



**Empfehlung**  
**Digitales Planen, Bauen und Betreiben**  
**von Untertagebauten**

## **Modellanforderungen – Teil 3**

### **Baugrundmodell**

Ergänzung zur DAUB-Empfehlung BIM im Untertagebau

DAUB-Arbeitskreis

## Empfehlung

### Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten. BIM im Untertagebau Modellanforderungen – Teil 3: Baugrundmodell

Ergänzung zur DAUB-Empfehlung BIM im Untertagebau (2019)

#### Herausgeber

Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB)

German Tunnelling Committee (ITA-AITES)

Mathias-Brüggen-Str. 41, 50827 Köln

Tel. +49 - 221 - 5 97 95-0

Fax +49 - 221 - 5 97 95-50

E-Mail: [info@daub.de](mailto:info@daub.de)

[www.daub-ita.de](http://www.daub-ita.de)

Erarbeitet von der Arbeitsgruppe „Baugrundmodellierung“ innerhalb des Arbeitskreises „BIM im Tunnelbau“

#### Mitglieder des Lenkungskreises:

Dipl.-Ing. Lars Babendererde	BabEng GmbH
Dipl.-Ing. ETH Heinz Ehrbar (Leiter)	im Auftrag der DB Netz AG
Dr.-Ing. Stefan Franz	DEGES GmbH
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Maurhofer	Amberg Engineering AG
Dr.-Ing. Peter-Michael Mayer	Ed. Züblin AG

#### Mitglieder der Arbeitsgruppe:

Dipl.-Geol. Ivo Banjan	Ed. Züblin AG
M. Sc. ETH Bau-Ing. Eric Carrera	Lombardi SA
Dr. techn. Georg H. Erharder	geo.zt gmbh – poscher beratende geologen / NGI - Norwegian Geotechnical Institute
Dipl.-Ing. Wolfgang Fentzloff (Leiter)	Implenla Construction GmbH
Dipl.-Ing. Stephan Frodl	Ed. Züblin AG
Dipl.-Ing. Kathrin Glab	Herrenknecht AG
Dr.-Ing. Felix Hegemann	Maidl Tunnelconsultants GmbH & Co. KG
M. Sc. Christiane Kitschka	BabEng GmbH
M. Sc. Valentin Marquart	Firmengruppe Max Bögl
B. Sc. Johannes Waldhart	Montanuniversität Leoben / iC consulenten
M. Sc. Jordi Walter	SD Ingenieure GmbH
M. Sc. Jonas Weil	iC consulenten

#### Satz, Layout und redaktionelle Bearbeitung:

Gabriele Konopka	Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen – STUVA e. V.
Prof. Dr.-Ing. Roland Leucker	Studiengesellschaft für Tunnel und Verkehrsanlagen – STUVA e. V.

August 2022

Titelbild: Eigene Abbildung

# Inhalt

Präambel.....	5	4 Anforderungen an die Erstellung eines Baugrundmodells .....	14
1 Einführung.....	6	4.1 Die Modellstruktur .....	14
1.1 Ausgangssituation .....	6	4.2 Das GeoDoku-Modell .....	15
1.2 Geltungsbereich und Zielgruppe.....	7	4.3 Interpretierte Modelle.....	15
1.3 Abgrenzung .....	7	4.3.1 Geologiemodell.....	17
2 Aktuelle Anwendung in der Praxis .....	7	4.3.2 Geotechnikmodell.....	17
2.1 Verwendung in der traditionellen Methode..	7	4.3.3 Hydrogeologiemodell.....	17
2.2 Zielsetzung der digitalen Baugrundbeschreibung.....	7	4.3.4 Streckenabschnittsmodell .....	18
3 BIM-Anwendungsfälle unter Einbeziehung des Baugrundmodells .....	8	4.4 Objektstruktur .....	19
3.1 Planungsvorbereitung.....	9	4.5 Merkmalkatalog.....	20
3.1.1 Bestandserfassung (ohne Modellierung) .....	9	4.5.1 Unabhängige Merkmale.....	21
3.1.2 Baugrundmodellierung.....	9	4.5.2 Merkmale zur Beschreibung der (geotechnischen) Kennwerte im Geotechnischen Modell (Interpretation).....	21
3.2 Planung.....	9	4.5.3 Merkmale zur Beschreibung projekt- und normenspezifischer Eigenschaften.....	21
3.2.1 Planungsvariantenuntersuchung.....	9	4.6 Umfang von Erkundungsmaßnahmen.....	22
3.2.2 Visualisierungen .....	10	4.7 Modellierung von Unschärfe.....	22
3.2.3 Geotechnische Beurteilung und Bemessung/ Nachweisführung .....	10	4.8 Detaillierungsgrad .....	23
3.2.4 Koordination der Fachgewerke .....	10	4.9 Anforderung an die Qualität des Baugrundmodells.....	26
3.2.5 Fortschrittskontrolle der Planung .....	10	4.10 Anforderung an die Aktualisierung des Baugrundmodells.....	27
3.2.6 Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen .....	11	4.11 Erstellung Koordinationsmodell Baugrund/Bauwerk und Datenaustausch ..	28
3.2.7 Arbeitssicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz .....	11	4.12 Verwendete Software .....	29
3.2.8 Planungsfreigabe.....	11	5 Handlungsfelder für weitere Entwicklungen ....	30
3.2.9 Kostenschätzung und Kostenberechnung.....	11	5.1 Datenbank für Merkmalkatalog .....	30
3.3 Ausführungsvorbereitung.....	12	5.2 Risikoordnung Baugrund .....	31
3.3.1 Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe .....	12	6 Ausblick.....	31
3.3.2 Teilautomatisierte LV-Erstellung.....	12	7 Glossar.....	33
3.4 Ausführung.....	12	8 Literaturverzeichnis.....	35
3.4.1 Terminplanung der Ausführung.....	12	Anlagen .....	37
3.4.2 Logistikplanung.....	12	Anlage 1: Objektkatalog inklusive Auswahl Merkmale .....	39
3.4.3 Erstellung von Ausführungsplänen .....	13	Anlage 2: Beispiele Visualisierungen .....	40
3.4.4 Baufortschrittskontrolle .....	13		
3.4.5 Änderungsmanagement.....	13		
3.4.6 Abrechnung von Bauleistungen .....	14		
3.4.7 Mängelmanagement.....	14		
3.4.8 Bauwerksdokumentation.....	14		
3.5 Betrieb .....	14		
3.5.1 Nutzung für Betrieb und Erhaltung.....	14		

Aus Gründen der Lesbarkeit wird im Folgenden auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher, männlicher oder neutraler Sprachformen verzichtet und das generische Maskulinum verwendet.

Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

## Präambel

Zur Sicherstellung einer nachhaltigen Nutzung der vielfältigen Informationen im Infrastrukturbau ist es notwendig, dass auch im Untertagebau der zunehmenden Digitalisierung Rechnung getragen wird.

Empfehlungen des DAUB bilden üblicherweise „best practice“ Lösungen aus dem Untertagebau in Deutschland und aus Projekten mit deutscher Beteiligung ab. Geschuldet der Tatsache, dass im Untertagebau die digitalen Bearbeitungsmethoden zur Projektumsetzung in Teilen erst am Anfang der Entwicklung stehen, basieren die in diesem Dokument ausgesprochenen Empfehlungen auf den Erfahrungen erster Praxisanwendungen von Experten und sollen zur Standardisierung in der Umsetzung dienen. Des Weiteren sollen diese Empfehlungen auch Anregungen zu möglichen Einsparpotentialen liefern, die zu einem positiven Return on Invest (ROI) führen, auch wenn sich dieser im Gegensatz zu den Implementierungskosten der BIM-Anwendungen nur schwer messen lässt.

Die im Mai 2019 veröffentlichte DAUB-Empfehlung „Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – BIM im Untertagebau“ [1] wurde mit der Zielsetzung erstellt, ein Grundverständnis über die Anwendung von BIM im Untertagebau zu vermitteln. Basierend auf dieser Empfehlung folgte ein Jahr später die Veröffentlichung der Modellanforderungen Teil 1 [2], die das grundlegende Verständnis der Modellstruktur mit einheitlichen Bezeichnungen für tunnelbautypische Objekte und zugehöriger Objektinformationen zum Inhalt hat.

Das vorliegende Dokument behandelt als Teil 3 der Empfehlungsreihe die Beschreibung des Baugrunds mit Hilfe eines digitalen Baugrundmodells. Auch hier liegt der Fokus auf den Anforderungen aus dem Untertagebau. Dazu werden die strukturelle Organisation des Modells mit den verknüpften Informationen und die Erkenntnisse aus ersten Einsätzen in der Praxis beschrieben.

Nach einer Einführung und Darstellung der derzeitigen Praxis wird unter Bezug auf die im Mai 2019 veröffentlichte Empfehlung beschrieben, welchen Beitrag das Baugrundmodell für die dort beschriebenen Anwendungsfälle liefern kann. Als zentrales Kapitel in dieser Empfehlung sind die „Anforderungen an die Erstellung eines Baugrundmodells“ zu sehen. Es schließen sich die Handlungsfelder für weitere Entwicklungen und ein kurzer Ausblick auf einzelne Aspekte des Baugrundmodells an.

Es ist davon auszugehen, dass diese Empfehlung in den nächsten Jahren sukzessive an die sich weiterentwickelnden Praxiserfahrungen und Anforderungen angepasst wird.

Diese Empfehlung wird zusammen mit weiteren Empfehlungen (Teil 2, Teil 4 und Teil 5) zu „BIM im Untertagebau“ veröffentlicht, die hier zur besseren Übersicht gemeinsam aufgeführt sind:

<b>BIM im Untertagebau</b>	<b>05/2019</b>
Modellanforderungen Teil 1: Objektdefinition, Codierung und Merkmale	06/2020
Modellanforderungen Teil 2: Informationsmanagement	08/2022
Modellanforderungen Teil 3: Baugrundmodell	08/2022
Modellanforderungen Teil 4: Modellbasierte Leistungsverzeichnisse	08/2022
Modellanforderungen Teil 5: Vorhaltemaße und Überhöhungen	08/2022

Im Teil 2 dieser Veröffentlichungsreihe werden die Bezeichnungen und Abkürzungen der DIN EN ISO 19650-1/2 verwendet, um auch international die Konsistenz zu wahren. Im vorliegenden Dokument werden abweichend davon die bisher im deutschsprachigen Raum teilweise noch gebräuchlichen Bezeichnungen und Abkürzungen verwendet. Als Beispiel sei hier der BIM-Abwicklungsplan (BAP) genannt, der nach DIN EN ISO 19650-1/2 als BIM Executionplan (BEP) bezeichnet wird.

Im Glossar werden sowohl die im deutschsprachigen Raum gebräuchlichen als auch die normgemäßen Abkürzungen angegeben.

# 1 Einführung

## 1.1 Ausgangssituation

Die Vorteile der Anwendung des Building Information Modelling (BIM), wie sie in unterschiedlichen Veröffentlichungen zu BIM im Infrastrukturbau hervorgehoben sind, werden bislang überwiegend auf die Planung und Erstellung von Bauwerken projiziert. Im Untertagebau kann man sich aber nicht alleine auf das reine Bauwerk konzentrieren, da der Boden bzw. Baugrund inkl. der Grundwasserverhältnisse immer als Teil des gesamten Bauwerks zu sehen ist. Die Erfassung und Beschreibung des Baugrunds führt bei der Anwendung von BIM zum digitalen Baugrundmodell, dem in letzter Zeit immer mehr Aufmerksamkeit beigemessen wird und bei dessen Umsetzung in mancher Hinsicht gegenüber der Bauwerksmodellierung andere Randbedingungen und Regeln zu beachten sind.

Die Einordnung des Baugrundmodells als einen Teil des Anwendungsfalls „Bestandsaufnahme“, wie es zuletzt durch den „Masterplan BIM Bundesfernstraßen“ vom Herbst 2021 [7] erfolgte, und der Zuordnung dieses Anwendungsfalls zu den Leistungsphasen 1 und 2 (nach HOAI), trägt der Relevanz des Baugrunds bei der Umsetzung von Untertagebauwerken nicht ausreichend Rechnung. Bei allen Betrachtungen müssen immer alle Projektanforderungen über den gesamten Lebenszyklus im Auge behalten werden.

Die Notwendigkeit einer gewissenhaften Erkundung und Abbildung mit Beschreibung des Baugrunds liegt hierbei auf der Hand, da sie die entscheidenden Rahmenbedingungen liefern, die maßgeblich Einfluss auf die Lage des Bauwerks, dessen mögliche Abmessungen und Herstellverfahren nehmen. Die

bei der Umsetzung des Bauwerks entstehenden Aufwendungen hinsichtlich Kosten und Bauzeit stehen in direktem Zusammenhang mit den (hydro-)geologischen und geotechnischen Verhältnissen im Projekterimeter und müssen über die gesamte Projektdauer Berücksichtigung finden.

Das digitale, objektbasierte Baugrundmodell sollte von der Systematik ebenso aufgebaut sein wie das Bauwerksmodell, um beide Modelle, neben anderen Modellen, als eigene Fachmodelle bei der Erstellung eines Koordinationsmodells für eine Untertagebaumaßnahme verwenden zu können.

Somit bietet es sich an, auch beim Baugrundmodell eine Struktur mit (Teil-)Objekten inklusive der dazugehörigen Merkmale zur geometrischen und informellen Abbildung des Baugrunds aufzubauen, die mit der Struktur des Bauwerksmodells bzw. des Koordinationsmodells vereinbar ist.

Die folgenden zwei Bilder (**Abbildung 1-1**) stellen anschaulich gegenüber, welche Anforderungen an die Modellierung des Baugrunds im Vergleich zum Bauwerk entstehen. Anhand der beiden Bilder können verschiedene Aspekte zur Objekteinteilung bzw. -struktur, wie sie aus der Bauwerksmodellierung bekannt sind, gegenübergestellt werden (**Tabelle 1-1**).

Als weiterer wichtiger Aspekt ist zu beachten, dass die Erstellung des initialen Baugrundmodells (Vorwurf) zu einem Zeitpunkt erfolgt, bei dem zwar der Projektraum bekannt ist, aber es noch keine definierten Bauwerksachsen der später umzusetzenden Baumaßnahme gibt.

Auch bei der Beschreibung der Eigenschaften der im Modell abgebildeten Objekte gibt es Unterschiede. Können beim Bauwerk die Eigenschaften wie Materialbeschaffenheiten oder Belastungsgrenzen hinreichend genau angegeben werden, so unterliegen die Kennwerte zur Beschreibung des Baugrundes gewissen Streubreiten.



**Abbildung 1-1** Vergleich Modellierungsanforderungen – links Bauwerk (Foto: Implenia/Bernd Schumacher), rechts Baugrund (Foto: Implenia)

**Tabelle 1-1** Vergleich Objektstruktur Bauwerk und Baugrund

Aspekt	Bauwerksmodell	Baugrundmodell
Geometrie	klare geometrische Formen (wenn auch der Portalkragen etwas komplexer ausfällt)	schwer definierbare Geometrien mit unregelmäßigen Strukturen
Ausdehnung	es ist bekannt, nach wie viel Metern der Tunnel am anderen Portal wieder an die Oberfläche kommt	es ist schwer zu definieren, wie weit sich eine geologische Einheit tatsächlich ausdehnt
Anzahl	die Anzahl der Objekte kann bestimmt werden (Handlauf, Seitenwände, Tunnelblöcke, Bankette, ...)	wie viele Störungen oder Klüfte im Beobachtungsraum auftreten und somit geologische Einheiten beschreiben werden, ist unklar
Verortung und Orientierung	Objekte können entlang der Tunnel-/Gleichachse eindeutig verortet werden	georeferenzierte Anordnung der Objekte; punktuell verteilt oder räumlich ausgedehnt, unregelmäßig angeordnet

## 1.2 Geltungsbereich und Zielgruppe

Mit der vorliegenden Empfehlung sollen grundsätzlich alle Projektbeteiligte im Untertagebau angesprochen werden. Es bietet sich an, die vorgestellten Grundlagen bereits bei den ersten Überlegungen für die Projektierung einer Untertagebaumaßnahme anzuwenden, wenn es um die Erfassung des Baugrunds geht. Das aufgestellte Baugrundmodell wird für alle weiteren Projektphasen, von der Planung über die Bauausführung bis zur Betriebsphase, einen essentiellen Beitrag für Entscheidungen und zur Dokumentation in der Projektabwicklung liefern. Die gewissenhafte Pflege des Baugrundmodells sollte über alle Phasen konsequent durchgeführt werden.

## 1.3 Abgrenzung

Die Ausführungen in dieser Empfehlung haben die speziellen Anforderungen an die Beschreibung des Baugrundes für die Umsetzung eines Untertagebauwerkes im Blick. Diese hohen Anforderungen bedingen eine sehr umfangreiche und ausführliche Erfassung und Beschreibung der (hydro-)geologischen/geotechnischen Verhältnisse und können daher einen höheren Aufwand zum Aufstellen eines Baugrundgutachtens als bei Baumaßnahmen aus dem Spezialtief-, Erd- und Ingenieurbau haben.

## 2 Aktuelle Anwendung in der Praxis

### 2.1 Verwendung in der traditionellen Methode

In der traditionellen Methode der Beschreibung des Baugrunds erfolgt die Grundlagenenerhebung durch Übernahme vorhandener Daten (z. B. geologische Karten, Vergleichsprofile) und Gewinnung neuer Informationen aus projektbezogenen Erkundungsprogrammen. Die Übergabe der Ergebnisse erfolgt in Form von Berichten mit Anhängen. Der Umfang und Detaillierungsgrad korreliert dabei mit der Planungsphase. Die Informationen werden u. a. im geologischen Längsschnitt zusammengefasst und visualisiert.

### 2.2 Zielsetzung der digitalen Baugrundbeschreibung

Durch die im vorherigen Abschnitt (**Kapitel 2.1**) beschriebene traditionelle Form des Daten- und Informationsaustauschs ergibt sich eine Vielzahl an Problemen, wenn dieser nicht in digitaler Form erfolgt. Dabei umfasst „digital“ hier nicht nur den Austausch der Berichte über Dokumentenmanagementplattformen, sondern primär zusätzlich die Verwaltung von Informationen über zentrale Datenmanagementsysteme und Modelle während des gesamten Lebenszyklus des Bauwerks.

Mit der zunehmenden Digitalisierung im Untertagebau sind auch hier Schnittstellen und Anpassungen notwendig, um die Nutzung der Baugrundinformationen für alle Beteiligten effizienter und transparenter zu gestalten. In allen Projektphasen ist somit eine Informations- und Kollaborationsplattform erforderlich, die als sogenannte „single source of truth“ dient.



Aus Sicht des Projektverfassers Baugrund ergeben sich folgende Vorteile:

- Verbesserte Übersicht der vorliegenden Grundlagentdaten
- Weniger Aufwand für deren Aufbereitung
- Besseres Verständnis der Baugrundsituation durch gleichzeitige Berücksichtigung aller Informationen im Modell
- Erleichterte Erstellung qualitativ hochwertiger und konsistenter 3D-Interpretationen mit Beachtung von „Unschärfen“ (siehe **Kapitel 4.7**)

Darüber hinaus ergeben sich im Allgemeinen folgende weitere Vorteile, die dem Projekt und damit allen Beteiligten zugutekommen:

- Verbesserte Kommunikation komplexer Geometrien durch 3D-Modellierung
- Vereinfachte Variantenstudien
- Verbesserte Möglichkeiten zur Prognosebildung
- Phasenübergreifende Informations- und Kollaborationsplattform (single source of truth)

Zur Erreichung dieser Vorteile bestehen derzeit Herausforderungen, die beim Projektmanagement berücksichtigt werden müssen:

- Fehlende Erfahrungswerte in der Anwendung der Methode (z. B. erhöhter Aufwand für das Aufsetzen der Systeme)
- Nutzung der bestehenden Softwarelösungen zur zielgerichteten Aufgabenbearbeitung
- Aufbau der erforderlichen Akzeptanz bei den Projektbeteiligten (Stichwort „change management“)
- Identifikation bestehender Lösungen und deren Übertragbarkeit auf die aktuelle Aufgabenstellung

Diese Aspekte können in der derzeitigen Übergangsphase einen gewissen Mehraufwand bedeuten, der sich aber mit der Zeit reduzieren wird, wenn die Beteiligten in der BIM-Anwendung geschult und die Prozesse zur Routine gereift sind.

### 3 BIM-Anwendungsfälle unter Einbeziehung des Baugrundmodells

Nachfolgend werden diverse BIM-Anwendungsfälle (AWF) projektphasenspezifisch beschrieben, für die das Baugrundmodell einen Beitrag leistet. Die Aufzählung basiert auf den bereits in der DAUB-Empfehlung

„BIM im Untertagebau“ [1] aufgelisteten AWF. Aktuell ist eine 2D-Planung insbesondere im Hinblick auf die Genehmigungsphase noch Grundlage der meisten Bauprojekte und wird im Folgenden entsprechend berücksichtigt. Eine Auswahl zukünftiger Anwendungsfälle wird im Ausblick vorgestellt. Zur Übersicht sind die Anwendungsfälle in **Tabelle 3-1** mit Angabe der Kapitelnummer aufgeführt.

**Tabelle 3-1** Übersicht Anwendungsfälle (AWF)

Kapitel	Projektphase/Anwendungsfälle
<b>3.1</b>	<b>Planungsvorbereitung</b>
3.1.1	Bestandserfassung
3.1.2	Baugrundmodellierung
<b>3.2</b>	<b>Planung</b>
3.2.1	Planungsvariantenuntersuchung
3.2.2	Visualisierungen
3.2.3	Geotechnische Beurteilung und Bemessung/ Nachweisführung
3.2.4	Koordination der Fachgewerke
3.2.5	Fortschrittskontrolle der Planung
3.2.6	Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen
3.2.7	Arbeitssicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz
3.2.8	Planungsfreigabe
3.2.9	Kostenschätzung und Kostenberechnung
<b>3.3</b>	<b>Ausführungsvorbereitung</b>
3.3.1	Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe
3.3.2	Teilautomatisierte LV-Erstellung
<b>3.4</b>	<b>Ausführung</b>
3.4.1	Terminplanung der Ausführung
3.4.2	Logistikplanung
3.4.3	Erstellung von Ausführungsplänen
3.4.4	Baufortschrittskontrolle
3.4.5	Änderungsmanagement
3.4.6	Abrechnung von Bauleistungen
3.4.7	Mängelmanagement
3.4.8	Bauwerksdokumentation
<b>3.5</b>	<b>Betrieb</b>
3.5.1	Nutzung für Betrieb und Erhaltung



Es wird explizit darauf hingewiesen, dass Normen, Richtlinien und Klassifizierungs-Schemata grundsätzlich für BIM-Anwendungsfälle dieselbe Gültigkeit haben wie in der nicht-BIM-basierten Planung. Die passenden Regelwerke sind demnach anwendungsfallspezifisch zu wählen.

### 3.1 Planungsvorbereitung

In der Planungsvorbereitung ist das Baugrundmodell eines der zentralen Modelle, da es die bestehenden geologischen Verhältnisse aufzeigt und somit maßgeblich den Entscheidungsprozess zur Lage, Ausbildung (Geometrie, Technik) und zum Herstellverfahren des zu realisierenden Bauwerks unterstützt.

#### 3.1.1 Bestandserfassung (ohne Modellierung)

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erfassung bestehender Baugrundmodellierungen</li> <li>▪ Modellbasierte Aufbereitung baugrundrelevanter Bestandunterlagen (z. B. Bohrungen, Bestandsmodelle, geologische Karten etc.)</li> <li>▪ Vom Baugrundmodell werden keine künstlichen Bauwerke im Bestand erfasst. Andere Teile des Bestandsmodells umfassen bestehende Hohlräume, Bauwerke, Bodenverbesserungsmaßnahmen, Anschüttungen etc. ebenso wie Altlasten und Kampfmittel</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schaffung der Grundlagen für die weitere baugrundrelevante Projektbearbeitung</li> <li>▪ Schaffung von Eingangsgrößen für nachfolgende Anwendungsfälle (bspw. Planungsvariantenuntersuchung)</li> </ul>

#### 3.1.2 Baugrundmodellierung

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erfassung und Darstellung aller (hydro-)geologisch und geotechnisch relevanter Daten über den kompletten Projektverlauf</li> <li>▪ Nutzung der Daten als Eingangsgröße für weitere Anwendungsfälle</li> <li>▪ Stetige Aktualisierung des Modells bei Erkenntnisgewinn</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erstellung einer modellbasierten, konsistenten Datengrundlage des jeweils aktuellen Informationsstands für alle Projektbeteiligten zur transparenten und kooperativen Projektabwicklung</li> <li>▪ Erfassung und Visualisierung möglicher bzw. tatsächlicher (hydro-)geologischer und geotechnischer Einheiten mit Berücksichtigung von interpretatorischen Unschärfen</li> </ul>

### 3.2 Planung

#### 3.2.1 Planungsvariantenuntersuchung

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Festlegung von Erkundungsprogrammen bzw. deren Ergänzung</li> <li>▪ Variantenuntersuchung auf Basis von Baugrundmodellen</li> <li>▪ Konfliktanalyse geometrisch und fachmodellübergreifend</li> <li>▪ z. B. mit unterirdischer Infrastruktur</li> <li>▪ z. B. Schutzgebiete</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gegenüberstellung von verschiedenen Planungsvarianten auf Grundlage des Baugrundmodells zur Entscheidungsfindung</li> <li>▪ Variantenfestlegung für die weitere Detaillierung in den folgenden Planungsphasen</li> </ul>

### 3.2.2 Visualisierungen

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Visualisierung der geologischen Verhältnisse zur Unterstützung der Planung</li> <li>Darstellung der dem Baugrundmodell zugrundeliegenden Erkundungen (lokal gesicherte Erkenntnisse) und den daraus abgeleiteten geologischen/geotechnischen Einheiten (Kontinuum)</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Veranschaulichung der räumlichen Beziehung zwischen Bauwerk und Baugrund</li> <li>Einbeziehung der Öffentlichkeit</li> <li>Optimierung der Abstimmung mit internen und externen Projektbeteiligte</li> <li>Darstellung von Prognoseunsicherheiten</li> <li>Visualisierung von Sondierungen und Sondierergebnissen</li> </ul>

### 3.2.4 Koordination der Fachgewerke

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusammenführung der jeweiligen Sub-Fachmodelle (z. B. geologisches Modell, hydrogeologisches Modell etc.) zusammen mit dem Bauwerksmodell in einem Koordinationsmodell</li> <li>Prüfung der Zuordnung von Vortriebsklassen zu den Homogenbereichen (vgl. <b>Kapitel 4.3.2</b> und <b>Kapitel 4.3.4</b>)</li> <li>Prüfung der einheitlichen Verwendung der Informationen aus dem Baugrundmodell durch die einzelnen Fachgewerke (Konsistenz der Planungsgrundlage und Baumethoden)</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risikominimierung durch frühzeitige Koordination aller Gewerke</li> <li>Minimierung von Planungs- und Ausführungskonflikten unter besonderer Berücksichtigung der Interaktion Baugrund – Bauwerk</li> <li>Erhöhung der Transparenz</li> </ul>

### 3.2.3 Geotechnische Beurteilung und Bemessung/Nachweisführung

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Übertragung geometrischer Randbedingungen und Eingabeparameter aus dem Baugrundmodell für die statische Bemessung von Untertagebauwerken</li> <li>Berechnung und Visualisierung verschiedener (hydro-)geologischer/geotechnischer Szenarien unter Verwendung des jeweiligen Sub-Fachmodells</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Steigerung der Effektivität und Unterstützung des Tragwerksplaners unter Berücksichtigung geotechnischer Randbedingungen</li> <li>Rückführung neuer Erkenntnisse in das Modell zur Schärfung der Prognosesicherheit</li> </ul>

### 3.2.5 Fortschrittskontrolle der Planung

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stand der Erkundungsarbeiten und Baugrundbeschreibung</li> <li>Prüfen der Erkundungsphasen (Vor-, Hauptuntersuchung gem. Eurocode 7) und Modellversionen</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Darstellung des Erkundungs- und Modellierungsfortschritts</li> <li>Verwendung im Projektmanagement zum Abgleich mit dem Projektterminplan</li> </ul>

### 3.2.6 Erstellung von Entwurfs- und Genehmigungsplänen

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entwurfs- und Genehmigungsunterlagen (z. B. geologischer Längsschnitt, Profile, Berichte) werden aus dem Baugrundmodell heraus abgeleitet</li> <li>Erstellung von 3D-Ansichten zur Unterstützung des Genehmigungsprozesses</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sicherstellung konsistenter Planunterlagen</li> <li>Sicherstellung der norm- und qualitätsgerechten Planung</li> </ul>

### 3.2.8 Planungsfreigabe

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anreicherung von 2D-Unterlagen mit 3D-Ansichten, solange Planprüfungen noch „auf Papier“ erfolgen</li> <li>Nutzung von 3D-Modellen bei Erörterungsterminen</li> <li>Idealerweise Prüfung am Modell</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vereinfachte Freigabe durch Darstellungen am Modell</li> </ul>

### 3.2.7 Arbeitssicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Aspekte im Baugrundmodell, insbesondere geogene Einflüsse (z. B. Gase, Temperatur, Quarzgehalt, Schwermetalle etc.)</li> <li>Analysen der Arbeitsbedingungen</li> <li>Schutz vor Kontaminationen</li> <li>Berücksichtigung umweltschutzrelevanter Aspekte (Sperrbereiche, Gefahrstoffe) in den Modellen</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifikation und Darstellung von räumlichen und zeitlichen Abhängigkeiten sicherheitsrelevanter Aspekte</li> <li>Grundlage zur Erarbeitung von Sicherheitskonzepten</li> <li>Festlegung von Aufbereitungs- und Entsorgungskonzepten (Boden und Wasser)</li> </ul>

### 3.2.9 Kostenschätzung und Kostenberechnung

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modellbasierte und strukturierte Mengenermittlung</li> <li>Das Baugrundmodell liefert die relevanten Informationen zur Einschätzung des Herstellaufwands (Geometrie, Vortriebsklassen, Baumethoden, Material, Erschwernisse, Gefährdungsbilder etc.)</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identifikation bzw. Darstellung von geometrischen und zeitlichen Abhängigkeiten bzw. Randbedingungen (Boden-Bauwerk-Interaktion)</li> <li>verbesserte Analyse von Projektrisiken</li> </ul>

### 3.3 Ausführungsvorbereitung

#### 3.3.1 Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ermittlung von relevanten Mengen auf Basis modellbasierter Planungen und geologischer Prognosen, die im Baugrundmodell abgebildet sind</li> <li>▪ Erstellung des Baugrundmodells als vertragliche Grundlage</li> <li>▪ Visualisierung der Baugrundverhältnisse für den Bieterkreis (Veranschaulichung des Baugrundgutachtens)</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erarbeitung des Baugrundmodells mit realistischer Einschätzung der wahrscheinlich eintretenden Wechselwirkungen als vertragliche Basis und Grundlage für künftige Soll-/Ist-Vergleiche</li> <li>▪ Festlegung von Vortriebsklassen und weiteren Randbedingungen zur Beschreibung der Vortriebsausführung (z. B. Erschwernisse)</li> </ul>

#### 3.3.2 Teilautomatisierte LV-Erstellung

Beschreibung	<p>Direkte Anwendung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Modellbasierte Mengenermittlungen von Aushub- bzw. Ausbruchsvolumen</li> </ul> <p>Indirekte Anwendungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lieferung von Grundlagen zur Erstellung von Positionen zur Leistungsbeschreibung des Vortriebs (Ausbruch, Sicherungsmittel, Erschwernisse etc.)</li> <li>▪ Ergänzung von Positionen, die sich nicht aus dem Modell direkt ableiten lassen (z. B. Erschwerniszulagen)</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bereitstellung von Informationen aus dem Baugrundmodell zur Erstellung von LV-Positionen und deren Mengenvordersätze</li> </ul>

### 3.4 Ausführung

#### 3.4.1 Terminplanung der Ausführung

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verwendung der Informationen aus dem Baugrundmodell zur Validierung der aufgefahrenden Vortriebsbereiche unter Berücksichtigung der beschriebenen Streckenabschnitte</li> <li>▪ Extrapolation der Erkenntnisse auf zukünftig aufzufahrende Streckenabschnitte</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erstellung und Schärfung von Vortriebsprognosen bzw. -dauern unter Berücksichtigung der natürlich bedingten Streuungen der dem Baugrundmodell zugrunde liegenden Bodenkennwerte</li> </ul>

#### 3.4.2 Logistikplanung

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grundlagen zur Planung der fachgerechten Aufbereitung bzw. Entsorgung des Aushubmaterials und anfallender Berg- und Prozesswässer (Technologie, Flächenbedarf, Transportwege, ...)</li> <li>▪ Ableitung möglicher geologischer/geotechnischer Szenarien untertage, die Einfluss auf die Arbeitsbedingungen haben (Felschlag, Gas, Temperatur, Staub etc.) und zu deren Beherrschung besondere Logistikmaßnahmen erforderlich sein können</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bereitstellung von Informationen aus dem Baugrundmodell mit Relevanz zur Logistikplanung (Transport- und Entsorgungskonzepte (Boden und Wasser), Arbeitssicherheit) und Verortung in jeweiligen Streckenabschnitten</li> </ul>

Der AWF „Logistikplanung“ wird auf Grund seiner Relevanz an dieser Stelle detaillierter ausgeführt.

Der Baugrund hat nicht nur einen entscheidenden Einfluss auf die Konstruktion des Untertagebauwerks, sondern auch darauf, wie das Bauwerk hergestellt und wie das anfallende Ausbruchsmaterial verarbeitet wird. Diese Aspekte geben maßgebliche Randbedingungen für die einzurichtende Logistik vor und sind daher bei deren Planung zu berücksichtigen. Die Betrachtung der Machbarkeit der Logistikkonzepte und deren Auswirkungen auf Zeit und Kosten können projektbestimmend sein.

Die Informationen aus dem Baugrundmodell sollten eine Aussage dazu ermöglichen, welche Arbeitsbedingungen untertage zu erwarten sind und welche Maßnahmen zu deren Beherrschung geplant und eingesetzt werden müssen. Prognosen zur Temperatur und zur erwartenden Staubentwicklung betreffen beispielsweise die Konzepte für die Bewetterung (drückend, saugend) inklusive ggfs. einzusetzender Kühlung oder den Einsatz von Maschinen und Förderbändern bzw. zusätzlich erforderlicher Ausstattungen. In gleicher Weise sind mögliche Gasvorkommen bei den eingesetzten Geräten zu berücksichtigen und werden weitere Maßnahmen zur Arbeitssicherheit bedingen.

Das Baugrundmodell gibt Aufschluss über das zu erwartende Ausbruchsmaterial und dessen Eigenschaften. Diese Informationen können in einem möglicherweise zu erstellenden Entsorgungs- und Verwertungskonzept Eingang finden. Dieses Konzept bestimmt in der Folge, welches Material aufbereitet und wiederverwendet werden kann. Das restliche Material ist einer Entsorgung/Deponierung zuzuführen. In diesem Kontext ergeben sich Aufgabenstellungen zu Lagerkapazitäten, Transportwegen und Deponiestandorten, die von ihrer Tragweite her spätestens für die Genehmigung eines Projekts gelöst werden sollten bzw. müssen.

Die Erfassung dieser Aspekte kann durch ein oder mehrere separate(s) Sub-Fachmodell(e) erfolgen (siehe auch **Kapitel 4.3**).

### 3.4.3 Erstellung von Ausführungsplänen

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abbildung der erwarteten Baugrundverhältnisse in Längs- und Querschnitten bei der Erstellung von Ausführungsplänen</li> <li>▪ Ausführungspläne zur Durchführung spezieller Bodenverbesserungsmaßnahmen</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sicherstellung konsistenter Planunterlagen</li> </ul>

### 3.4.4 Baufortschrittskontrolle

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dokumentation der Ist-Geologie zur Fortschreibung des Bauzeitenmodells</li> <li>▪ Abgleich von prognostizierten und tatsächlich aufgefahrenen Vortriebs- bzw. Bohrklassen je Streckenabschnitt zur Validierung künftiger Vortriebsfortschritte</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zeitnahe, im besten Fall unmittelbare und transparente Identifizierung von Abweichungen zwischen prognostizierten und angetroffenen Baugrundverhältnissen</li> <li>▪ Validierung der prognostizierten Fertigstellungstermine</li> </ul>

### 3.4.5 Änderungsmanagement

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erfassung der tatsächlich aufgefahrenen Baugrundverhältnisse und Abgleich mit den prognostizierten Gebirgskennwerten</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dokumentation von Abweichungen im Baugrund zur Prognose</li> <li>▪ Lieferung der Grundlage für ggf. erforderliche bautechnische Anpassungen und Maßnahmen</li> </ul>

### 3.4.6 Abrechnung von Bauleistungen

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nutzung des Modells zur Dokumentation der tatsächlich angetroffenen Baugrundverhältnisse als Grundlage bzw. zur Plausibilisierung der Abrechnung von Ausbruchsleistungen unter Berücksichtigung der damit verbundenen zeitabhängigen Kosten</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erhöhung der Transparenz und der Kostensicherheit</li> <li>Anschauliche Dokumentation am Modell</li> </ul>

### 3.4.7 Mängelmanagement

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Auftreten von Mängeln kann im Zusammenhang mit den anstehenden Baugrundverhältnissen stehen (Interaktion Baugrund – Bauwerk)</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lieferung von Hintergrundinformationen zur Bewertung von Mängelereignissen</li> </ul>

### 3.4.8 Bauwerksdokumentation

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erstellung des Baugrundmodells nach Ausführung unter Zuhilfenahme aller fachtechnischer Dokumentationen (z. B. Ortsbrustaufnahmen, Wasserzutritte usw.)</li> <li>Aktualisierung des Prognosemodells</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusammenstellung des Ist-Zustands in einem kompletten Dokumentationsmodell (= Faktenmodell)</li> <li>Anpassung der Interpretationsmodelle gemäß angetroffener Baugrundverhältnisse</li> <li>Übergabe der Dokumentations- und Interpretationsmodelle (Geometrie und/oder Informationen zu Gebirgskennwerten) an den AG, ggf. den Betreiber und zuständige Behörden</li> </ul>

## 3.5 Betrieb

### 3.5.1 Nutzung für Betrieb und Erhaltung

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dokumentation der vorliegenden Baugrundverhältnisse</li> <li>Bestandsdaten für weitere umliegende Projekte</li> <li>Gegebenenfalls Anpassung des Inhalts auf die für die Betriebsphase erforderlichen Informationen und Pflege derer</li> </ul>
Ziele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schneller und intuitiver Zugriff auf verfügbare digitale Informationen</li> </ul>

## 4 Anforderungen an die Erstellung eines Baugrundmodells

Das digitale Baugrundmodell dient zum einen der Visualisierung und zum anderen als Informationscontainer der Erkenntnisse im Zuge der Projektentwicklung/-fortschreibung. Der Geotechnische Bericht bzw. das Tunnelbautechnische Gutachten werden hierdurch nicht ersetzt, sondern steuern erforderliche Beschreibungen und Erläuterungen bei. Weitere Dokumente (analog/digital) können auf das Modell und seine Objekte referenziert werden (z. B. Bohrlochfotos, Laborberichte).

Nachdem das Fachmodell „Baugrund“ mannigfaltige Grundlagen für die weiteren Planungsschritte liefert, sollte es mit einem entsprechenden zeitlichen Vorlauf erstellt werden.

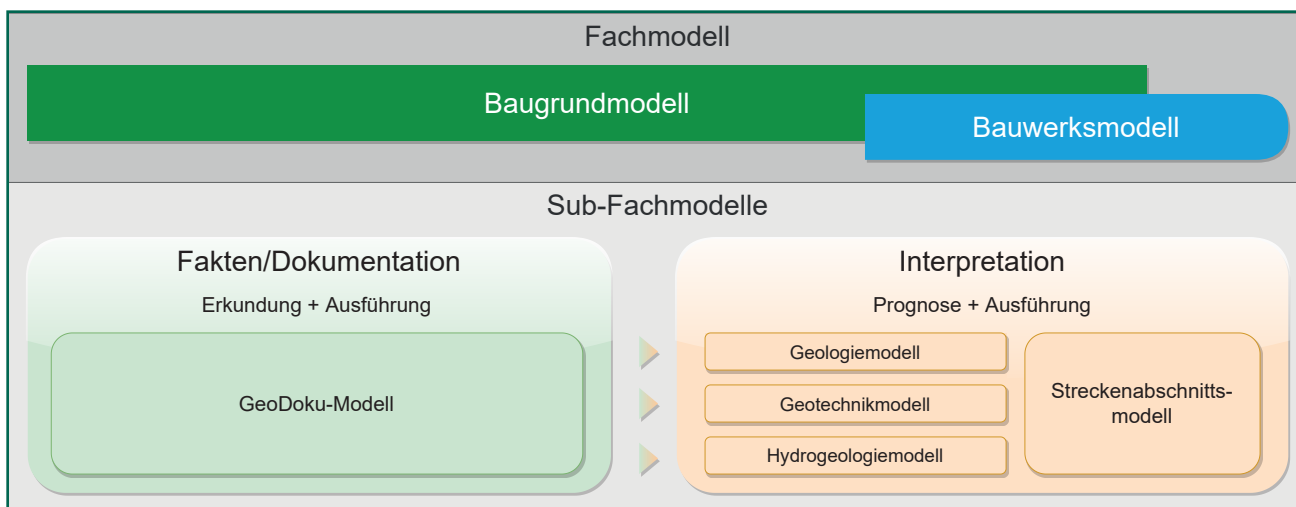
### 4.1 Die Modellstruktur

Als Modellstruktur wird hier die Organisation der im Hinblick auf den Baugrund wesentlichen Inhalte und deren Darstellung in Form von Modellen verstanden.

Das Baugrundmodell ist gemäß DAUB-Modellanforderung Teil 1 [2] als eigenes Fachmodell zu sehen und steht hierarchisch unter dem Koordinationsmodell und über der Objektgruppe.

Es setzt sich aus mehreren „Sub-Fachmodellen“ zusammen, welche unterschiedliche Inhalte des Baugrunds repräsentieren (**Abbildung 4-1**). Die Sub-Fachmodelle gliedern sich in ein „GeoDoku-Modell“ (Faktenmodell) und mehrere interpretierte Modelle (Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie, Streckenabschnitt). Die Erfassung von Fakten erfolgt in der Phase der Erkundung, sowie während der Ausführung, durch die bau-





**Abbildung 4-1** Struktur des Fachmodells Baugrund

begleitende Dokumentation. Die Interpretation der faktischen Daten wird für die Erstellung der Prognose herangezogen und in der Phase der Ausführung an die tatsächlichen Verhältnisse schrittweise angepasst. Die Modellarten werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Die thematische Strukturierung in unterschiedliche Modelle ermöglicht, tatsächlich vorliegende Informationen und Eigenschaften von interpretierten Aussagen zu unterscheiden. Dies spiegelt den Grundsatz der im D-A-CH-Raum verwendeten Normen und Richtlinien (DIN 4020 [8], SIA 199 [9], ÖGG-Richtlinien [10], [11]) zur Erstellung eines Geotechnischen Berichts wider, wonach zwischen Erfassung und Interpretation zu unterscheiden ist.

## 4.2 Das GeoDoku-Modell

Dieses Sub-Fachmodell (**Abbildung 4-1**) umfasst alle verwendeten Grundlagendaten, die per se als Fakten für die Baugrundmodellierung zu betrachten sind. Sie bestehen aus geologischen Bestandsdaten aus vorhandenen Quellen wie offiziellen Karten, geologischen Dokumentationen vorhandener Bauwerke u. ä., vor allem aber aus den Ergebnissen der Baugrunderkundung (Kartierung, Aufschlusskampagne, Labor- und in-situ-Versuche). Hierbei ist der Erkenntnisgewinn nicht nur auf die eigentlichen Erkundungsphasen beschränkt, sondern schließt auch die Baugrunddokumentation während der Ausführung mit ein.

In der Praxis handelt es sich nicht ausschließlich um faktische Rohdaten. Ein Grundmaß an Interpretation ist häufig notwendig zur Durchführung und Dokumentation von (hydro-)geologischen/geotechnischen Untersuchungsprogrammen. Ferner sind Baugrunddaten, die durch Geologen während der qualitativen Charakterisierung des Baugrunds erhoben werden,

grundsätzlich einer gewissen Interpretation unterzogen.

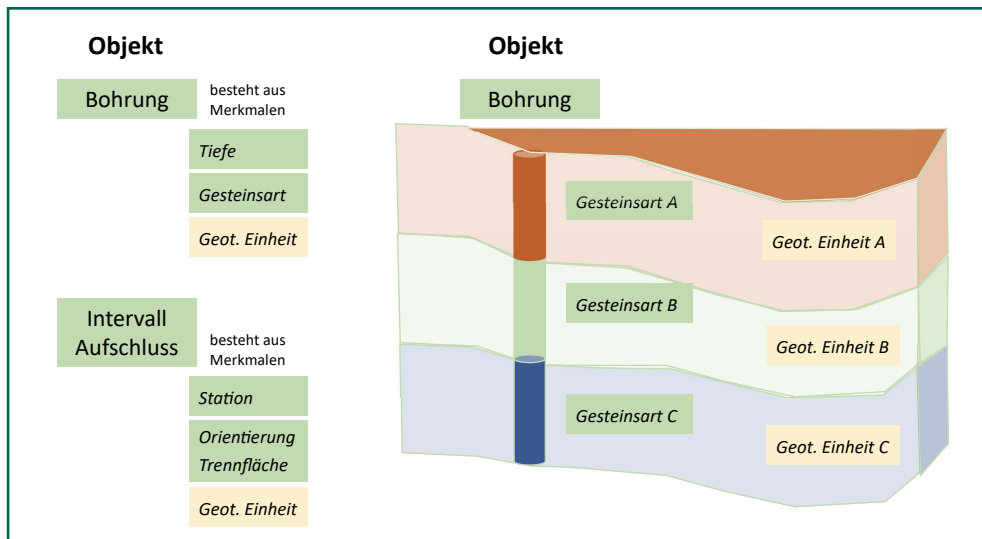
In den semantischen Informationen dieses Sub-Fachmodells sind daher auch schon erste Stufen von Interpretationen enthalten (z. B. die Zuordnung von in Kernbohrungen dokumentierter Lithologie und Bohrlochabschnitten zu geologischen Einheiten).

Zur Unterscheidung zwischen Daten, welche dem faktenbasierten GeoDoku-Modell zuzurechnen sind, und Daten, welche zum Interpretationsmodell gehören, kann die Definition herangezogen werden, dass faktische Daten im Sinne einer Messung bzw. der Feststellung einer Größe, eines Messwertes oder einer Eigenschaft an einem bestimmten Ort und/oder Zeit erfolgen. Die Daten, welche zur Beschreibung einer Ortsbrust im Tunnel erhoben werden, gehen daher in das GeoDoku-Modell über. Daher fließen auch im Zuge der Baumaßnahme erhobene Daten aus der Vermessung und Bauüberwachung und sonstiger begleitender Messungen in die Erweiterung des GeoDoku-Modells ein.

Eine Verknüpfung zu den Interpretationsmodellen (**Kapitel 4.3**) sollte über entsprechende Merkmale hergestellt werden (z. B. Merkmal „Geotechnische Einheit“ bei Objekt „Bohrung“ oder „Aufschluss Intervall“ in **Anlage 1**). Die Beziehung zwischen dem GeoDoku-Modell als faktenbasiertem Modell und den interpretierten Modellen ist beispielhaft in **Abbildung 4-2** gezeigt.

## 4.3 Interpretierte Modelle

In den Interpretationsmodellen werden die Daten des GeoDoku-Modells von dem Projektverfasser Baugrund zusammengefasst, interpretiert, bewertet und zum Kontinuum extrapoliert. Hier werden das Geologiemodell, das Geotechnikmodell und das Hydrogeologiemodell unterschieden, welche den Untergrund innerhalb ihrer



**Abbildung 4-2**  
Verknüpfung von faktenbasierten Objekten des GeoDoku-Modells (grün) und des interpretierten Geotechnischen Modells (gelb).

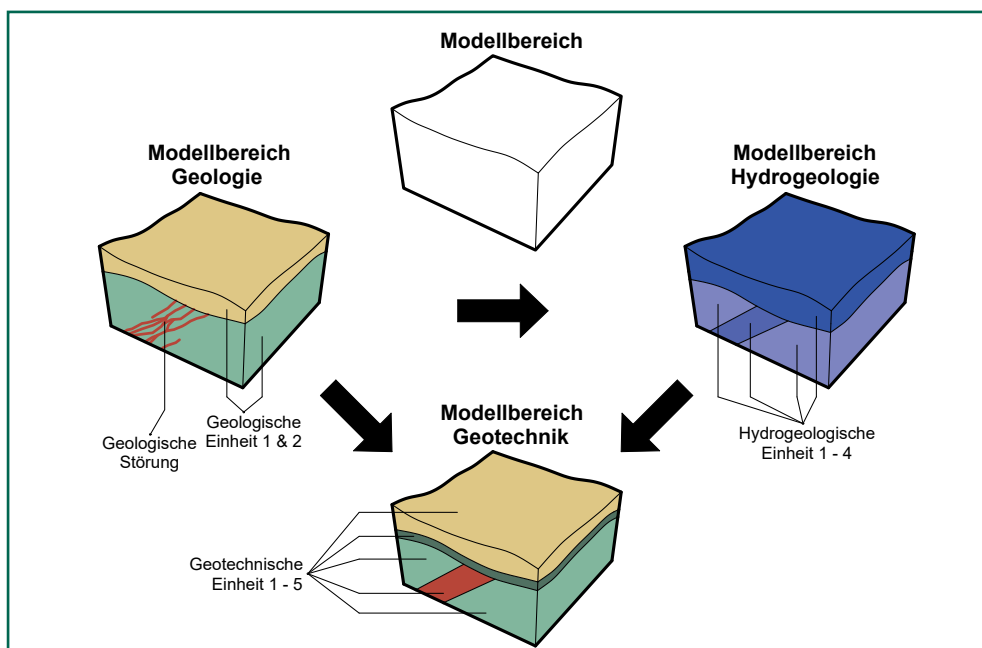
Modellgrenzen fachbereichsspezifisch klassifizieren. Sie werden als „Sub-Fachmodelle“ bezeichnet, begrifflich abgegrenzt von „Teilmodellen“ welche einen bestimmten räumlichen Bereich abdecken.

Die verschiedenen thematischen Inhalte der interpretierten Sub-Fachmodelle sind in den folgenden Kapiteln erläutert. Je nach projektspezifisch festgelegten Anwendungsfällen sollten sie in Anlehnung an die gängigen Normenwerke zur Erstellung von geotechnischen Berichten einzeln modelliert und übergeben werden. Abhängigkeiten und teilweise identische Kontakte zwischen den Einheiten sind die Regel, der Informationsgehalt und Verwendungszweck sollte jedoch klar getrennt werden. **Abbildung 4-3** stellt beispielhaft die Klassifizierung des Baugrunds durch verschiedene, überlagernde Subfachmodelle dar.

Zusätzlich wird hier ein „geotechnisches Streckenabschnittsmodell“ unterschieden (siehe **Abbildung 4-1**), welches eine Schnittstelle des Baugrundmodells zum Bauwerk darstellt (siehe **Kapitel 4.3.4**).

Als geometrische Repräsentationen für die beschriebenen interpretierten Modelle können neben 3D-Volumenkörpern prinzipiell auch 3D-Flächen der Schichtoberkanten oder Voxelmodelle verwendet werden.

Ein wichtiger Aspekt der interpretierten Modelle ist der Vergleich der erwarteten oder prognostizierten Verhältnisse (Prognose) mit den tatsächlich angetroffenen Verhältnissen während der Bauphase (Ausführung) gem. **Abbildung 4-1**. Auf Basis des Prognosemodells wird durch die Interpretation der Daten aus der Vortriebsdokumentation ein Ausführungsmodell



**Abbildung 4-3** Exemplarische Darstellung verschiedener Sub-Fachmodelle und deren mögliche Überlagerung

erstellt, aus dem ein Soll-Ist-Vergleich abgeleitet werden kann (**Kapitel 4.10**).

Je nach Projekterfordernis sind weitere Sub-Fachmodelle denkbar (z. B. zur Darstellung von Deponie- klassen, Geochemie, Wiederverwertung).

#### 4.3.1 Geologiemodell

Das Geologiemodell bildet die Interpretation des geologischen Aufbaus des Modellbereichs ab. Abhängig vom Anwendungsfall und der Projektphase ist der Detaillierungsgrad variabel. Entscheidend ist daneben auch die vorhandene Menge und Qualität der geologischen Informationen in den verschiedenen Projektphasen.

Auf Basis des GeoDoku-Modells werden geeignete geologische Homogenbereiche oder Einheiten definiert. Geologische Einheiten müssen nicht zwangsläufig geotechnische Ähnlichkeiten aufweisen. Beispielhaft seien hier die geologischen Formationen erwähnt, welche häufig nach einer stratigraphischen, d. h. Lagerungs- oder Bildungsabfolge zusammengefasst sind. Die Entscheidung über das Kriterium für die Abgrenzung der Volumenkörper liegt daher im Ermessen der Ersteller des Geologiemodells.

Eine Unterscheidung zum Geotechnikmodell sollte dennoch klar definiert werden. Um dies zu gewährleisten, ist das Geologiemodell z. B. auf den lithostratigraphischen Aufbau, also die Abfolge, räumliche Erstreckung und Art der Böden und Gesteine des Baugrunds zu beschränken. Daneben sind auch die strukturellen Elemente des geologischen Aufbaus wie Störungen, Kontakte, Scherzonen, Gänge, Großklüfte u. a. Teil des Geologiemodells.

Im weiteren Verlauf der Erstellung des Baugrundmodells kann sich herausstellen, dass Volumenkörper des Geologiemodells mit jenen des Geotechnikmodells von ihrer räumlichen Erstreckung zusammenfallen, bzw. ein geologischer Homogenbereich tatsächlich auch einem geotechnischen Homogenbereich entspricht. Es liegt daher im Ermessen des Projektverfassers Baugrund, ob das Geologiemodell direkt in das Geotechnikmodell übernommen wird (siehe hierzu auch **Abbildung 4-3**)

#### 4.3.2 Geotechnikmodell

Das Geotechnikmodell verortet die „geotechnischen Einheiten“, die projektspezifisch vom Projektverfasser Baugrund festgelegt werden, zum Beispiel gemäß bestehender Normen und Richtlinien (Homogenbereich gemäß DIN 18300 ff, Gebirgsarten gemäß ÖGG Richtlinien, ...). Diese Einheiten unterteilen den Baugrund spezifisch für klar definierte Verwendungszwecke und Projektphasen. In einem Projekt können für verschiedene Anwendungsfälle und Projektphasen mehrere Geotechnikmodelle mit unterschiedlich festgelegten geotechnischen Einheiten verwendet werden (z. B.

Tunnelstatik/Massenermittlung Tunnelausbruch, Einreichplanung/Ausschreibung, ...).

Bei der Verortung bzw. der geometrischen Ausmodellierung können abhängig von verschiedenen Randbedingungen wie geologischer Komplexität, Heterogenität der geomechanischen Eigenschaften, Aufschlussdichte und Überlagerung etc. verschiedene Ansätze verfolgt werden. Um die Thematik erschöpfend zu beschreiben, sind verschiedene Lösungsansätze möglich, die an dieser Stelle nicht umfassend diskutiert werden können. In dieser Empfehlung werden aber zwei mögliche Ansätze unterstützt:

- 1) Geometrische Modellierung der (vermuteten) Grenzen zwischen geomechanischen Einheiten mit definierten Kennwerten

Das Modell gibt vor, wo genau welches Material erwartet wird, Kennwerte wie Reibungswinkel und Kohäsion etc. sind z. B. entsprechend eines Schichtmodells klar vorgegeben (Ausdefinition von Min/Max oder charakteristischen Werten gemäß **Kapitel 4.5.2**)

Ansatz 1 ist nur dann möglich, wenn die Aufschlussdichte hoch genug und die Verhältnisse ausreichend genau abgegrenzt werden können. Beispiele sind Tunnel in offener Bauweise und gut abgrenzbare sedimentäre Schichtungen.

→ Granularitätsstufe GS2 gemäß **Kapitel 4.8**

- 2) Eine detaillierte Prognose der räumlichen Verteilung einzelner „Materialien“, also die Modellierung von „Gebirgsarten“, ist für tieferliegende Tunnel sowie bei komplexeren geologischen Verhältnissen häufig nicht seriös möglich. Als Alternative sollten zusammengehörige, räumlich gemeinsam auftretende Gebirgsarten durch eine gemeinsame Umhüllende modelliert werden soweit sinnvoll möglich (= „Gebirgsartengruppen“). Die erwartete Verteilung innerhalb dieser modellierten Gruppe kann dann in den Merkmalen angegeben werden, z. B. durch Prozent-Angaben und Angabe der typischen Mächtigkeit von Wechsellagerungen oder Störungsbändern innerhalb einer Zone

→ Granularitätsstufe GS1 gemäß **Kapitel 4.8**

Das Geotechnikmodell bildet die geotechnischen Einheiten ab und stellt somit die oben erwähnten Verteilungen von geotechnischen Homogenbereichen dar. Eine schematische Skizze dieses Konzepts ist u. a. in **Abbildung 4-3** gegeben.

#### 4.3.3 Hydrogeologiemodell

Das Hydrogeologiemodell beinhaltet eine Charakterisierung und Einteilung des Baugrunds hinsichtlich hydrogeologisch relevanter Eigenschaften. Die zeitliche Veränderlichkeit des Grundwasserspiegels stellt eine Herausforderung bei der Modellierung und Vi-

sualisierung des Grundwassers dar. Dabei erfordert die hydrogeologische Modellierung oft aufwändige mathematische Berechnungen, für die bei großräumigen Untersuchungen auf numerische FE-/FD-Modellierung der Grundwasserdruckfläche zurückgegriffen wird. Für kleinräumige (Detail-)Betrachtungen, frühe Projektstadien und einfache hydrogeologische Systeme kann eine analytische Berechnung bzw. fachtechnische Festlegung hinreichend genau sein.

Für eine vertiefte Abhandlung von hydrogeologischen Modellen im Kontext des Untertagebaus wird auf Abschnitt 3.4. des ÖGG-Leitfadens „Ermittlung geologisch – geotechnischer Grundlagen für die Planung tiefliegender Tunnel“ [12] verwiesen.

Um die für das Projekt relevanten hydrogeologischen Informationen modellbasiert zu kommunizieren, wird empfohlen, eine geometrische Modellierung von Volumenkörpern in Anlehnung an das Geotechnische Modell (**Kapitel 4.3.2**) sowie von streckenabschnittsbezogenen Informationen in Anlehnung an **Kapitel 4.3.4** vorzunehmen.

Als hydrogeologische Volumenkörper kommen für das Fachmodell Baugrund beispielsweise in Frage:

- Volumenkörper, die hydrogeologische Einheiten bzw. Bereiche ähnlicher hydrogeologischer Eigenschaften definieren (siehe Objekt „Hydrogeologische Einheit“ in **Anlage 1**). Mögliche Inhalte, deren geometrische Umhüllende in diesem Kontext modelliert werden kann, sind: Gebirgsdurchlässigkeit, -transmissivität, Wassertemperatur, Wasser-Leitfähigkeiten, diverse hydrochemische Attribute wie Betonaggressivität etc. Das Objekt „Hydrogeologische Einheit“ beinhaltet dabei vor allem die hydrogeologischen Modell- und Berechnungsgrundlagen, welche zur Ableitung der Grundwasserstände dienen.
- Volumenkörper oder 3D-Oberflächen, die bautechnisch relevante Grundwasseroberflächen darstellen, die das Ergebnis von Grundwassermodellierungen oder sonstiger Festlegungen sind (z. B. diverse Hoch-Grundwasser-Stände – HGW). Da es sich bei diesen Objekten oft um volumenlose Oberflächen handelt, muss projektspezifisch festgelegt werden, ob nur die Oberflächen oder z. B. Volumen zwischen HGW-X und Modellunterkante, Volumen zwischen HGW-X und HGW-Y, etc. modelliert werden (siehe Objekt „Grundwasserstand“ in **Anlage 1**). Verschiedene (bautechnische) Zwischenzustände und Zeitpunkte erfordern dabei jeweils ein eigenes Objekt „Grundwasser“.

Während mit den oben angegebenen Volumenkörpern bauwerksunabhängige Sachverhalte modelliert werden, wird empfohlen, hydrogeologische Informationen mit direktem Bauwerksbezug an das Streckenabschnittsmodell zu knüpfen (siehe **Kapitel 4.3.4**).

Diese Informationen können im Streckenabschnittsmodell z. B. beinhalten:

- Wasserzutrittsprognosen (initial und stationär)
- