semantic segmentation, as well as statistical and visual evaluation. The use of spectral indices such as Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) further improves the quality of green space detection.

Another key contribution of the project lies in the development of AI-based methods for the automated evaluation of aerial imagery and point cloud data. The applied neural networks enable pixel-accurate segmentation and provide robust classification results for different surface classes. The evaluation shows that the combination of remote sensing data and AI-based analysis provides a

suitable basis for automated as-planned versus as-built comparison, although challenges remain regarding data availability and system interfaces.

Based on the achieved results, several directions for future development emerge. A central focus lies on the transition towards a fully API-based system architecture (Application Programming Interface) in order to reduce existing media discontinuities. Furthermore, there is potential for improving AI models through larger and more diverse training datasets as well as through the integration of additional data sources. Another important step is the transfer of the prototypical solutions into operational applications within administrative environments. This requires, in particular, the establishment of appropriate legal and organizational frameworks. In addition, stronger standardization of data models and interfaces is necessary to ensure long-term interoperability. Overall, the approach developed within the project can make a significant contribution to the digitalization and automation of building permit processes and thus support more efficient, transparent, and sustainable urban development.

3 Ausgangslage

Dieses Kapitel beschreibt die Ausgangslage des Projekts AMAzE 2.0 und ordnet dieses in den aktuellen Kontext der Digitalisierung im Bauwesen ein. Dabei werden der Status quo bestehender Prozesse sowie zentrale Herausforderungen aufgezeigt, die den Ausgangspunkt für die Projektidee bilden. Aufbauend darauf werden die Motivation, die zugrunde liegende Forschungsfrage sowie die konkreten Zielsetzungen des Projekts dargestellt. Ergänzend erfolgt eine Einordnung in den Stand der Technik und des Wissens.

3.1. Ausgangssituation

Die Digitalisierung im Bauwesen hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht, insbesondere durch die zunehmende Verbreitung von Building Information Modeling (BIM) als Standard für die digitale Planung und Dokumentation von Bauwerken. Gleichzeitig haben sich Geoinformationssysteme (GIS) als zentrales Werkzeug zur Verwaltung, Analyse und Visualisierung raumbezogener Daten etabliert. Trotz dieser parallelen Entwicklungen existiert bislang keine durchgängige Integration dieser beiden Domänen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks.

Insbesondere im Kontext von Genehmigungsprozessen und der Verwaltung von Bauvorhaben zeigt sich ein fragmentiertes Systembild. Relevante Planungsgrundlagen wie Katasterdaten, Geländemodelle, Bebauungspläne oder Umweltinformationen liegen überwiegend in GIS-basierten Formaten vor, während Bauprojekte zunehmend in BIM-Modellen geplant werden. Der Austausch zwischen diesen Systemen erfolgt häufig manuell oder über verlustbehaftete Konvertierungsprozesse, was zu Medienbrüchen, Inkonsistenzen und ineffizienten Arbeitsabläufen führt.

Darüber hinaus konzentrieren sich bestehende digitale Prozesse primär auf das Gebäude selbst, während der Außenraum, insbesondere Grünflächen, nur unzureichend berücksichtigt wird. Gerade dieser Bereich gewinnt jedoch im Kontext von Klimawandel, urbaner Hitzeentwicklung, Wasserhaushalt und Biodiversität zunehmend an Bedeutung. Zusätzliche Relevanz erhält dieses Themenfeld durch das im Jahr 2024 in Kraft getretene EU-Renaturierungsgesetz (Europäisches Parlament 2024), das die Mitgliedstaaten verpflichtet, Maßnahmen zur Wiederherstellung geschädigter Ökosysteme umzusetzen und dabei insbesondere auch urbane Grünräume stärker zu berücksichtigen. Die Verordnung verfolgt unter anderem das Ziel, die ökologische Qualität städtischer Räume zu verbessern und den Verlust von Grünflächen langfristig zu stoppen. Damit steigt auch der Bedarf an digitalen, datenbasierten Verfahren zur Erfassung, Bewertung und Überprüfung von Grünraum- und Versiegelungsflächen im Rahmen von Planungs- und Genehmigungsprozessen. Aktuell fehlen hierfür jedoch weitgehend standardisierte und automatisierte Methoden.

Eine weitere Herausforderung besteht in der mangelnden Rückkopplung zwischen Planung und realisierter Ausführung. Während Bauprojekte im Rahmen von Genehmigungsverfahren detailliert beschrieben werden, existieren nur eingeschränkte Möglichkeiten, die tatsächliche Umsetzung systematisch zu überprüfen. Moderne Technologien wie hochauflösende Luftbilddaten oder satellitengestützte Fernerkundung bieten hierfür großes Potenzial, werden jedoch bislang nur punktuell eingesetzt und nicht systematisch in digitale Verwaltungsprozesse integriert.

3.1.1. Motivation und Forschungsfrage

Vor diesem Hintergrund ergibt sich die zentrale Motivation des Projekts AMAzE 2.0 aus dem Bedarf nach einer durchgängigen, integrierten und automatisierten digitalen Prozesskette für Bauvorhaben, die sowohl Gebäude als auch Außenraum umfasst. Insbesondere steigende Anforderungen an nachhaltige Stadtentwicklung, Klimawandelanpassung sowie eine effizientere und transparentere Verwaltung erfordern neue Ansätze, die eine datenbasierte Bewertung von Bauvorhaben ermöglichen. Ziel ist es, bestehende Medienbrüche zu überwinden, die Interoperabilität zwischen GIS und BIM zu verbessern und neue datengetriebene Methoden für die Analyse und Überprüfung von Bauprojekten zu etablieren. Darüber hinaus soll eine Grundlage geschaffen werden, um Planungs-, Genehmigungs- und Monitoringprozesse stärker zu automatisieren und damit sowohl die Qualität als auch die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen zu erhöhen. Die zentrale Forschungsfrage lautet daher:

“Inwieweit kann eine durchgängige digitale Prozesskette entwickelt werden, die GIS- und BIM-Daten integriert und durch KI-gestützte Analyseverfahren ergänzt wird, um eine automatisierte, transparente und überprüfbare Planung, Genehmigung und Überwachung von Bauvorhaben, insbesondere im Außenraum, zu ermöglichen?”

Diese Fragestellung umfasst sowohl technische als auch methodische Herausforderungen, insbesondere im Hinblick auf Datenintegration, Standardisierung, Automatisierung und die Nutzung von Fernerkundungsdaten.

3.1.2. Zielsetzung des Projekts

Das Projekt AMAzE 2.0 verfolgt das Ziel, einen durchgängigen digitalen Workflow für die Baueinreichung sowie das anschließende Monitoring von Bauvorhaben zu entwickeln und prototypisch umzusetzen. Im Sinne des Gesamtziels einer durchgängigen Digitalisierung von Planungs-, Genehmigungs- und Kontrollprozessen wird dabei insbesondere eine medienbruchfreie Integration unterschiedlicher Daten- und Systemwelten angestrebt. Im Mittelpunkt stehen die Entwicklung einer integrierten Datenpipeline zur Zusammenführung heterogener GIS- und BIM-Daten sowie die automatisierte Transformation von Geodaten in standardisierte BIM-Modelle im IFC-Format. Darüber hinaus wird angestrebt, bestehende Planungsgrundlagen aus unterschiedlichen Quellen konsistent zusammenzuführen und für weiterführende digitale Prozesse nutzbar zu machen.

Ergänzend werden Informationsanforderungen für BIM-basierte Einreichmodelle mit besonderem Fokus auf Außenraum und Grünraum definiert, um eine standardisierte, maschinenlesbare und automatisiert prüfbare Abbildung dieser bislang unterrepräsentierten Aspekte zu ermöglichen. Darüber hinaus umfasst das Projekt die Entwicklung KI-gestützter Verfahren zur automatisierten Analyse von Luftbild- und Punktwolkendaten, insbesondere zur Klassifikation von Oberflächen, Vegetation und Versiegelungsgraden als Grundlage für datenbasierte Entscheidungsprozesse. Weiters wird ein SOLL-IST-Abgleich zwischen Planung und realisierter Ausführung konzipiert, der eine objektive und nachvollziehbare Überprüfung der tatsächlichen Umsetzung von Bauvorhaben unterstützt.

Die entwickelten Methoden werden anhand realer Anwendungsfälle der Landeshauptstadt Klagenfurt validiert.

3.2. Stand der Technik

Im Folgenden wird der aktuelle Stand der Technik in den für das Projekt AMAzE 2.0 relevanten Themenbereichen beschrieben. Dabei werden bestehende Ansätze zur Integration von GIS und BIM, zur digitalen Baueinreichung sowie zur Nutzung von Fernerkundung und KI-gestützten Analyseverfahren dargestellt. Ergänzend werden nationale und internationale Entwicklungen sowie eigene Vorarbeiten berücksichtigt, um die Ausgangsbasis des Projekts einzuordnen.

