

Integriertes und skalierbares Planungssystem auf Basis von GIS- und Bodeninformationen in der Infrastrukturplanung

Maik Görgner^{1,2} , Simon Hoeng¹ , Anna-Maria Mehringer^{1,2}  and Jonas Wiederer¹ 

¹Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Seybothstraße 2, 93053 Regensburg

²Firmengruppe Max Bögl, Max-Bögl-Straße 1, 92369 Sengenthal

E-mail(s): maik.goergner@oth-regensburg.de, simon.hoeng@oth-regensburg.de,
anna-maria.mehringer@oth-regensburg.de, jonas.wiederer@oth-regensburg.de

Abstract: Die Energiewende erfordert den beschleunigten Ausbau des deutschen Stromnetzes und der dazugehörigen Infrastruktur. Herausforderungen wie heterogene Umweltbedingungen, vielfältige Hindernisse und wechselhafte Bodenverhältnisse machen dieses Vorhaben zu einer hochkomplexen Planungsaufgabe. Die effiziente und nachhaltige Abwicklung dieser Energieinfrastrukturprojekte erfordert daher innovative und integrative Lösungsansätze.

Vor diesem Hintergrund schlägt die Arbeit ein ganzheitliches, innovatives System vor, das geotechnische, umweltbezogene und infrastrukturelle Daten modular miteinander verknüpft. Ziel ist eine automatisierte, kontextabhängige Auswahl und Kombination geeigneter Bauverfahren innerhalb linearer Infrastrukturprojekte. Der geometrische Verlauf dieser Projekte wird importiert und eine automatisierte Querungserkennung identifiziert Straßen-, Fluss- und Waldpassagen. Unter Berücksichtigung des Ziels eines möglichst konsistenten Bauverfahrenseinsatz unterteilt das System die Route in standardisierte Module, die jeweils durch ein spezifisches Bauverfahren und Bodencharakteristika definiert sind. Jedes Modul enthält realistische Kennzahlen zu Ressourcenaufwand, Bauzeit und Kosten sowie variable Parameter.

Innovativ ist dabei die systematische Zusammenführung heterogener Datensätze aus Geotechnik sowie Umwelt- und Infrastrukturinformationen zu einem integrierten Bewertungsrahmen. Gegenstand der Forschung ist die optimale Modellierung und algorithmische Verknüpfung multidimensionaler Daten, um ein effektives und effizientes Tool zu generieren. Zusätzlich untersucht die Arbeit mögliche Validierungsstrategien (Abgleich mit echten Bauprojekten, Sensitivitätsanalysen) sowie Performance-Metriken (Rechenaufwand, Genauigkeit der Empfehlung) für das modulare Entscheidungssystem.

Keywords: GIS, BIM, Geotechnics, Modularisation, Optimisation



DOI: 10.18154/RWTH-CONV-254901. Published in the conference proceedings of the 36. Forum Bauinformatik 2025, Aachen, Germany.
© 2025 The copyright for this article lies with the authors. This publication, except for quotations and otherwise indicated parts, is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.

1 Motivation, Konflikt und Herausforderungen

Der beschleunigte Ausbau des deutschen Stromnetzes gilt als eine der zentralen Voraussetzungen für das Gelingen der Energiewende. Insbesondere großflächige Linienbaumaßnahmen stellen Planerinnen und Planer vor komplexe Herausforderungen, die über klassische Ingenieurleistungen hinausreichen. Im Fokus steht nicht nur die enorme Länge dieser Infrastrukturachsen, sondern vor allem ihre Durchdringung hochdiverser Raumtypen, von urbanen Zonen bis hin zu ökologisch sensiblen Naturräumen [1]. Daraus ergibt sich ein Spannungsfeld zwischen Zeitdruck, ökologischen Zielsetzungen und bautechnischen Rahmenbedingungen, die im Rahmen bestehender Verfahren parallel berücksichtigt werden müssen [2]. Diese hohen Anforderungen an eine präzise und gleichzeitig effiziente Trassenplanung führen zu einem wesentlichen Zielkonflikt im Zuge der Projektabwicklung. Umweltbedingungen, Schutzgebiete, bestehende Infrastrukturen sowie geotechnische Unsicherheiten erfordern eine Vielzahl standortspezifischer Abwägungen [3]. Konventionelle Planungsprozesse basieren bislang auf einer Kombination aus manuell aufbereiteten Fachgutachten, projektbezogener Expertise und iterativen Abstimmungen mit Beteiligten. Diese Praxis ist jedoch zeit- und ressourcenintensiv und lässt sich nur schwer skalieren oder digital automatisieren. Besonders herausfordernd ist die systematische Auswahl geeigneter Ausführungsvarianten entlang der geplanten Trasse.

