



Lehrstuhl für Subsurface Engineering

Masterarbeit



Digital Information Engineering am
Beispiel des geologischen und
geotechnischen Baugrundmodells

Johannes Waldhart, BSc

Februar 2023



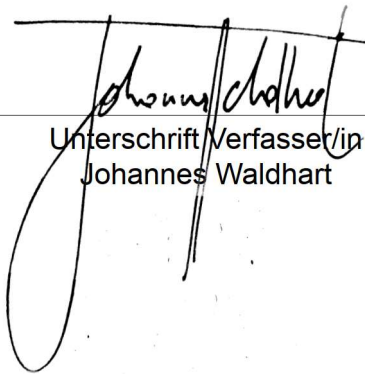
EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 10.02.2023



Unterschrift Verfasser/in
Johannes Waldhart

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich während meines Studiums unterstützt, motiviert und begleitet haben. Im Laufe der Jahre sind es eine Vielzahl an Personen geworden, von denen ich einige namentlich erwähnen möchte.

Dipl.-Ing. Robert Wenighofer, vielen Dank für deine Betreuung sowie den vielen intensiven gemeinsamen Diskussionen. Deine stets konstruktiven Beiträge haben wesentlich zum Erfolg dieser Masterarbeit beigetragen. Bei Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler für das entgegengebrachte Vertrauen während meiner Arbeit an seinem Lehrstuhl sowie für die Möglichkeit die Masterarbeit an diesem zu absolvieren. Ebenso möchte ich mich bei Univ.-Prof. Mag. rer. nat. Dr. mont. Frank Melcher bedanken, für das Ermöglichen dieser interdisziplinären Arbeit.

Bei Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr. techn. Alexandra Mazak-Huemer für die Unterstützung, Expertise und die Initiierung dieser interdisziplinären Arbeit sowie bei Dipl.-Ing. Galina Paskaleva für die Unterstützung bei Fragen zur Daten-Modellierung und der Programmierung des Tools Excel2UML.

Besonders bedanken möchte ich mich bei der DAUB-Arbeitsgruppe Baugrundmodellierung, geleitet von Dipl.-Ing. Wolfgang Fentzloff, für die intensive und bereichernde Zusammenarbeit in den letzten zwei Jahren.

Des Weiteren möchte ich mich bei all meinen Freunden für den außergewöhnlichen Zusammenhalt bedanken und für die besondere Studienzeit in Leoben.

Der größte Dank gilt meiner Freundin Dipl.-Ing. Franziska Reiner sowie meiner gesamten Familie. Ohne euch wäre mein Studium erst gar nicht möglich gewesen. Vielen Dank für eure Unterstützung, eure unendliche Geduld und eurem starken emotionalen Rückhalt während meines gesamten Studiums.

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Es wird ausdrücklich festgehalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Kurzfassung

Das Baugrundinformationsmodell ist die Grundlage aller Planungs- und Bemessungsprozesse eines untertägigen Bauwerks und erstreckt sich über dessen gesamten Lebenszyklus (Planung, Herstellung, Betrieb, Sanierung & Rückbau). Es versteht sich als eigenständiges Fachmodell mit besonders hohem Einfluss auf Zeit und Kosten eines untertägigen Projektes. Das Informationsmodell ermöglicht es verschiedene Sichtweisen auf den Untergrund zu erlangen und kann nach unterschiedlichen Themen klassifiziert werden. Darunter fallen die Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie und Geochemie. Anhand aller vorliegenden Informationen und einer Kombination aus diesen, ermöglicht das Modell aussagekräftige, nachvollziehbare Entscheidungen zu treffen und unterstützt den Auftraggeber und Auftragnehmer in der Prognose, Planung und Dokumentation tatsächlich angetroffener Verhältnisse. Dazu wird eine Datenstruktur benötigt, die den Anforderungen aus der Fachdomäne entsprechen und die Leistungsfähigkeit besitzt, Redundanzen zu minimieren. Gleichzeitig sollte das Modell die Flexibilität besitzen, zukünftige Entwicklungen mit minimalem Aufwand zu implementieren. Im Verlauf dieser Arbeit wurde exemplarisch ein solches Domänenmodell erarbeitet und mit dem Tool Excel2UML automatisiert in eine standardisierte grafische Modellierungssprache (UML) konvertiert.

Abstract

The subsurface information model is the basis of all design and engineering processes of an underground structure and covers its entire life cycle (design, construction, operation, maintenance & deconstruction). It is an independent specialized model with a particularly high influence on the time and cost of an underground project. The information model makes it possible to obtain different views of the subsurface and can be classified according to different subjects. These include geology, geotechnics, hydrogeology and geochemistry. Based on all collected information and a combination of these, the model enables significant, comprehensible decisions to be made and supports the client and contractor in forecasting, planning and documenting the actual conditions encountered. This requires a data structure that meets the requirements of the domain and has the capacity to minimize redundancies. At the same time, the model should have the flexibility to implement future developments with minimal effort. In the course of this work, such a domain model was developed as an exemplary model and automatically converted into a standardized graphical modeling language (UML) using the tool Excel2UML.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Motivation	2
1.1.1	Standardisierung	2
1.1.2	Zeit und Kosten	3
1.1.3	Datenaustausch.....	4
1.2	Problemstellung	5
1.3	Zielsetzung.....	6
1.4	Aufbau	7
2	Building Information Modeling.....	9
2.1	Maturität	9
2.2	Modelltypen.....	11
2.3	Daten.....	14
2.4	Informationsmanagement	15
2.5	Anwendungsfälle	17
2.6	Software.....	18
3	Standardisierungsversuche in den Geowissenschaften.....	21
3.1	BIM4INFRA.....	21
3.2	Deutscher Ausschuss für untertägiges Bauen.....	22
3.3	Deutsche Gesellschaft für Geotechnik	22
3.4	Building Smart International	23
3.5	Schweizer Geologenverband	23
4	Baugrunduntersuchung	24
4.1	Ablauf.....	24
4.2	Geodaten.....	26
4.2.1	Bestehende Geo-Datenmodelle.....	28
4.3	Auswirkungen auf Projektkosten.....	29

5	Entwicklung eines Datenmodells zum Baugrundinformationsmodell	31
5.1	Interdisziplinäre Zusammenarbeit	31
5.2	Datenmodellierung	32
5.3	Unified Modeling Language.....	32
5.3.1	Klassendiagramm	34
5.4	Excel2UML	40
5.4.1	Anwendung	40
5.4.2	Datenmodellierungsmuster	41
6	Baugrundinformationsmodell	45
6.1	Methodik.....	45
6.2	Basisklassen.....	46
6.3	Klassen basierend auf dem Bauobjekt.....	49
6.4	Modellstruktur	51
6.5	Klassen des „GeoDoku Modell“.....	54
6.6	Klassen der „Interpretierten Modelle“	57
7	Anwendungsbeispiel Zentrum am Berg.....	61
7.1	GeoDoku-Modell.....	61
7.2	Geologiemodell	62
8	Ausblick Baugrundinformationsmodell.....	65
9	Herausforderungen der Baugrundmodellierung	66
10	Schlussfolgerung	67
11	Verzeichnisse	68
11.1	Abbildungsverzeichnis	68
11.2	Tabellenverzeichnis	71
12	Literaturverzeichnis.....	72
13	Anhang	77
13.1	Beispiele für BIM fähige Softwareprodukte	77

Glossar

AEC	<i>Architektur, Ingenieur- und Bauwesen</i>
AIA	<i>Auftraggeber-Informationen-Anforderungen</i>
AIM	<i>Architectural Information Model</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
BAP	<i>BIM Abwicklungs Plan</i>
BCF	<i>Building Collaboration Format</i>
BgIM	<i>Baugrundinformationsmodell</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BrIM	<i>Bridge Information Model</i>
bSI	<i>Building Smart International</i>
BSIM	<i>Building services Information Model</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CDE	<i>Common Data Environment</i>
CMM	<i>Capability Maturity Model</i>
CPIC	<i>Construction Project Information Committee</i>
DACH	<i>Region Deutschland, Österreich und Schweiz</i>
DAUB	<i>Deutscher Ausschuss für Unterirdisches Bauen</i>
DGGT	<i>Deutsche Gesellschaft für Geotechnik</i>
DMS	<i>Dokumenten Management System</i>
FIM	<i>Facilities Information Model</i>
GIS	<i>Geoinformationssystem</i>
GML	<i>Geographic Markup Language</i>
GUID	<i>Globally Unique Identifier</i>
HOAI	<i>Honorarordnung für Architekten und Ingenieure</i>
iBIM	<i>Integrated BIM</i>
IDM	<i>Information Delivery Manual</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
IFD	<i>International Framework Dictionary</i>
IT	<i>Informationstechnologie</i>
LoD	<i>Level of Detail</i>
LOIN	<i>Level of Information Need</i>
OGC	<i>Open Geospatial Konsortium</i>
OMG	<i>Object Management Group</i>
SIM	<i>Structural Information Model</i>
SSoI	<i>Single Source of Information</i>
TGA	<i>Technische Gebäude Ausrüstung</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
WCS	<i>Web Coverage Service</i>
WFS	<i>Web Feature Service</i>
WMS	<i>Web Map Service</i>

1 Einleitung

Kenntnisse über die geologischen und geotechnischen Gegebenheiten des Untergrundes, sind signifikant wichtige Ausgangsinformationen für die Planung und Entwicklung jedes Bauvorhabens [1]. Das Risiko in der Bauausführung, die Machbarkeit und die prognostizierten Kosten hängen maßgeblich von den geologischen Gegebenheiten ab. Für die Charakterisierung der Geologie und Geotechnik werden aktuell meist Karten, Schnitte und Berichte verfasst, die in nicht maschinenlesbaren Formaten ausgetauscht werden. Durch Aufkommen der Building Information Modelling (BIM) Methodik in vielen Bereichen der Bauwirtschaft, müssen nun digitale, intelligente Modelle zur Verfügung gestellt werden.

Auch die für die Bereitstellung intelligenter Modelle notwendigen Informationen müssen in der Zukunft nicht nur digital, sondern auch in maschinenlesbaren Formaten aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden. Nur damit kann sichergestellt werden, dass über Filter und mittels entwickelten Abfragesprachen die Daten für die Planung, die Bauausführung und den Betrieb bereitgestellt werden können. In dieser Arbeit wird exemplarisch die Vorgehensweise für die Entwicklung eines strukturierten Datenmodells, anhand des Baugrundinformationsmodells demonstriert. Während der Erstellung dieser Arbeit wurde intensiv mit den Arbeitsgruppen von DAUB (Deutscher Ausschuss für Unterirdisches Bauen) und BuildingSmart International zusammengearbeitet, Datenstrukturen verglichen und homogenisiert. Im Zuge dieser Zusammenarbeit wurden Hindernisse in der domänenspezifischen Arbeitsweise identifiziert und mittels eines prototypischen Tools Lösungen dafür geschaffen. Das dabei entstandene „Excel2UML“-Tool ist ein zentrales Element dieser Masterarbeit und wurde im Rahmen dieser Arbeit umfangreich mitentwickelt und getestet.

Für die vollständige Integration aller Daten aus den unterschiedlichen Domänen Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie und Geochemie, bedarf es eines Datenmodells, welches nicht nur die Beziehungen der Elemente beinhaltet, sondern auch die alphanumerischen Informationen beinhaltet. Dies erfordert ein generisches Modell, um Anpassungen im Laufe der Zeit vornehmen zu können, sowie während der Modellierung die notwendige Flexibilität zu gewährleisten.

Das somit entstehende digitale, intelligente Baugrundinformationsmodell (BgIM) liefert für viele Bereiche in der Baubranche die Grundlage für weitere Planungsprozesse und hat das Potenzial, das Risiko von Beginn an, über den gesamten Lebenszyklus zu minimieren. Mögliche Anwendungen sind die geotechnischen Planungen, Deiche, Schleusen, Kraftwerke, Tunnel-, Bahn- und Straßenbauwerke, als auch klassische Hochbauten.

1.1 Motivation

Fehlende Standards und ein gemeinsames Verständnis der BIM Methodik sind auch heute noch ein großes Problem bei der Umsetzung von Infrastrukturprojekten. Der Untertagebau steht im Vergleich zu anderen Baubranchen noch am Anfang der Digitalisierung und hat gewissen Aufholbedarf. Auch wenn es bereits einige Pilotprojekte gegeben hat, sind die Erfahrungen, welche gesammelt wurden, meist nicht über den gesamten Lebenszyklus verfügbar. Um das volle Potential der BIM Methode zu entfalten, müssen alle Phasen und Stakeholder entlang des Lebenszyklus eines Projekts involviert werden.

Der Infrastrukturbau hat im Vergleich zu anderen Bauprojekten besondere Anforderungen im Hinblick auf Ökonomie und Ökologie. Da die meisten Infrastrukturbauwerke aus der öffentlichen Hand finanziert werden, müssen diese transparent und für folgenden Generationen nachvollziehbar geplant, gebaut und dokumentiert werden. Auch für die Wartung und den Betrieb, haben Daten, die während der Bauphase gesammelt werden, hohes Potential Sperr- und Ausfallzeiten für das Bauwerk zu reduzieren.

Bei der Planung, Bau und Betrieb kommen heute eine Vielzahl unterschiedlicher digitaler Anwendungen zum Einsatz. Diese proprietären Werkzeuge besitzen oftmals nicht alle Voraussetzungen, die für durchgängige Prozesse im Lebenszyklus eines Infrastrukturprojekts benötigt werden. Daher werden von Fachexperten vermehrt in Eigenregie neuartige Werkzeuge entwickelt, um Prozesse effizienter bearbeiten zu können. Oftmals ist eine eingeschränkte Verfügbarkeit von Objekttypen in den proprietären Tools dafür verantwortlich. Die Entwicklung von Datenmodellen für die Umsetzung neuer digitaler Lösungen scheidet jedoch oft an der Kommunikation zwischen den Fachexperten und Softwareentwicklern. Diesem Problem soll mit der Entwicklung eines Werkzeugs für die bessere Kommunikation zwischen Domänenexperten und Informatiker entgegengewirkt werden, um den Softwareentwicklungsprozess effizienter und transparenter für alle Beteiligten zu gestalten.

1.1.1 Standardisierung

Spricht man heute von Standardisierung im Bauwesen, ist meist das offene Datenformat der Industry Foundation Classes (IFC) gemeint, welche von BuildingSmart entwickelt wird [2]. Das IFC Format ist ein weltweit offener Standard für den Austausch von bauwerksbezogenen Daten. Seit der Version IFC4 wurde auch ein offizieller ISO Standard (ISO16739: Industry Foundation Classes) veröffentlicht. Alle Projektbeteiligten können mit diesem Standard Daten

austauschen, sofern die verwendete Softwareanwendung einen Export durch das IFC Datenformat ermöglicht.

Bei der Weiterentwicklung des IFC Standard versucht man die existierenden Elementklassen zu erweitern, um auch anderen Gewerken der Bauindustrie die Möglichkeit, standardisiert Modelldaten austauschen, geben zu können. Eine Reihe von nationalen und internationalen Gremien sind an der Erarbeitung der Standards beteiligt.

Die Baugrundmodellierung zeigt im Vergleich zur Bauwerksmodellierung wesentlich mehr Differenzen als Gemeinsamkeiten, weshalb eine getrennte Bearbeitung der beiden Fachbereiche notwendig wurde. Während beim Bauwerk versucht wird das System so genau als möglich zu modellieren, wird beim Baugrund versucht die beobachteten Gegebenheiten und mögliche Interpretationen davon darzustellen [2]. Dass der Baugrund als eigenes BIM Fachmodell seine Berechtigung hat, darüber wird heute nicht mehr diskutiert. Die Auswirkungen auf Zeit und Kosten sind maßgeblich vom Baugrund beeinflusst und daher muss dieser, so früh als möglich mitgedacht werden [3].

1.1.2 Zeit und Kosten

Die im Lebenszyklus prognostizierten Kosten können entlang eines Zeit-Kosten Diagramms (Abbildung 1) dargestellt werden. Dabei wird ersichtlich, dass vor allem in der Konzeptions- und Planungsphase das größte Potential für die Optimierung der Gesamtkosten liegt [4]. Das BgIM wird bereits in der Konzeptionsphase erstellt und nimmt daher besonders großen Einfluss auf die Kosten und Zeit eines Infrastrukturprojekts. Einsparungen in frühen Projektphasen sollte daher entschlossen entgegengetreten werden, da man auch gegenüber der Bevölkerung die Verantwortung trägt, Infrastrukturprojekte möglichst kosteneffizient zu gestalten. Ein maßgeblicher Faktor für die Kostenentwicklung ist der mit Unsicherheit belegte Baugrund, der ein hohes Risiko für den Projekterfolg darstellt. Moderne Modellierungstools bieten die Möglichkeit, den Baugrund dreidimensional zu beschreiben. Da man aber dadurch nicht ein mehr an Informationen zur Verfügung hat, werden oftmals Inter- und Extrapolationen durchgeführt, was eine gefährliche Scheingenauigkeit zur Folge haben kann.

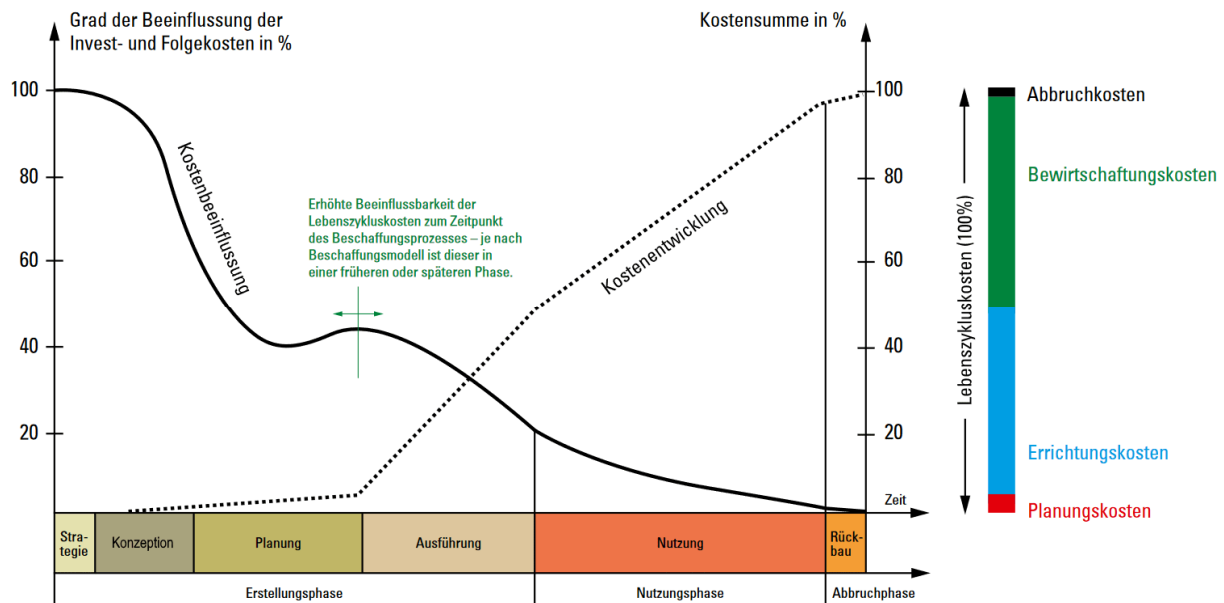


Abbildung 1: Visualisierung der Lebenszykluskosten. Faktoren wie die Kostenbeeinflussung und die Kostenentwicklung betrachtet über den gesamten Lebenszyklus eines Infrastrukturprojektes [4]

Die Wiederverwendung von bereits bestehenden Daten kann einen großen Einfluss auf die Kosten im Lebenszyklus eines Bauwerks haben. Bestandsdaten stehen meist nicht in digitalen maschinenlesbaren Formaten zur Verfügung, daher müssen diese zeit- und kostenintensiv aufbereitet werden. Um in der Zukunft Zeit- und Kosten einzusparen, müssen Daten schnell und einfach zur Verfügung gestellt werden können.

1.1.3 Datenaustausch

Um das volle Potential der BIM Arbeitsweise auszuschöpfen, müssen Daten, welche im Lebenszyklus eines Bauwerks anfallen, jederzeit allen Projektbeteiligten zur Verfügung stehen. Um dies zu ermöglichen, stehen zwei Arten zur Verfügung.

Die offene Schnittstelle erlaubt es, Daten Softwareplattformunabhängig auszutauschen. Dies entspricht dem Gedanken der OpenBIM Arbeitsweise und basiert auf der Idee, Modellstrukturen, Objekte und Merkmale zu standardisieren. Aktuell gibt es keine offiziell anerkannten Standardisierungen für das Baugrundmodell, was zur Folge hat, dass bei der Übergabe von Daten in offenen Formaten ein erheblicher Informationsverlust entsteht. Die wichtigsten Herstellerneutralen Formate, bezogen auf die Geowissenschaften, sind im Kapitel 4.2 tabellarisch erfasst. Proprietäre Schnittstellen erlauben es Daten direkt zwischen Programmen und Systemen auszutauschen, wenn diese die gleichen Formate und Formatversionen unterstützen oder über Plugins miteinander kommunizieren können. Der Vorteil in der direkten Kommunikation

besteht darin, dass es zu geringeren Informationsverlusten kommt und die Intelligenz der Objekte erhalten bleiben. Leider beschränken sich die meisten Hersteller bei der Bereitstellung entsprechender Plugins auf wenige Tools. Diese Entwicklung entspricht nicht dem openBIM Gedanken und führt zu Insellösungen auf dem freien Markt.

Um in der Zukunft offenen Schnittstellen auch für den Baugrund zur Verfügung stellen zu können, bedarf es internationaler Zusammenarbeit in der Erarbeitung von Standards und die Umsetzung der Standards in offene Austauschformate wie zum Beispiel der IFC.

1.2 Problemstellung

Die Bauindustrie befindet sich am Übergang von einer analogen zu einer digitalen Umgebung. Dieser Wandel hat bereits Anfang der 1980er mit dem Beginn kommerzieller Computer Aided Design- (CAD) und Geoinformationssystem- (GIS) Software begonnen. Die Zahl der digitalen Werkzeuge steigt seitdem exponentiell und auch die Komplexität der Produkte nimmt kontinuierlich zu. Durch die Einführung von BIM, hat die Kommunikation mit Softwareentwicklern stark an Priorität gewonnen. Für die Entwicklung von Softwaretools in der Domäne Geologie und Geotechnik ist es unumgänglich, dass Experten der Fachdomänen als auch IT-Spezialisten eng zusammenarbeiten. Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit erfordert eine gemeinsame Kommunikationsbasis, um Anforderungen zu diskutieren und ein gemeinsames Verständnis der Prozesse zu erlangen.

Die Erstellung domänenspezifischer Datenmodelle, ist eine Aufgabe, die nicht allein von Informatikern zu bewältigen ist. Es erfordert eine intensive Zusammenarbeit zwischen Experten aus dem Fachbereich, für welche das Modell entstehen soll, und den Informatikern, die das Modell formal korrekt modellieren. Dies ist ein iterativer Prozess, bei dem jeder Schritt getestet, geprüft und evaluiert wird und im Falle von Problemen wieder ein Schritt zurück gemacht wird.

Bei dieser Zusammenarbeit prallen zwei Welten aufeinander. Der Ingenieur, welcher eine physikalische Sicht auf die Welt und die Systeme hat, sowie der Informatiker, der eine logische Perspektive auf Prozesse und Systeme hat. Auch in der Herangehensweise bei der Lösung von Problemstellungen gibt es differenzierte Methodiken. Der Ingenieur entwickelt ein fertiges Produkt mit einem meist starren Bauplan, während der Informatiker iterative Prozesse beim Entwickeln einer Software verfolgt. Damit verbunden sind auch die finalen Produkte der beiden Domänen. Der Ingenieur verfolgt eine Null Fehler Toleranz, der Informatiker veröffentlicht meist ein Produkt im Entwicklungsstatus und liefert kontinuierlich Updates und Weiterentwicklungen, um agil auf die Anforderungen der Nutzer reagieren zu können.

Grundlegend kann im Bauwesen ein Wandel in der Funktionalität der geplanten Konstruktion erkannt werden. Während früher das Bauwerk selbst im Mittelpunkt gestanden hat, ist heute ein vollvernetztes Produkt gefordert, welches im dahinterliegenden System seine volle Funktionalität ausspielt. Dazu gehören auch die Geologie, Geotechnik und Hydrogeologie, als Basis für den Baugrund. Für die ganzheitliche Umsetzung solcher Systeme sind Ingenieure notwendig, die in der Lage sind, komplexe Wechselwirkungen in den digitalen Systemen zu abstrahieren, ihre technische Umgebung zu verstehen und zu modellieren. Diese Prozesse erfordern ein vertieftes Verständnis in den Ingenieurwissenschaften, als auch in den Grundlagen der Informatik.

1.3 Zielsetzung

Im System Engineering setzt man sich mit Begrifflichkeiten auseinander, da diese das Fundament bei der Kommunikation zwischen unterschiedlichen Stakeholdern sind. Hier spielt der Begriff der Ontologie eine wichtige Rolle. Eine Ontologie beschreibt eine geordnete Menge von Begriffen, deren Beziehung und Bedeutung zueinander. Im fachlichen Kontext kann ein und derselbe Begriff unterschiedliche Bedeutungen haben (BIM-Straßenbahn / BIM-Building Information Modeling). Um dieses Problem zu adressieren, kann eine domänenspezifische Ontologie einen wichtigen Beitrag zum Projekterfolg haben.

Als Ziel dieser Masterarbeit soll ein Domänenmodell entstehen, welches ein Datenmodell bezogen auf die Geologie und Geotechnik in der Unified Modeling Language (UML) beschreibt. Voraussetzung dafür ist ein grundlegendes Verständnis der Modellierungssprache, beim Lesen als auch Entwerfen der Modelle.

Die UML dient zur Planung, Dokumentation und Darstellung von unterschiedlichen Systemen. Entwickler beschreiben damit Prozesse als auch ganzheitliche Systeme. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird vertieft auf unterschiedliche Aspekte der UML Notation eingegangen, besonders auf die verwendeten Klassendiagramme.

Zuletzt wird auf die Herausforderungen bei der interdisziplinären Zusammenarbeit eingegangen und es werden weitere Handlungsfelder in den Domänen Geologie, Geotechnik und Hydrogeologie aufgezeigt.

1.4 Aufbau

Da es sich bei dieser Masterarbeit um eine interdisziplinäre Arbeit handelt, bei der die Domänen Geologie, Geotechnik und Informatik involviert sind, wird auf Grundlagen aller Fachbereiche eingegangen. Notwendig ist dies, durch die Weiterentwicklung der Methodik Building Information Modeling, die auf die Fachbereiche Geologie und Geotechnik angewandt werden soll.