3.2.1. Integration von GIS und BIM

Die Integration von GIS und BIM stellt seit mehreren Jahren ein zentrales Forschungsfeld dar, sowohl international als auch im österreichischen Raum (Borrmann, et al. 2015). Beide Systeme verfolgen unterschiedliche Modellierungsparadigmen: Während GIS primär auf großräumige, georeferenzierte Analysen ausgerichtet ist und häufig mit vereinfachten 2D- oder 3D-Darstellungen arbeitet, fokussiert BIM auf detaillierte, objektorientierte und semantisch angereicherte 3D-Modelle einzelner Bauwerke.

Zur Überbrückung dieser Unterschiede wurden verschiedene methodische Ansätze entwickelt, insbesondere Transformationen zwischen offenen Standards wie IFC (Industry Foundation Classes) (buildingSMART International 2024) und CityGML (City Geography Markup Language) (Kolbe 2009). Im österreichischen Kontext beschäftigen sich Forschungsinitiativen mit dieser Thematik, etwa im Rahmen von Projekten an der TU Wien oder im Umfeld von buildingSMART Austria. Dennoch bestehen weiterhin wesentliche Herausforderungen, insbesondere hinsichtlich semantischer Konsistenz, unterschiedlicher Detaillierungsgrade (Level of Detail), Koordinatensysteme sowie der bidirektionalen Datenintegration.

Relevante Vorarbeiten im österreichischen Kontext stellen zudem die von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) geförderten Projekte Green BIM (FFG 2019) und Green BIM 2 (FFG 2023) dar, in denen Ansätze zur Integration von Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekten in BIM-Modelle entwickelt wurden. Diese Projekte zeigen insbesondere die Notwendigkeit, Außenraum- und Umweltdaten systematisch in digitale Planungsmodelle einzubinden und liefern wichtige Grundlagen für die Weiterentwicklung integrierter GIS- und BIM-Ansätze. Das AMAzE-2.0-Konsortium stand dabei in enger Vernetzung mit diesen Initiativen, wodurch bestehende Konzepte auf den Anwendungsfall der digitalen Baueinreichung sowie des Monitorings übertragen werden konnten.

Trotz dieser Fortschritte ist eine durchgängige Integration entlang des gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks – von der Planung über die Genehmigung bis hin zum Betrieb und Monitoring – bislang nur eingeschränkt umgesetzt und stellt weiterhin ein wesentliches Forschungsthema dar.

3.2.2. Digitale Baueinreichung

Im Bereich der digitalen Baueinreichung wurden in den letzten Jahren mehrere Initiativen auf nationaler und internationaler Ebene umgesetzt. Ein prominentes Beispiel im österreichischen Kontext ist das Projekt BRISE Vienna (Building Regulations Information for Submission Involvement) (Stadt Wien 2019), das die Einführung eines digitalen, BIM-basierten Einreichverfahrens in der Stadt Wien vorangetrieben hat. Diese Ansätze zeigen, dass automatisierte Prüfprozesse auf Basis digitaler Modelle grundsätzlich möglich sind und bereits erfolgreich pilotiert wurden.

Ergänzend dazu werden im österreichischen Forschungsumfeld Methoden zur automatisierten Modellprüfung, Regelvalidierung und Integration in eGovernment-Prozesse untersucht (Borrmann, et al. 2015). Diese Arbeiten unterstreichen das Potenzial einer durchgängigen Digitalisierung von Genehmigungsverfahren, weisen jedoch auch auf bestehende Herausforderungen hinsichtlich Standardisierung und rechtlicher Rahmenbedingungen hin.

Der Fokus dieser Systeme liegt allerdings überwiegend auf gebäudebezogenen Aspekten wie Volumen, Nutzung oder Abstandsflächen. Der Außenraum sowie umweltrelevante Faktoren wie Grünraum oder Versiegelung werden bislang nur begrenzt integriert. Hier setzt AMAzE 2.0 an und erweitert bestehende Konzepte gezielt um diese Dimensionen.

3.2.3. Fernerkundung und KI-gestützte Analyse

Die Nutzung von Fernerkundungsdaten zur Analyse urbaner Räume ist ein etabliertes Forschungsfeld. Hochauflösende Luftbilder, Satellitendaten sowie Laserscanning ermöglichen eine detaillierte Erfassung der Erdoberfläche und ihrer Strukturen. In Kombination mit Methoden des maschinellen Lernens, insbesondere Deep Learning, können diese Daten automatisiert ausgewertet werden.

Semantische Segmentierungsverfahren haben sich dabei als besonders leistungsfähig erwiesen, um verschiedene Landbedeckungsklassen wie Vegetation, Gebäude oder versiegelte Flächen zu identifizieren. Auch spektrale Indizes wie der NDVI werden erfolgreich eingesetzt, um Vegetation zu analysieren und von künstlichen Oberflächen zu unterscheiden (Ramos und Angel 2024).

Trotz dieser Fortschritte besteht weiterhin Forschungsbedarf bei der Integration dieser Methoden in operative Planungs- und Genehmigungsprozesse sowie bei der Verknüpfung mit BIM-Modellen.

3.2.4. Vorarbeiten

Das Projekt AMAzE 2.0 baut auf den Ergebnissen des Vorgängerprojekts AMAzE (Automatische Baueinreichung) auf, das sich primär mit der Digitalisierung der Einreichphase und der modellbasierten Unterstützung behördlicher Prüfprozesse befasste. Im Mittelpunkt standen dabei erste Ansätze zur Integration von GIS-Daten in BIM-basierte Planungs- und Einreichprozesse sowie die Nutzung offener Standards wie IFC als Grundlage für eine automatisierte Vorprüfung digitaler Bauwerksmodelle. Darüber hinaus wurde untersucht, inwieweit baurelevante Parameter aus Einreichmodellen automatisiert geprüft werden können, etwa geometrische und regelbasierte Anforderungen wie Dachneigung, Höhenentwicklung oder weitere modellbasierte Prüfkriterien. AMAzE 2.0 erweitert diesen Ansatz wesentlich um die Bauphase, den automatisierten SOLL-IST-Abgleich sowie die Rückführung der Daten in einen digitalen Zwilling, konkret in jenen der Landeshauptstadt Klagenfurt.

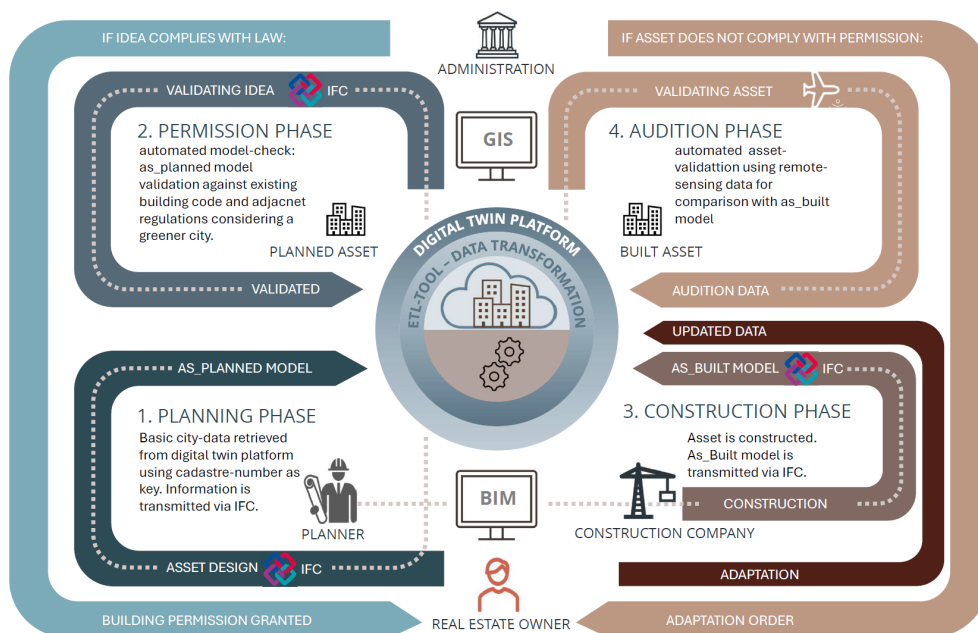
4 Projekthinhalt

Im Folgenden werden die im Projekt AMAzE 2.0 entwickelte methodische Vorgehensweise sowie die dafür eingesetzten Daten, Werkzeuge und Analyseverfahren näher beschrieben. Im Mittelpunkt steht ein durchgängiger Prozessansatz, der GIS- und BIM-Daten integriert, in standardisierte Modelle überführt und durch KI-gestützte Auswertungen von Fernerkundungsdaten ergänzt. Darüber hinaus werden die wesentlichen Verarbeitungsschritte von der Datenintegration über die IFC-Erzeugung bis hin zur Analyse von Grünraum und Versiegelung dargestellt. Abschließend werden die angewendeten Methoden im Hinblick auf ihre Umsetzung sowie aufgetretene technische und methodische Herausforderungen bewertet.