Die Entscheidung für ein ungeeignetes Verfahren kann nicht nur zu Kostensteigerungen und Verzögerungen führen, sondern auch Genehmigungsrisiken erhöhen oder ökologische Zielsetzungen konterkarieren. Vor diesem Hintergrund gewinnt der Einsatz datenbasierter, integrativer Planungsansätze zunehmend an Bedeutung. Zum einen sind Werkzeuge erforderlich, welche geotechnische, infrastrukturelle und ökologische Parameter erfassen und aggregieren. Zum anderen müssen diese Parameter innerhalb einer systematischen und automatisierbaren Entscheidungslogik bewertet werden. Nur so lässt sich der gestiegene Komplexitätsgrad der Trassen- und Bauverfahrenplanung in einer für Großprojekte skalierbaren Form bewältigen.

Speziell die Wahl der jeweiligen Bauweise stellt einen bislang wenig standardisierten, stark erfahrungsbasierten Schritt dar. Diesen Schritt zu optimieren, könnte jedoch maßgeblich zur Risikominimierung, Kostensicherheit und Genehmigungsfähigkeit beitragen. In Anlehnung an [4] eröffnen datenbasierte sowie modellgestützte Vorgehen hier das Potenzial, planungsrelevante Faktoren frühzeitig transparent zu machen. Auch können Varianten systematisch bewertet und robuste, nachvollziehbare Entscheidungen abgeleitet werden. Die hier beschriebene Methodik setzt genau an dieser Schnittstelle an. Ziel ist es, ein methodisches Fundament für ein Planungsinstrument zu entwickeln, das den Bauverfahrensentscheid entlang einer Trasse quantitativ unterstützt.

2 State of the Art und Forschungsbedarf

2.1 Grundlagen aktueller GIS- und Geodatenintegration

Die Nutzung von Geoinformationssystemen (GIS) hat sich in den vergangenen Jahren als elementarer Bestandteil der Infrastrukturplanung etabliert. Insbesondere für Trassenbauprojekte liefern standardisierte Geodatenformate und Geo-Web-Services (z. B. WMS, WFS nach OGC) die technischen Voraussetzungen für die Zusammenführung heterogener räumlicher Informationen.

[5] zeigen am Beispiel des Projekts „3D Tracks“ bereits früh, wie interoperable Geo-Web-Services die Planungszusammenarbeit verbessern und aktuelle Geodaten in die Trassenplanung integrieren können. Diese grundlegende Fähigkeit zur Datenintegration liefert zugleich die technische Infrastruktur für den hier verfolgten Ansatz.

Im Leitfaden 3D-GIS und Energie (2015) unterstreichen [6] das wachsende Potenzial von 3D-GIS-Systemen in der Energieinfrastrukturplanung, insbesondere im Hinblick auf Visualisierung, Datenintegration und präzisere geometrische Analysen. Hervorzuheben ist dabei die Diskussion raumwiderstandsbasierter Verfahren, wie sie etwa durch Least Cost Path Analysis oder Multi-Criteria Decision Analysis umgesetzt werden. Beide Methoden basieren auf der Rasterung raumbezogener Einflussfaktoren. Kriterien wie Bebauung, Artenschutz oder ökologische Einschränkungen können über Zellwiderstände berücksichtigt werden. Die Auswahl geeigneter Trassenabschnitte erfolgt auf Grundlage gewichteter Entscheidungsregeln.

Auch kommerzielle Lösungen wie nisStrom Trasse nutzen GIS-basierte Systeme zur Planung und Verwaltung von Stromtrassen. Sie fokussieren sich jedoch primär auf die Verwaltung, Dokumentation und geometrische Darstellung von Trassenverläufen, ohne eine automatisierte Ableitung optimaler Ausführungsvarianten vorzusehen. [7]

Auch im Bereich der digitalen Bauwerksmodellierung zeigt sich eine zunehmende Integration geodätischer Methoden in moderne Planungsprozesse.

