



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

Digitalisierung der Windparkplanung

Potentiale und Herausforderungen der BIM-GIS-Integration unter Verwendung von Linkmodellen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Senior Scientist Dipl.-Ing. Dr. Hartmut Dumke

E280-07 - Regionalplanung und Regionalentwicklung

Zweitbetreuung Dr. Markus Muerth

Projektmanager bei M.O.S.S. Computer Grafik System GmbH, München

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Dominik Finn, B.Sc.

12130538

Wien, am 30.09.2024

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit untersucht die Integration von Building Information Modeling (BIM) und Geoinformationssystemen (GIS) in der Windparkplanung. Ziel der Arbeit ist es, die Potenziale und Herausforderungen dieser Integration zu analysieren, insbesondere durch die Verknüpfung eines digitalen Zwillings einer Windenergieanlage im WebGIS-System „moGI Planner“. Als Grundlage dient das Modell einer Enercon E-175 EP5 Windkraftanlage, welches in sechs Bauteilkomponenten untergliedert ist. Diese Komponenten werden unter Berücksichtigung eines angemessenen Levels of Detail (LOD) und Levels of Information (LOI) detailliert in Autodesk Revit modelliert. Im Anschluss erfolgt die Integration des digitalen Zwillings in das WebGIS-System durch eine eigens entwickelte Logik, basierend auf einem selbst erstellten Linkmodell.

Die Arbeit verfolgt nachträglich eine Vorher-Nachher-Analyse, um den Mehrwert dieser Integration zu evaluieren. Dies umfasst die interdisziplinäre Zusammenarbeit, die Reduzierung von Planungsfehlern und die Optimierung der Standortwahl. Die Ergebnisse zeigen, dass die Kombination von BIM und GIS zu einer effizienteren und präziseren Planung führt. Herausforderungen bestehen insbesondere in der Interoperabilität der beiden Systeme und dem Datenaustausch. Die Arbeit leistet einen Beitrag zur Weiterentwicklung digitaler Planungswerkzeuge im Bereich der erneuerbaren Energien.

Abstract

This Master's thesis examines the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS) in wind farm planning. The aim of this study is to analyze the potentials and challenges of this integration, particularly through the linking of a digital twin of a wind turbine in the WebGIS system "moGI Planner." The foundation for this is a model of an Enercon E-175 EP5 wind turbine, which is divided into six component parts. These components are meticulously modeled in Autodesk Revit, taking into account an appropriate Level of Detail (LOD) and Level of Information (LOI). Subsequently, the digital twin is integrated into the WebGIS system through a specially developed logic, based on a self-created link model.

The thesis conducts a before-and-after analysis to evaluate the added value of this integration. This includes interdisciplinary collaboration, the reduction of planning errors, and the optimization of site selection. The results demonstrate that the combination of BIM and GIS leads to more efficient and precise planning. However, challenges remain, particularly regarding the interoperability of the two systems and data exchange. The thesis contributes to the advancement of digital planning tools in the field of renewable energy.

Danksagung

An erster Stelle möchte ich meinen tiefen Dank an Dr. Markus Muerth aussprechen, der mich wöchentlich mit seiner Unterstützung motiviert und wesentlich dazu beigetragen hat, diese Arbeit voranzutreiben. Ein besonderer Dank gilt auch der Firma M.O.S.S. Computer Grafik System GmbH, durch deren Kooperation die Idee und Umsetzung dieser Arbeit überhaupt erst ermöglicht wurde.

Ebenso bedanke ich mich herzlich beim Forschungslabor der FH Erfurt, insbesondere bei Prof. Dr.-Ing. Robert Kaden, Oliver Buchmann, M.Sc., und Robert Juritza, M.Sc. Eure kontinuierliche Unterstützung und fachliche Expertise waren von unschätzbarem Wert für den Fortschritt meiner Arbeit.

Mein Dank gilt auch der Möglichkeit, die Windenergieanlage „E 175 EP5“ der Firma Enercon durch die Freigabe von Jürgen Berlin für den praktischen Teil dieser Arbeit nutzen zu können.

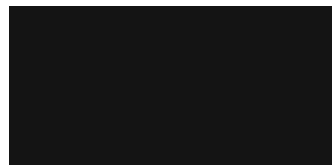
Zum Abschluss möchte ich meinen Dank an Senior Scientist Dipl.-Ing. Dr. Hartmut Dumke richten, der mir sein Vertrauen geschenkt hat, dieses Thema zu bearbeiten.

Ich hoffe, dass die Erkenntnisse dieser Arbeit nicht nur theoretischen Wert haben, sondern auch zur Entwicklung praxisnaher Lösungen für die Herausforderungen in der Windparkplanung beitragen können.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig und ohne unzulässige Hilfe verfasst habe. Ich versichere, dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen verwendet habe und dass ich alle wörtlich oder sinngemäß entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Wien, am 30.09.2024



Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Hintergrund und Motivation der Arbeit	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit	2
1.3	These und Forschungsfrage	2
1.4	Forschungsmethodik.....	3
1.5	Aufbau und Struktur der Arbeit	4
2	Theoretische Grundlagen	5
2.1	Grundlagen Building Information Modelling	5
2.1.1	Anwendungsbereiche und Bedeutung von BIM	6
2.1.2	Anwendung von BIM in der Windparkplanung	7
2.1.3	Potenziale und Fortschritte von BIM	8
2.2	Grundlagen Geoinformationssysteme	9
2.2.1	Anwendungsbereiche und Bedeutung von GIS	10
2.2.2	Anwendung von GIS in der Windparkplanung	11
2.2.3	Potenziale und Fortschritte von GIS.....	12
2.2.4	Planungssoftware moGI Planner.....	13
2.2.4.1	Oberfläche	14
2.2.4.2	Funktionen.....	15
2.2.4.3	Anbindungen an Fachplanungsanwendungen	17
2.3	Grundlagen Linkmodell	19
3	Anwendungsbeispiele und Fallstudien	21
3.1	Integration von BIM und GIS in der Praxis.....	21
3.2	Beschreibung von Herausforderungen	23
3.3	Ähnliche Lösungsansätze für die Problemstellung	23
4	Praxisanwendung Umsetzung	25
4.1	Umsetzung und Visualisierung des WEA-Modells.....	26
4.1.1	LOD – Level of Detail	26
4.1.2	LOI – Level of Information	27
4.1.3	Anlagenkomponenten	28
4.1.4	Zusammensetzung der Windenergieanlage.....	35
4.2	Umsetzung und Visualisierung des Windparks.....	39

4.2.1	Standortauswahl.....	39
4.2.2	Datenaufbereitung und Visualisierung	40
4.2.3	Planen der Windenergieanlagen auf dem Projektgelände	43
4.2.4	Aufbau Datenmodell	48
4.3	Verlinkung mittels Linkmodell	49
4.3.1	Erweiterung der Planungsoberfläche im moGI Planner	49
4.3.1.1	Katalogerweiterung der Windenergieanlagenauswahl	49
4.3.1.2	Anpassung der Attribute einer Windenergieanlage – LOI	52
4.3.2	Datenmodellerweiterung der Windenergieanlage – LOD	59
4.3.3	Angepasste Planungsoberfläche in moGI Planner.....	63
4.3.4	Implementierung.....	64
4.3.4.1	GeoJSON exportieren	66
4.3.4.2	Extraktion und Speicherung von Familiendaten in einer GeoJSON-Datei	69
4.3.4.3	GeoJSON Importieren	75
4.3.4.4	Erweiterung des Revit Plugin für Geometrie	77
4.4	Vorher-nachher-Vergleich	84
4.4.1	Dokumentation des Vorher-Zustandes.....	85
4.4.2	Dokumentation des Nachher-Zustandes	85
4.4.3	Analyse und Interpretation	86
4.4.4	Kontrolle und Störvariablen	89
4.4.5	Fazit Vorher-nachher-Vergleich	90
5	Diskussion und Fazit	91
6	Ausblick	94
7	Literaturverzeichnis	96
8	Abbildungsverzeichnis	105
9	Tabellenverzeichnis	109
10	Abkürzungsverzeichnis	110

1 Einleitung

Die Notwendigkeit, erneuerbare Energien auszubauen, ist eine der dringendsten Aufgaben unserer Zeit. Im Zentrum dieser Bemühungen steht die Windenergie, die als eine der tragenden Säulen der Energiewende gilt. Die Planung und Umsetzung von Windparks erfordern heute jedoch weit mehr als nur technisches Wissen. Aufgrund der zunehmenden Komplexität von Projekten, der Berücksichtigung verschiedener Umwelt- und Standortfaktoren sowie der Einbindung unterschiedlicher Akteure: innen gewinnt die Digitalisierung zunehmend an Bedeutung und innovative Technologien spielen dabei eine Schlüsselrolle um den Planungsprozess zu verbessern (Irlbeck, 2017; Mika & Goudz, 2020; Urbansky, 2024; Zinnöcker, 2017).

Moderne Technologien wie Building Information Modeling (BIM) und Geoinformationssysteme (GIS) ermöglichen es, die verschiedenen Dimensionen von Windparkprojekten, von der technischen Konstruktion bis zur räumlichen Analyse, in einer digitalen Umgebung abzubilden. Eine Integration dieser Systeme eröffnet neue Möglichkeiten für interdisziplinäre Planungen wie effizientere Zusammenarbeit und exaktere Planung zwischen den Disziplinen (Lippold, 2022). Doch trotz offensichtlichen Vorteilen bringt die Kombination dieser Technologien auch Herausforderungen mit sich, insbesondere im Hinblick auf die Interoperabilität und den Datenaustausch (Shirowzhan et al., 2020).

In dieser Arbeit wird untersucht, wie die Integration von Building Information Modeling und Geoinformationssysteme in der Windparkplanung realisiert werden kann und welche konkreten Vorteile daraus resultieren. Im Fokus steht die Verknüpfung eines digitalen Zwillings einer Windenergieanlage mit einer GIS-gestützten Planungssoftware, um eine optimierte, interdisziplinäre Zusammenarbeit zu ermöglichen. Auf dieser Grundlage sollen neue Erkenntnisse gewonnen werden, die zur Weiterentwicklung und Anwendung dieser Technologien in der Windparkplanung beitragen.

1.1 Hintergrund und Motivation der Arbeit

Die Planung und Errichtung von Windparks stellt in Zeiten des globalen Wandels hin zu erneuerbaren Energien eine zentrale Herausforderung dar. Der Ausbau der Windenergie ist nicht nur ein wesentlicher Bestandteil der Energiewende, sondern auch ein entscheidender Faktor zur Reduzierung von CO₂-Emissionen und zur Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung. Traditionelle Planungsmethoden stoßen angesichts der zunehmenden Komplexität von Windparkprojekten an ihre Grenzen. Deshalb wird der Einsatz moderner Technologien wie Building Information

Modeling und Geoinformationssysteme immer wichtiger, um auch zukünftig nachhaltig zu handeln (Girya & Romanov, 2022).

Die Integration von BIM und GIS eröffnet neue Möglichkeiten für die Windparkplanung, da sie die räumliche Analyse von Standorten mit detaillierten Bauwerksdaten kombiniert. Dadurch können nicht nur die Effizienz der Planung und Ausführung gesteigert, sondern auch langfristige Aspekte wie Wartung und Betrieb der Windenergieanlagen optimiert werden. Trotz der vielversprechenden Potenziale gibt es jedoch auch Herausforderungen, insbesondere bei der Interoperabilität der beiden Systeme und beim reibungslosen Datenaustausch.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, die Potenzialen und Herausforderungen der Integration von Building Information Modeling und Geoinformationssystemen in der Windparkplanung zu untersuchen. Im Fokus steht dabei die Entwicklung eines BIM Modells einer Windenergieanlage, welche in das WebGIS-System „moGI Planner“ integriert wird. Diese Integration soll den Datenaustausch zwischen den BIM-Modellen und den GIS-Tools verbessern und dadurch eine effizientere und präzisere Planung ermöglichen.

Ein weiteres Ziel der Arbeit ist es, den Mehrwert der BIM-GIS-Integration anhand eines Vorher-Nachher-Vergleichs zu evaluieren. Dabei werden die Auswirkungen auf die interdisziplinäre Zusammenarbeit, die Reduzierung von Planungsfehlern sowie die Optimierung der Standortwahl untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen einen Beitrag zur Weiterentwicklung der digitalen Planungstools im Bereich der erneuerbaren Energien leisten und aufzeigen, wie die Verknüpfung von BIM und GIS die Effizienz und Nachhaltigkeit von Windparkprojekten fördern kann.

1.3 These und Forschungsfrage

Abgeleitet aus der Zielsetzung der Arbeit haben sich für die Untersuchung jeweils eine These und eine Forschungsfrage gebildet, welche in dieser Diplomarbeit geprüft und untersucht werden soll.

These:

„Linkmodelle stellen eine geeignete Methode dar, um den Datenaustausch zwischen BIM-Modellen, die für die Konstruktion von Windenergieanlagen verwendet werden und GIS-Tools für Analyseplanung zu ermöglichen.“

Fragestellung:

„Wie ändert sich die interdisziplinäre Planung¹ mit der BIM-GIS-Integration in moGI Planner?“

1.4 Forschungsmethodik

Der Abschnitt zur Forschungsmethodik beschreibt die methodische Herangehensweise, die in dieser Arbeit verwendet wird, um die These zu überprüfen und die Forschungsfrage zu beantworten. Die Methodik dieser Arbeit basiert auf einer entwicklungsbasierten Demonstrationsstudie, bei der verschiedene Ansätze im Rahmen eines praxisnahen Anwendungsbeispiels zur Integration von Building Information Modeling und Geoinformationssystemen in der Windparkplanung angewendet werden.

Zunächst wird ein digitales Modell einer Windenergieanlage erstellt, welches anschließend in das WebGIS-System „moGI Planner“ integriert wird. Hierbei wird ein Linkmodell entwickelt, welches den Datenaustausch zwischen BIM- und GIS-Modellen ermöglicht. Diese Integration wird abschließend durch einen Vorher-Nachher-Vergleich innerhalb der Software evaluiert, um den Mehrwert der BIM-GIS-Integration zu quantifizieren. Der Vergleich konzentriert sich dabei auf die Datenverfügbarkeit, die interdisziplinäre Zusammenarbeit, die Reduzierung von Planungsfehlern und die Optimierung der Standortwahl.

Die Methodik gliedert sich in mehrere Schritte, die in Phasen unterteilt sind. Die ersten drei Phasen beinhalten die praktische Umsetzung der These, während die vierte Phase der Durchführung des Vorher-Nachher-Vergleichs dient.

- 1) **Modellierungsphase:**
Erstellung des BIM-Modells der Windenergieanlage in Autodesk Revit.
- 2) **Entwicklungsphase:**
Entwicklung eines Windparks im moGI Planner.
- 3) **Implementierungsphase:**
Integration des BIM-Modells in das GIS-System mittels des Linkmodells.
- 4) **Evaluationsphase:**
Durchführung eines Vorher-Nachher-Vergleichs zur Bewertung der Integrationseffekte.

¹ Die interdisziplinäre Planung bezieht sich in diesem Kontext auf die unterschiedlichen Nutzergruppen, insbesondere die BIM- und GIS-Akteur: innen, die ihre fachspezifischen Aufgaben bearbeiten und dabei eine Schnittmenge an Themen in moGI Planner schaffen.

Diese systematische Vorgehensweise ermöglicht eine umfassende Untersuchung der Potenziale und Herausforderungen der BIM-GIS-Integration in der Windparkplanung und liefert praxisnahe Erkenntnisse zur Optimierung digitaler Planungsprozesse im Bereich erneuerbarer Energien.

Die detaillierte Beschreibung und Umsetzung der methodischen Schritte beginnen in Kapitel 4 – Praxisanwendung Umsetzung und werden schrittweise in der Arbeit erläutert.

1.5 Aufbau und Struktur der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in mehrere Hauptkapitel:

- 1) **Einleitung:** Die Einleitung, bietet einen Überblick über den Hintergrund, die Motivation und die Zielsetzung der Arbeit. Sie stellt die zentrale Forschungsfrage und These vor, die im Verlauf der Arbeit untersucht werden.
- 2) **Theoretische Grundlagen:** Dieses Kapitel vermittelt die theoretischen Grundlagen zu Building Information Modeling (BIM), Geoinformationssystemen (GIS) verknüpft mit der WebGIS-Anwendung moGI Planner und Linkmodellen. Es behandelt die Anwendungsbereiche dieser Technologien und deren Bedeutung für die Windparkplanung.
- 3) **Anwendungsbeispiele und Fallstudien:** In diesem Abschnitt werden praxisnahe Beispiele für die Integration von BIM und GIS vorgestellt. Herausforderungen und Lösungsansätze werden diskutiert, um einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik zu geben.
- 4) **Praxisanwendung und Umsetzung:** Hier wird die praktische Umsetzung der Integration einer Windenergieanlage in das WebGIS-System moGI Planner umgesetzt und beschrieben. Der Fokus liegt auf der Modellierung und Verlinkung der Windenergieanlage sowie auf der Visualisierung und Analyse der Ergebnisse.
- 5) **Diskussion und Schlussfolgerung:** In der Diskussion werden die gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und die These sowie Forschungsfrage beantwortet. Abschließend werden die Potenziale und Herausforderungen der BIM-GIS-Integration diskutiert.
- 6) **Ausblick:** Dieser Abschnitt gibt einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen im Bereich von moGI Planner, der digitalen Windparkplanung und diskutiert mögliche Weiterentwicklungen der eingesetzten Technologie.

2 Theoretische Grundlagen

Die Planung und Optimierung von Windenergieprojekten erfordert den Einsatz modernster Technologien. In diesem Kontext spielen Building Information Modeling und Geoinformationssysteme eine zentrale Rolle. Diese beiden Systeme bieten innovative Ansätze zur Integration technischer Konstruktionsdaten mit räumlichen Informationen, was insbesondere in der interdisziplinären Planung von Windparks entscheidend sein kann. Während BIM den gesamten Lebenszyklus von Bauwerken digital abbildet, ermöglicht GIS die Analyse und Darstellung räumlicher Daten. Durch die Kombination beider Systeme können komplexe Planungsprozesse verbessert und neue Potenziale in der Windparkplanung erschlossen werden (Resch et al., 2014; Wahed et al., 2023). Die detaillierte Betrachtung der Grundlagen von BIM und GIS folgt im weiteren Verlauf dieses Kapitels.

2.1 Grundlagen Building Information Modelling

Building Information Modeling ist eine revolutionäre Methode in der Bauwirtschaft, die es ermöglicht, den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks digital abzubilden. Diese Methode hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten zu einem der wichtigsten Werkzeuge für Architekt: innen, Ingenieur: innen und Bauunternehmer: innen entwickelt. BIM basiert auf der Idee, eine zentrale Informationsquelle zu schaffen, die alle Beteiligten eines Bauprojekts nutzen können, um die Zusammenarbeit zu verbessern und die Qualität zu steigern (Borrmann et al., 2015; Kubba, 2017).

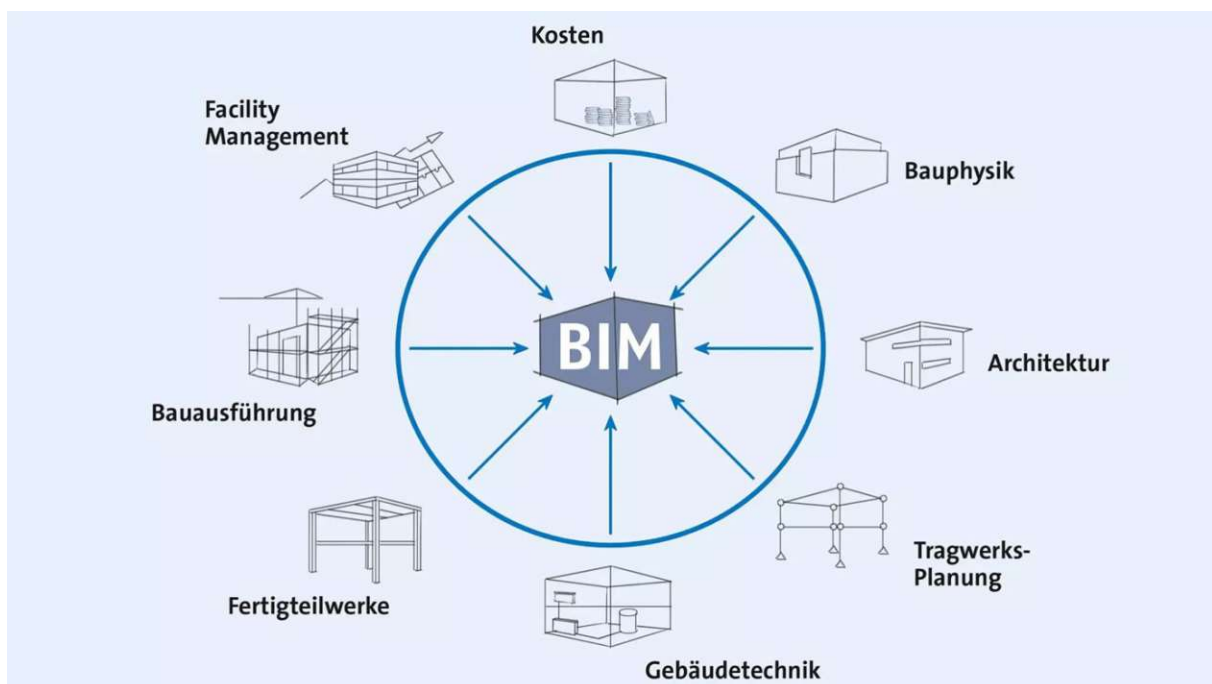


Abbildung 1: BIM-netzten Prozesse und Projektbeteiligte. Aus "BIM einfach erklärt, für Einsteiger". (Saint-Gobain Weber, 2024).

BIM-Modelle umfassen somit nicht nur geometrische Eigenschaften, sondern auch funktionale und physikalische Merkmale eines Bauwerks. Diese Modelle speichern detaillierte Informationen über Materialien, Bauprozesse und Kosten und unterstützen den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks (Messmer & Austen, 2020). Ein zentraler Unterschied zu traditionellen CAD-Systemen liegt darin, dass BIM neben der dreidimensionalen Darstellung auch Zeit (4D) und Kosten (5D) integriert, was zu einer effizienteren Planung und Kontrolle führt (Borrmann et al., 2015; Kubba, 2017; Messmer & Austen, 2020).

Ein besonderes Merkmal von BIM ist die Verwendung parametrischer Objekte, die miteinander verknüpft sind. Änderungen an einem Objekt wirken sich automatisch auf andere Objekte aus, was die Konsistenz und Genauigkeit verbessert (Astour & Strotmann, 2022). Dadurch können potenzielle Konflikte frühzeitig erkannt und verschiedene Szenarien simuliert werden, um die Planung zu optimieren (Kubba, 2017; Messmer & Austen, 2020).

BIM fördert auch die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Disziplinen. „Ein zweiter Aspekt, die 3D-Koordination, erhöht die Transparenz und verbessert die Abstimmung zwischen den Gewerken“ (Borrmann et al., 2015, S. 449). Durch die gemeinsame Nutzung von Echtzeit-Informationen können Architekt: innen, Ingenieur: innen und Bauunternehmer: innen effizienter zusammenarbeiten, was letztlich zu besseren Ergebnissen führt. Eastman (2011) hebt hervor, dass BIM traditionelle, fragmentierte Arbeitsweisen ersetzt und eine integrierte Methode etablierte, die den Bauprozess grundlegend verändert hat.

2.1.1 Anwendungsbereiche und Bedeutung von BIM

BIM findet breite Anwendung in Bereichen wie Hochbau, Tiefbau, Stadtplanung und großen Infrastrukturprojekten (Borrmann et al., 2015; Irngartinger, 2022; Paolini et al., 2019; Peng et al., 2017; Spang, 2022). Durch die Integration komplexer Daten aus verschiedenen Disziplinen in ein zentrales Modell erleichtert BIM die Planung und Ausführung von Bauprojekten erheblich (Borrmann et al., 2015). Besonders bei Großprojekten zeigt sich die Stärke von BIM, da es die Koordination zwischen verschiedenen Beteiligten verbessert und die Einhaltung von Zeit- und Kostenrahmen unterstützt (Kubba, 2017). Dabei geht es nicht nur um die Optimierung von Bauprozessen, sondern auch um die Fähigkeit von BIM, unterschiedliche Disziplinen in einer digitalen Umgebung zusammenzuführen, was zu einer erheblichen Verbesserung der Projektkoordinierung führt (Bartels et al., 2022a).

Darüber hinaus wird BIM in einer Vielzahl von Projekten eingesetzt, von kleineren Bauvorhaben bis hin zu großen Infrastrukturprojekten wie Straßenbau. Die Integration von Geometrie, Materialien, Kosten und Zeitplänen sowie Umweltdaten in einem

zentralen Modell ist dabei von entscheidender Bedeutung, um den gesamten Lebenszyklus eines Projekts zu optimieren (Borrmann et al., 2015). Besonders in der Planung zeigt sich die Effektivität von BIM durch die Kombination von BIM mit geografischen Informationssystemen (GIS), um Standortanalysen zu optimieren und die Energieproduktion zu maximieren (Borrmann et al., 2015; Fleischmann & Peer, 2023).

Durch die frühzeitige Erkennung von Kollisionen und Konflikten zwischen Bauteilen ermöglicht BIM eine signifikante Reduzierung von Baukosten und Bauzeit, was wesentlich zur Verbesserung der Bauqualität und Effizienz beiträgt (Kubba, 2017). Darüber hinaus betonen Goldshteyn und Ritz (2022), dass die zentrale Verwaltung von Bauwerksdaten durch BIM ebenfalls zu einer erheblichen Verringerung der Bauzeiten und -kosten führt. Zudem fördert BIM eine engere Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fachdisziplinen, was eine höhere Planungsgenauigkeit und bessere Entscheidungsfindung ermöglicht (Messmer & Austen, 2020). Ein weiterer Vorteil von BIM liegt in seiner Anwendung in der nachhaltigen Bauplanung, indem Umwelt- und Energieeffizienzanalysen bereits in frühen Phasen integriert werden, was zur Schaffung umweltfreundlicherer Bauwerke beiträgt (Kubba, 2017). Durch die Integration von Energieeffizienz- und Umweltanalysen bereits in der Entwurfsphase trägt BIM zur umweltfreundlicheren Gestaltung von Bauwerken bei (Bartels et al., 2022a; Spang, 2022). BIM ermöglicht es, die ökologischen Auswirkungen eines Bauprojekts besser zu planen und zu steuern, indem die Umweltauswirkungen von Materialien und Bauprozessen genau analysiert werden (Bartels et al., 2022a). Diese Funktion von BIM trägt dazu bei, den ökologischen Fußabdruck von Bauprojekten deutlich zu reduzieren. BIM hat das Potenzial, den ökologischen Fußabdruck von Bauprojekten zu verringern (Krämer et al., 2022). Dies unterstützt nicht nur Klimaziele, sondern verbessert auch die Gesamtleistung von Bauwerken durch die Berücksichtigung nachhaltiger Baupraktiken bereits in der Planungsphase (Spang, 2022). „Nachhaltige Lösungen werden immer entscheidender, da Energie, Flächen, Roh- und Baustoffe knappe Ressourcen darstellen“ (Jacob & Kukovec, 2022, S. 595).

2.1.2 Anwendung von BIM in der Windparkplanung

Der Einsatz von BIM in der Windparkplanung bietet ähnliche Vorteile wie in der allgemeinen Bauplanung. BIM bietet in der Windparkplanung in dahingehende Vorteile, da es die Integration komplexer Daten aus verschiedenen Bauwerksdaten ermöglicht. Besonders vorteilhaft ist die Kombination von BIM mit geografischen Informationssystemen GIS, die es erlaubt, Umwelt- und Standortdaten direkt in das Planungsmodell einzubinden. Dies führt zu einer präziseren Standortwahl und optimierten Energieproduktion, während gleichzeitig die Umweltauswirkungen minimiert werden (Borrmann et al., 2015).

Ein Beispiel für den erfolgreichen Einsatz von BIM in der Windenergie ist die Firmengruppe Max Bögl, die seit 2010 Windenergieanlagentürme entwickelt (Max Bögl Wind AG, 2023). Dies sogenannten Hybriddtürme kombinieren Beton- und Stahlstrukturen, wobei BIM-Methoden in die Produktions- und Montageplanung integriert werden. Die Anwendung von BIM geht hier über die Planung hinaus und umfasst auch das Produktstrukturmanagement sowie das Datenmanagement über PLM-Systeme. Dadurch wird die Effizienz sowohl in der Planungs- als auch in der Betriebsphase erheblich gesteigert (Borrmann et al., 2015).

Ein weiterer Vorteil von BIM in der Windparkplanung liegt in der Optimierung der Wartungs- und Betriebsprozesse. Durch die detaillierte Modellierung der Windkraftanlagen können Wartungspläne effizienter erstellt und angepasst werden, was zu einer Reduzierung von Ausfallzeiten und einer Verlängerung der Lebensdauer der Anlagen führt (Borrmann et al., 2015). Dadurch können nicht nur die Betriebskosten gesenkt, sondern auch die Zuverlässigkeit und Effizienz der Anlagen erhöht werden.

Laut Astour und Strotmann (2022) bietet BIM in der Windparkplanung die Möglichkeit, Bau- und Umweltdaten zu integrieren, was eine optimale Platzierung der Windkraftanlagen ermöglicht. Diese Kombination trägt dazu bei, sowohl die Energieproduktion zu maximieren als auch die Umweltverträglichkeit zu gewährleisten. Diese Integration von Technologien und Prozessen ist entscheidend für die erfolgreiche Umsetzung großflächiger Projekte wie Windparks, da sie die Nachhaltigkeit und Effizienz der Projekte erheblich steigert.

2.1.3 Potenziale und Fortschritte von BIM

Die Zukunft von Building Information Modeling (BIM) sieht vielversprechend aus, da die Technologie kontinuierlich weiterentwickelt wird und in immer mehr Bereichen zur Anwendung kommt. Besonders in Europa hat sich BIM bereits als Standard etabliert, wobei viele Länder Vorschriften erlassen haben, die den Einsatz von BIM in öffentlichen Bauprojekten vorschreiben (z.B. Deutschland), was zeigt, dass BIM zunehmend zur Verbesserung der Effizienz und Nachhaltigkeit von Bauprojekten beiträgt (Irngartinger, 2022; Spang, 2022).

Mit der Weiterentwicklung von Technologien wie Cloud-Computing und künstlicher Intelligenz wird erwartet, dass BIM in Zukunft noch leistungsfähiger wird. Diese Technologien ermöglichen es, große Mengen an Daten in Echtzeit zu verarbeiten und präzisere Vorhersagen und Simulationen zu erstellen (Astour & Strotmann, 2022). Durch diese Weiterentwicklung wird nicht nur die Qualität der Bauprojekte verbessert, sondern auch die Zusammenarbeit zwischen den Projektbeteiligten optimiert. So wird BIM zukünftig nicht nur in der Planung und im Bau, sondern verstärkt auch in den

Bereichen Betrieb und Wartung von Bauwerken eine entscheidende Rolle spielen (Bartels et al., 2022b; Goldshteyn & Ritz, 2022; Schreyer, 2015).

Ein weiterer bedeutender Trend in der Zukunft von BIM ist die Integration von IoT (Internet of Things) Technologien in das Bauwesen. IoT ermöglicht eine noch genauere Überwachung und Steuerung von Bauprojekten und trägt dazu bei, die Effizienz und Nachhaltigkeit weiter zu steigern. Diese Entwicklung zeigt, dass BIM eine zentrale Rolle in der Digitalisierung und Automatisierung der Bauprozesse einnehmen wird und somit eine Schlüsseltechnologie für die Zukunft der Bauwirtschaft bleibt (Teizer et al., 2017)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass BIM als Technologie eine wichtige Grundlage für die Zukunft der Bauindustrie darstellt. Die kontinuierliche Weiterentwicklung wird dazu führen, dass BIM in allen Phasen des Bauwerkslebenszyklus verstärkt genutzt wird, um die Effizienz zu steigern und nachhaltige Bauprojekte zu fördern. „In jedem Fall lässt sich konstatieren, dass dem Bauwesen ein umfassender Wandel bevorsteht ... Richtig eingesetzt, sorgt BIM dafür, dass alle Beteiligten von umständlichen und fehleranfälligen Aufgaben befreit werden und sich auf das Wesentliche ihrer jeweiligen Planungs- und Bautätigkeit konzentrieren können.“ (Borrmann et al., 2015, S. 564)

2.2 Grundlagen Geoinformationssysteme

Ein Geoinformationssystem ist ein leistungsstarkes Werkzeug, das für die Erfassung, Speicherung, Analyse und Darstellung geografischer Daten eingesetzt wird (Jarosch, 2023). GIS spielt eine zentrale Rolle in vielen Bereichen, darunter Stadtplanung, Umweltmanagement, Landwirtschaft und Katastrophenmanagement. Die Technologie ermöglicht es, komplexe räumliche Informationen zu integrieren und zu analysieren, um fundierte Entscheidungen zu treffen und Planungsprozesse zu optimieren (Hackmann & De Lange).

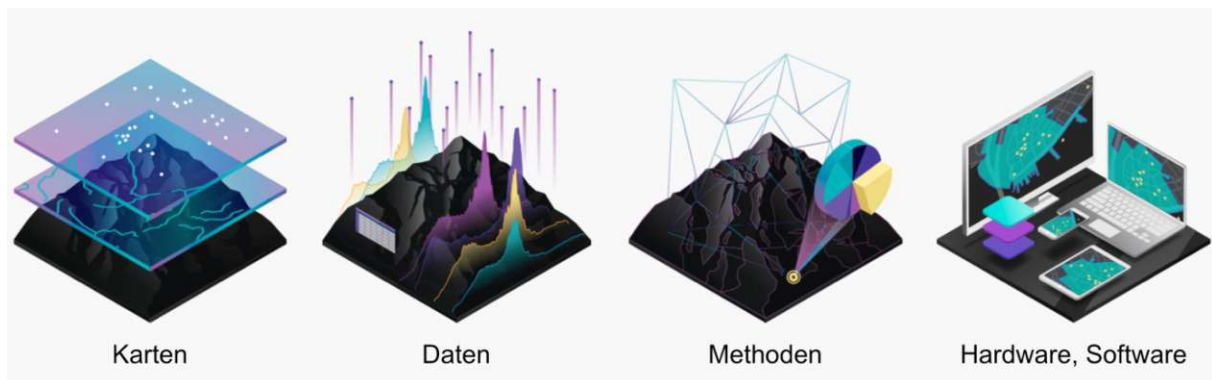


Abbildung 2: Abgeänderte Darstellung der Funktionsweise von GIS, basierend auf „Was ist GIS?“. (Esri Deutschland, 2024).

Ein GIS setzt sich aus mehreren grundlegenden Komponenten zusammen: Hardware, Software, Daten, Methoden und Karten. Die Hardware umfasst alle physischen Geräte wie Computer und Server, die für die Speicherung und Verarbeitung der Daten notwendig sind. Die Software beinhaltet Programme und Anwendungen, die zur Analyse und Darstellung geografischer Daten verwendet werden. Zu den bekanntesten GIS-Softwarelösungen zählen ArcGIS und QGIS (Hackmann & De Lange; Klaus, 2023).

Die Daten sind das Herzstück eines GIS und stammen aus verschiedenen Quellen wie Satellitenbildern, Vermessungsdaten und vorhandenen Karten. Diese Daten können in unterschiedlichen Formaten vorliegen, wie Vektordaten (Punkte, Linien, Polygone), Rasterdaten (Mess- oder Analysedaten und Bilder) und Tabellen (Klaus, 2023; Miehlbradt, 2023). Methoden und Techniken zur Datenerfassung, -analyse und -interpretation sind entscheidend für die Effizienz eines GIS. Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Analysen hängen stark von der Qualität der zugrunde liegenden Daten ab. Daher ist die Datenaufbereitung, einschließlich der Bereinigung und Standardisierung der Daten, ein wesentlicher Schritt im GIS-Prozess (Miehlbradt, 2023).

Schließlich sind die Anwender, die das GIS bedienen und die Daten interpretieren, von Bedeutung für die erfolgreiche Nutzung der Technologie. Fachleute aus verschiedenen Disziplinen, wie z.B. Stadtplaner: innen, Umweltschützer: innen und Ingenieur: innen, nutzen GIS, um fundierte Entscheidungen zu treffen und komplexe räumliche Probleme zu lösen (Jarosch, 2023).

2.2.1 Anwendungsbereiche und Bedeutung von GIS

Die Hauptfunktion eines GIS besteht darin, räumliche Daten zu integrieren und zu analysieren (Hackmann & De Lange). Diese Integration ermöglicht die Visualisierung von Daten in Form von Karten, Diagrammen und Berichten, was die Interpretation und Kommunikation der Ergebnisse erleichtert. GIS-Technologien bieten eine Plattform zur Analyse geografischer Muster und Beziehungen, die in traditionellen Datenanalysesystemen oft nicht erkennbar sind (Klaus, 2023).

Ein wesentlicher Vorteil von GIS ist die Fähigkeit, verschiedene Arten von Daten zu kombinieren und räumliche Daten aus unterschiedlichen Quellen zusammenzuführen und gemeinsam zu analysieren, um umfassende Einblicke zu gewinnen. In der Stadtplanung können beispielsweise Daten zur Landnutzung, Bevölkerungsverteilung und Infrastruktur integriert werden, um fundierte Entscheidungen zu treffen (Everding, 2023; Hackmann & De Lange). Dies ermöglicht es Stadtplaner: innen, zukünftige Entwicklungen besser zu prognostizieren und bestehende städtische Probleme zu lösen (Hackmann & De Lange). Darüber hinaus wird GIS im Umweltmanagement zur

Überwachung und Verwaltung natürlicher Ressourcen eingesetzt (Ehlers, 1997). Es unterstützt die Analyse von Umweltveränderungen und die Bewertung von Umweltauswirkungen (Parlow et al., 2010). So können durch GIS die Auswirkungen von Klimawandel und Umweltverschmutzung auf verschiedene Ökosysteme analysiert und entsprechende Schutzmaßnahmen geplant werden (Fuchs-Kittowski et al., 2024; Miehlbradt, 2023).

Ein weiteres wichtiges Merkmal von GIS ist die Fähigkeit zur Visualisierung von Daten. Durch die Darstellung von Daten in Kartenform können geografische Muster und Trends leicht erkannt und kommuniziert werden. Dies ist besonders nützlich für die Präsentation von Forschungsergebnissen und die Unterstützung von Entscheidungsprozessen. Karten sind ein mächtiges Werkzeug zur Vermittlung komplexer räumlicher Informationen an ein breites Publikum (Bernard et al., 2019; Everding, 2023).

2.2.2 Anwendung von GIS in der Windparkplanung

Die Anwendung von GIS in der Windparkplanung ermöglicht die Analyse von Standortdaten, um geeignete Flächen für die Errichtung von Windparks zu identifizieren. GIS kann verschiedene Datenebenen integrieren, wie Windgeschwindigkeiten, topografische Informationen, Bodenbeschaffenheit und vorhandene Infrastrukturen (Jarosch, 2023). Diese Datenintegration unterstützt die Auswahl optimaler Standorte, die maximale Energieproduktion bei minimalen Umweltauswirkungen gewährleisten (Fuchs-Kittowski et al., 2024).

Für die Standortauswahl hat sich auch die Drohnentechnologie in Kombination mit GIS als vorteilhaft für die Datenerfassung und Überwachung in der Windparkplanung erwiesen. Drohnen können hochauflösende Bilder und Daten in Echtzeit liefern, was eine detaillierte Analyse und Visualisierung der Projektstandorte ermöglicht. Dies verbessert die Genauigkeit und Effizienz der Planung und trägt zur Reduzierung von Kosten und Zeitaufwand bei (Unger et al., 2017).