4.1. Gesamtmethodik und Prozessansatz

Die methodische Vorgehensweise im Projekt AMAzE 2.0 basiert auf der Entwicklung eines durchgängigen, modular aufgebauten Daten- und Prozesssystems zur Integration von GIS- und BIM-Daten sowie zur automatisierten Analyse des Außenraums mittels Methoden der Künstlichen Intelligenz. Der gewählte Ansatz folgt einem ganzheitlichen Lebenszyklusmodell, das die Phasen Planung, Genehmigung, Bau sowie Monitoring umfasst und in Form eines digitalen Zwillings abgebildet wird. Abbildung 1 zeigt ebendiese Phasen.

Abbildung 1 Lebenszyklusorientierter digitaler Workflow zur Integration von GIS und BIM entlang der Phasen Planung, Genehmigung, Bau und Monitoring im Rahmen einer Digital-Twin-Plattform (Pfeiffer, et al. 2025)



In der Planungsphase werden heterogene Geodaten und Planungsgrundlagen aus unterschiedlichen Quellen zusammengeführt, harmonisiert und in ein konsistentes, BIM-basiertes Datenmodell

überführt. Ziel ist es, eine vollständige und semantisch strukturierte Datengrundlage für die weitere Verarbeitung zu schaffen. In der Genehmigungsphase erfolgt die Bereitstellung und Prüfung der digitalen Einreichmodelle auf Basis definierter Informationsanforderungen. Dabei werden automatisierte Prüfmechanismen eingesetzt, um insbesondere Aspekte des Außenraums wie Grünraum und Versiegelung systematisch zu bewerten. Die Bauphase umfasst die Umsetzung der geplanten Maßnahmen sowie die kontinuierliche Erfassung relevanter Zustandsdaten. Diese bilden die Grundlage für einen späteren Vergleich zwischen Planung und tatsächlicher Ausführung. In der Monitoringphase werden Fernerkundungsdaten und KI-gestützte Analyseverfahren genutzt, um den realisierten Zustand zu erfassen und mit den ursprünglichen Planungsdaten abzugleichen. Dadurch wird ein datenbasierter SOLL-IST-Vergleich ermöglicht, der eine objektive und nachvollziehbare Bewertung von Bauvorhaben unterstützt.

Kern der entwickelten Methodik ist die integrierte Kombination mehrerer Ansätze zur Verarbeitung und Analyse von Daten. Dazu zählt zunächst die ETL-basierte Datenintegration (Extract, Transform, Load), mit der heterogene Daten aus unterschiedlichen Quellen extrahiert, vereinheitlicht und in ein konsistentes Zielformat überführt werden. Darauf aufbauend erfolgt eine semantisch strukturierte BIM-Modellierung auf Basis von openBIM-Standards (IFC), die eine detaillierte und maschinenlesbare Abbildung von Bauwerks- und Außenrauminformationen ermöglicht. Ergänzend wird eine georeferenzierte Verarbeitung von GIS-Daten eingesetzt, um räumliche Zusammenhänge korrekt abzubilden und unterschiedliche Datensätze konsistent miteinander zu verknüpfen. Ergänzt wird der Ansatz durch den Einsatz KI-gestützter Verfahren zur Auswertung von Fernerkundungsdaten, welche eine automatisierte, präzise Analyse und Klassifikation von Oberflächen und Strukturen im Außenraum ermöglichen.

4.2. Datenintegration und ETL-Prozesse

Die Integration heterogener Datenquellen im Projekt AMAzE 2.0 erfolgt auf Basis eines ETL-basierten Ansatzes (Extract, Transform, Load), wobei die Software FME (Feature Manipulation Engine) als zentrales Werkzeug eingesetzt wird. Dieser Ansatz ermöglicht es, Daten aus unterschiedlichen Quellen und Formaten systematisch zu extrahieren, zu harmonisieren und in ein einheitliches Zielformat zu überführen. Der Prozess gliedert sich dabei in drei aufeinander aufbauende Schritte: Zunächst werden im Rahmen der Extraktion (Extract) die relevanten Ausgangsdaten aus verschiedenen Datenquellen eingelesen. In der anschließenden Transformationsphase (Transform) erfolgt die inhaltliche und strukturelle Aufbereitung der Daten, einschließlich geometrischer Verarbeitungsschritte sowie semantischer Anreicherung. Abschließend werden die verarbeiteten Daten im Schritt Load in ein standardisiertes Zielformat, insbesondere in das IFC-Format für BIM-Anwendungen, überführt. Die Umsetzung dieser Verarbeitungsschritte erfolgt über visuelle Workflows in FME, die aus modularen Komponenten wie Readern, Transformern und Writern bestehen und eine flexible sowie nachvollziehbare Datenverarbeitung ermöglichen.

Für die Umsetzung des Ansatzes werden im Projekt unterschiedliche Datentypen aus verschiedenen Quellen herangezogen. Dazu zählen insbesondere Geodaten aus GIS-Systemen, wie die Digitale Katastralmappe (DKM), Bebauungs- und Flächenwidmungspläne sowie Kataster zu Bodennutzung und Grünraum. Ergänzt werden diese durch Raster- und Bilddaten, darunter hochauflösende Orthofotos und Luftbilder mit einer Bodenauflösung von etwa fünf Zentimetern sowie Satellitendaten. Darüber hinaus kommen dreidimensionale Datensätze zum Einsatz, insbesondere aus Airborne Laserscanning

(ALS), terrestrischen Laserscans (TLS) sowie digitalen Geländemodellen (DEM). Als Grundlage für die Planungsdaten dienen zudem BIM-Modelle im IFC-Format. Die Daten stammen aus unterschiedlichen Quellen, darunter kommunale Datenbestände, beispielsweise der Stadt Klagenfurt und Daten von Infrastrukturbetreibern wie dem Flughafen Wien.

Ein zentraler methodischer Verarbeitungsschritt besteht in der geometrischen Integration und Verschneidung dieser Daten. Hierbei werden Grundstücksgrenzen zunächst als Vektordaten eingelesen und mit Höheninformationen aus digitalen Geländemodellen kombiniert. Auf dieser Basis wird ein trianguliertes Oberflächenmodell (TIN) erzeugt, das eine präzise Abbildung der Geländeoberfläche ermöglicht. Dieses Modell bildet die Grundlage für die nachfolgende BIM-Modellierung und stellt sicher, dass alle weiteren Verarbeitungsschritte auf einer konsistenten und georeferenzierten räumlichen Basis aufbauen.

4.3. BIM-Modellierung und IFC-Erzeugung

Die BIM-Modellierung im Projekt AMAzE 2.0 basiert auf der Transformation von GIS-Daten in semantisch strukturierte, georeferenzierte Modelle im IFC-Format unter Anwendung der openBIM-Methodik. Ziel dieses Ansatzes ist die Erstellung konsistenter digitaler Modelle, die sowohl geometrische Informationen als auch alphanumerische Attribute enthalten und damit eine Grundlage für weiterführende Planungs-, Prüf- und Analyseprozesse bilden.

Zu Beginn wurde die IFC-Erzeugung vollständig innerhalb von FME umgesetzt. Dabei konnten zwar grundlegende Modelle generiert werden, jedoch zeigte sich im praktischen Einsatz, dass die Steuerung der Modellstruktur nur eingeschränkt möglich ist und in einzelnen Fällen inkonsistente oder nicht valide IFC-Modelle entstehen. Diese Einschränkungen machten deutlich, dass für eine zuverlässige und qualitativ hochwertige Modellgenerierung eine präzisere Kontrolle über die IFC-Struktur erforderlich ist.

Vor diesem Hintergrund wurde ein hybrider Ansatz entwickelt, der die jeweiligen Stärken unterschiedlicher Technologien kombiniert. Während FME weiterhin für die Datenextraktion sowie die geometrische Vorverarbeitung eingesetzt wird, erfolgt die eigentliche IFC-Erzeugung über skriptbasierte Prozesse in Python unter Verwendung der Bibliothek IfcOpenShell (Moult und Krijnen 2007). Durch diese Aufgabenteilung kann die Modellgenerierung gezielt gesteuert werden, wodurch eine explizite Kontrolle über zentrale IFC-Entitäten wie IfcProject oder IfcSite erreicht wird. Gleichzeitig ermöglicht dieser Ansatz eine konsistente Georeferenzierung sowie eine stabile und reproduzierbare Modellstruktur.

Ergänzend wurde eine systematische Gruppierung geometrischer Elemente implementiert, um eine fragmentierte und schwer interpretierbare Modellstruktur zu vermeiden. Insgesamt trägt der gewählte Ansatz dazu bei, die Qualität, Konsistenz und Nutzbarkeit der erzeugten BIM-Modelle deutlich zu verbessern und eine verlässliche Grundlage für die weiteren Verarbeitungsschritte im Projekt zu schaffen.