In diesem Zusammenhang stellt [8] im Leitfaden Geodäsie und BIM Version 4.0 (2024) fest, dass klassische BIM-Systeme bislang nur eingeschränkt für langgestreckte Infrastrukturprojekte geeignet sind. Das verdeutlicht die Wichtigkeit, bestehende Fachsysteme gezielt mit digitalen Modellierungsansätzen zu verknüpfen. Besonders bei komplexen räumlichen Strukturen und technischen Randbedingungen zeigt sich der Bedarf an integrierten, datenbasierten Lösungsansätzen. [8] beschreibt hierzu einen hybriden Ansatz, bei dem Trassierungssoftware eingesetzt wird und die resultierenden Planungsdaten über Austauschformate in BIM-konforme 3D-Modelle überführt werden.

Eine internationale Untersuchung von [9] bestätigt diesen Trend hin zu integrierten, modellbasierten Planungsansätzen. Die Autoren betonen einerseits die Vorteile solcher Systeme in Bezug auf Genauigkeit, Effizienz und Koordination. Andererseits wird auf bestehende Interoperabilitätsprobleme und die Notwendigkeit standardisierter Verfahren verwiesen.

Eine ähnliche Richtung verfolgt [10]. Anhand eines realen Infrastrukturprojekts (Stadtautobahn M-30 in Madrid) wird in diesem Artikel dargelegt, wie sich BIM-Modelle über Formate wie IFC und SLPK in GIS-Anwendungen überführen lassen. Die Anbindung an eine externe Datenbank ermöglicht dabei Aktualisierungen, ohne das 3D-Modell selbst verändern zu müssen. Echtzeitinformationen können somit leichter in das gesamte Modell integriert werden.

Besonders hervorzuheben sind auch die Entwicklungen aus dem maschinellen Tunnelbau. So entwickelte das Team um [4] im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 837 an der Ruhr-Universität Bochum ein interaktives Entscheidungssystem, das auf Basis simulationsgestützter Vortriebsmodelle Tunnelvarianten hinsichtlich Bauzeit, Kosten und Risiken bewertet. Hierbei werden Freiformtrassen erzeugt, simulationsbasiert bewertet und Varianten in Echtzeit verglichen.

Diese Methodik zeigt exemplarisch das Potenzial regelbasierter Entscheidungsplattformen in hochkomplexen Planungssituationen.

2.2 Abgrenzung und Beitrag der vorliegenden Arbeit

Die vorliegende Arbeit greift diese raumanalytischen Vorarbeiten auf, geht jedoch über bestehende Modelle hinaus. Während frühere Arbeiten primär den optimalen Trassenverlauf adressieren, fokussiert der hier entwickelte Ansatz auf die algorithmische Ableitung geeigneter Bauverfahren entlang bereits festgelegter Trassen. Die Verknüpfung geotechnischer, umweltbezogener und infrastruktureller Einflussgrößen auf modularer Ebene sowie deren Integration in ein automatisiertes Bewertungssystem stellt somit eine inhaltliche und methodische Weiterentwicklung bestehender GIS-gestützter Planungsansätze dar. Auch erweitert die in dieser Arbeit entwickelte Methodik die oben genannten Ansätze um eine prozedurale Entscheidungslogik. Basierend auf Querungsmerkmalen und Bodendaten werden konkrete Bauweisen abgeleitet und systematisch in standardisierte Module überführt. Damit wird aus einer klassischen Trassenbewertung ein durchgängiges, verfahrensspezifisches Planungssystem abgeleitet. Zahlreiche Forschungsarbeiten leisten demnach wertvolle Beiträge in Bereichen wie Geodatenintegration, 3D-GIS, Raumwiderstandsanalyse, Trassendokumentation und Variantenbewertung. Integrative Verfahren zur automatisierten Bauverfahrenswahl entlang vorgegebener Geometrien hingegen stellen bislang einen weitgehend unerforschten Ansatz dar. Die hier beschriebene Forschungsarbeit zielt darauf ab, diese Lücke zu schließen.