Ein konkretes Beispiel für die Anwendung von GIS in der Windparkplanung ist die Nutzung von Geodaten zur Bewertung von Windressourcen. GIS hilft dabei, Gebiete mit hohen Windgeschwindigkeiten zu identifizieren, die für die Energieerzeugung ideal sind (Bosch & Peyke, 2010; Sliz-Szkliniarz & Vogt, 2011). Zudem ermöglicht es die Analyse von Umweltfaktoren, wie Schutzgebieten und Siedlungsnähe, um potenzielle Konflikte zu minimieren. Diese ganzheitliche Analyse unterstützt eine nachhaltige und effiziente Planung von Windparks (Fuchs-Kittowski et al., 2024; LANDESREGIERUNG, 2020; Taeger & Ulferts, 2017). Sichtbarkeitsanalysen können die Nah-, Mittel- und Fernwirkung eines Windrades erörtern und die potenzielle Sichtbarkeit aus verschiedenen Entfernungen darstellen. Diese Analysen sind

entscheidend, um die geomorphologischen Gegebenheiten und die Höhe der Windkraftanlage zu berücksichtigen (Vetter, 2018).

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der GIS-Anwendung in der Windparkplanung ist die Visualisierung konkurrierender Flächennutzungsansprüche. Durch die GIS-gestützte Visualisierung können verschiedene Interessengruppen und Entscheidungsträger die potenziellen Auswirkungen von Windparks auf die Landschaft und die Umgebung besser verstehen und abwägen. Dies unterstützt eine transparente und informierte Entscheidungsfindung und fördert die Akzeptanz von Windenergieprojekten in der Bevölkerung (LANDESREGIERUNG, 2020; Sliz-Szkliniarz & Vogt, 2011; Zink et al., 2012).

Darüber hinaus ermöglicht GIS die Überwachung und Verwaltung der Bau- und Betriebsphasen von Windparks. Während der Bauphase können Fortschritte in Echtzeit verfolgt und notwendige Anpassungen vorgenommen werden. In der Betriebsphase hilft GIS bei der Überwachung der Leistung und Wartung der Windenergieanlagen, um eine optimale Energieerzeugung sicherzustellen (Jarosch, 2023; Sliz-Szkliniarz & Vogt, 2011; Unger et al., 2017).

2.2.3 Potenziale und Fortschritte von GIS

Die Zukunft von GIS sieht vielversprechend aus, da die Technologie ständig weiterentwickelt wird und neue Anwendungsbereiche erschließt. Fortschritte in der Fernerkundung, Drohnentechnologie und Künstlichen Intelligenz (KI) bieten neue Möglichkeiten für die Erfassung und Analyse räumlicher Daten (Kemper & Kemper, 2020; Unger et al., 2017). Diese Technologien können die Genauigkeit und Effizienz von GIS-Analysen weiter verbessern und neue Anwendungsfelder eröffnen. Darüber hinaus unterstützen moderne GIS-Systeme zunehmend 3D-Datenformate und ermöglichen so die Visualisierung und Analyse von dreidimensionalen Strukturen. Formate wie CityGML 3.0 sind wichtige Beispiele, die eine Darstellung von Bauwerken, Stadtmodellen und Infrastrukturen in GIS ermöglichen (Tan et al., 2023).

Ein weiterer wichtiger Trend ist die zunehmende Nutzung von GIS in der Cloud. Cloud-basierte GIS-Lösungen bieten skalierbare und flexible Plattformen für die Verarbeitung und Analyse großer Datenmengen. Dies ermöglicht eine breitere Nutzung von GIS-Technologien und macht sie für eine größere Anzahl von Anwendern zugänglich (Alfaqih & Hassan, 2016). Durch die Cloud-Integration können GIS-Daten und -Analysen jederzeit und von überall aus abgerufen und genutzt werden (Alfaqih & Hassan, 2016; Bhat et al., 2011; Klaus, 2023).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass GIS eine zentrale Rolle in vielen Bereichen spielt und ein wichtiges Werkzeug für die Analyse und Verwaltung räumlicher Informationen ist. Ein besonders wertvoller Fortschritt wird die Weiterentwicklung in 3D

sein, insbesondere bei Windenergieanlagen, da ihre physische Präsenz im Raum eine entscheidende Rolle einnimmt. Die kontinuierliche Weiterentwicklung und Integration von GIS-Technologien mit anderen Disziplinen und Systemen wird seine Bedeutung und Anwendungsmöglichkeiten in der Zukunft weiter steigern. So wird GIS auch langfristig ein entscheidender Faktor bei der Lösung komplexer räumlicher Herausforderungen und der Förderung nachhaltiger Entwicklungsziele bleiben.

2.2.4 Planungssoftware moGI Planner

Ein Beispiel für eine innovative Softwarelösung für die Windparkplanung ist der moGI Planner aus dem Hause M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH. Diese WebGIS-Oberfläche ermöglicht eine effiziente und interaktive Planung von Windparks, mittels GIS-Daten.

moGI Planner ist eine hochentwickelte WebGIS-Plattform, die gezielt für die Planung und Verwaltung von Windparks konzipiert wurde. Diese Plattform erleichtert den gesamten Planungsprozess, beginnend mit der Standortsuche bis hin zur Bauüberwachung. Dank der modernen Web-Technologien und Geoinformationssysteme (GIS) ermöglicht moGI Planner eine detaillierte Visualisierung und Analyse geografischer Daten (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2021). Die browserbasierte Anwendung bietet eine hohe Zugänglichkeit und Kompatibilität mit verschiedenen Endgeräten. Diese Flexibilität und der umfassende Funktionsumfang machen moGI Planner zu einem praktischen Werkzeug für Fachplaner: innen und Ingenieur: innen im Bereich der erneuerbaren Energien (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2024b). Die typischen Nutzer: innen des moGI Planners sind private Projektentwickler: innen, Planungsdienstleister: innen und Ingenieurbüros, die in der Windparkplanung tätig sind. Sie nutzen die Plattform zur Standortsuche, Bauüberwachung und zur Analyse geografischer Daten. Öffentliche sind nicht direkt Nutzer: innen, jedoch können Projektentwickler: innen die Anwendung zur Bereitstellung von Informationen für die Öffentlichkeit verwenden (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2021).

Die technologische Grundlage von moGI Planner besteht aus mehreren wesentlichen Komponenten, die eine nahtlose und effiziente Nutzung ermöglichen. Die Benutzeroberfläche wird durch HTML5, CSS3 und JavaScript realisiert, was eine benutzerfreundliche und interaktive Anwendung gewährleistet. Diese weit verbreiteten Technologien bieten eine solide Grundlage für moderne Webanwendungen. Zur Speicherung und Analyse von Geodaten werden der Open-Source-Server Geoserver und die PostgreSQL-Erweiterung PostGIS eingesetzt, die räumliche Daten effektiv verarbeiten können. Diese Kombination ermöglicht es moGI Planner, große Mengen an geografischen Daten effizient zu verwalten und in Echtzeit zu verarbeiten. Für die Darstellung interaktiver Karten nutzt moGI Planner die JavaScript-Bibliotheken

OpenLayers und Leaflet, die leistungsstarke Werkzeuge zur Erstellung und Manipulation von Karten bieten (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2021).

2.2.4.1 Oberfläche

Die Benutzeroberfläche von moGI ist darauf ausgelegt, eine intuitive und effiziente Bedienung zu ermöglichen. Mit einer klar strukturierten Darstellung und vielfältigen Funktionen unterstützt sie die Nutzer:innen bei der Planung und Verwaltung von Windparks. Das folgende Bild gibt einen Überblick über die Web-GIS-Anwendung.

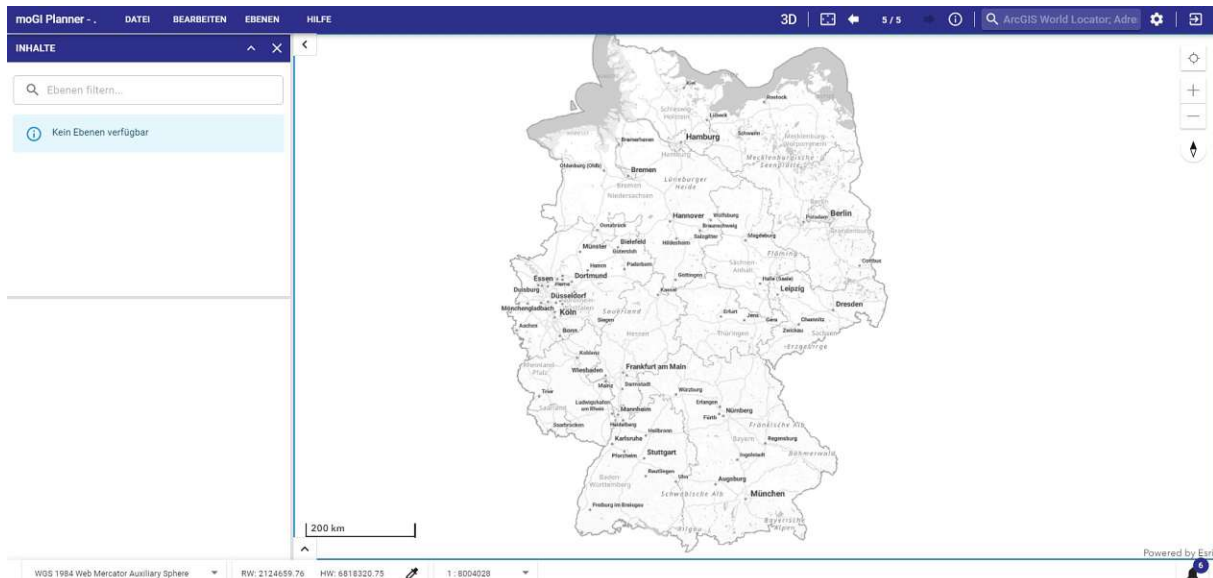


Abbildung 3: Planungsoberfläche in moGI Planner. Eigene Abbildung

Die Benutzeroberfläche zeichnet sich durch eine aufgeräumte Anordnung der Bedienelemente aus, welche auch bei Bedarf angepasst werden können. Im Zentrum befindet sich eine interaktive Karte von Deutschland, die als Grundlage für die GIS-gestützte Planung dient. Diese Karte zeigt geografische und administrative Grenzen sowie Bundesländer und Städte. In der rechten oberen Ecke der Karte sind Navigationswerkzeuge sichtbar, die das Zoomen und Verschieben der Karte ermöglichen.

Oben im Bild befindet sich die Hauptmenüleiste mit den Optionen "Datei", "Bearbeiten", "Ebenen" und "Hilfe". Diese Menüpunkte bieten Zugriff auf grundlegende Funktionen wie das Laden und Speichern von Projekten, das Bearbeiten von Kartenelementen, das Verwalten von Ebenen und den Zugriff auf Hilferessourcen.

Links im Bild befindet sich das Inhaltsverzeichnis, das eine Übersicht der verfügbaren Datenebenen bzw. des eingebauten Datenmodells bietet. Derzeit zeigt das Inhaltsverzeichnis an, dass keine Ebenen verfügbar sind, das liegt daran dass noch keine spezifischen Daten für ein Projekt geladen wurden.

Diese klar strukturierte und funktionale Benutzeroberfläche stellt sicher, dass Nutzer:innen effizient und intuitiv mit moGI Planner arbeiten können. Die zentralen Bedienelemente und die interaktive Karte bieten eine großflächige Umgebung für die GIS-gestützte Planung von Windparks.

2.2.4.2 Funktionen

Zusätzlich bietet das Web-GIS eine Vielzahl an Funktionen, die speziell auf die Anforderungen der Windparkplanung abgestimmt sind. Diese lassen sich grob in sieben Bereiche untergliedern. Diese Funktionen decken weitgehend alle Aspekte der Planung ab und unterstützen die Nutzer:innen in jeder Phase des Projekts:

Standortanalyse:

Die Plattform ermöglicht eine umfassende Analyse von Windressourcen, topografischen Daten und Umweltfaktoren. Planer:innen können potenzielle Standorte für Windturbinen identifizieren und bewerten, indem sie verschiedene Datenquellen nutzen und miteinander verknüpfen. Dabei werden auch potenzielle Einschränkungen und Risiken, wie beispielsweise Schutzgebiete oder bestehende Bebauungspläne, berücksichtigt. Diese Funktion stellt sicher, dass nur die geeignetsten Standorte für die Entwicklung von Windparks ausgewählt werden (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2021, 2024a).

Planungs- und Simulationswerkzeuge:

Zu den Planungswerkzeugen gehören Funktionen zur Layout-Optimierung, die eine effiziente Platzierung der Windturbinen sicherstellen. Die Plattform bietet zudem Schnittstellen zu Simulationswerkzeugen, die die Energieproduktion vorhersagen und die Umweltauswirkungen abschätzen können. Diese Werkzeuge ermöglichen es den Planern:innen, verschiedene Szenarien zu testen und die beste Lösung für das Projekt zu finden. Die Simulationen berücksichtigen dabei verschiedene Faktoren wie Windgeschwindigkeit, Turbulenz und topografische Bedingungen, um eine möglichst genaue Vorhersage der Energieproduktion zu ermöglichen (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2021, 2024a).

Projektmanagement:

moGI Planner bietet umfassende Projektmanagement-Funktionen, die die Verwaltung von Projektphasen, Aufgaben und Meilensteinen erleichtern. Das integrierte Dokumentenmanagement-System ermöglicht die zentrale Ablage aller relevanten Unterlagen, wodurch die Organisation und der Zugriff auf wichtige Dokumente verbessert wird. Diese Funktionen unterstützen die Planer:innen bei der Koordination und Überwachung des Projektfortschritts und helfen, die Projekte effizient und

termingerecht abzuschließen (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2021, 2024a).

Visualisierung:

Das Web-GIS-System verfügt auch über leistungsstarke Visualisierungswerkzeuge, die sowohl 2D- als auch 3D-Darstellungen ermöglichen. Diese Funktion erlaubt eine präzise Darstellung der geplanten Strukturen und ihrer Umgebung, was die Kommunikation und das Verständnis der Projektpläne erheblich verbessern kann (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2024a).

Datenintegration und -export:

Die Plattform unterstützt eine Vielzahl von GIS-Datenformaten, wie Shapefiles und GeoJSON, und bietet umfangreiche Exportfunktionen für Berichte und Karten in gängigen Formaten wie PDF und PNG. Dies erleichtert die Weitergabe und Präsentation der Projektdaten an verschiedene Stakeholder in verschiedenen Projektphasen und ermöglicht eine nahtlose Integration in andere Systeme und Anwendungen (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2021). Dabei können sämtliche Geobasis- und Fachdaten in GIS-Datenbanken zusammengeführt werden, was eine zentrale und konsistente Datenhaltung ermöglicht (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2024a, 2024b).

Variantenplanung:

Ein zentrales und besonderes Feature ist die Variantenplanung, die es ermöglicht, verschiedene Planungsalternativen zu erstellen, zu verwalten und zu bewerten. Durch die Integration von GIS können unterschiedliche Szenarien effizient analysiert und verglichen werden. Planer: innen können verschiedene Layouts und Designs für Windparks erstellen und speichern, wobei jede Variante hinsichtlich Energieproduktion, Kosten und Umweltauswirkungen analysiert werden kann. Die Ergebnisse dieser Analysen können in Berichten zusammengefasst und exportiert werden, um fundierte Entscheidungen zu unterstützen und Genehmigungsverfahren zu erleichtern. Diese Funktionalität ermöglicht eine iterative Entwicklung und Optimierung von Windparkprojekten, was besonders bei sich ändernden Rahmenbedingungen von Vorteil ist (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH et al., 2021).

Die Variantenplanung unterstützt die Planer: innen dabei die beste Lösung für das Projekt zu finden. Dabei können sowohl technische als auch wirtschaftliche und ökologische Aspekte berücksichtigt werden. Die Fähigkeit, schnell und einfach verschiedene Varianten zu erstellen und zu vergleichen, erhöht die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Planung erheblich (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH et al., 2021). Dies ist besonders wichtig in einem sich ständig wandelnden

Umfeld wie der erneuerbaren Energien, wo neue Technologien und regulatorische Anforderungen kontinuierlich berücksichtigt werden müssen (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2021, 2024b).

Rollenverteilung:

Zuletzt verfügt die Software über ein ausgeklügeltes Rollen- und Rechtesystem, das eine präzise Verwaltung der Benutzerzugriffe auf das jeweilige Projekt ermöglicht. Zu den typischen Rollen zählen der Administrator, der uneingeschränkten Zugriff auf alle Funktionen hat, die Planer: innen, die Projekte erstellen und analysieren können, aber keinen administrativen Zugriff haben und die Betrachter: innen, die lediglich Projektdaten einsehen und Berichte exportieren können, ohne Änderungen vornehmen zu dürfen. Diese klare Rollenverteilung stellt sicher, dass nur autorisierte Personen Zugang zu sensiblen Daten und Funktionen haben, was die Sicherheit und Integrität der Planungsdaten erhöht. Die Rollenverteilung ermöglicht eine effiziente Zusammenarbeit innerhalb des Projektteams und stellt sicher, dass alle Beteiligten genau die Zugriffsrechte haben, die sie für ihre Aufgaben benötigen (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2021, 2024a; M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH et al., 2021).

2.2.4.3 Anbindungen an Fachplanungsanwendungen

Eine der weiteren Funktionen von moGI Planner ist die nahtlose Integration mit verschiedenen Fachplanungsanwendungen und -Systemen. Diese Interoperabilität ermöglicht es den Nutzern, die umfangreichen Funktionen von moGI Planner mit den spezialisierten Werkzeugen anderer Softwarelösungen zu kombinieren, um eine noch präzisere Planung zu erreichen.

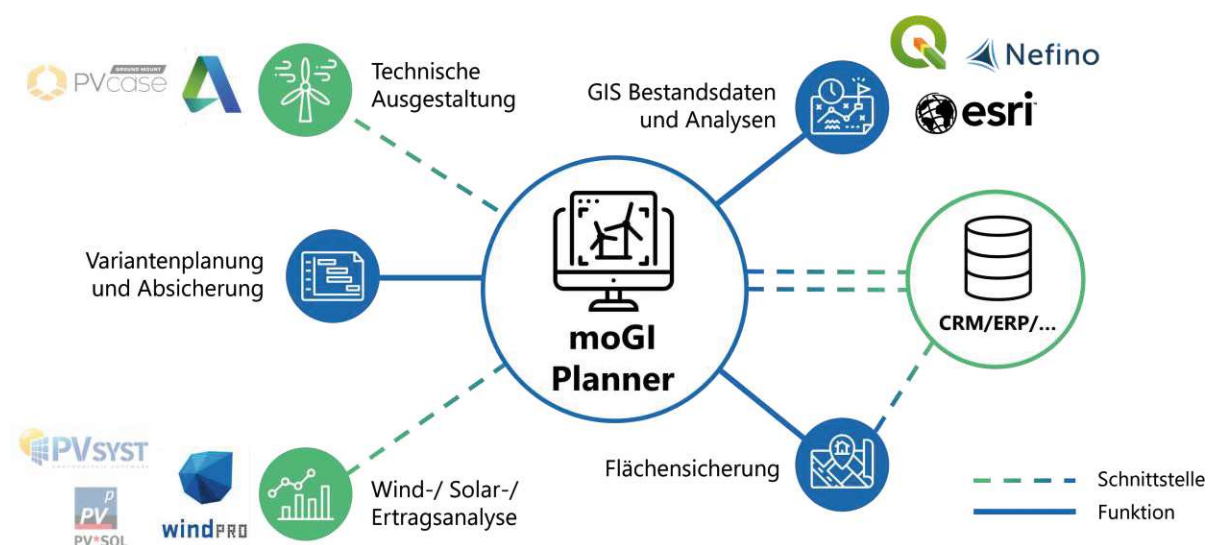


Abbildung 4: IT-Integration in der Wind- und Solarparkplanung. Aus "Wind- und Solarparkplanung". (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2024).

Energieertrags-Simulationssoftware:

Die Plattform kann mit spezialisierten Simulationsprogrammen, z.B. WindPRO (EMD International A/S, 2024) zur Vorhersage der Energieproduktion integriert werden. Diese Verbindung ermöglicht es den Planern: innen, detaillierte Energieertragsanalysen durchzuführen und verschiedene Szenarien zu vergleichen, um die optimalen Standorte und Konfigurationen für die Windturbinen zu bestimmen (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH et al., 2021).

Umweltanalyse-Tools:

moGI Planner kann auch mit Softwarelösungen zur Bewertung von Umweltaspekten und Risiken verbunden werden. Diese Integration hilft den Planern: innen, die potenziellen ökologischen Auswirkungen der Windparkprojekte zu analysieren und zu minimieren, indem sie umfassende Umweltstudien durchführen und die Ergebnisse in die Planungsentscheidungen einbeziehen (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH et al., 2021).

Projektmanagementsysteme:

Die Plattform bietet außerdem Schnittstellen der Geodatenbank zu gängigen Projektmanagement-Tools, die eine nahtlose Verwaltung von Aufgaben und Ressourcen ermöglichen. Diese Integration erleichtert die Koordination zwischen den verschiedenen Projektbeteiligten und stellt sicher, dass alle Aufgaben effizient und termingerecht ausgeführt werden (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH et al., 2021).

Durch diese umfassenden Integrationsmöglichkeiten stellt moGI Planner sicher, dass Planer: innen und Ingenieur: innen Werkzeuge zur Verfügung haben, um ihre Projekte vielseitig umzusetzen. Die Fähigkeit, verschiedene Fachplanungsanwendungen zu verbinden und zu nutzen, erhöht die Effizienz und Genauigkeit der Planung und unterstützt die nachhaltige Entwicklung von Windparks (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2021; M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH et al., 2021).

Wie man der Abbildung aber auch entnehmen kann sind derzeit nur bedingt Schnittstellen zu CAD- oder BIM-Systemen festgelegt, welche über DXF Importe und Exporte implementiert sind. Was bedeutet, dass die Planungsprozesse hauptsächlich aus der GIS-Perspektive betrachtet werden. Dies bedeutet, dass Planer: innen, die mit CAD- oder BIM-Daten arbeiten, diese Daten größtenteils manuell mit den Planungsdaten abstimmen müssen. Diese zusätzlichen Schritte können zeitaufwendig sein und bürden das Risiko von Datenverlusten oder -verfälschungen (Sbiti et al., 2022).

Fazit:

moGI Planner ist ein leistungsfähiges Werkzeug für die GIS-gestützte Planung von Windparks. Während die Plattform umfassende Funktionen und Schnittstellen im GIS-Bereich bietet, fehlen derzeit direkte Integrationen mit CAD- und BIM-Systemen. Dies bedeutet, dass die Planungsprozesse hauptsächlich aus der GIS-Perspektive betrachtet werden. Für zukünftige Versionen von moGI Planner wäre die Implementierung von Backend-Schnittstellen zu CAD und BIM eine sinnvolle Erweiterung, um die Planungsprozesse weiter zu optimieren und die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Planungstools und Akteuren zu verbessern.

2.3 Grundlagen Linkmodell

Das Linkmodell dient als ein methodisches Konzept zur Verbindung unterschiedlicher Datenmodelle und kann im Kontext von Building Information Modeling und Geografischen Informationssystemen genutzt werden (buildingSMART Deutschland, 2023; DVW e.V. - Gesellschaft für Geodäsie, 2022). Es ermöglicht die Integration von Daten aus verschiedenen Disziplinen und Systemen, sodass diese gemeinsam analysiert und verarbeitet werden können. Ein zentrales Ziel des Linkmodells ist es, eine nahtlose Interoperabilität zwischen den Systemen zu gewährleisten, um den Verlust wichtiger Daten zu verhindern (Jurzitza et al., 2024). Schilling und Clemen (2022) betonen, dass das Linkmodell eine wichtige Grundlage für die interdisziplinäre Zusammenarbeit bildet, da es eine Brücke zwischen verschiedenen Datenmodellen ermöglicht, wie in der nachfolgenden Abbildung durch Verknüpfungen verdeutlicht wird.

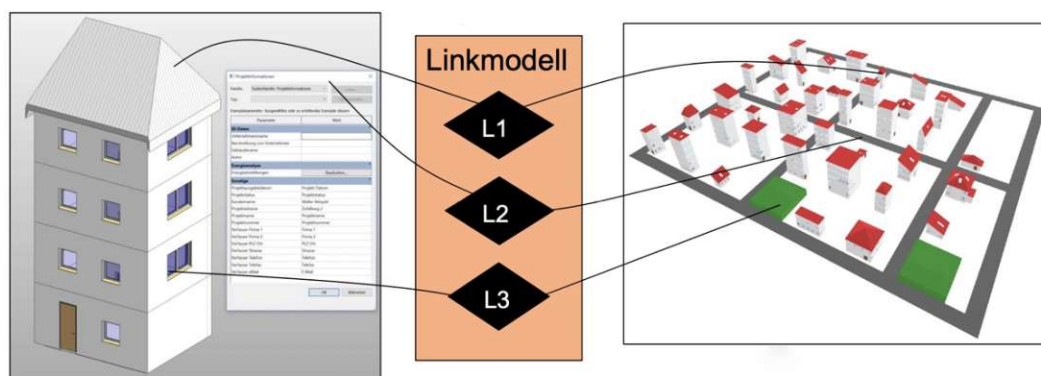


Abbildung 5: Abgeändertes Linkmodell zur Verbindung von BIM, GIS und Geodäsie, basierend auf "Linkmodelle BIM-GIS-Geodäsie". (Clemen, 2024).

Die Implementierung von Linkmodellen basiert auf der semantischen Interoperabilität, die es ermöglicht, Daten aus Disziplinen in einem kohärenten Modell zusammenzuführen. Dabei liegt ein besonderer Fokus auf der Integration von Datenformaten, die in den jeweiligen Fachbereichen etabliert sind (Göçer et al., 2016;

Ma & Ren, 2017). Ein Beispiel dafür ist die Verbindung der in BIM- und GIS-Systemen verwendeten Datenmodelle, wie IFC und CityGML, um eine verlustfreie Datenübertragung zu ermöglichen (Vilgertshofer et al., 2017). Ein entscheidendes Merkmal des Linkmodells besteht darin, verschiedene Informationsquellen innerhalb eines Modells zu verbinden und gleichzeitig die Semantik und Struktur der jeweiligen Daten zu erhalten. Dies wird unter anderem durch den Einsatz von Linked Data-Technologien realisiert, die es erlauben, eine semantisch reiche Verbindung zwischen den Domänen von BIM und GIS herzustellen (Schilling & Clemen, 2022; Schilling & Clemen, 2023).

Mit einer erfolgreichen Implementierung von Linkmodellen kann potenziell die Effizienz in komplexen Bau- und Planungsprojekten gesteigert werden (Ma & Ren, 2017; Schilling & Clemen, 2023). Sie verbessern die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Disziplinen und gewährleisten eine konsistente Datennutzung. Dies führt zu einer genaueren Planung und Umsetzung der Projekte, was letztlich zu einer höheren Qualität und Effizienz beiträgt (Lippold, 2022; Vilgertshofer et al., 2017).

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die Anwendungsbereiche und die spezifische Bedeutung dieser Modelle näher zu betrachten. Sie können in verschiedenen Bau- und Planungsbereichen wie der Architektur, dem Bauingenieurwesen und der Stadtplanung eingesetzt werden. Durch die Verknüpfung von Bauwerksmodellen mit geografischen Daten wird eine präzisere Standortanalyse ermöglicht, was die Planung von Infrastrukturprojekten wie Straßen, Tunneln und Brücken optimiert (Jarosch, 2023; Lippold, 2022). So können Fachbereiche wie Bauinformatik und Geoinformatik, miteinander verknüpft werden, um eine ganzheitliche Sicht auf ein Bauprojekt zu schaffen (Vilgertshofer et al., 2017). In der Praxis wird dies wie erwähnt durch den Einsatz von angepassten Linked Data-Technologien erreicht, welche jeweils an die Fachdisziplinen und verwendeten Softwares zugeschnitten sind.

Abschließend lässt sich festhalten, dass Linkmodelle eine vielversprechende Möglichkeit bieten, die Integration komplexer Datenmodelle in der Bau- und Planungsindustrie zu unterstützen. Sie fördern die interdisziplinäre Zusammenarbeit und tragen zur Steigerung der Effizienz und Qualität von Projekten bei, indem sie eine verlustfreie Datenintegration ermöglichen und die semantische Interoperabilität sicherstellen (Schilling & Clemen, 2022; Schilling & Clemen, 2023; Vilgertshofer et al., 2017). Es ist jedoch auch zu beachten, dass Linkmodelle bislang selten zum Einsatz kommen. Ihr Anwendungsbereich ist sehr spezifisch und die Nachfrage nach ihrer Implementierung in der Praxis hängt stark von den individuellen Anforderungen und Abläufen der jeweiligen Projekte ab.

3 Anwendungsbeispiele und Fallstudien

In der modernen Planung bietet die Integration von BIM und GIS neue Möglichkeiten. Durch die Verbindung technischer Modelle mit räumlichen Daten können Planungsprozesse optimiert und präzisere Entscheidungen bei der Standortauswahl getroffen werden (Petzold et al., 2015). In verschiedenen Projekten hat sich gezeigt, dass diese Technologien nicht nur die Planung und Ausführung verbessern, sondern auch langfristige Vorteile bieten (Lippold, 2022). Die Anwendungsbeispiele verdeutlichen die Bedeutung der BIM-GIS-Integration in der Praxis und eröffnen neue Perspektiven für die Weiterentwicklung der Windparkplanung.

3.1 Integration von BIM und GIS in der Praxis

Die Integration von Building Information Modeling und Geoinformationssystemen hat in der Bau- und Planungsindustrie bereits zu signifikanten Fortschritten geführt. Besonders in der Planungsphase bietet diese Kombination wertvolle Vorteile, da sie sowohl die Standortanalyse als auch die Optimierung von Bauprozessen unterstützt (Jarosch, 2023). Die nachstehende Abbildung veranschaulicht, wie eine solche Integration im Bereich der Infrastruktur aussehen kann.

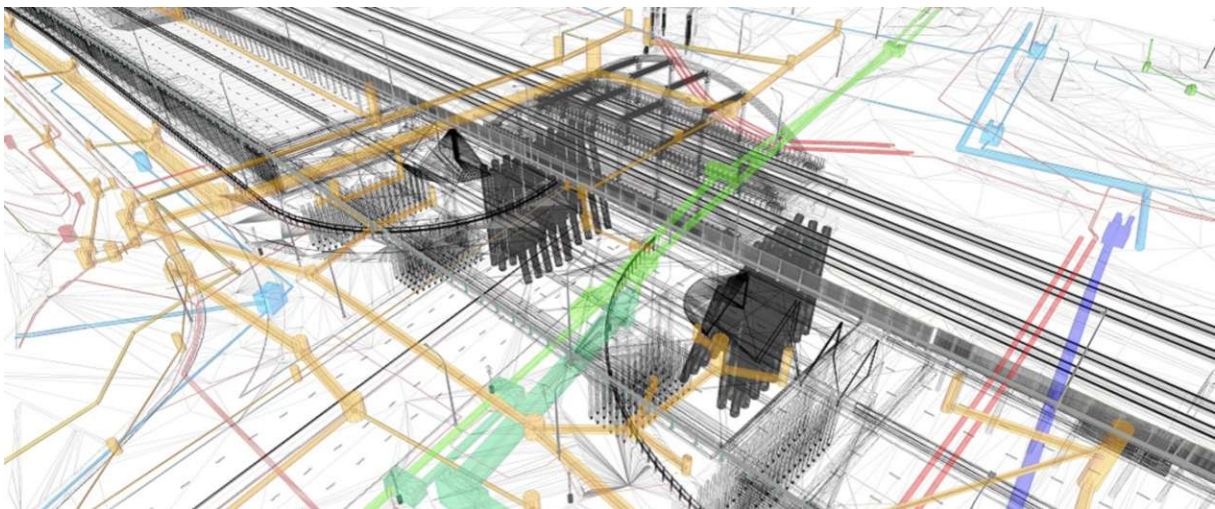


Abbildung 6: KAINE – wissenschaftliche Studie – BIM Basis Online. (Akademie der Ruhr-Universität ,2024).

Die Verknüpfung von BIM-Modellen mit GIS-Daten erlaubt eine exakte Positionierung von Bauprojekten und trägt zur effizienteren Ressourcennutzung bei (Rafiee et al., 2014). Diese Integration bietet zudem die Möglichkeit, raumbezogene Daten wie Topografie, Vegetation und bestehende Infrastrukturen in die Planungsprozesse zu integrieren. Dadurch entsteht eine fundierte Basis für die präzise Modellierung von Bauprojekten in ihrem jeweiligen Umfeld (Jarosch, 2023; Mangon, n.d.).

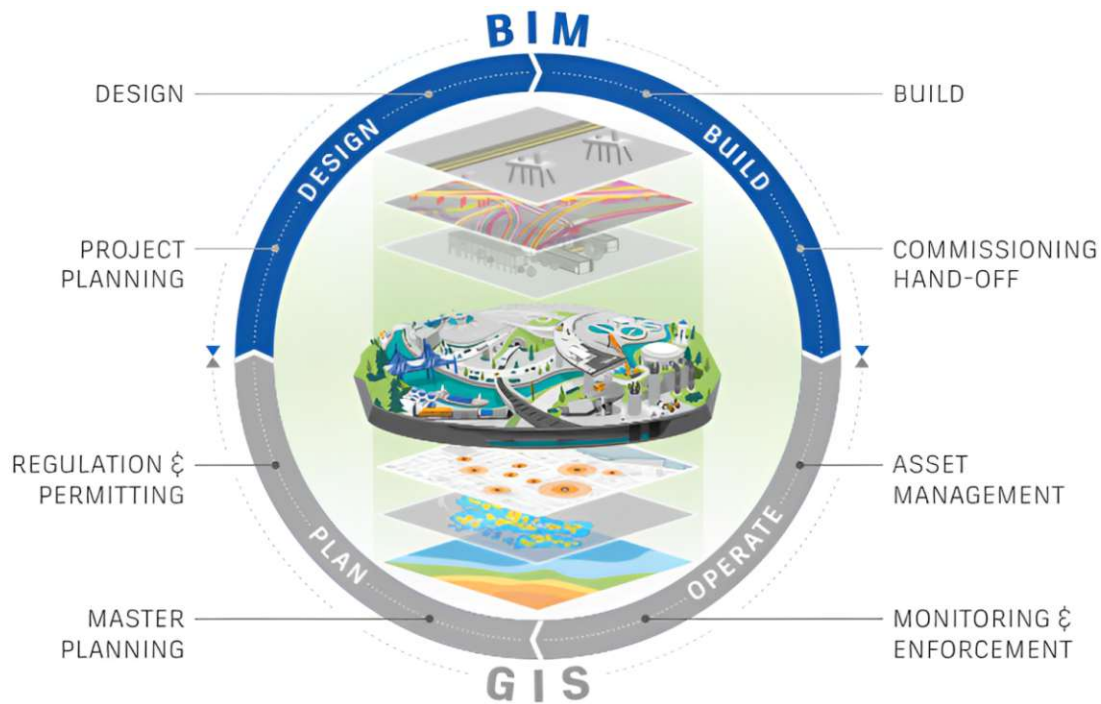


Abbildung 7: BIM und GIS Integration. Aus "BIM and GIS Integration Applications & Benefits". (United-BIM, 2024).

Ein praxisnahes Beispiel für den Nutzen dieser Integration ist die Flutrisikobewertung. Hier werden dreidimensionale BIM-Modelle von Gebäuden mit GIS-Daten kombiniert, um potenzielle Hochwasserschäden zu simulieren und präventive Maßnahmen zu entwickeln. Diese Integration liefert detaillierte visuelle Informationen, die die Entscheidungsfindung erleichtern und die interdisziplinäre Kommunikation verbessern (Ahmad et al., 2024; Amirebrahimi et al., 2016a, 2016b).

Ein weiterer wesentlicher Vorteil dieser Integration zeigt sich in der langfristigen Instandhaltung von Bauwerken und Infrastrukturen. Die Verknüpfung von BIM-Modellen mit geografischen Daten ermöglicht eine präzisere Planung und Priorisierung von Instandhaltungsmaßnahmen. Gleichzeitig wird die Verwaltung von Instandhaltungsdaten über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks hinweg optimiert, was die Konsistenz und Verlässlichkeit der Daten sicherstellt (Jarosch, 2023; Lippold, 2022).

Darüber hinaus spielt diese Integration eine zentrale Rolle bei der Entwicklung von Smart Cities und digitalen Zwillingen. Die Konvertierung von BIM-Daten in GIS-kompatible Formate verbessert die Visualisierung und Analyse urbaner Infrastrukturen und unterstützt die effiziente Planung und Verwaltung von Infrastrukturprojekten (Zhu & Wu, 2021). In der Stadtplanung ermöglichen dies Sichtbarkeitsanalysen für neue Bauprojekte um deren Auswirkungen auf die Umgebung besser zu analysieren. Dies trägt erheblich zur Effizienzsteigerung in der Infrastrukturplanung bei (Rafiee et al., 2014).

3.2 Beschreibung von Herausforderungen

Trotz der zahlreichen Vorteile, die die BIM-GIS-Integration bietet, stehen Planer: innen und Ingenieur: innen vor einer Reihe von Herausforderungen. Eine der größten Hürden besteht in der Interoperabilität zwischen den unterschiedlichen Datenformaten und Softwarelösungen. Während BIM-Modelle typischerweise im IFC-Format (Industry Foundation Classes) gespeichert werden, nutzen GIS-Systeme häufig Shapefiles oder andere spezifische Formate wie GeoJSON. Die Konvertierung dieser Datenformate, ohne dabei wesentliche Informationen zu verlieren, stellt eine große Herausforderung dar und erfordert spezialisierte Algorithmen sowie geeignete Tools (Zhu et al., 2022). Dies gilt insbesondere für die Konvertierung von IFC zu CityGML, einem der am häufigsten untersuchten Standards für die Integration von BIM und GIS. Probleme wie die Geometriekonvertierung und die semantische Zuordnung müssen dabei überwunden werden, um eine verlustfreie Datenübertragung zu ermöglichen (Tan et al., 2023).

Ein weiteres zentrales Problem betrifft die Georeferenzierung von BIM-Modellen. Da BIM-Daten oft in lokalen Koordinatensystemen erstellt werden, müssen sie für die Integration in GIS-Umgebungen in globale Koordinatensysteme überführt werden. Dieser Prozess ist komplex und birgt das Risiko von Fehlern, da präzise Transformationsmethoden notwendig sind, um die räumliche Genauigkeit sicherzustellen (Göçer et al., 2016).

Ein weiteres häufig auftretendes Problem ist die semantische Interoperabilität zwischen BIM- und GIS-Datenmodellen. Während sich BIM-Datenmodelle auf die detaillierte Modellierung von Gebäuden und Bauwerken konzentrieren, liegt der Schwerpunkt von GIS-Systemen auf der räumlichen Analyse und der Modellierung des geografischen Kontexts. Diese Unterschiede führen häufig zu semantischen Inkonsistenzen, die die Integration erschweren. Bei der Konvertierung von IFC zu CityGML gehen häufig wesentliche semantische Informationen verloren, was die praktische Anwendbarkeit der konvertierten Datenmodelle einschränkt (Tan et al., 2023; Zhu et al., 2022).

3.3 Ähnliche Lösungsansätze für die Problemstellung

Um Herausforderungen bei der BIM-GIS-Integration zu bewältigen, wurden verschiedene Lösungsansätze entwickelt. Eine davon ist die Entwicklung von speziellen ETL-Prozessen (Extract, Transform, Load), die eine verlustfreie Konvertierung von BIM- in GIS-Datenformate ermöglichen. Diese Prozesse stellen sicher, dass die geometrischen und semantischen Informationen aus BIM-Modellen korrekt in GIS-Systeme übertragen werden (Rafiee et al., 2014). Darüber hinaus

wurden Tools entwickelt, die die Georeferenzierung von BIM-Modellen automatisieren und so die Integration in GIS-Systeme erleichtern (Zhu et al., 2022).