4.4. KI-gestützte Analyseverfahren

Zur automatisierten Analyse des Außenraums wurden im Projekt Verfahren des maschinellen Lernens, insbesondere Deep-Learning-Ansätze, eingesetzt. Im Zentrum steht dabei die semantische Segmentierung von Luftbild- und Punktwolkendaten, mit dem Ziel, verschiedene Oberflächenklassen zuverlässig zu identifizieren und quantitativ auszuwerten. Hierfür wurde eine durchgängige Verarbeitungspipeline entwickelt, die mehrere aufeinander abgestimmte Schritte umfasst. Zunächst wird das relevante Analysegebiet definiert, etwa durch eine räumliche Begrenzung in Form eines Shape-Files. Anschließend werden die entsprechenden Daten, beispielsweise Luftbildkacheln, extrahiert und für die weitere Verarbeitung vorbereitet. In der Vorverarbeitung werden Störeinflüsse reduziert und die Daten standardisiert aufbereitet, um eine konsistente und belastbare Grundlage für die nachfolgenden Analyseschritte zu schaffen. Darauf aufbauend erfolgt die eigentliche Segmentierung mittels neuronaler Netze, gefolgt von einer Klassifikation der erkannten Strukturen sowie einer statistischen Auswertung der Ergebnisse.

Für die Segmentierung von Luftbildern wurde das Deep-Learning-Modell DeepLabV3+ (Chen, et al. 2018) eingesetzt. Dieses ermöglicht eine pixelgenaue Klassifikation der Bilddaten in unterschiedliche Kategorien, darunter Gebäude, vollständig versiegelte Flächen, teilversiegelte Flächen, hohe und niedrige Vegetation sowie eine Störklasse für schwer zuzuordnende Objekte. Die Trainingsdaten für das Modell wurden manuell annotiert und in Trainings-, Validierungs- und Testdatensätze unterteilt, um eine belastbare Modellbewertung zu ermöglichen. Die Qualität der Segmentierung wurde anhand etablierter Bewertungsmetriken wie der Intersection-over-Union (IoU) sowie der Accuracy beurteilt. Zur weiteren Verbesserung der Klassifikation wurde ergänzend der spektrale Index NDVI herangezogen. Dieser nutzt die charakteristische Reflexion von Vegetation im roten und nahinfraroten Spektralbereich, um pflanzliche von nicht-pflanzlichen Oberflächen zu unterscheiden.

Neben der Analyse von Luftbildern wurde auch die Auswertung von Punktwolkendaten umgesetzt, beispielsweise zur Erkennung von Wurzelschäden oder anderen strukturellen Veränderungen im Außenraum. Hierfür kam ein Deep-Learning-Ansatz auf Basis von PointNet (Qi, et al. 2017) zum Einsatz, der speziell für die Verarbeitung unstrukturierter 3D-Daten geeignet ist. Die Verarbeitung umfasst zunächst eine Rauschreduktion, etwa durch das Entfernen von Ausreißern, gefolgt von einer Segmentierung der Punktwolke. Aufbauend darauf können Anomalien, wie Aufwerfungen oder Schäden, automatisiert detektiert werden.

Insgesamt ermöglicht der entwickelte Ansatz eine weitgehend automatisierte, präzise und skalierbare Analyse des Außenraums und stellt damit eine wesentliche Grundlage für datenbasierte Bewertungen und einen SOLL-IST-Abgleich dar.

4.5. Bewertung der Methoden und Herausforderungen

Die im Projekt eingesetzten Methoden haben sich insgesamt als geeignet erwiesen, um die definierten Projektziele zu erreichen. Insbesondere konnte gezeigt werden, dass eine erfolgreiche Integration heterogener GIS- und BIM-Daten möglich ist und eine stabile Generierung von IFC-Modellen durch den gewählten hybriden Ansatz sichergestellt werden kann. Darüber hinaus wurde eine automatisierte Analyse von Grünraum und Versiegelung umgesetzt sowie ein funktionaler SOLL-IST-Abgleich zwischen Planung und realisiertem Bestand prototypisch veranschaulicht. Die Kombination aus ETL-basierten

Datenintegrationsprozessen und KI-gestützter Analyse erweist sich dabei als leistungsfähiger Ansatz, der sowohl skalierbar ist als auch auf unterschiedliche Anwendungsfälle übertragen werden kann.

Trotz der insgesamt positiven Ergebnisse zeigten sich im Projektverlauf auch einige Herausforderungen, die für eine praktische Umsetzung berücksichtigt werden müssen. So stellte die derzeit noch begrenzte Verfügbarkeit standardisierter Schnittstellen (APIs) eine Einschränkung dar, weshalb Daten teilweise über filebasierte Workflows ausgetauscht wurden. Darüber hinaus bestehen systembedingte Unterschiede zwischen GIS- und BIM-Ansätzen, insbesondere hinsichtlich Koordinatensystemen, Detaillierungsgraden und semantischer Modellierung, wodurch ein erhöhter Aufwand für die konsistente Datenintegration entsteht. Auch bei der IFC-Erzeugung ergaben sich Optimierungspotenziale, da die Steuerungsmöglichkeiten des FME-IFC-Writers begrenzt sind und ergänzende skriptbasierte Lösungen eingesetzt werden mussten.

Im Bereich der KI-gestützten Analyseverfahren zeigen sich typische Herausforderungen datengetriebener Ansätze, insbesondere im Hinblick auf die Verfügbarkeit und Qualität geeigneter Trainingsdaten sowie die zuverlässige Differenzierung ähnlicher Klassen, wie beispielsweise teilversiegelter und vollversiegelter Flächen. Es ergeben sich methodische Grenzen aus der Diskrepanz zwischen theoretisch definierbaren und praktisch unterscheidbaren Klassen. Insbesondere bei Luftbilddaten ist die Differenzierung feiner Oberflächenstrukturen durch die verfügbare räumliche Auflösung begrenzt. Auch eine sehr hohe räumliche Auflösung von etwa 5 cm stellt hierfür eine gute Datengrundlage dar, ist jedoch für sehr feine Strukturen, etwa zur Beurteilung von Fugenbreiten, nicht ausreichend. Insgesamt zeigt sich, dass die Leistungsfähigkeit der eingesetzten KI-Modelle maßgeblich von der Qualität und Repräsentativität der Datengrundlage abhängt, wodurch eine kontinuierliche Weiterentwicklung und Pflege der Trainingsdaten erforderlich ist.

5 Ergebnisse

Dieses Kapitel fasst die im Projekt AMAzE 2.0 erzielten Ergebnisse zusammen und stellt deren Bedeutung im Kontext der Programmziele dar. Im Fokus stehen dabei die entwickelten methodischen Ansätze zur Integration von GIS-, BIM- und Fernerkundungsdaten sowie die Beschreibung eines digitalen Baueinreichprozesses. Neben den technischen Innovationen werden auch die daraus gewonnenen Erkenntnisse für die Praxis und die wissenschaftliche Weiterentwicklung aufgezeigt.

5.1. Projektergebnisse von AMAzE 2.0

Im Rahmen des Forschungsprojekts AMAzE 2.0 konnte ein durchgängiger, prototypischer Ansatz für die digitale Baueinreichung mit besonderem Fokus auf den Außenraum entwickelt, implementiert und evaluiert werden. Die Projektergebnisse zeigen, dass eine integrierte Verarbeitung von GIS-, BIM- und Fernerkundungsdaten technisch umsetzbar ist und eine belastbare Grundlage für zukünftige digitale Verwaltungsprozesse bildet. Im Zentrum steht dabei die Realisierung einer weitgehend medienbruchfreien Prozesskette, die von der Bereitstellung von Grundlagendaten über die Planung und Einreichung bis hin zum Monitoring und SOLL-IST-Abgleich reicht.

Ein wesentliches Ergebnis ist die Entwicklung einer durchgängigen Datenpipeline, die heterogene Geodaten aus unterschiedlichen Quellen automatisiert in ein konsistentes, BIM-kompatibles Datenmodell überführt. Durch den Einsatz ETL-basierter Verfahren konnte gezeigt werden, dass bestehende GIS-Daten wie etwa Katasterinformationen, Geländemodelle oder Infrastrukturdaten effizient transformiert und in das IFC-Format überführt werden können. Dies ermöglicht eine direkte Nutzung in BIM-Prozessen und stellt eine konsistente Integration von Außenrauminformationen in digitale Bauwerksmodelle sicher. Ein zentraler Aspekt liegt dabei in der Kombination etablierter Datenintegrationswerkzeuge mit skriptbasierten Erweiterungen, wodurch eine deutlich verbesserte Kontrolle über Struktur, Semantik und Qualität der erzeugten Modelle erreicht werden konnte.