Im Kapitel 2 werden Grundlagen über die generelle Anwendung der BIM Methodik vermittelt. Nachdem diese Methode schrittweise auf neue Domänen übertragen wird, gibt es unterschiedliche Maturitätsstufen auf welche im Kapitel 2.1 eingegangen wird. Für die Organisation der Informationen werden Modellcontainer für die einzelnen Fachbereiche definiert (Bsp.: Hochbaumodell, Tunnelbauwerksmodell, Baugrundmodell). Welche Modelltypen dabei zur Verfügung stehen, wird im Kapitel 2.2 erläutert. Anschließend dazu wird ein Überblick über mögliche Daten in den Modellen gegeben. Im Kapitel 2.4 wird auf die Definition der Informationsanforderungen eingegangen und wie diese in einem BIM Prozess gestaltet werden sollen. Dies betrifft hauptsächlich Auftraggeber, wird aber in der Praxis von Auftragnehmern der einzelnen Gewerke vorbereitet. Abschließend in Kapitel 2 werden unterschiedliche Softwaretypen beleuchtet, welche im BIM Prozess zur Anwendung kommen. Diese unterscheiden sich nicht zwangsweise von Software, die heute in den Domänen zum Einsatz kommen, müssen aber gewisse Voraussetzungen für den Einsatz von BIM erfüllen (z.B.: IFC-Zertifizierung).

Standardisierung ist für den Einsatz von BIM eine wichtige Grundvoraussetzung und daher gibt es mehrere Gremien, die sich dafür einsetzen. Einen Überblick über die im DACH Raum agierenden Gruppen gibt das Kapitel 3.

Für Informatiker ist der Prozess der Baugrunduntersuchung kein alltäglicher, daher gibt das Kapitel 4 einen Überblick über die Prozesse und Phasen der Baugrunderkundung. Das Kapitel 4.1 fasst die Phasen zusammen und gibt einen kurzen Überblick über die darin enthaltenen Leistungen der Geologen und Geotechniker. Welche Web-Services und Datenformate aktuell zum Einsatz kommen wird in Kapitel 4.2 erläutert. Abschließend wird auf die Notwendigkeit und die Auswirkungen auf Zeit und Kosten der Baugrunduntersuchung eingegangen.

Äquivalent zum Kapitel 4, gibt Kapitel 0 einen Überblick über die Methoden und die Vorgangsweise bei der Datenmodellierung. Dieser Abschnitt richtet sich an die Experten der Domäne Geologie und Geotechnik. Herausforderungen in der interdisziplinären Zusammenarbeit werden im Kapitel 5.1 diskutiert. Darauf aufbauend wird der Prozess der Datenmodellierung zusammenfassend erläutert. Anschließend folgt eine Einführung in die objektorientierte

Modellierung mit der Modellierungssprache UML mit den wichtigsten Begrifflichkeiten und dem in dieser Masterarbeit verwendeten Diagrammtyp, dem Klassendiagramm. Um den Entwicklungsprozess von Datenmodellen für Nicht-Informatiker einfacher zu gestalten, kommt ein Tool (Excel2UML) zum Einsatz, welches parallel zu dieser Masterarbeit entwickelt wurde. Im Kapitel 5.4 wird die Anwendung dieses Tools Schritt für Schritt erklärt, um auch in Zukunft reproduzierbare Ergebnisse zu generieren.

Das Kapitel 6 beinhaltet die zentralen Ergebnisse dieser Masterarbeit. Aufbauend auf dem Kenntnisstand der BIM Methode, den Prozessen und Abläufen in der Baugrundmodellierung, sowie den Grundlagen aus dem Software Engineering, wird schrittweise die Datenmodellierung am konkreten Beispiel des Baugrundinformativmodells, basierend auf der ISO-Norm 23387 [5] gezeigt. Die dabei entstandenen Klassendiagramme für Geo-Doku, Geologie, Geotechnik und Hydrogeologie werden anhand der darin enthaltenen Klassen beschrieben.

Als Beispiel und zur Evaluierung der Stand der Technik, wurde anhand des Beispiels Zentrum am Berg, der Forschungs- und Versuchsanlage für untertägiges Bauen der Montanuniversität Leoben ein Geologiemodell erstellt. Eine kurze Zusammenfassung der Modellierung, der verwendeten Daten und Softwaresystemen gibt das Kapitel 7. Aufbauend auf den Kenntnissen, welche in der praktischen Umsetzung erlangt wurden und der Mitarbeit in einschlägigen Arbeitskreisen, wird ein Ausblick für das Baugrundinformativmodell in Kapitel 8 und Herausforderungen im Kapitel 9 gegeben.

2 Building Information Modeling

Unter BIM versteht man eine Methode, bei der alle Projektbeteiligten kollaborativ zusammenarbeiten und dabei von spezieller BIM fähiger Software unterstützt werden. Eine einzige Quelle für Projektinformationen, eine sogenannte „Single Source of Information (SSoI)“, beschreibt eine der zentralen Kernideen hinter der Methode. Alle gemeinsam generierten Daten (siehe Kapitel 2.3) im Lebenszyklus eines Projekts, sollen dabei über ein gemeinsames System allen Projektbeteiligten zur Verfügung gestellt werden. Die Methodik überspannt den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks, von der Projektidee bis zur Bewirtschaftung und dem Rückbau. Sie beschreibt einen neuen, transparenten, kollaborativen Weg für die gemeinschaftliche Erreichung des Ziels.

Für die gesamtheitliche Umsetzung von BIM ist es erforderlich modellbasiert zusammenzuarbeiten. Dazu werden von den Projektbeteiligten Modelle (siehe Kapitel 2.2) entwickelt und die darin enthaltenen Informationen allen zur Verfügung gestellt. Von der BIM Methodik erwartet man sich, den digitalen Wandel in der AEC (Architektur, Ingenieur- und Bauwesen) Industrie zu vollbringen [6].

2.1 Maturität

Um den Implementierungsfortschritt der BIM Methodik innerhalb eines Projekts zu beschreiben, wurden unterschiedliche Reifegradmodelle entwickelt. In der Literatur finden sich eine Reihe von Modellen mit teilweise unterschiedlichen Bewertungsfaktoren. Der Reifegrad eines Projekts hat auch direkten Einfluss auf die umsetzbaren Anwendungsfälle, weshalb es wichtig ist, diesen bereits zu Beginn eines Projekts zu definieren. Bereits im Jahr 2011 hat die britische Regierung ein Reifegradmodell veröffentlicht, mit dem Ziel die Ausgaben im öffentlichen Sektor sowie die CO₂-Emissionen um 20% zu reduzieren [7] (vgl. British Standards Institution und Department for Business, Energy and Industrial Strategy 2019). Im Jahr 2016 sollte der BIM Level 2 (siehe BIM Maturity Model) erreicht werden, welcher auch, jedoch mit einer Verzögerung, erreicht werden konnte.

Capability Maturity Model

1993 entwickelte Paulk et al. [8] das „Capability Maturity Model“ (CMM) um die Fähigkeiten von Softwareentwicklern einschätzen zu können. Im Laufe der Zeit wurde diese Systematik auch für andere Branchen modifiziert und als Metrik zur Einschätzung der Reife verwendet. Die Einteilung erfolgt anhand von 5 Klassen, die die Fähigkeiten eines Unternehmens

beschreiben sollen:

1. Initial Level: Der Prozess kann als ad hoc und gelegentlich sogar als chaotisch beschrieben werden. Nur wenige Prozesse sind definiert und der Erfolg hängt von individuellen Fähigkeiten der Mitarbeiter ab.
2. Repeated Level: Es sind grundlegende Projektmanagementprozesse etabliert um Kosten, Zeit und Nutzen zu dokumentieren. Um ähnliche Prozesse und Aufgaben zu wiederholen, werden Standards etabliert.
3. Defined Level: Standards für Management, Entwicklung und Organisation sind integriert. Alle Prozesse und Aufgaben werden dokumentiert, Leistungszahlen werden erfasst und ausgewertet.
4. Managed Level: Prozesse und Aufgaben werden detailliert dokumentiert, analysiert und kontrolliert.
5. Optimizing Level: Das Unternehmen verbessert kontinuierlich seine Prozesse und Aufgaben anhand von quantitativen Rückmeldungen aus den Prozessen.

Ein höherer Reifegrad setzt verbesserte Fähigkeiten für die Zielerreichung voraus. Die Wahrscheinlichkeit, ein Projekt in der vorgeschriebenen Zeit und Qualität umzusetzen, steigt mit einem höheren Level. Die Durchführung von komplexen Anwendungsfällen korreliert ebenfalls mit steigendem Reifegrad, da die Fähigkeiten von Unternehmen und Mitarbeitern entscheidend sind in der Umsetzung. Sind mehrere Unternehmen an einem Anwendungsfall beteiligt, ist das Unternehmen mit dem niedrigsten Reifegrad ausschlaggebend.

BIM Maturity Model

Bew & Richards [9] entwickelten das britische BIM-Reifegradmodell. Seit seiner ersten Veröffentlichung hat sich das BIM-Reifegradmodell als Hauptbestandteil der britischen BIM Implementierungsstrategie etabliert. Um eine Einteilung für den Fortschritt der BIM Methodik zu ermöglichen, werden „BIM Level“ eingeführt. In der Abbildung 2 werden die vier Reifegrad Stufen grafisch dargestellt.

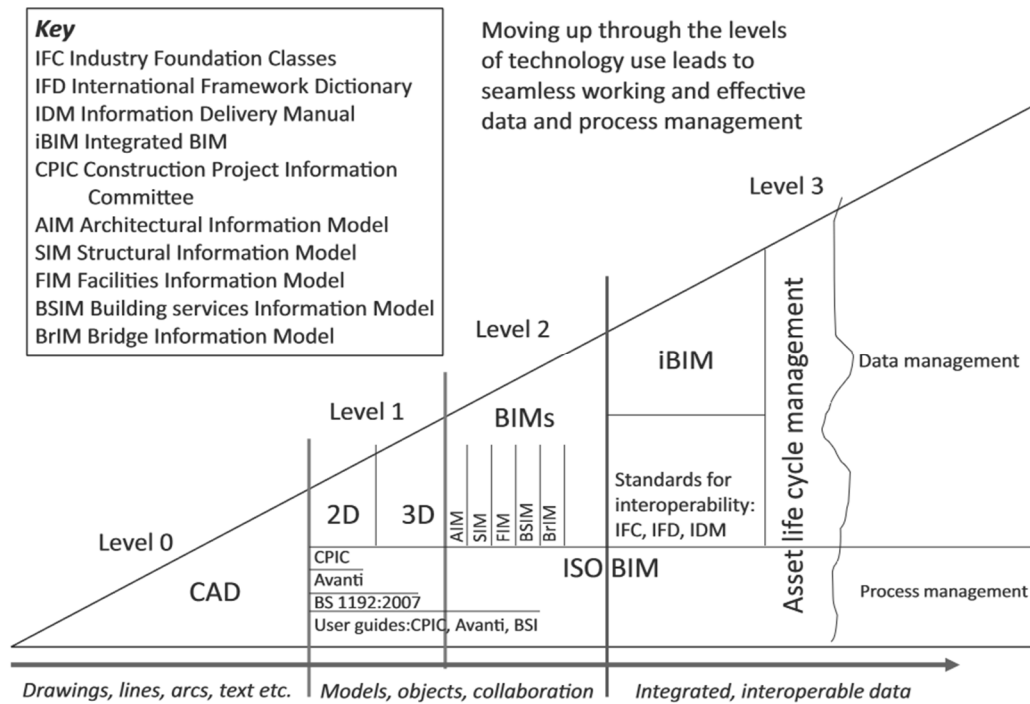


Abbildung 2: Darstellung der BIM Maturity Ramp von Bew & Richards [10] aus dem Jahr 2008.

Unter **Level 0** wird die herkömmliche 2D Planung verstanden. Der Austausch erfolgt sowohl analog (Papier-basiert) als auch digital über etablierte Formate wie pdf.

Level 1 umfasst bereits die Planung von 3D Modellen, jedoch nur für einzelne isolierte Bereiche des Projektes. Der Datenaustausch erfolgt mittels bidirektionalen Austauschs einzelner Dateien. Der Einsatz von Kollaborationsplattformen mit standardisierten Datenstrukturen und Formaten ist kaum vorhanden beziehungsweise nur für wenige Disziplinen verfügbar.

Auf **Level 2** werden bereits 3D Modelle unter Verwendung von CAD-BIM Software erstellt. Jede Disziplin verwendet seine eigenen Softwaretools und arbeitet weitestgehend entkoppelt voneinander. Ein Austausch der Modelle findet unter Verwendung von proprietären Formaten statt (closed BIM). Der Einsatz einer Common Data Environment (CDE) ist nicht ausgeschlossen.

Unter **Level 3** wird ein vollständig offener Prozess mit einem herstellerunabhängigen Datenaustausch verstanden. Dabei kommen Kollaborationsplattformen zum Einsatz die den IFC/IFD Standard unterstützen [10].

2.2 Modelltypen

In diesem Kapitel werden die Modelltypen im Kontext von BIM beschrieben, welche im Kapitel 6.4, bezogen auf den Baugrund, beschrieben werden. Es handelt sich hierbei nicht um

Datenmodelle, sondern um domänenspezifische Modelle und Modellcontainer, welche hierarchisch strukturiert werden.

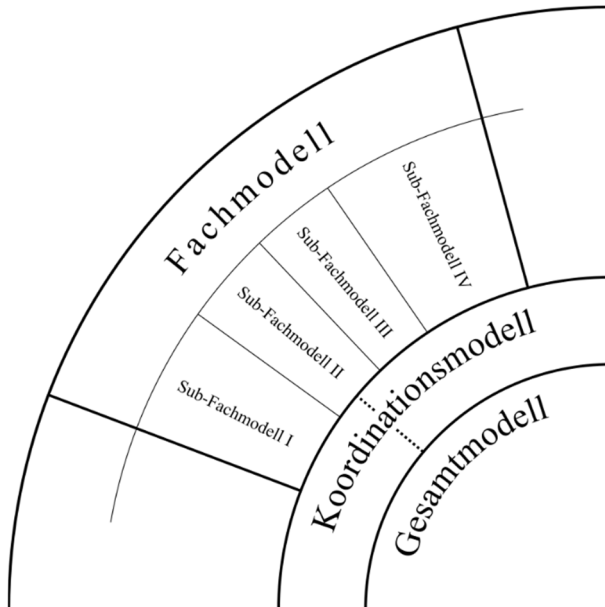


Abbildung 3: Modellstruktur wie sie in dieser Masterthesis verwendet wird. Es existieren unterschiedliche Vorstellungen von Modellhierarchien. Die hier vorgestellte Struktur stellt eine Kombination aus jener der Arbeitsgruppen von DAUB und der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) dar.

1. Gesamtmodell

Das Gesamtmodell ist ein vom Auftraggeber freigegebenes, koordiniertes Modell, welches alle projektbezogenen Fach- und Teilmodelle miteinander vereint. Alle innerhalb der Fachmodelle vorhandenen Daten sind zu einem definierten Meilenstein qualitätsgesichert und geprüft (meist von den entsprechenden Fachkoordinatoren). Gesamtmodelle werden meist am Ende von Planungsphasen erstellt und bilden die Basis für die nächste Projektphase.

Aktuell sind Gesamtmodelle aufgrund von fehlenden Standards, Austauschformaten und Softwarelösungen nicht einfach umzusetzen. Die Sinnhaftigkeit von Gesamtmodellen wird ebenfalls des Öfteren in Frage gestellt, da die Performanz in solch großen Modellen mit der meist zur Verfügung stehenden Hardwareleistung nicht gewährleistet werden kann.

2. Koordinationsmodell

Das Koordinationsmodell (Abbildung 3) ist ein aus unterschiedlichen (Sub-)Fachmodellen zusammengesetztes Kollaborationsmodell, welches die Kommunikation zwischen den Fachgewerken vereinfachen soll. Auf dieser Grundlage können Inkonsistenzen über verschiedene Modelle hinweg kontrolliert und erkannt werden. Der Inhalt eines Koordinationsmodells wird

bestimmt durch seinen Verwendungszweck und dem jeweiligen Fortschritt (Phasen) im Projekt [11]. Primär werden Koordinationsmodelle für die Konsistenzprüfung genutzt. Andere Anwendungsmöglichkeiten sind der Vergleich von Versionen, Varianten oder auch die Überprüfung von Soll-Ist-Vergleichen [12].

In der Veröffentlichung [13] wird äquivalent vom Gesamtmodell gesprochen.

3. Fachmodell

Jedes Gewerk besitzt mindestens ein spezifisches Fachmodell (Abbildung 3). Dieses domänen-spezifische Modell beinhaltet alle Informationen, die vom jeweiligen Fachplaner zur Verfügung gestellt werden. Um Redundanzen in den Modellen zu minimieren, ist es notwendig, dass das Fachmodell ausschließlich aus Fachobjekten zusammengesetzt ist und etwaige andere Objekte als solche gekennzeichnet bzw. lediglich referenziert im Modell enthalten sind.

Um die Fachmodelle später in einem Koordinationsmodell zusammenführen zu können, bedarf es einer gemeinsamen räumlichen Grundlage. Ein gemeinsamer Projektbasispunkt, sowie auch ein gemeinsames Koordinatensystem, werden im BIM Abwicklungsplan (BAP) vorgegeben und auf Einhaltung geprüft [11].

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht das Fachmodell **Baugrund**, andere Beispiele für Fachmodelle sind Vermessung, Bauwerk, Architektur, TGA, Statik, etc.

4. Sub-Fachmodell

Das Sub-Fachmodell ist eine weitere thematische Unterteilung des Fachmodells (Abbildung 3). Es beinhaltet eine Menge an thematischen zusammengehörigen Fachobjekten.

Als Beispiele für den Baugrund sind die Sub-Fachmodelle, GeoDoku-, Geologie-, Geotechnik- und Hydrogeologie Modell zu nennen auf welche im Kapitel 6.4 genauer eingegangen wird [14].

5. Teilmodell

Jedes in der Hierarchie höherstehende Modell kann als Teilmodell definiert werden. Die Notwendigkeit der Entwicklung von Teilmodellen kann zwei Gründe haben. Zum einen die geometrische Ausdehnung und die Informationsdichte. Diese zwei Faktoren können es notwendig machen die Modelle aufgrund von Performanz, Datengröße oder der Übersichtlichkeit zu teilen [11].

2.3 Daten

Da immer mehr Prozesse rein digital abgearbeitet werden und eine Vielzahl an Prozess- und Zustandsdaten gesammelt werden, fallen sehr große Datenmengen an. Im Lauf der Zeit werden Dateien mit unterschiedlichen Versionen und Varianten gespeichert, es werden bilateral Informationen über E-Mail ausgetauscht, Bilder, Skizzen und handgeschriebene Formulare dokumentieren den Baufortschritt, all das erfolgt oft in unstrukturierter und unkoordinierter Form und endet oft als Datenfriedhof.

Um aus diesen Daten einen Mehrwert generieren zu können, bedarf es einer klaren Datenstruktur und Datenschnittstellen, um aus diesen im BIM-Prozess maximalen Nutzen ziehen zu können. So unterschiedlich die einzelnen Daten sind, so ungleich sind auch die Projektbeteiligten und Ihre Perspektiven auf die gesammelten Informationen. Die notwendigen Informationen müssen schnell und in einer maschinenlesbaren Form zur Verfügung gestellt werden können, um möglichst effizient damit arbeiten zu können.

Im Lebenszyklus eines Infrastrukturprojekts fallen viele unterschiedliche Daten an. Sie kann man im BIM-Kontext in folgende Kategorien einteilen:

1. Geometrische Daten (2D- und 3D-CAD Objekte)
2. Alphanumerische Daten (Listen, Textdokumente, Leistungsverzeichnis, etc.)
3. Unstrukturierte Daten (Pläne, Fotos, Berichte, etc.)
4. Berechnungsdaten (Materialmodelle, Numerische Modelle, etc.)
5. Prozessdaten (Terminpläne, Netzpläne, etc.)
6. Kommunikationsdaten (E-Mail, Ticketsysteme, etc.)
7. Sensordaten (Wetterdaten, Punktwolken, Monitoring, Maschinendaten, etc.)

Um Prozesse automatisieren zu können, müssen diese Daten miteinander verknüpft und in eine Beziehung zueinander gesetzt werden. Menschen fällt dies in der Regel sehr leicht, da sie logische Zusammenhänge in den Daten herstellen können. Aus Sicht der Computer ist der fachliche Ursprung der Daten nicht relevant, sie benötigen dafür eindeutige semantische Begriffe, um eine Zuordnung gewährleisten zu können. Dafür müssen Ontologien entwickelt werden, welche die Informationen klassifizieren und die Relationen davon definieren. Bei der Erarbeitung von Ontologien ist auf eine umfängliche Akzeptanz in der Domäne zu achten, damit diese ihren Weg in die Anwendung findet.

Eine Methode, um Daten zu klassifizieren ist die Anreicherung der Daten um Metadaten, die

Ressourcen mit zusätzlichen Informationen beschreiben, um diese z.B. maschinell und automatisiert weiterverarbeiten zu können [6].

2.4 Informationsmanagement

In der ÖNORM EN ISO 19650-1 [15] werden Anforderungen an die Projektinformationen definiert. Die verwendete Sprache in dieser Norm ist eine sehr offene und neutrale, um eine allgemeine Gültigkeit zu erreichen. Diese Norm soll nicht nur für Hochbau-, sondern auch für Tiefbauprojekte angewandt werden. Der Einsatz dieser Norm wird durch nationale Richtlinien und Vorschriften weiter präzisiert, welche in der Normenreihe EN 17412 [16] veröffentlicht sind.

Der Begriff „Informationsbedarfstiefe“ (Level of Information Need), kurz LOIN, wird eingeführt, um die geforderte Informationsleistung zu spezifizieren [16]. Das LOIN Konzept sollte nicht als einfacher Ersatz zum „Level of Detail“ (LoD) Konzept gesehen werden, da innerhalb des LOIN verschiedene Metriken eingesetzt werden können, um die zu liefernden Informationen für Geometrie, alphanumerische Daten und Dokumente individuell zu messen. Die verschiedenen geometrischen und alphanumerischen Daten werden gleichbedeutend behandelt. Ebenso werden die unstrukturierten Daten, Dokumente, behandelt, da sie oft zu den wichtigsten Ergebnissen in Projekten führen. Der Umfang und die Granularität wird dabei von einem spezifischen Anwendungsfall gesteuert. Diesem Anwendungsfall sollte ein Meilenstein oder ein spezifisches Datum zugrunde liegen. Der LOIN sollte in diesem Sinne auch als Basis zur Definition der Informationslieferungen zwischen zwei oder mehr Parteien dienen.

Als Voraussetzung für die Erarbeitung eines LOIN-Konzeptes sollten folgende Punkte (Abbildung 4) beantwortet werden.

<ol style="list-style-type: none"> 1. Zu welchem Zweck wird das BIM-Modell erstellt (z.B. Anwendungsfall)? 2. Zu welchem Meilenstein werden die Inhalte ausgetauscht? 3. Wer ist für die Daten verantwortlich und wer muss mit den Daten weiterarbeiten? 4. Welche Inhalte sind für die Erreichung des Zwecks notwendig (Objekte, Informationen, Dokumente, etc.)? 	
--	--

Abbildung 4: Voraussetzungen für die Definition von speziellem Level of Information Need (LOIN)

Für die Konzeptionierung der Informationsbedarfstiefe, müssen detaillierte Überlegungen zu Geometrie, Information und Dokumentation, wie in Abbildung 5 ersichtlich, gemacht werden.

1. **Detaillierung:** wird der Aspekt der geometrischen Information beschrieben, der die Komplexität der Geometrie im Verhältnis zu seinem realen Objekt vergleicht. Dieser reicht von einer sehr einfachen, symbolischen Darstellung, bis zu einer detailreichen Ausarbeitung.
2. **Dimension:** beschreibt, in wie vielen Dimensionen ein Element dargestellt werden soll. Dies reicht von 0D (Punkt) bis 3D (Volumen). Der Anwendungsfall ist ausschlaggebend für die Wahl der Dimension. Für Vermessungsaufgaben reicht meist eine 2D-Repräsentation.
3. **Platzierung:** gibt an, ob ein Element absolut platziert werden kann, unabhängig von anderen Elementen (Bohrung), oder relativ zu einem anderen Element platziert werden muss (Schichten in der Bohrung).
4. **Visualisierung:** definiert die Anforderungen an ein Element in Bezug auf seine visuellen Eigenschaften (z.B. Oberflächen, Reflexionen, etc. nach dem Rendern).
5. **Parametrik:** beschreibt die Anforderungen an ein Element, ob dieses parametrisch veränderbar sein muss. Ein Element kann nicht, teilweise oder vollständig parametrisch modelliert werden.
6. **Genauigkeit:** der Kontext bestimmt die Definition der Genauigkeit. Je nach Anwendung kann dieser als Präzision (Vermessung) oder auch als Unsicherheit (Geologie) verwendet werden. Ebenso ist die Genauigkeit von der Phase und dem Aufwand, welcher geleistet wird, abhängig. [15]

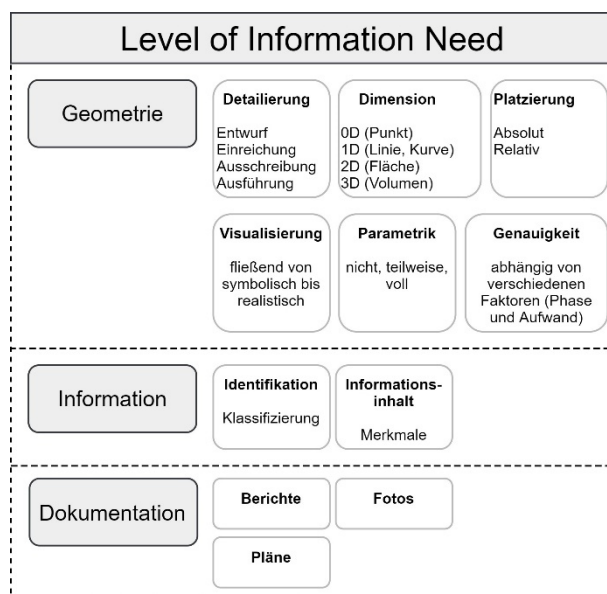


Abbildung 5: Anforderungen bei der Entwicklung von LOINs auf Basis von [15]

2.5 Anwendungsfälle

Durch den Einsatz von BIM soll die Datenqualität eines Projekts gesteigert werden. Damit ist in bestimmten Phasen ein erhöhter Aufwand durch die Erstellung von detaillierten Modellen erforderlich. Damit die Produktivität darunter nicht leidet, sind beim Einsatz von BIM die genauen Ziele individuell an das Projekt anzupassen und zu definieren. Dies geschieht im BIM-Abwicklungs-Plan (BAP) durch die Festlegung der Anwendungsfälle, bezogen auf das Gesamtprojekt. Der Anwendungsfall beschreibt dabei die Anforderungen, die der Auftraggeber an die Durchführung, sowie die Umsetzung der Anforderungen durch den Auftragnehmer hat. Bei der Konkretisierung der Anwendungsfälle muss auch auf die erforderliche Granularität in bestimmten Projektphasen Rücksicht genommen werden. Daraus ergeben sich unterschiedliche Detaillierungsgrade, die meist auch im direkten Verhältnis zum Aufwand der Erstellung der dreidimensionalen Modelle stehen. Bei der Auswahl der projektspezifischen Anwendungsfälle muss ebenfalls auf die Komplexität, Größe und des vorhandenen Wissens im Projektgebiet Rücksicht genommen werden. [17]

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat gemeinsam mit dem Deutschen Institut für Normung (DIN) eine Expertenempfehlung veröffentlicht, die VDI/DIN-EE 2552 Blatt 12.1 [18], welche eine einheitliche Struktur für die Beschreibung von BIM-Anwendungsfällen regelt. Dadurch soll es Auftraggebern ermöglicht werden ihre Projektanforderungen festzulegen. Die Anwendungsfall Beschreibung ist Teil der AIA und dient den Auftragnehmern ihre Leistung im Kontext von BIM besser kalkulieren zu können. Die BIM-Anwendungsfälle beschreiben die zu erwartenden Leistungen, die enthaltenen Informationen und den Austausch der Daten zwischen den Projektbeteiligten [18]. Es wird erwartet, dass durch die standardisierte Beschreibung von Anwendungsfällen eine weitere Harmonisierung im Bausektor ermöglicht wird und man damit einen weiteren Schritt in Richtung durchgehende Digitalisierung der BIM-Prozesse erreicht.