Gleichzeitig zielen in der Industrie neue Standardisierungsansätze, wie IFC und CityGML, darauf ab, eine reibungslose Konvertierung und Integration zu unterstützen, indem sie eine gemeinsame Basis für den Datenaustausch schaffen (buildingSMART Deutschland, 2023; Tan et al., 2023). So ist ein Lösungsansatz die Weiterentwicklung von offenen Standards wie CityGML und IFC welche als Anschlussstelle und Brücke zwischen BIM- und GIS-Systemen fungieren. So ermöglicht es CityGML, beispielsweise die detaillierten 3D-Geometrien und Semantiken von BIM-Modellen in GIS zu darzustellen und somit eine einheitliche Datenbasis für Analysen und Simulationen zu schaffen (Göçer et al., 2016).

Eine weitere Methode ist der Ansatz welcher der Verwendung von semantischen Webtechnologien, die es ermöglichen, Daten aus unterschiedlichen Quellen über standardisierte Schnittstellen und Datenformate zu integrieren (Karan et. al., 2015). Diese Technologien nutzen Ontologien und Linked Data, um die semantische Interoperabilität zwischen BIM und GIS zu verbessern (Karan et al., 2015; Vilgertshofer et al., 2017). Durch die Anwendung von Ontologien lassen sich Begriffe und Beziehungen zwischen den Systemen klar definieren, wodurch eine effektivere Datenverarbeitung und -integration ermöglicht wird.

Dieser Ansatz vermeidet die direkte Konvertierung der Datenmodelle und lässt die ursprünglichen Daten koexistieren, indem Links zwischen den entsprechenden Entitäten und Klassen der Standards erstellt werden. Das Linkmodell was dabei entsteht ermöglicht so die parallele Abfrage von BIM- und GIS-Daten, ohne dabei Informationen zu verlieren. (Vilgertshofer et al., 2017).

4 Praxisanwendung Umsetzung

In diesem Abschnitt der Masterarbeit wird die methodische Vorgehensweise zur Modellierung und Integration einer Windenergieanlage in das WebGIS-System moGI Planner detailliert erörtert. Der Prozess gliedert sich in drei Hauptphasen.

Phase 1

Zunächst wird die Windenergieanlage modelliert und visualisiert, woraufhin eine entsprechende Exportdatei erstellt wird. Diese Phase legt die Grundlage für alle weiteren Schritte und gewährleistet, dass die Anlage in einer digital verwertbaren Form vorliegt.

Phase 2

Als nächstes wird Innerhalb der Windparkplanungsoberfläche von moGI Planner ein Windpark konzipiert, der später als Demonstrationsmodell für die Integration der erstellten BIM-Windenergieanlage verwendet wird.

Phase 3

Der dritte und entscheidende Schritt besteht in der Verlinkung des BIM-Modells der Windenergieanlage mit dem moGI Planner. Dieser Schritt ist kritisch für die Beantwortung der zentralen These der Arbeit, da er die funktionale Integration und Anwendbarkeit der modellierten Anlage im Rahmen des GIS-Systems überprüft.



Abbildung 8: Praxis Umsetzungsablauf. Eigene Abbildungen.

Nach der Implementierung der beschriebenen Methoden wird der Nutzen der Integration von BIM und GIS in der Planung von Windparks anhand eines eigenen Vorher-nachher-Vergleichs illustriert. Diese Methode zielt darauf ab, die

Forschungsfrage der Arbeit präzise zu beantworten und den Mehrwert der technologischen Synergie in moGI Planner zu verdeutlichen.

4.1 Umsetzung und Visualisierung des WEA-Modells

Die Umsetzung der Windenergieanlagenmodellierung erfolgt unter Berücksichtigung der Hauptbestandteile einer typischen Anlage. Jedes Element wie Fundament, Turm, Gondel, Generator, Nabe und Rotorblätter wird als eigenständige Komponente modelliert und anschließend zu einem kompletten Windkraftmodell zusammengesetzt.

Für die Modellierung der Windenergieanlagen wird die Software Autodesk Revit verwendet. Revit bietet umfassende Möglichkeiten für das Building Information Modeling und ermöglicht eine strukturierte und präzise Modellierung der einzelnen Anlagenkomponenten visuell und alphanumerisch.

4.1.1 LOD – Level of Detail

Das Level of Detail (LOD) in der Modellierung bezieht sich auf den Grad der Detaillierung (Grytting et al., 2017), mit dem die Windenergieanlage innerhalb eines digitalen Modells dargestellt wird. Die Auswahl des geeigneten LOD für diesen Anwendungsfall ist von essenzieller Bedeutung, da sie direkte Auswirkungen auf die Darstellung des Modells, die Größe (Speicherbedarf) der digitalen Datei sowie den damit verbundenen zeitlichen Aufwand hat (Grytting et al., 2017).

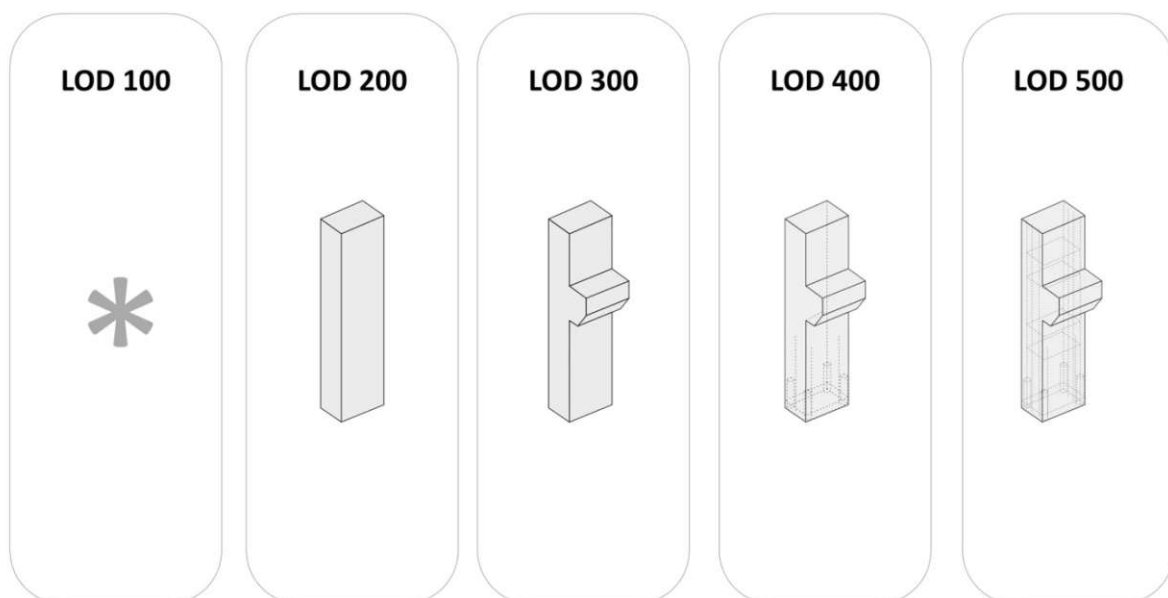


Abbildung 9: LOD/LOI in BIM-Modellen. Aus "Was bedeutet LOD/LOI?". (Baunetz Wissen, 2024).

Die Präzision des Modells hängt somit wesentlich vom gewählten Detaillierungsgrad (LOD) ab. Zwar würde ein höherer Detailgrad eine genauere Darstellung der realen Windenergieanlage ermöglichen, jedoch nimmt mit steigendem Detailgrad auch die

Komplexität des Modells und damit die Dichte der Informationen zu. Es ist daher von entscheidender Bedeutung das richtige Gleichgewicht zwischen Detailreichtum und Effizienz zu finden.

Somit wird bei dieser Modellierung der Windenergieanlage bewusst auf ein geringes Level of Detail zurückgegriffen, wodurch nicht jeder kleinste Detailgrad der Anlage erfasst wird (LOD 300 – Spezifische Geometrie). Diese Entscheidung wie folgt begründet. Der Fokus bei der Planung von Windparks liegt hauptsächlich auf funktionalen Aspekten wie der Platzierung der Anlagen, der Berücksichtigung der Abstandsflächen und der Abschätzung der potenziellen Risiken. Ein geringeres LOD konzentriert sich auf diese funktionalen Aspekte, während visuelle Details vernachlässigt werden, die für die Planung nicht unbedingt erforderlich sind. So ist für die Windparkplanung nicht jede visuelle Feinheit einer Windenergieanlage von Bedeutung. Während ein höheres LOD möglicherweise sämtliche kleine Details wie Schrauben, Zahnräder oder Oberflächenstrukturen erfasst, sind derartige Details für die Standortauswahl und Platzierung der Anlagen nicht von visueller Relevanz, da sie bei Bedarf auch alphanumerisch im LOI (Level of Information) hinterlegt werden können. Ein zu hoher Detailgrad würde somit die visuelle Informationsdichte erhöhen und den Aufwand erheblich steigern, ohne einen substantziellen Mehrwert für die angestrebten Forschungsergebnisse zu liefern.

Durch die gezielte Reduzierung des LOD wird sichergestellt, dass das BIM-Modell mit überschaubaren Informationen bestückt wird und so in das WebGIS-System moGI integriert werden kann. Es werden lediglich die für das Projekt essenziellen Informationen erfasst, die für die Analyse und Verwaltung der Windenergieanlagen im Kontext der Windparkplanung eine Rolle spielen.

4.1.2 LOI – Level of Information

Das Level of Information (LOI) charakterisiert die inhaltliche Tiefe der in einem BIM-Modell enthaltenen Informationen. Im Kontext der Modellierung von Windenergieanlagen bezieht sich das LOI auf die Menge und Qualität der alphanumerischen Daten, die jedes Element der Anlage begleiten und definieren (Banfi, 2017).

Die bewusste Wahl des LOI ist entscheidend für die Effizienz des Modellierungsprozesses und die Nützlichkeit des Windkraftmodells für das Projekt (Banfi, 2017). Ähnlich wie auch beim LOD, bringt ein zu niedriges LOI unzureichende Informationen für die genaue Analyse und das Management der Anlage, wiederum kann ein zu hohes LOI zu Informationsüberflutung führen und die Handhabung des Modells verkomplizieren.

Für die Modellierung der Windkraftanlage wird ein LOI gewählt, welches ausreichend detailliert ist, um die funktionalen und technischen Anforderungen zu erfüllen, ohne überflüssige Details, die den Modellierungs- und Analyseprozess verlangsamen könnten.

Diese umfassen:

- a. **Betriebsdaten:** Information um welches Bauteil es sich handelt
- b. **Wartungsinformationen:** exemplarische Wartungsangaben pro Bauteil
- c. **Kostenschätzung:** Kostenschätzung pro Bauteil

Diese Auswahl spiegelt das Bestreben wider, ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Detailgenauigkeit (LOD) und Informationsgehalt (LOI) zu schaffen. Ein maßvolles LOI ermöglicht die effektive Nutzung des WEA-Modells innerhalb des WebGIS-Systems moGI, indem es gewährleistet, dass nur notwendige Informationen für die Beantwortung der These zur Verfügung stehen. Diese Strategie fördert eine zielgerichtete Handhabung des Modells und unterstützt eine effiziente Umsetzung, um die Forschungsfrage präzise zu beantworten.

4.1.3 Anlagenkomponenten

Die Windenergieanlage besteht aus einer Vielzahl unterschiedlicher Komponenten, die in einem koordinierten Zusammenspiel funktionieren.

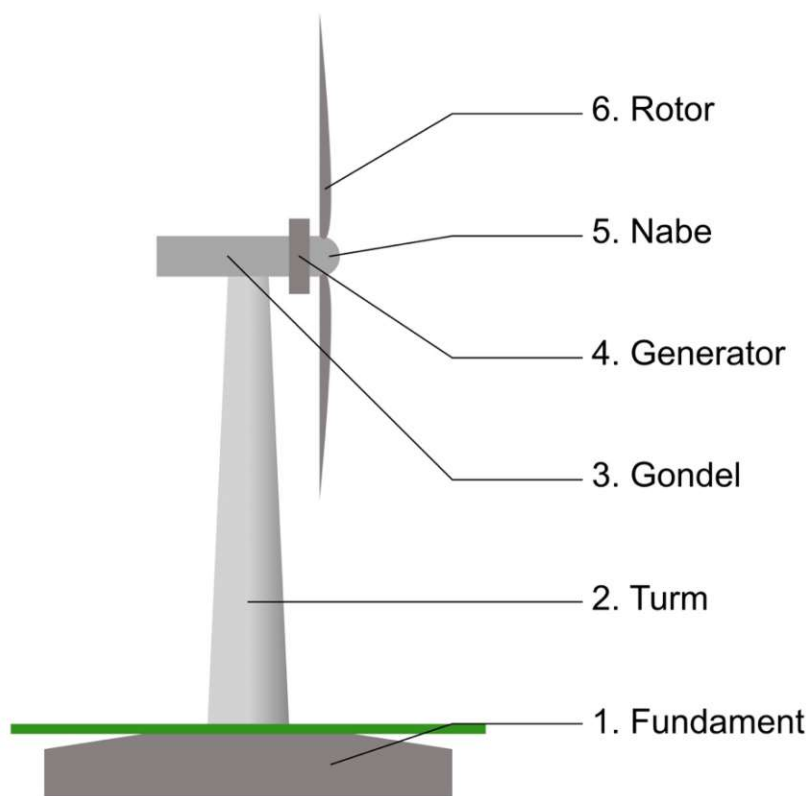


Abbildung 10: Grober Aufbau einer Windenergieanlage. Eigene Abbildung.

Für die Modellierung des BIM-Modells der Windenergieanlage dient eine reale Windkraftanlage als Vorlage. Die Modellierung orientiert sich spezifisch an der Anlage des Herstellers Enercon (Enercon Global GmbH, 2024; ENERCON GmbH, 2022, 2023), Modell „E-175 EP5“, um einen realistischen digitalen Zwilling zu entwickeln.

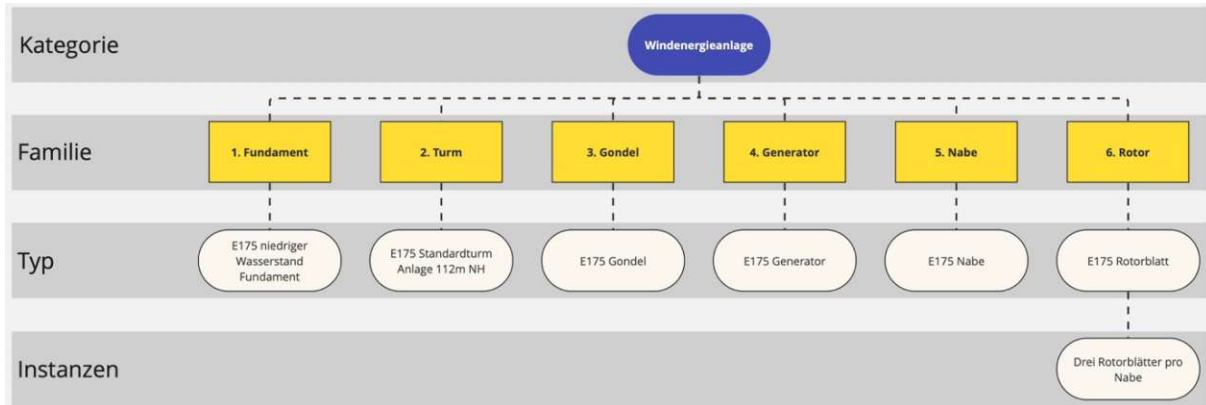


Abbildung 11: Komponentenhierarchie der Enercon E-175 EP5. Eigene Abbildung.

Die Komponenten gliedern sich in sechs übergeordnete Hauptteile, wobei das Fundament als feste Basis den Anfang bildet.

Modellierung Fundament:

Das Fundament der Anlage ist von entscheidender Bedeutung für deren Stabilität und Zuverlässigkeit. Es bildet die Grundlage, auf dem der gesamte Aufbau ruht und trägt das Gewicht der Turmkonstruktion sowie der sich drehenden Komponenten. Es handelt sich um den Teil der Anlage, der direkt mit dem Boden in Kontakt steht und somit Bodenverdichtung verursacht, wodurch eine spezifische Flächenbeanspruchung des Bodens entsteht. Die genaue Ausdehnung des Fundaments sowie seine Dimensionierung werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Dazu zählen die Größe der Anlage, die Beschaffenheit des Bodens, die zu erwartenden Windlasten sowie lokale Bauvorschriften und Umweltbedingungen. Bereits in diesem Stadium sind mehrere Interessengruppen involviert, was die Planung und Umsetzung der Anlage zu einem komplexen und multidisziplinären Prozess macht.

Das Fundament ist gemäß den Anforderungen eines niedrigen Grundwasserstands dimensioniert, mit einem Durchmesser von 20m und einer Tiefe von 3,2m.



Abbildung 12: Modellierung Fundament. Eigene Abbildung.

In der oberen Abbildung ist das geometrische 3D-Modell des Fundaments einer Windkraftanlage dargestellt, welches entsprechend dem Level of Detail konzipiert wurde. Dieses Modell wurde zusätzlich mit alphanumerischen Angaben gemäß dem Level of Information versehen. Die in der Tabelle aufgeführten Angaben sind jedoch nicht real, sondern dienen ausschließlich Demonstrationszwecken und basieren auf eigenen hypothetischen Annahmen.

Revit Parameter	Wert
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Fundament aus Stahlbeton
Typenkommentare	Wartung alle 5 Jahre
Kosten	400.000€ (ca. 10% der Gesamtkosten)

Tabelle 1: Fundament LOI. Eigene Tabelle.

Besonders die beiden Parameter aus *Typenkommentaren*, die die Wartung zeigen und *Kosten* sind für die Forschungsfrage der Arbeit relevant.

Alle fünf nachfolgenden Bauteile werden mit der gleichen Vorgehensweise ausgearbeitet.

Modellierung Turm:

Aufbauend auf dem Fundament dient der Turm der Windenergieanlage als strukturelles Rückgrat, welcher die restlichen Komponenten in signifikanter Höhe über dem Boden positioniert. Die technische Ausführung des Turms muss nicht nur den atmosphärischen Belastungen widerstehen, sondern auch die Vibrationen minimieren, die durch den Betrieb der Anlage entstehen, um die Funktionalität langfristig zu gewährleisten. Basierend auf der Vorlage der E-175 EP5 wird der Turm mit einer Höhe von 110m und einer anfänglichen Breite von 9m modelliert, die sich nach oben hin auf 4,5m verjüngt. Die Anlage bietet drei verschiedene Größenoptionen; bei diesem Modell handelt es sich um die kleinste Variante.



Abbildung 13: Modellierung Turm. Eigene Abbildung.

Folgende Informationen sind im Bauteil Turm hinterlegt:

Revit Parameter	Wert
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Turm
Typenkommentare	Wartung alle 2 Jahre
Kosten	1.000.000€ (ca. 25% der Gesamtkosten)

Tabelle 2: Turm LOI. Eigene Tabelle.

Modellierung Gondel:

Die Gondel bildet das Kernstück der Windkraftanlage. Sie enthält die wichtige technische Hauptkomponenten für die Energieumwandlung, sowie Teile des Generators. Sie ist so konstruiert, dass sie den Umgebungsbedingungen standhält, während sie den reibungslosen Betrieb der technischen Einheiten ermöglicht. Ihre Abmessung beträgt 10m Länge, 3,5m Höhe und 5m Breite.

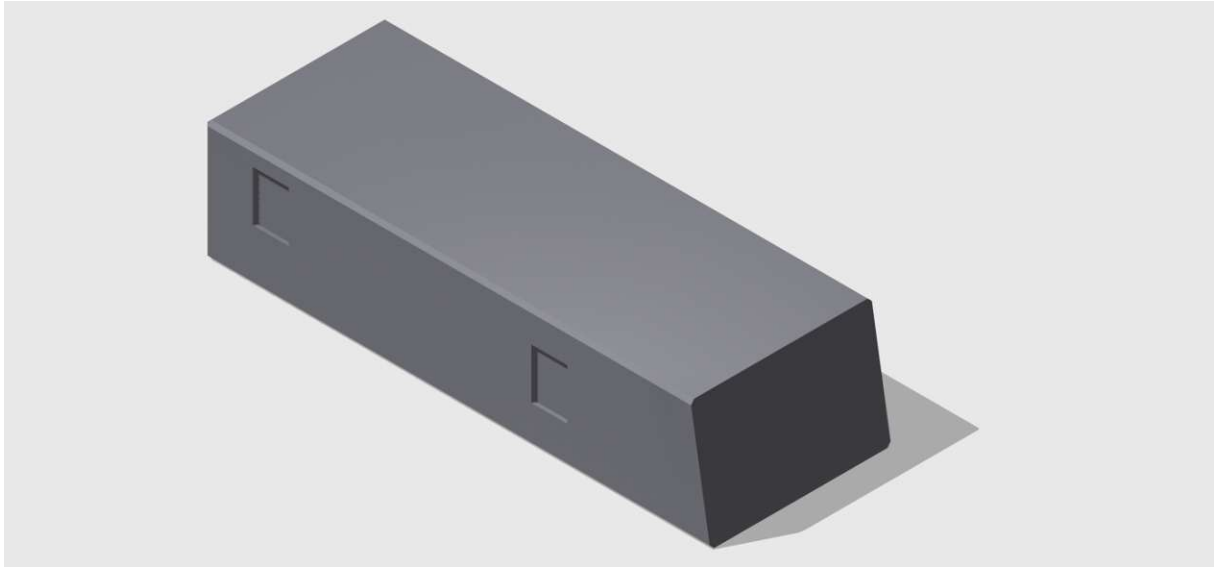


Abbildung 14: Modellierung Gondel. Eigene Abbildung.

Die Gondel ist mit folgenden Werten befüllt:

Revit Parameter	Wert
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Gondel aus Stahlbauweise
Typenkommentare	Wartung alle 2 Jahre
Kosten	1.200.000€ (ca. 30% der Gesamtkosten)

Tabelle 3: Gondel LOI. Eigene Tabelle.

Modellierung Generator:

Der Generator der Windenergieanlage bildet das Herzstück der Energieumwandlung, welcher mechanische in elektrische Energie transformiert. Seine Konstruktion erfordert eine ausgefeilte technologische Umsetzung, um hohe Effizienz, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit zu gewährleisten. Durch innovative Technik ermöglicht der Generator eine effektive Umwandlung der Rotationsenergie in elektrischen Strom, wobei er sich durch seine Anpassungsfähigkeit an variable Lastbedingungen und seine Integrationsfähigkeit in das Gesamtsystem auszeichnet.

Im BIM-Modell wird der Generator ausschließlich durch seine äußere Hülle repräsentiert, welche symbolisch für seine Leistungsdaten und Effizienz steht. Durchmesser und Breite liegen bei 6,4m und 2m.

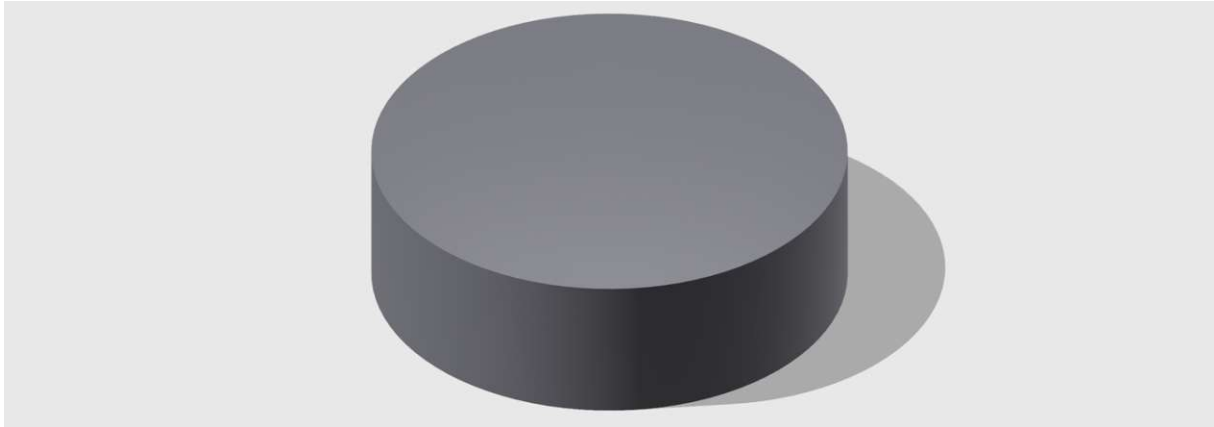


Abbildung 15: Modellierung Generator. Eigene Abbildung.

Der Generator ist wie folgt spezifiziert:

Revit Parameter	Wert
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Generator, Energieerzeugung
Typenkommentare	Wartung jedes Jahr
Baugruppenkennzeichen	6 MW
Kosten	600.000€ (ca. 15% der Gesamtkosten)

Tabelle 4: Generator LOI. Eigene Tabelle.

Modellierung Nabe:

Die Nabe, als zentrales Verbindungselement innerhalb der Windenergieanlage, spielt eine essenzielle Rolle bei der Kopplung der drei Rotoren an die Gondel und gewährleistet eine optimierte Übertragung der Rotationsenergie unmittelbar an den Generator. Durch ihre Konstruktion ist sie darauf ausgelegt, den variablen dynamischen Belastungen, verursacht durch Windkräfte, standzuhalten und ermöglicht zugleich eine akkurate Ausrichtung der Rotorblätter, was essenziell für die aerodynamische Effizienz des Systems ist.

Die Nabe wird mit einem Durchmesser von 5m und einer Höhe von 4m modelliert. Zusätzlich sind drei Anschlusspunkte mit einem Radius von 1,8m für die Rotorblätter integriert, die jeweils um 120 Grad versetzt angeordnet sind.

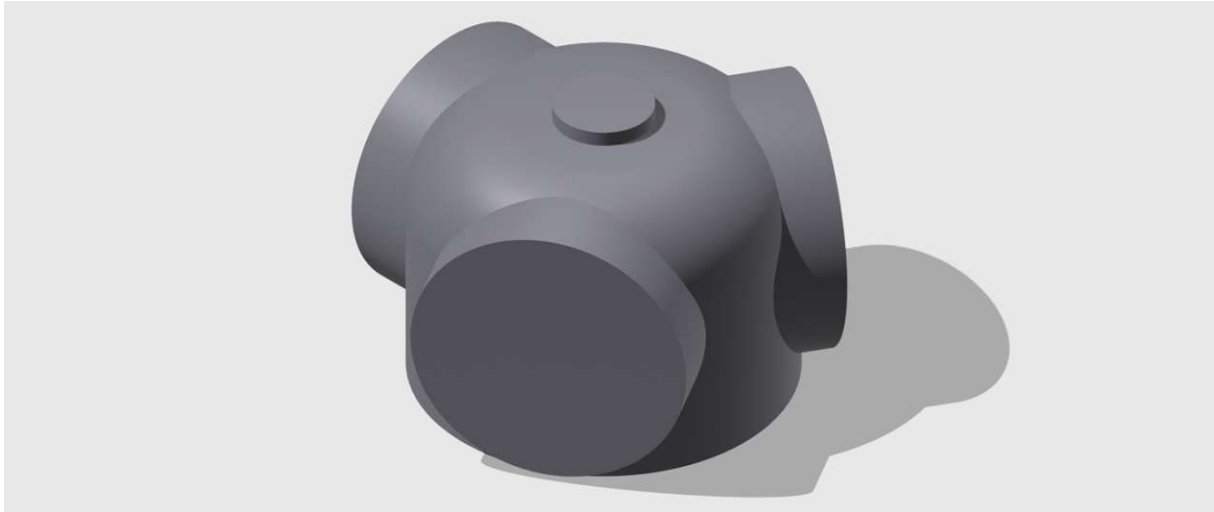


Abbildung 16: Modellierung Nabe. Eigene Abbildung.

Die folgenden Werte kennzeichnen die Nabe:

Revit Parameter	Wert
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Nabe in Stahlbauweise
Typenkommentare	Wartung jedes Jahr
Kosten	80.000€ (ca. 2% der Gesamtkosten)

Tabelle 5: Nabe LOI. Eigene Tabelle.

Modellierung Rotor:

Zuletzt bilden die drei Rotorblätter die primären Komponenten zur Energieerzeugung der Windenergieanlage, da sie die kinetische Energie des Windes in Rotationsbewegung transformieren. Die Konstruktion der Rotoren basiert auf komplexen aerodynamischen Prinzipien, um eine optimale Energieeffizienz zu erreichen. Im Kontext der exemplarischen BIM-Anlage ist die Aerodynamik der Flügel jedoch nicht von Bedeutung, da keine Windsimulationen erforderlich sind. Folglich ist die Modellierung der Rotorblätter in diesem Fall vereinfacht und nicht exakt zum realen Modell. Entscheidend ist hier lediglich die Länge mit 85m und somit der resultierende Rotationsdurchmesser mit incl. Nabe von 175m der Anlage, welche wesentliche Parameter wie Turbulenzellipse oder Schattenwurf für die GIS-Planung darstellen.



Abbildung 17: Modellierung Rotor. Eigene Abbildung.

Folgende Parameter sind im Rotorblatt enthalten:

Revit Parameter	Wert
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Rotor aus Stahlbauweise
Typenkommentare	Wartung jedes Jahr
Kosten	720.000€ (ca. 18% der Gesamtkosten)

Tabelle 6: Rotor LOI. Eigene Tabelle.

4.1.4 Zusammensetzung der Windenergieanlage

Nachdem diese sechs Komponenten individuell erstellt wurden, erfolgt die Integration und Zusammensetzung zu einer gesamten Anlage. Dieser Prozess führt zur Erstellung eines vereinfachten digitalen Zwillings, der in seinen Merkmalen dem Modell von Enercon E-175 EP5 ähnelt. Der erste Schritt dieses Integrationsprozesses umfasst die Erstellung einer neuen Projektoberfläche in Revit, auf der die Komponenten, beginnend mit dem Fundament, schrittweise zusammengefügt werden.

Als nächster Schritt wird bei der Implementierung der Windenergieanlage am Fuß des Fundaments ein georeferenzierter Punkt, der sogenannte *Basepoint*, zugewiesen. Dies ermöglicht die Georeferenzierung der gesamten Anlage, was für die präzise Platzierung und Integration in bestehende geografische Informationssysteme essenziell ist. Die Wahl des Dateiformats spielt eine entscheidende Rolle für die

Nutzung und den Austausch des Modells, insbesondere in Bezug auf die Interoperabilität und die Vermeidung von Datenverlusten. So wird der Export der kompletten Anlage das Dateiformat IFC 4.0 genutzt. Als offenes und plattformneutrales Dateiformat ermöglicht *Industry Foundation Classes* die effiziente Übertragung des Bauinformationsmodells zwischen den beiden verschiedenen Softwareanwendungen, ohne dabei Informationen zu verlieren.

Windenergieanlage und IFC 4.0

Bauteil	IFC 4.0 Typ
1. Fundament	IfcFootingType
2. Turm	IfcColumnType
3. Gondel	IfcElementAssemblyType
4. Generator	IfcElectricGeneratorType
5. Nabe	IfcMechanicalFastenerType
6. Rotorblätter	IfcElementAssemblyType

Tabelle 7: IFC 4.0 Schemata Typen der Bauteile. Eigene Tabelle.

Abschließend ergibt sich auf der BIM-Seite nun ein vollwertiges LOD 300 Modell, welches im IFC 4.0 Dateiformat zugeordnet ist. Zudem ist es mit dem Basepoint georeferenziert und mit einem Level of Information befüllt.



Abbildung 18: Komplettes BIM-Windenergieanlagenmodell. Eigene Abbildung.

Revit Parameter	Wert
1. Fundament	
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Fundament
Typenkommentare	Wartung alle 5 Jahre
Kosten	400.000€ (ca. 10% der Gesamtkosten)
2. Turm	
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Turm
Typenkommentare	Wartung alle 2 Jahre
Kosten	1.000.000€ (ca. 25% der Gesamtkosten)
3. Gondel	
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Gondel
Typenkommentare	Wartung alle 2 Jahre
Kosten	1.200.000€ (ca. 30% der Gesamtkosten)
4. Generator	
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Generator
Typenkommentare	Wartung jedes Jahr
Baugruppenkennzeichen	6 MW
Kosten	600.000€ (ca. 15% der Gesamtkosten)
5. Nabe	
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Nabe
Typenkommentare	Wartung jedes Jahr
Kosten	80.000€ (ca. 2% der Gesamtkosten)
6. Rotor	
Modell	Enercon E-175 EP5
Hersteller	Enercon
Beschreibung	Rotor
Typenkommentare	Wartung jedes Jahr
Kosten	720.000 (ca. 18% der Gesamtkosten)

Tabelle 8: Komplettes LOI der Windenergieanlage. Eigene Tabelle.

Die BIM-Anlage ist somit erfolgreich erstellt und kann nun für die Übertragung mittels Linkmodel für die Planungswebsoftware moGI Planner genutzt werden. Phase 1. Ist somit erfolgreich abgeschlossen.

4.2 Umsetzung und Visualisierung des Windparks

Die Errichtung des Windparks erfolgt mithilfe der Software moGI Planner (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2024). Die webbasierte Software ermöglicht eine präzise Planung von Windparks, unter Berücksichtigung relevanter Umweltdaten und Standortfaktoren. In diesem Beispiel wird ein kleineres Gelände ausgewählt, welches ausreichend Platz für zwei Windenergieanlagen bietet.

Die Errichtung des Windparks basiert auf praxisnahen Umweltdaten, um eine realistische Planung des Windparks zu ermöglichen und so eine solide Grundlage für die BIM-GIS-Integration zu schaffen. Die Daten werden vorher in QGIS verarbeitet und für die weitere Nutzung entsprechend aufbereitet. Das erstellte Datenmodell für den Windpark wird zudem detailliert aufgeschlüsselt und erläutert.

4.2.1 Standortauswahl

Für die Standortwahl wird exemplarisch Deutschland und das Bundesland Thüringen ausgewählt. Dieses stellt über das Geoportal Thüringen eine kostenlose Datenbasis bereit, die Kartenebenen zu Infrastrukturen, Umweltdaten und Flurkarten enthält und somit eine solide Grundlage für die Planung von Windparks bietet (Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft, 2024).

Das Demotestgelände befindet sich nordwestlich der Landeshauptstadt Erfurt, etwa 2 bis 4 km mittig zwischen den acht kleinen Dörfern Andisleben, Waschleben, Exleben, Witterda, Kleinfahner, Gierstädt, Großfahner und Dachwig (im Uhrzeigersinn aufgezählt).

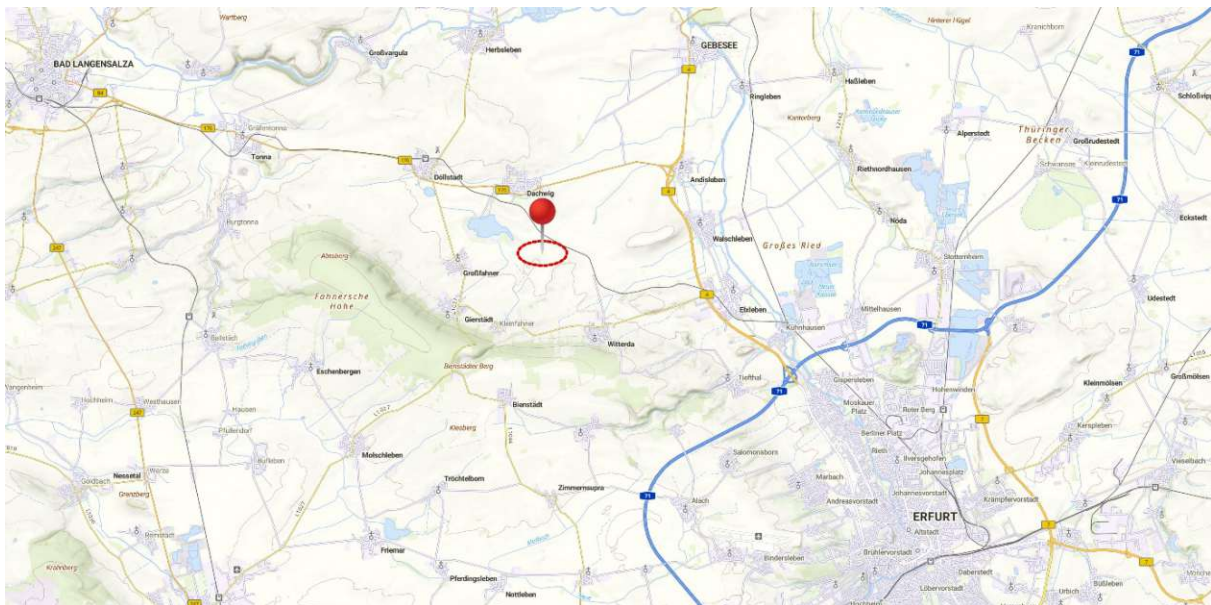


Abbildung 19: Standort Demogelände nach Basemap. Eigene Abbildung.

Die genau verortete Fläche ergibt sich aus einer wissenschaftlichen Weißflächenberechnung,² die tendenziell für die Windparkplanung geeignet ist.

4.2.2 Datenaufbereitung und Visualisierung

Die Aufbereitung der frei verfügbaren Opendata für das Projektgelände erfolgt über QGIS. Diese umfassen:

- Infrastrukturen (Straßen, Schienen, Parkflächen sowie Straßen Flächen)
- Gebäude
- Liegenschaften beziehungsweise Flurstückkarte
- Höhenlinien

Infrastrukturen, insbesondere Straßen und Wege, spielen eine entscheidende Rolle für die Erreichbarkeit und Anbindung des Geländes. Gebäudeinformationen sind unerlässlich, um sicherzustellen, dass ausreichender Abstand zur bestehenden Bebauung eingehalten wird. Höhenlinien sind von großer Bedeutung, da sie ein Verständnis der Geländetopografie vermitteln, indem sie die Beschaffenheit des Geländes, ob eher flach oder hügelig, verdeutlichen. Und Liegenschaftsdaten sind schließlich erforderlich, um eine fundierte Entscheidung bei der Standortwahl treffen zu können, da sie eine präzise Orientierung im Planungsgebiet ermöglichen.

Diese Daten werden mittels QGIS aufbereitet und anschließend über die Importfunktion in moGI integriert. Als Hintergrundkarte dient die Basemap_DE des BKG, (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2021).



Abbildung 20: Esri SHP-Dateien an der Projektstelle. Eigene Abbildung.

Für die weitere Planung werden zusätzlich über die ArcGIS-Dienste, welche mit moGI verknüpft und von der Websoftware bereitgestellt werden, Daten in die

² Die Weißflächenberechnung unterstützt die Standortsuche, indem sie ungenutzte Flächen identifiziert, die unter Berücksichtigung von Faktoren wie Naturschutz und Abstandsregelungen für Windparks relevant sind.

Projektlandschaft eingefügt. Darunter befinden sich zwei Dienste: die oben genannten Weißflächen sowie die Schutzgebiete von ganz Thüringen (Thiele et al., 2021; Thüringer Landesamt für Umwelt, 2024). Diese Schutzgebiete umfassen alle geschützten Flächen, die für den biologischen Erhalt wesentlich sind. Diese sind kategorisiert in:

- Baum-Naturdenkmale
- Vogelschutzgebiete
- Biosphärenreservate (BR) mit Zonierungen
- Feuchtgebiete internationaler Bedeutung (FIB)
- Flora-Fauna-Habitat-Gebiete (FFH)
- Landschaftsschutzgebiete (LSG)
- Nationale Naturmonumente (NNM)
- Nationalparke
- Schongebiete
- Schutzgebietszonen
- Naturparke

Die Schutzzonen stellen eine natürliche Begrenzung für das Projektgelände dar.