Einen weiteren wesentlichen Aspekt bildet die systematische Einbindung des Außenraums in den digitalen Planungs- und Genehmigungsprozess. Durch die Definition standardisierter Informationsanforderungen für BIM-basierte Einreichmodelle wurde eine Grundlage geschaffen, um Grünraum, Versiegelung und weitere umweltrelevante Parameter maschinenlesbar abzubilden und automatisiert zu prüfen. Ergänzend dazu wurden KI-gestützte Verfahren zur Analyse von Luftbild- und Punktwolkendaten entwickelt, die eine präzise Segmentierung und Klassifikation unterschiedlicher Oberflächen ermöglichen. Die Kombination aus Deep-Learning-Methoden und spektralen Indizes, wie dem NDVI, führt dabei zu einer qualitativ hochwertigen Differenzierung zwischen natürlichen und künstlichen Strukturen und unterstützt eine datenbasierte Bewertung des Außenraums.

Darauf aufbauend wurde ein prototypischer SOLL-IST-Abgleich zwischen Planung und realisiertem Bestand skizziert. Dieser ermöglicht es, geplante und tatsächlich umgesetzte Grünraumeinreichungen zu vergleichen und stellt damit einen wesentlichen Fortschritt gegenüber bisherigen Prüfprozessen dar. Gleichzeitig wurden im Projekt auch praktische Rahmenbedingungen der Digitalisierung sichtbar, insbesondere im Hinblick auf fehlende standardisierte Schnittstellen, wodurch derzeit noch teilweise filebasierte Workflows erforderlich sind.

Neben den technischen Ergebnissen wurden die Projekterkenntnisse aktiv in die wissenschaftliche Gemeinschaft eingebracht. Die Veröffentlichung mehrerer peer-reviewter Publikationen sowie Präsentationen auf internationalen Fachkonferenzen dokumentieren die wissenschaftliche Qualität und Relevanz der entwickelten Ansätze. So wurden beispielsweise KI-basierte Methoden zur Analyse urbaner Grünräume und deren Anwendung im Smart-City-Kontext vorgestellt, ebenso wie Ansätze zur quantitativen Bewertung von Versiegelungsgraden auf Basis von Fernerkundungsdaten. Darüber hinaus wurden Verfahren zur Nutzung von 3D-Punktwolken für infrastrukturelle Zustandsanalysen und Predictive-Maintenance-Anwendungen publiziert. Ergänzend dazu wurde auch die Datendurchgängigkeit zwischen GIS- und BIM-Systemen im Kontext digitaler Zwillinge untersucht und im Rahmen wissenschaftlicher Beiträge präsentiert. Konkret sind folgende Publikationen im Rahmen des AMAzE 2.0 Projekts entstanden:

- Petschnigg Christina, Pamler Alexander, Pfeiffer Daniel, Urban Harald, Koren Günter, Ullrich Torsten: Green Space Development Monitoring for the Smart City: A Novel AI Based Methodology for the Assessment of Urban Green. In: Proceedings of the 8th International Conference on Places and Technologies, Vol. 8, 2024.
- Pamler Alexander, Petschnigg Christina, Koren Günter, Ullrich Torsten: Quantifying the Sealing of Urban Landscapes: A Comparative Analysis of Machine Learning Models for Water-Impermeable Surface Segmentation using Aerial Remote Sensing. In: Proceedings of the 10th International Conference on Places and Technologies, Vol. 10, 2026.
- Petschnigg Christina, Pamler Alexander, Arisan Kaan Onur, Loës Jean-Marie, Ullrich Torsten: Predictive maintenance in infrastructure: Utilizing 3D point clouds for efficient damage detection. In: Carinthia Nature Tech, Carinthia II/Part 3, Vol. 2, 2025.
- Pfeiffer Daniel, Loës Jan Morten, Urban Harald, Schranz Christoph: Data continuity between BIM and GIS for seamless integration of outdoor spaces into digital twins: a case study in Austria. In: Proceedings der EC3 Conference, 2025.

Ergänzt wurden diese Aktivitäten durch Fachvorträge sowie durch die Einbindung der Projektthemen in die akademische Lehre an der TU Wien und der TU Graz. Darüber hinaus entstanden studentische Arbeiten, die zur Vertiefung einzelner Fragestellungen beitrugen und einen nachhaltigen Wissenstransfer in Forschung und Lehre sicherstellten.

5.2. Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“

Das Projekt AMAzE 2.0 leistet einen direkten Beitrag zu den Zielsetzungen des Programms „Stadt der Zukunft“, das auf die Entwicklung innovativer Lösungen für nachhaltige, klimaresiliente und lebenswerte Städte abzielt. Ein zentraler Fokus des Programms liegt auf der Digitalisierung urbaner Systeme sowie der Nutzung datenbasierter Methoden zur Unterstützung von Planungs- und Entscheidungsprozessen.

AMAzE 2.0 adressiert diese Zielsetzungen insbesondere durch die Entwicklung eines integrierten Ansatzes zur Verknüpfung von GIS- und BIM-Daten. Dadurch wird eine zentrale Grundlage für datengetriebene Planungs- und Bewertungsprozesse geschaffen. Die im Projekt entwickelten Methoden zur automatisierten Erfassung und Analyse von Grünraum und Versiegelung leisten einen wichtigen Beitrag zur Bewertung klimarelevanter Faktoren wie Hitzeentwicklung, Wasserhaushalt und Biodiversität und unterstützen somit eine evidenzbasierte Stadtplanung.

Darüber hinaus trägt das Projekt zur Digitalisierung und Automatisierung von Verwaltungsprozessen bei. Der beschriebene Prozess zur digitalen Baueinreichung mit automatisierter Prüfung ermöglicht eine effizientere Abwicklung von Genehmigungsverfahren und erhöht gleichzeitig deren Transparenz und Nachvollziehbarkeit. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund wachsender urbaner Räume und steigender Anforderungen an Bauvorhaben von hoher Relevanz.

Ein weiterer Beitrag liegt in der Förderung innovativer, interdisziplinärer Technologien. Die Kombination von ETL-Prozessen, openBIM-Standards und KI-gestützter Fernerkundungsanalyse verbindet unterschiedliche Forschungs- und Anwendungsfelder und eröffnet neue Perspektiven für die digitale Stadtentwicklung. Dadurch wird nicht nur die Innovationsfähigkeit gestärkt, sondern auch die Grundlage für zukünftige Anwendungen in Verwaltung und Planung geschaffen.

Insgesamt zeigt das Projekt AMAzE 2.0, wie durch die intelligente Verknüpfung von Daten, Modellen und Analyseverfahren nachhaltige und effiziente Lösungen für die Stadt der Zukunft entwickelt werden können.

6 Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Projekts AMAzE 2.0 konnte das Projektteam eine Reihe zentraler fachlicher Erkenntnisse gewinnen, die sowohl die technische Umsetzbarkeit als auch die praktischen Rahmenbedingungen der Digitalisierung im Bau- und Verwaltungsbereich betreffen. Eine wesentliche Erkenntnis besteht darin, dass die Integration von GIS- und BIM-Daten entlang eines durchgängigen Prozesses grundsätzlich technisch realisierbar ist, jedoch ein hohes Maß an methodischer Abstimmung und struktureller Standardisierung erfordert. Insbesondere wurde deutlich, dass Unterschiede in Datenmodellen, Koordinatensystemen und Detaillierungsgraden nicht nur technische Herausforderungen darstellen, sondern auch eine konzeptionelle Anpassung notwendig machen. Die Entwicklung einer hybriden Architektur zur IFC-Erzeugung hat gezeigt, dass bestehende Werkzeuge durch gezielte Erweiterungen deutlich leistungsfähiger gemacht werden können, gleichzeitig aber auch Grenzen etablierter Softwarelösungen sichtbar werden.

Ein weiterer wichtiger fachlicher Befund betrifft den Einsatz von KI-gestützten Analyseverfahren. Die im Projekt entwickelten Methoden zur Auswertung von Luftbild- und Punktwolkendaten haben gezeigt, dass automatisierte Klassifikationen mit hoher Genauigkeit möglich sind und eine wertvolle Grundlage für einen SOLL-IST-Abgleich darstellen. Gleichzeitig wurde deutlich, dass die Qualität der Ergebnisse stark von der Verfügbarkeit und Qualität geeigneter Trainingsdaten abhängt. Ebenso wesentlich ist die Qualität der Datenerhebung selbst, insbesondere die Auswahl geeigneter Sensorik, die räumliche Auflösung der Bilddaten, die Verfügbarkeit spektraler Informationen sowie die Erfassung ergänzender 3D-Daten. Insbesondere bei komplexen oder fein differenzierten Klassen, wie unterschiedlichen Versiegelungsgraden, stößt die automatisierte Klassifikation an methodische Grenzen. Daraus ergibt sich die Erkenntnis, dass KI-Verfahren in diesem Kontext als unterstützende Werkzeuge zu verstehen sind, die durch geeignete Datenstrategien und kontinuierliche Modellverbesserung ergänzt werden müssen.