Durch die Entwicklung eines datengetriebenen, modularen Entscheidungssystems sollen heterogene Geodatenquellen algorithmisch verknüpft und systematisch ausgewertet werden. Im Gegensatz zu bisherigen Planungsansätzen wird die Ausführungsvariante hier nicht mehr separat durch Expertenentscheidungen getroffen, sondern auf regelbasierte Kriterien gestützt und konsistent entlang der gesamten Trasse automatisiert durchgeführt. Dadurch entsteht eine skalierbare, transparente und für Variantenvergleiche unmittelbar nutzbare Planungslogik, die sowohl wissenschaftlich neuartig als auch praktisch anwendbar ist.

3 Methode und Konzeptidee

3.1 Grundidee des Modulsystems

Zentrales Element des vorgestellten Konzepts ist die Unterteilung einer festgelegten Linienbaustelle in standardisierte Module. Jedes dieser Module wird durch das zugewiesene Bauverfahren, die maßgebliche Bodenklasse sowie variable Parameter wie die Abschnittslänge eindeutig charakterisiert. In der Folge ermöglicht die modulare Gliederung eine standardisierte Bewertung technischer Optionen und eine differenzierte Ressourcenplanung sowie fundierte Variantenvergleiche. Die methodische Umsetzung basiert auf einer Vielzahl digitaler Datengrundlagen. Dazu gehören insbesondere der digitalisierte Trassenverlauf (z.B. im KML- oder SHP-Format), vektorbasierte Infrastrukturinformationen wie Straßen, Flüsse oder Waldflächen sowie geotechnische Klassifikationen. Diese Informationen bilden den Bezugsrahmen für eine automatisierte räumliche Analyse sowie die Bewertung des Trassenumfelds.

3.2 Methodische Umsetzung und Datenstruktur

Das methodische Zielbild der Forschungsarbeit sieht dabei die in Abb. 1 dargestellte zweistufige Prozesskette vor, in der die vorgestellte Systematik praxisorientiert umgesetzt wird.



Abbildung 1: Gesamtprozess der Forschungsarbeit – Modulare Trassenplanung in zwei Phasen

Zentrales Element der methodischen Umsetzung ist die Entwicklung einer strukturierten, regelbasierten Datenbankarchitektur. Hierbei werden geographische, technische und wirtschaftliche Parameter entlang einer Trasse systematisch miteinander verknüpft. Jeder Abschnitt der Linienbaustelle wird als standardisiertes Planungselement (Modul) beschrieben. Die spezifischen Eigenschaften eines Moduls ergeben sich aus der Kombination von Querungstyp, Bodeninformation und variablen Parametern. Die zugrundeliegenden Eingangsdaten umfassen die Liniengeometrie, vektorisierte Infrastruktur- und Umweltdaten sowie bodenkundliche Informationen.

Diese werden automatisiert mit der Linienbaustelle verschnitten, um relevante Querungspunkte zu erkennen und geometrisch zu quantifizieren. Im Zuge einer regelbasierten Analyse wird jeder Querung auf Basis von Länge und Bodenklasse ein geeignetes technisches Verfahren zugewiesen. Die dabei zur Anwendung kommende Entscheidungslogik beruht auf projektinternem Expertenwissen, das in Form von Schwellenwerten und Bedingungen in die Datenstruktur integriert ist. Die so festgelegten

Bauverfahren sind wiederum mit hinterlegten Kennwerten zu Bauzeit, Ressourceneinsatz und Kosten verknüpft. Somit ergibt sich eine technische und wirtschaftliche Parametrisierung aller vorkommenden Module.

Die resultierenden Module werden in einer einheitlich aufgebauten Datenstruktur gespeichert. Mithin fungiert diese innovative Datenstruktur als zentrales Bindeglied zwischen der raumbezogenen Analyse im GIS und der betriebswirtschaftlichen Weiterverarbeitung.

Sie erlaubt es, Trasseninformationen automatisiert in planungsrelevante Entscheidungsstrukturen zu überführen und bildet zugleich den Ausgangspunkt für Variantenvergleiche und eine spätere Integration in digitale Planungsumgebungen. Der Mehrwert liegt in der strukturierten Formalisierung bislang weitgehend erfahrungsgeleiteter Entscheidungsprozesse.