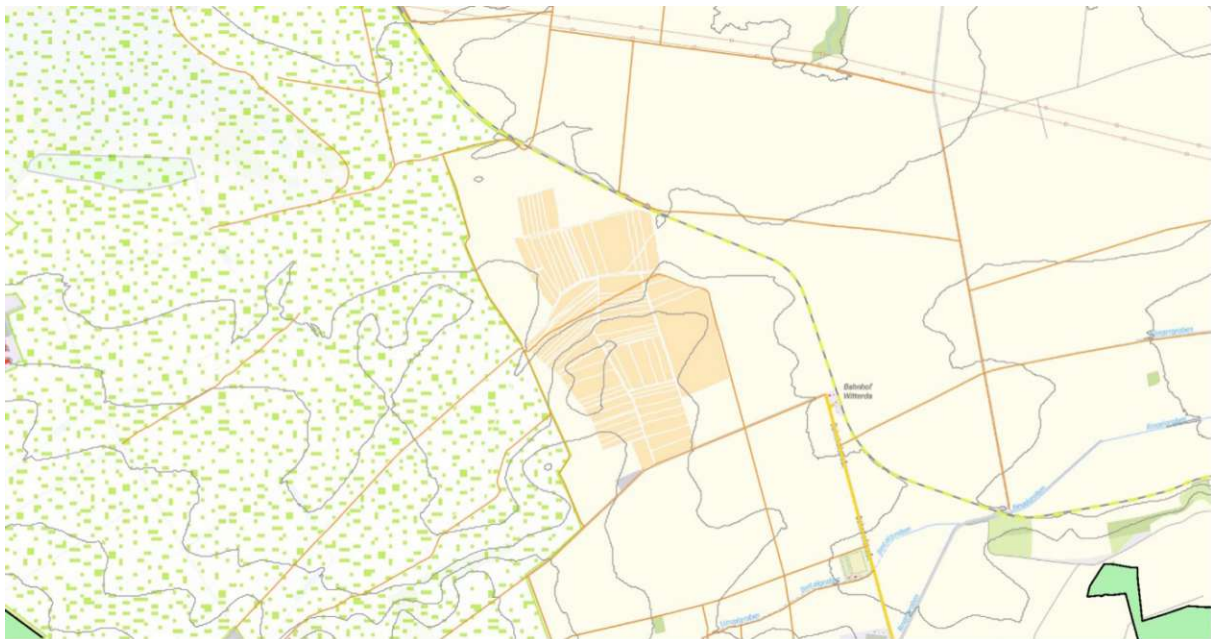


Abbildung 21: Schutzgebiete und Flurstücke im Projektgelände. Eigene Abbildung.

Um das geeignete Gelände zu finden, ist die Weißflächenberechnung unerlässlich, da sie die Grundlage für die Planung des Windparks und die Errichtung der Windenergieanlage bildet. Diese Berechnung stellt sicher, dass der Windpark sowohl ökologisch und sozial verträglich als auch technisch machbar ist. Sie basiert auf einer Analyse, die alle relevanten Parameter wie Abstände zur Bebauung, Schutzzonen, Infrastrukturen, Flächennutzungen und topografische Bedingungen im Gelände berücksichtigt. Und somit eine erste Tendenz gibt an welcher Stelle ein Windpark möglich ist (Thiele et al., 2021).



Abbildung 22: Wie Abbildung Schutzgebiete und Flurstücke im Projektgelände mit Weißflächen. Eigene Abbildung.

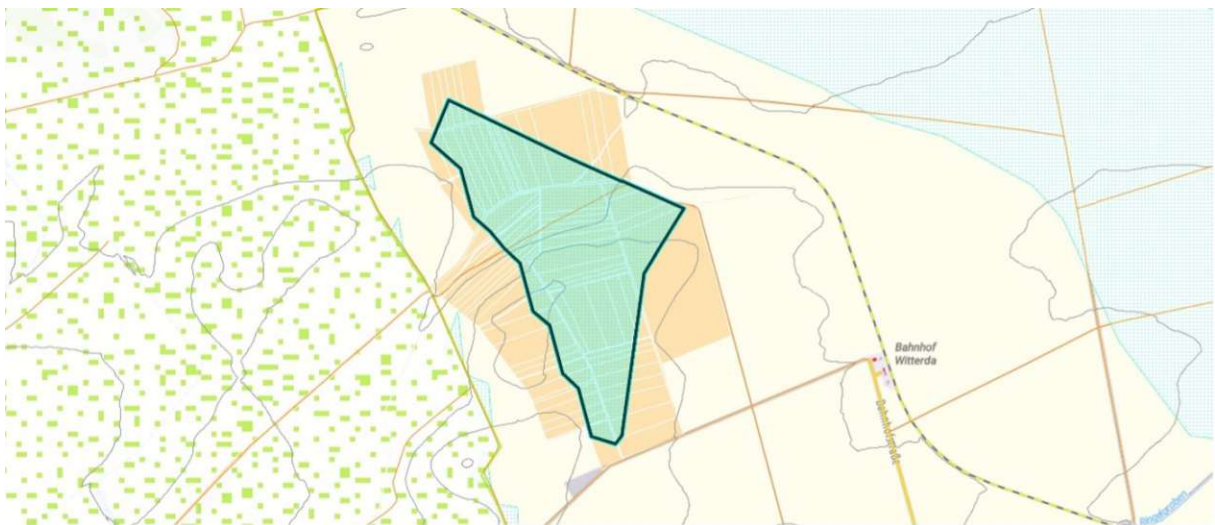


Abbildung 23: Ausgewählte Projektfläche anhand der Weißfläche. Eigene Abbildung.

Die eigen ausgewählte Projektfläche (in hellgrün dargestellt) verfügt über ausreichend Kapazität, um die Errichtung von ein bis drei Windenergieanlagen zu ermöglichen.

Da das Demoprojektgelände nun mit relevanten und praxisnahen Inhalten gefüllt ist, beginnt die Planung der Windenergieanlagen. Aufgrund der begrenzten Größe des Geländes, wie beabsichtigt, werden im Norden und Süden jeweils eine Windenergieanlage platziert, sodass es sich um einen Windpark und nicht nur um eine einzelne Anlage handelt. Die BIM-GIS-Integration wird sich im Rahmen dieser Masterarbeit jedoch nur auf eine einzelne Anlage konzentrieren. Für die Integration wird die im Süden gelegene Windkraftanlage genutzt.

4.2.3 Planen der Windenergieanlagen auf dem Projektgelände

Der Standort für die Errichtung der Windenergieanlage wird über die Attributtabelle des Windparks durch die Konfiguration eines neuen Datensatzes festgelegt. Hierbei kann eine Vorauswahl hinsichtlich der Anlage getroffen werden.

← Windenergieanlage: WEA01

^ Pflichtfelder

Name *
WEA01

Anlagentyp *
V-112, 3.3, NH 94

^ Optionale Felder

Fundamenterhöhung

Beschreibung

Fledermausabschaltung
☒ Ja ☐ Nein ☐ Unbekannt

Luftfahrtsabschaltung ☒ Ja ☐ Nein ☐ Unbekannt

Avifaunaabschaltung ☒ Ja ☐ Nein ☐ Unbekannt

Abbildung 24: Auswahlmöglichkeiten in moGI Planner für eine WEA. Eigene Abbildung.

Der selbst gewählte Name der Anlage lautet *WEA01*, welcher für Windenergieanlage 1 steht. Als Anlagentyp wurde die *V-112, 3.3, NH 94* des Herstellers Vestas ausgewählt, da die Anlage *E175 EP5* von Enercon noch nicht in der Oberfläche des moGI Planner integriert ist.

Unter den optionalen Feldern können zusätzliche Funktionen ausgewählt werden, die die Anlage unterstützt, wie die Fledermausabschaltung, die Luftfahrtsabschaltung und die Avifaunaabschaltung, bei der die Anlage temporär abgeschaltet wird, um Kollisionen von Vögeln und Fledermäusen zu verhindern. Es fehlt jedoch die Auswahlmöglichkeit für die Schattenabschaltung, obwohl die Anlage auch über diese Funktion verfügt.



Abbildung 25: Geometrien in moGI Planner für eine WEA. Eigene Abbildung.

Um den Standort der beiden Windenergieanlagen festzulegen, wird eine Position auf dem Projektgelände mittels der Funktion *WEA-Position* willkürlich im Norden und Süden gesetzt.

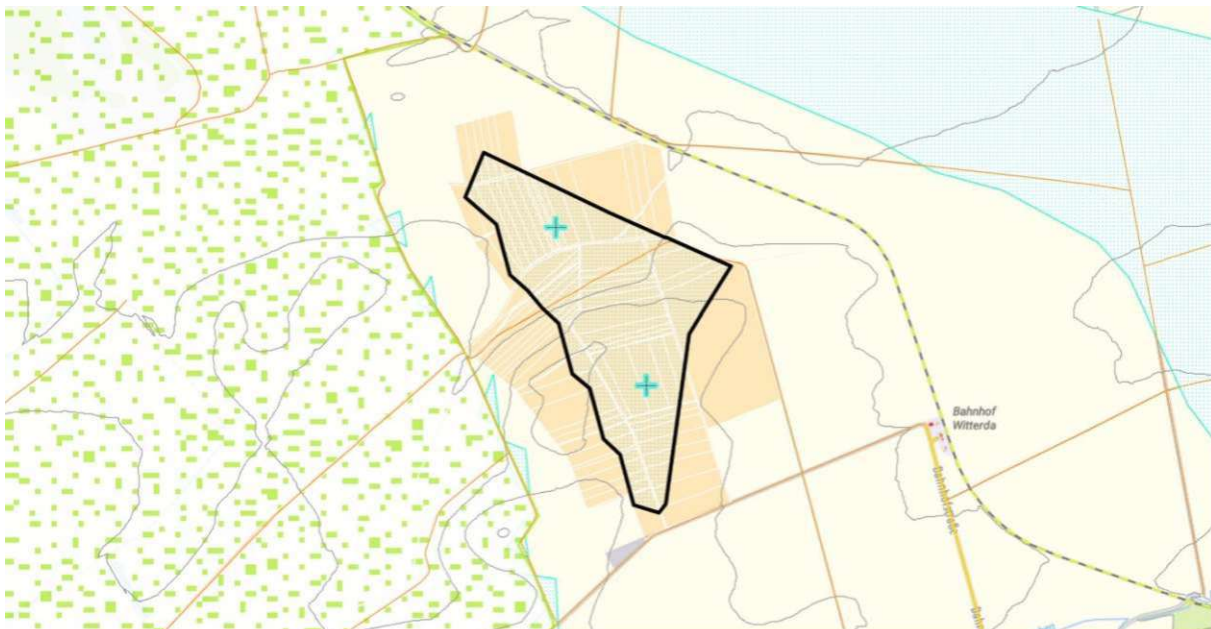


Abbildung 26: Gesetzte Anlagenstandorte im Projektgelände. Eigene Abbildung.

Die weiteren Geometrien sind allesamt Geometrien, die in direkter Verbindung mit der WKA stehen. Diese Geometrien sind von entscheidender Bedeutung für die Planung

und den effizienten Betrieb der Anlage. Besonders wichtig und direkt über die Eigenschaften der Anlage berechenbar sind die Rotorüberstreichfläche, die Abstandsfläche zu anderen Anlagen und die Turbulenzellipse. Die Rotorüberstreichfläche bezieht sich auf die Fläche, die von der Anlage mit ihren Rotorblättern überstrichen wird. Sie ist somit die Fläche, die die WEA unmittelbar zur Energiegewinnung nutzen kann. Die Berechnung dieser Fläche erfolgt nach der folgenden Formel (Burton et al., 2011; Carriveau, 2011; Manwell et al., 2010):

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

- A : Rotorüberstreichfläche
- D : Durchmesser Rotor

Um Energieverluste zu vermeiden und die Effizienz eines Windparks zu maximieren, ist es wichtig, dass die WEA einen ausreichenden Abstand zueinander haben. Diese Abstandsfläche stellt sicher, dass keine gegenseitige energetischen Beeinflussung entstehen, welche die Leistung der Anlagen mindern könnte. Der Mindestabstand zwischen den Windenergieanlagen wird durch folgende Formel berechnet (Burton et al., 2011; Carriveau, 2011; Manwell et al., 2010):

$$A = 0,4 \times \left(NH + \left(\frac{D}{2}\right) \right) + e_{\text{mid}}$$

- A : Abstandsfläche
- $0,4$: gesetzter Faktor nach Bundesland Thüringen
- NH : Nabenhöhe der Windenergieanlage
- D : Durchmesser Rotor
- e_{mid} : zusätzlicher Sicherheitsabstand, Situationsabhängig

Abschließend bildet die Turbulenzellipse die größte Fläche und beschreibt den Bereich, in dem Turbulenzen durch die Anlage auftreten können. Diese Turbulenzen können die Lebensdauer und Leistung nachfolgender Anlagen negativ beeinflussen. Die Berechnung der Turbulenzellipse erfolgt anhand zweier Abstände: dem Abstand in Windrichtung und dem Abstand quer zur Windrichtung (Burton et al., 2011; Carriveau, 2011; Manwell et al., 2010).

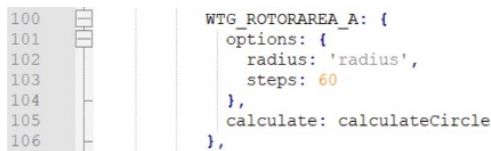
$$L_{\text{wind}} = 5 \times \left(\frac{D}{2}\right)$$

$$L_{\text{quer}} = 3 \times \left(\frac{D}{2}\right)$$

- L_{wind} : Abstand zur Windrichtung
- L_{quer} : Abstand quer zur Windrichtung
- D : Durchmesser Rotor

Diese drei Formeln sind in einem sogenannten Runner-Skript implementiert, einem Skript, das für die automatisierte Ausführung von Berechnungen sorgt, wodurch die relevanten Geometrien automatisch berechnet werden.

Dazu die folgenden Codeabschnitte der Berechnungen:

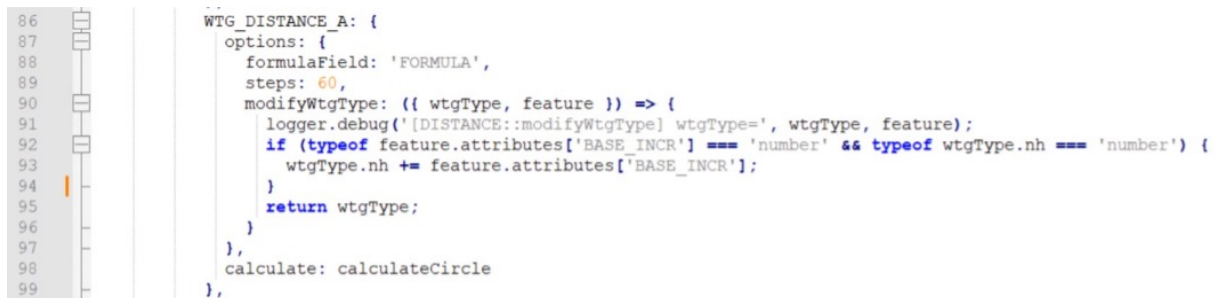


```

100 WTG_ROTORAREA_A: {
101   options: {
102     radius: 'radius',
103     steps: 60
104   },
105   calculate: calculateCircle
106 },

```

Abbildung 27: M.O.S.S. Code Abschnitte, Berechnung Rotorüberstreiffläche. Eigene Abbildung.

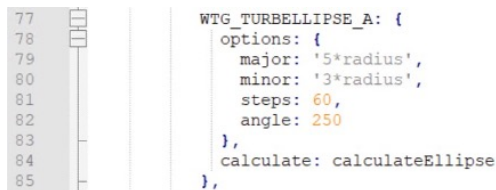


```

86 WTG_DISTANCE_A: {
87   options: {
88     formulaField: 'FORMULA',
89     steps: 60,
90     modifyWtgType: ((wtgType, feature) => {
91       logger.debug(['DISTANCE::modifyWtgType] wtgType=', wtgType, feature);
92       if (typeof feature.attributes['BASE_INCR'] === 'number' && typeof wtgType.nh === 'number') {
93         wtgType.nh += feature.attributes['BASE_INCR'];
94       }
95       return wtgType;
96     })
97   },
98   calculate: calculateCircle
99 },

```

Abbildung 28: M.O.S.S. Code Abschnitte, Berechnung Abstandsfläche. Eigene Abbildung.



```

77 WTG_TURBELLIPSE_A: {
78   options: {
79     major: '5*radius',
80     minor: '3*radius',
81     steps: 60,
82     angle: 250
83   },
84   calculate: calculateEllipse
85 },

```

Abbildung 29: M.O.S.S. Code Abschnitte, Berechnung Turbulenzellipse. Eigene Abbildung.

Abhängig vom ausgewählten Windenergieanlagentyp werden die Rotorüberstreiffläche, die Abstandsflächen sowie die Turbulenzellipse in der Planungsfläche automatisch generiert. Basierend auf der derzeit ausgewählten Anlage von Vestas, Typ V-112, 3.3, NH 94 mit Fundament von 22m Durchmesser, ergibt sich somit folgendes Ergebnis.

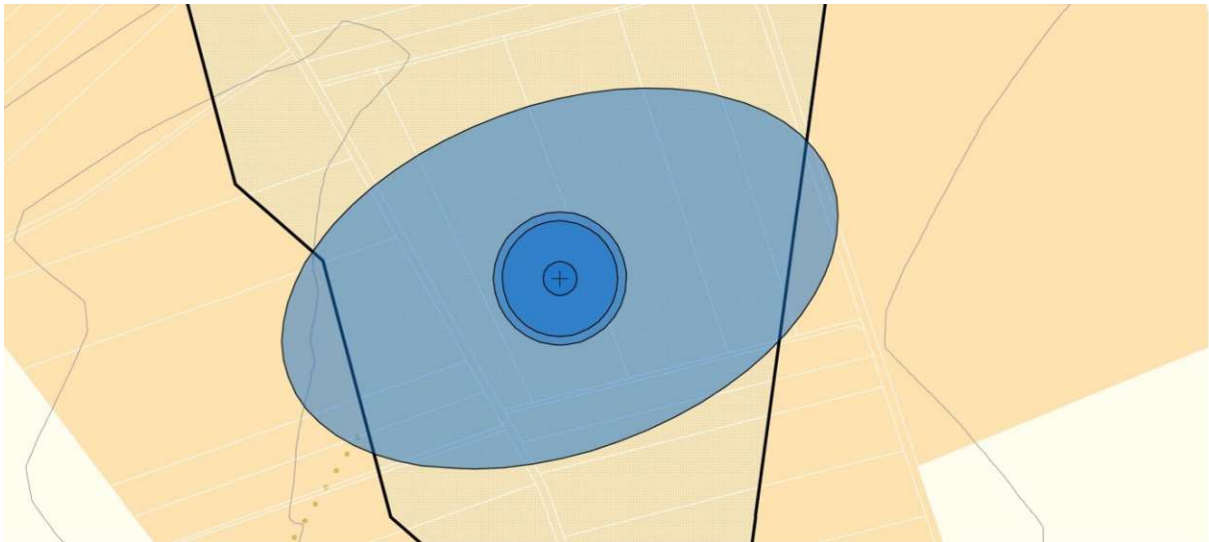


Abbildung 30: Rotorüberstreichfläche, Abstandsfläche und Turbulenzellipse im Projektgelände. Eigene Abbildung.

Für das spätere Ziel der Integration des BIM-Modells müssen daher der *Anlagenkatalog*, die *Optionalen Felder* sowie die *Geometrien* für die Anlage E175 EP5 in Phase 3 angepasst bzw. erweitert werden. Diese Anpassungen sind notwendig, um eine nahtlose Integration des BIM-Modells zu ermöglichen.

Zusätzlich wird eine Zuwegung zu den beiden Windenergieanlagen geschaffen. Ein bereits vorhandener Weg, der quer und mittig durch das Demogelände verläuft, eignet sich ideal für die Zuwegung zu den Windenergieanlagen. Parallel zu diesem Weg werden die Stromkabel verlegt. Ein Kabel dient der Verbindung der beiden Anlagen, während ein weiteres Kabel das Projektgelände in nördlicher Richtung verlässt und sich mit einer etwa 1 km entfernten Stromtrasse verbindet.

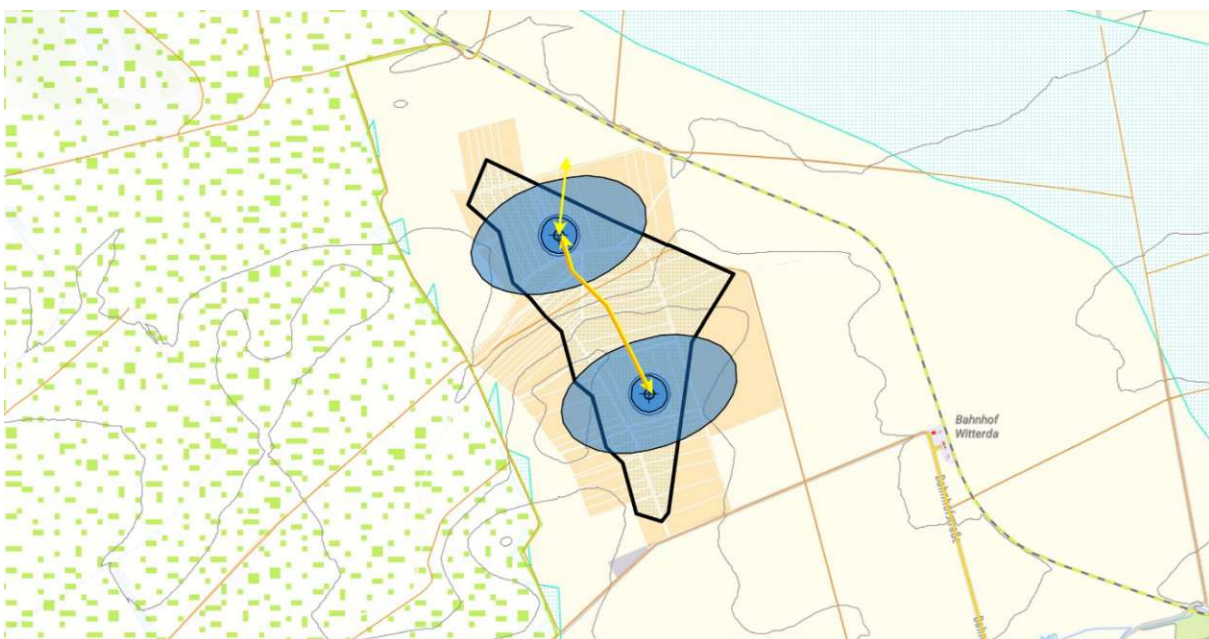


Abbildung 31: Finaler Demo Windpark im Projektgelände, Eigene Abbildung.

4.2.4 Aufbau Datenmodell

In die GIS-Seite eingebunden und in den moGI Planner integriert sind nun eine Vielzahl von Layern, die gemeinsam den fertigen Windpark und das dazugehörige Datenmodell darstellen. Besonderes Augenmerk liegt auf dem Datenmodell des Windparks, welches so angepasst werden muss, dass eine Verlinkung möglich wird.

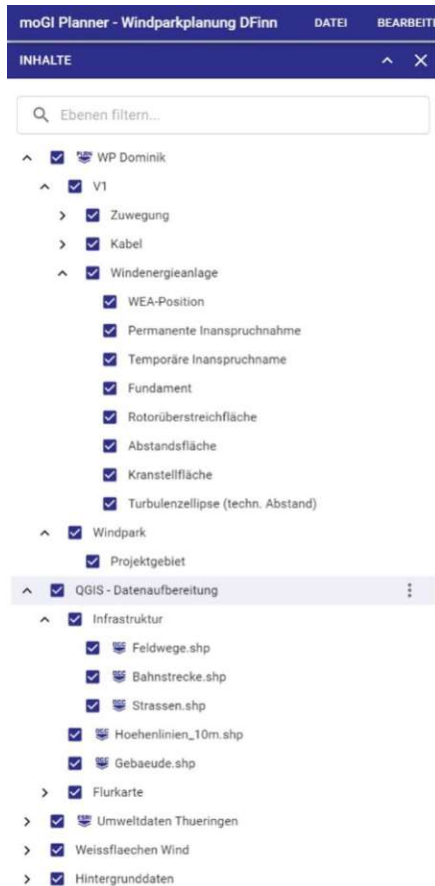


Abbildung 32: Layeraufbau des fertigen Windparks in moGI Planner. Eigene Abbildung.

Somit ist der nun finalisierte und fertiggestellte Windpark erfolgreich erstellt und kann als Zielort für die Übertragung genutzt werden. Phase zwei gilt somit als abgeschlossen.

4.3 Verlinkung mittels Linkmodell

In den folgenden Abschnitten wird detailliert beschrieben, wie die Planungsoberfläche von moGI Planner erweitert werden muss, um die Integration der BIM-Windenergieanlage zu ermöglichen. Dabei liegt der Fokus auf der Einbindung des LOI und der geometrischen Darstellung des LOD an geeigneten Stellen. Die methodischen Schritte und technischen Anpassungen, die hierfür erforderlich sind, werden systematisch erläutert, um eine nahtlose und effiziente Verlinkung der beiden zu ermöglichen.

4.3.1 Erweiterung der Planungsoberfläche im moGI Planner

Um die Integration der BIM-Windenergieanlage aus Phase 1 in die WebGIS-Plattform moGI Planner und dem Windpark aus Phase 2 zu ermöglichen, ist eine Anpassung und Erweiterung der Planungsoberfläche notwendig. Denn aktuell bietet moGI keine Möglichkeiten für die Aufnahme eines BIM Modells und somit keine Möglichkeit für das Darstellen einer Anlage und deren Informationen.

Dieser Abschnitt beschreibt die methodischen Schritte und technischen Anpassungen, die erforderlich sind, um die Übertragung des BIM-Modells erfolgreich umzusetzen. Dabei liegt an erster Stelle der Fokus auf dem Level of Information (LOI) und an zweiter Stelle auf der geometrischen Darstellung des Level of Detail (LOD).

4.3.1.1 Katalogerweiterung der Windenergieanlagenauswahl

An erster Stelle muss der Anlagenkatalog wie in Kapitel: 4.2.3. *Planen der Windenergieanlagen auf dem Projektgelände* in moGI erweitert werden, damit die Anlage E175 EP5 überhaupt als Auswahlmöglichkeit für die Windparkplanung besteht. Diese Erweiterung muss in der Administratorebene in moGI Planner durchgeführt werden. Dazu muss der aktuelle Auswahlkatalog mit der Enercon Anlage erweitert werden.

← Windenergieanlage: WEA02

^ Pflichtfelder

Name *
WEA02

Anlagentyp *
V-112, 3.3, NH 94

V-112, 3.3, NH 94

V-112, 3.3, NH 119

V-112, 3.3, NH 140

V-112, 3.45, NH 94

Abbildung 33: Anlagenkatalogauswahl in moGI Planner. Eigene Abbildung.

Der eingepflegte Katalog "KAT_WTG_TYPE" bildet die Grundlage für die Verwaltung von Windenergieanlagen innerhalb des Web-GIS, für die Windparkplanung verwendet wird. Dieser Katalog ergibt sich aus einer Vielzahl von Attributen, die dazu dienen, technische Spezifikationen und wichtige Kennwerte der Windenergieanlagen präzise zu erfassen.

Katalog ⓘ

Name: KAT_WTG_TYPE

Beschreibung: Anlagentypen

Datenfelder: Neues Feld Felder löschen Feld bearbeiten

Änderungen speichern

Attribute eintragen >

Feldname	Alias	Feldtyp	Länge	Editable	Nullable
ID	Id	esriFieldTypeOID		false	false
DCKEY	Kürzel	esriFieldTypeString	255	true	false
DCTXT	Beschreibung	esriFieldTypeString	255	true	false
SUPPLIER	Hersteller	esriFieldTypeString	50	true	true
TYPE	Typ	esriFieldTypeString	25	true	true
HUB_HEIGHT	Nabenhöhe	esriFieldTypeDouble		true	true
TOWERTYPE	Turntyp	esriFieldTypeString	10	true	true
WTG_FILE	Wtg_file	esriFieldTypeString	255	true	true
ROTOR_RADIUS	Rotorradius	esriFieldTypeDouble		true	true
ECC_MID	Exzentrizität auf Höhe Rotorachse	esriFieldTypeDouble		true	true
ECC_TOP	Exzentrizität an der höchsten Blattposition	esriFieldTypeDouble		true	true
FND_RAD	Fundamentradius	esriFieldTypeDouble		true	true
ROTOR_AREA_RAD	Radius Rotorüberflug / Rotorüberstreichfläche	esriFieldTypeDouble		true	true

Abbildung 34: Attribute des Windanlagenkatalogs, Eigene Abbildung.

Die dreizehn ausgewählten Attribute ermöglichen die Erfassung der Enercon E175 EP5, welche noch mit den entsprechenden Daten neu angelegt werden muss, um sie in die Windparkplanung und den dazugehörigen Windpark zu integrieren. Hierfür müssen lediglich die Informationen gemäß der Abbildung 34: *Attribute des Windanlagenkatalogs, Eigene Abbildung*. vollständig ausgefüllt werden.

Id	Kürzel	Beschreibung	Hersteller	Typ	Nabenhöhe	Turntyp	Wtg_file	Rotorradius	Exzentrizität auf Höhe Rotorachse	Exzentrizität an der höchsten Blattposition	Fundamentradius	Radius Rotorüberflug / Rotorüberstreicht
73	SWT130-3600-NH1350	SWT-130, 3,6, NH 135	Siemens	SWT-130, 3,6	135	ST	\\WindPro_PATH\Sie SWT-3.6-130 3600 130.0 IOL.wtg	65	5.449999809265137	3.660000085830688	11.5	0
74	SWT130-3600-NH1650	SWT-130, 3,6, NH 165	Siemens	SWT-130, 3,6	165	HT	\\WindPro_PATH\Sie SWT-3.6-130 3600 130.0 IOL.wtg	65	5.449999809265137	3.660000085830688	11.5	0
75	SWT142-3150-NH1090	SWT-142, 3,15, NH 109	Siemens	SWT-142, 3,15	109	ST	\\WindPro_PATH\Sie SWT-3.15-142 3150 142.0 IOL.wtg	71	5.449999809265137	3.109999895095825	11.5	0
76	SWT142-3150-NH1290	SWT-142, 3,15, NH 129	Siemens	SWT-142, 3,15	129	ST	\\WindPro_PATH\Sie SWT-3.15-142 3150 142.0 IOL.wtg	71	5.449999809265137	3.109999895095825	11.5	0
77	SWT142-3150-NH1650	SWT-142, 3,15, NH 165	Siemens	SWT-142, 3,15	165	HT	\\WindPro_PATH\Sie SWT-3.15-142 3150 142.0 IOL.wtg	71	5.449999809265137	3.109999895095825	11.5	0
78	E175-6000-NH112	E-175, 6,0, NH 112	Enercon	E-175	112	ST	\\WindPro_PATH\E-175 6000 175.0 IL.wtg	87.5	6	3.400000095367431	10	0

Abbildung 35: Vervollständigter Auswahlkatalog. Eigene Abbildung.

Nachdem der Auswahlkatalog mit der Enercon E175 EP5 Windenergieanlage integriert und angepasst wurde, kann diese erfolgreich in den Demowindpark integriert werden. Da die Anlage nun über neue Spezifikationen im Gegensatz zur vorherigen Vestas-Anlage verfügt, ändern sich zwangsläufig auch die Berechnungen der drei Flächen: Rotorüberstreichtfläche, Abstandsfläche und Turbulenzellipse.

Das Runner-Skript aus Kapitel: 4.2.3 *Planen der Windenergieanlagen auf dem Projektgelände*, greift durch einen implementierten Injektor, den *catalogReferenceInjector*, auf diese neu eingepflegten Katalogdaten zu und kann somit die erforderlichen Berechnungen durchführen.

```

38
39
40
41
42
43
44
45
inject: [
{
  as: 'wtgType',
  from: 'feature',
  using: catalogReferenceInjector({
    catalog: 'KAT_WTG_TYPE',
    referencedField: 'WTGTYPE'
  })
}]

```

Abbildung 36: M.O.S.S. Code Abschnitt, Injektor für WEA-Katalog. Eigene Abbildung.

Durch das Auslesen der Informationen und Parameter der Nabenhöhe (NH), welche jetzt 112 m beträgt und des Rotorradius von 87,5 m werden die Flächen neu und passend zur Windenergieanlage generiert. Die Anlage wird im Süden des Projektgeländes ausgetauscht, wodurch sich folgende Ergebnisse im Demowindpark ergeben:



Abbildung 37: Finaler Windpark mit Flächenberechnung der E 175 EP5. Eigene Abbildung.

Die untere Anlage im Süden des Projektgeländes zeigt nun deutlich gewachsene Rotorüberstreichfläche, Abstandsfläche und Turbulenzellipse, welche durch die neuen Spezifikationen der Enercon E175 EP5 bedingt sind.

4.3.1.2 Anpassung der Attribute einer Windenergieanlage – LOI

Als nächster signifikanter Schritt muss die Attributtabelle im aktuellen Datenmodell der „Windenergieanlage“ erweitert werden, um Informationen aus Tabelle 8: *Komplettes LOI der Windenergieanlage* aufzunehmen und darzustellen.

Die derzeitige Attributtabelle umfasst die folgenden acht Spalten, wobei jede Spalte ein Attribut mit wesentlichen Informationen über die Windenergieanlage abbildet. Derzeit können nur im Feld *Beschreibungen* zusätzliche Informationen in Textform aufgenommen werden. Dieses Textfeld ist jedoch auf 255 Zeichen begrenzt und dient daher lediglich zur Aufnahme kurzer Zusatzinformationen.

WP DOMINIK - V1 - WINDENERGIEANLAGE							
SPALTEN FILTER RÄUMLICHER FILTER ZEILENHÖHE WORKFLOWS AUSWAHL BEARBEITEN BEGINNEN EINSTELLUNGEN							
☐ Name	Anlagentyp	Fundamentenhöhung	Beschreibung	Fledermausabschaltung	Luftfahrtabschaltung	Anflugsabschaltung	Windpark
☐ WEA01	E-175, 6.0, NH 112			✓	✓	✓	1
☐ WEA02	V-112, 3.3, NH 94			✓	✓	✓	1

Sortierte Spalten: Beschreibung

Datensätze geladen: 2 / 2

Abbildung 38: Attributtabelle der Windenergieanlagen in moGI Planner. Eigene Abbildung.

Um eine umfassendere und detailliertere Datenerfassung zu ermöglichen, ist es erforderlich, die Attributtabelle zu erweitern. Dies stellt sicher, dass alle relevanten Informationen aus Tabelle 8: *Komplettes LOI der Windenergieanlage* integriert und adäquat dargestellt werden können.

Da es jedoch nicht das Ziel ist, alle Informationen aus der BIM-WEA eins zu eins in moGI zu überführen, muss zusätzlich eine Verlinkungslogik eingeführt werden, um die Inhalte planungsgerecht und sinnvoll nutzen zu können.

Des Weiteren werden nicht alle Daten aus dem LOI der BIM-WEA benötigt und müssen daher auch nicht in der Oberfläche dargestellt werden. Dies betrifft insbesondere die beiden Kategorien *Modell* und *Hersteller*. Das Modell und der Hersteller ergeben sich aus dem aktuellen Auswahlkatalog. Durch die Auswahl der Anlage sind diese Informationen automatisch gegeben und werden in der Attributtabelle unter *Anlagentyp* dargestellt.

Für die jeweiligen Bauteilgruppen müssen nun die Felder *Beschreibung*, *Typenkommentare*, *Baugruppenkennzeichen* und *Kosten* in die Attributtabelle integriert werden. Die *Beschreibungen* werden ebenso nur bedingt übertragen, da hierfür neue Spaltenköpfe in der Attributtabelle erzeugt werden welche dann die Daten über die Bauteile beinhalten.

Im Folgenden wird das hierfür relevante Schema ausführlich dargestellt:

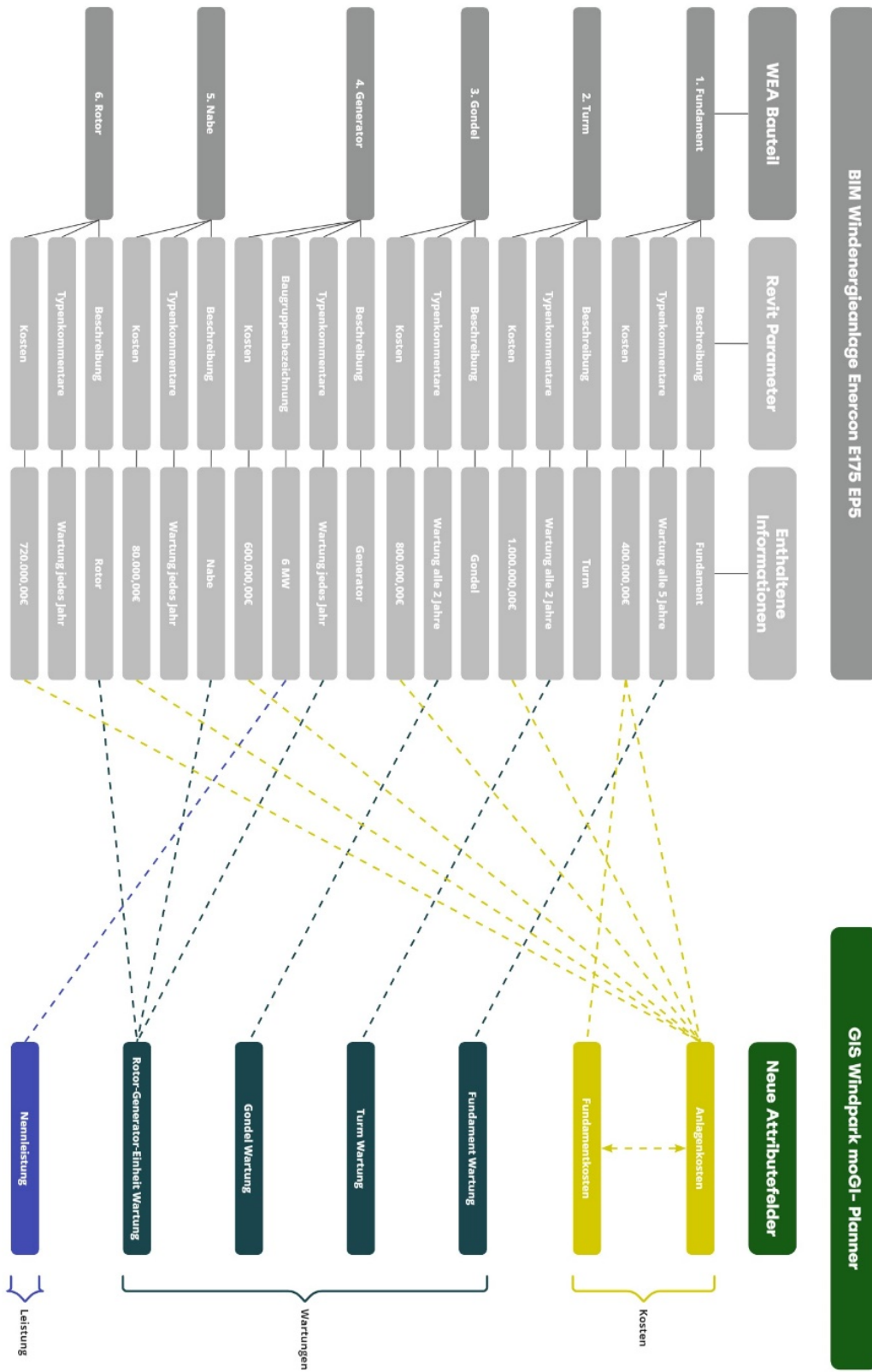


Abbildung 39: Integration und Clustering von BIM-Informationen für moGI Planner. Eigene Abbildung.

Wie bereits erwähnt, werden die Informationen von der BIM-Seite nicht eins zu eins übertragen, sondern sinnvoll geclustert. Insgesamt ergeben sich aus den neunzehn Informationsblöcken sieben zusammengefasste Blöcke.

Auf der GIS-Seite bilden sich dadurch drei Überkategorien:

- A. **Kosten** (gelb dargestellt) mit zwei Attributen:
Anlagenkosten und Fundamentkosten.
- B. **Wartungen** (schwarz dargestellt) mit vier Attributen:
Fundament Wartung, Turm Wartung, Gondel Wartung und Rotor-Generator-Einheit Wartung.
- C. **Leistung** (blau dargestellt) mit einem Attribut:
Nennleistung.

Diese Struktur ermöglicht eine effizientere und planungsgerechte Nutzung der Daten im moGI Planner. Die BIM-Informationsblöcke werden jeweils den neuen Attributfeldern zugeordnet, wodurch eine konsolidierte und übersichtliche Datenbasis geschaffen wird.