Für das Projektteam ergibt sich daraus die klare Perspektive, die entwickelten Ansätze weiterzuführen beziehungsweise in Richtung operativer Anwendungen zu überführen. Ein zentraler nächster Schritt besteht in der Weiterentwicklung der prototypischen Systeme hin zu stabilen, skalierbaren Lösungen, die in bestehende IT-Landschaften integriert werden können. Dabei liegt ein besonderer Fokus auf der Weiterentwicklung hin zu API-basierten Architekturen, um eine durchgängige Automatisierung zu ermöglichen. Parallel dazu sollen die entwickelten KI-Modelle weiter trainiert und auf zusätzliche Anwendungsfälle ausgeweitet werden, etwa durch die Integration weiterer Datenquellen oder durch die Anwendung auf größere räumliche Gebiete.

Die Projektergebnisse sind für eine Vielzahl unterschiedlicher Zielgruppen relevant. Im behördlichen Kontext bieten sie eine Grundlage für die Digitalisierung und Automatisierung von Genehmigungsverfahren. Verwaltungen können von effizienteren Prüfprozessen, einer höheren Transparenz sowie einer besseren Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen profitieren. Für Planungsbüros und Ingenieur:innen eröffnen die entwickelten Methoden neue Möglichkeiten, Planungsgrundlagen automatisiert zu integrieren und Einreichmodelle direkt auf Grundlage konsistenter Daten zu erstellen. Darüber hinaus sind die Ergebnisse auch für Infrastrukturbetreiber und Stadtplaner:innen von Interesse, da sie eine verbesserte Analyse und Bewertung des Außenraums ermöglichen. Im wissenschaftlichen Kontext liefern die entwickelten Ansätze wertvolle Beiträge zur

Weiterentwicklung integrierter Datenmodelle und KI-gestützter Analysemethoden. Technologieanbieter und Softwareentwickler können die im Projekt entwickelten Konzepte als Grundlage für neue Produkte oder Erweiterungen bestehender Systeme nutzen.

Im Zusammenhang mit der praktischen Umsetzung der entwickelten Technologien zeigen sich verschiedene rechtliche und organisatorische Hürden. Ein zentrales Thema ist die Verfügbarkeit und Nutzbarkeit von Daten, insbesondere im Hinblick auf Datenschutz, Urheberrechte und Nutzungsbeschränkungen. Viele der im Projekt benötigten Daten, beispielsweise Katasterinformationen oder hochauflösende Luftbilder, unterliegen spezifischen rechtlichen Rahmenbedingungen, die eine automatisierte Weiterverarbeitung oder Integration erschweren können. Darüber hinaus stellen ungeklärte Zuständigkeiten für Datenbereitstellung und -pflege eine Herausforderung dar. Auch im Bereich der digitalen Baueinreichung bestehen teilweise noch rechtliche Unsicherheiten, etwa hinsichtlich der Verbindlichkeit digitaler Modelle oder der Anerkennung automatisierter Prüfverfahren. Diese Aspekte zeigen, dass neben technischen Entwicklungen auch entsprechende rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, um eine breite Umsetzung zu ermöglichen.

Hinsichtlich der Verwertung und Verbreitung der Projektergebnisse wurden bereits während der Projektlaufzeit verschiedene Aktivitäten gesetzt. Dazu zählen die Präsentation der Ergebnisse in Fachkreisen, die Einbindung von Praxispartnern sowie die Durchführung von Demonstrationsprojekten, in denen die entwickelten Ansätze unter realen Bedingungen getestet wurden. Darüber hinaus wurden wissenschaftliche Ergebnisse in Form von Berichten und Publikationen dokumentiert und damit einer breiteren Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht. Die enge Zusammenarbeit mit Städten, Infrastrukturbetreibern und Technologiepartnern hat wesentlich dazu beigetragen, die Anwendbarkeit der entwickelten Lösungen sicherzustellen und frühzeitig Feedback aus der Praxis zu integrieren.

Für die Zukunft besteht ein erhebliches Potenzial zur weiteren Verwertung und Verbreitung der Projektergebnisse. Insbesondere im Kontext der fortschreitenden Digitalisierung von Verwaltungsprozessen und der zunehmenden Bedeutung nachhaltiger Stadtentwicklung bieten die entwickelten Ansätze vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Eine mögliche Verwertungsperspektive liegt in der Integration der entwickelten Methoden in bestehende Softwarelösungen oder Plattformen, etwa im Bereich BIM-Authoring, GIS-Systeme oder digitale Zwillinge. Darüber hinaus besteht Potenzial für die Entwicklung spezialisierter Anwendungen, etwa für automatisierte Grünraumanalysen oder Monitoringlösungen für Städte und Gemeinden.

Langfristig kann der im Projekt entwickelte Ansatz einen wichtigen Beitrag zur Transformation des Bau- und Planungswesens leisten. Durch die Verknüpfung von Daten, Modellen und Analyseverfahren entsteht eine Grundlage für effizientere, transparentere und nachhaltigere Prozesse. Voraussetzung für eine breite Umsetzung ist jedoch, dass die im Projekt identifizierten technischen, organisatorischen und rechtlichen Herausforderungen weiter adressiert und entsprechende Rahmenbedingungen geschaffen werden.

7 Ausblick und Empfehlungen

Aufbauend auf den im Projekt AMAzE 2.0 erzielten Ergebnissen ergeben sich mehrere konkrete Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Ein zentraler Ansatzpunkt liegt in der Weiterentwicklung der Datenintegration hin zu vollständig serviceorientierten, API-basierten Architekturen. Während im Projekt gezeigt werden konnte, dass eine durchgängige Datenpipeline technisch realisierbar ist, erfolgte die Umsetzung aus pragmatischen Gründen überwiegend filebasiert. Zukünftige Arbeiten sollten daher darauf abzielen, standardisierte Schnittstellen zwischen den relevanten Datenanbietern (z. B. Kataster, Fernerkundungsdaten, Infrastrukturbetreiber) und den verarbeitenden Systemen zu etablieren. Dies würde nicht nur die Automatisierung weiter erhöhen, sondern auch die Aktualität und Konsistenz der Daten signifikant verbessern.

Ein zentraler Aspekt zukünftiger Arbeiten betrifft zudem die legislatischen Rahmenbedingungen. Die im Projekt entwickelten Ansätze zeigen, dass digitale Einreichmodelle und automatisierte Prüfverfahren technisch umsetzbar sind, jedoch derzeit nur eingeschränkt rechtlich verankert sind. Für eine breite Anwendung ist daher die Klärung der rechtlichen Verbindlichkeit digitaler Modelle, insbesondere von IFC-basierten Einreichungen, erforderlich. Ebenso müssen Fragen der Datenhoheit, des Datenschutzes sowie der Nutzung von Fernerkundungsdaten adressiert werden. Darüber hinaus bedarf es klar definierter Zuständigkeiten und standardisierter Vorgaben für Datenformate und Prüfprozesse, um eine einheitliche und rechtssichere Umsetzung im behördlichen Kontext zu ermöglichen. Die Weiterentwicklung der gesetzlichen Grundlagen stellt somit eine wesentliche Voraussetzung für die Überführung der entwickelten Konzepte in den operativen Betrieb dar.

Ein weiterer wesentlicher Entwicklungsbedarf ergibt sich im Bereich der semantischen Harmonisierung von GIS- und BIM-Daten. Die im Projekt entwickelten Transformationsprozesse zeigen, dass eine technische Überführung grundsätzlich möglich ist, jedoch weiterhin Herausforderungen hinsichtlich Datenmodellen und Informationsanforderungen bestehen. Hier empfiehlt sich eine vertiefte Auseinandersetzung mit standardisierten Ontologien sowie mit der Weiterentwicklung offener Standards wie IFC oder CityGML, insbesondere im Hinblick auf die Integration von Außenraum- und Umweltinformationen. Ergänzend dazu sollten Methoden zur automatisierten Qualitätssicherung und Validierung stärker in den Fokus rücken, um die Verlässlichkeit der Ergebnisse in operativen Anwendungen sicherzustellen.

Im Bereich der KI-gestützten Analyseverfahren besteht ebenfalls Potenzial für weitere Verbesserungen. Insbesondere die Erweiterung und Diversifizierung der Trainingsdatensätze ist entscheidend, um die Robustheit und Generalisierbarkeit der Modelle zu erhöhen. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich verstärkt mit multimodalen Ansätzen beschäftigen, bei denen Bilddaten, spektrale Informationen und weitere Sensordaten kombiniert werden. Auch die Integration erklärbarer KI-Methoden ist von hoher Relevanz, insbesondere im behördlichen Kontext, wo Nachvollziehbarkeit und Transparenz zentrale Anforderungen darstellen.

Darüber hinaus empfiehlt sich die Weiterentwicklung des im Projekt prototypisch umgesetzten SOLL-IST-Abgleichs hin zu einem kontinuierlichen Monitoring-System. Ein solches System könnte Veränderungen im Außenraum automatisiert und zeitlich fortlaufend erfassen und dokumentieren

und damit neue Möglichkeiten für die langfristige Beobachtung urbaner Entwicklungen sowie für das Management von Infrastruktur und Umweltressourcen eröffnen.