4 Erste prototypische Umsetzung als methodischer Proof-of-Concept

Im Rahmen eines ersten prototypischen Ansatzes wurde die automatisierte Erkennung und Klassifizierung trassenrelevanter Querungen in der QGIS erfolgreich realisiert. Als methodischer Ausgangspunkt diente der Verlauf einer Linienbaustelle, der als Shape-Datei (.shp) in das System eingelesen wurde. Darauf aufbauend wurde ein Prozess etabliert, der die systematische Überlagerung der Trasse mit thematischen Geodatenlayern (z.B. Straßen und Gewässern) und die Identifikation aller relevanten Schnittpunkte ermöglicht. Diese Querungen werden in Abb. 2 dargestellt.

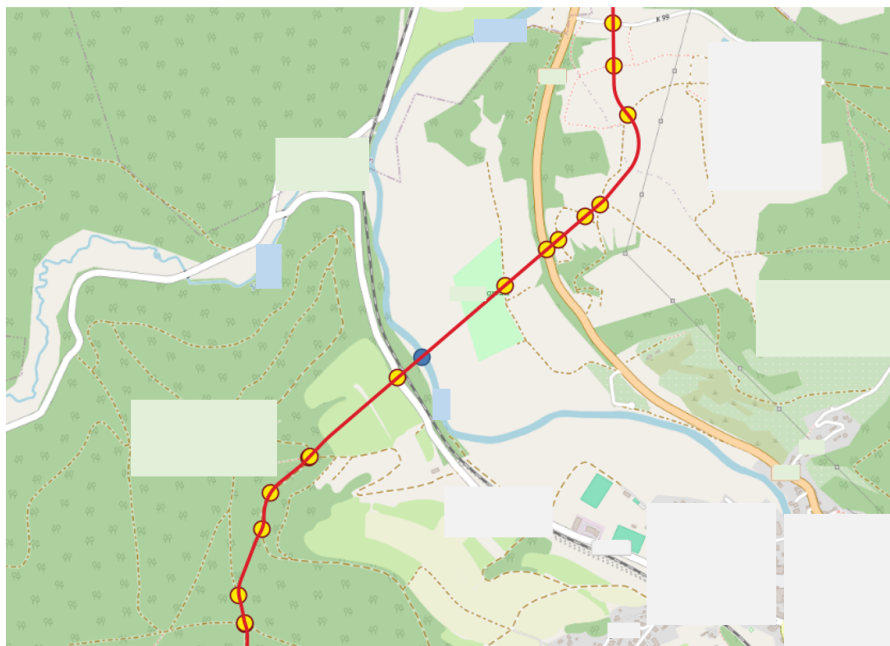


Abbildung 2: Automatisierte Querungserkennung in QGIS entlang der Trassenachse

Die automatisierte Auswertung erfolgt über regelbasierte Abfragen im QGIS-Modellbuilder. Diese extrahieren jede Schnittstelle als eigene Geometrie, versehen sie mit Attributen und überführen sie in eine strukturierte Tabelle mit Lage-, Typ- und Geometriedaten.

Anknüpfend an diese Einteilung können beispielsweise Cluster von Querungen oder besonders konfliktbelastete Bereiche identifiziert werden. Zudem ermöglicht das System die automatisierte

Analyse zusätzlicher Geodatenätze wie Boden-, Schutz- oder Katasterdaten zur gezielten Bewertung potenzieller Planungseinschränkungen. Die prototypische Umsetzung belegt die Machbarkeit einer teilautomatisierten Trassenanalyse und verdeutlicht das Potenzial zur strukturierten, effizienteren Gestaltung raumbezogener Planungsprozesse.

5 Ausblick, zukünftige Arbeit und Contribution

Mit der Entwicklung eines funktionalen Prototyps wurde ein erster zentraler Meilenstein auf dem Weg zu einer automatisierten, datenbasierten Trassenplanung erreicht. In den nächsten Entwicklungsschritten wird insbesondere daran gearbeitet, geotechnische Datenquellen so zu integrieren, dass daraus bodenspezifische Kennwerte für die Modulbildung abgeleitet werden können. Parallel dazu wird die Integration vertiefter bodenmechanischer Informationen vorangetrieben, insbesondere durch die Einbindung standardisierter Bodenklassifikationen und Tiefeninformationen aus digitalen Erkundungsdaten.