2.6 Software

Wird in einem Projekt vom Auftraggeber die Durchführung mittels der BIM Methodik verlangt, müssen entsprechende Auftraggeber-Informationen-Anforderungen (AIA) bereitgestellt werden. Diese beinhalten unter anderem projektspezifische Vorgaben zum Austausch der Informationen [19], als auch Vorgaben zur Verwendung von BIM-fähigen Softwareprodukten. Generell kann man innerhalb eines BIM Projekts unterschiedliche Softwareprodukte anhand ihres Anwendungsgebiets, als auch anhand deren Funktionalitäten differenzieren. In der Abbildung 6 sind die Kategorien der Softwareprodukte den Modelltypen zugeordnet, jedoch können die Grenzen nicht immer scharf gezogen werden.

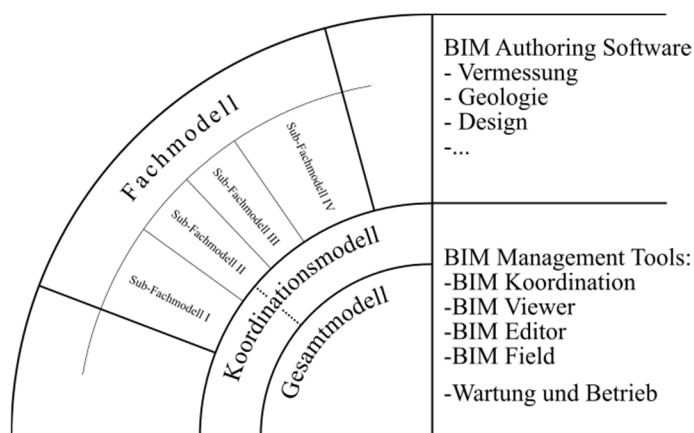


Abbildung 6: Exemplarische Zuordnung von BIM Softwaretypen zu den entsprechenden Modellkategorien. Im Anhang 13.1 ist eine Tabelle mit gängigen Softwareprodukten, die aktuell in der Praxis zum Einsatz kommen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit angehängt.

BIM Authoring Software

Mit diesen Tools werden die digitalen 3D-Modelle erzeugt, die die Basis für die weiteren Anwendungen in der BIM Methodik bilden. Die zu dieser Gruppe gehörenden Tools unterscheiden sich teils grundlegend in ihren Ansätzen, weswegen je nach Zweck die Auswahl sorgfältig getroffen werden muss. Bei der Entscheidung für eine geeignete Software ist besonders auf folgende Funktionalitäten zu achten:

1. Parametrisierung von geometrisch bedingten Attributen
2. Attribuierung von Objekten und Verknüpfung zu Attribut Katalogen
3. Kollaborationsmöglichkeiten im Team
4. Automatisierung von Aufgaben (Skriptfunktionalität)
5. Export in offene Dateiformate und Interoperabilität mit möglichst vielen proprietären Dateiformaten

6. Support und langfristige Verfügbarkeit von Updates
7. Große Community, um Probleme schneller lösen zu können
8. Schnittstellen zu Drittsoftware und Verfügbarkeit einer API

Analysis

Unter Software im Bereich Analysis werden Tools zusammengefasst, die für die Bemessung und Berechnung von Bauteilen Verwendung finden und boden- sowie felsmechanische Nachweise erbringen. Offene Schnittstellen haben auch hier eine große Bedeutung, um dreidimensionale Modelle möglichst ohne Zwischenschritte nutzen zu können. Ein bidirektionaler Austausch zwischen Authoring-Tool und Analysis Software ist erforderlich, um die Ergebnisse direkt in das Modell einfließen lassen zu können. Durch die Verwendung von parametrischen Bauwerksmodellen und einer Kopplung von Authoring und Analysis Software, lassen sich viele Varianten innerhalb kürzester Zeit automatisiert berechnen, mit dem Ziel die wirtschaftlichste Lösung zu finden.

BIM Management Tools

Unter dem Begriff „BIM Management Tools“ werden eine Reihe von Softwareprodukten zusammengefasst, welche je nach Hersteller unterschiedliche Funktionen vereinen. Für die gesamtheitliche Umsetzung der BIM Methodik ist beispielsweise eine virtuelle Projektumgebung erforderlich, um gewerkeübergreifend kollaborativ zusammenzuarbeiten. Um die Anforderungen an eine CDE zu standardisieren, wurde die DIN SPEC 91391 Norm erarbeitet.

Zentrale Aufgabe der CDE ist es, alle Informationen, die im Lebenszyklus eines BIM Projekts anfallen, zentral zu speichern und zu verwalten. Eine fortschrittliche Softwarelösung bietet neben der Verwaltung und Speicherung der Daten auch weitere Funktionen an, um die Projektbeteiligten in Ihrer Arbeit zu unterstützen.

Die zentrale Funktion der CDE umfasst also die Modellzusammenführung (Fachmodelle, Sub-Fachmodell, Teilmodelle) mit all ihren Objekten und Attributen und deren gemeinsame Auswertung (Kollisionskontrolle, Mängelmanagement, Verknüpfungen, etc.). Um die Modelle auch in 3D visualisieren zu können, besitzt eine moderne CDE einen Viewer (IFC Viewer) sowie Funktionen, um die Modelle zu manipulieren (IFC Editor). Um eine gute Navigation im Koordinationsmodell zu gewährleisten, sollten umfangreiche Funktionen für das Filtern von Objekten und Informationen bereitgestellt werden.

Neben den Modellen müssen auch alle relevanten Dokumente in der CDE verwaltet und

gespeichert werden können. Dazu werden meist Funktionalitäten integriert, die aus Dokumenten Management Systemen (DMS) bekannt sind. Die Anreicherung von Dokumenten mit Metainformationen spielt dabei eine wichtige Rolle, um die Produktivität (Auffinden von Dokumenten) und Filtermöglichkeiten zu steigern.

Das Verfolgen und Dokumentieren von Mängeln während der Projektlaufzeit kann ebenfalls eine wichtige Funktion der CDE sein. Die Prüfung der Modelle und Dokumente sollte dabei manuell als auch automatisiert (nach Prüfregelein) erfolgen können. Die Kommunikation der CDE mit BIM to Field Applikationen ermöglichen die Kommunikation zwischen Baustelle und Büro sowie das Verfolgen des Projektfortschritts. Der Austausch von Anmerkungen und Mängeln findet dabei über das von BuildingSmart standardisierte Building Collaboration Format (BCF) statt [12].

Visualisierung

Durch die 3D basierte Planung im BIM Prozess, ergeben sich vielfältige Möglichkeiten für die Visualisierung des Bauwerks. Professionelle Visualisierungstools ermöglichen es, die 3D Modelle für eine realitätsnahe Darstellung aufzubereiten, um daraus ansprechende Präsentationen zu generieren. Wichtige Funktionen für die Auswahl von Visualisierungstools sind folgende:

1. Integration von CAD-BIM Dateiformaten
2. Nodebasierte Systeme zur Materialdarstellung von Oberflächen
3. Cloudrendering

3 Standardisierungsversuche in den Geowissenschaften

In den letzten Jahren kommt es vermehrt zur Gründung von Fachgruppen und Arbeitskreisen, die sich intensiv mit der Weiterentwicklung der BIM Methodik in den Geowissenschaften beschäftigen. Dies hat auch zur Folge, dass es einen Wildwuchs an Standardisierungen gibt und viele Themen gleichzeitig, aber doch mit unterschiedlichem Fokus, behandelt werden. Auch die Problematik der Baugrundmodellierung ist in vielen dieser Arbeitskreise erkannt worden. Da die Gremien zu unterschiedlichen Zeitpunkten ins Leben gerufen worden sind und es auch Differenzen in der Zusammensetzung der Arbeitsgruppenmitglieder gibt, ist es selbstverständlich, dass die Fortschritte und Entwicklungen nicht überall gleich vorankommen. Eine Gemeinsamkeit, die alle Gruppen vereint, ist die Notwendigkeit einer Datenstruktur, die es ihnen ermöglicht, notwendige Informationen in einer strukturierten Art und Weise zu verarbeiten, speichern und auszutauschen.

Die folgenden Gruppen stellen einen Ausschnitt derer dar, die sich in der Vergangenheit, als auch in der Gegenwart mit dem Thema Baugrund im DACH Raum und International (BuildingSmart International) auseinandersetzen.

3.1 BIM4INFRA

Die BIM4INFRA Arbeitsgemeinschaft wurde vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur in Deutschland (BMVI) mit der Umsetzung des BIM-Stufenplans beauftragt. Gestartet wurde im Jahr 2016 mit dem Ziel über zwei Jahre wichtige Voraussetzungen zu schaffen [20]. Dazu gehören:

1. BIM flächendeckend einzusetzen,
2. Begleitung von Pilotprojekten,
3. Erarbeiten von Empfehlungen zur Vertragsgestaltung,
4. Erstellung von Leitfäden und Mustern für die Vergabe und Abwicklung,
5. Definierung von BIM Anwendungsfällen,
6. Schaffung eines einheitlichen Datenstrukturkonzeptes (BIM Bibliothek),
7. Bereitstellung der Informationen und Öffentlichkeitsarbeit.

Die im Teil 6 beschriebenen Anwendungsfälle orientieren sich an der deutschen Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI), daher sind lediglich zwei direkt für das BgIM relevante Anwendungsfälle in der Veröffentlichung von BIM4INFRA genannt [17]. Die Bestandserfassung und die Planungsvariantenuntersuchung.

3.2 Deutscher Ausschuss für untertägiges Bauen

Der Deutsche Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) wurde 1972 als zentrales und unabhängiges nationales Gremium gegründet [21]. Das Konsortium besteht aus Fachleuten, die an der Umsetzung von untertägigen Infrastrukturbauwerken beteiligt sind. Diese bringen Erfahrungen aus der Sicht von Behörden, öffentlichen Auftraggeber, Planern, Wissenschaft und Bauwirtschaft ein.

Im Mai 2019 wurde das Dokument „Empfehlung BIM im Untertagebau“ veröffentlicht [3], in welchem auch Aspekte des Baugrunds Eingang gefunden haben. Darin wurde auf erste Erfahrungen mit der BIM Methodik eingegangen und Empfehlungen daraus abgeleitet. Darauf aufbauend wurde das Dokument „Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten, Modellanforderungen – Teil 1“ im November 2020 veröffentlicht [11].

Seit Juli 2020 bin ich selbst Mitglied in der DAUB Arbeitsgruppe Baugrundmodellierung und habe an der Veröffentlichung [14] als Autor mitgewirkt. Aufgrund dieser Tatsache haben Inhalte, die Teil der neuen Veröffentlichung sind, Einfluss auf die Erarbeitung dieser Masterarbeit genommen, respektive sind auch Ideen, die während der Masterarbeit entstanden sind in die Arbeitsgruppe Baugrundmodellierung zurückgeflossen. Das in dieser Masterthesis entstandene UML-Modell des Baugrundinformationsmodells, gibt die grundsätzliche Modellstruktur, welche in der Arbeitsgruppe von DAUB entstanden ist, wieder. Die Inhalte der einzelnen Sub-Fachmodelle werden im Umfang dieser Masterarbeit nur vereinfacht wiedergegeben, eine detaillierte Beschreibung ist im Teil 3 der BIM Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Untertägiges Bauen zu finden [14].

3.3 Deutsche Gesellschaft für Geotechnik

Die Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT - ehemals DGEG) wurde im Jahr 1950 gegründet mit dem Ziel, Forschungen auf dem Gebiet der Bodenmechanik und des Grundbaus in einer gemeinnützigen Gesellschaft zu fördern. Die Anzahl der Mitglieder umfasst aktuell über 2000 Personen (persönliche Mitglieder, außerordentliche Mitglieder und Förderer). Zusätzlich wird die Fachzeitschrift „Geotechnik“ seit 1978 von der DGGT als offizielles Organ herausgegeben [22].

Im Jahr 2018 wurde der Arbeitskreis 2.14 mit dem Titel „Digitalisierung in der Geotechnik“ gegründet. Mitglieder sind öffentliche Auftraggeber, Spezialtiefbaufirmen, Hochschulen, Ingenieurbüros und Softwareunternehmen [23]. Im März 2021 wurden grundlegende Definitionen

des Fachmodells Baugrund veröffentlicht [13] und im September 2021 folgte die zweite Empfehlung mit den Entwicklungsstufen und den Anforderungen der Attribuierung des Fachmodells Baugrund [24].

3.4 Building Smart International

Building Smart International (bSI) ist ein internationales Gremium, das die digitale Transformation in der Bauindustrie maßgeblich beeinflusst. Die Mitglieder kommen aus allen Bereichen der Bauwirtschaft (Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung), sowie auch aus der Informatik und Softwareentwicklung. Der bSI setzt sich für die Verbesserung und Schaffung von offenen, internationalen Standards ein und setzt dieses mit dem eigens dafür geschaffenen Datenformat, der Industrie Foundations Classes (IFC) um. bSI ist die Dachorganisation und koordiniert die Arbeit zwischen den nationalen und regionalen Gruppen [25].

Im Jahr 2013 wurde der Infrastructure Room gegründet, der sich mit der Entwicklung der notwendigen Erweiterungen für Infrastrukturbauwerke befasst. Darunter fallen die Erweiterungen IFC-Alignment, IFC-Bridge, IFC-Rail, IFC-Road und IFC-Tunnel. Aufgrund der hohen Relevanz von geotechnischen Informationen wurde das Thema Baugrund im Arbeitskreis von IFC-Tunnel behandelt und im Jahr 2020 wurde die erste Version der Anforderungs-Analyse veröffentlicht [26]. Die Arbeitsgruppe IFC-Tunnel beschäftigt sich mit gemeinsamen Elementen des Infrastrukturbereichs, sowie mit geotechnischen Besonderheiten. Der Fokus liegt dabei auf der Interaktion Baugrund und Bauwerk.

3.5 Schweizer Geologenverband

Der Schweizer Geologenverband (CHGEOL) hat ein Innovationsprojekte mit dem Namen „GEOL_BIM“ im Jahr 2019 gestartet und im Jahr 2022 abgeschlossen. Ziel war es raumbezogene geologische Daten aus Geoinformationssystemen und 3D Modelle mit den typischen BIM Bauwerksmodelldaten zu verknüpfen. Das Projektkonsortium umfasste Ingenieurbüros (Planung, Geologie, Geotechnik), öffentliche Auftraggeber, Ämter und Wissenschaftliche Institute [27].

4 Baugrunduntersuchung

Laut ÖNORM EN 1997-1 wird der Baugrund als „Boden, Fels und Auffüllung, die vor Beginn der Baumaßnahme vor Ort vorhanden sind“ definiert [28]. Für die Realisierung von Bauvorhaben, ist es unerlässlich, eine Erkundung des Baugrunds durchzuführen. Der Hauptgrund für die Baugrunduntersuchung ist die Gewinnung von geologisch- und geotechnischen Daten, um eine Charakterisierung des Standorts zu ermöglichen. Um das Risiko bei einem Eingriff in die Geosphäre zu minimieren, sind Kenntnisse der mechanischen, physikalisch-chemischen und hydraulischen Eigenschaften des Untergrundes notwendig.

Das Baugrundmodell wird in der Phase der Konzeption entwickelt und liefert die notwendigen Informationen für die Beurteilung der Machbarkeit und der Variantenuntersuchung. Die erforderliche Informationstiefe und -dichte muss individuell an das Projekt im Hinblick auf Ökonomie und Ökologie angepasst werden. In den Phasen Planung und Umsetzung wächst die Granularität des BgIM mit dem Zuwachs von Informationen weiter und wird in der Nutzungsphase an den Betreiber übergeben. In der Nutzungsphase können damit ein, zum Beispiel, erhöhter Wartungsbedarf mit dem Baugrund in Korrelation gesetzt werden und so die Wirtschaftlichkeit von neuen Projekten besser kalkuliert werden.

Ziel der Baugrunduntersuchung sind die Bereitstellung von qualitativ aussagekräftigen Modellen für die Variantenuntersuchung, Planung- und Ausschreibung, sowie der Minimierung der Gesamtkosten eines Projekts [29].

4.1 Ablauf

Die Entwicklung eines Baugrundmodells folgt einem gewissen Ablauf, welcher je nach vorhandenen Informationen und Wissenstand des Bearbeiters über das Untersuchungsgebiet geringfügig variieren kann. Jeder der folgenden Schritte hat das Ziel, als Basis für weitere Entscheidungen über die Untersuchung des darauffolgenden Schrittes zu dienen. Zu Beginn wird die generelle Machbarkeit des Projektes durch die Voruntersuchung im Projektraum geklärt. Anschließend wird im Rahmen der Promotion mit allen Projektbeteiligten diskutiert und die Finanzierung durch den Auftraggeber sichergestellt. Darauf folgen die Phasen Planung und Ausführung mit der Hauptuntersuchung und den projektbegleitenden Untersuchungen [30].

Voruntersuchung

Die Phasen der ingenieurgeologischen Untersuchung (Abbildung 7) beginnen mit der Voruntersuchung. In einem ersten Schritt werden Bestandsdaten gesichtet, gewertet und aufbereitet

[31]. Geologische Karten, Profilschnitte, Datenbanken, Berichte, Gutachten und viele weitere Quellen können als Informationen herangezogen werden. Dabei ist der Aufwand zur Digitalisierung des Materials nicht zu unterschätzen und die Plausibilität des vorhandenen Materials ist durch eine Begehung im Gelände zu validieren [30]. Bei der Verwendung von historischen Daten müssen auch die Lage- und Höhenbezugssysteme in das projektspezifische Koordinatensystem transformiert werden. Der oberflächennahe Bereich wird im Laufe der Zeit besonders beansprucht (Bebauung, Landwirtschaft, Vegetation, Erosion, etc.), weshalb Daten, die diesen Bereich beschreiben, oftmals nicht mehr der Realität entsprechen.

Auf Grundlage dieser Daten wird ein initiales Modell generiert, das als Basis für die nächsten Schritte der Voruntersuchung herangezogen wird [32]. Darauf aufbauend wird die ingenieur-geologische Kartierung geplant und durchgeführt, bei der geologische, geomorphologische und hydrogeologische Aspekte des Gebietes aufgenommen werden. Aus Beobachtungen der Flora und Fauna können ebenfalls Rückschlüsse auf den Untergrund abgeleitet werden. Erste Index-tests können durchgeführt, sowie Handproben für Laboruntersuchungen genommen werden [30].

Hauptuntersuchung

Anschließend an die Voruntersuchung findet die Hauptuntersuchung (Abbildung 7) statt, bei der natürliche Aufschlüsse um direkte und indirekte Aufschlüsse erweitert werden. Sie wird auf Basis der Voruntersuchung und des zu errichtenden Bauwerks geplant und durchgeführt. In der ÖNORM EN 1997-2 [33] sind Empfehlungen hinsichtlich der Lage und Anzahl von Baugrundaufschlüssen enthalten. Diese sind abhängig von dem Typ des Bauwerks (Hochbauten, Linienbauwerke, Dämme, Einschnitte), von deren geometrischen Besonderheiten und der geplanten Gründungsart (Einzel-, Streifen-, Plattenfundament, Tiefgründungen, etc.).

Bei der Planung der Hauptuntersuchung werden Art, Anzahl, Lage und Endtiefe der Baugrunderkundungen festgelegt [34]. Zu den gängigsten Methoden zählen direkte Aufschlüsse wie Geländeaufschlüsse, Schürfe und Bohrungen sowie indirekte Aufschlüsse wie zum Beispiel Sondierungen.

Jedes Erkundungsprogramm ist mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, da die Erkundungen meist punktuellen Charakter haben. Für die Erstellung des dreidimensionalen Bauwerksmodells ist bereits in der Planung darauf zu achten, die Aufschlüsse so zu wählen, dass Interpolationen zwischen den gesicherten Informationen zulässig sind. In den Bereichen zwischen den Aufschlüssen sind lediglich Prognosen möglich, die mit Unsicherheiten belegt sind. Die Anzahl der

Aufschlüsse und damit auch die Kosten der Hauptuntersuchung, ist von den historischen Daten, dem Bauwerk und der geforderten Qualität des Baugrundmodells abhängig.

Projektbegleitende Dokumentation

Die baubegleitende Dokumentation (Abbildung 7) hat zum Ziel, die angetroffenen Gesteins- und Gebirgseigenschaften zu dokumentieren und dies möglichst objektiv und nachvollziehbar [35]. Dabei werden neben den geologisch-, geotechnisch- und hydrogeologischen Verfahren auch geodätische Messungen in einem definierten Messprogramm durchgeführt. Mithilfe der gewonnenen Informationen werden unter anderem die Modellprognosen geschärft, Gebirgsklassifikationen erstellt, Stützmittelbedarf optimiert, Lösbarkeit des Gebirges bestimmt und Fragen der Arbeitssicherheit beantwortet.

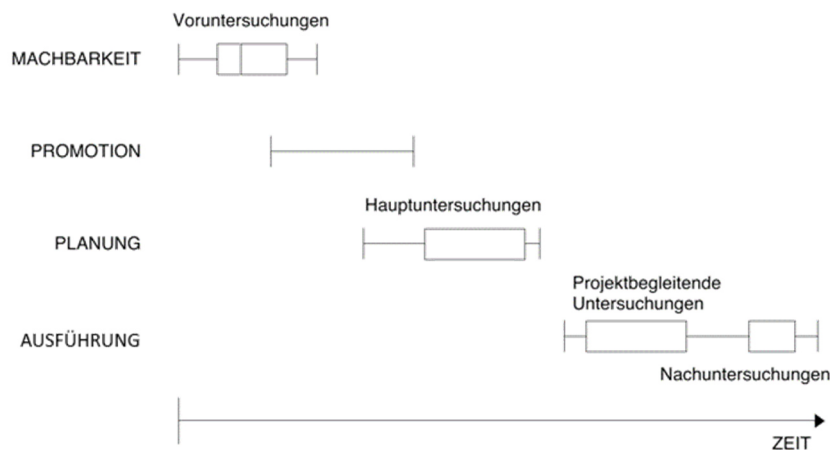


Abbildung 7: Phasen der ingenieurgeologischen Untersuchung nach [36].

Betriebsbegleitende Untersuchung

Auch nach Abschluss der Bauausführung werden betriebsbegleitende Untersuchungen durchgeführt. Diese Maßnahmen sollen prüfen, ob sich der Baugrund wie prognostiziert verhält. Es werden Verformungen und Setzungen gemessen sowie Proben des Grundwasserleiters untersucht [30].

4.2 Geodaten

2-2,5D-GIS Systeme haben sich in den letzten Jahrzehnten stetig weiterentwickelt und es haben sich eine Reihe von Standards etabliert. Die derzeitige Grundlage für den Austausch von Geodaten wurde von Organisationen wie dem Open Geospatial Konsortium (OGC), ISO/TC 211, regierungsnahen Organisationen, der Geoinformationsindustrie und von akademischen Institutionen auf dem Gebiet der Geoinformation erarbeitet.

Das OGC spielt eine wesentliche Rolle bei der Etablierung und Standardisierung neuer Entwicklungen [37]. Ein Beispiel für die Interoperabilität stellt die Geographic Markup Language (GML) dar, sowie für die Datenübertragung die Geodaten Dienste Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS) und Web Coverage Service (WCS) (Tabelle 1).

Standard	Funktion
WCS – Web Coverage Service	Rasterdaten mit detaillierten Beschreibungen (Daten bereit zur direkten weiteren Verarbeitung)
WFS – Web Feature Service	Liefert Vektordaten wie sie in Datenbanken abgelegt werden können (bereit zur direkten weiteren Verarbeitung)
WMS – Web Map Service	Liefert Vektor- und Rasterdaten in einem statischen Kartenbild (nicht zur direkten weiteren Verarbeitung geeignet).

Tabelle 1: Übersicht der Spezifikationen für die Datenübertragung

Eine Reihe weiterer Standards werden aktuell für den Austausch von 2D Geoinformationen eingesetzt, welche auch bei der Entwicklung von Standards für den BIM-Austausch berücksichtigt werden müssen. In Tabelle 2 ist eine Auswahl von Standards, Normen und Austauschformate aufgelistet.