Im Hinblick auf Demonstrationsvorhaben bietet das im Projekt entwickelte System ein hohes Potenzial für die Umsetzung in realen Anwendungsumgebungen. Als konkreter Demonstrationsfall diente in AMAzE 2.0 das Harbach-Wohnprojekt in Klagenfurt, anhand dessen die entwickelten Methoden prototypisch angewendet und unter realitätsnahen Bedingungen erprobt wurden. Solche Anwendungsfälle sind von zentraler Bedeutung, um die Praxistauglichkeit der entwickelten Ansätze zu validieren und deren Integration in bestehende Verwaltungsprozesse zu testen. Zukünftige Demonstrationsprojekte könnten die vollständige digitale Abwicklung von Bauvorhaben umfassen, beginnend bei der Bereitstellung der Grundlagendaten über die BIM-basierte Einreichung bis hin zum automatisierten SOLL-IST-Abgleich nach der Umsetzung. Die Chancen eines solchen Vorhabens liegen insbesondere in der praktischen Validierung der entwickelten Konzepte sowie in der Möglichkeit, konkrete Mehrwerte für die beteiligten Akteur:innen sichtbar zu machen. Dazu zählen effizientere Genehmigungsverfahren, eine verbesserte Datenqualität sowie eine höhere Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen. Gleichzeitig kann ein Demonstrationsprojekt dazu beitragen, Akzeptanz für neue digitale Methoden zu schaffen und deren Nutzen für unterschiedliche Zielgruppen zu verdeutlichen.

Gleichzeitig sind bei der Umsetzung auch Herausforderungen und Risiken zu berücksichtigen. Ein wesentliches Risiko besteht in der Integration in bestehende IT- und Verwaltungsstrukturen, die häufig historisch gewachsen und nur begrenzt standardisiert sind. Die Einführung neuer Prozesse erfordert daher nicht nur technische Anpassungen, sondern auch organisatorische Veränderungen sowie entsprechende Schulungsmaßnahmen. Darüber hinaus können rechtliche Unsicherheiten, etwa im Hinblick auf die Verbindlichkeit digitaler Modelle oder die Nutzung von Fernerkundungsdaten, die Umsetzung erschweren.

Ein weiterer kritischer Faktor ist die Datenverfügbarkeit. Für ein erfolgreiches Demonstrationsvorhaben müssen aktuelle, qualitativ hochwertige und möglichst vollständige Datensätze zur Verfügung stehen. In der Praxis ist dies jedoch nicht immer gewährleistet, insbesondere wenn Daten aus unterschiedlichen Quellen zusammengeführt werden müssen. Auch die Sicherstellung der Datenpflege und Aktualisierung stellt eine Herausforderung dar.

Trotz dieser Herausforderungen überwiegt das Potenzial eines Demonstrationsvorhabens deutlich. Die im Projekt entwickelten Ansätze bieten eine solide Grundlage, um den nächsten Schritt von der prototypischen Entwicklung hin zur praktischen Anwendung zu gehen. Durch eine schrittweise Umsetzung in ausgewählten Pilotregionen können Erfahrungen gesammelt, Methoden weiter optimiert und gleichzeitig die Voraussetzungen für eine breitere Skalierung geschaffen werden. Langfristig kann ein solcher Ansatz dazu beitragen, die Digitalisierung im Bau- und Verwaltungswesen entscheidend voranzutreiben und einen nachhaltigen Mehrwert für Städte, Verwaltung und Gesellschaft zu generieren.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Lebenszyklusorientierter digitaler Workflow zur Integration von GIS und BIM entlang der Phasen Planung, Genehmigung, Bau und Monitoring im Rahmen einer Digital-Twin-Plattform (Pfeiffer, et al. 2025).....	16
Abbildung 2 Lebenszyklusorientierter digitaler Workflow zur Integration von GIS und BIM entlang der Phasen Planung, Genehmigung, Bau und Monitoring im Rahmen einer Digital-Twin-Plattform (Pfeiffer, et al. 2025).....	36
Abbildung 3 Luftbildkacheln eines Wohngebiets in Klagenfurt, das als Testgebiet für die KI-gestützte Segmentierung von Gebäuden, Versiegelungsflächen und Vegetationsklassen dient.....	37
Abbildung 4 Punktwolke eines urbanen Parkplatz- und Straßenraums als Eingangsdatenbasis für die KI-gestützte 3D-Segmentierung (Petschnigg, et al. 2025).....	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Data Management Plan - im Projekt verwendete Daten	31
Tabelle 2 - Data Management Plan - im Projekt generierte Daten.....	32

Literaturverzeichnis

- Borrmann, André, Markus König, Christian Koch, und Jakob Beetz. 2015. *Building Information Modelling. Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. Springer Wiesbaden. doi:10.1007/978-3-658-05606-3.
- buildingSMART International. 2024. *Industry Foundation Classes (IFC) – An Introduction*. Zugriff am 27. Mai 2026. <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>.
- Chen, Liang-Chieh, Yukun Zhu, George Papandreou, Florian Schroff, und Hartwig Adam. 2018. „Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation.“ *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)* 801-818.
- Europäisches Parlament. 2024. *Verordnung über die Wiederherstellung der Natur*. Zugriff am 27. Mai 2026. <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2024/06/17/nature-restoration-law-council-gives-final-green-light/>.
- FFG. 2019. *Green BIM*. Zugriff am 27. Mai 2026. <https://projekte.ffg.at/projekt/3307429>.
- . 2023. *Green BIM 2*. Zugriff am 27. Mai 2026. <https://projekte.ffg.at/projekt/4762047>.
- Kolbe, Thomas H. 2009. „Representing and exchanging 3D city models with CityGML.“ In *3D Geo-Information Sciences. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography.*, von J Lee und S Zlatanova, 15-31. Springer Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-540-87395-2_2.

- Moult, Dion, und Thomas Krijnen. 2007. *IfcOpenShell: The open source IFC toolkit and geometry engine*. Zugriff am 27. Mai 2026. <https://ifcopenshell.org/>.
- Pamler, Alexander, Christina Petschnigg, Günter Koren, und Torsten Ullrich. 2026. „Quantifying the Sealing of Urban Landscapes: A Comparative Analysis of Machine Learning Models for Water Impermeable Surface Segmentation using Aerial Remote Sensing.“ *Proceedings of the 10th International Conference on Places and Technologies*. 344-350.
- Petschnigg, Christina, Alexander Pamler, Kazim Onur Arisan, Jan Morten Loës, und Torsten Ullrich. 2025. „Predictive maintenance in infrastructure: Utilizing 3D point clouds for efficient damage detection.“ *Carinthia II-Part 3 2 (2)*: 47-55. doi:10.71911/cii-p3-nt-2025223.
- Pfeiffer, Daniel, Jan Morten Loës, Harald Urban, und Christian Schranz. 2025. „Data continuity between BIM and GIS for seamless integration of outdoor spaces into digital twins: a case study in Austria.“ *Proceedings of the European Conference on Computing in Construction (EC3)*. Porto.
- Qi, Charles R, Hao Su, Kaichun Mo, und Leonidas J Guibas. 2017. „Pointnet: Deep learning on point sets for 3d classification and segmentation.“ *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* 652-660.
- Ramos, Leo Thomas, und Sappa Angel. 2024. „Multispectral semantic segmentation for land cover classification: An overview.“ *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 14295-14336.
- Stadt Wien. 2019. *BRiSE – Die Zukunft der Verwaltung*. Zugriff am 27. Mai 2026. <https://digitales.wien.gv.at/projekt/brisevienna/>.

Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional
AI	Artificial Intelligence (Künstliche Intelligenz)
ALS	Airborne Laserscanning
AMaZE	AutoMATische Einreichung
API	Application Programming Interface
BIM	Building Information Modeling
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
BRiSE	Building Regulations Information for Submission Involvement
CityGML	City Geography Markup Language
DEM	Digital Elevation Model (Digitales Geländemodell)

DKM	Digitale Katastralmappe
DMP	Data Management Plan
DOI	Digital Object Identifier
EC3	European Conference on Computing in Construction
ETL	Extract, Transform, Load
FFG	Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FME	Feature Manipulation Engine
GIS	Geographic Information System (Geoinformationssystem)
IFC	Industry Foundation Classes
IoU	Intersection over Union
KI	Künstliche Intelligenz
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near Infrared (Nahinfrarot)
RED	Red Band (rotes Spektralband)
TLS	Terrestrial Laserscanning (terrestrisches Laserscanning)
TIN	Triangulated Irregular Network

9 Anhang

9.1. Data Management Plan (DMP)

Der Datenmanagementplan beschreibt den Umgang mit den im Projekt AMAzE 2.0 verwendeten und erzeugten Daten. Er legt dar, welche Daten verarbeitet werden, wie deren Dokumentation, Speicherung und mögliche Wiederverwendung erfolgt und welche Maßnahmen zum Schutz sensibler Informationen vorgesehen sind.

1: Datenerstellung und Dokumentation

Im Projekt AMAzE 2.0 wurden sowohl externe Datenquellen als auch im Projektkonsortium vorhandene Datenbestände und Vorarbeiten genutzt. Zu den konsortiumsintern bereitgestellten Daten zählen insbesondere kommunale Geodaten, Katasterinformationen, Flächenwidmungs- und Bebauungsgrundlagen, Orthofotos (Luftbilddaten) sowie 3D-Daten wie Laserscanning-Daten und digitale Geländemodelle. Ergänzend wurden Ergebnisse und Vorarbeiten aus dem Vorgängerprojekt AMAzE herangezogen. Diese umfassen vor allem konzeptionelles und methodisches Vorwissen zur digitalen Prüfung der Baueinreichung, zur GIS- und BIM-Integration sowie zur modellbasierten Unterstützung behördlicher Prüfprozesse. Dabei handelt es sich überwiegend um textuelle Beschreibungen, Prozesswissen, technische Konzepte und projektspezifische Erfahrungswerte. Als externe Datenquelle wurden insbesondere Sentinel-2-Satellitendaten berücksichtigt. Der Zugang zu den verwendeten Daten ist abhängig von Quelle, Nutzungsrechten und Vertraulichkeit und reicht von öffentlich zugänglichen Daten bis hin zu projektsintern beschränkt nutzbaren Daten.

Tabelle 1 - Data Management Plan - im Projekt verwendete Daten

Beschreibung	Typ	Art	Quelle	Zugang	Link
Katasterinformationen	Geodaten, numerische Daten	Grundstücks- / Liegenschaftsdaten	Konsortium	Projektsintern, nicht öffentlich	-
Flächennutzung	Rasterdaten	Bodennutzungskategorien	Konsortium	Projektsintern, nicht öffentlich	-
Digitales Geländemodell	Rasterdaten	Höhen- und Geländedaten	Konsortium	Projektsintern, nicht öffentlich	-
Luftbilddaten	Rasterdaten	Hochauflösende Bilddaten	Konsortium	Projektsintern, nicht öffentlich	-

Beschreibung	Typ	Art	Quelle	Zugang	Link
Laserscanning-Daten	3D-Daten	Punktwolken	Konsortium	Projektintern, nicht öffentlich	-
Sentinel-2-Daten	Rasterdaten	Fernerkundungsdaten	Copernicus Sentinel-2	öffentlich	Copernicus Data Space (Zugriff 02.06.2026)

Im Projekt AMAzE 2.0 werden neben der Nutzung bestehender Daten auch neue projektbezogene Daten und Artefakte generiert. Dazu zählen insbesondere abgeleitete BIM-Modelle im IFC-Format, aufbereitete Laserscanning- und Punktwolkendaten, händisch annotierte Trainings-, Validierungs- und Testdaten für KI-Modelle sowie Analyse- und Ergebnisdaten aus der Auswertung von Grünraum, Versiegelung und weiteren Oberflächenklassen. Darüber hinaus entstehen technische Artefakte wie FME-Workflows, Python-Skripte und Prozessdokumentationen, die die im Projekt entwickelten Datenverarbeitungs- und Analyseprozesse beschreiben und reproduzierbar machen.

Tabelle 2 - Data Management Plan - im Projekt generierte Daten

Beschreibung	Typ	Art	Verantwortlich	Zugang
Aufbereitete Luftbilddaten	Rasterdaten	Annotierte Luftbilder	Fraunhofer Austria, Stadt Klagenfurt	Projektintern, nicht öffentlich
Aufbereitete Laserscanning-Daten	3D-Daten	Bereinigte und annotierte Punktwolken	Fraunhofer Austria, VIE Build	Projektintern, nicht öffentlich
Ergebnisse der Luftbildsegmentierung	Rasterdaten, textuelle Beschreibung	Segmentierte Luftbilddaten	Fraunhofer Austria	Teilweise publiziert (Pamler, et al. 2026)
Ergebnisse der Punktwolkensegmentierung	Punktwolke, textuelle Beschreibung	Segmentierte Punktwolke	Fraunhofer Austria	Teilweise publiziert (Petschnigg, et al. 2025)
Ergebnisse der Sentinel-2-Analyse	Rasterdaten	NDVI Auswertung und testweise Zeitreihe	Fraunhofer Austria	Projektintern, nicht öffentlich

Beschreibung	Typ	Art	Verant- wortlich	Zugang
FME-Workflows	Workflow- Dateien	ETL-basierte Datenintegration und Transformation	TU Wien, VIE Build	Projektintern, nicht öffentlich
Python-Skripte (IFC-Erzeugung und KI-Modelle)	Quellcode	Modellgenerierung , Datenverarbeitung und Analyse	Fraunhofer Austria, TU Wien, VIE Build	Projektintern, nicht öffentlich
Projektdoku- mentationen	Text	Beschreibung von Use Cases, Daten und Analyseprozessen	Konsortium	Projektintern, nicht öffentlich

Die Dokumentation der Daten erfolgt projektintern entlang der jeweiligen Verarbeitungsschritte. Für jeden Datensatz werden Herkunft, Erhebungs- bzw. Erstellungszeitpunkt, Datenformat, räumlicher Bezug, Bearbeitungsschritte, verwendete Software bzw. Skripte und Versionen dokumentiert. Dadurch bleibt nachvollziehbar, welche Eingangsdaten verwendet wurden, welche Transformationen durchgeführt wurden und welche Ergebnisdaten daraus entstanden sind.

2: Ethische, rechtliche und Sicherheitsaspekte

Im Projekt AMAzE 2.0 werden überwiegend technische und projektbezogene Daten verarbeitet, insbesondere GIS-Daten, BIM-Modelle, Luftbilddaten, Laserscanning-Daten, Satellitendaten, annotierte Trainingsdaten sowie daraus abgeleitete Analyse- und Ergebnisdaten. Personenbezogene Daten stehen nicht im Fokus des Projekts. Dennoch können einzelne Datensätze, wie hochauflösende Luftbilder oder Laserscans, potenziell personenbezogene Informationen enthalten, etwa erkennbare Personen oder Kfz-Kennzeichen. Aus diesem Grund wurden bereits im Zuge der Datenerfassung geeignete Maßnahmen zur Anonymisierung beziehungsweise Verpixelung solcher Inhalte umgesetzt.

Wissenschaftliche Beiträge und publizierte Ergebnisse werden unter Wahrung der Urheberrechte der beteiligten Forschenden und Institutionen veröffentlicht. Verwendete Daten, Methoden und Vorarbeiten werden entsprechend referenziert und mit Quellenangaben versehen. Der Konsortialvertrag bildet die Grundlage für eine mögliche spätere Verwertung oder Weiterentwicklung der im Projekt erarbeiteten Konzepte, Methoden und technischen Artefakte. Forschungsdaten und Projektergebnisse verbleiben grundsätzlich im Verantwortungsbereich der jeweiligen Partnerorganisationen.

3: Datenspeicherung und -erhalt

Die projektbezogenen Daten aus AMAzE 2.0 werden während der Projektlaufzeit auf den internen Servern von Fraunhofer Austria abgelegt und über die dort verfügbaren Systeme zur Datenverwaltung und Speicherung organisiert. Die Sicherung der Daten erfolgt entsprechend den institutionellen IT- und

Backup-Prozessen von Fraunhofer Austria. Eine zusätzliche Sicherung auf externen Speichermedien ist nicht vorgesehen. Der Zugriff ist auf berechnete Projektpartner:innen beschränkt. Die zentrale Koordination und Verwaltung der Projektdaten liegen beim Konsortialführer.

4: Wiederverwendbarkeit der Daten

Die im Projekt AMAzE 2.0 generierten Daten stehen den Projektpartner:innen unter Berücksichtigung der vertraglichen Regelungen zur Verfügung. Eine uneingeschränkte öffentliche Bereitstellung aller Projektdaten ist nicht vorgesehen, da einzelne Datensätze auf nicht öffentlich zugänglichen Ausgangsdaten beruhen. Sensible Daten im engeren Sinn wurden im Projekt grundsätzlich nicht erzeugt beziehungsweise direkt bei der Datenaufnahme anonymisiert.

Eine Veröffentlichung erfolgt primär in Form von wissenschaftlichen Publikationen, Fachbeiträgen und Projektberichten. Diese Veröffentlichungen enthalten Beschreibungen der verwendeten Daten, der entwickelten Prozesse, der angewendeten Methoden sowie der erzielten Ergebnisse. Wissenschaftliche Veröffentlichungen werden in der Regel über die digitalen Bibliotheken der jeweiligen Verlage oder Konferenzplattformen zugänglich gemacht und mit einem Digital Object Identifier (DOI) versehen.