Ein nächster Schritt besteht in der vollständigen Automatisierung der Modulbildung sowie der algorithmischen Zuweisung der Bauweise auf Grundlage technischer, geotechnischer und umweltbezogener Eingangsparameter. Gleichzeitig soll die Auswahl geeigneter Module künftig automatisiert erfolgen, basierend auf einem klar definierten Regelwerk, das raumbezogene Bedingungen berücksichtigt. Ergänzend dazu wird angestrebt, erste Variantenvergleiche durchzuführen, um unterschiedliche Trassenlösungen im Hinblick auf Ressourceneinsatz, Bauzeit und Kosten bewerten zu können.

Zur technischen Absicherung des Modells erfolgt eine systematische Validierung anhand realer Trassenverläufe und Projektkontexte. Im Fokus steht hierbei die Frage, inwieweit das System verlässlich auf unterschiedliche Ausgangsbedingungen reagiert. etwa hinsichtlich Trassenlänge, möglicher Bauweisen oder der Komplexität der Umgebung. Da im produktiven Einsatz stets mit geometrisch definierten Trassenverläufen gearbeitet wird, muss das System in der Lage sein, eine solche Eingabe vollständig automatisiert zu verarbeiten. Dies umfasst die Einlesung, die Modulgenerierung sowie die Übergabe an Folgeprozesse wie Mengenermittlung oder Kalkulation.

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein stabiles, integratives Planungssystem entstehen, das auch bei wachsendem Datenvolumen zuverlässig arbeitet und nahtlos in bestehende digitale Arbeitsumgebungen eingebunden werden kann. Historische Entscheidungs- und Ausführungsdaten sollen genutzt werden, um algorithmische Vorschläge zur Bauverfahrenswahl kontinuierlich zu verbessern und kontextspezifisch zu verfeinern. Durch die geplante Weiterentwicklung entsteht ein praxisnahes Werkzeug, das Fachplaner bereits in frühen Projektphasen gezielt unterstützt und den Entscheidungsprozess strukturiert. Auf diese Weise kann ein konkreter Beitrag zu einer beschleunigten, effizienteren und nachhaltigeren Umsetzung von Linienbaustellen geleistet werden.

Literatur

- [1] TenneT TSO GmbH. »Tennet - Projekt SuedLink«. Adresse: <https://www.tennet.eu/de/projekte/suedlink>
- [2] P. Ahmels und E. Bruns, »Auswirkungen verschiedener Erdkabelsysteme auf Natur und Landschaft (EKNA FKZ 3514 82 1600)«, Deutsche Umwelthilfe, Berlin, 2016, S. 12–24, 86–98.

- [3] E. Neuling, »Stromfluss unter der Erde – Einsatz von Erdkabeln beim Übertragungsnetzausbau«, Naturschutzbund Deutschland (NABU) e. V., Berlin, 2013, S. 1–6.
- [4] M. König u. a., »Prozessorientierte numerische Vortriebsmodellierung – Trassenplanung für den innerstädtischen Tunnelbau«, *tunnel - Fachzeitschrift für Tunnelbau und Infrastruktur*, S. 48–53, Juni 2021.
- [5] H. Steuer und A. Donaubauer, »Geo-Web-Services im Rahmen der kollaborativen Trassenplanung«, in *Geoinformationssysteme - Beiträge zum 17. Münchener Fortbildungsseminar*, Berlin und Offenbach: Herbert Wichmann Verlag, 2012, S. 159–167.
- [6] J. Schito und S. Grassi, »Berechnung optimaler HSL-Pfade und Korridore für Hochspannungsleitung«, in *Leitfaden 3D-GIS und Energie*, München: Runder Tisch GIS e. V. und TUM, 2015, S. 80–82.
- [7] T. Hermes. »nisStrom Trasse«, GIS Consult GmbH - Gesellschaft für angewandte geographische Informationssysteme. Adresse: <https://www.gis-consult.de/produkte-und-loesungen/fachschalen-nisstromtrasse/>
- [8] A. Borrmann, »Building Information Modeling für den Infrastrukturbau«, in *Leitfaden Geodäsie und BIM - Version 4.0*, Bühl und München: DVW e. V. und Runder Tisch GIS e. V., 2024, S. 42–54.
- [9] M. Arashpour u. a., »Enhancing infrastructure planning and design through BIM-GIS integration«, *Structure and Infrastructure Engineering*, S. 1–19, Feb. 2025.
- [10] J. Cepa u. a., »Integrating BIM and GIS for an Existing Infrastructure«, *Applied Sciences (MDPI)*, S. 1–17, Nov. 2024.