GML	Kodierungsstandards für Geodaten und technische Daten
GeoSciML4.1	Datenmodell und ein Datenübertragungsstandard für geologische Daten
GroundWaterML2	Konzeptionelles und logisches Modell für den Austausch von Grundwasserdaten
CityGML	Anwendungsschema zur Speicherung und zum Austausch von virtuellen 3D-Stadtmodellen
BoreholeML	Borehole Markup Language – Austauschformat für Bohrdaten
ResqML	Datenaustauschstandards für Lagerstättencharakterisierung sowie Erd- und Lagerstättenmodelle
ISO 19156	Schema für Beobachtungen und Messungen
SOS	Webservice zur Abfrage von Echtzeit-Sensordaten sowie von Sensordatenzeitreihen.

SPS	Schnittstelle für die Beauftragung von Beobachtungssensoren
ISO 19115	Geoinformationen - Metadaten (für Datensätze)
ISO 19119	Geoinformationen - Metadaten (für Webdienste)

Tabelle 2: Aktuelle Standards, Normen und Austauschformate die in der Praxis Verwendung finden.

Bei der Entwicklung von BIM Baugrundmodellen ist man hingegen noch nicht ganz so weit. Da sich die benötigten Merkmale bei einem Wandel einer zweidimensionalen zu einer dreidimensionalen Darstellung nicht verändern, beschränkt sich die Hauptaufgabe darauf, notwendige Objekte, die für die Modellierung des Baugrunds relevant sind, zu definieren und Schnittstellen für die Verwendung der bestehenden standardisierten Merkmale zu schaffen.

Für den Aufbau einer für BIM Anwendungen anwendbaren Datenstruktur, sind zumindest folgende Grundlagen notwendig [19]:

- Semantik: Beschreibung der Objekte (teilweise vorhanden, z.B. Bohrung)
- Topologie: Beziehung der Objekte untereinander (teilweise vorhanden z.B. Bodenschichten)
- Merkmale der Objekte (können aus bestehenden Datenbanken übernommen werden)

4.2.1 Bestehende Geo-Datenmodelle

Die Idee, Datenmodelle für die Domäne Geologie zu entwickeln, ist nicht neu. Schon seit Jahren sind nationale und internationale Organisationen daran interessiert, gemeinsame Standards zu entwickeln und über mehrere Anwendungsbereiche zu homogenisieren. Viele Branchen (Raumplaner, Tiefbau, Hochbau, Schutzbauten, Landwirtschaft, etc.) nutzen Geodaten täglich, daher sind auch die Anforderungen an die Verwendung und Bereitstellung der Daten sehr differenziert. Das Ergebnis solcher interdisziplinären Versuche gemeinsame Strukturen zu entwickeln enden meist in konzeptionellen Datenmodellen. Die Anwendung dieser Modelle ermöglicht es standardisierte Datenverwaltungssystem aufzubauen und über Schnittstellen Daten miteinander auszutauschen.

Während in den letzten Jahren das bevorzugte System zum Arbeiten und Austauschen von Geoinformationen GIS Systeme waren, hat sich dies mit der breiten Anwendung der BIM Methodik verändert. Um dieser Entwicklung gerecht zu werden, ist es notwendig, bestehende Datenmodelle zu berücksichtigen (Tabelle 3), um auch in Zukunft einen durchgängigen Austausch von Geofachdaten zu gewährleisten.

Jahr	Bezeichnung	Organisation	Kurzbeschreibung
2022	AGS 4.1.1	AGS	Das AGS-Format wird von vielen Spezialisten im Bereich Geotechnik und Geologie als bevorzugtes Format für den Austausch und die Speicherung von Baugrunduntersuchungsdaten und Monitoring Daten genutzt [38].
v1 - 2022	AGSi Ground Model	AGS	AGSi ist ein Schema und Übertragungsformat für den Austausch von Baugrundmodellen und interpretierten Daten, die in den Bereichen Geotechnik, Geologie, Hydrogeologie und Geo-Umwelt verwendet werden [38].
v3 - 2022	BoreholeML	BGR	Borehole Markup Language - das verständliche und anwendungsbezogene Austauschformat für Bohrdaten [39].
v4 - 2015	GeoSciML	OGC	GeoSciML ist ein Datenmodell und ein Datenübertragungsstandard für geologische Daten - von einfachen Kartendaten bis hin zu komplexen relationalen geologischen Datenbanken [40].
2021	CityGML 3.0	OGC	Der CityGML-Standard ist ein offenes, herstellernerutrales Informationsmodell und Austauschformat für die Darstellung, die Speicherung und den Austausch von virtuellen 3D-Stadtmodellen [40].
2021	IFC4.3	buildingSmart	Die Industry Foundation Classes (IFC) sind ein offener Standard im Bauwesen zur digitalen Beschreibung von Bauwerken (Building Information Modeling) [41].

Tabelle 3: Ausgewählte Datenformate die in den Fachbereichen Geologie und Geotechnik zur Anwendung kommen.

4.3 Auswirkungen auf Projektkosten

Stimmen die in der Prognose vorhergesagten geologischen Verhältnisse nicht mit der Realität überein, hat dies meist empfindliche Auswirkungen auf die Gesamtkosten eines Projekts. Die Planung muss angepasst, der Boden muss ausgetauscht oder der Fels muss mittels Injektionen stabilisiert werden. Natürlich können auch bessere Verhältnisse als prognostiziert angetroffen werden, was jedoch ebenfalls durch Anpassungen im Bauablauf zu Verzögerungen und Mehrkosten führen kann.

Im Verlauf der Baugrunduntersuchung steigen die Kosten mit jedem Arbeitsschritt an. In der Phase der Promotion (Abbildung 7) werden die Ergebnisse der Machbarkeit (Bestandsdaten Auswertung und Voruntersuchung) zusammengefasst und eine Abschätzung über die Kosten der Hauptuntersuchung in einem Bericht offengelegt. Auf dieser Grundlage wird die Entscheidung über die Machbarkeit und weitere Verfolgung des Projekts getroffen. Derzeit geht man davon aus, dass die Vor- und Hauptuntersuchungen weniger als 5% der Gesamtkosten eines Projekts ausmachen [30], meistens sogar nur zwischen 0,5 - 1 % [42]. Aufgrund dieses geringen prozentuellen Anteils an den Gesamtkosten eines Projekts, stehen Einsparungen in der Baugrunduntersuchung in keinem Verhältnis zu dem Nutzen, welches eine qualitativ hochwertige Bewertung der geologischen Verhältnisse mit sich bringt.

Die Hauptuntersuchungen machen in der Regel den größten Teil der Kosten während einer Baugrunduntersuchung aus. In dieser Phase werden unter anderem Schürfe, Schächte, Stollen Bohrungen und Sondierungen hergestellt sowie Proben für Laboruntersuchungen genommen.

Schürfe sind eine verhältnismäßige günstige Methode, um Informationen über den Untergrund zu erlangen, allerdings decken die Informationen, welche aus Schürfen gewonnen werden, nur den oberflächennahen Bereich ab und sind damit für tiefliegende Bauwerke nur bedingt anwendbar. Schächte und Stollen werden meist nur bei großen Bauvorhaben realisiert, da diese kostenintensiver sind. Diese ermöglichen einen direkten Blick in die geologischen Verhältnisse und erlauben die Entnahme von ungestörten Proben für weitere Untersuchungen. Aufgrund der hohen Kosten werden diese meist nach der Erkundung für andere Funktionen wiederverwendet (Entwässerung, Leitungen, Notausgänge, etc.). Da die Kosten von Bohrungen und Sondierungen sehr stark je nach Anforderungen, zu erreichende Tiefe und Methodik variieren, kann hier keine generelle Aussage über die Kosten gemacht werden [30].

5 Entwicklung eines Datenmodells zum Baugrundinformationsmodell

Einleitend zu diesem Kapitel werden die Herausforderungen bei der interdisziplinären Zusammenarbeit während der Erstellung von Datenmodellen adressiert. Die Kommunikation und das korrekte Vermitteln von Anforderungen stehen dabei im Mittelpunkt. Im zweiten Teil wird auf Grundlagen im Software-Engineering eingegangen und Methodiken erläutert. Der dritte Teil behandelt die Grundlagen der objektorientierten Programmierung mittels der Unified Modeling Language, die es unter anderem erlaubt standardisierte Klassendiagramme zu erstellen.

Wie bereits im Kapitel 3 erwähnt, vereint alle Standardisierungsversuche die Notwendigkeit von Datenmodellen, welche die Informationen in einer strukturierten Art und Weise verwalten kann. Um ein solches Datenmodell zu generieren, wurde prototypisch ein Tool entwickelt, welches auch den Domänen Experten ermöglicht, solche Modelle zu entwickeln und an die Domäne Informatik, als erste Grundlage, zu kommunizieren.

5.1 Interdisziplinäre Zusammenarbeit

An der Schnittstelle zwischen dem Domänenexperten und dem IT-Spezialisten kommt es häufig zu Komplikationen in der Kommunikation. Es fehlt an einer gemeinsamen Sprache und dem Verständnis für die jeweils andere Disziplin. Das Ergebnis ist meist ernüchternd und viele Softwareprojekte scheitern an diesem Hindernis. Warum Softwareprojekte scheitern kann sehr unterschiedliche Gründe haben [43]:

1. Die Software wurde nicht rechtzeitig fertiggestellt.
2. Die Kundenwünsche wurden nicht korrekt kommuniziert.
3. Es kommt zu Inkompatibilitäten mit Software des Anwenders.
4. Die Software kommt mit den vorhandenen Hardwareressourcen nicht aus.
5. Der Software fehlt es an Schnittstellen und kann nicht mit vorhandener Drittsoftware kommunizieren.

Um diese Probleme so gut wie möglich zu eliminieren, ist in der Softwareentwicklung besonders auf eine klare und präzise Kommunikation unter den Projektbeteiligten zu achten. In Großprojekten sind oft eine Vielzahl unterschiedlicher Experten mit sehr differenzierten Softwareentwicklungs-Know-how involviert. Hier helfen Modellierungssprachen ein gemeinsames Verständnis über die Anforderungen eines Systems auf einer höheren Abstraktionsebene festzulegen. Im weiteren Verlauf dieser Thesis wird die Modellierungssprache Unified Modelling Language (UML) zum Einsatz kommen, die es ermöglicht Baupläne für komplexe

Softwaresystem und Datenmodelle zu generieren [44]. Dabei sollen die zuvor in Excel definierten Baugrund relevanten Objekte mittels des Tools Excel2UML in ein formalisiertes Klassendiagramm übergeführt werden.

5.2 Datenmodellierung

Die Datenmodellierung gliedert sich in zwei aufeinanderfolgende Prozesse. Die Abstraktion eines realen Systems in ein Datenmodell und die Realisierung bzw. Implementierung [45]. Um ein reales System zu abstrahieren, wird zum Beispiel ein konzeptionelles Modell (Baugrundmodell) mit Hilfe von Klassen, Objekten, Attributen und Beziehungen erstellt. Im zweiten Schritt wird dieses Modell für einen realen Anwendungsfall instanziiert und in einer physikalischen Datei oder Datenbank gespeichert.

Die Klasse ist die Schablone für ein Element der realen Welt. Das Element kann sowohl physischer Natur (Bohrung, Aufschluss, etc.) als auch nicht physischer Natur (Modellraum, Kräfte, etc.) sein. Attribute bilden die Eigenschaften von Elementen ab und besitzen einen Datentyp, der die Art von Information und auch die Speicherung der Information festlegt. Beziehungen unterliegen einem Modellierungskonzept und beschreiben die Abhängigkeit von Klassen und Objekten untereinander.

5.3 Unified Modeling Language

Softwaresysteme werden heute nicht mehr von einzelnen Personen realisiert, sondern vielmehr von Entwicklerteams, die oft über die ganze Welt verteilt arbeiten. Daher muss die Entwicklung von Systemen detailliert dokumentiert werden, damit sie langfristig nachvollziehbar bleibt [43]. Um dies zu ermöglichen, hat man einen Standard entwickelt, der seit 1998 existiert und eine breite Akzeptanz in der Informatikdomäne erzielt hat. Die Unified Modelling Language, kurz UML, vereint unterschiedliche Ansichten und Darstellungsweisen [43]. Hier kann eine Analogie zum klassischen Ingenieur gezogen werden. Geologen entwerfen ebenfalls Schnitte und Karten, um ihre Vorstellungen der geologischen Gegebenheiten zu beschreiben. Dabei bedienen sie sich standardisierter grafischer Zeichen die von allen in der Domäne gelesen und verstanden werden können. Damit der Geowissenschaftler auch mit seinen Auftraggebern kommunizieren kann, bereitet er technisch weniger anspruchsvolle Dokumente, wie zum Beispiel vereinfachte zwei- und dreidimensionale Visualisierungen vor. Mit Hilfe von UML wird der gleiche Ansatz verfolgt, mit dem Unterschied der gemeinsamen Zusammenarbeit bei der Entwicklung von Softwaresystemen.

Die Object Management Group (OMG) ist ein nicht gewinnorientiertes Unternehmen, welche für den Modellierungsstandard UML verantwortlich ist. Diese definiert den Zweck von UML folgendermaßen:

The OMG's Unified Modeling Language™ (UML®) helps you specify, visualize, and document models of software systems, including their structure and design, in a way that meets all of these requirements. (You can use UML for business modeling and modeling of other non-software systems too.) Using any one of the large number of UML-based tools on the market, you can analyze your future application's requirements and design a solution that meets them, representing the results using UML 2.0's thirteen standard diagram types [46].

Bei der Unified Modeling Language (UML) handelt es sich also um eine visuelle Modellierungssprache, um die Architektur, das Design und die Implementierung von komplexen Systemen darzustellen.

Die UML ist unabhängig von Entwicklungswerkzeugen, Programmiersprachen und Plattformen, auf welcher das modellierte System eingesetzt werden soll. UML trennt die Modellierungssprache und die Modellierungsmethode, welche daher projektspezifisch oder unternehmensspezifisch festgelegt werden kann. Da sich die Sprachkonzepte von UML über den gesamten Softwareentwicklungsprozess einsetzen lassen, wird ein iterativer Prozess ermöglicht [44].

UML wird hauptsächlich in der objektorientierten Software-Entwicklung eingesetzt, welche auf dem Konzept basiert, dass alles ein Objekt ist. Damit lassen sich physische Systeme als auch virtuelle System elegant modellieren. Dazu gibt es in der UML verschiedene Diagrammarten, welche die Struktur und das Verhalten von unterschiedlichen Systemen und darin enthaltenen Objekten beschreiben können. Für die Systementwicklung kommen dabei drei unterschiedliche Modellkonzepte zum Einsatz.

1. Funktionale: Beschreiben Systeme aus der Sicht des Benutzers.
2. Objekt: Beschreiben das System mithilfe von Objekten, Attribute, Assoziationen und Vorgänge.
3. Dynamische: Beschreiben das interne Verhalten von Systemen mittels Interaktionen, Zustände und Aktivitäten.

Um diese Systemmodelle zu visualisieren, gibt es innerhalb der UML zwei Arten von Diagrammarten, die Struktur- und die Verhaltensdiagramme (Abbildung 8).

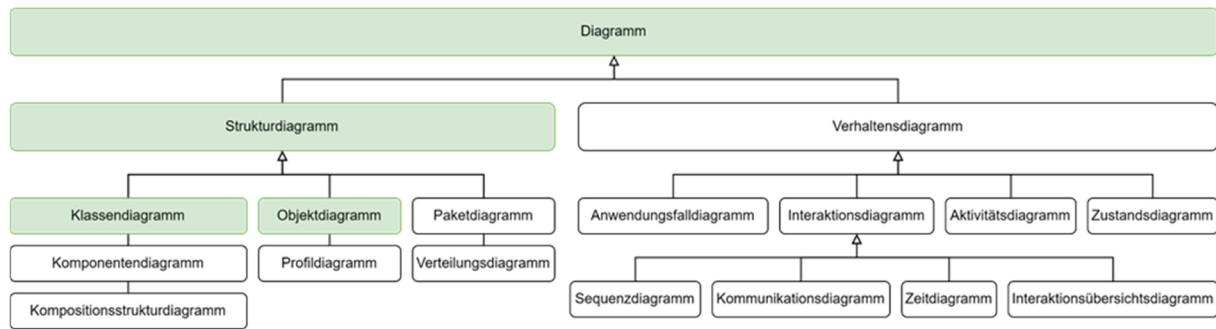


Abbildung 8: Taxonomie der möglichen Diagrammtypen in UML. Es wird zwischen Strukturdiagrammen und Verhaltensdiagrammen unterschieden. In grün hinterlegt, sind die für diese Masterthesis relevanten Diagramme farblich markiert. Abbildung verändert nach [44].

Als Strukturdiagramme werden Diagramme bezeichnet, die eine statische Komponente eines Systems modellieren, bei der sich zwar die Daten aber nicht die Strukturen der Elemente und ihre Beziehungen untereinander verändern. Die Verhaltensdiagramme ermöglichen das zeitabhängige Verhalten von allgemeinen Systemen zu beschreiben. Für die Modellierung des Datenmodells Baugrund werden zwei Arten der Strukturdiagramme verwendet, das Objektdiagramm und das Klassendiagramm. Das Klassendiagramm beinhaltet statische Modellelemente wie Klassen, Typen, deren Inhalt und Beziehungstypen, wohingegen das Objektdiagramm als konkrete Instanz eines Klassendiagramms zu einem bestimmten Zeitpunkt verstanden werden kann [44].

5.3.1 Klassendiagramm

Das Klassendiagramm beschreibt den strukturellen Aspekt eines Systems auf Typebene in Form von Klassen, Interfaces und Beziehungen. In diesem Kapitel werden Grundlagen für das Entwerfen von Klassendiagrammen gegeben, basierend auf dem Lehrbuch UML @ Classroom aus dem Jahr 2012 von Martina Seidl, Marion Brandsteidl, Christian Huemer und Gerti Kappel [44].

Objekte

Das Objekt ist einzigartig im Projekt und kommt selten allein vor. Normalerweise interagiert und kommuniziert es mit anderen Objekten, diese Beziehungen werden als Links dargestellt. Man kann beim Objekt zwischen seinem Zustand und seinem Verhalten unterscheiden. Der Zustand wird durch konkrete Werte in seinen Attributen wiedergegeben und ist zeitlich veränderlich. Sein Verhalten wird in der Regel nicht dargestellt, da dies für alle Objekte derselben Klasse ident ist. Der generelle Aufbau eines Objekts folgt dem einer Klasse, welcher im

nächsten Abschnitt beschrieben wird.

Klasse

Eine Klasse in UML kann als eine Art Schablone gesehen werden. Die Klasse stellt alle notwendigen Attribute und Operationen zur Verfügung, die ein instanziiertes Objekt der Klasse verwenden kann.

Die Klasse (Abbildung 9) wird als Rechteck dargestellt und durch horizontale Striche in verschiedene Bereiche gegliedert. Der erste Abschnitt beinhaltet den Klassennamen, welcher einzigartig im Projekt sein muss. Im Allgemeinen wird der erste Buchstabe der Klasse groß, zentriert und fett geschrieben. Der Name kann dabei frei gewählt werden, sollte aber domänen-spezifisch gewählt werden.

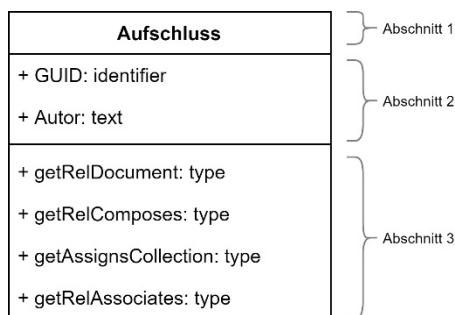


Abbildung 9: Aufbau einer Klasse in der Unified Modelling Language. Abschnitte werden durch eine horizontale Linie voneinander begrenzt. Abschnitt 1 zeigt den Namen der Klasse. Abschnitt 2 die Attribute der Klasse und Abschnitt 3 die enthaltenen Methoden der Klasse.

Im Abschnitt 2 werden die Attribute der Klasse aufgelistet. Attribute werden üblicherweise linksbündig ausgerichtet und müssen nicht zwingend vorhanden sein. Der Aufbau von Attributen wird im Folgenden genauer erläutert.

Der dritte und somit letzte Teil der Klasse ist reserviert für die Methoden. Diese werden ebenfalls linksbündig dargestellt und sind optional.

Die Fülle von Attributen und Methoden sind in der Regel abhängig vom Entwicklungsstand des Projekts und können laufend erweitert werden. Die Reduktion auf notwendige Informationen für den jeweiligen Einsatz ist empfehlenswert, um die Komplexität von Diagrammen zu minimieren.

Attribute

Ein Attribut wird durch zumindest einen Namen definiert, die vollständige mögliche Syntax zeigt die Abbildung 10.

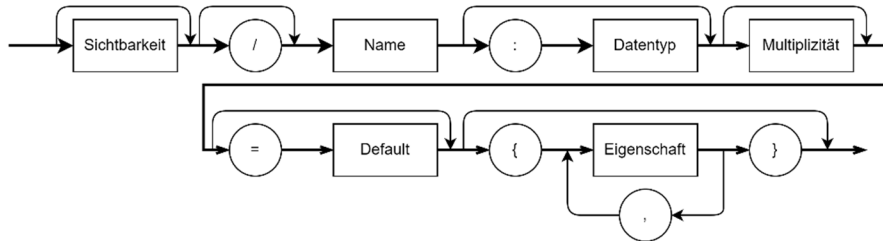


Abbildung 10: Vollständige Syntax die ein Attribut annehmen kann.

Die Sichtbarkeit bestimmt, ob ein Attribut öffentlich (public) oder privat ist. Dies regelt, ob ein anderes Objekt dieses Attribut einsehen, bzw. bearbeiten darf. Der Name des Attributs muss einzigartig in der Klasse sein und wird durch einen Datentyp definiert. Der Datentyp wird durch ein „:“ vom Attributnamen getrennt. Eine detaillierte Beschreibung zu möglichen Ausprägungen von Datentypen folgt. Nach dem Datentyp wird die Multiplizität definiert. Diese gibt Auskunft über die Anzahl von Werten, die das Attribut annehmen kann. Ebenso kann ein Standardwert (Default-Wert) definiert werden. Diesem geht ein „=“ Zeichen voraus, dahinter steht der voreingestellte Wert.

Datentyp

Um die mögliche Ausprägung eines Attributs zu definieren, werden ihm Datentypen zugewiesen. Der Aufbau der Datentyp-Definition verhält sich ähnlich dem einer Klasse, mit der Ergänzung eines Schlüsselwortes über dem Namen. Normalerweise werden die Felder Attribute und Operationen ausgeblendet, außer sie werden zur Modellierung strukturierter Datentypen benötigt. Neben dem Datentyp „datatype“ existiert noch der „Primitive-Datentyp“ und der „Aufzählungsdatentyp“ (enumeration).

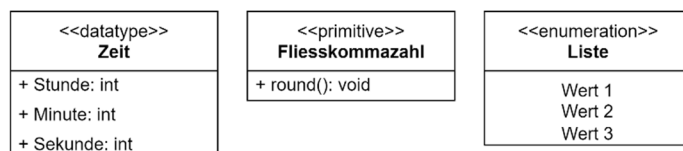


Abbildung 11: Darstellung der UML Repräsentation von Datentypen. (a) datatype (b) primitive Datentypen (c) enumeration - Aufzählungs Datentyp

Der Datentyp „datatype“ kann eine interne Struktur beinhalten (Abbildung 11a) welche mit Hilfe von Attributen aufgebaut werden kann. Der Aufbau von Attributen ist gleich dem bei

Klassen.

Der primitive Datentyp (Abbildung 11b) kann vier Grundtypen annehmen, die jedoch auch mit benutzerdefinierten Datentypen erweitert werden können. Zu den vier Grundtypen zählen:

- Boolean: bezeichnet einen logischen Wahrheitswert. Dieser kann den Wert „true“ für wahr und „false“ für nicht wahr annehmen. Zum Beispiel kann dieser Datentyp für das Abfragen eines aktiven Sensors verwendet werden.
- Integer: steht für die Darstellung von ganzzahligen numerischen Werten.
- UnlimitedNature: wird für die Darstellung von natürlichen Zahlen, inklusive der Werte „Null“ und „unendlich“ verwendet.
- String: wird verwendet, um Zeichenketten darzustellen. Diese können Buchstaben, Zahlen und Sonderzeichen oder auch eine Kombination aus diesen sein.

Mit dem Datentyp „enumeration“ (Abbildung 11c) können Aufzählungen verwirklicht werden. Das damit ausgestattete Attribut kann lediglich vordefinierte Werte annehmen, die im Datentyp vordefiniert wurden.

Multiplizität

Durch die Angabe von Multiplizitäten kann bestimmt werden, wie viele Werte ein Attribut annehmen kann. Für die Angabe der Multiplizität werden eckige Klammern verwendet. Zwischen den Klammern wird der Wertebereich definiert. Der Wertebereich muss dabei von natürlichen Zahlen bestimmt werden, der Minimum Wert muss logischerweise kleiner als der maximale Wert sein. Sollte es keine obere Grenze geben, wird dies durch einen „*“ ausgedrückt. Beispiele zu Wertebereiche sind in der Tabelle 4 aufgeführt.

Beispiel 1	[0..1]	Attribut kann keinen oder 1 Wert annehmen.
Beispiel 2	[1..*]	Attribut hat mindestens 1 und maximale unendlich viele Werte.
Beispiel 3	[3]	Attribut hat exakt 3 Werte.
Beispiel 4	[0..*]	Attribut kann 0 bis unendlich viele Werte annehmen.

Tabelle 4: Beispiel zur Angabe von Multiplizitäten.

Operationen

Eine Operation (oft auch Methode genannt) wird durch ihren Namen, Parameter und den Typ des Rückgabewerts definiert. Das Klassendiagramm ist nicht geeignet, um das Verhalten von

Objekten im Detail zu beschreiben, dazu gibt es in der UML andere Diagramme, z.B. das Aktivitätsdiagramm. Im Klassendiagramm werden die Namen von Operationen genannt, sowie in Klammer eine Liste ihrer Parameter. Parameter werden ähnlich wie Attribute definiert und können in drei Verhaltenstypen gegliedert werden:

- In-Parameter: Bei Verwendung der Operation wird ein Wert verlangt.
- Out-Parameter: Nach Verwendung der Operation wird ein Wert erwartet.
- In-Out-Parameter: Es handelt sich um eine Kombination aus Ein- und Ausgabewert.

Assoziationen

Eine Assoziation, auch Links genannt, beschreibt mögliche Beziehungen zwischen Klassen oder auch Instanzen der Klassen. Sie definiert, welche Objekte miteinander kommunizieren können. Besitzen die Attribute und Operationen, der jeweiligen Klassen die entsprechende Sichtbarkeit, können die Kommunikationspartner auf diese zugreifen. Im Klassendiagramm können die Klassen als Knoten und die Assoziationen als Kanten wie in einem Graphen verstanden werden.

Als binäre Assoziation wird eine Beziehung zwischen zwei Instanzen verstanden. In der UML-Notation werden drei unterschiedliche Verhaltensbeziehungen unterschieden. Die Assoziation, Aggregation und Komposition. Um die unterschiedliche Beziehung in einem UML-Modell hervorzuheben, besitzt jede eine eigene grafische Notation (Abbildung 12).

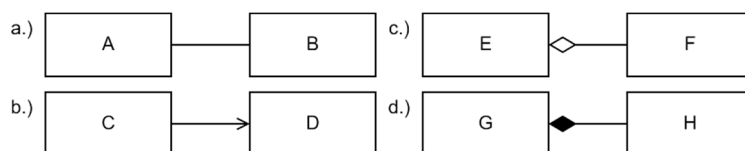


Abbildung 12: UML-Notation der unterschiedlichen Beziehungen (a) Assoziation (b) gerichtete Assoziation (c) Aggregation (d) Komposition.

- Die Assoziation zeigt an, dass zwischen zwei Objekten eine Beziehung existiert. Sie gibt jedoch keine Auskunft über deren genaues Verhalten.
- Unter einer gerichteten Assoziation versteht man eine allgemeine Assoziation, die mit einer Richtung versehen wurde. Die Richtung wird mit einer Pfeilspitze versehen.
- In der UML ist die Aggregation ein Sonderfall der Assoziation. Sie wird mithilfe einer unausgefüllten Raute symbolisiert. Sie definiert die Beziehung zwischen einem Ganzen und einem Teil davon, jedoch ohne Existenzabhängigkeiten. Im konkreten Beispiel kann „F“ existieren auch ohne „E“. „F“ kann auch von anderen Objekten/Instanzen

angesprochen werden.

- d.) Auch die Komposition ist ein Sonderfall der Aggregation. Diese Beziehung wird mithilfe einer ausgefüllten Raute dargestellt. Sie definiert die Beziehung zwischen einem Ganzen und einem Teil davon, inklusiv einer Existenzabhängigkeit. Die Existenz von einem Teil kann nicht gleichzeitig von zwei Objekten abhängig sein. Im konkreten Beispiel kann „H“ nicht ohne „G“ existieren. Gleichzeitig kann „H“ auch von keinen anderen Objekten/Instanzen abhängig sind.

Vererbung

Die Vererbung ist eine zentrale Funktion der Objektorientierung. Sie kommt bei der Modellierung von Klassen zum Einsatz und wird innerhalb von Klassendiagrammen genutzt. Die Attribute und Methoden einer definierten Klasse, können dabei an eine andere Klasse vererbt werden. Die Klasse, welche die Attribute und Methoden zur Verfügung stellt, wird Oberklasse (auch Superklasse, Basisklasse, Mutterklasse) genannt, die erbende Klasse Unterklasse. Diese Beziehung besteht dauerhaft, jedoch kann die erbende Klasse weitere Attribute und Methoden besitzen. Die Oberklasse kann somit auch als Verallgemeinerung oder Generalisierung der abgeleiteten Klassen verstanden werden. In der UML Notation wird die Vererbungsbeziehung durch einen Pfeil mit dreieckiger Spitze dargestellt wie in der Abbildung 13 ersichtlich [44].

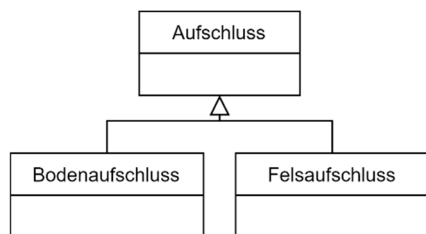


Abbildung 13: Beispielhafte Darstellung einer Vererbungsbeziehung. Die Klassen „Bodenaufschluss“ und „Felsaufschluss“ erben von derselben Klasse „Aufschluss“.

5.4 Excel2UML

Das Tool „Excel2UML“ soll dabei helfen, die in der Einleitung angesprochenen Fehlerquellen zu minimieren und dem Domänenexperten die Möglichkeit geben, in seiner bekannten Arbeitsumgebung an der Entwicklung von Softwaresystemen teilzunehmen. Ebenso soll das Tool dem Domänenexperten die Informationsverwaltung erleichtern, in dem dieser strukturiert an der Erarbeitung von Lösungen teilnehmen kann. Da Excel unter den Ingenieurdisziplinen ein weit verbreitetes Tool ist, soll dem Experten auch die Möglichkeit gegeben werden, damit die Anforderungen an den Informationsaustausch definieren zu können.

Excel2UML bietet mehrere Vorteile in der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Fachexperten und Informatikern. Durch die einzigartige Kombination von Excel-Tabellenblättern und UML-Diagrammen kann das Tool Excel2UML als Lernwerkzeug als auch zur tabellarischen Modellierung von Klassendiagrammen eingesetzt werden. Die grafische Darstellung erleichtert menschlichen Akteuren die Verifikation der Datenmodelle und fördert die Kommunikation zwischen den beteiligten Parteien. Der intensive Austausch in frühen Phasen der Entwicklung ermöglicht es Fehlerquellen frühzeitig zu erkennen und zu beheben.

5.4.1 Anwendung

Um die Bedienung so einfach wie möglich zu gestalten, gibt es eine Benutzeroberfläche die entsprechend dem Softwareworkflow strukturiert ist (Abbildung 14.a). In einem ersten Schritt muss die zuvor ausgefüllte Excel Datei mit der definierten Datenstruktur lokalisiert und ausgewählt werden (Abbildung 14.b). Anschließend wird das entsprechende Tabellenblatt ausgewählt (Abbildung 14.c).

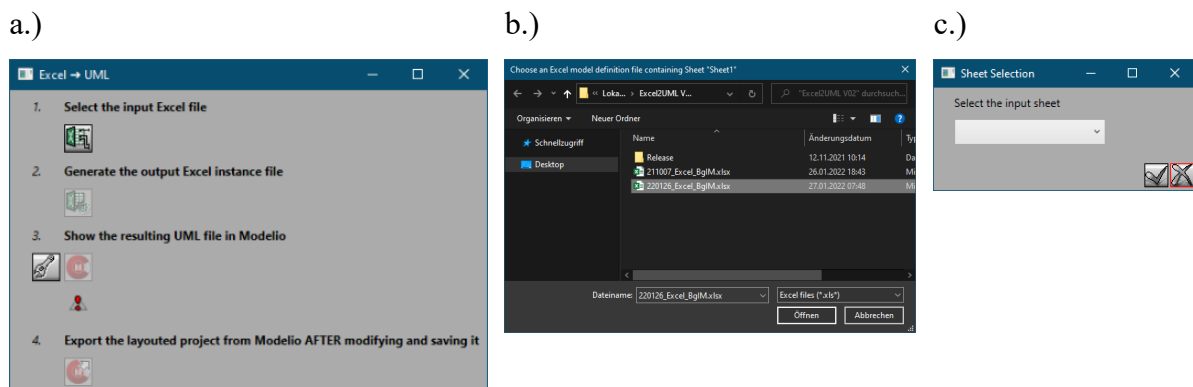


Abbildung 14: Benutzeroberfläche des Tools Excel2UML. a.) Benutzeroberfläche b.) Lokalisierung des Excel Files mit der definierten Datenstruktur c.) Auswahl des Tabellenblatts.

Mit einem Klick auf „Show the resulting UML file in Modelio“ wird ein Makro Skript (Abbildung 15.a) generiert und das Programm Modelio geöffnet. Es öffnet sich der Texteditor mit dem automatisch generierten Makro Skripts, welches über die Funktion kopieren in den Skript Editor von Modelio eingefügt werden muss (Abbildung 15.b). Nach dem Ausführen des Skripts werden die einzelnen Klassen mit Ihren Links im Modellbereich von Modelio angezeigt (Abbildung 20). In der Software-Umgebung von Modelio kann das Klassendiagramm nach Bedarf adaptiert und angepasst werden. Wenn man mit dem Ergebnis zufrieden ist, kann mit der Funktion „Export the layouted project from MODELIO“ als Paket abgespeichert werden.

a.)

```

Datei Bearbeiten Format Ansicht Hilfe
#get the owning package
roots = modelingSession.getModel()
for r in roots:
    print str(type(r))
    if (str(type(r)) == "<type 'o
        project = r
model = project.getModel()[0]
print model
100% Windows (CRLF) UTF-8
    
```

b.)

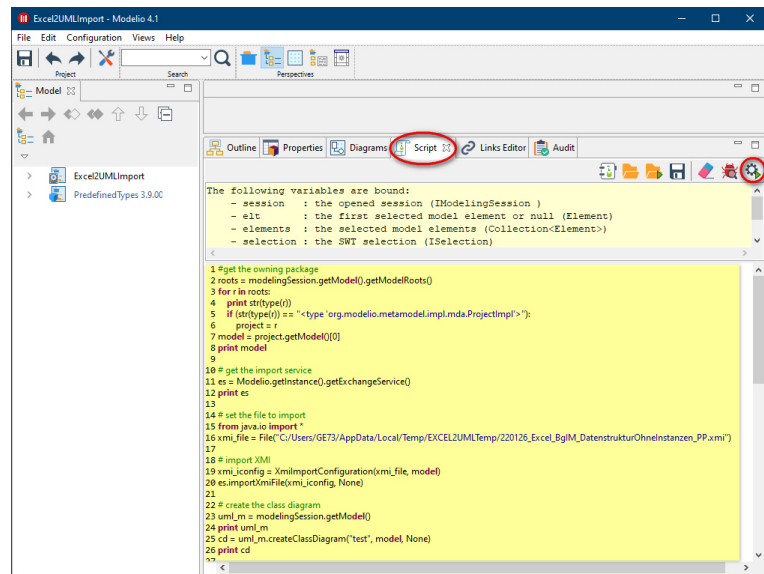


Abbildung 15: a.) Automatisiert generiertes Makroskript für den Import der Klassen nach Modelio b.) Skript Editor in der Softwareumgebung Modelio.

5.4.2 Datenmodellierungsmuster

Das Tool Excel2UML ermöglicht dem Benutzer ein Datenmodell mit Assoziationen und Vererbungen zu generieren. Dazu steht dem Anwender ein standardisiertes Tabellenblatt zur Verfügung (siehe Abbildung 16).

Element	Generalisierungen	Spezialisierungen	Teil von exklusiv	Teile exklusiv	Teil von nicht exklusiv	Teile nicht exklusiv	Referenzen
---------	-------------------	-------------------	-------------------	----------------	-------------------------	----------------------	------------

Abbildung 16: Kopfzeile des standardisierten Tabellenblatts zur Verwendung des Tools Excel2UML.

Jeder Eintrag rechts neben Element, führt zu unterschiedlichen Beziehungen zwischen den eingetragenen Elementklassen. Alle Beziehungen, die mit dem Tool Excel2UML definiert werden können, werden in diesem Kapitel diskutiert.

Spezialisierung:

Ein Element kann die Spezialisierung eines oder mehrerer Elemente sein (Abbildung 17).

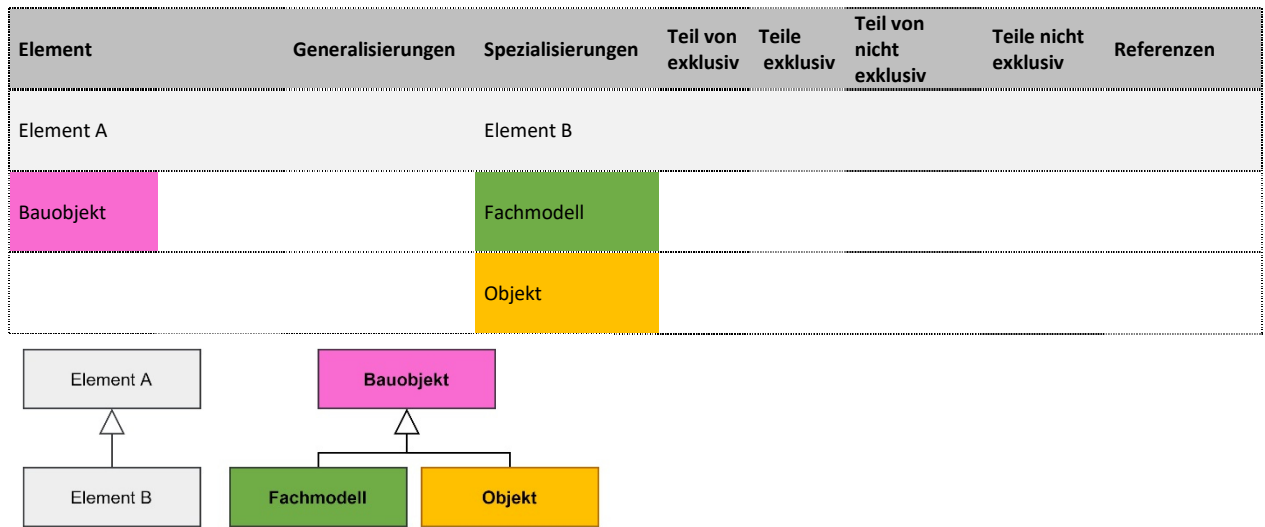


Abbildung 17: Element B erbt seine Eigenschaften und Methoden von Element A (Element B ist eine Spezialisierung des Elements A).

Teil-von (exklusiv, Komposition):

Ein Element B kann nur in Verbindung mit Element A existieren. Eine Instanz der Klasse B, kann auch nur genau einer Instanz von Element A angehören.

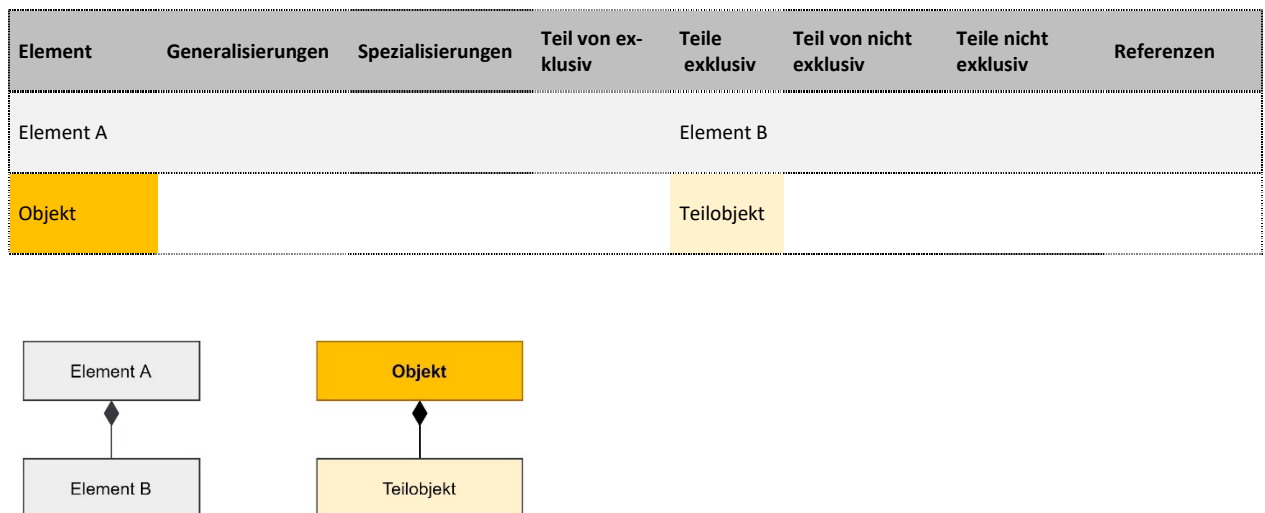


Abbildung 18: Element B ist existenzabhängig von Element A (Teil B ist exklusiver Bestandteil von Klasse A).

Teil von (nicht exklusiv, Aggregation):

Das Element B kann sowohl unabhängig, sowie auch in Verbindung mit dem Element A existieren. Ein Element B kann mehrere Elemente angehören und ist nicht von einem einzelnen existenzabhängig.

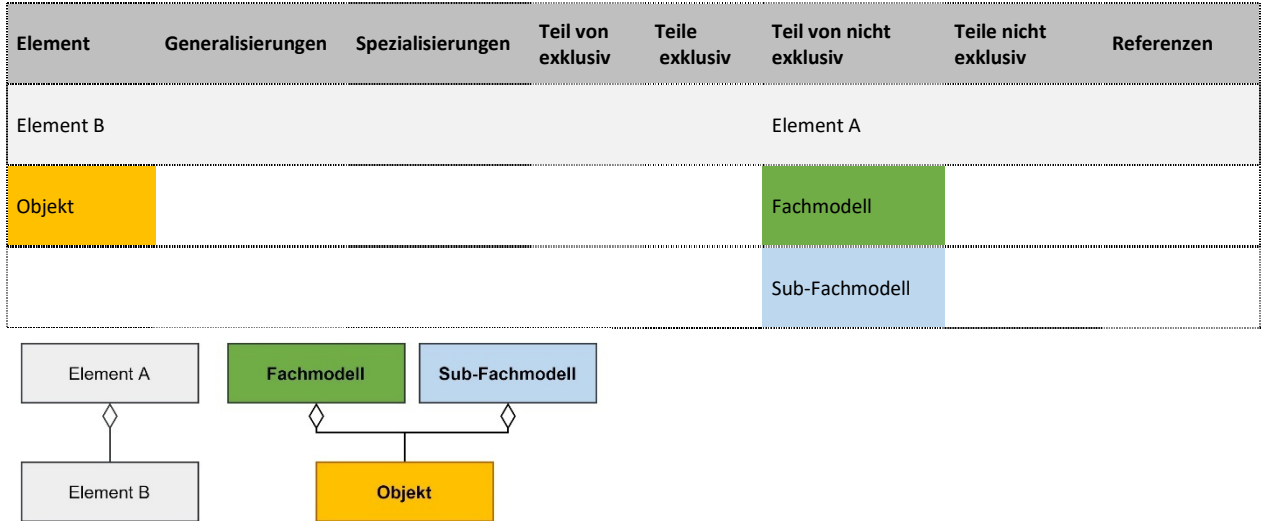


Abbildung 19: Das Element B kann im Kontext von Element A existieren, ist aber nicht abhängig von diesem (Element B ist „Teil von nicht exklusiv“ dem Element A).

Dateneingabe:

Die Eingabe erfolgt nach einem standardisierten Formular innerhalb der Softwareumgebung von Excel. Alle potenziellen Anwender müssen sich an die vorgegebene Struktur in Excel halten, um die Funktionen des Tools Excel2UML nutzen zu können. Die Tabelle 5 zeigt das Excel Tabellenblatt mit einem beispielhaften Datensatz, welches vom Domänenexperten auszufüllen ist. Dieses beschreibt die Beziehung zwischen Merkmalen, Merkmalsgruppen und einem vordefinierten Basiselement. Die Abbildung 20 zeigt das Ergebnis, nach der Konvertierung durch das Tool Excel2UML.

Element	Generalisierungen	Spezialisierungen	Teil von exklusiv	Teile exklusiv	Teil von nicht exklusiv	Teile nicht exklusiv	Referenzen
Basiselement		Merkmal Merkmalsgruppe					
Merkmal	Basiselement				Merkmalsgruppe Merkmal	Merkmal	Merkmal
Merkmalsgruppe	Basiselement				Merkmalsgruppe	Merkmalsgruppe Merkmal	Merkmalsgruppe

Tabelle 5: Vordefinierte Excelstruktur für den Import in das Tool Excel2UML.

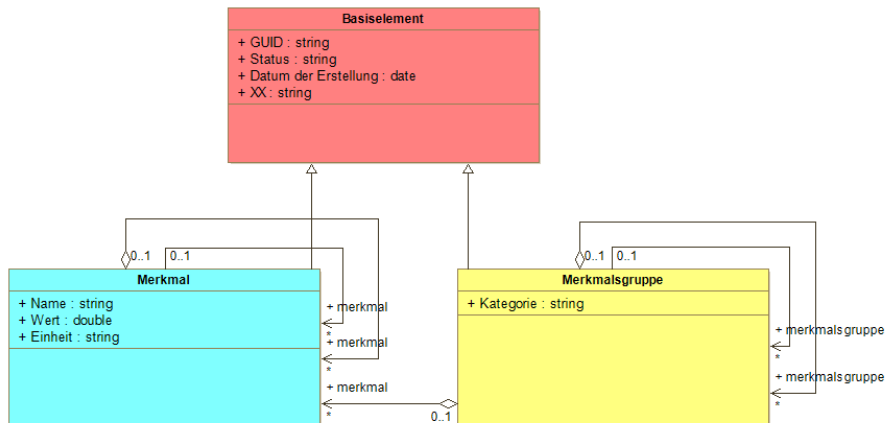


Abbildung 20: Generiertes UML Diagramm in der Software-Umgebung von Modelio nach Ausführung des generierten Skripts aus Excel2UML.

Das generierte Datenmodell schreibt vor, dass Merkmale in Merkmalsgruppen zusammengefasst werden können. Ein Merkmal kann aber auch andere Merkmale beinhalten, ebenso kann ein Merkmal auf andere Merkmale verweisen. Diese Fähigkeit gilt ebenso für die Merkmalsgruppe und wird als Link mit gleichem Ausgangs- und Endpunkt im UML Klassendiagramm dargestellt. Die Klassen „Merkmal“ und „Merkmalsgruppe“ besitzen beide die gleiche Generalisierung, die Klasse „Basiselement“. Von diesem „Basiselement“ erben die beiden Spezialisierungsklassen die Attribute GUID (Globally Unique Identifier); Status und Datum der Erstellung.

6 Baugrundinformationsmodell

Dieses Kapitel beschreibt die generierten UML-Modelle, welche mit dem Tool Excel2UML konvertiert und anschließend in Modelio grafisch modifiziert wurden. Als Basis für die Modellierung wurde der ISO-Standard 23387 [5] herangezogen, der Ende des Jahres 2020 veröffentlicht wurde. Die Benennung von Modellelementen, Objekten und Teilobjekten ist an die Veröffentlichung [14] angelehnt. Das Ergebnis ist eine prototypische Modellstruktur, die das System Baugrund so gut wie möglich beschreiben soll. Um dies zu ermöglichen, wurde eng mit Fachexperten aus den Bereichen Geologie, Geotechnik, Planung, Ausführung und Betrieb im Rahmen der Facharbeitsgruppe Baugrund der DAUB Initiative, sowie mit Mitgliedern aus den Forschungsprojekten „TransIT: Plattform zur digitalen Transformation im Tief- und Tunnelbau“ (gefördert vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung) und „Interdisziplinäres BIM-basiertes Planungs-, Bau- und Betriebsprozessmanagement im Tunnelbau“ (gefördert von der FFG, Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft) zusammengearbeitet.

6.1 Methodik

Die Zusammenhänge der Elemente, wie sie in den folgenden Abbildungen (besonders in Abbildung 27 und Abbildung 29) zu sehen sind, beruhen auf dem gemeinsamen Verständnis von Geologen und Geotechnikern der DAUB Arbeitsgruppe Baugrundmodellierung [14], sowie aus einschlägiger Literatur und Praxis-Erfahrungen. Das Ziel ist es, die für den Menschen logischen Zusammenhänge in einem formalen Datenmodell zu definieren, welches die Grundlage für Datenformate, Projektstrukturen oder auch die Implementierung für Softwarelösungen darstellen kann. Der Vorteil eines einheitlichen Datenmodells, liegt in der kollaborativen Zusammenarbeit (Austausch von Projektinformationen), als auch in der strukturierten Arbeitsweise (einheitliche Ablage von Projektinformationen und Beziehungen zwischen den Informationen).

Die Zusammenhänge und Beziehungen (Linien) in den UML-Modellen beschreiben logische Verknüpfungen, wie sie aus Literatur und Expertenrunden hervorgegangen sind. Sollte das entstandene UML-Modell als Basis für eine Softwareentwicklung herangezogen werden, stellen diese Beziehungen eine Verknüpfung bzw. Existenzabhängigkeit der Objekte und der darin enthaltenen Informationen dar. Zum Beispiel würde es das UML-Modell nicht vorsehen, dass ein Bohrlochausbau existiert, wenn nicht auch eine Bohrung vorhanden ist (Details dazu später).

In einem ersten Schritt wurden anhand von Erfahrungen, Normen und Richtlinien notwendige

Objekte innerhalb der Domäne Baugrund identifiziert. Dabei wurde auch auf ein gemeinsames Verständnis der zu modellierenden Objekte im DACH Raum Rücksicht genommen. Parallel zur Identifizierung der notwendigen Elemente wurden Skizzen angefertigt, um die Beziehungen der Objekte zu veranschaulichen. Anhand dieser Skizzen (Abbildung 21) wurden Fehler analysiert, Generalisierungen vorgenommen und in einem ersten Schritt auf ihre Plausibilität überprüft. Bei diesen Schritten wurde auf eine iterative Bearbeitung geachtet und parallel mit Domänen Experten der Bereiche Geologie, Geotechnik und Informatik zusammengearbeitet.

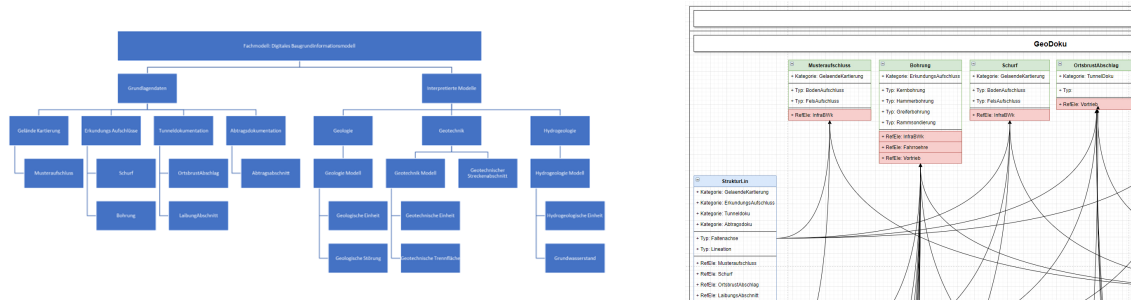


Abbildung 21: Skizzen zum Baugrundmodell, welche sich im weiteren Verlauf der Arbeit stets weiterentwickelt haben.

Darauf aufbauend wurden standardisierten Excel Tabellenblätter (Excel2UML) befüllt und in UML-Klassendiagramme konvertiert. Das dabei entstandene Datenmodell wurde für diese Masterarbeit in mehrere Teildatenmodelle geteilt und umfangreich nachbearbeitet, um die Lesbarkeit zu gewährleisten.

6.2 Basisklassen

Wie in der Einleitung zum Kapitel 6 angesprochen, basiert das Baugrundinformationsmodell auf der ISO-Norm 23387 [5]. Diese internationale Norm behandelt das Beschreiben von Datenvorlagen und definiert die Grundlagen und Struktur dafür. Dadurch sollen digitale Prozesse durch Bereitstellen maschinenlesbarer Formate unterstützt werden. Um dies zu ermöglichen, soll Bauobjekten (z.B. Objekte betreffend dem Infrastrukturbau) eine standardisierte Datenstruktur hinterlegt werden.

In Tabelle 7 ist das Tabellenblatt für die automatisierte Generierung des UML-Modells mithilfe des Tools Excel2UML ersichtlich. Eine Beschreibung zur Methodik der Befüllung des Tabellenblatts, findet sich in Kapitel 5.4. In der gesamten Beschreibung der Datenmodelle, wurde für eine einfachere Lesbarkeit eine gemeinsame Farbcodierung verwendet. Eine Legende zur verwendeten Farbcodierungen zeigt die Tabelle 6.

Farbe	Klasse	Farbe	Klasse
	Bauobjekt		Fachmodell
	Datenvorlage		Sub-Fachmodell
	Merkmalsgruppe		Teilmodell
	Merkmal		Objekt
	Referenzdokument		Teilobjekt

Tabelle 6: Legende zur Farbcodierung der einzelnen UML-Klassen für die folgenden Abbildungen und Tabellen.

Element	Generalisierungen	Spezialisierungen	Teil von exklusiv	Teile exklusiv	Teil von nicht exklusiv	Teile nicht exklusiv	Referenzen
Bauobjekt				Datenvorlage			Bauobjekt
						Merkmalsgruppe	
						Referenzdokument	
						Merkmal	
Datenvorlage			Bauobjekt		Datenvorlage	Referenzdokument	
						Datenvorlage	
						Merkmal	
						Merkmalsgruppe	
Merkmalsgruppe					Bauobjekt	Referenzdokument	Merkmalsgruppe
					Merkmalsgruppe	Merkmalsgruppe	
					Datenvorlage	Merkmal	
Merkmal					Merkmalsgruppe	Merkmal	Merkmal
					Merkmal	Referenzdokument	
					Bauobjekt		
					Datenvorlage		
Referenzdokument					Datenvorlage		
					Bauobjekt		
					Merkmalsgruppe		
					Merkmal		

Tabelle 7: Ausgefüllte Tabellenblattvorlage für die Definition der „Basisklassen“ nach ISO-Norm 23387 [5] für den Import in das Tool Excel2UML.

Die Abbildung 22 zeigt das UML-Modell nach der Konvertierung durch das Excel2UML Tool. Für eine bessere Lesbarkeit wurden die Objekte im Tabellenblatt, sowie in der UML-Grafik farblich codiert. Eine Beschreibung der einzelnen Klassen, sowie deren Beziehung zueinander werden im Folgenden beschrieben.

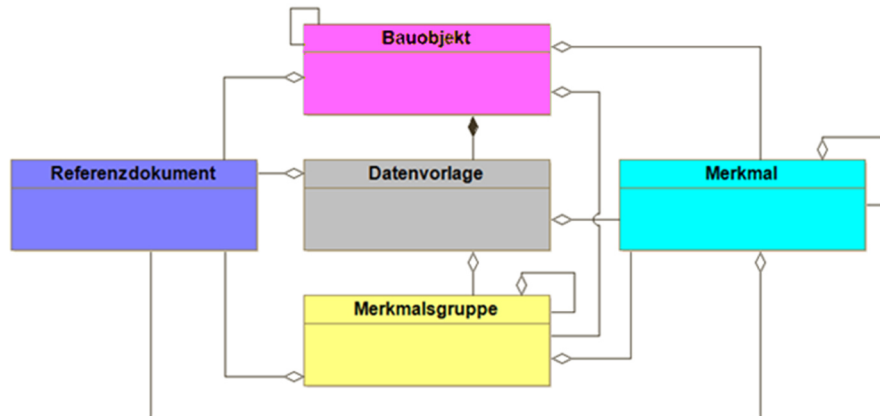


Abbildung 22: Generiertes UML-Modell basierend auf der ISO 23387-4 [5]

Klasse Bauobjekt:

Die Klasse *Bauobjekt* ist im Kontext der ISO Norm breitgefächert und kann sowohl Systeme, Produkte, Elemente und Räume umfassen. Jedem Bauobjekt soll eine Datenvorlage hinterlegt werden, welche den Austausch der Objekte und den darin enthaltenen Merkmalen regelt.

Klasse Datenvorlage:

In der EN ISO 23387 [5] werden Datenvorlagen standardisiert um Objekthinhalte digital auszutauschen. Die spezifische Datenvorlage für ein Objekt umfasst dabei eine Liste von Eigenschaften, die selbst ein oder mehrere Attribute haben können, die das Objekt (z.B. einen Schurf) beschreibt.

Beispiel Abbildung 23:

Das Objekt „Schurf“ besitzt die Merkmalsgruppen „Allgemein“ und „Verortung“ mit den in türkis hinterlegten Merkmalen.

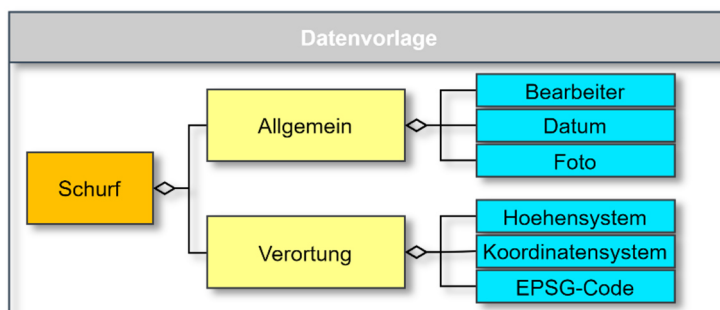


Abbildung 23: Beispiel einer Datenvorlage für die Elementklasse „Schurf“.

Die *Datenvorlage* soll die Maschinenlesbarkeit von Bauobjekten sicherstellen, damit alle

Beteiligten im Lebenszyklus eines Bauwerks Daten miteinander austauschen können. Bei der Standardisierung von Datenvorlagen sollte Rücksicht auf bereits vorhandene Formate für den Datenaustausch genommen werden (z.B. IFC).

Klasse Referenzdokument:

Für die Beschreibung von weiteren spezifischen Informationen kann die Klasse *Referenzdokument* verwendet werden. Diese kann technische Spezifikationen, wissenschaftliche oder auch genormte Grundlagen, in Form von Normen, Dokumenten, Abbildungen, etc. beinhalten. Die Klasse *Referenzdokument* ist über Aggregationen mit allen „Basisklassen“ verbunden.

Klasse Merkmal:

Beschreibt die Eigenschaft oder die Beschaffenheit von Objekten.

Klasse Merkmalsgruppe:

Um *Merkmale* besser ordnen zu können, gibt es die Klasse der *Merkmalsgruppe*. Diese fasst mehrere *Merkmale* zusammen. *Merkmale* können Teil von mehreren *Merkmalsgruppen* sein.

6.3 Klassen basierend auf dem Bauobjekt

Aufbauend auf den Basisklassen, welche in der ISO 23387-4 [5] definiert sind, haben sich in der Bearbeitung von Infrastrukturprojekten eine Reihe von Modellcontainern (Fachmodelle, Sub-Fachmodelle und Teilmodelle siehe Kapitel 2.2) als zweckmäßig erwiesen. Diese Container sind sinngemäß Spezialisierungen der Klasse Bauobjekt und stellen keine physischen Elemente dar, sondern sind als virtuelle räumliche Container für die fachspezifischen Elemente zu verstehen. Aus informationstechnologischer Sicht ist die Einführung dieser Klassen nicht notwendig (da sie alle von derselben Basisklasse des „Bauobjekts“ erben), für eine bessere Übersicht des Baugrundinformationsmodell-Schemas erweisen sie sich jedoch als hilfreich.

Basierend auf den im Exceltabellenblatt definierten Elementen (Tabelle 8) zeigt die Abbildung 24 die mit der DAUB-Arbeitsgruppe erarbeitete topologische Modellstruktur, übersetzt mittels des Excel2UML Tools in ein UML Klassendiagramm.

Element	Generalisierungen	Spezialisierungen	Teil von exklusiv	Teile exklusiv	Teil von nicht exklusiv	Teile nicht exklusiv	Referenzen
Fachmodell	Bauobjekt	Sub-Fachmodell		Sub-Fachmodell	Teilmodell	Objekt	Fachmodell
Sub-Fachmodell	Fachmodell		Fachmodell		Teilmodell	Objekt	Sub-Fachmodell
Teilmodell	Bauobjekt					Fachmodell	
						Sub-Fachmodell	
Objekt	Bauobjekt	Teilobjekt		Teilobjekt	Fachmodell		Objekt

Element	Generalisierungen	Spezialisierungen	Teil von exklusiv	Teile exklusiv	Teil von nicht exklusiv	Teile nicht exklusiv	Referenzen
					Sub-Fachmodell		
					Teilmodell		
Teilobjekt	Objekt		Objekt				Teilobjekt

Tabelle 8: Definierte Excelstruktur für den Import der Bauobjekt-basierenden Klassen in das Tool Excel2UML.

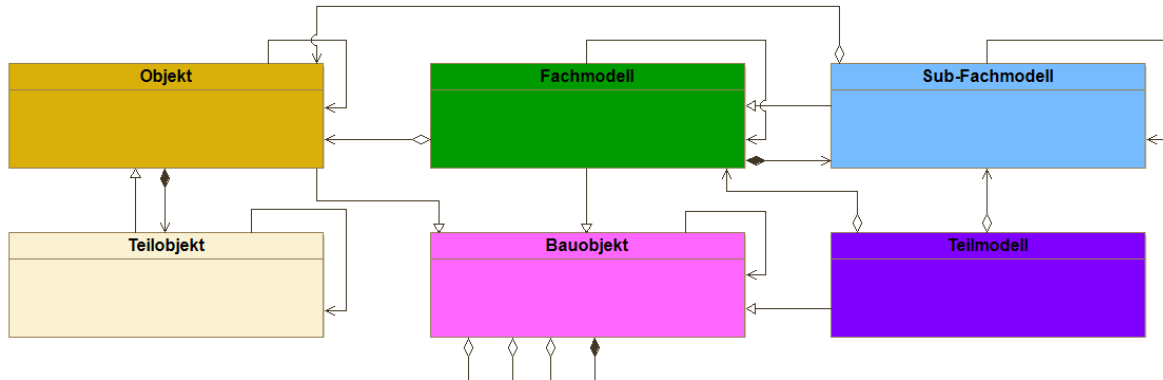


Abbildung 24: Generiertes UML Klassendiagramm - Klassen der Modelle und Objekte basierend auf der Klasse des Bauobjekts.

Die Verwendung und Herkunft der Klassen „Fachmodell“, „Sub-Fachmodell“ und „Teilmodell“ sind im Kapitel 2.2 detailliert beschrieben.

Fachmodell

Das Fachmodell ist als Container zu verstehen, welches relevante Objekte auf Fachmodellebene beinhaltet. Die Klasse „Fachmodell“ erbt von der Klasse des Bauobjekts und ist Teil der Klasse „Teilmodell“.

Sub-Fachmodell

Auch die Klasse „Sub-Fachmodell“ kann als Container für Objekte verstanden werden, die im Vergleich zum Fachmodell jedoch thematisch dem jeweiligen Sub-Fachmodell zugeordnet werden können. Die „Sub-Fachmodelle“ erben von der Klasse „Fachmodell“, sind existenzabhängig von der Klasse „Fachmodell“ und können Teil der Klasse „Teilmodell“ sein.

Teilmodell

Die Klasse „Teilmodell“ erbt von der Klasse „Bauobjekt“ und kann die Klassen „Fachmodell“ und „Sub-Fachmodell“ beinhalten. Die Anwendung von Teilmodellen wird im Kapitel 2.2 beschrieben.

Objekt

Reale Objekte in der Natur, werden durch digitale Objekte mit diskreter Geometrie mit Hilfe von Authoring Tools (siehe Kapitel 2.6) erstellt. Dafür steht die Klasse „Objekt“ zur Verfügung. Die Klasse „Objekt“ erbt seine Eigenschaften von der Klasse „Bauobjekt“ und ist über die Aggregation mit der Klasse „Fachmodell“ und „Subfachmodell“ verknüpft.

Diese Klasse repräsentiert dreidimensionale Objekte, welche den Raum beschreiben. Ihnen untergeordnet sind modellierte Objekte der Klasse „Teilobjekt“.

Teilobjekt

Die Klasse „Teilobjekt“ erbt von der Klasse „Objekte“. „Teilobjekte“ haben eine existenzabhängige Beziehung mit der Klasse „Objekt“.

Die Klasse „Teilobjekt“ repräsentiert Elemente, welche der Klasse „Objekt“ unterstehen. Sie müssen nicht immer eine konkrete geometrische Repräsentation in der realen Welt besitzen, allerdings ist es sinnvoll, wenn diese im Baugrundmodell georeferenziert werden können. Ein Beispiel für ein Element der Klasse „Teilobjekt“ sind Elemente, welche im Untersuchungsraum enthalten sind, wie zum Beispiel eine „Probe“.

6.4 Modellstruktur

Unter Struktur wird hier die Organisation der unterschiedlichen Daten, die Eingang in das Baugrundmodell finden, verstanden. Aufgrund des Charakters gespeicherter Informationen (faktenbasiert oder interpretativ) sowie notwendiger thematischer Differenzierungen wird das Baugrundmodell in Sub-Fachmodelle gegliedert. Dies ist notwendig, um die wesentlichen Inhalte in einem frühen Stadium inhaltlich zu differenzieren, sowie auf unterschiedliche Modell- und Einflussbereiche reagieren zu können (z.B. Einflussgebiet von Grundwasserleitern). Die Sub-Fachmodelle können projektspezifisch erweitert werden, zum Beispiel um ein Sub-Fachmodell Wiederverwertung, Geochemie oder Deponierung. Diese Struktur ermöglicht es faktische Daten von interpretierten Informationen zu unterscheiden, überdies steht diese Trennung der Daten im Einklang mit den im DACH Raum verwendeten Normen und Richtlinien wie der ÖGG Richtlinie [47], der SIA 199 [48] und der DIN 4020 [49].

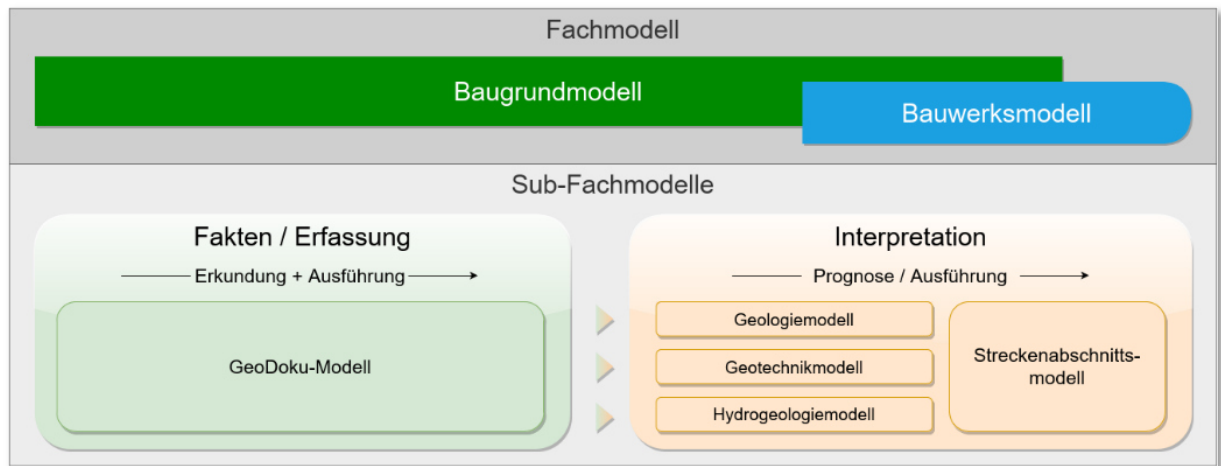


Abbildung 25: Modellstruktur, wie sie auch in der Veröffentlichung von DAUB [14] Verwendung findet.

Die Abbildung 25 zeigt die generelle Struktur und Inhalte des Baugrundinformationsmodells. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Sub-Fachmodelle ist in der DAUB Publikation Baugrund Teil 3 [14] veröffentlicht und wird im Folgenden nur vereinfacht wiedergegeben. Die Bezeichnung von Modellen und Objekten wurden im Sinne einer besseren Lesbarkeit ebenso aus der DAUB-Publikation Teil 3 übernommen.

GeoDoku-Modell:

Auf der linken Seite in Abbildung 25 steht das GeoDoku-Modell, welches als Container für faktische Daten, Grundlagendaten sowie Daten, die während der Ausführung gesammelt werden, zur Verfügung steht. Als Beispiele für Daten zu nennen sind, baugrundrelevante Bestandsdaten aus Kartierungen, Ergebnisse aus Publikationen und Berichte, Karten von Onlinediensten, Daten aus der Baugrunderkundung (u.a. Kartierungsergebnisse, Labor- und in-situ Versuche) und gesammelte Informationen aus der Dokumentation von Bestands- und Neubauten während der Ausführung.

Interpretierte Modelle:

Auf der rechten Seite in Abbildung 25 stehen die Sub-Fachmodelle der Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie und Streckenabschnitte. Diese sind Container für Daten von interpretativem Charakter, deshalb werden diese Modelle unter dem Begriff „Interpretierte Modelle“ zusammengefasst. Die Modellabgrenzungen sind nicht zufällig gewählt, sondern charakterisieren den Untergrund in unterschiedlicher Art und Weise, bewerten dessen spezifische Eigenschaften und werden in der Folge zu einem Kontinuum extrapoliert (z.B. Geologische Einheit - charakterisiert nach lithostratigraphischen Eigenschaften, Geotechnische Einheit - charakterisiert nach

Gebirgsart [47], etc.).

Datenmodell der Modellstruktur:

Die Abbildung 25 zeigt eine nicht formale Beschreibung des Fachmodells Baugrund. Diese wird nun mit Hilfe des Tools Excel2UML in ein formelles Datenmodell konvertiert.

Element	Generalisierungen	Teil von exklusiv	Teile exklusiv
Baugrundinformationsmodell	Fachmodell		GeoDoku-Modell
			Geologiemodell
			Geotechnikmodell
			Streckenabschnittsmodell
			Hydrogeologiemodell
GeoDoku-Modell	Sub-Fachmodell	Baugrundinformationsmodell	
Geologiemodell	Sub-Fachmodell	Baugrundinformationsmodell	
Geotechnikmodell	Sub-Fachmodell	Baugrundinformationsmodell	
Streckenabschnittsmodell	Sub-Fachmodell	Baugrundinformationsmodell	
Hydrogeologiemodell	Sub-Fachmodell	Baugrundinformationsmodell	

Tabelle 9: Definierte Excelstruktur für den Import der Fachmodell und Sub-Fachmodell basierenden Klassen in das Tool Excel2UML.

Die Tabelle 9 zeigt einen Ausschnitt des vordefinierten Exceltabellenblatts befüllt mit den relevanten Klassen für die Datenmodellierung der Modellstruktur des Baugrundinformationsmodells. Im Vergleich zur Tabelle 8 wurde das Tabellenblatt um weitere Spezialisierungen der Klassen Fachmodell und Sub-Fachmodell erweitert.

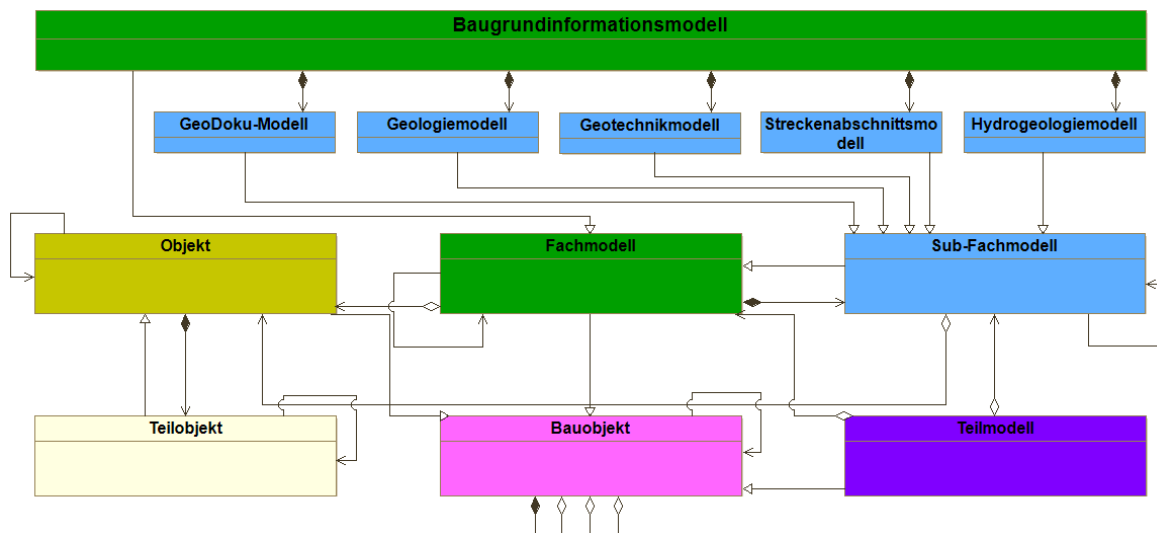


Abbildung 26: Generiertes UML-Diagramm aus der Softwareumgebung Modelio mit den Spezialisierungen der Klassen Fachmodell (grün) und Sub-Fachmodell (blau). Oberhalb stehen die Spezialisierungen der Fach- und Sub-Fachmodelle.

Die Klassen „GeoDoku-Modell, Geologiemodell, Geotechnikmodell, Streckenabschnittsmodell und Hydrogeologiemodell“ erben alle von derselben Klasse „Sub-Fachmodell“ und sind exklusiver Teil des Fachmodells „Baugrundinformationsmodell“. Eine Kategorisierung anhand der darin enthaltenen Daten (z.B.: fachliche Daten), ist im Datenmodell selbst nicht ersichtlich.

6.5 Klassen des „GeoDoku Modell“

Basierend auf den Basisklassen und den Bauobjekt-Klassen, kann dem Sub-Fachmodell „GeoDoku“ eine Reihe von Klassen basierend auf den Klassen Objekt und Teilobjekt zugeordnet werden (Abbildung 27). Die neu hinzugekommen Klassen, basierend auf der Klasse Objekt, werden in diesem Kapitel genauer beschrieben. Diese repräsentieren den „Raum“ der Untersuchungen, wie im Kapitel zur Baugrunduntersuchung beschrieben. Die neuen Klassen, basierend auf der Klasse der Teilobjekte, sind Teile der „Räume“ und besitzen ohne entsprechenden Raum keine Existenzberechtigung.

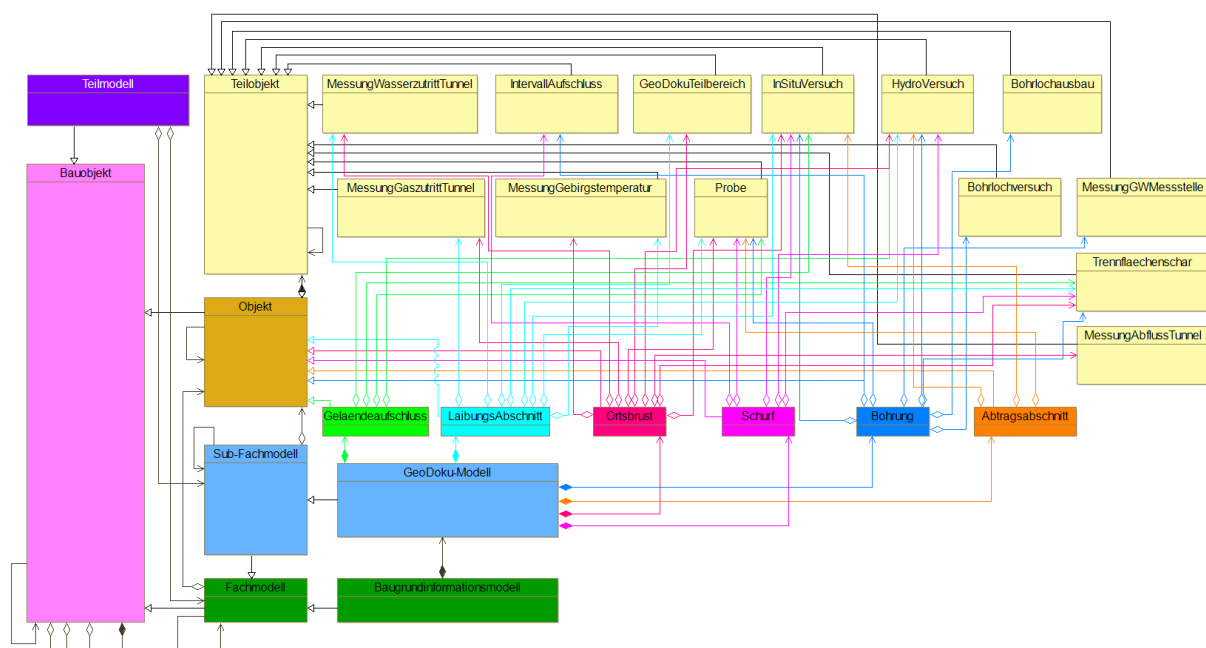
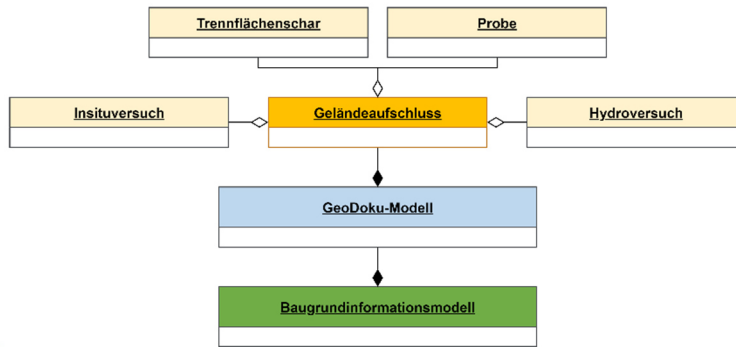


Abbildung 27: Generiertes UML-Diagramm aus der Softwareumgebung Modelio. Das Datenmodell zeigt die mit der Klasse GeoDoku (Sub-Fachmodell) verbundenen Klassen, basierend auf den Klassen Objekt und Teilobjekt.

Geländeaufschluss:

In der Phase der ingenieurgeologischen Erkundung werden Geländebegehungen durchgeführt (siehe Kapitel 4.1). Dabei werden Bereiche dokumentiert, die einen Rückschluss auf die geologischen Bedingungen zulassen.



10

Abbildung 28: UML-Diagramm für das Objekt Geländeaufschluss (Detail-Ausschnitt aus dem Gesamtmodell)

Für diesen physisch beschreibbaren Raum steht das Objekt „Geländeaufschluss“ (Abbildung 28). In der Natur können an diesem Aufschluss meist weitere Beobachtungen durchgeführt werden, zum Beispiel die Bestimmung einer Trennflächenschar, die Durchführung von Versuchen oder auch die Entnahme von Proben. Im Datenmodell werden diese Beobachtungen als Instanzen der Klasse „Teilobjekt“ dargestellt („Trennflächenschar“, „InsituVersuch“, „HydroVersuch“, „Probe“) und mit den dabei akquirierten Daten verknüpft. Um die Informationen auch dem richtigen Geländeaufschluss zuordnen zu können, besteht zwischen den Elementen „Trennflächenschar“, „InsituVersuch“, „HydroVersuch“ und „Probe“ eine Beziehung mit dem Element „Geländeaufschluss“ in Form einer Linie. Je nach Ausprägung der Beziehung (siehe Kapitel 5.4.2) besitzt die Linie am Ende bzw. Anfang ein Symbol. In diesem Beispiel sind alle Elemente über eine nicht ausgefüllte Raute miteinander verbunden, was einer Aggregation entspricht.

Die Klasse „Geländeaufschluss“ ist mit den Klassen „Trennflächenschar“, „Probe“, „InsituVersuch“ und „HydroVersuch“ über Aggregationen verbunden.

Schurf:

Im Zuge der Baugrunderkundung werden Schürfe für die Untersuchung der Baugrundverhältnisse durchgeführt. Die Klasse „Schurf“ stellt den Raum der Untersuchung dar. Im Zuge der begleitenden Dokumentation werden allgemeine Daten aufgenommen und Berichte, Skizzen sowie Fotos angefertigt.

Die Klasse „Schurf“ ist mit den Klassen „Trennflaechenschar“, „IntervallAufschluss“, „InSituVersuch“, „HydroVersuch“ und „Probe“ über Aggregationen verbunden.

Bohrung:

Im Zuge der Baugrunderkundung gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Bohrverfahren, die sich nach mehreren Kriterien einteilen lassen:

- Beschaffenheit des Untergrundes (Lockergestein und Festgestein)
- Zweck der Untersuchung (Probennahme, Injektionen oder Erkundung der Schichten)
- Bohrverfahren
- Anforderung an die Qualität der Proben

Bohrungen werden durchgeführt, um Informationen in der Tiefe zu erhalten und liefern eine gute vertikale Auflösung besitzen jedoch nur punktuellen Charakter.

Die Klasse „Bohrung“ umfasst den Raum, welcher durch die Bohrung beeinflusst worden ist. Die Klassen „Trennflaechenschar“, „IntervallAufschluss“, „Bohrlochausbau“, „Bohrlochversuch“, „InSituVersuch“, „HydroVersuch“, „Probe“ und „MessungGWMessstelle“ sind über Aggregationen mit der „Bohrung“ verknüpft.

Ortsbrust:

Als Ortsbrust wird jene Stelle eines Stollens oder Tunnels bezeichnet, an dem der bergmännische Vortrieb stattfindet. Die Klasse „Ortsbrust“ dient als Raum zur Verortung der geologischen Ortsbrustdokumentation im konventionellen als auch im maschinellen Vortrieb.

Die Klassen „Trennflaechenschar“, „InSituVersuch“, „HydroVersuch“, „Probe“, „MessungGebirgstemperatur“, „MessungAbflussTunnel“, „MessungWasserzutrittTunnel“, „MessungGaszutrittTunnel“ und „GeoDokuTeilbereich“ sind über Aggregationen mit der „Ortsbrust“ verknüpft. Erfolgt die Gebirgslösung in Teilquerschnitten, kann die Klasse „GeoDokuTeilbereich“ herangezogen werden, um unterschiedliche Bereiche in der Ortsbrust zu differenzieren [50].

LaibungsAbschnitt:

Als „LaibungsAbschnitt“ wird die in axialer Richtung ausgebrochene Fläche bezeichnet. Im Querschnitt können die Bereiche Firste, Kämpfer und Ulme unterschieden werden. Die Klasse „LaibungsAbschnitt“ dient zur Verortung der geologischen Informationen im Zuge der Vortriebsdokumentation.

Die Klassen „Trennflaechenschar“, „InSituVersuch“, „HydroVersuch“, „Probe“,

„MessungGebirgstemperatur“, „MessungWasserzutrittTunnel“, „MessungGaszutrittTunnel“ und „GeoDokuTeilbereich“ sind über Aggregationen mit dem „LaibungsAbschnitt“ verknüpft.

Abtragsabschnitt:

Bei der Errichtung von Böschungen, Baugruben und Voreinschnitten werden Bereiche von oben nach unten abgetragen. Die Klasse „Abtragsabschnitt“ beschreibt diesen Raum und dient zur Verortung der geologischen Dokumentation.

Die Klassen „InSituVersuch“, „HydroVersuch“ und „Probe“ sind über Aggregationen mit dem „Abtragsabschnitt“ verknüpft.

6.6 Klassen der „Interpretierten Modelle“

Basierend auf den Basisklassen und den Bauobjekt-Klassen, können den Sub-Fachmodellen Geologiemodell, Geotechnikmodell, Hydrogeologiemodell und Streckenabschnittsmodell eine Reihe weiterer Klassen basierend auf den Klassen Objekt und Teilobjekt zugeordnet werden (Abbildung 29). Die Gemeinsamkeit der Sub-Fachmodelle liegt in dem Charakter der darin enthaltenen Informationen. Es handelt sich um interpretierte Daten, die im Kontrast zu denen im Sub-Fachmodell GeoDoku-Modell stehen.

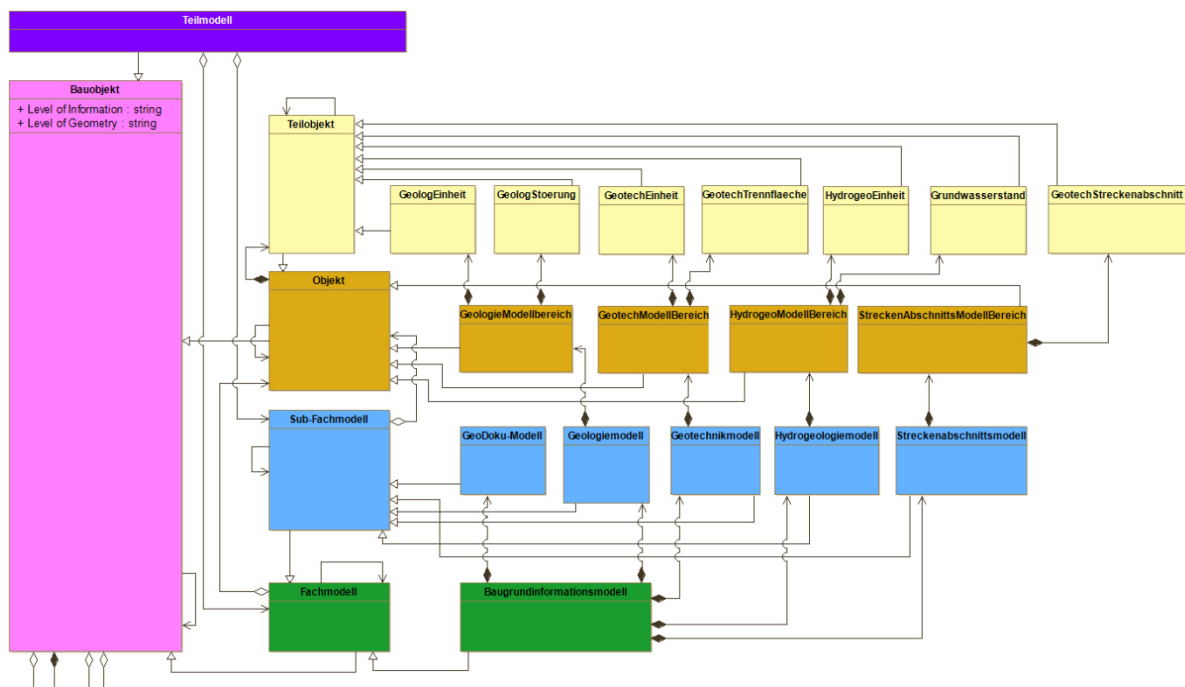


Abbildung 29: Generiertes UML-Diagramm aus der Softwareumgebung Modelio. Das Datenmodell zeigt die Interpretierten Modelle (Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie, Streckenabschnitt) mit den dazugehörigen Klassen.

Geologie-, Geotech-, Hydrogeo-, Streckenabschnitts-Modellbereich:

Alle interpretierten Modelle besitzen ein Objekt „Modellbereich“ mit dem Präfix des Modellnamens. Dieses Objekt entspricht keinem physischen realen Objekt, sondern dient als Platzhalter für die Beschreibung der Außengrenze der Modellgültigkeit und kann mit allgemeinen Informationen (Projekt, Bearbeiter, etc.) angereichert werden. Dieser Raum (BoundingBox) dient ebenso als Grundlage für den Auftraggeber, die geforderten Modellgrenzen zu definieren.

GeologEinheit:

Die Klasse „GeologEinheit“ kann viele verschiedene Ausprägungen annehmen. Es handelt sich dabei um eine stratigraphisch (Litho-, Bio, Allo-, etc.) abgrenzbare Einheit, die gemäß Literatur und/oder auch amtlichen Karten im regionalen Umfeld existiert. Zur Charakterisierung und Beschreibung dieser Einheiten werden ggf. auch tektonische, genetische, paläogeographische oder klimatostratigraphische Informationen herangezogen.

Bei der Modellierung dieser Einheiten ist auch darauf zu achten, dass sie eine Mindestausdehnung aufweisen und in der geforderten Detaillierung (Maßstab) darstellbar sind.

Die „GeologEinheit“ ist existenzabhängig von der Klasse „GeologieModellBereich“ und Teil von der Klasse „Teilobjekt“.

GeologStoerung:

Unter der Klasse „GeologStoerung“ versteht man eine modellierte Störungszone. Eine Störung kann durch tektonische Vorgänge das ursprüngliche Gefüge eines Gesteins oder Sediments verändern. Die dadurch entstehenden Verformungen können je nach Randbedingungen spröde oder duktil ablaufen. Bei spröden Vorgängen entstehen meist Verwerfungen von zwei gegenüberliegenden Schollen, durch duktile Vorgänge entstehen meist Überschiebungen, Falten oder Flexuren.

Die Klasse „GeologStoerung“ ist existenzabhängig von der Klasse „GeologieModellBereich“ und Teil von der Klasse „Teilobjekt“.

GeotechEinheit:

Bei der Klasse „GeotechEinheit“ handelt es sich um eine Projekt- und Phasenspezifische Zuordnung eines signifikanten Volumens, welches über ähnliche geotechnische Eigenschaften verfügt. Die Ausdehnung und Granularität solcher Einheiten geschieht auf Basis des Kenntnisstandes der Erkundung und kann sich im Laufe eines Projektes verfeinern.

Die Klasse „GeotechEinheit“ ist existenzabhängig von der Klasse „GeotechModellBereich“ und Teil-von der Klasse „Teilobjekt“.

GeotechTrennflaeche:

Die Klasse „GeotechTrennflaeche“ wird verwendet, um diskret modellierte Trennflächen zu beschreiben. Solche Trennflächen müssen in den geomechanischen Berechnungen berücksichtigt werden und besitzen konkrete Informationen (z.B.: Scherfestigkeit, Rauigkeit, Füllung, etc.) mit dazugehörigen Werten.

Die Klasse „GeotechTrennflaeche“ ist existenzabhängig von der Klasse „GeotechModellBereich“ und Teil-von der Klasse „Teilobjekt“.

HydrogeoEinheit:

Die Klasse „HydrogeoEinheit“ steht für modellierte Einheiten, die projektspezifisch ähnliche hydrogeologische Eigenschaften (Petrografie, Textur, Struktur) aufweisen. Diese Bereiche sind meist von Schichtgrenzen, Erosionshorizonten oder Störungen begrenzt. Die Klasse „HydrogeoEinheit“ kann sowohl für Lockergesteine als auch Festgesteine verwendet werden. Die Ausdehnung und Granularität solcher Einheiten geschieht auf Basis des Kenntnisstandes der Erkundung und kann sich im Laufe eines Projektes verfeinern. Die Ausdehnung einer hydrogeologischen Einheit kann wesentlich größer als die einer geotechnischen- oder geologischen Einheit sein.

Die Klasse „HydrogeoEinheit“ ist existenzabhängig von der Klasse „HydrogeoModellBereich“ und Teil-von der Klasse „Teilobjekt“.

Grundwasserstand:

Die Klasse „Grundwasserstand“ steht für den modellierten Grundwasserstand (interpretierter Grundwasserstand) im Projektgebiet. Der Grundwasserstand ist der vertikale Abstand zwischen Geländeoberfläche und dem Grundwasserkörper. Je nach Bedarf und Anwendung können unterschiedliche Situationen modelliert werden. Zum Beispiel können HQ100 (100-jähriges Hochwasserereignis), Bemessungswasserstand oder Bauwasserstand modelliert und miteinander verglichen werden.

Die Klasse „Grundwasserstand“ ist existenzabhängig von der Klasse „HydrogeoModellBereich“ und Teil-von der Klasse „Teilobjekt“.

GeotechStreckenabschnitt:

Die Klasse „GeotechStreckenabschnitt“ steht für Bereiche entlang der Trasse mit ähnlichen geotechnischen Eigenschaften mit Bezug zum Bauwerk und insbesondere im Bezug zur gewählten Lösemethode. So können als Beispiele für den „GeotechStreckenabschnitt“ Gebirgsverhaltenstypen, aber auch Systemverhaltenstypen [47] genannt werden.

Die Klasse „GeotechStreckenabschnitt“ ist existenzabhängig von der Klasse „StreckenabschnittsModellBereich“ und Teil-von der Klasse „Teilobjekt“.

7 Anwendungsbeispiel Zentrum am Berg

Am steirischen Erzberg steht die modernste, europaweit einzigartige und unabhängige Forschungsinfrastruktur rund um die Planung, Bau und Betrieb von untertägigen Bauwerksanlagen, die von der Montanuniversität Leoben betrieben wird. An dieser, aus mehreren Tunnelröhren bestehenden Anlage, können Wissenschaftler, Unternehmen und Organisationen forschen, entwickeln und lernen im 1:1 Maßstab.

Die Forschungsanlage besteht aus zwei Straßentunneln sowie zwei Eisenbahntunneln, die jeweils parallel verlaufen und mittels Querschläge miteinander verbunden sind.

Für das in dieser Masterthesis entwickelte Datenmodell des Baugrundinformationsmodells, gibt es aktuell noch keine Software, daher soll dieses Anwendungsbeispiel lediglich eine Idee geben, wie eine Umsetzung aussehen kann. Der Umfang geologischer Modellierungssoftware ist wie in Anhang 13.1 ersichtlich sehr umfangreich, wenn auch in deren Entwicklung und Anwendbarkeit für diverse Problemstellungen sehr unterschiedlich. Je nach Fragestellung und Erfahrung der Anwender sollte die Auswahl der Produkte projektspezifisch getroffen werden. Von der Empfehlung einer spezifischen Softwarelösung wird Abstand genommen, da dies auch nicht im Sinne des Open BIM Gedankens ist. Für die schrittweise Erstellung von Baugrundmodellen ist aktuell eine breite Auswahl von Softwareprodukten notwendig, die über geeignete Schnittstellen und Austauschformate verfügen müssen. Auf Basis der zur Verfügung stehenden Tools, kann eine Toolchain entwickelt werden, um Baugrund-spezifische Anwendungsfälle abdecken zu können.

Dieses Anwendungsbeispiel soll zeigen, wie das Sub-Fachmodell Geologie aus geologischen Grundlagendaten (GeoDoku-Modell) mit der Software Leapfrog Works© entwickelt werden kann.

7.1 GeoDoku-Modell

Das GeoDoku-Modell beinhaltet alle verfügbaren Grundlagendaten, die im Rahmen des Projekts herangezogen werden können. Dazu gehören alle geologischen Bestandsdaten aus offiziellen Karten, geologischen Dokumentationen, Baugrundkartierungen, Laborversuche, in-situ-Versuche und Daten die während der Baugrunddokumentation gesammelt werden [14]. Als Basis für die Verortung im Modell, aber auch als Hintergrund werden digital verfügbare Karten, Höhendaten und Punktwolken herangezogen.

Als Basis für die Modellierung werden historische Daten in Form von Söhlig- und

Saigerschnitten der Firma VA Erzberg verwendet. Diese zweidimensionalen Schnitte werden in die Software Leapfrog importiert sowie georeferenziert. Ebenso stehen geologische Karten aus dem GIS-Steiermark [51] und aus Publikationen zum steirischen Erzberg [52] zur Verfügung. Ein Laserscan der Geländeoberfläche in einem Raster von 1*1 m steht im Raum Eisenerz kostenlos zur Verfügung [53].

Neben den zweidimensionalen geologischen Daten stehen auch dreidimensionale CAD-Daten zur Verfügung. Dazu gehören bestehende Stollensysteme sowie zwei Varianten der Trassenplanung. Diese werden im DWG-Format nach Leapfrog importiert.

Bohrungen, Schürfe und andere Aufschlüsse standen leider nur nicht in maschinenlesbaren Formaten zur Verfügung, daher wurde das Geologiemodell rein aus historischen zweidimensionalen Daten aufgebaut.

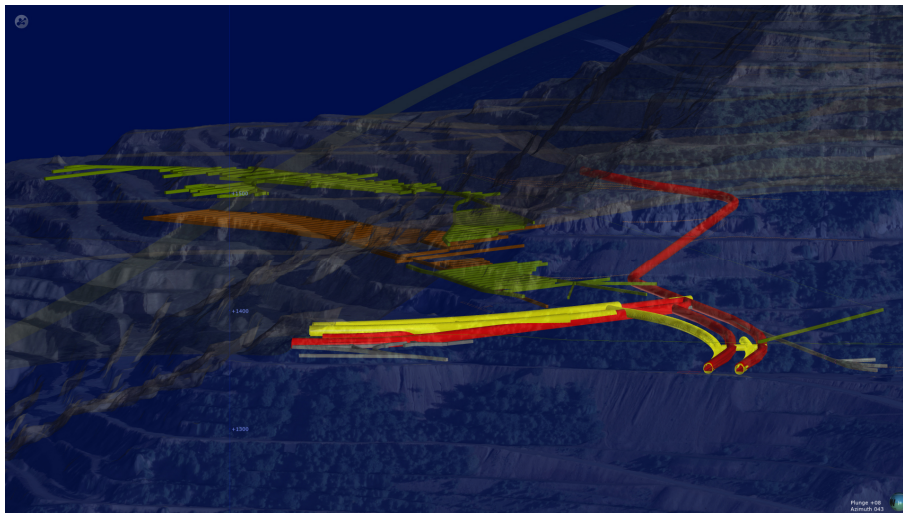


Abbildung 30: GeoDoku-Modell mit Darstellung der dreidimensionalen verfügbaren CAD-Daten der Stollensysteme und Abbaukammern im Bereich des Forschungsprojekts am Steirischen Erzberg, sowie der geplanten Tunneltrassen (rot-ursprüngliche Variante, gelb-gebaute Trasse).

7.2 Geologiemodell

Das Geologiemodell gehört zu den Sub-Fachmodellen der interpretierten Modelle. Es beinhaltet die Interpretation des geologischen Aufbaus des Projektbereichs innerhalb der Modellgrenzen (GeologieModellbereich). Der Detaillierungsgrad hängt stark von der Qualität und Quantität der vorhandenen Informationen ab und kann im Laufe des Projekts ansteigen. Die Basis für die Interpretation von geologischen Einheiten befinden sich im GeoDoku-Modell [14].

Nach Überprüfung der Eingangsdaten und Harmonisierung der Daten aus den unterschiedlichen Quellen, werden die Daten mithilfe der 3D Modellierungssoftware Leapfrog verarbeitet.

Durch die Möglichkeit alle Daten georeferenziert und überlagernd darzustellen, können die digitalisierten Karten auch visuell auf ihre Plausibilität überprüft werden.

Ein geologisches 3D-Modell ist stets eine Interpretation der Daten, abhängig von der verwendeten Software, dem Anwender und den zur Verfügung stehenden Informationen. Beim herkömmlichen expliziten Modellierungsprozess werden die Kontakte und Strukturen manuell durch Digitalisierung der 2D-Querschnitte definiert, um daraus 3D-Körper und Flächen zu erzeugen (Klasse: GeologEinheit). Diese Art der Modellierung führt zu nicht reproduzierbaren Modellen, aufgrund von subjektiven Prozessen des Modellierers [54].

Dem entgegen steht das Prinzip der impliziten Modellierung, die auf Dateninterpolationsalgorithmen basiert [55]. Im direkten Vergleich bedeutet die Anwendung der impliziten Modellierung nicht nur eine Zeitersparnis, sondern ermöglicht auch eine rasche Aktualisierung der Modelle durch die Verfügbarkeit neuer Daten im Lebenszyklus des Projekts [56].

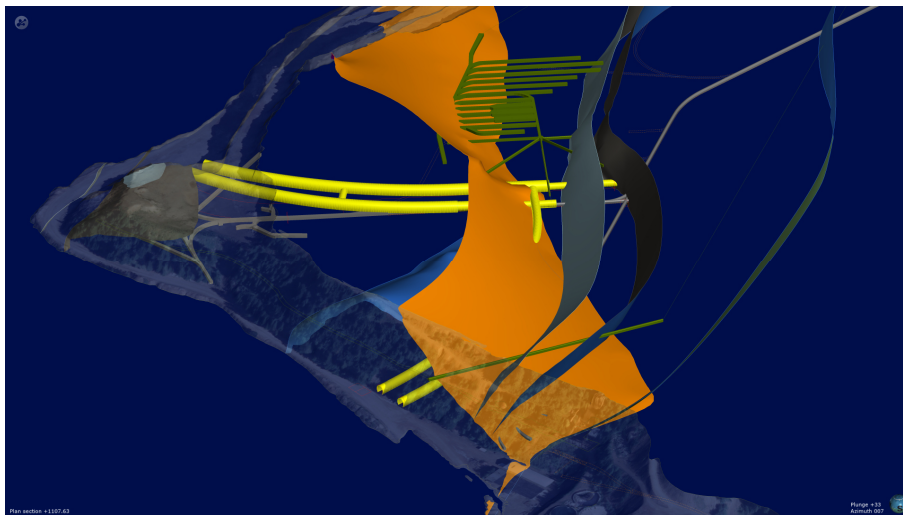


Abbildung 31: Überlagerung des GeoDoku-Modells mit dem Geologie Modell. Auf Basis der 2D- Daten im GeoDoku-Modell wurde der Christoph-Hauptverwurf (orange Fläche) modelliert. Andere Schichtgrenzen (steil stehende Flächen in blau, schwarz und grün) wurden ebenso anhand von 2D-Schnitten modelliert.

Das Ergebnis der Aufbereitung von historischen Daten ist ein geologisches Modell, welches für die Variantenuntersuchung oder eine nachfolgende Baugrunduntersuchung herangezogen werden kann. Aufgrund der Tatsache, dass keine strukturellen Daten zur Verfügung stehen, spricht man von einer semi-automatisierten Modellierung für das implizite geologische Modell [56].

Die Abbildung 32 zeigt die Zusammenführung des Sub-Fachmodells Geologie mit dem GeoDoku-Modell. Das Geologie Modell beinhaltet die geologischen Einheiten (GeologEinheit und GeologStoerung) als modellierten Volumenkörper. Im GeoDoku-Modell sind die Stollen (grau)

und Abbaukammern (grün) am steirischen Erzberg, sowie der gebauten Tunneltrasse in Gelb zu erkennen.

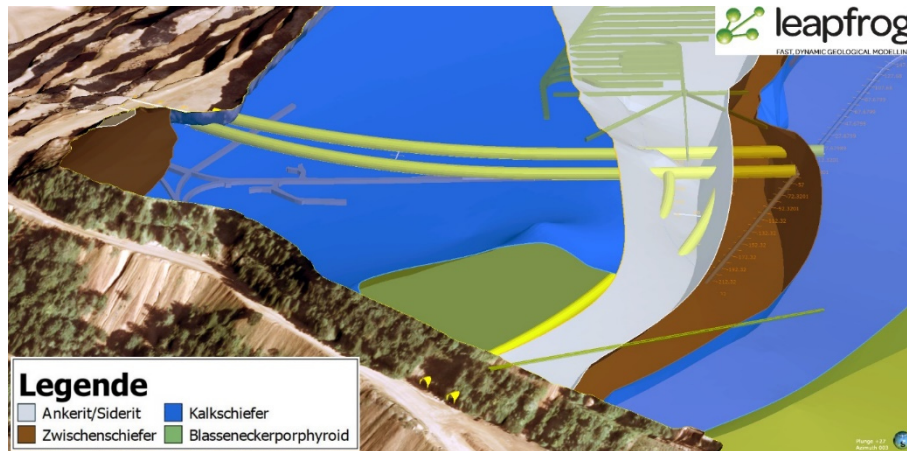


Abbildung 32: Koordinationsmodell ZaB – Überlagerung des Sub-Fachmodells Geologie (Geologische Einheiten) und dem GeoDoku-Modell mit dem Stollensystem (grau), Abbaukammern (grün) sowie den gebauten Tunneln in Gelb.

8 Ausblick Baugrundinformationsmodell

Aktuell werden nicht alle Thematiken den Baugrund betreffend in gleichem Detaillierungsgrad bearbeitet. Dies liegt daran, dass die Erfahrungen je nach Bereich sehr differenziert vorliegen. BIM ist ein Thema der Bau- und Maschinenindustrie und hat deshalb noch nicht alle Bereiche der Geologie und Geotechnik gleichmäßig erfasst. Sollte in der Zukunft die Bergbauindustrie ebenfalls den Vorteil für sich erkennen, die BIM Methodik für die Entwicklung und Planung von Lagerstätten zu implementieren, kann von einer raschen Weiterentwicklung der Gebiete Geologie und Geotechnik ausgegangen werden. Aktuell werden mehrere Pilotprojekte im Bauwesen angestoßen, die sich von Anfang an auf den Einsatz der BIM-Methodik verständigt haben.

Um eine Weiterentwicklung des Baugrundinformationsmodells zu gewährleisten, wurden Sub-Fachmodelle eingeführt. Diese sollten in der Zukunft, um andere Aspekte den Baugrund betreffend abzubilden, erweitert werden. Ein Sub-Fachmodell der Geochemie, der Verwertung, der Deponierung oder auch des Recyclings können als thematische Erweiterungen verstanden werden. Besonders das Thema Deponierung und die Erstellung detaillierter digitaler Modelle davon, werden in der Zukunft für die Rückgewinnung und Aufbereitung wichtige Grundlagen bilden.

Neben den geometrischen Repräsentationen stehen die alphanumerischen Daten im Zentrum der BIM Methodik. Dafür müssen Merkmalkataloge bereitgestellt werden, beziehungsweise sollten diese standardisiert werden, um die Maschinenlesbarkeit zu gewährleisten. Die Pflege und Wartung dieser Kataloge sollten von unabhängiger Seite erfolgen, um allen involvierten Stakeholdern Zugriff darauf zu gewährleisten. Die Entwicklung von Schnittstellen dieser Datenbank zu proprietären Softwarelösungen ist erstrebenswert, fällt jedoch nicht in den Aufgabenbereich der Datenbank verwaltenden Stelle.

9 Herausforderungen der Baugrundmodellierung

Bei der Erstellung von Baugrundmodellen müssen aktuell noch einige Hürden genommen werden. Diese reichen von der Verfügbarkeit digitaler Daten, Softwareprodukten, Schnittstellen bis zur großen Unsicherheit bei der Interpretation von geologisch-, geotechnischen und hydrogeologischen Gegebenheiten.

Die Aufbereitung von vorhandenen Daten (Berichte, Karten, Bohrungen, etc.) kosteten in der Vergangenheit viel Zeit und Geld. Immer mehr dieser Grundlagendaten werden gegen ein Entgelt von Behörden zur Verfügung gestellt und können über offene Austauschformate weiterverwendet werden. Nationale und internationale Organisationen haben es sich zum Ziel gesetzt Grundlagendaten standardisiert auszutauschen. Dies geschieht meist auf der Grundlage zweidimensionaler Daten. Das Einbeziehen dreidimensionaler Daten wird bis heute kaum angeboten.

Beim Modellieren von baugrundrelevanten Daten werden spezielle Anforderungen an die Software gestellt, die BIM Software für die Erstellung von Bauwerken nicht standardmäßig mit sich bringen. Natürlich entstandene Strukturen folgen keinen geometrischen Formen und sind daher sehr komplex zu modellieren. Ebenfalls erfordert die Modellierung die Berücksichtigung eines adaptiven Detaillierungsgrades, um dem unterschiedlichen Kenntnisstand Rechnung tragen zu können. Des Weiteren sollten Attribuierung, implizite Modellierung und geologische Dokumentation durch die Software möglich sein.

Der Austausch aller Daten im Lebenszyklus eines Projekts sollte, um die Anforderungen von Open BIM gerecht zu werden, anhand von offenen Schnittstellen erfolgen.

10 Schlussfolgerung

Bei der Erstellung von Datenmodellen sollte iterativ und inkrementell vorgegangen werden. Viel zu oft scheitert der Versuch ein Datenmodell zu erstellen daran, dass versucht wird alle Aspekte eines Fachbereichs gleichzeitig zu erfassen und dabei das Modell unübersichtlich sowie sehr komplex wird. Ein gemeinsames Begriffsverständnis zum Fachbereich (Kommunikationsbasis), das Abstrahieren von Objekten und Prozessen (Generalisieren) sowie ein gemeinsames Verständnis der bestehenden und zukünftigen Daten im Lebenszyklus sind unter den beteiligten Experten bei der Entwicklung von Datenmodellen besonders wichtig und sollte im Vordergrund stehen. Das langsame Heranführen von nicht fachkundigen Personen zur Datenmodellierung ist für deren Akzeptanz zur Entwicklung von Datenmodellen entscheidend. Der Zweck von Datenmodellen muss klar kommuniziert werden und auch die Tatsache, dass das Modell eine Abstraktion der Wirklichkeit ist und selbstverständlich nicht alle Bereiche im gleichen Maße erfassen kann. Statische strukturelle Informationen können naturgemäß leichter integriert werden als dynamische Aspekte. Der Detaillierungsgrad im Modell kann sich im Laufe der Entwicklung verfeinern, muss er aber nicht. Oftmals wird zu fein modelliert und zu einem späteren Zeitpunkt wieder generalisiert. Auch diese Schritte gehören zu einem iterativen Prozess und sollten nicht als negativ empfunden werden.

In der praktischen Umsetzung führt die Entwicklung von Datenmodellen zu einer konsistenten Umsetzung von Modellen und Informationen. Dies ist notwendig, um automatisierte Prüfalgorithmen anwenden zu können, kollaborativ zusammenzuarbeiten, Datenverluste zu vermeiden und Datenaufbereitungsprozesse zu minimieren. Dies führt langfristig zu einer Effizienzsteigerung der Prozesse, einer nachhaltigen Nutzung von Informationen, bessere bzw. schnellere Vorhersagen in den geologischen Prognosen und generell zu einer höheren Digitalisierung im Bauwesen. Die digitale Transformation sollte nicht als herausgelöste Entwicklung gesehen werden, sondern vielmehr als ständiger Begleiter in der Weiterentwicklung und Optimierung unserer bestehenden Prozesse. Das aktuelle Ziel der Bauindustrie sollte nicht die Entwicklung neuer Technologien sein, sondern die aktuellen Technologien effizient für unsere Zwecke einsetzbar zu machen.

11 Verzeichnisse

11.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Visualisierung der Lebenszykluskosten. Faktoren wie die Kostenbeeinflussung und die Kostenentwicklung betrachtet über den gesamten Lebenszyklus eines Infrastrukturprojektes [4]	4
Abbildung 2: Darstellung der BIM Maturity Ramp von Bew & Richards [10] aus dem Jahr 2008.....	11
Abbildung 3: Modellstruktur wie sie in dieser Masterthesis verwendet wird. Es existieren unterschiedliche Vorstellungen von Modellhierarchien. Die hier vorgestellte Struktur stellt eine Kombination aus jener der Arbeitsgruppen von DAUB und der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) dar.....	12
Abbildung 4: Voraussetzungen für die Definition von spezifischen Level of Information Need (LOIN).....	15
Abbildung 5: Anforderungen bei der Entwicklung von LOINs auf Basis von [15]	16
Abbildung 6: Exemplarische Zuordnung von BIM Softwaretypen zu den entsprechenden Modellkategorien. Im Anhang 13.1 ist eine Tabelle mit gängigen Softwareprodukten, die aktuell in der Praxis zum Einsatz kommen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit angehängt... 18	
Abbildung 7: Phasen der ingenieurgeologischen Untersuchung nach [36].	26
Abbildung 8: Taxonomie der möglichen Diagrammtypen in UML. Es wird zwischen Strukturdiagrammen und Verhaltensdiagrammen unterschieden. In grün hinterlegt, sind die für diese Masterthesis relevanten Diagramme farblich markiert. Abbildung verändert nach [44].	34
Abbildung 9: Aufbau einer Klasse in der Unified Modelling Language. Abschnitte werden durch eine horizontale Linie voneinander begrenzt. Abschnitt 1 zeigt den Namen der Klasse. Abschnitt 2 die Attribute der Klasse und Abschnitt 3 die enthaltenen Methoden der Klasse. 35	
Abbildung 10: Vollständige Syntax die ein Attribut annehmen kann.	36
Abbildung 11: Darstellung der UML Repräsentation von Datentypen. (a) datatype (b) primitive Datentypen (c) enumeration - Aufzählungs Datentyp.....	36
Abbildung 12: UML-Notation der unterschiedlichen Beziehungen (a) Assoziation (b) gerichtete	

Assoziation (c) Aggregation (d) Komposition.....	38
Abbildung 13: Beispielhafte Darstellung einer Vererbungsbeziehung. Die Klassen „Bodenaufschluss“ und „Felsaufschluss“ erben von derselben Klasse „Aufschluss“.....	39
Abbildung 14: Benutzeroberfläche des Tools Excel2UML. a.) Benutzeroberfläche b.) Lokalisierung des Excel Files mit der definierten Datenstruktur c.) Auswahl des Tabellenblatts.	40
Abbildung 15: a.) Automatisiert generiertes Makroskript für den Import der Klassen nach Modelio b.) Skript Editor in der Softwareumgebung Modelio.....	41
Abbildung 16: Kopfzeile des standardisierten Tabellenblatts zur Verwendung des Tools Excel2UML.....	41
Abbildung 17: Element B erbt seine Eigenschaften und Methoden von Element A (Element B ist eine Spezialisierung des Elements A).	42
Abbildung 18: Element B ist existenzabhängig von Element A (Teil B ist exklusiver Bestandteil von Klasse A).	42
Abbildung 19: Das Element B kann im Kontext von Element A existieren, ist aber nicht abhängig von diesem (Element B ist „Teil von nicht exklusiv“ dem Element A).....	43
Abbildung 20: Generiertes UML Diagramm in der Software-Umgebung von Modelio nach Ausführung des generierten Skripts aus Excel2UML.....	44
Abbildung 21: Skizzen zum Baugrundmodell, welche sich im weiteren Verlauf der Arbeit stets weiterentwickelt haben.....	46
Abbildung 22: Generiertes UML-Modell basierend auf der ISO 23387-4 [5]	48
Abbildung 23: Beispiel einer Datenvorlage für die Elementklasse „Schurf“.	48
Abbildung 24: Generiertes UML Klassendiagramm - Klassen der Modelle und Objekte basierend auf der Klasse des Bauobjekts.	50
Abbildung 25: Modellstruktur, wie sie auch in der Veröffentlichung von DAUB [14] Verwendung findet.....	52
Abbildung 26: Generiertes UML-Diagramm aus der Softwareumgebung Modelio mit den Spezialisierungen der Klassen Fachmodell (grün) und Sub-Fachmodell (blau). Oberhalb stehen die Spezialisierungen der Fach- und Sub-Fachmodelle.	53

Abbildung 27: Generiertes UML-Diagramm aus der Softwareumgebung Modelio. Das Datenmodell zeigt die mit der Klasse GeoDoku (Sub-Fachmodell) verbundenen Klassen, basierend auf den Klassen Objekt und Teilobjekt.....	54
Abbildung 28: UML-Diagramm für das Objekt Geländeaufschluss (Detail-Ausschnitt aus dem Gesamtmodell)	55
Abbildung 29: Generiertes UML-Diagramm aus der Softwareumgebung Modelio. Das Datenmodell zeigt die Interpretierten Modelle (Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie, Streckenabschnitt) mit den dazugehörigen Klassen.....	57
Abbildung 30: GeoDoku-Modell mit Darstellung der dreidimensionalen verfügbaren CAD-Daten der Stollensysteme und Abbaukammern im Bereich des Forschungsprojekts am Steirischen Erzberg, sowie der geplante Tunneltrassen (rot-ursprüngliche Variante, gelb-gebaute Trasse).....	62
Abbildung 31: Überlagerung des GeoDoku-Modells mit dem Geologie Modell. Auf Basis der 2D- Daten im GeoDoku-Modell wurde der Christoph-Hauptverwurf (orange Fläche) modelliert. Andere Schichtgrenzen (steil stehende Flächen in blau, schwarz und grün) wurden ebenso anhand von 2D-Schnitten modelliert.	63
Abbildung 32: Koordinationsmodell ZaB – Überlagerung des Sub-Fachmodells Geologie (Geologische Einheiten) und dem GeoDoku-Modell mit dem Stollensystem (grau), Abbaukammern (grün) sowie den gebauten Tunneln in Gelb.	64

11.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Spezifikationen für die Datenübertragung.....	27
Tabelle 2: Aktuelle Standards, Normen und Austauschformate die in der Praxis Verwendung finden.....	28
Tabelle 3: Ausgewählte Datenformate die in den Fachbereichen Geologie und Geotechnik zur Anwendung kommen.	29
Tabelle 4: Beispiel zur Angabe von Multiplizitäten.	37
Tabelle 5: Vordefinierte Excelstruktur für den Import in das Tool Excel2UML.	43
Tabelle 6: Legende zur Farbcodierung der einzelnen UML-Klassen für die folgenden Abbildungen und Tabellen.	47
Tabelle 7: Ausgefüllte Tabellenblattvorlage für die Definition der „Basisklassen“ nach ISO-Norm 23387 [5] für den Import in das Tool Excel2UML.....	47
Tabelle 8: Definierte Excelstruktur für den Import der Bauobjekt-basierenden Klassen in das Tool Excel2UML.	50
Tabelle 9: Definierte Excelstruktur für den Import der Fachmodell und Sub-Fachmodell basierenden Klassen in das Tool Excel2UML.	53

12 Literaturverzeichnis

- [1] Ilja, P. (2019) *Digitale Baugrundmodelle: BIM in der Geotechnik* in: EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 2019, H. 05.
- [2] Beaufils, M. et al. (2019) *Geotechnical data standardization and management to support BIM for underground infrastructures and tunnels* in: Peila, D.; Viggiani, G.; Celestino, T. [Hrsg.] *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art*. CRC Press, S. 655–664.
- [3] DAUB-Arbeitskreis (05/2019) *BIM im Untertagebau – Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten*. http://www.daub-ita.de/fileadmin/documents/daub/gtcrec4/gtcrec11v3_BIM_im_Untertagebau_05-2019.pdf [Zugriff am: 22. Okt. 2019].
- [4] Resch, S. et al. (2018) *Der Weg zum Lebenszyklusorientierten Infrastrukturbau – Die 3 Säulen erfolgreicher Bauprojekte in einer digitalen Wirtschaft*.
- [5] ISO 23387:2020-12 *Building information modelling (BIM) — Data templates for construction objects used in the life cycle of built assets – Concepts and principles*.
- [6] Borrmann, A. et al. (2015) *Building Information Modeling – Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [7] Working Party Strategy Paper: Cabinet Office (2011) *Strategy Paper for the Government Construction Client Group – From the BIM Industry Working Group* [online].
- [8] Paulk, M. C. et al. (1993) *Capability maturity model, version 1.1* in: IEEE Software 10, H. 4, S. 18–27. <https://doi.org/10.1109/52.219617>
- [9] Bew, M.; Richards, M. (2008) *BIM Maturity Model* in: Paper presented at the Construct IT Autumn 2008 Members’ Meeting.
- [10] Bew, M.; Richards, M. *BIM maturity model, strategy paper for the government construction client group* in: London: Department of Business, Innovation and Skills.
- [11] DAUB-Arbeitskreis (11/2020) *Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – Modellanforderungen - Teil 1*. http://www.daub-ita.de/fileadmin/documents/daub/gtcrec4/gtcrec11v3_BIM_im_Untertagebau_05-2019.pdf.
- [12] *DIN SPEC 91391-1:2019-04, Gemeinsame Datenumgebungen (CDE) für BIM-Projekte- Funktionen und offener Datenaustausch zwischen Plattformen unterschiedlicher Hersteller – Teil 1: Module und Funktionen einer Gemeinsamen Datenumgebung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [13] Molzahn, M. et al. (2021) *Das Fachmodell Baugrund – Empfehlungen des*

- Arbeitskreises 2.14 des DGGT* in: *Geotechnik* 44, H. 1, S. 41–51.
<https://doi.org/10.1002/gete.202000040>
- [14] DAUB-Arbeitskreis (August 2022) *Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – Modellanforderungen – Teil 3*. https://www.daub-ita.de/fileadmin/documents/daub/gtcrec5/2022-08_DAUB_BIT_Modellanforderungen_T3_Baugrundmodell_Rec_DE.pdf [Zugriff am: 1. Sep. 2022].
- [15] ÖNORM EN ISO 19650-1 *Organisation von Daten zu Bauwerken - Informationsmanagement mit BIM – Teil 1: Konzepte und Grundsätze*.
- [16] 17412-1:2021-06-01 (2021.06.01) *Building Information Modelling - Informationsbedarfstiefe - Konzepte und Definitionen*.
- [17] BIM4INFRA (2019) *Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle – Teil 6* [online]. https://bim4infra.de/wp-content/uploads/2019/07/BIM4INFRA2020_AP4_Teil6.pdf [Zugriff am: 10. Nov. 2020].
- [18] VDI/DIN-EE 2552 Blatt 12.1 (2022 - 10) *Building Information Modeling – Struktur zu Beschreibung von BIM-Anwendungsfällen*. VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik.
- [19] Weil, J. (2020) *Digitale Baugrundmodelle im Tunnelbau – Status, Chancen und Risiken* in: *Geomechanics and Tunnelling* 13, H. 2, S. 221–236.
<https://doi.org/10.1002/geot.201900078>
- [20] BIM4INFRA (2018) *Umsetzung des Stufenplans „Digitales Planen und Bauen“* [online]. BIM4INFRA [Zugriff am: 10. Nov. 2020].
- [21] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. *Ueber-uns* [online].
<https://www.daub-ita.de/ueber-uns/ziele-interessen/> [Zugriff am: 10. Dez. 2021].
- [22] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. *DGGT-Homepage* [online].
<https://www.dggg.de/> [Zugriff am: 11. Dez. 2021].
- [23] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. *Arbeitskreis 2.14* [online]. <https://ak214.arbeitskreis-dggg.de/> [Zugriff am: 11. Dez. 2021].
- [24] Molzahn, M. et al. (2021) *Entwicklungsstufen und Attribuierung des Fachmodells Baugrund – Empfehlungen Nr. 2 des Arbeitskreises 2.14 der DGGT „Digitalisierung in der Geotechnik“* in: *Geotechnik* 44, H. 3, S. 209–218.
<https://doi.org/10.1002/gete.202100024>
- [25] Building Smart International *BS-Homepage* [online]. <https://www.buildingsmart.org/> [Zugriff am: 11. Dez. 2021].

-
- [26] Building Smart International (31.7.2020) *IFC-Tunnel Project – Report WP2: Requirements analysis report (RAR)* [pdf].
<https://app.box.com/s/3p28520cgser0sa1bvunhc99bt4qhuza/file/711362091723> [Zugriff am: 11. Dez. 2021].
- [27] Köbberich, M. et al. (2022) *GEOL_BIM Innovation Project – Final Report*.
- [28] ÖNORM EN 1997-1 (2014.11.15) *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln*. Wien: Austrian Standards Institute.
- [29] Rosenbaum, M. S. et al. (2003) *New Paradigms in Subsurface Prediction*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [30] Genske, D. D. (2014) *Ingenieurgeologie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [31] Gau, C. (2011) *Geostatistik in der Baugrundmodellierung*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- [32] Fookes, P. G. (1997) *Geology for Engineers: the Geological Model, Prediction and Performance* in: Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 30, H. 4, S. 293–424. <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEG.1997.030.P4.02>
- [33] ÖNORM EN 1997-2 (2010.08.15) *Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds (konsolidierte Fassung)*. Wien: Austrian Standards Institute.
- [34] Kuntsche, K. (2016) *Geotechnik – Erkunden – Untersuchen – Berechnen – Ausführen – Messen*. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [35] Plinninger, R. et al. *Vergleich ingenieurgeologischer Dokumentationsmethoden am Beispiel eines alpinen TBM-Stollens* in: *Kolloquium Bauen in Boden 2020*, S. 97–104.
- [36] Kennard, M. F.; Wakeling, R. T. (1979) *Site investigation for reservoirs* in: *Journal of the Institution of Water Engineers and Scientists* 33, S. 363–376.
- [37] Thomsen, A. et al. (2005) *Datenbankunterstützung für geologische Anwendungen*. Karlsruhe.
- [38] Association of Geotechnical & Geoenvironmental Specialists *AGS Data Format* [online]. <https://www.ags.org.uk/data-format/> [Zugriff am: 29. Dez. 2022].
- [39] Staatliche Geologische Dienste Deutschland (29.12.2022) *The Borehole Markup Language – BoreholeML* [online]. https://www.bgr.bund.de/Infogeo/DE/Home/BoreholeML/boreholeml_node.html.
- [40] Open Geospatial Consortium *OGC Standards* [online]. <https://www.ogc.org/docs/is>

- [Zugriff am: 29. Dez. 2022].
- [41] buildingSmart international (2019) *Infrastructure room - common schema project* [online]. <https://www.build-ingsmart.org/standards/rooms/infrastructure/> [Zugriff am: 16. Feb. 2021].
- [42] de Freitas, M.; Blyth, F. (1984) *A geology for engineers*. Elsevier.
- [43] Rupp, C.; Queins, S. (2012) *UML 2 glasklar – Praxiswissen für die UML-Modellierung*. 4. Aufl. München: Hanser.
- [44] Seidl, M. et al. (2015) *UML classroom – An introduction to object-oriented modeling*. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer.
- [45] Booch, G.; Jacobson, I.; Rumbaugh, J. (2007) *Object-oriented analysis and design with applications*. 3. ed. Upper Saddle River, N.J., Boston, Mass.: Addison-Wesley; Safari Books Online.
- [46] Object Management Group *Was ist UML* [online]. <https://www.uml.org/what-is-uml.htm> [Zugriff am: 20. Aug. 2021].
- [47] ÖGG - Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2021) *Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb – Gebirgscharakterisierung und Vorgangsweise zur nachvollziehbaren Festlegung von bautechnischen Maßnahmen während der Planung und Bauausführung*. 3. Aufl. <https://s3.amazonaws.com/scw.cloud/assets.oegg.at/attachments/ckn8xqcyq003e0umg2owkotg2-geotech-rili-2021-3.pdf> [Zugriff am: 15. Dez. 2021].
- [48] SIA 199 *Erfassen des Gebirges im Untertagebau*. Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein.
- [49] DIN 4020:2010-12 *Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [50] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (2022) *Empfehlung für die baugeologische Dokumentation bei der Ausführung von Untertagebauwerken*. <https://s3.amazonaws.com/scw.cloud/assets.oegg.at/attachments/cl7k5iv980jn30rlalu522ms0-rili-geol-doku-20220901-webversion.pdf> [Zugriff am: 29. Dez. 2022].
- [51] INSPIRE (2022) *Amt der Steiermärkischen Landesregierung – GIS-Steiermark* [online]. Land Steiermark, A17 Statistik und Geoinformation. <https://gis.stmk.gv.at/wgportal/at-lasmobile/map/Bilder%20-%20Karten/Orthofoto>.
- [52] Schönlaub, H. P.; Flajs, G.; Thalmann, F. (1980) *Conodontenstratigraphie am Steirischen Erzberg – Nördliche Grauwackenzone* in: Jahrbuch der Geologischen

-
- Bundesanstalt, Band 123, S. 169–229.
- [53] Open Government Data (2018) *ALS-Schummerungskarte – 1x1m Bodenauflösung* [online]. https://gis.stmk.gv.at/arcgis/services/OGD/als_schummerung/MapServer/WmsServer?request=GetCapabilities&service=WMS [Zugriff am: 25. Aug. 2022].
- [54] Cowan, J. et al. (2003) *Practical Implicit Geological Modelling* in: 5th International Mining Geology Conference.
- [55] Lajaunie, C.; Courrioux, G.; Manuel, L. (1997) *Foliation fields and 3D cartography in geology: Principles of a method based on potential interpolation* in: *Mathematical Geology* 29, H. 4, S. 571–584. <https://doi.org/10.1007/BF02775087>
- [56] Knight, R. H. et al. (2007) *Implicit Ore Delineation* in: *Mine Site Exploration and Ore Delineation & Ore Deposits and Exploration Technology*, S. 1165–1169.

13 Anhang

13.1 Beispiele für BIM fähige Softwareprodukte

Software	Hersteller	Ausschnitt-Dateiformate	SDK, API vorhanden
Vestra Civil	AKG Software	C01, D01, E01	x
Inventor	Autodesk	IPT, IAM	x
Dynamo	Autodesk		x
Revit	Autodesk	RVT, RFA, RTE, RFT	x
Civil 3D	Autodesk	DWG, DXF, DWF, DGN, XML	x
Geotechnical Module for Civil3D	Autodesk		
AutoCAD	Autodesk	DWG, DXF, PDF, CGM, XML	x
BIM360 (Docs/Design)	Autodesk	dwf, dwfx, dwg, dwt	x
Navisworks	Autodesk	NWD, NWF, NWC	x
Infraworks	Autodesk	FBX, IMX, 3DS, OBJ, DAE, DXF	mit Infraworks 360 möglich
Recap	Autodesk	E57, PTS, RCP/RCS, FBX, OBJ, RCM, RCS	
OpenRail	Bentley	XML	
PLAXIS	Bentley	P2D, P2DX, PLX	x
Keynetix	Bentley	CSV	
BIMcollab	BIMcollab / KUBUS	BCF, XSL, CSV, PDF	SDK Download möglich
Zoom Pro	BIMcollab / KUBUS		Betaversion
CloudCompare	Danielgm	BIN, DXF, SBF	x
BIM Vision	Datacomp	GLTF	x
Fides Infrastruktur Toolbox	Fides		
TUGIS	Geoconsult	DXF	
Geotunnel	Geodata		
Eupalinos	Geodata	Metafiles, WMF, PDF	
Kronos	Geodata		
ArchiCAD	Graphisoft / Nemet-schek	PLN, PLA, TPL, MOD, PMK	
ABK	ibData		
FLAC/UDEC/3DEC	Itasca		
DecisionSpace Earth Modeling	Landmark	ODP, HTML	
BIM Booster	Mensch und Maschine	IFC	
Project	Microsoft	MPP	mit Project online möglich
Auer	Nevaris Bausoftware	PDF	x
ProVI	ProVI	CSV	
iTWO	RIB	XML, DWG, DXF, PDF, KML	nur für Rechnungsprüfung
rmGeo	rmData	RMG	
Rhinoceros 3D	Robert McNeel & Ass.	STL, OBJ	x
Grasshopper	Robert McNeel & Ass.	GHX, GH, GHA	x
RS2	Rocscience	FEZ	
Slide	Rocscience	SLIM, SLMD, DXF	
LEAPFROG GEO	Seequent	ASC, TXT, ADF	x

Software	Hersteller	Ausschnitt-Dateiformate	SDK, API vorhanden
Reinforcement Detailing	Sofistik	ABS	
Bridge Modeler	Sofistik		
Sofistik	SOFISTIK		
Solibri	Solibri / Nemetschek	SMC, SMCT, IFC, DWG, PDF, XLS	Solibri API Version
EPLASS	thinkproject		
DESITE	thinkproject	DXF, PLY	online API Archiv
Novapoint	Trimble	VMZ	
Twinmotion	Unreal Engine	FBX, OBJ, SKP	