Erläuterung der neuen Attributfelder:

1) Anlagekosten:

Die Anlagenkosten ergeben sich aus den sechs Bauteilkomponenten und werden summiert. Dadurch können in moGI später die Kosten pro Anlage dargestellt werden.

2) Fundamentkosten:

Die einzigen variablen Kosten der Anlage entstehen im Fundament, da je nach gewähltem Standort das Fundament unterschiedlich dimensioniert werden muss. Dies beeinflusst das Volumen und somit die Kosten. Die restlichen fünf Anlagenteile bleiben davon unberührt. Da durch die Windparkplanung in moGI direkter Einfluss auf die Standortwahl und somit auf das Fundament entsteht, werden die Fundamentkosten zusätzlich abgebildet.

3) Fundamentwartung:

Die Wartungsintervalle der Fundamentwartung werden in moGI dokumentiert und berücksichtigt. Aufgrund der langen Wartungsintervalle dieses Bauteils erfolgt hier eine 1-zu-1 Übertragung der Daten aus der BIM-Windenergieanlage.

4) Turmwartung:

Die Wartungsintervalle der Turmwartung werden ebenfalls eins zu eins in moGI übertragen. Da der Turm als einzelnes, großes Bauteil unabhängig von den

anderen Komponenten betrachtet und gewartet werden sollte, ist eine separate und direkte Übertragung der Wartungsdaten aus der BIM-Windenergieanlage notwendig.

5) Gondelwartung:

Die Wartung der Gondel wird ebenso wie die Turmwartung eins zu eins in moGI übertragen. Die Gondel, als zentrale Einheit der Windenergieanlage, beherbergt wesentliche Komponenten und kritische Systeme. Da die Gondel als einzelnes, eigenständiges Bauteil betrachtet und gewartet werden muss, ist eine direkte und detaillierte Übertragung der Wartungsintervalle und -Anforderungen aus der BIM-Windenergieanlage notwendig.

6) Rotor-Generator Einheit Wartung:

Die Rotor-Generator-Einheit umfasst den Rotor, den Generator sowie das Verbindungsstück, die Nabe. Da es sich hierbei um bewegliche Teile handelt, die aktiv im Betrieb stehen und die eigentliche Energie erzeugen, ist eine regelmäßige Wartung besonders wichtig. Diese Wartung erfolgt in kurzen und gleichen Abständen. Daher werden diese drei Bauteile in ein gemeinsames Wartungsattribut zusammengefasst und in moGI dokumentiert.

7) Nennleistung:

Die Nennleistung der Windenergieanlage, die aus der Bauteilgruppe des Generators stammt, wird in moGI als eigenständiges Attribut dargestellt. Diese Kennzahl gibt die maximale Leistung an, die die Anlage unter optimalen Bedingungen erzeugen kann.

Um die sieben neuen Attribute in moGI Planner einzupflegen, ist eine Anpassung der Oberfläche in der Attributtabelle der Windenergieanlage erforderlich. Dazu muss die Oberfläche der Attributtabelle, ähnlich wie bei der Katalogauswahl in der Administratoroberfläche, erweitert werden.

2. Datenfelder Neues Feld Felder löschen Feld bearbeiten

Feldname	Alias	Feldtyp	Katalog	Objektklasse	Länge	Sichtbar	Editabel	Nullable	Formatierung	Defaultwert	Constraints
OBJIDRF	Windpark	emsFieldTypeObjectClass		WP		true	false	false			
AVIFNASDN	Avifaunaabschaltung	emsFieldTypeBoolean				true	true	true			1 definiert
AVIATSDN	Luftfahrtaabschaltung	emsFieldTypeBoolean				true	true	true			1 definiert
BATSDN	Fledermausabschaltung	emsFieldTypeBoolean				true	true	true			1 definiert
DESCRIPT	Beschreibung	emsFieldTypeString			255	true	true	true			
BASEINCR	Fundamentenerhöhung	emsFieldTypeDouble				true	true	true			
WTGTYPE	Anlagentyp	emsFieldTypeCatalog	KAT_WTG_TYPE			true	true	false			
WTGNAME	Name	emsFieldTypeLabel			50	true	true	false			

Abbildung 40: Attributtabelle der WEA aus der Administratoroberfläche. Eigene Abbildung.

Die Attributtabelle zeigt eine strukturierte Übersicht der Datenfelder. Jedes Datenfeld ist durch mehrere Spalten gekennzeichnet, die spezifische Eigenschaften und Einstellungen für das jeweilige Attribut festlegen.

Der Feldname und Alias geben den internen und benutzerfreundlichen Namen des Datenfeldes an, während der Feldtyp den Datentyp bestimmt, wie beispielsweise *String*, *Double* oder *ObjectClass*.

Die Spalten Katalog und Objektklasse zeigen die Zuordnung zu einem spezifischen Datenkatalog und die relevante Objektklasse, was für die Strukturierung der Daten essenziell ist. Die Länge gibt die maximale Anzahl der Zeichen an, die in Textfeldern gespeichert werden können.

Die Spalten *Sichtbar*, *Editierbar* und *Nullable* bestimmen, ob das Feld in der Benutzeroberfläche sichtbar ist, bearbeitet werden kann und ob leere Werte erlaubt sind. Weitere Spalten wie *Formatierung*, *Defaultwert* und *Constraints* legen die Darstellungsweise der Daten, den Standardwert und etwaige Einschränkungen oder Bedingungen für das Feld fest.

2. Datenfelder Neues Feld Felder löschen Feld bearbeiten

Feldname	Alias	Feldtyp	Katalog	Objektklasse	Länge	Sichtbar	Editierbar	Nullable	Formatierung	Defaultwert	Constraints
BATSDN	Fledermausabschaltung	esriFieldTypeBoolean				true	true	true			1 definiert
AVIATSDN	Luftfahrabschaltung	esriFieldTypeBoolean				true	true	true			1 definiert
AVIFNASDN	Avifaunaabschaltung	esriFieldTypeBoolean				true	true	true			1 definiert
OBJIDRF	Windpark	esriFieldTypeObjectClass		WP		true	false	false			
BASECOST	Fundamentkosten €	esriFieldTypeDouble				true	true	true			0 definiert
SHADOWSDN	Schattenabschaltung	esriFieldTypeBoolean				true	true	false		true	1 definiert
BASEMAINTENANCE	Fundament Wartung	esriFieldTypeString			255	true	true	true			0 definiert
TOWERMAINTENANCE	Turm Wartung	esriFieldTypeString			255	true	true	true			0 definiert
GONDOLAMAINTEANANC	Gondel Wartung	esriFieldTypeString			255	true	true	true			0 definiert
ROTORGENERATORUNIT	Rotor-Generator-Einheit Wartung	esriFieldTypeString			255	true	true	true			0 definiert
WTGPOWER	Nennleistung	esriFieldTypeDouble				true	true	true			0 definiert
WTGCOST	Anlagenkosten €	esriFieldTypeDouble				true	true	true			0 definiert

Abbildung 41: Attributtabelle der WEA aus der Administratoroberfläche mit Erweiterung. Eigene Abbildung.

Die Attributtabelle im Administrator wurde um sieben neue Attribute aus der Tabelle 8: *Komplettes LOI der Windenergieanlage* erweitert, um eine umfassendere und präzisere Datenerfassung zu ermöglichen. Diese neuen Attribute besitzen spezifische Feldtypen, die ihre jeweilige Datennatur widerspiegeln und eine effiziente Datenverwaltung gewährleisten.

Die *Fundamentkosten* (€) ("BASECOST") und die *Anlagenkosten* (€) ("WTGCOST") wurden als *esriFieldTypeDouble* definiert, da sie numerische Werte mit potenziellen Dezimalstellen erfassen müssen, die präzise Kostenangaben ermöglichen.

Die *Fundamentwartung* ("BASEMAINTENANCE"), *Turmwartung* ("TOWERMAINTENANCE"), *Gondelwartung* ("GONDOLAMAINTEANANCE") und *Rotor-Generator-Einheit Wartung* ("ROTORGENERATORUNIT") sind als

`esriFieldTypeString` festgelegt. Dies ermöglicht die Eingabe von textbasierten Informationen, die die spezifischen Wartungsanforderungen und Intervalle wiedergeben.

Die *Nennleistung* ("WTGPOWER") verwendet ebenfalls den Feldtyp `esriFieldTypeDouble`, da sie numerische Leistungswerte erfasst, die unter optimalen Bedingungen erzeugt werden können. Dies erfordert eine präzise Darstellung von Dezimalzahlen.

Außerdem wurde das zusätzliche Attribut *Schattenabschaltung* ("SHADOWSN") eingeführt und als `esriFieldTypeBoolean` definiert. Wie in Kapitel: 4.2.3. *Planen der Windenergieanlagen auf dem Projektgelände* festgestellt war dieses optionale Attribut noch nicht im verwendeten Datenmodell konfiguriert. Dieser Feldtyp ermöglicht eine einfache Ja/ Nein-Auswahl, um die Anwesenheit oder Abwesenheit einer Schattenabschaltung anzugeben.

Diese sorgfältige Zuordnung der Feldtypen stellt sicher, dass die Daten effizient erfasst, gespeichert und verarbeitet werden können, wodurch die Gesamtfunktionalität der Integration gewährleistet werden soll.

Abschließend wird ein Einblick in die veränderte Benutzeroberfläche gegeben, wobei sowohl die ursprüngliche Attributtabelle des Demowindparks als auch die erweiterte Version mit den neu hinzugefügten Spaltenüberschriften dargestellt werden.

Name	Anlagentyp	Fundamentenerhöhung	Beschreibung	Fledermausabschaltung	Luftfahrtsabschaltung	Anflugsabschaltung	Windpark
WEA01	E-175, 6.0, NH 112			✓	✓		1
WEA02	V-112, 3.3, NH 94			✓	✓	✓	1

Abbildung 42: Attributtabelle der WEA im Demowindpark. Eigene Abbildung.

Schattenabschaltung *	Anlagenkosten €	Fundamentkosten €	Fundament Wartung	Gondel Wartung	Rotor-Generator-Einheit Wartung	Turm Wartung	Nennleistung
✓							
✗							

Abbildung 43: Erweiterte Attributtabelle der WEA im Demowindpark. Eigene Abbildung.

Durch die Erweiterung der Attributtabelle im moGI Planner wurde erfolgreich Platz für die detaillierte Erfassung und Darstellung der LOI-Daten geschaffen und mit der Einführung der neuen Attribute und der entsprechenden Feldtypen ist die Erweiterung nun abgeschlossen, wodurch die Grundlage für eine optimierte Windparkplanung gelegt wurde.

4.3.2 Datenmodellerweiterung der Windenergieanlage – LOD

Im nächsten Schritt wird das bestehende Datenmodell der Windenergieanlage erweitert, um die geometrischen Details der Windenergieanlage grafisch darzustellen. Dieser Abschnitt erläutert die spezifischen Erweiterungen, die im moGI Planner notwendig sind, um das LOD im aktuellen Datenmodell aufzunehmen.

Das derzeitige Datenmodell umfasst eine begrenzte Anzahl von acht geometrischen Ebenen, die lediglich grundlegende Informationen über die Windenergieanlage und die zugehörigen Flächen liefern. Allerdings wird die Windenergieanlage selbst bislang nicht dargestellt.

Es ist zusätzlich zu beachten, dass im aktuellen Datenmodell des Demowindparks nicht alle Flächen mit Geometrien gefüllt sind. Insbesondere fehlen spezifische Informationen zu temporären und permanenten Flächeninanspruchnahmen sowie Kranstellflächen, da hierzu keine fachspezifischen Informationen des Herstellers vorliegen. Diese fehlenden Daten sind für die technische Integration nicht von Bedeutung, jedoch werden sie für Vollständigkeit im Datenmodell mit angezeigt.



Abbildung 44: Datenmodell der WEA im Demowindpark. Eigene Abbildung.

Um die Integration von geometrischen Informationen zu ermöglichen, muss das Datenmodell nun erweitert werden. Ähnlich wie beim LOI im vorherigen Kapitel ist es nicht das Ziel, die Abbildung 18: *Komplettes BIM-Windenergieanlagenmodell. Eigene Abbildung.* 1-zu-1 zu übertragen. Stattdessen sollen die von oben sichtbaren Bauteile der Windenergieanlage als zusammenhängendes Ganzes importiert werden, wodurch nur eine einzelne zusätzliche Ebene im Datenmodell entsteht.

Diese Erweiterung stellt sicher, dass die relevanten geometrischen Daten effizient erfasst und verwaltet werden können, ohne die Komplexität des Modells unnötig zu erhöhen. Durch die Bündelung der geometrischen Informationen zu einer zusätzlichen

Ebene wird eine übersichtliche Darstellung der Windenergieanlage im Datenmodell von moGI Planner ermöglicht.

Für die Umsetzung folgendes Schema:

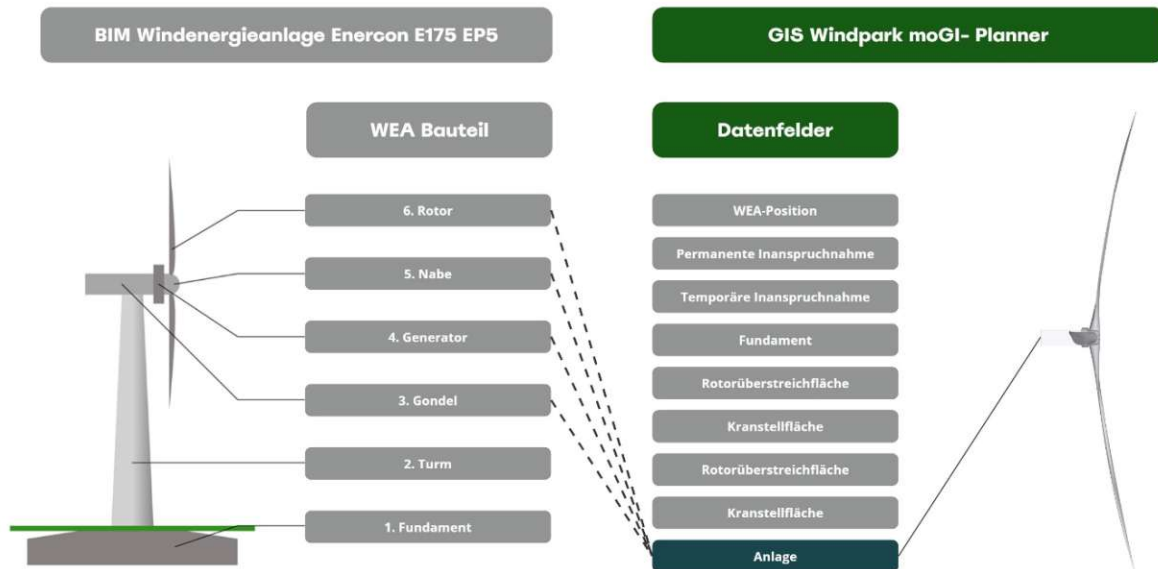


Abbildung 45: Integration und Clustering von BIM-Geometrien für moGI Planner. Eigene Abbildung.

Wie in der überstehenden Abbildung zu sehen ist, werden die Bauteile Fundament und Turm auf der BIM-Seite bei der visuellen Übertragung nicht berücksichtigt. Dies liegt daran, dass derzeit eine 3D-Darstellung der Anlage in moGI noch nicht möglich ist. Aus diesem Grund werden vorerst nur die oberirdisch gut sichtbaren Elemente genutzt. Das Fundament wird bereits über die Katalogauswahlfunktion von moGI erstellt. Der Turm wird bewusst weggelassen, da sein Durchmesser dem des Fundaments so ähnlich ist, dass er visuell kaum von diesem zu unterscheiden wäre, was die Darstellung unnötig verkomplizieren würde.

Daher werden nur die vier Bauelemente – Gondel, Generator, Nabe und Rotor – geclustert und in ein neues Datenfeld, das dunkelblau in der obigen Abbildung dargestellt ist, übertragen. Visuell soll dabei ein Ergebnis entstehen, wie es rechts in der obigen Abbildung dargestellt ist: ein "Kopf" der Windenergieanlage, welcher über das neue Datenfeld "Anlage" dargestellt wird.

Um das neue Datenfeld in moGI Planner einzupflegen, ist eine weitere Anpassung im Datenmodell der Windenergieanlage erforderlich. Dazu muss die Oberfläche des Datenmodells in der Administratoroberfläche erneut erweitert werden.

3. Klasseneigenschaften Neue Eigenschaft Eigenschaften löschen Eigenschaft bearbeiten

Name	Typ	Geometrietyp	Speicherung
WTG_ROTORAAREA_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_POSITION_P*	GEOMETRY	esriGeometryPoint	
WTG_TURBELLIPSE_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_FOUNDATION_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_CRANEAREA_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_PERMUSE_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_WTG_DISTANCE_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_TEMPUSE_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	

Abbildung 46: Klasseneigenschaften aus der Administratoroberfläche. Eigene Abbildung.

Die Tabelle bietet eine Übersicht der Klasseneigenschaften für Windenergieanlagen im moGI Planner und reflektiert das aktuelle Datenmodell der Benutzeroberfläche. Jede Zeile stellt eine spezifische Eigenschaft mit den Attributen *Name*, *Typ* und *Geometrietyp* dar.

Der Name der Eigenschaft beschreibt die jeweilige Komponente oder Funktion, die dargestellt wird. Der Typ gibt den Datentyp der Eigenschaft an, welcher in diesem Kontext durchgehend "GEOMETRY" ist. Der Geometrietyp spezifiziert die Art der geometrischen Darstellung und kann Punkt, Linie, Fläche oder Mehrfachpunkt sein.

Diese angelegten Klasseneigenschaften sind eng mit den Ebenen verbunden, welche dann die eigentliche Sichtbarkeit in moGI Datenmodell erzeugen.

4. Ebenen Neue Ebene Ebenen löschen Ebene bearbeiten

Ebenenname	Beschreibung	Geometrie	Dokument	Required
WTG_POSITION_P	WEA-Position	esriGeometryPoint		true
WTG_PERMUSE_A	Permanente Inanspruchnahme	esriGeometryPolygon		false
WTG_TEMPUSE_A	Temporäre Inanspruchnahme	esriGeometryPolygon		false
WTG_FOUNDATION_A	Fundament	esriGeometryPolygon		false
WTG_ROTORAAREA_A	Rotorüberstreiffläche	esriGeometryPolygon		false
WTG_CRANEAREA_A	Kranstellfläche	esriGeometryPolygon		false
WTG_TURBELLIPSE_A	Turbulenzellipse (techn. Abstand)	esriGeometryPolygon		false
WTG_DISTANCE_A	Abstandsfläche	esriGeometryPolygon		false

Abbildung 47: Ebenen aus der Administratoroberfläche. Eigene Abbildung.

Die Tabelle stellt eine detaillierte Übersicht der verschiedenen Ebenen dar, die im Basis-Datenmodell des moGI Planner verwendet werden, um die geometrischen Eigenschaften der Windenergieanlagen darzustellen.

Jede Zeile in der Tabelle repräsentiert eine spezifische Ebene mit den Attributen *Ebenenname*, *Beschreibung*, *Geometrie*, *Dokument* und *Required*. Dabei beziehen sich die Attribute *Ebenenname* und *Geometrie* auf die zuvor aufgeführte Tabelle der Klasseneigenschaften.

Die *Beschreibung* gibt den Namen an, der in moGI angezeigt wird. Die *Dokument*-Spalte ist leer, da es sich um geometrische Daten und nicht um Dokumente handelt. Welche über eine nicht verwendete Erweiterung des moGI Planner mit Geometrien verknüpft werden können. Das Attribut *Required* bestimmt, ob das Element für die Planung erforderlich ist oder nicht. In diesem Kontext ist nur der Standort als erforderlich markiert, da für einen Windpark mindestens ein Punkt existieren muss, der

die Position der Anlage angibt. Die anderen Informationen sind optional und ergänzen die Planung mit zusätzlichen Details.

3. Klasseneigenschaften Neue Eigenschaft Eigenschaften löschen Eigenschaft bearbeiten

Name	Typ	Geometrietyp	Speicherung
WTG_ROTORAREA_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_POSITION_P*	GEOMETRY	esriGeometryPoint	
WTG_TURBELLIPSE_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_FOUNDATION_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_CRANEAREA_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_PERMUSE_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_WTG_DISTANCE_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_TEMPUSE_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	
WTG_PLANT_A*	GEOMETRY	esriGeometryPolygon	

Abbildung 48: Klasseneigenschaften aus der Administratoroberfläche mit Erweiterung. Eigene Abbildung.

Die Klasseneigenschaften wurden nun um ein Element erhöht Namens "WTG_PLANT_A*" welche, als Typ "GEOMETRY" und Geometrietyp *esriGeometryPolygon* angelegt wurde.

4. Ebenen Neue Ebene Ebenen löschen Ebene bearbeiten

Ebenenname	Beschreibung	Geometrie	Dokument	Required
WTG_POSITION_P	WEA-Position	esriGeometryPoint		true
WTG_PERMUSE_A	Permanente Inanspruchnahme	esriGeometryPolygon		false
WTG_TEMPUSE_A	Temporäre Inanspruchnahme	esriGeometryPolygon		false
WTG_FOUNDATION_A	Fundament	esriGeometryPolygon		false
WTG_ROTORAREA_A	Rotorüberstreiffläche	esriGeometryPolygon		false
WTG_CRANEAREA_A	Kranstellfläche	esriGeometryPolygon		false
WTG_TURBELLIPSE_A	Turbulenzellipse (techn. Abstand)	esriGeometryPolygon		false
WTG_DISTANCE_A	Abstandsfläche	esriGeometryPolygon		false
WTG_PLANT_A	Anlage	esriGeometryPolygon		false

Abbildung 49: Ebenen aus der Administratoroberfläche mit Erweiterung. Eigene Abbildung.

Zusätzlich dazu wurde eine weitere Ebene erzeugt Namens "Anlage" sowie im Schema von Abbildung 45: *Integration und Clustering von BIM-Geometrien für moGI Planner. Eigene Abbildung.* vorgesehen. Welche jetzt dazu dient Platz für die grafische Übertragung der vier Bauteile zu geben.

Abschließend zum Kapitel des LOI ein Einblick in die veränderte Oberfläche mit einmal dem alten Datenmodell des Demowindparks. Und einmal mit der neu hinzugefügten Ebene.

☒ Windenergieanlage	☒ Windenergieanlage
☒ WEA-Position	☒ WEA-Position
☒ Permanente Inanspruchnahme	☒ Permanente Inanspruchnahme
☒ Temporäre Inanspruchnahme	☒ Temporäre Inanspruchnahme
☒ Fundament	☒ Fundament
☒ Rotorüberstreiffläche	☒ Rotorüberstreiffläche
☒ Kranstellfläche	☒ Kranstellfläche
☒ Turbulenzellipse (techn. Abstand)	☒ Turbulenzellipse (techn. Abstand)
☒ Abstandsfläche	☒ Abstandsfläche
	☒ Anlage

Abbildung 50: Ebenenvergleich der WEA. Eigene Abbildung.

Durch die Erweiterung des Datenmodells in moGI Planner wurde erfolgreich Platz für die Darstellungen und Geometrien der LOD-Daten geschaffen und mit der Einführung der neuen Ebene *Anlage* mit dazugehöriger Klasseneigenschaft ist die Erweiterung nun komplett abgeschlossen.

4.3.3 Angepasste Planungsoberfläche in moGI Planner

Im Rahmen der Integration der BIM-Windenergieanlage in den moGI Planner wurden sowohl die Datenstruktur als auch die Benutzeroberfläche des Systems erheblich erweitert. Diese Anpassungen waren notwendig, um den neuen Anforderungen gerecht zu werden und eine BIM Integration zu ermöglichen. Ein Vergleich zwischen der alten und der neuen Oberfläche im moGI Planner verdeutlicht die zuvor ausgeführten Schritte.



Abbildung 51: Ursprüngliche Planungsoberfläche in moGI Planner. Eigene Abbildungen.

Die ursprüngliche Oberfläche des moGI Planner war auf eine begrenzte Anzahl von Attributen und geometrischen Ebenen beschränkt. Diese Attribute ermöglichten lediglich eine grundlegende Darstellung der Windenergieanlagen, ohne die Möglichkeit, zusätzliche planungsrelevante Informationen zu integrieren. Die verfügbaren geometrischen Ebenen boten zudem keine direkte visuelle Repräsentation der Anlage.

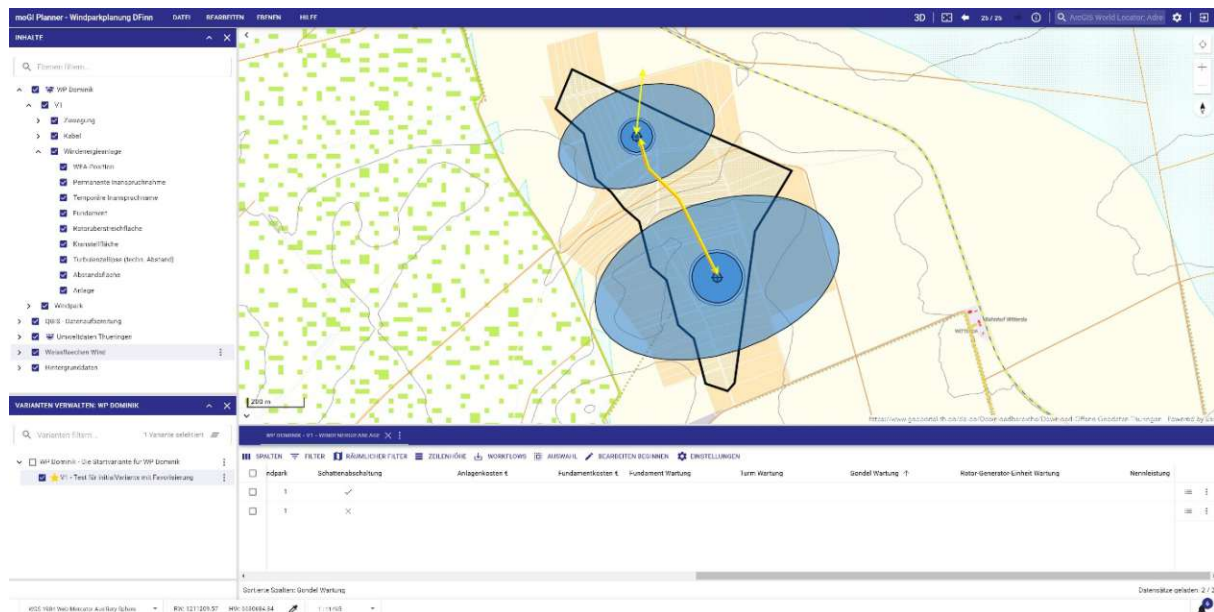


Abbildung 52: Erweiterte Planungsoberfläche in moGI Planner. Eigene Darstellung.

Mit der Erweiterung der Oberfläche und der Einführung neuer Attribute und einer zusätzlichen Ebene wurde die Funktionalität des moGI Planner gesteigert. Die neuen Attribute ermöglichen die Erfassung zusätzlicher Informationen zur Windenergieanlage. Diese Erweiterung bietet neue Möglichkeiten für die Planung und Verwaltung der Windparks.

Mit der Erweiterung der Oberfläche und der Einführung neuer Attribute sowie einer zusätzlichen Ebene wurde die Funktionalität des moGI Planner gesteigert. Die neuen Attribute ermöglichen die detaillierte Erfassung zusätzlicher Informationen zur Windenergieanlage. Durch die zusätzliche Ebene wird die Datenstruktur weiter verfeinert, was eine bessere Integration von Planungsdaten und eine effizientere Verwaltung ermöglicht. Diese Erweiterung eröffnet neue Möglichkeiten für die Planung und Verwaltung von Windparks. Darüber hinaus erleichtert sie die Zusammenarbeit indem sie eine einheitliche und erweiterte Datengrundlage bereitstellt.

4.3.4 Implementierung

Die Implementierung der erweiterten Funktionalitäten im moGI Planner ist der abschließende Schritt zur erfolgreichen Integration der BIM-Windenergieanlage in das WebGIS-System. Diese Phase baut auf den zuvor beschriebenen Erweiterungen und Anpassungen auf, um die nahtlose Verlinkung der BIM-Modelle mit dem GIS-System sicherzustellen.

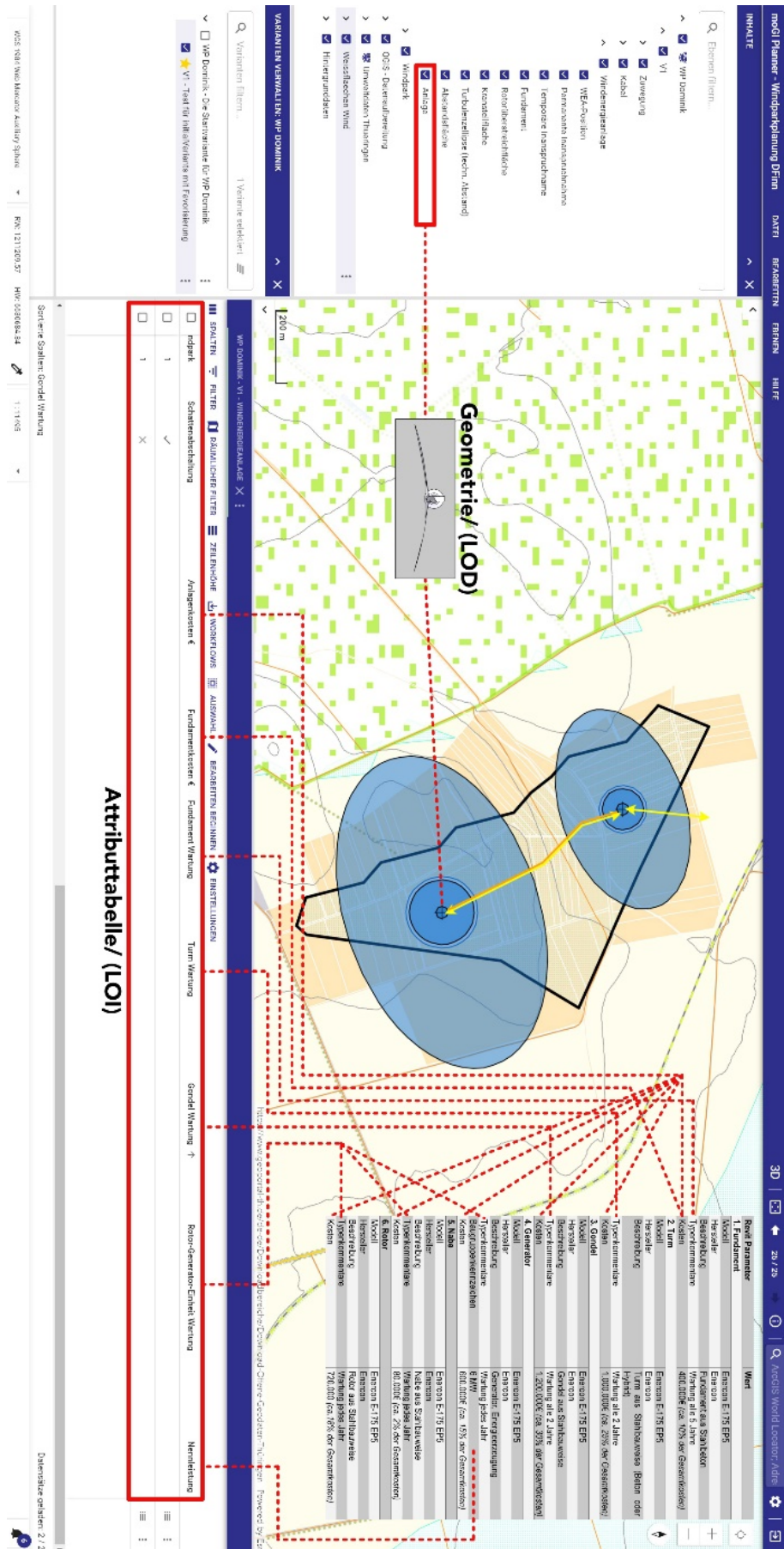


Abbildung 53: Umsetzung und Aufbau der Verlinkung für moGI Planner. Eigene Abbildung.

Die überliegende Abbildung visualisiert mit rot gestrichelten Linien die entstehenden Verbindungen und die zu übertragenden Informationen. Sie stellt bildlich das Ziel der technischen Umsetzung dar, das in den Kapiteln: 4.3.4.1 *Anpassen der Attribute einer Windenergieanlage – LOI* und 4.2.3 *Datenmodellerweiterung der Windenergieanlage – LOD* beschrieben wurde. Durch diese Darstellung wird deutlich, wie die einzelnen Ebenen und Attribute miteinander verknüpft werden, um eine umfassende und präzise Datenerfassung und -verwaltung im moGI Planner zu gewährleisten.

4.3.4.1 GeoJSON exportieren

Als erster Schritt muss das aktuelle Datenmodell exportiert werden, um die aktuellen Daten auslesen zu können. Dabei geht es primär um den Windenergieanlagenbaum mit den zugehörigen Inhalten.

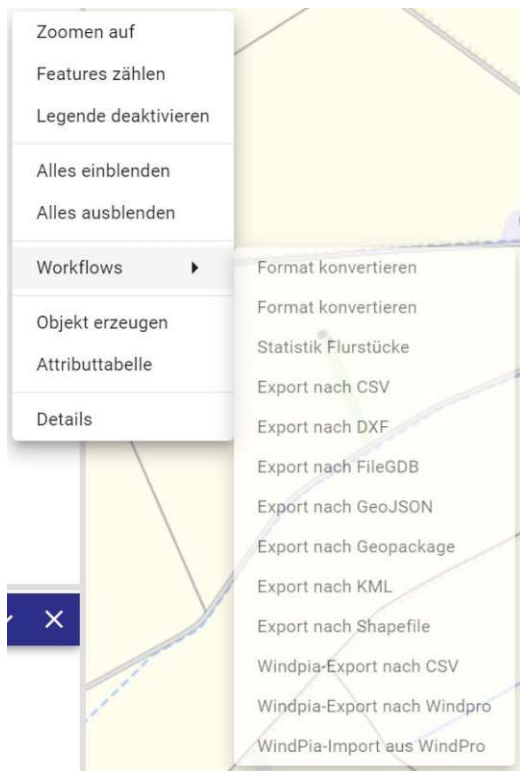


Abbildung 54: Workflow Export nach GeoJSON. Eigene Abbildung.

Der Export erfolgt über einen Workflow im moGI Planner mit der Funktion „Export nach GeoJSON“. Nach Ausführung dieses Workflows erhält man die folgenden Daten:

WTG_WTG_ANLAGE_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	1 KB
WTG_WTG_CRANEAREA_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	1 KB
WTG_WTG_DISTANCE_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	8 KB
WTG_WTG_FOUNDATION_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	8 KB
WTG_WTG_PERMUSE_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	1 KB
WTG_WTG_POSITION_P.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	2 KB
WTG_WTG_ROTORAREA_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	8 KB
WTG_WTG_TEMPUSE_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	1 KB
WTG_WTG_TURBELLIPSE_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	8 KB

Abbildung 55: Export Datenmodell der Windenergieanlage als GeoJSON. Eigene Abbildung.

Da die Transformation bzw. das aufgebaute Linkmodell im Rahmen des Projektes vorerst statisch ist und dem Anwendungszweck dient, die These zu überprüfen, wird es lokal abgelegt und nicht auf einem Server. Daher ist es zusätzlich wichtig, einen Ordnerpfad festzulegen, um anschließend gezielt darauf zugreifen zu können.

Diese GeoJSON-Datei, die aus dem Datenmodell der Windenergieanlage generiert wurde, enthält den folgenden Code:

```

1  {
2    "type": "FeatureCollection",
3    "name": "ESRIJSON",
4    "crs": {
5      "type": "name",
6      "properties": {
7        "name": "urn:ogc:def:crs:EPSG::25832"
8      }
9    },
10   "features": [
11     {
12       "type": "Feature",
13       "properties": {
14         "ID": 3,
15         "BASECOST": "",
16         "BASEMAINTENANCE": "",
17         "GONDOLAMAINTEINANCE": "",
18         "ROTORGENERATORUNITMAINTENANCE": "",
19         "SHADOWSDN": "true",
20         "TOWERMAINTENANCE": "",
21         "WTGCOST": "",
22         "WTGPOWER": "",
23         "GUID": "3969ae23-8a98-4c1c-8ecb-65962d01dc20",
24         "OBJIDRF": "1",
25         "WTGTYPE": "78",
26         "WTGNAME": "WEA01",
27         "DESCRIPT": "Beschreibung Test",
28         "BASEINCR": 1.0,
29         "BATSDN": "true",
30         "AVIATSDN": "true",
31         "AVIFNASDN": "true",
32         "GLOBALID": "415-3"
33       },
34       "geometry": {
35         "type": "Polygon",
36         "coordinates": [[[631472.347491252119653, 5657418.46992127969861],
37       }
38     }, {
39       "type": "Feature",
40       "properties": {
41         "ID": 4,
42         "SHADOWSDN": "false",
43         "GUID": "71b75a42-237a-40d9-9745-712a6a7d3a0a",
44         "OBJIDRF": "1",
45         "WTGTYPE": "5",
46         "WTGNAME": "WEA02",
47         "DESCRIPT": "Beschreibung Test",
48         "BASEINCR": 1.0,
49         "BATSDN": "true",
50         "AVIATSDN": "true",
51         "AVIFNASDN": "true",
52         "GLOBALID": "415-4"
53       },
54       "geometry": {
55         "type": "Polygon",
56         "coordinates": [[[631180.458673592307605, 5657899.841998528689146],
57     }
58   ]
59 }

```

WEA 1.

WEA 2.

Abbildung 56: Auslesen der exportierten GeoJSON aus dem WEA-Datenmodell. Eigene Abbildung.

Die JSON-Datei beschreibt eine Sammlung von Geo-Features (Geo-Objekten) im ESRIJSON-Format, die für die Darstellung von Windenergieanlagen verwendet werden. Die Datei ist in einer „FeatureCollection“ organisiert, was bedeutet, dass sie eine Sammlung von Features (Einzelobjekten) enthält.

Die erste große Klammer „WEA 1.“ ist die neu angelegte Windenergieanlage E-175 EP5. Sie hat die ID 3 und enthält diverse Attribute, aus Kapitel: *4.3.1.2 Anpassung der Attribute einer Windenergieanlage – LOI* im schwarz umrandeten Kästchen können die neu angelegten Attribute gelesen werden. Diese haben auch wie in der Oberfläche aus Abbildung 52: *Erweiterte Planungsoberfläche in moGI Planner. Eigene Darstellung.* noch keinen Inhalt.

Im Vergleich zu „WEA 2.“ wird deutlich, dass Attribute nicht eingepflegt sind. Dies ist beabsichtigt, da diese Anlage nicht die BIM-Anlage repräsentiert. Sie enthält lediglich die Standardattribute, ohne zusätzliche Informationen.

Das Ziel besteht darin, die neu angelegten Attribute ("BASECOST", "BASEMAINTENANCE", etc.) mit Daten aus der Revit-Datei zu befüllen, um eine detailliertere und vollständige Attributtabelle für die Windenergieanlage zu erstellen. Diese angereicherten Daten sollen anschließend in moGI Planner importiert werden können.

4.3.4.2 Extraktion und Speicherung von Familiendaten in einer GeoJSON-Datei

Für die Extraktion und Speicherung der sechs Familiendaten der BIM-Anlage in eine GeoJSON-Datei wird ein Revit-Plugin verwendet. Das Ziel dieses Revit-Plugins besteht darin, die Interoperabilität zwischen BIM und GIS zu fördern und den Datenaustausch zu erleichtern. Die Hauptfunktion des Plugins besteht darin, spezifische Familiendaten aus BIM-Modellen zu extrahieren und im GeoJSON-Format zu speichern. Das Plugin wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit in Zusammenarbeit mit der FH Erfurt und der M.O.S.S. Computergrafik GmbH entwickelt und befindet sich mit Stand Juli 2024 noch in der Entwicklung. Daher befindet sich die Oberfläche und Handhabung des Plugins noch in einer ersten Beta-Version.

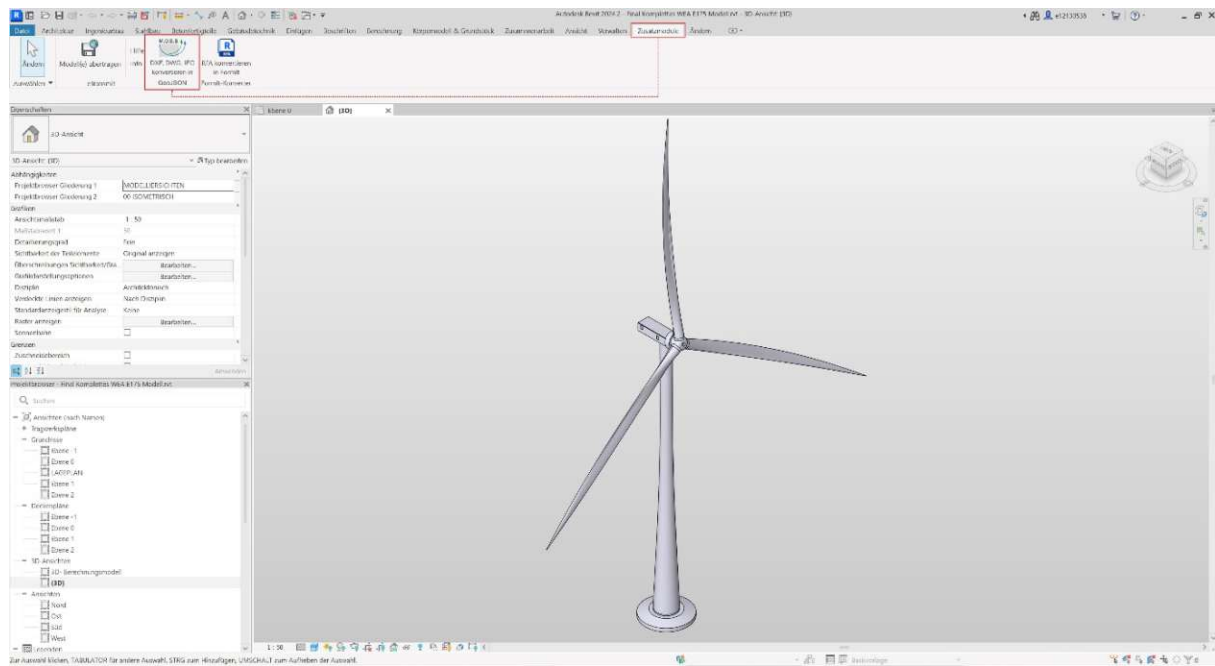


Abbildung 57: Revit M.O.S.S. Plugin. Eigene Abbildung.

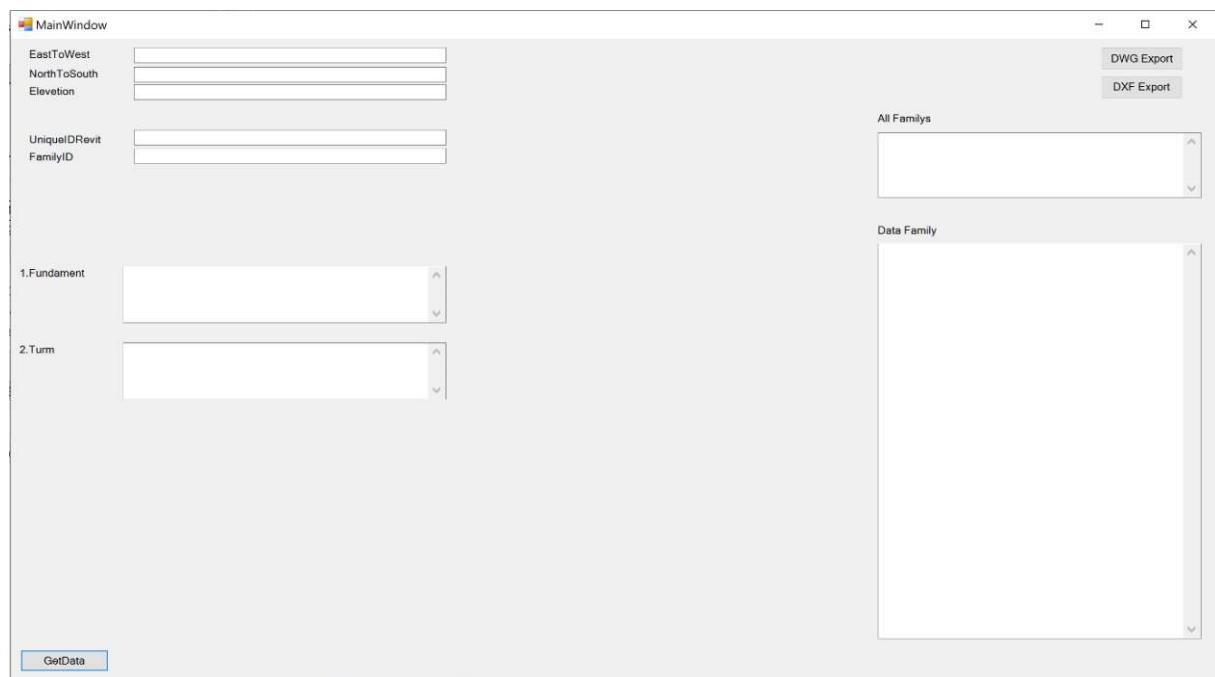


Abbildung 58: Revit M.O.S.S. Plugin Overview. Eigene Abbildung.

Der folgende Prozess beschreibt eine methodische Herangehensweise zur Extraktion spezifischer Daten aus BIM-Familien innerhalb einer Revit-Datenbank und deren Speicherung im GeoJSON-Format. Diese Funktion greift auf dem zuvor festgelegten Dateien Pfad zu, in dem die Dateien abgelegt wurden. Insgesamt werden sechs Schritte durchlaufen, die im Folgenden erläutert werden.

Schritt 1. Initialisierung

Zunächst werden alle Familien aus dem Revit-Dokument in einen sogenannten Collector eingelesen. Dieser Schritt bildet die Basis für die nachfolgende Datenextraktion und ist entscheidend, um eine umfassende und vollständige Datengrundlage zu gewährleisten. Der Collector ist ein zentrales Datenobjekt, das alle Elemente des angegebenen Typs im Revit-Dokument speichert.

```
FilteredElementCollector collector = new FilteredElementCollector(doc);
collector.OfClass(typeof(Family));
```

Abbildung 59: Plugin Code Abschnitt Initialisierung. Eigene Abbildung.

Durch die Verwendung des *FilteredElementCollector* werden alle Familien im Dokument gesammelt, was sicherstellt, dass keine relevanten Daten übersehen werden.

Schritt 2. Durchsuchung des Collectors

Der im ersten Schritt initialisierte Collector wird nach spezifischen Schlagwörtern durchsucht, um die gesuchte Familie zu identifizieren. In diesem Beispiel wird nach der Familie mit dem Namen "2. Turm" gesucht. Dieser Suchvorgang stellt sicher, dass nur relevante Daten weiterverarbeitet werden.

```
Family testFamily = null;
foreach (Family family in collector)
{
    if (family.Name.Equals("2. Turm"))
    {
        testFamily = family;
        break;
    }
}
```

Abbildung 60: Plugin Code Abschnitt Collector, Eigene Abbildung.

Die Suche innerhalb des Collectors ist ein essenzieller Schritt, um die benötigte Familie präzise zu identifizieren. Dadurch wird sichergestellt, dass die nachfolgenden Prozesse auf der richtigen Datengrundlage basieren.

Schritt 3. Zwischenspeicherung der Familiendaten

Sobald die gesuchte Familie gefunden wurde, werden alle zugehörigen Daten in einer temporären Liste zwischengespeichert. Diese Zwischenspeicherung dient dazu, die Daten für die nachfolgende Verarbeitung bereitzustellen und den Speicherbedarf zu minimieren.

```

    ISet<ElementId> familySymbolIds = testFamily.GetFamilySymbolIds();
    foreach (ElementId id in familySymbolIds)
    {
        FamilySymbol symbol = doc.GetElement(id) as FamilySymbol;
        output.AppendLine($"Typ: {symbol.Name}, ID: {symbol.Id.IntegerValue}");
    }

```

Abbildung 61: Plugin Code Abschnitt Zwischenspeicherung. Eigene Abbildung.

Die Zwischenspeicherung in einer temporären Liste ermöglicht die effiziente Handhabung und Verarbeitung der Daten. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass die Datenstrukturen während der Extraktion konsistent und übersichtlich bleiben.

Schritt 4. Auslesen der benötigten Daten

Nach der Identifikation der Familie werden spezifische Schlagwörter wie beispielsweise "Typenkommentare"; "Kosten" und "Baugruppenkennzeichen" durchsucht. Die entsprechenden Inhalte werden extrahiert und in einem String gesammelt.

```

foreach (Parameter param in symbol.Parameters)
{
    string paramName = param.Definition.Name;
    if (paramName == "Typenkommentare")
    {
        string typCommentValue = param.AsString() ?? param.AsValueString() ?? "[Kein Wert]";
        BASEMAINTENANCE.AppendLine($"    {paramName}: {typCommentValue}");
        // Weitere Verarbeitung und Speicherung
    }
    else if (paramName == "Kosten")
    {
        string costValue = param.AsString() ?? param.AsValueString() ?? "[Kein Wert]";
        BASEMAINTENANCE.AppendLine($"    {paramName}: {costValue}");
        // Weitere Verarbeitung und Speicherung
    }
    else if (paramName == "Baugruppenkennzeichen")
    {
        string assemblyMarkValue = param.AsString() ?? param.AsValueString() ?? "[Kein Wert]";
        BASEMAINTENANCE.AppendLine($"    {paramName}: {assemblyMarkValue}");
        // Weitere Verarbeitung und Speicherung
    }
}

```

Abbildung 62: Plugin Code Abschnitt Auslesen der benötigten Daten. Eigene Abbildung.

Das gezielte Auslesen spezifischer Parameter ermöglicht eine fokussierte Datenextraktion, die genau auf die Anforderungen und den Anwendungsfall dieses Projektes zugeschnitten ist.

Schritt 5. Speicherung in einer GeoJSON-Datei

Zur Speicherung der gesammelten Daten wird die Klasse GeoJSON verwendet, die Methoden zum Öffnen und Schreiben von GeoJSON-Dateien bereitstellt. Der gesammelte String wird in die GeoJSON-Datei geschrieben.

```

try
{
    JObject geoJson = GeoJsonHandler.LoadGeoJson(jsonFilePathh);
    GeoJsonHandler.ReplaceValuesInGeoJson(geoJson, "BASEMAINTENANCE", typCommentValue);
    GeoJsonHandler.SaveGeoJson(geoJson, jsonFilePathh);
    TaskDialog.Show("Success", "GeoJSON-Daten wurden erfolgreich bearbeitet und gespeichert.");
}
catch (Exception ex)
{
    TaskDialog.Show("Error", "Ein Fehler ist aufgetreten");
}

```

Abbildung 63: Plugin Code Abschnitt Speicherung in GeoJSON. Eigene Abbildung.

Die Speicherung in der GeoJSON-Datei ermöglicht eine nahtlose Integration der BIM-Daten in GIS-Anwendungen. Darüber hinaus fördert die Nutzung des GeoJSON-Formats die einfache Weiterverwendung der Daten in verschiedenen geografischen Informationssystemen, wodurch sowohl die Interoperabilität als auch die Nutzbarkeit der Daten gesteigert werden.

Schritt 6. Aktualisieren des Zeitstempels

Nach dem erfolgreichen Schreiben der Daten in die GeoJSON-Datei wird der Zeitstempel der Datei aktualisiert. Dies dient der Dokumentation der letzten Änderung und stellt sicher, dass die Daten auf dem neuesten Stand sind.

```

// Zeitstempel aktualisieren (Beispielcode, der in die GeoJSON-Klasse integriert werden könnte)
File.SetLastWriteTime(jsonFilePathh, DateTime.Now);

```

Abbildung 64: Plugin Code Abschnitt Zeitstempel Aktualisierung. Eigene Abbildung.

Die Aktualisierung des Zeitstempels ist ein Schritt, um die Integrität und Aktualität der gespeicherten Daten zu gewährleisten. Dies ermöglicht eine klare Nachverfolgbarkeit bei Änderungen und erleichtert das Datenmanagement.

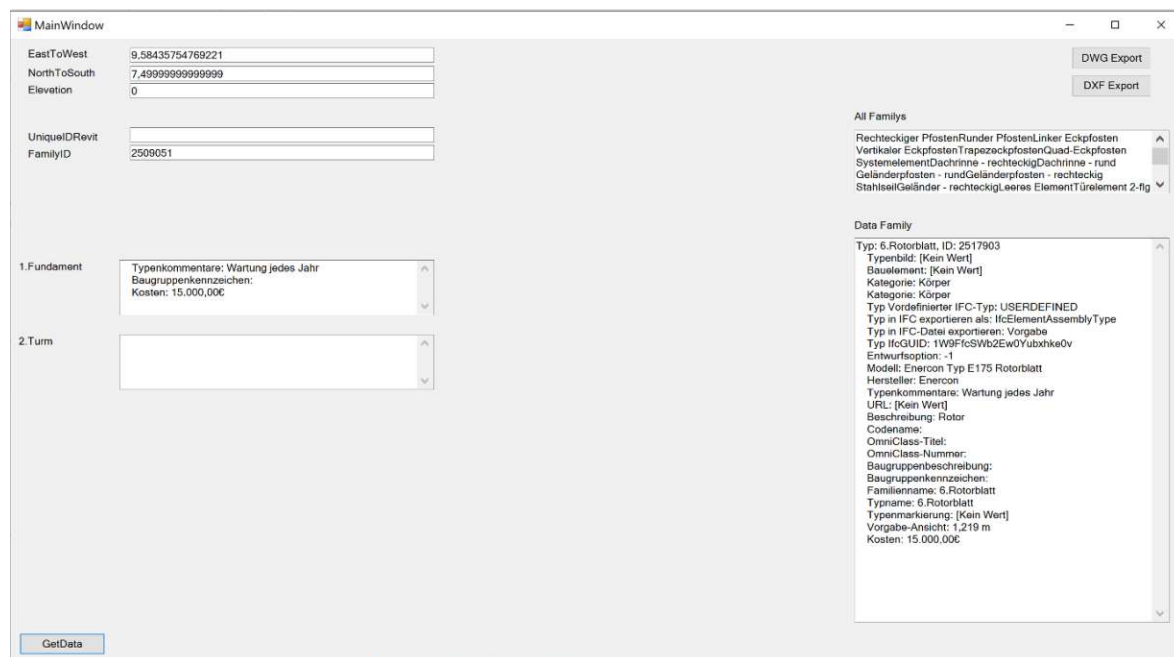


Abbildung 65: Revit Plugin Overview ausgeführt. Eigene Abbildung.

Wird dieses Plugin in Revit ausgeführt, werden die folgenden Einträge in die zuvor exportierte GeoJSON-Datei aus Kapitel: 4.3.5.1 *GeoJSON exportieren* geschrieben.



```

1  {
2    "type": "FeatureCollection",
3    "name": "ESRIJSON",
4    "crs": {
5      "type": "name",
6      "properties": {
7        "name": "urn:ogc:def:crs:EPSG::25832"
8      }
9    },
10   "features": [{
11     "type": "Feature",
12     "properties": {
13       "ID": 3,
14       "BASECOST": 400.000,
15       "BASEMAINTENANCE": "Wartung alle 5 Jahre",
16       "GONDOLAMAINTEINANCE": "Wartung alle 2 Jahre",
17       "ROTORGENERATORUNITMAINTENANCE": "Wartung jedes Jahr",
18       "SHADOWSDN": "true",
19       "TOWERMAINTENANCE": "Wartung alle 2 Jahre",
20       "WTGCOST": 4.000.000,
21       "WTGPOWER": 6 MW,
22       "GUID": "3969ae23-8a98-4c1c-8ecb-65962d01dc20",
23       "OBJIDRF": "1",
24       "WTGTYPE": "78",
25       "WTGNAME": "WEA01",
26       "DESCRIPT": "Beschreibung Test",
27       "BASEINCR": 1.0,
28       "BATSDN": "true",
29       "AVIATSDN": "true",
30       "AVIFNASDN": "true",
31       "GLOBALID": "415-3"
32     },
33     "geometry": {
34       "type": "Polygon",
35       "coordinates": [
36         [
282      ]
283     ]
284   }, {
285     "type": "Feature",
286     "properties": {
287       "ID": 4,
288       "SHADOWSDN": "false",
289       "GUID": "71b75a42-237a-40d9-9745-712a6a7d3a0a",
290       "OBJIDRF": "1",
291       "WTGTYPE": "5",
292       "WTGNAME": "WEA02",
293       "DESCRIPT": "Beschreibung Test",
294       "BASEINCR": 1.0,
295       "BATSDN": "true",
296       "AVIATSDN": "true",
297       "AVIFNASDN": "true",
298       "GLOBALID": "415-4"
299     },
300     "geometry": {
301       "type": "Polygon",
302       "coordinates": [
303         [
549      ]
550     ]
551   }
552 ]
553 }
  
```

The image shows a GeoJSON file with two features, WEA 1 and WEA 2, grouped by brackets. WEA 1 is a Feature with ID 3, and WEA 2 is a Feature with ID 4. Both features have a Polygon geometry. The properties for WEA 1 include BASECOST, BASEMAINTENANCE, GONDOLAMAINTEINANCE, ROTORGENERATORUNITMAINTENANCE, SHADOWSDN, TOWERMAINTENANCE, WTGCOST, WTGPOWER, GUID, OBJIDRF, WTGTYPE, WTGNAME, DESCRIPT, BASEINCR, BATSDN, AVIATSDN, AVIFNASDN, and GLOBALID. The properties for WEA 2 include SHADOWSDN, GUID, OBJIDRF, WTGTYPE, WTGNAME, DESCRIPT, BASEINCR, BATSDN, AVIATSDN, AVIFNASDN, and GLOBALID.

Abbildung 66: Integration der exportierten GeoJSON aus dem WEA-Datenmodell. Eigene Abbildung.

Die Inhalte der GeoJSON-Datei wurden erfolgreich ausgelesen und automatisch in die Datei eingefügt. Das Revit-Plugin hat die spezifischen Attribute wie "BASECOST", "BASEMAINTENANCE", "GONDOLAMAINTEINANCE", "ROTORGENERATORUNITMAINTENANCE", "TOWERMAINTENANCE", "WTCOST" und "WTPOWER" korrekt extrahiert und den entsprechenden Einträgen in der GeoJSON-Datei hinzugefügt. Die Attribute wurden gemäß den festgelegten Vorgaben vollständig und in die GeoJSON-Datei integriert. Die aktualisierte GeoJSON-Datei enthält nun alle notwendigen Informationen, um eine umfassende Attributtabelle für die Windenergieanlage zu bieten, die in moGI Planner weiterverarbeitet werden kann.

4.3.4.3 GeoJSON Importieren

Als nächsten Schritt werden die aus dem Plugin überarbeiteten GeoJSON-Daten zurück in das Demo-Windparkprojekt geladen. Da ab diesem Stadium der Windparkplanung die beiden Fachdisziplinen aus der GIS- und BIM-Welt zusammen agieren, empfiehlt es sich, die Planungsvariante vorher entsprechend zu bearbeiten und abzuleiten.

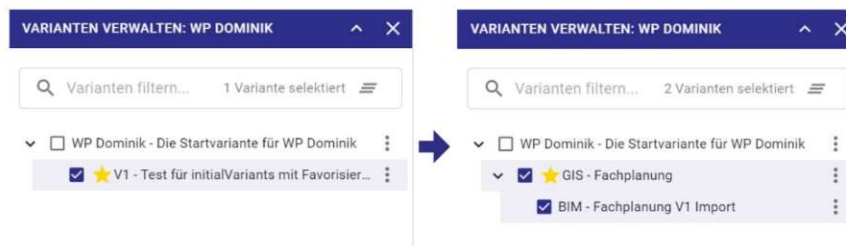


Abbildung 67: Varianten Verwalten in moGI Planner. Eigene Abbildung.

So wird aus der ursprünglich benannten Variante "V1 – Test..." (siehe Abbildung links) die Variante "GIS – Fachplanung" (siehe Abbildung rechts), welche anschließend dupliziert und in "BIM -Fachplanung V1 Import" umbenannt wird. In dieser Variante kann nun der GeoJSON-Import aus Sicht der BIM-Fachdisziplin erfolgen.

Anschließend kann der im moGI Planner integrierte Import-Assistent genutzt werden, über den die Daten bequem per Drag-and-Drop in die aktuelle Planungsvariante "BIM -Fachplanung V1 Import" geladen werden können. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine effiziente und fehlerfreie Übertragung der relevanten Daten aus dem BIM-Modell in das GIS-System.

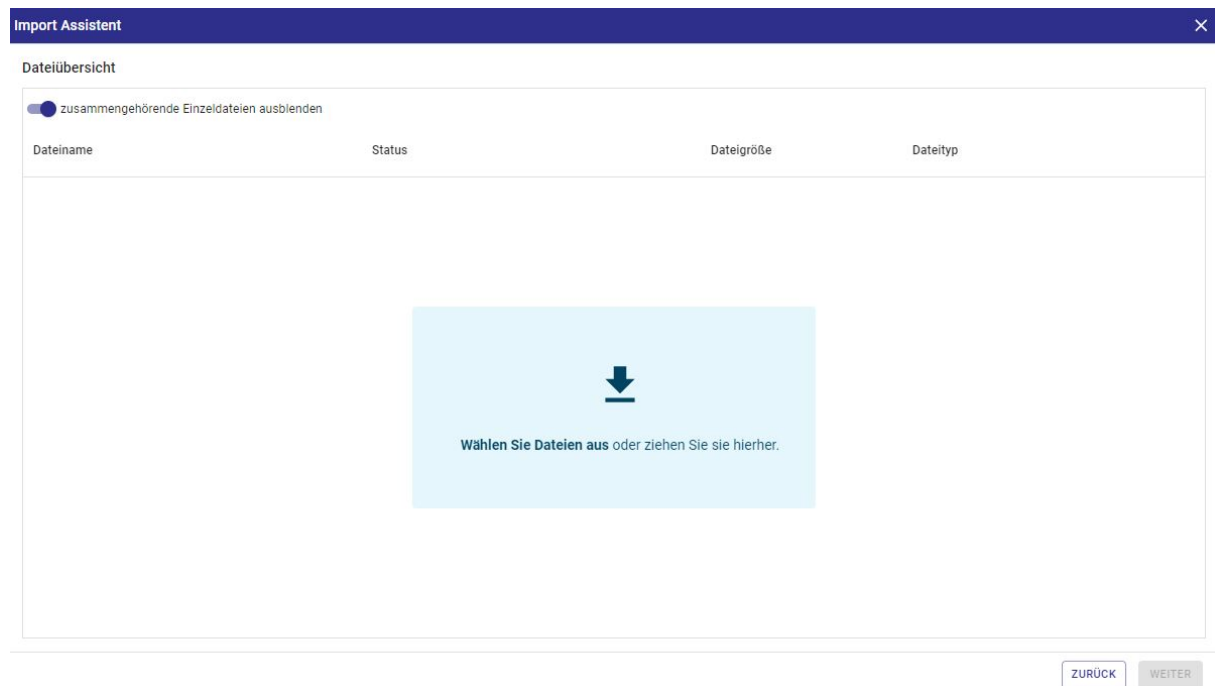


Abbildung 68: Import Assistent in moGI Planner. Eigene Abbildung.

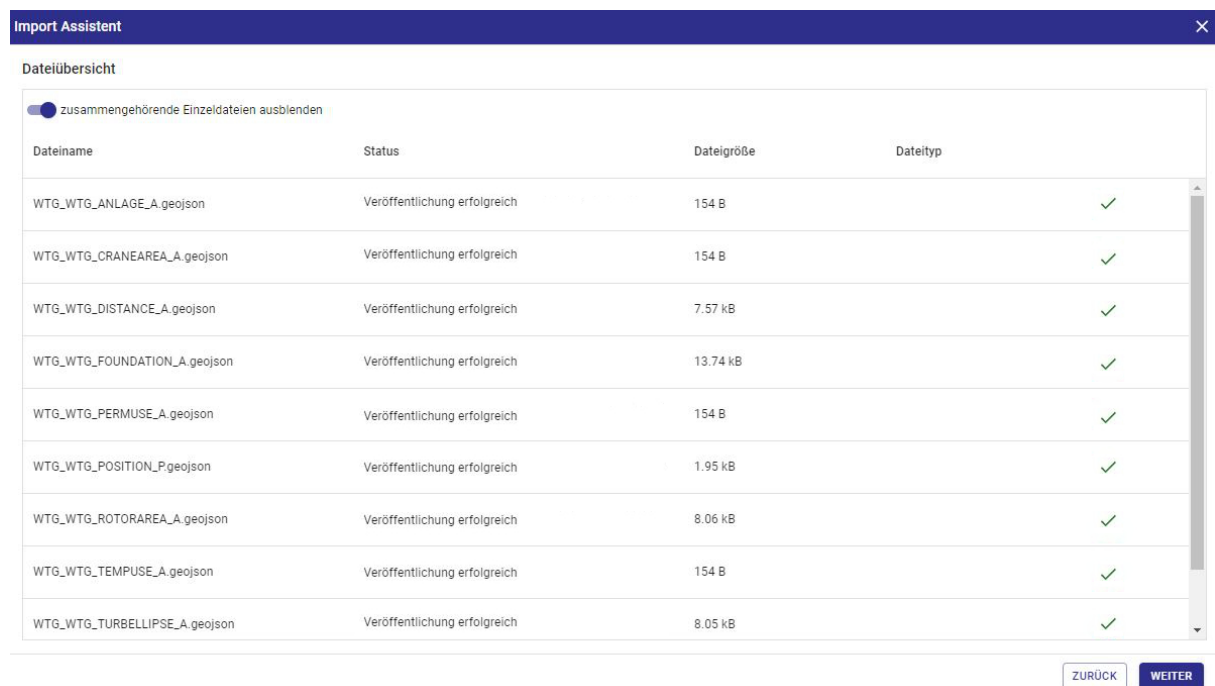


Abbildung 69: Import Assistent mit GeoJSON Upload in moGI Planner. Eigene Abbildung.

Nach dem erfolgreichen Upload in das Projekt müssen die Daten nur noch der richtigen Planungsvariante zugewiesen werden.

Ob die Integration erfolgreich war, kann leicht über die Attributtabelle der Windenergieanlage überprüft werden. Hier sollten nun die Daten für die WEA E175 EP5 befüllt sein, welche ursprünglich aus der BIM-Fachplanung bzw. dem BIM-Modell stammen.

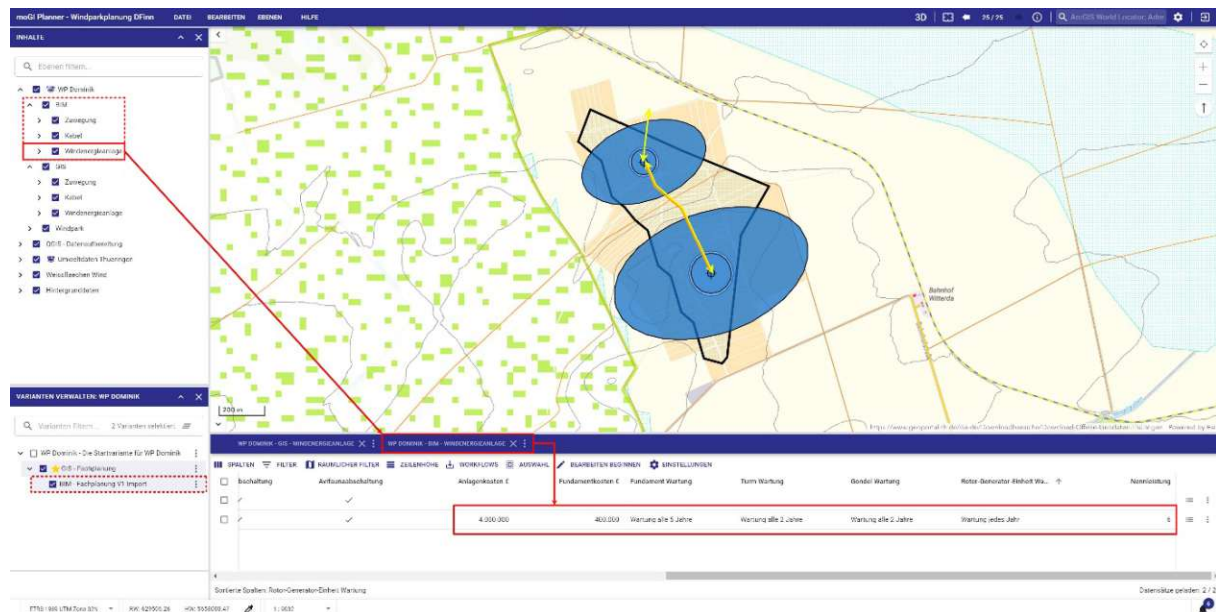


Abbildung 70: Finale Integration LOI in moGI Planner. Eigene Abbildung.

Wie ersichtlich, werden die neuen Daten in der BIM-Attributtabelle angezeigt. Links oben ist zu erkennen, dass sich die Ansicht im Datenmodell „BIM“ befindet, welches aus der Variante „GIS“ abgeleitet wurde, wie unten links dargestellt ist. Anschließend befindet sich die Ansicht im Baum der Windenergieanlage mit zugehöriger Attributtabelle. Da die Daten, die das LOI (Level of Information) betreffen, angezeigt werden, ist dieser Teil der Integration erfolgreich abgeschlossen.

4.3.4.4 Erweiterung des Revit Plugin für Geometrie

Nachdem die Informationen erfolgreich übertragen wurden, muss ein weiterer Code verwendet werden, der die Geometrien der Anlagen in der Top-Down-Ansicht ausliest und in eine GeoJSON-Datei schreibt. Diese Datei wird ebenfalls im zuvor definierten Ordnerpfad abgelegt.

Die folgenden Code-Abschnitte beschreiben die Methode zur Extraktion von Kurven aus dem BIM-Revit-Dokument im Register "Lageplan", deren Konvertierung in das GeoJSON-Format und die anschließende Speicherung im definierten Ordnerpfad.

Die zentrale Methode des Codes, „ConvertCurvesToGeoJson“, konvertiert eine Liste von Kurven (Curve-Objekte), die im Revit-Modell vorhanden sind, in GeoJSON-Features. Dieser Prozess beginnt mit der Extraktion von Koordinatenpunkten aus den Kurven, die durch eine Tessellation in diskrete Punkte zerlegt werden. Dieser Schritt wird im folgenden Codeabschnitt realisiert.

```

1  foreach (Curve curve in curves)
2  {
3      List<Coordinate> coordinates = new List<Coordinate>();
4
5      foreach (XYZ point in curve.Tessellate())
6      {
7          coordinates.Add(new Coordinate(point.X, point.Y, point.Z));
8      }
9  }

```

Abbildung 71: Plugin Code Abschnitt Tessellation von Kurven in Koordinatenpunkte. Eigene Abbildung.

Die tessellierten Punkte werden in eine Liste von Coordinate-Objekten überführt, die anschließend zur Erzeugung von LineString-Objekten genutzt werden. Diese LineString-Objekte repräsentieren die Geometrien der Kurven im GeoJSON-Format.

```

16  LineString lineString = new LineString(coordinates.ToArray());
17  Feature feature = new Feature(lineString, new AttributesTable());
18  features.Add(feature);

```

Abbildung 72: Plugin Code Abschnitt Erstellung von LineString-Objekten und GeoJSON-Features. Eigene Abbildung.

Um die Daten strukturiert und kompatibel zu gestalten, werden die erzeugten LineString-Objekte als GeoJSON-Features in einer FeatureCollection zusammengefasst und schließlich in einen GeoJSON-String konvertiert.

```

25  FeatureCollection featureCollection = new FeatureCollection(features);
26  var geoJsonWriter = new GeoJsonWriter();
27  return geoJsonWriter.Write(featureCollection);

```

Abbildung 73: Plugin Code Abschnitt Zusammenführung der LineString-Objekte in eine FeatureCollection. Eigene Abbildung.

Ergänzend dazu koordiniert die Methode „ConvertDxfToGeoJson“ den gesamten Prozess der Konvertierung. Sie übernimmt die Importfunktion für DXF-Dateien aus Revit, stellt sicher, dass die relevanten Kurven aus dem Modell extrahiert werden, und führt sie der „ConvertCurvesToGeoJson“-Methode zu. Dies wird im folgenden Codeabschnitt deutlich.

```

33  GetDxfFromRevit(doc);
34  List<Curve> curves = ExtractCurvesFromDocument(doc);
35  string geoJson = ConvertCurvesToGeoJson(curves);
36  SaveGeoJsonToFile(geoJson, outputGeoJsonPath);

```

Abbildung 74: Plugin Code Abschnitt Konvertierung und Speicherung als GeoJSON. Eigene Abbildung.

Der Code importiert zunächst die DXF-Datei (GetDxfFromRevit(doc)), extrahiert die geometrischen Kurven (ExtractCurvesFromDocument(doc)), konvertiert diese in GeoJSON (ConvertCurvesToGeoJson(curves)), und speichert die resultierenden Daten (SaveGeoJsonToFile(geoJson, outputGeoJsonPath)).

Die Struktur und Implementierung des Codes sind klar auf die Anforderungen der Integration zwischen BIM und GIS ausgelegt. Durch die Nutzung der „NetTopologySuite“ und der „Newtonsoft.Json“-Bibliothek wird die Komplexität der

Geometriedaten auf eine standardisierte Weise behandelt und in einem Format gespeichert

Beim Ausführen des Buttons "DXF Export" wird das aktuelle Projekt über eine spezielle Funktion geladen, und die Geometrien werden im DXF-Format extrahiert. Nach der Extraktion werden die Daten durch die Funktion „ConvertCurvesToGeoJson(List<Curve> curves)“ in das GeoJSON-Format umgewandelt. Nach der Ausführung dieser Funktion wird das erzeugte Ergebnis als GeoJSON-Datei gespeichert und im selben Dateipfad abgelegt.

WTG_PLANT_A_EP175_EP5.geojson	23.07.2024 15:22	GEOJSON-Datei	40 KB
WTG_WTG_ANLAGE_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	1 KB
WTG_WTG_CRANEAREA_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	1 KB
WTG_WTG_DISTANCE_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	8 KB
WTG_WTG_FOUNDATION_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	8 KB
WTG_WTG_PERMUSE_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	1 KB
WTG_WTG_POSITION_P.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	2 KB
WTG_WTG_ROTORAREA_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	8 KB
WTG_WTG_TEMPUSE_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	1 KB
WTG_WTG_TURBELLIPSE_A.geojson	27.06.2024 13:30	GEOJSON-Datei	8 KB

Abbildung 75: Komplettes Datenmodell der Windenergieanlage als GeoJSON. Eigene Abbildung.

In der hochgeladenen GeoJSON-Datei wird die Windenergieanlage EP175 EP5 aus der Vogelperspektive als Draufsicht dargestellt. Diese Datei enthält geometrische Linien (LineStrings), die die Konturen der Anlage zeigen. Jede Linie wird durch eine Reihe von Koordinatenpunkten beschrieben, die zusammen die Form der Anlage bilden.

```

1  {
2    "type": "FeatureCollection",
3    "name": "wea_el75",
4    "features": [
5      {
6        "type": "Feature",
7        "properties": {
8          "Layer": "0",
9          "PaperSpace": null,
10         "SubClasses": "AcDbEntity:AcDbLine",
11         "Linetype": null,
12         "EntityHandle": "2DA",
13         "Text": null
14       },
15       "geometry": {
16         "type": "LineString",
17         "coordinates": [[-11.11210642772622, -2.594931484669807, 0.0], [-9.862106427726216, -2.594931484669807, 0.0]]
18     },
19     {
20       "type": "Feature",
21       "properties": {
22         "Layer": "0",
23         "PaperSpace": null,
24         "SubClasses": "AcDbEntity:AcDbLine",
25         "Linetype": null,
26         "EntityHandle": "2DB",
27         "Text": null
28       },
29       "geometry": {
30         "type": "LineString",
31         "coordinates": [[-8.862106427726216, -2.594931484669807, 0.0], [-2.162106427726215, -2.594931484669807, 0.0]]
32     },
33     {
34       "type": "Feature",
35       "properties": {
36         "Layer": "0",
37         "PaperSpace": null,
38         "SubClasses": "AcDbEntity:AcDbLine",
39         "Linetype": null,
40         "EntityHandle": "2DC",
41         "Text": null
42       },
43       "geometry": {
44         "type": "LineString",
45         "coordinates": [[-1.162106427726214, -2.594931484669807, 0.0], [2.480376370393281, -2.594931484669807, 0.0]]
46     },
47     {
48       "type": "Feature",
49       "properties": {
50         "Layer": "0",
51         "PaperSpace": null,
52         "SubClasses": "AcDbEntity:AcDbLine",
53         "Linetype": null,
54         "EntityHandle": "2DD",
55         "Text": null
56       },
57       "geometry": {
58         "type": "LineString",
59         "coordinates": [[2.480376370393281, -2.594931484669807, 0.0], [2.480376370393281, 2.405068515330198, 0.0]]
60     }
61   ]
62 }

```

Abbildung 76: Codeausschnitt der GeoJSON-Datei. Eigene Darstellung.

Zusammengefasst enthält die Datei bestehende aus 664 Zeilen Code, 47 Linien (LineStrings) welche die äußeren Umrisse der Windenergieanlage repräsentieren. Außerdem 605 Koordinatenpunkten welche die die exakten Positionen der Linien im Raum definieren. Jede Linie in der GeoJSON-Datei steht für einen Teil der Windenergieanlage und bildet im gesamten die Draufsicht. Diese Daten ermöglichen es, die Windenergieanlage exakt zu lokalisieren und zu visualisieren.

Genauso wie im Kapitel: 4.3.4.3 *GeoJSON importieren* wird die Datei mit in das Projekt hochgeladen. In diesem Fall einzeln, da die anderen Dateien bereits im Projekt existieren, sie können aber auch zusammen importiert werden.

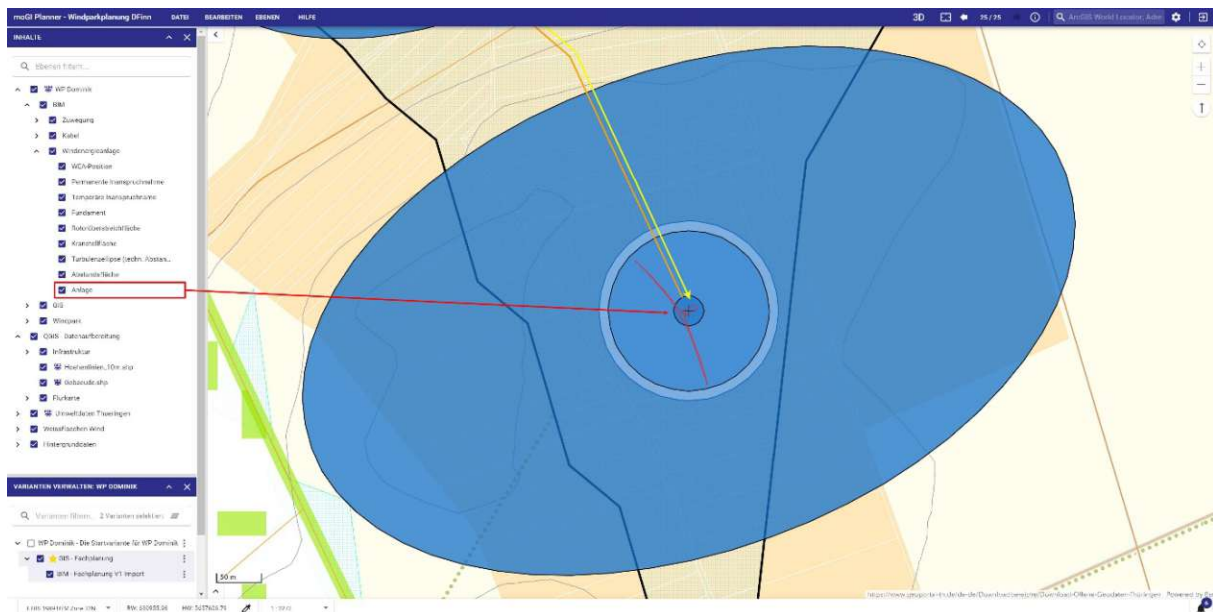


Abbildung 77: Ergebnis LOD - Geometrie in moGI Planner. Eigene Darstellung.

Wie ersichtlich, wird die neue Geometrie angezeigt. Links oben ist zu erkennen, dass sich auch diese Ansicht im Datenmodell „BIM“ befindet. Die Geometrie wurde vorher in das im Datenmodell neu definierte Feld „Anlage“ Kapitel: 4.3.2 *Datenmodellerweiterung der Windenergieanlage – LOD* importiert und lässt sich nun über dieses ein und ausschalten.

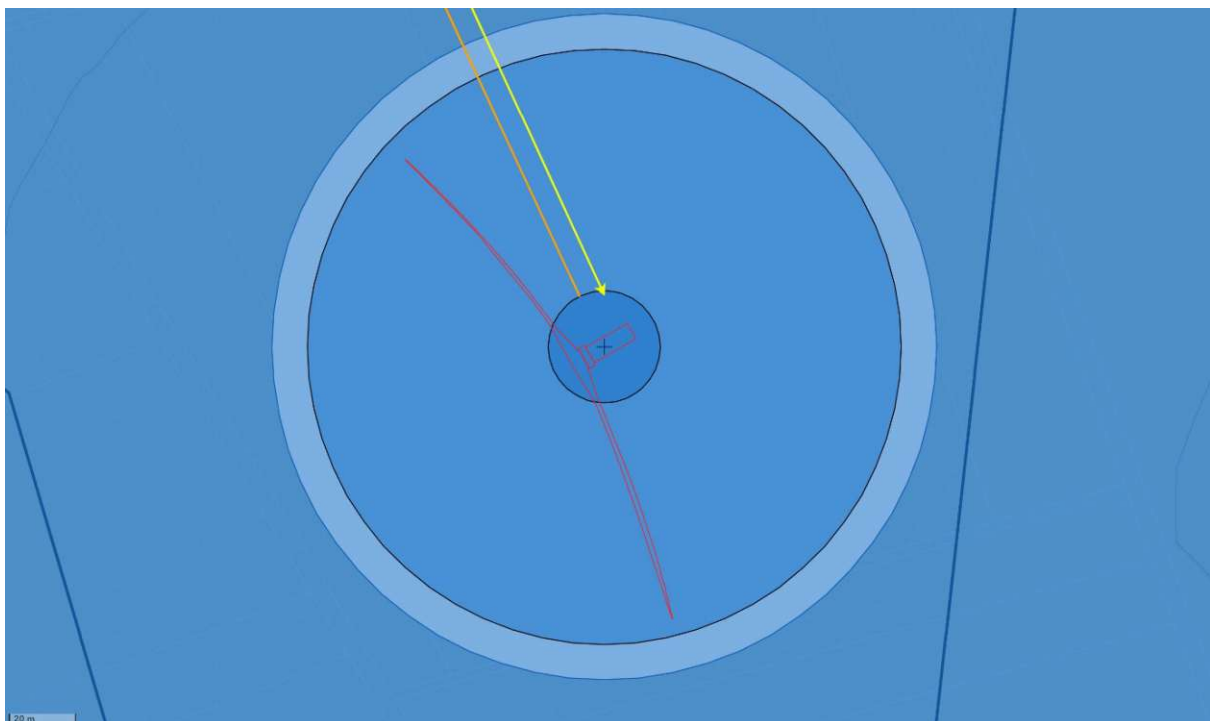


Abbildung 78: Ergebnis LOD – Geometrie mit Zoom in moGI Planner. Eigene Abbildung.

Es ist sofort erkennbar, dass die Anlage passend zur Turbulenzellipse in einer Windrichtung von 240 Grad ausgerichtet ist und dass das Größenverhältnis mit der

Rotorspannweite von 175 Metern übereinstimmt. Zwischen den Rotorblättern und der Rotorüberstreichfläche entsteht in der Abbildung beidseitig eine kleine Lücke. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der Draufsicht die beiden sichtbaren Rotorblätter bei 120 und 240 Grad positioniert sind und dadurch leicht nach unten zeigen, wodurch sie die Rotorüberstreichfläche nicht berühren. Diese Berührung erfolgt nur während des Betriebs bei der Rotation der Blätter.

Abschließend wird das gesamte Overview im moGI Planner veranschaulicht, in dem die BIM-GIS-Integration eingebettet ist. Diese Darstellung zeigt, wie die verschiedenen Elemente und Daten nahtlos zusammengeführt wurden, um eine umfassende und integrierte Planungsumgebung zu schaffen. Die erfolgreiche Einbettung der BIM-Daten in die GIS-Plattform verdeutlicht die Leistungsfähigkeit und den Mehrwert dieser Integration, wodurch eine präzisere und effizientere Windparkplanung ermöglicht wird.

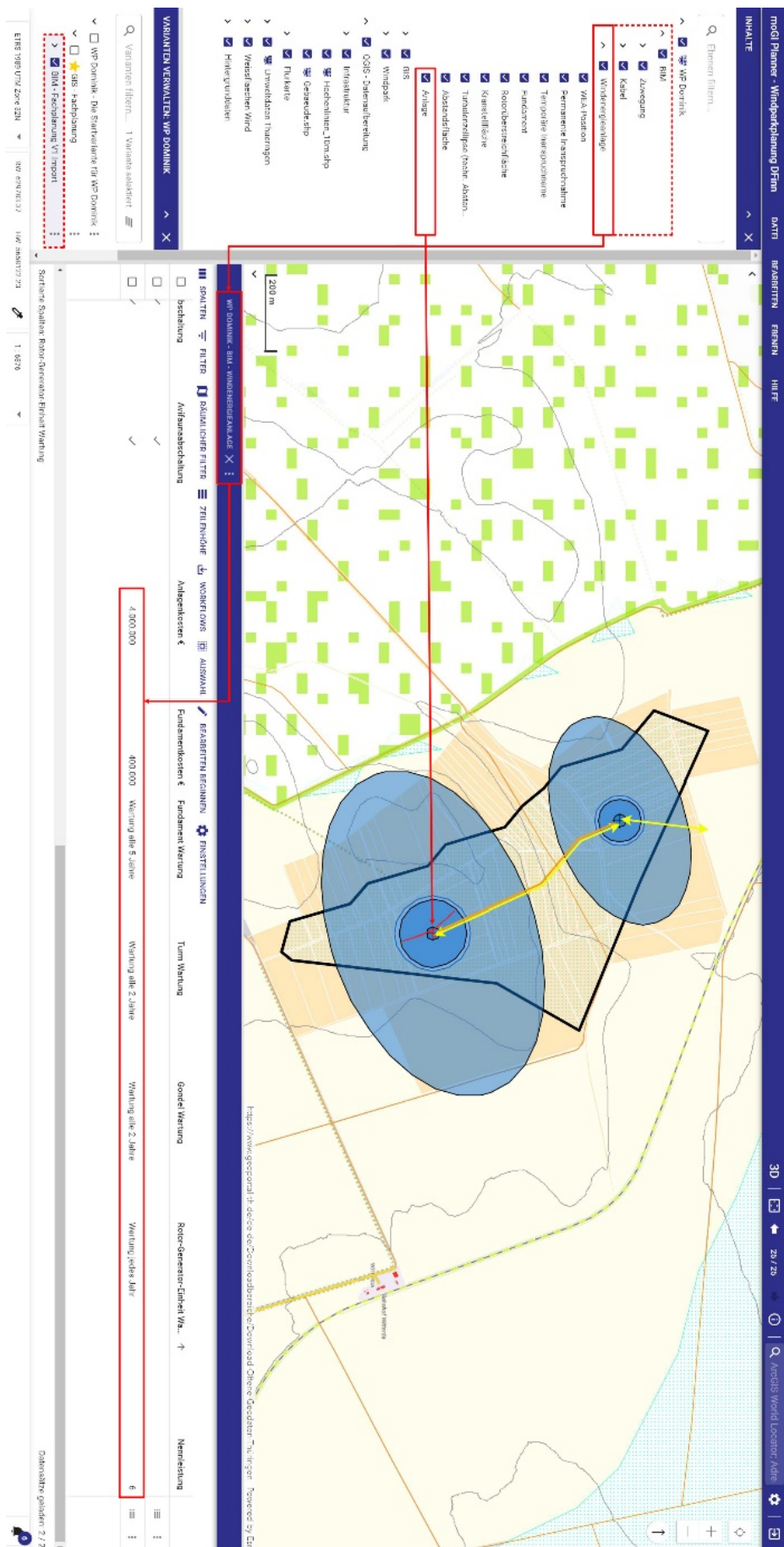


Abbildung 79: Endergebnis BIM-GIS-Integration in moGI Planner. Eigene Abbildung.

Das Linkmodell, wie in der Theorie erörtert, fungiert nun als die „Verbindung“ zwischen den beiden Systemen. Technisch gesehen umfasst es alle Maßnahmen und Implementierungen, die von Kapitel: 4.3 *Verlinkung mittels Linkmodell* und Kapitel: 4.3.4.4 *Erweiterung des Revit Plugin für Geometrie* durchgeführt wurden, grafisch gesehen repräsentiert die folgende Abbildung die Prozesse die durchlaufen werden um eine nahtlose Integration in das WebGIS-System moGI Planner zu gewährleisten.

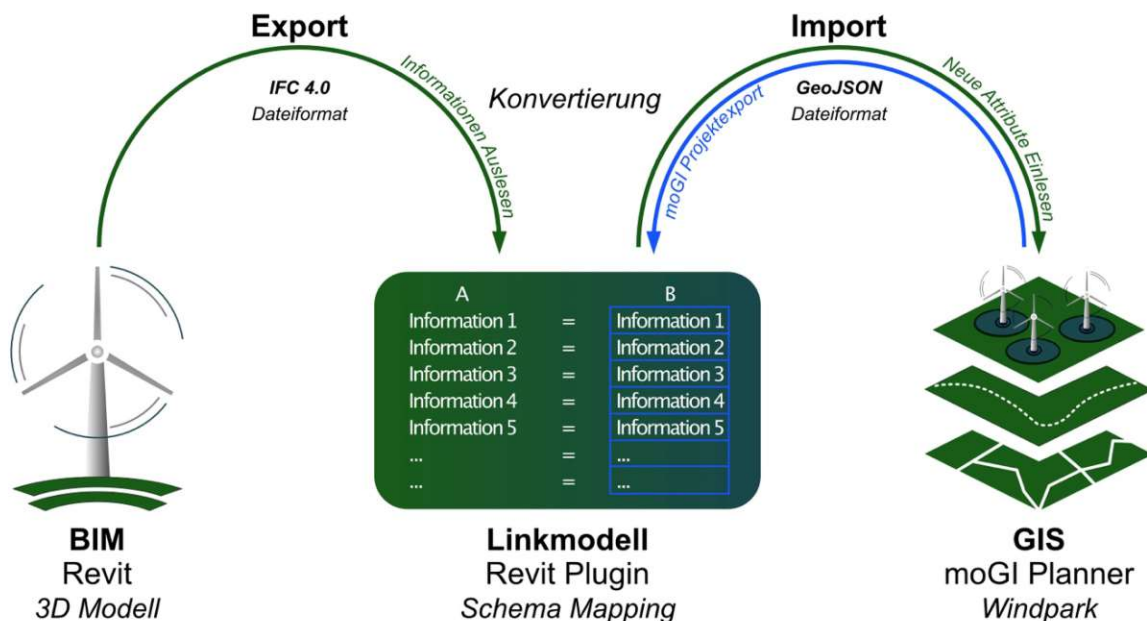


Abbildung 80: Prozess Linkmodell Kopplung. Eigene Abbildung.

Damit ist dieser Teil der Integration erfolgreich abgeschlossen und die Phase 3, „Linkmodell Kopplung“, wurde erfolgreich umgesetzt.

4.4 Vorher-nachher-Vergleich

Nachdem die Integration von BIM-Daten in den moGI Planner erfolgreich abgeschlossen wurde, widmet sich dieser Abschnitt der Untersuchung der Auswirkungen dieser Integration. Ein systematischer Vorher-Nachher-Vergleich wird herangezogen, der sich auf die erweiterte Datenverfügbarkeit stützt, um die Veränderungen durch die neu gewonnenen Informationen zu analysieren und zu interpretieren.

Zunächst wird die Ausgangssituation vor der Integration beschrieben, gefolgt von einer Dokumentation des Zustands nach der Implementierung der BIM-GIS-Integration in den Planner. Anschließend werden die beobachteten Änderungen analysiert und erläutert, um fundierte Schlussfolgerungen über die Auswirkungen auf die interdisziplinäre Planung zu ziehen. Ziel ist es, die Vorteile der neuen

Datenverfügbarkeit und die daraus resultierenden Effekte auf den Planungsprozess klar darzustellen und zu reflektieren.

4.4.1 Dokumentation des Vorher-Zustandes

Auf Grundlage eigener Analyse zeigt sich, dass die Projekte in der zentralen Verwaltungssoftware moGI Planner überwiegend aus der Perspektive der GIS-Akteur: innen verwaltet und bearbeitet wurden. Obwohl alle im Theorieteil dargestellten Nutzungsfunktionen zur Verfügung standen, fehlte ein direkter Zugriff oder Informationsaustausch in Richtung der BIM-Akteur: innen und deren detaillierten Daten, die das Bauwerk bzw. die Windenergieanlage, betreffen.

Wenn Bedarf an diesen detaillierten Informationen bestand, mussten die Daten klassisch vom jeweiligen Akteur, der jeweiligen Akteurin angefordert und außerhalb der WebGIS-Software ausgetauscht und verwaltet werden. Dies führte dazu, dass keine direkte Verbindung zwischen der BIM- und der GIS-Welt hergestellt werden konnte. Dieser Umstand war den unterschiedlichen Akteur: innen geschuldet, die in verschiedenen Systemen und mit unterschiedlichen Anforderungen an die Planung arbeiteten. Folglich fand bis zu diesem Zeitpunkt im moGI Planner eine eher einseitige Planung aus GIS-Perspektive statt, ohne die umfassende Integration der BIM-Daten und -Anforderungen.

4.4.2 Dokumentation des Nachher-Zustandes

Nach der Integration von BIM-Daten in den moGI Planner hat sich der Planungsprozess für Windparks verändert. Die zuvor bestehende Trennung zwischen GIS- und BIM-Akteur: innen wurde durch die zentrale Plattform überbrückt, wodurch eine integrierte Windparkplanung ermöglicht wird. Jetzt stehen umfassende bauspezifische Informationen wie die Gesamtkosten der Windenergieanlage, variable Fundamentkosten, Wartungszyklen und Nennleistung direkt in der Planungsoberfläche zur Verfügung. Diese erweiterte Informationsverfügbarkeit unterstützt die Planer: innen bei der analytischen Standortwahl sowie bei einer effizienteren Ressourcen- und Kostenplanung.

Ein weiterer Aspekt der Integration ist die Möglichkeit, die Windenergieanlagen geometrisch darzustellen. Diese Funktion erleichtert es den Planer: innen, die räumliche Beziehung und physische Präsenz der Anlagen im Planungsgebiet zu erfassen und verschiedene Szenarien visuell zu bewerten. Durch diese Visualisierungen können potenzielle Probleme, wie etwa Nutzungskonflikte im Raum, frühzeitig erkannt werden.

4.4.3 Analyse und Interpretation

Wie auch aus der Literatur im Kapitel: 3.1 *Integration von BIM und GIS in der Praxis* lassen sich durch die neue Datenverfügbarkeit einige Tendenzen innerhalb der Plattform erkennen, was auch die nachfolgende Tabelle verdeutlicht.

Datenverfügbarkeit	In der moGI Planner Planungsoberfläche	
	Vorher	Nachher
<i>Wartungsinformationen pro Bauteil</i>	nein	ja
<i>Gesamt-Kosteninformationen</i>	nein	ja
<i>Variable-Kosteninformationen</i>	nein	ja
<i>Leistungs-Informationen</i>	nein	ja
<i>Geometrie der WEA-Anlage</i>	nein	ja

Tabelle 9: Gewonnene Datenverfügbarkeit in moGI Planner. Eigene Tabelle.

Durch die erweiterte Informationsverfügbarkeit über bauspezifische Informationen der Windenergieanlage ermöglichen die Daten eine präzisere und effizientere Planung. Durch die gemeinsame Nutzung umfassender geografischer und bauspezifischer Informationen in einer zentralen Plattform können Planer: innen noch detaillierte Analysen und Visualisierungen durchführen, was die Genauigkeit der Planungen verbessert und Fehlerquellen minimiert. Konkret dafür spricht die visuelle Darstellung der E-175 EP5 Windkraftanlage. Mit der Integration der BIM-Daten in moGI Planner kann die Windenergieanlage nun auch geometrisch dargestellt werden. Dies bedeutet, dass die Planer: innen nicht nur die Standorte der Anlagen sehen, sondern auch eine detaillierte visuelle Repräsentation der WEA. Diese visuelle Komponente erleichtert die Planung und Analyse, da die räumliche Beziehung und physische Präsenz der Anlage besser erfasst und kommuniziert werden kann, was den Prozess vereinfacht insbesondere auch bei zukünftigen Partizipationsprozessen, wo komplexe Planungen schneller und klarer kommuniziert werden können.

Planer: innen können mit Hilfe der Darstellung verschiedene Szenarien bewerten und die optimalen Standorte und Konfigurationen der Anlagen ermitteln. Diese Visualisierungen helfen, die Auswirkungen der geplanten Windparks auf die Umgebung besser zu verstehen und zu kommunizieren zu können.

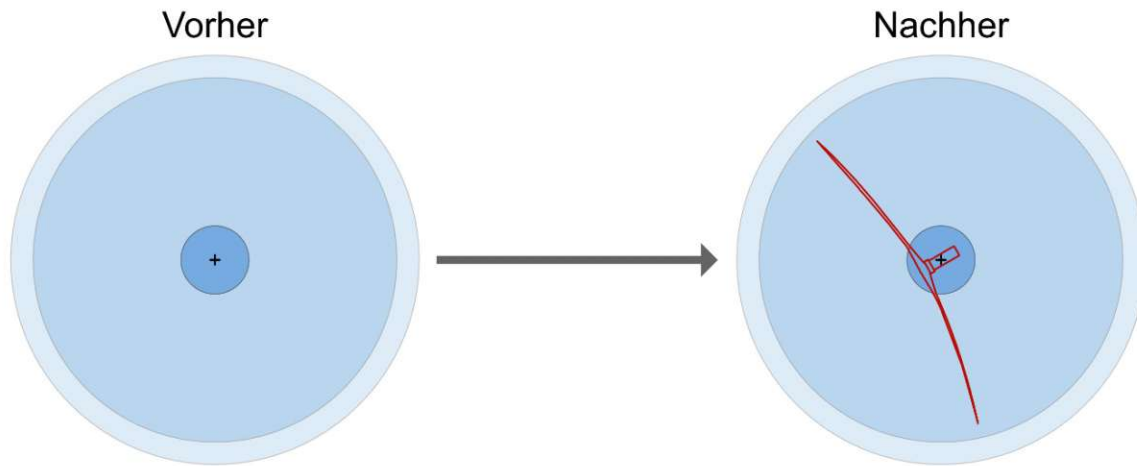


Abbildung 81: Vorher nachher Punkt zu Geometrie. Eigene Abbildung.

Zusätzlich entsteht eine erweiterte Informationsverfügbarkeit in der Attributtabelle der WEA. Umfasst sind hierbei die Wartungsinformationen pro Anlagenbauteil welche die Informationen zur Häufigkeit der Wartung für die verschiedenen Komponenten (Fundament, Turm, Gondel, Generator, Nabe und Rotorblätter) wiedergeben. Dies hilft entscheidend um langfristig den Windpark zu planen und nicht nur für den Moment der Errichtung. Durch diese Informationen unmittelbar in der WebGIS-Anwendung ist es möglich besonders bei der Wahl des Standortes zu berücksichtigen, wie oft der Standort noch in Zukunft erreicht oder eingesehen werden muss und in welchen Abständen. So kann im Beispiel eines schwierigen Geländes der Standort viel eher überdacht werden, wenn man weiß das dieser nicht nur einmal mit den passenden Maschinen und Fahrzeugen betreut wird, sondern diese auch in Zukunft noch mehrfach dort hingelangen müssen um die jeweilige Anlage im Lebenszyklus zu warten. Unmittelbar hiermit in Verbindung stehen die Kosteninformationen untergliedert in Gesamtkosten der Windenergieanlage sowie die variablen Fundamentkosten. Diese ermöglicht eine genauere Ressourcen und Kostenplanung und helfen, den wirtschaftlich optimalen Standorten für die Windenergieanlagen zu identifizieren und einen Überblick für einen Teil der Planungskosten zu halten.

Anknüpfend an das zuvor genannte Beispiel der Standortwahl sind die variablen Fundamentkosten ein wesentlicher Faktor, der berücksichtigt werden muss. Je nach Bodengüte variiert das Fundament, was wiederum die Kosten beeinflusst. Es ist dabei möglich, dass ein Standort, der aus logistischen Gründen für Wartungen günstiger ist, ungünstige Bodenverhältnisse aufweist, wodurch ein größeres und teureres Fundament erforderlich wird. In solchen Fällen muss im Planungsprozess abgewogen werden, welcher Aspekt – die Wartungszugänglichkeit oder die Fundamentkosten – in Hinblick auf die übergeordneten Ziele des Windparks stärker ins Gewicht fällt.

Dieses Szenario wird durch die Plattform nun greifbar und transparent gemacht, was es den Nutzer:innen ermöglicht, fundierte Entscheidungen zu treffen. Die dynamische Anpassung der Fundamentkosten an die spezifischen Standortbedingungen trägt somit zur Optimierung der Gesamtprojektkosten bei und ermöglicht eine bessere Nachvollziehbarkeit für alle Beteiligten. Diese Transparenz und Flexibilität im Planungsprozess sind entscheidend, um die Effizienz des Projekts zu maximieren und die Planungsziele erfolgreich umzusetzen.

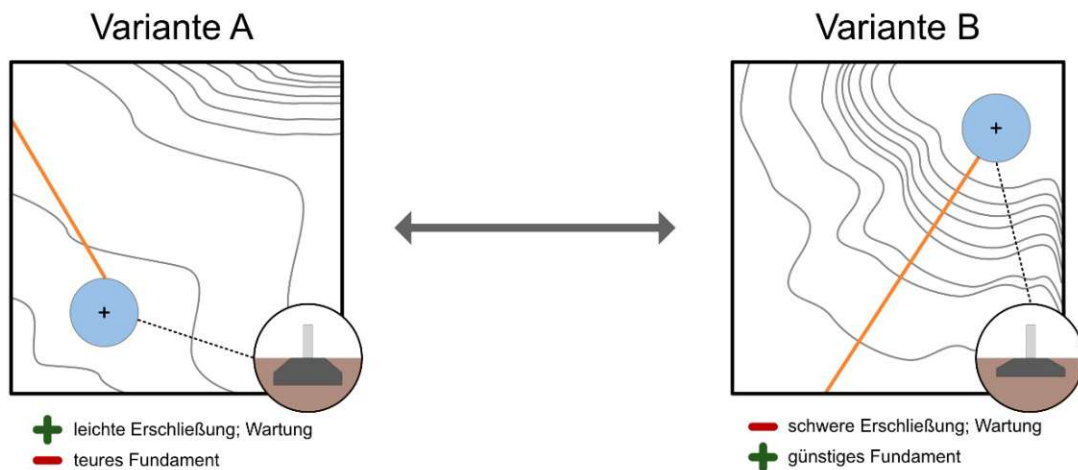


Abbildung 82: Vergleich Erschließung; variable Fundamentkosten und Wartung. Eigene Abbildung.

Abschließend wurden die Leistungsdaten der Windenergieanlage eingepflegt. Diese Informationen sind äußerst nützlich, um schnell zu verstehen, wie viel Energie die Anlage unter idealen Bedingungen erzeugen kann. Dieser Wert ist insbesondere bei der Anbindung an weitere Fachanwendungen zur Energiedimensionierung von großer Bedeutung, da er eine präzise Planung und Optimierung der Energieerzeugung ermöglicht.

Diese erweiterten Informationen verbessern die Entscheidungsgrundlage erheblich und ermöglichen eine genauere Planung und Verwaltung der Anlagen sowie des gesamten Windparks im moGI Planner. Durch die verbesserte Qualität und einfachere Verfügbarkeit der Daten nach der Integration haben alle Beteiligten im Planungsprozess die Möglichkeit, diese Informationen jederzeit aufzurufen und einzusehen. Bei optimaler Nutzung dieser neuen Funktionen können daraus weitere Schlussfolgerungen gezogen werden, die zwar nicht direkt in der Oberfläche sichtbar sind, aber dennoch einen wesentlichen Einfluss auf die Windparkplanung haben.

Diese Verbesserungen betreffen vor allem die Reduktion von Planungsfehlern und den Zeitaufwand im Prozess, die sich gegenseitig beeinflussen können. Wie bereits in der Theorie dargelegt, kann auch hier bestätigt werden, dass die Daten unverfälscht und eins zu eins übertragen werden können. Dies reduziert den manuellen Aufwand und

minimiert die damit verbundenen Risiken von Datenverlust oder -verfälschung. Ein wesentlicher Vorteil liegt darin, dass für die Übertragung der Informationen lediglich ein Upload erforderlich ist, ohne dass zusätzliche Kommunikationsmittel wie E-Mails mit Dokumentenanhängen, Telefonate, Konferenzen oder Meetings notwendig sind. Dadurch bleiben die Daten konsistent und die benötigte Zeit für die Informationsübertragung verkürzt sich deutlich.

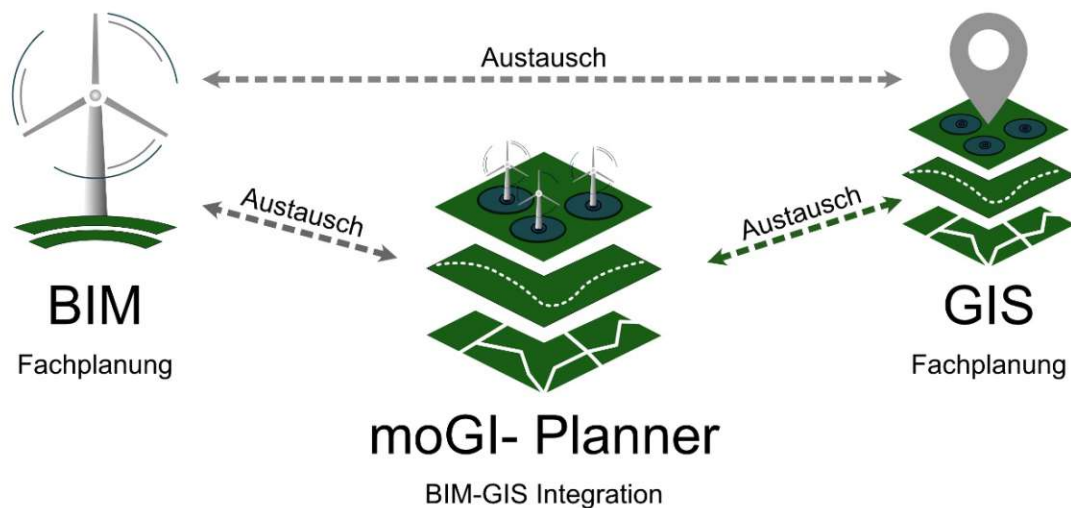


Abbildung 83: Austausch der Fachplanungen über moGI Planner. Eigene Abbildung.

Die zentrale Datenhaltung und -verarbeitung im moGI Planner erleichtert zudem die Koordination und Verwaltung der Projekte und stellt sicher, dass alle Beteiligten stets auf die aktuellsten Informationen zugreifen können. Dies führt insgesamt zu einer effizienteren Nutzung der Ressourcen und einer Reduzierung der Planungskosten.

4.4.4 Kontrolle und Störvariablen

Störvariablen sind unbeabsichtigte oder unberücksichtigte Faktoren, die die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der zuvor genannten Ergebnisse beeinflussen können. Trotz der erweiterten Datenverfügbarkeit und der verbesserten Planungsmöglichkeiten, die durch die BIM-GIS-Integration erreicht werden, besteht weiterhin die Möglichkeit, dass Planungsfehler auftreten. Diese Störvariablen können verschiedene Aspekte des Projekts beeinflussen und müssen daher sorgfältig identifiziert und berücksichtigt werden, um die Zuverlässigkeit der Planung zu gewährleisten.

Zu den Störvariablen zählen beispielsweise die Qualifikation und Schulung der Mitarbeiter. Die Plattform erfordert ein gewisses Maß an technischem Verständnis und Erfahrung im Umgang mit GIS- und BIM-Daten. Unzureichend geschulte Mitarbeiter können dennoch manuelle Fehler machen oder Fehlinterpretationen vornehmen. Zudem können Fehler auftreten, wenn mehrere Projekte gleichzeitig bearbeitet werden

und Planungsstände sowie Daten versehentlich vertauscht werden. Selbst bei einer Software, die umfangreiche Funktionen bietet, ist eine korrekte Handhabung entscheidend für den erfolgreichen Einsatz.

Auf Grundlage eigener Überlegungen erscheint der Upload von falschen oder unvollständigen Planungsständen besonders kritisch, da diese als potenzielle Störvariablen die Planungsergebnisse verfälschen können. Eine regelmäßige Überprüfung der verwendeten Daten und Planungsstände ist daher unerlässlich, um sicherzustellen, dass keine veralteten oder unvollständigen Informationen in den Planungsprozess einfließen. Um derartige Fehler zu vermeiden, sollten klare Protokolle und Checklisten für den Datenimport und -export etabliert werden. Diese Maßnahmen tragen dazu bei, die Integrität der Planungsdaten zu gewährleisten und die Genauigkeit der Ergebnisse zu sichern. Nicht nur der Upload selbst kann ein Problem darstellen, sondern auch die Qualität und Richtigkeit der Informationen, die im BIM-Modell vorhanden sind. Wenn diese Daten nicht ordnungsgemäß eingepflegt oder an der falschen Stelle vermerkt wurden, besteht ein Risiko für Fehler im weiteren Planungsprozess. Solche Ungenauigkeiten können zu Fehlinterpretationen führen, die die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der gesamten Planung beeinträchtigen. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Daten im BIM-Modell sorgfältig geprüft und validiert werden, bevor sie in das GIS-System integriert werden.

4.4.5 Fazit Vorher-nachher-Vergleich

Die Integration von BIM-Daten in den moGI Planner stellt einen bedeutenden Fortschritt insbesondere bei sachgemäßer und gezielter Nutzung in der Windparkplanung dar. Im Vergleich zum vorherigen Zustand, in dem GIS- und BIM-Daten getrennt und oft nur fragmentiert in verschiedenen Datentypen verfügbar waren, bietet die integrierte Plattform nun eine zentrale, umfassende Datenbasis. Diese neue Datenverfügbarkeit ermöglicht eine präzisere und effizientere Planung, da alle relevanten Informationen direkt zugänglich und in die Planungsprozesse eingebunden sind. Durch die erweiterten Funktionen, wie die visuelle Darstellung der Windenergieanlagen, die Berücksichtigung variabler Fundamentkosten und die detaillierte Planung der Wartungszyklen, können Planer: innen leichter fundiertere Entscheidungen treffen. Diese Verbesserungen reduzieren nicht nur die Wahrscheinlichkeit von Planungsfehlern, sondern tragen auch zu einer effizienteren Ressourcennutzung und einer langfristigen Kostensenkung bei.

Insgesamt zeigt der Vorher-Nachher-Vergleich deutlich, dass die BIM-GIS-Integration die Qualität und Nachhaltigkeit der Windparkplanung erheblich steigert. Die zentrale Datenhaltung und die verbesserten Visualisierungs- und Analysemöglichkeiten erleichtern die interdisziplinäre Zusammenarbeit und führen zu einer transparenten und flexiblen Planung.

5 Diskussion und Fazit

Die Integration von Building Information Modeling und Geoinformationssystemen im moGI Planner hat gezeigt, dass sie signifikante Verbesserungen für die interdisziplinäre Planung von Windparks bietet. Vor der Integration arbeiteten GIS- und BIM-Experten isoliert voneinander, was zu einem fragmentierten und weniger effizienten Planungsprozess führt. Durch die BIM-GIS-Integration in eine zentrale Plattform konnte eine engere und effizientere Zusammenarbeitsmöglichkeit zwischen den verschiedenen Fachdisziplinen etabliert werden.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Integration liegt in der zentralen Verfügbarkeit von Daten. Die Verknüpfung räumlicher und bauspezifischer Informationen in Echtzeit ermöglicht eine optimierte Planung und reduziert potenzielle Fehlerquellen. Dies führt zu einem kohärenteren und besser koordinierten Planungsprozess, in dem die unterschiedlichen Disziplinen ihre Expertisen effektiver einbringen können. Beispielsweise konnten Informationen wie Fundamentkosten, Wartungszyklen und Leistungsdaten der Windenergieanlagen direkt in die Planungsoberfläche integriert werden, was zu einer präziseren und nachhaltigeren Ressourcenplanung führt.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass die BIM-GIS-Integration im moGI Planner die Qualität und Effizienz der Windparkplanung steigern kann. Die zentrale Datenhaltung und die verbesserten Visualisierungs- und Analysemöglichkeiten schaffen eine flexible und transparente Planungsumgebung, die die Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung von Windparks bildet. Besonders hervorzuheben ist, dass die Kombination dieser Technologien nicht nur die Planungssicherheit erhöht, sondern auch die interdisziplinäre Zusammenarbeit und Kommunikation fördern kann.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Vorher-Nachher-Analyse, welche auf Datenverfügbarkeit basiert verdeutlicht, dass die Einführung eines zentralen Systems zur Datenverarbeitung und -verteilung Vorteile bringt. Der Einsatz des im Rahmen der Diplomarbeit entwickelten Linkmodells hat sich als geeignete Methode erwiesen, um den Datenaustausch zwischen den Disziplinen zu erleichtern und gleichzeitig die Integrität und Genauigkeit der Planungsdaten sicherzustellen. Diese Ergebnisse belegen die Effizienz und das Potenzial der BIM-GIS-Integration in der Windparkplanung und zeigen auf, wie solche Synergien zukünftig genutzt und weiter ausgebaut werden kann um komplexe Projekte effektiver zu planen und umzusetzen.

These:

„Linkmodelle stellen eine geeignete Methode dar, um den Datenaustausch zwischen BIM-Modellen, die für die Konstruktion von Windenergieanlagen verwendet werden und GIS-Tools für Analyseplanung zu ermöglichen.“

Die These, dass "Linkmodelle eine geeignete Methode darstellen, um den Datenaustausch zwischen BIM-Modellen, die für die Konstruktion von Windenergieanlagen verwendet werden, und GIS-Tools für die Analyseplanung zu ermöglichen", wird durch die in der Arbeit durchgeführte Methode bestätigt.

Die Integration von BIM und GIS ermöglicht eine zentrale Datenhaltung, die den Datenaustausch zwischen den Disziplinen erleichtert. Linkmodelle spielen dabei eine entscheidende Rolle, indem sie es ermöglichen, parallele Abfragen sowohl von BIM- als auch GIS-Daten durchzuführen, ohne dass Datenkonvertierungen notwendig sind. Dies ist besonders vorteilhaft bei vielen Variantenplanungen, welche erstellt werden für große Projekten erstellt werden, bei denen der reibungslose und verlustfreie Informationsaustausch zwischen verschiedenen technischen Disziplinen entscheidend ist ohne wertvolle Informationen zu verlieren.

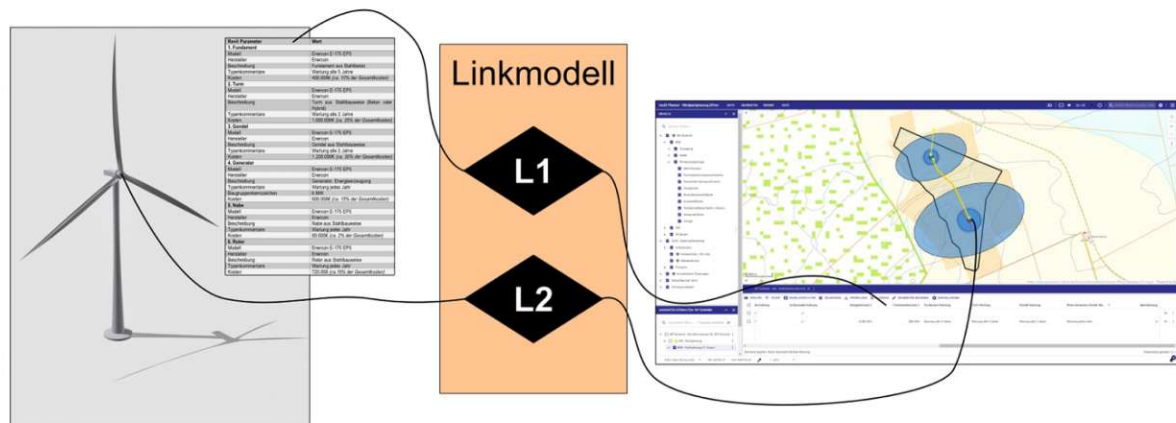


Abbildung 84: Linkmodell zur Verbindung von BIM und GIS. Eigene Abbildung.

Die Implementierung dieses Modells führt zu einer effizienteren Planung, da relevante Informationen wie die geometrische Darstellung und bauspezifische Daten der Windenergieanlagen direkt in die Planungsoberfläche abgerufen werden können. Dies verbessert nicht nur den Informationsaustausch, sondern auch die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren, da alle importierten Planungsdaten in Echtzeit verfügbar sind.

Zusammengefasst belegt das Ergebnis der Arbeit, dass ein Linkmodell eine Methode für den interdisziplinären Datenaustausch in der Windparkplanung ist und somit eine fundierte Grundlage für die These darstellt.

Fragestellung:

„Wie ändert sich die interdisziplinäre Planung mit der BIM-GIS-Integration in moGI Planner?“

Die interdisziplinäre Planung verändert sich durch die BIM-GIS-Integration in den moGI Planner erheblich, indem sie eine engere und effizientere Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Fachdisziplinen ermöglicht. Vor der Integration arbeiteten GIS- und BIM-Akteur: innen häufig getrennt, was zu einem fragmentierten Planungsprozess führte. Mit der Integration sind nun alle relevanten Daten zentral verfügbar und direkt in der Planungsoberfläche zugänglich, was den Informationsaustausch erheblich verbessert. Dies ermöglicht zu den bestehenden traditionell bestehenden Kommunikationsmitteln einen weiteren digitalen Zugang welcher leicht genutzt werden kann.

Durch diese zentrale Datenbasis können Planer: innen aus verschiedenen Disziplinen, wie Bauwesen, Geoinformationssysteme und Energietechnik, gleichzeitig und auf derselben Plattform arbeiten. Dies führt zu einer stärkeren Vernetzung der Arbeitsprozesse, da räumliche und bauspezifische Informationen in Echtzeit ausgetauscht und gemeinsam genutzt werden können. Die verbesserte Visualisierung und Analyse von Projektdaten tragen dazu bei, Planungsfehler zu minimieren und fundiertere Entscheidungen zu treffen.

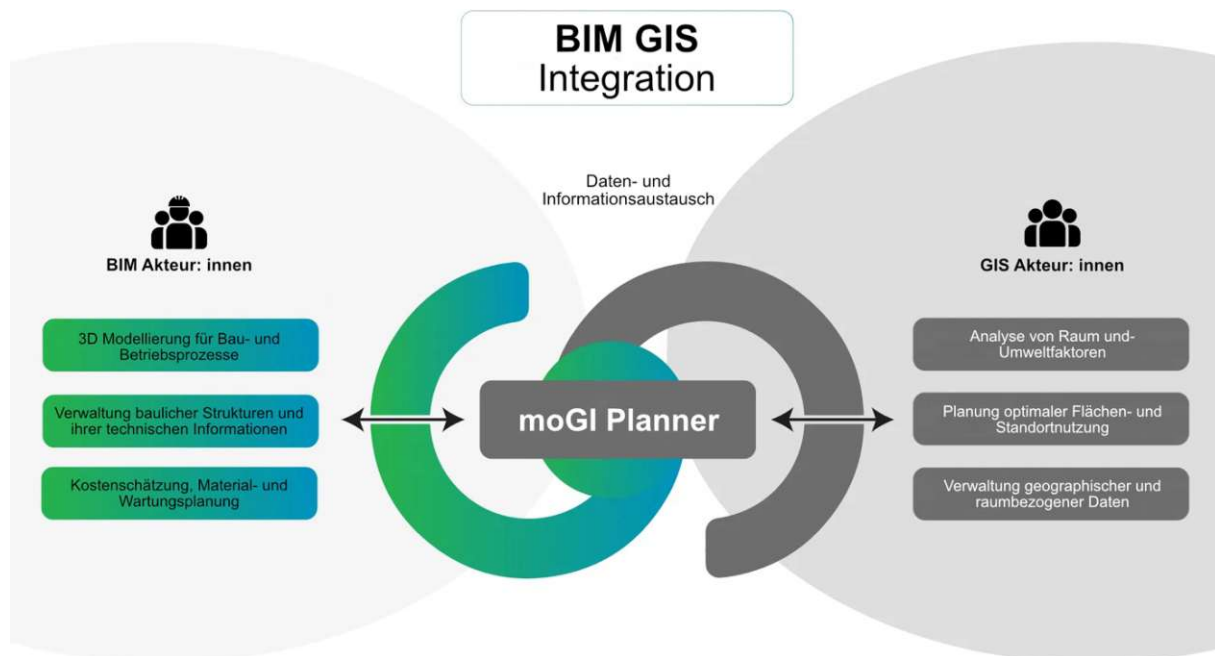


Abbildung 85: Zentrale Datenhaltung in moGI Planner. Eigene Abbildung

Insgesamt fördert die Integration eine kohärentere und koordinierte Planung, die es den verschiedenen Disziplinen ermöglicht, ihre jeweiligen Expertisen effektiver einzubringen und so die Qualität, Effizienz und Nachhaltigkeit der Projekte zu steigern.

6 Ausblick

Die in dieser Arbeit dargestellte Integration von BIM- und GIS-Systemen bietet vielversprechende Ansätze für die zukünftige Windparkplanung. Besonders die Weiterentwicklung hin zu dreidimensionaler Visualisierung ermöglicht es, Planungen noch realistischer und detaillierter darzustellen, was die Kommunikation zwischen den beteiligten Disziplinen erheblich weiter bereichern würde. In der Zukunft könnten diese Modelle nicht nur auf einzelne Windenergieanlagen beschränkt bleiben, sondern eine Vielzahl von Anlagen umfassen, was die Planung von kompletten Windparks in verschiedene Umgebungen noch besser macht.

Gleichzeitig zeigt sich, dass die Qualität der bereitgestellten Attribute und Informationen stark von der Genauigkeit und Detaillierung des ursprünglichen BIM-Modells abhängt. In der Praxis könnte dies zu Abweichungen führen, da nicht immer der gleiche Detaillierungsgrad genutzt wird, wie es in dieser Arbeit demonstriert wurde. Auch die in dieser Arbeit erarbeiteten Schemata und festgelegten Datenfelder sind noch nicht endgültig und könnten in zukünftigen Anwendungen weiter verfeinert, angepasst und erweitert werden. Es ist wichtig zu betonen, dass noch erheblich mehr Informationen in das System integriert werden können. Dies muss jedoch stets auch im Kontext des Datenschutzes und der Datensicherheit betrachtet werden. Die bisherigen Ergebnisse geben bereits einen ersten Einblick in die möglichen zukünftigen Entwicklungen und zeigen, wie die beiden Disziplinen BIM und GIS im Bereich der Windparkplanung enger zusammenwachsen könnten.

Darüber hinaus besteht weiterhin Verbesserungsbedarf an der Benutzeroberfläche des moGI Planners sowie an dem erstellten Plugin, die für die Datenverarbeitung genutzt werden. Diese Verbesserungen können die Bedienbarkeit und die Integration weiterer Funktionen noch weiter optimieren. Denn an dieser Stelle ist ein entscheidender Punkt der Aspekt der Automatisierung. Ein optimierter Workflow würde bedeuten, dass die manuelle Speicherung und der manuelle Import von Daten entfallen. Stattdessen können Daten automatisch über einen Server verarbeitet und direkt in das Planungssystem importiert werden, ohne dass lokale Speicherungen und manuelle Pfadangaben notwendig sind. Dies würde den gesamten Planungsprozess weiter vereinfachen und noch effizienter gestalten. Dieses Ziel wird im Weiteren vom Projekt openBIMbiotop – eeBIM (Fachhochschule Erfurt, 2024; M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2023) verfolgt, in dessen Rahmen diese Arbeit entstand.

Letztlich sollte die Integration von BIM- und GIS-Systemen nicht als Ersatz für bestehende Methoden und Kommunikation gesehen werden, sondern vielmehr als Bereicherung des Planungsprozesses.

Gerade In einer Zeit, in der der Ausbau erneuerbarer Energien unter erheblichem Zeitdruck steht, könnte die entwickelte Methodik zur Beschleunigung wesentlicher Prozesse beitragen. Die politisch forcierte Elektrifizierung von Mobilität und Wärme erfordert eine massive Steigerung des Potenzials für erneuerbare Energien. Nahezu alle EU-Staaten stehen unter Druck, sogenannte „Beschleunigungsgebiete“ zu definieren, in denen Genehmigungs- und Planungsprozesse beschleunigt werden müssen. Hier kann die Integration von BIM und GIS eine zentrale Rolle spielen, indem sie durch erhöhte Effizienz in der Planung sowie präzisere Standortanalysen die Definition und Entwicklung solcher Gebiete optimiert und beschleunigt.

Eine Stärke dieser Methodik liegt in ihrer möglichen Adaption für andere erneuerbare Energieformen wie Solaranlagen, Biomassekraftwerke oder Geothermie. Diese Sektoren operieren derzeit häufig noch mit den gleichen traditionellen Werkzeugen und Kommunikationsmethoden. Die Einführung digitaler und modellbasierter Arbeitsweisen könnte auch in diesen Bereichen den Planungsprozess vereinfachen und beschleunigen, was angesichts des Zeitdrucks in der Energiewende von enormer Bedeutung ist. Eine serielle und praxisorientierte Anwendung dieser Herangehensweise hat das Potenzial, nicht nur die Kommunikation und Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Akteur: innen erheblich zu verbessern, sondern auch die interdisziplinäre Zusammenarbeit insgesamt zu stärken. Dies könnte langfristig zu einem systemischen Wandel in der Planung und Umsetzung erneuerbarer Energien führen.

Die Grundlage, die hier gelegt wurde, zeigt einen möglichen Weg auf, wie durch den intelligenten Einsatz digitaler Planungsmethoden der Ausbau erneuerbarer Energien umgesetzt werden kann. Sie bietet das Potenzial, die interdisziplinäre Zusammenarbeit zu verbessern und mit der begrenzten Ressource Boden langfristig gut umzugehen.

7 Literaturverzeichnis

- Ahmad, A., Maulud, K., & Syed Abdul Rahman, S. A. F. (2024). Method and Use in Implementation of Integration BIM and GIS and Its Potential in the Drainage System Management: A Review. *Jurnal Kejuruteraan*, 36, 487-496. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2024-36\(2\)-10](https://doi.org/10.17576/jkukm-2024-36(2)-10)
- Akademie der Ruhr-Universität. (2024). *KAINE – wissenschaftliche Studie – BIM Basis Online*. Abgerufen am 11.05.2024 von <https://akademie.rub.de/produkt/kaine-bim-basis-online-studie>
- Alfaqih, T. M., & Hassan, M. M. (2016). GIS Cloud: Integration between cloud things and geographic information systems (GIS) opportunities and challenges. *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, 3(5), 360-365.
- Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P., & Ngo, T. (2016a). A BIM-GIS integration method in support of the assessment and 3D visualisation of flood damage to a building. *Journal of Spatial Science*, 61(2), 317-350. <https://doi.org/10.1080/14498596.2016.1189365>
- Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P., & Ngo, T. (2016b). A framework for a microscale flood damage assessment and visualization for a building using BIM–GIS integration. *International Journal of Digital Earth*, 9(4), 363-386. <https://doi.org/10.1080/17538947.2015.1034201>
- Astour, H., & Strotmann, H. (2022). Anwendungsformen von BIM. In H. Astour & H. Strotmann (Eds.), *Lehrbuch Grundlagen der BIM-Arbeitsmethode: Fragen, Übungen, Fallbeispiele* (pp. 33-51). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37239-2_3
- Banfi, F. (2017). BIM ORIENTATION: GRADES OF GENERATION AND INFORMATION FOR DIFFERENT TYPE OF ANALYSIS AND MANAGEMENT PROCESS. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W5, 57-64. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-57-2017>
- Bartels, N., Höper, J., Theißen, S., & Wimmer, R. (2022a). BIM-Anwendungsfälle im nachhaltigen Bauen. In N. Bartels, J. Höper, S. Theißen, & R. Wimmer (Eds.), *Anwendung der BIM-Methode im nachhaltigen Bauen: Status quo von Einsatzmöglichkeiten in der Praxis* (pp. 35-55). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-36502-8_5
- Bartels, N., Höper, J., Theißen, S., & Wimmer, R. (2022b). Building Information Modeling. In N. Bartels, J. Höper, S. Theißen, & R. Wimmer (Eds.), *Anwendung*

- der BIM-Methode im nachhaltigen Bauen: Status quo von Einsatzmöglichkeiten in der Praxis* (pp. 21-29). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-36502-8_3
- Baunetz Wissen. (2024). *Was bedeutet LOD/LOI?* Abgerufen am 19.05.2024 von <https://www.baunetzwissen.de/integrales-planen/fachwissen/modellinhalte/was-bedeutet-lod-loi-5285890>
- Bernard, L., Brauner, J., Mäs, S., & Wiemann, S. (2019). Geodateninfrastrukturen. In M. Sester (Ed.), *Geoinformatik: Handbuch der Geodäsie, herausgegeben von Willi Freeden und Reiner Rummel* (pp. 91-122). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-47096-1_66
- Bhat, M. A., Shah, R. M., & Ahmad, B. (2011). Cloud Computing: A solution to Geographical Information Systems(GIS). *International Journal on Computer Science and Engineering*, 3(2), 594-600.
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2015). *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. Springer-Verlag.
- Bosch, S., & Peyke, G. (2010). Regionalplanerische Einstufung der Wind-energie in Deutschland–Visualisierung konkurrierender Flächennutzungsansprüche an On-und Offshore-Standorten mittels GIS. *Angewandte Geoinformatik*, 450-459.
- buildingSMART Deutschland. (2023). *Whitepaper der buildingSMART-Fachgruppe BIM- und GIS-Integration*. b. Verlag. <https://www.buildingsmart.de>
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. (2021). *basemap.de - Webdienste*. Abgerufen am 19.06.2024 von <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/webdienste/basemap-webdienste.html>
- Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., & Bossanyi, E. (2011). *Wind energy handbook*. John Wiley & Sons.
- Carriveau, R. (2011). *Fundamental and advanced topics in wind power*. BoD–Books on Demand.
- Clemen, C. (2024). *Linkmodelle BIM-GIS-Geodäsie* [Präsentation]. HTW Dresden. Abgerufen am 16.07.2024 von https://ak2.dvw.de/images/ak/ak2/datei/2-3_Laborberichte_aus_den_Hochschulen__Clemen.pdf
- DVW e.V. - Gesellschaft für Geodäsie, G. u. L. R. T. G. e. V. H. (2022). *Leitfaden Geodäsie und BIM, Version 3.1 (2022)* (C. C. Robert Kaden, Robert Seuß, Jörg Blankenbach, Ralf Becker, Andreas Eichhorn, Andreas Donaubauer, Thomas

- H. Kolbe, Ulrich Gruber (verstorben), Ed.). DVW e.V. <https://www.dvw.de/BIM-Leitfaden.pdf>
- Eastman, C. M. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- Ehlers, M. (1997). Fernerkundung und GIS bei Umweltmonitoring und Umweltmanagement. *Geogr. Helv.*, 52(1), 5-10. <https://doi.org/10.5194/gh-52-5-1997>
- EMD International A/S. (2024). *windPRO - Best Software for Wind Farm and PV Project Design*. Retrieved 17.04.2024 from <https://www.emd-international.com/windpro/>
- Enercon Global GmbH. (2024). *Windenergieanlagen von ENERCON | Neues Topmodell E-175 EP5 | Weitere Modelle: E-160 EP5, E-138 EP3, E-82*. Abgerufen am 18.04.2024 von <https://www.enercon.de/de/windanlagen/e-175-ep5>
- ENERCON GmbH. (2022). Die neue E-175 EP5: Effizienz auf neuem Level. *ENERCON wb Magazin*, 2022(2), 16.
- ENERCON GmbH. (2023). *Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5: Wassergefährdende Stoffe*. E. GmbH.
- Esri Deutschland. (2024). *Was ist GIS?* Abgerufen am 17.06.2024 von <https://www.esri.de/de-de/was-ist-gis/uebersicht>
- Everding, D. G., D. D.; Ruff, A. (2023). *Energiestädte*. Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-642-54441-5>
- Fachhochschule Erfurt. (2024). BIM und GIS - bidirektionaler Datenaustausch für die Planung erneuerbarer Energien - eeBIM. Fachhochschule Erfurt. Abgerufen am 03.07.2024 von <https://www.fh-erfurt.de/projekte/bim-und-gis-eebim>
- Fleischmann, G., & Peer, F. J. (2023). Integration von BIM und GIS durch effektives Datenmanagement. In C. Hofstadler & C. Motzko (Eds.), *Agile Digitalisierung im Baubetrieb: Innovative Wege zur Transformation und Best Practices* (pp. 185-194). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-43247-8_9
- Fuchs-Kittowski, F., Abecker, A., Hosenfeld, F., Reineke, A., & Jolk, C. H. (Eds.). (2024). *Umweltinformationssysteme – Digitalisierung im Zeichen des*

- Klimawandels und der Energiewende* (1. Auflage ed.). Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-658-43735-0>.
- Girya, L., & Romanov, K. (2022, September). Possibilities of BIM and GIS in the system for assessing the sustainability of the urban environment. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2632, No. 1). AIP Publishing.
- Goldshteyn, B., & Ritz, E. (2022). Building Information Modeling: Der Leitfaden für die erfolgreiche Implementierung. In C. Jacob & S. Kukovec (Eds.), *Auf dem Weg zu einer nachhaltigen, effizienten und profitablen Wertschöpfung von Gebäuden: Grundlagen – neue Technologien, Innovationen und Digitalisierung – Best Practices* (pp. 213-227). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-34962-2_12
- Grytting, I., Svalestuen, F., Lohne, J., Sommerseth, H., Augdal, S., & Lædre, O. (2017). Use of LoD Decision Plan in BIM-projects. *Procedia Engineering*, 196, 407-414. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.217>
- Göçer, Ö., Hua, Y., & Göçer, K. (2016). A BIM-GIS integrated pre-retrofit model for building data mapping. *Building Simulation*, 9(5), 513-527. <https://doi.org/10.1007/s12273-016-0293-4>
- Hackmann, R., & de Lange, N. Anwendung GIS-gestützter Verfahren in der Stadtentwicklungsplanung. Untersuchung von Versorgungsbereichen durch Netzwerkanalyse auf der Grundlage amtlicher Geobasisdaten (ATKIS und ALK).
- Irlbeck, M. (2017). Digitalisierung und Energie 4.0 – Wie schaffen wir die digitale Energiewende? In O. D. Doleski (Ed.), *Herausforderung Utility 4.0: Wie sich die Energiewirtschaft im Zeitalter der Digitalisierung verändert* (pp. 135-148). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-15737-1_8
- Iringartinger, A. (2022). BIM in der Infrastruktur. In K. Spang (Ed.), *Projektmanagement von Verkehrsinfrastrukturprojekten* (pp. 891-936). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64131-6_20
- Jacob, C., & Kukovec, S. (2022). *Auf dem Weg zu einer nachhaltigen, effizienten und profitablen Wertschöpfung von Gebäuden*. Springer.
- Jarosch, M. (2023). BIM & GIS. In M. Jarosch (Ed.), *Vermessung im Bauwesen: Eine Einführung für Bauingenieure und Architekten* (pp. 283-292). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-8348-2118-8_14

- Jurzitza, R., Buchmann, O., Muerth, M., & Kaden, R. (2024). BIM and GIS-Bidirectional Data Exchange for Renewable Energy Planning.
- Karan, E., Irizarry, J., & Haymaker, J. (2015). BIM and GIS Integration and Interoperability Based on Semantic Web Technology. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30, 04015043. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000519](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000519)
- Kemper, H., & Kemper, G. (2020). Sensor fusion, GIS and AI technologies for disaster management. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 1677-1683.
- Klaus, J. (2023). *Geomatik* (1 ed.). Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-66274-8>
- Krämer, M., Ashworth, S., Härtig, M., May, M., & Schlundt, M. (2022). BIM-Perspektiven im Immobilienbetrieb. In M. May, M. Krämer, & M. Schlundt (Eds.), *BIM im Immobilienbetrieb: Anwendung, Implementierung, Digitalisierungstrends und Fallstudien* (pp. 273-291). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-36266-9_10
- Kubba, S. (2017). Chapter Five - Building Information Modeling (BIM). In S. Kubba (Ed.), *Handbook of Green Building Design and Construction (Second Edition)* (pp. 227-256). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810433-0.00005-8>
- LANDESREGIERUNG, A. D. S. (2020). UVP-Gutachten für das Vorhaben „Windpark Steinriegel III “.
- Lippold, A. (2022). GIS & BIM: *The Benefits of Integration*. Esri ArcGIS Blog. Abgerufen am 16.05.2024 von <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-pro/aec/gis-bim-the-benefits-of-integration/>
- Ma, Z., & Ren, Y. (2017). Integrated Application of BIM and GIS: An Overview. *Procedia Engineering*, 196, 1072-1079. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.064>
- Mangon, N. (n.d.). *Integration von GIS und BIM: Zielsetzung: Planung und Bau von Infrastruktur revolutionieren*. Computer Spezial. Retrieved 16.05.2024 from <https://www.computer-spezial.de/artikel/integration-von-gis-und-bim-3434779.html>
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2010). *Wind energy explained: theory, design and application*. John Wiley & Sons.

- Mika, B., & Goudz, A. (2020). Digitalisierung der Energiewende – Energiewende 2.0. In B. Mika & A. Goudz (Eds.), *Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft: Blockchain als Treiber der Energiewende* (pp. 25-36). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-60568-4_4
- M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH. (2021). M.O.S.S. Firmenbroschüre. In (1. Auflage ed., pp. 31). Taufkirchen, Deutschland: M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH.
- M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH. (2023). eeBIM: BIM-GIS-Kopplung für Erneuerbare Energien. Abgerufen am 16.04.2024 von <https://www.moss.de/2023/08/30/eebim-bim-gis-kopplung-fuer-erneuerbare-energien/>
- M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH. (2024a). *WEGA 10.4.2 Anwenderhandbuch*. M. O. S. S. C. G. S. GmbH.
- M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH. (2024b). *Wind- und Solarparkplanung*. Abgerufen am 16.04.2024 von <https://www.moss.de/wind-solar/>
- M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, Robotic Eyes GmbH, DMT GmbH & Co. KG, Technische Universität Darmstadt, Steinmann-Kauer-Consulting GbR, & Drees & Sommer SE. (2021). *DeepSpaceBIM 4.1: Der digitale Bauassistent der Zukunft. Abschlussbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur*.
- Max Bögl Wind AG. (2023). *Turmkonzept*. Max Bögl Wind AG. Abgerufen am 20.06.2024 unter <https://www.mbrenewables.com/turmkonzept/>
- Messmer, B., & Austen, G. (2020). BIM-Grundlagen. In B. Messmer & G. Austen (Eds.), *BIM – Ein Praxisleitfaden für Geodäten und Ingenieure: Grundwissen für Geodäten und Ingenieure* (pp. 5-27). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-30803-2_2
- Miehlbradt, J. (2023). Geodaten in Geoinformationssystemen verwenden und präsentieren. In J. Klaus (Ed.), *Geomatik: Eine Einführung* (pp. 99-124). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66274-8_4
- Paolini, A., Kollmannsberger, S., & Rank, E. (2019). Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications, and digital planning methods. *Additive Manufacturing*, 30, 100894. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100894>
- Parlow, E., Scherer, D., & Fehrenbach, U. (2010). *Klimaanalyse der Stadt Zürich (KLAZ)*.

- Peng, Y., Lin, J.-R., Zhang, J.-P., & Hu, Z.-Z. (2017). A hybrid data mining approach on BIM-based building operation and maintenance. *Building and Environment*, 126, 483-495. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.030>
- Petzold, F., Schubert, G., Mühlhaus, M., & Seifert, N. (2015). GIS vs. BIM: semantische Modelle in frühen Planungs-und Entwurfsphasen. *Geoinformationssysteme*. Berlin: Wichmann, H, 35-46.
- Rafiee, A., Dias, E., Fruijtier, S., & Scholten, H. (2014). From BIM to Geo-analysis: View Coverage and Shadow Analysis by BIM/GIS Integration. *Procedia Environmental Sciences*, 22, 397-402. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.11.037>
- Resch, B., Sagl, G., Törnros, T., Bachmaier, A., Eggers, J.-B., Herkel, S., Narmsara, S., & Gündra, H. (2014). GIS-Based Planning and Modeling for Renewable Energy: Challenges and Future Research Avenues. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3(2), 662-692. <https://www.mdpi.com/2220-9964/3/2/662>
- Saint-Gobain Weber. (2024). BIM einfach erklärt, für Einsteiger. Abgerufen am 28.04.2024 von <https://www.de.weber/blog/bim-einfach-erklart-fuer-einsteiger>
- Schilling, S., & Clemen, C. (2022). Practical examples on bim-gis integration based on semantic web triplestores. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 211-216.
- Schilling, S., & Clemen, C. (2023). Terraintwin-Microservice Architecture for the Integration of Geodata (GIS) and Building Models (BIM) Using Link Models. *Proceedings of FIG Working Week 2023 Protecting Our World, Conquering New Frontiers*.
- Schreyer, C. P. M. (2015). Building Information Modeling bei Max Bögl. In A. B. M. K. C. K. J. Beetz (Ed.), *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis* (pp. 491-498). Springer Vieweg. https://doi.org/0.1007/978-3-658-05606-3_33
- Sbiti, M., Beladjine, D., Beddiar, K., & Mazari, B. (2022). Leveraging Quantity Surveying Data and BIM to Automate Mechanical and Electrical (M & E) Construction Planning. *Applied Sciences*, 12(9), 4546. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/9/4546>
- Shirowzhan, S., Sepasgozar, S. M. E., Edwards, D. J., Li, H., & Wang, C. (2020). BIM compatibility and its differentiation with interoperability challenges as an

- innovation factor. *Automation in Construction*, 112, 103086.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103086>
- Sliz-Szkliniarz, B., & Vogt, J. (2011). GIS-based approach for the evaluation of wind energy potential: A case study for the Kujawsko–Pomorskie Voivodeship. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1696-1707.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.045>
- Spang, K. (2022). *Projektmanagement von Verkehrsinfrastrukturprojekten*. Springer.
- Taeger, S., & Ulferts, L. (2017). Von Windparks umzingelt-oder nicht?—ein GIS-gestützter Ansatz zur Ermittlung der optisch bedrängenden Wirkung von Windenergieanlagen im Zuge der Regionalplanung. *AGIT Journal Angew. Geoinformatik*, 3, 130-141.
- Tan, Y., Liang, Y., & Zhu, J. (2023). CityGML in the Integration of BIM and the GIS: Challenges and Opportunities. *Buildings*, 13(7), 1758.
<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/7/1758>
- Teizer, J., Wolf, M., Golovina, O., Perschewsk, M., Propach, M., Neges, H.-M., & König, M. (2017). *Internet of Things (IoT) for Integrating Environmental and Localization Data in Building Information Modeling (BIM)*.
<https://doi.org/10.22260/ISARC2017/0084>
- Thiele, J., Wiehe, J., & von Haaren, C. (2021). Dataset: Areas with low and medium spatial vulnerability to a prototype wind turbine. Resource: Areas_with_low_and_medium_spatial_vulnerability.zip. Abgerufen am 18.06.2024 von <https://data.uni-hannover.de/dataset/dataset-areas-with-low-and-medium-spatial-vulnerability-to-a-prototype-wind-turbine>
- Thüringer Landesamt für Umwelt, B. u. N. T. (2024). *Schutzgebiete in Thüringen*. Abgerufen am 19.06.2024 von <https://tlubn.thueringen.de/naturschutz/schutzgebiete>
- Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft. (2024). *Geoportal Thüringen*. Abgerufen am 19.06.2024 von <https://geoportal.thueringen.de>
- Unger, L., Knopf, P., & Monetti, D. (2017). Praxis der Datenerfassung mit Drohnen für GIS und Vermessung. REAL CORP 2017–PANTA RHEI–A World in Constant Motion. Proceedings of 22nd International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society.
- United-BIM. (2024). BIM and GIS Integration Applications & Benefits. Abgerufen am 28.04.2024 von <https://www.united-bim.com/integration-of-bim-gis/>

- Urbansky, F. (2024). Ohne Digitalisierung keine Energiewende. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 48(1), 8-13. <https://doi.org/10.1007/s12398-024-1255-7>
- Vetter, M. (2018). GIS – Das richtige Programm für die Energiewende. In O. Kühne & F. Weber (Eds.), *Bausteine der Energiewende* (pp. 557-569). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-19509-0_28
- Vilgertshofer, S., Amann, J., Willenborg, B., Borrmann, A., & Kolbe, T. (2017). *Linking BIM and GIS Models in Infrastructure by Example of IFC and CityGML*. <https://doi.org/10.1061/9780784480823.017>
- Wahed, M. M. A., Mohammed, N. A. E. M., & Ismaeel, T. S. (2023). Integrating Building Information Modelling and Geographic Information System to Achieve Energy Efficiency in Buildings and Urban Areas. *Green Building & Construction Economics*, 63-79.
- Zink, R., Diepold, F., & Pagany, R. (2012). Wohin mit der Windkraft? Interaktive 3D-Visualisierung mit GIS für eine erfolgreiche Bürgerbeteiligung.
- Zinnöcker, T. (2017). Nachhaltigkeit, Energiewende und Digitalisierung. In A. Hildebrandt & W. Landhäußer (Eds.), *CSR und Digitalisierung: Der digitale Wandel als Chance und Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft* (pp. 201-208). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53202-7_15
- Zhu, J., Chong, H.-Y., Zhao, H., Wu, J., Tan, Y., & Xu, H. (2022). The Application of Graph in BIM/GIS Integration. *Buildings*, 12(12), 2162. <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/12/2162>
- Zhu, J., & Wu, P. (2021). Towards Effective BIM/GIS Data Integration for Smart City by Integrating Computer Graphics Technique. *Remote Sensing*, 13(10), 1889. <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/10/1889>

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	BIM-vernetzte Prozesse und Projektbeteiligte. Aus <i>"BIM einfach erklärt, für Einsteiger"</i> . (Saint-Gobain Weber, 2024).	5
Abbildung 2:	Abgeänderte Darstellung der Funktionsweise von GIS, basierend auf „Was ist GIS?“. (Esri Deutschland, 2024).	9
Abbildung 3:	Planungsoberfläche in moGI Planner. Eigene Abbildung.	14
Abbildung 4:	IT-Integration in der Wind- und Solarparkplanung. Aus <i>"Wind- und Solarparkplanung"</i> . (M.O.S.S. Computer Grafik Systeme GmbH, 2024).	17
Abbildung 5:	Abgeändertes Linkmodell zur Verbindung von BIM, GIS und Geodäsie, basierend auf <i>"Linkmodelle BIM-GIS-Geodäsie"</i> . (Clemen, 2024).	19
Abbildung 6:	KAINE – wissenschaftliche Studie – BIM Basis Online. (Akademie der Ruhr-Universität, 2024).	21
Abbildung 7:	BIM und GIS Integration. Aus <i>"BIM and GIS Integration Applications & Benefits"</i> . (United-BIM, 2024).	22
Abbildung 8:	Praxis Umsetzungsablauf. Eigene Abbildungen.	25
Abbildung 9:	LOD/LOI in BIM-Modellen. Aus <i>"Was bedeutet LOD/LOI?"</i> . (Baunetz Wissen, 2024).	26
Abbildung 10:	Grober Aufbau einer Windenergieanlage. Eigene Abbildung.	28
Abbildung 11:	Komponentenhierarchie der Enercon E-175 EP5. Eigene Abbildung.	29
Abbildung 12:	Modellierung Fundament. Eigene Abbildung.	30
Abbildung 13:	Modellierung Turm. Eigene Abbildung.	31
Abbildung 14:	Modellierung Gondel. Eigene Abbildung.	32
Abbildung 15:	Modellierung Generator. Eigene Abbildung.	33
Abbildung 16:	Modellierung Nabe. Eigene Abbildung.	34
Abbildung 17:	Modellierung Rotor. Eigene Abbildung.	35
Abbildung 18:	Komplettes BIM-Windenergieanlagenmodell. Eigene Abbildung.	37
Abbildung 19:	Standort Demogelände nach Basemap. Eigene Abbildung.	39
Abbildung 20:	Esri SHP-Dateien an der Projektstelle. Eigene Abbildung.	40
Abbildung 21:	Schutzgebiete und Flurstücke im Projektgelände. Eigene Abbildung.	41
Abbildung 22:	Wie Abbildung Schutzgebiete und Flurstücke im Projektgelände mit Weißflächen. Eigene Abbildung.	42
Abbildung 23:	Ausgewählte Projektfläche anhand der Weißfläche. Eigene Abbildung.	42
Abbildung 24:	Auswahlmöglichkeiten in moGI Planner für eine WEA. Eigene Abbildung.	43

<i>Abbildung 25:</i>	Geometrien in moGI Planner für eine WEA. Eigene Abbildung.....	44
<i>Abbildung 26:</i>	Gesetzte Anlagenstandorte im Projektgelände. Eigene Abbildung. .	44
<i>Abbildung 27:</i>	M.O.S.S. Code Abschnitte, Berechnung Rotorüberstreiffläche. Eigene Abbildung.....	46
<i>Abbildung 28:</i>	M.O.S.S. Code Abschnitte, Berechnung Abstandsfläche. Eigene Abbildung.....	46
<i>Abbildung 29:</i>	M.O.S.S. Code Abschnitte, Berechnung Turbulenzellipse. Eigene Abbildung.....	46
<i>Abbildung 30:</i>	Rotorüberstreiffläche, Abstandsfläche und Turbulenzellipse im Projektgelände. Eigene Abbildung.....	47
<i>Abbildung 31:</i>	Finaler Demo Windpark im Projektgelände, Eigene Abbildung.....	47
<i>Abbildung 32:</i>	Layeraufbau des fertigen Windparks in moGI Planner. Eigene Abbildung.....	48
<i>Abbildung 33:</i>	Anlagenkatalogauswahl in moGI Planner. Eigene Abbildung.....	50
<i>Abbildung 34:</i>	Attribute des Windanlagenkatalogs, Eigene Abbildung.....	50
<i>Abbildung 35:</i>	Vervollständigter Auswahlkatalog. Eigene Abbildung.....	51
<i>Abbildung 36:</i>	M.O.S.S. Code Abschnitt, Injektor für WEA-Katalog. Eigene Abbildung.....	51
<i>Abbildung 37:</i>	Finaler Windpark mit Flächenberechnung der E 175 EP5. Eigene Abbildung.....	52
<i>Abbildung 38:</i>	Attributtabelle der Windenergieanlagen in moGI Planner. Eigene Abbildung.....	52
<i>Abbildung 39:</i>	Integration und Clustering von BIM-Informationen für moGI Planner. Eigene Abbildung.....	54
<i>Abbildung 40:</i>	Attributtabelle der WEA aus der Administratoroberfläche. Eigene Abbildung.....	56
<i>Abbildung 41:</i>	Attributtabelle der WEA aus der Administratoroberfläche mit Erweiterung. Eigene Abbildung.	57
<i>Abbildung 42:</i>	Attributtabelle der WEA im Demowindpark. Eigene Abbildung.	58
<i>Abbildung 43:</i>	Erweiterte Attributtabelle der WEA im Demowindpark. Eigene Abbildung.....	58
<i>Abbildung 44:</i>	Datenmodell der WEA im Demowindpark. Eigene Abbildung.	59
<i>Abbildung 45:</i>	Integration und Clustering von BIM-Geometrien für moGI Planner. Eigene Abbildung.....	60
<i>Abbildung 46:</i>	Klasseneigenschaften aus der Administratoroberfläche. Eigene Abbildung.....	61
<i>Abbildung 47:</i>	Ebenen aus der Administratoroberfläche. Eigene Abbildung.	61
<i>Abbildung 48:</i>	Klasseneigenschaften aus der Administratoroberfläche mit Erweiterung. Eigene Abbildung.	62
<i>Abbildung 49:</i>	Ebenen aus der Administratoroberfläche mit Erweiterung. Eigene Abbildung.....	62

<i>Abbildung 50:</i>	Ebenenvergleich der WEA. Eigene Abbildung.	62
<i>Abbildung 51:</i>	Ursprüngliche Planungsoberfläche in moGI Planner. Eigene Abbildungen.....	63
<i>Abbildung 52:</i>	Erweiterte Planungsoberfläche in moGI Planner. Eigene Darstellung.	64
<i>Abbildung 53:</i>	Umsetzung und Aufbau der Verlinkung für moGI Planner. Eigene Abbildung.....	65
<i>Abbildung 54:</i>	Workflow Export nach GeoJSON. Eigene Abbildung.	66
<i>Abbildung 55:</i>	Export Datenmodell der Windenergieanlage als GeoJSON. Eigene Abbildung.....	67
<i>Abbildung 56:</i>	Auslesen der exportierten GeoJSON aus dem WEA-Datenmodell. Eigene Abbildung.....	68
<i>Abbildung 57:</i>	Revit M.O.S.S. Plugin. Eigene Abbildung.....	70
<i>Abbildung 58:</i>	Revit M.O.S.S. Plugin Overview. Eigene Abbildung.....	70
<i>Abbildung 59:</i>	Plugin Code Abschnitt Initialisierung. Eigene Abbildung.	71
<i>Abbildung 60:</i>	Plugin Code Abschnitt Collector, Eigene Abbildung.....	71
<i>Abbildung 61:</i>	Plugin Code Abschnitt Zwischenspeicherung. Eigene Abbildung. ...	72
<i>Abbildung 62:</i>	Plugin Code Abschnitt Auslesen der benötigten Daten. Eigene Abbildung.....	72
<i>Abbildung 63:</i>	Plugin Code Abschnitt Speicherung in GeoJSON. Eigene Abbildung.	73
<i>Abbildung 64:</i>	Plugin Code Abschnitt Zeitstempel Aktualisierung. Eigene Abbildung.	73
<i>Abbildung 65:</i>	Revit Plugin Overview ausgeführt. Eigene Abbildung.	73
<i>Abbildung 66:</i>	Integration der exportierten GeoJSON aus dem WEA-Datenmodell. Eigene Abbildung.....	74
<i>Abbildung 67:</i>	Varianten Verwalten in moGI Planner. Eigene Abbildung.	75
<i>Abbildung 68:</i>	Import Assistent in moGI Planner. Eigene Abbildung.....	76
<i>Abbildung 69:</i>	Import Assistent mit GeoJSON Upload in moGI Planner. Eigene Abbildung.....	76
<i>Abbildung 70:</i>	Finale Integration LOI in moGI Planner. Eigene Abbildung.....	77
<i>Abbildung 71:</i>	Plugin Code Abschnitt Tessellation von Kurven in Koordinatenpunkte. Eigene Abbildung.....	78
<i>Abbildung 72:</i>	Plugin Code Abschnitt Erstellung von LineString-Objekten und GeoJSON-Features. Eigene Abbildung.....	78
<i>Abbildung 73:</i>	Plugin Code Abschnitt Zusammenführung der LineString-Objekte in eine FeatureCollection. Eigene Abbildung.....	78
<i>Abbildung 74:</i>	Plugin Code Abschnitt Konvertierung und Speicherung als GeoJSON. Eigene Abbildung.....	78
<i>Abbildung 75:</i>	Komplettes Datenmodell der Windenergieanlage als GeoJSON. Eigene Abbildung.....	79

<i>Abbildung 76:</i>	Codeausschnitt der GeoJSON-Datei. Eigene Darstellung.	80
<i>Abbildung 77:</i>	Ergebnis LOD - Geometrie in moGI Planner. Eigene Darstellung....	81
<i>Abbildung 78:</i>	Ergebnis LOD – Geometrie mit Zoom in moGI Planner. Eigene Abbildung.....	81
<i>Abbildung 79:</i>	Endergebnis BIM-GIS-Integration in moGI Planner. Eigene Abbildung.	84
<i>Abbildung 80:</i>	Prozess Linkmodell Kopplung. Eigene Abbildung.	84
<i>Abbildung 81:</i>	Vorher nachher Punkt zu Geometrie. Eigene Abbildung.	87
<i>Abbildung 82:</i>	Vergleich Erschließung; variable Fundamentkosten und Wartung. Eigene Abbildung.....	88
<i>Abbildung 83:</i>	Austausch der Fachplanungen über moGI Planner. Eigene Abbildung.	89
<i>Abbildung 84:</i>	Linkmodell zur Verbindung von BIM und GIS. Eigene Abbildung.....	92
<i>Abbildung 85:</i>	Zentrale Datenhaltung in moGI Planner. Eigene Abbildung	93

9 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1:</i>	Fundament LOI. Eigene Tabelle.....	30
<i>Tabelle 2:</i>	Turm LOI. Eigene Tabelle.....	31
<i>Tabelle 3:</i>	Gondel LOI. Eigene Tabelle.	32
<i>Tabelle 4:</i>	Generator LOI. Eigene Tabelle.....	33
<i>Tabelle 5:</i>	Nabe LOI. Eigene Tabelle.	34
<i>Tabelle 6:</i>	Rotor LOI. Eigene Tabelle.	35
<i>Tabelle 7:</i>	IFC 4.0 Schemata Typen der Bauteile. Eigene Tabelle.....	36
<i>Tabelle 8:</i>	Komplettes LOI der Windenergieanlage. Eigene Tabelle.....	38
<i>Tabelle 9:</i>	Gewonnene Datenverfügbarkeit in moGI Planner. Eigene Tabelle. .	86

10 Abkürzungsverzeichnis

BIM	Building Information Modeling
BR	Biosphärenreservate
bzw.	beziehungsweise
CityGML	XML-basiertes Datenformat zur Modellierung und Speicherung von dreidimensionalen Modellen
CSS	Cascading Style Sheets, wird verwendet, um das Design und das Layout von Webseiten zu gestalten
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
FFH	Flora-Fauna-Habitat-Gebiete
FIB	Feuchtgebiete internationaler Bedeutung
GeoJSON	offenes Format zur Darstellung geografischer Daten
GIS	Geoinformationssysteme
HTML	HyperText Markup Language, ist die Sprache, die verwendet wird, um die Struktur und den Inhalt einer Webseite zu definieren
IFC	Industry Foundation Classes, offenes, standardisiertes Datenformat zur Beschreibung von Bauwerksdatenmodellen
IoT	Internet of Things
JavaScript	Programmiersprache
LSG	Landschaftsschutzgebiete
LOD	Level of Detail
LOI	Level of Information
max.	maximal
moGI Planner	webbasierte GIS-Plattform im Bereich erneuerbarer Energien
NNM	Nationale Naturmonumente
sh.	siehe
u./o.Ä.	und/oder Ähnliche/s
WEA	Windenergieanlage
Web-GIS	Web-basiertes Geographisches Informationssystem
WKA	Windkraftanlage
z.B.	zum Beispiel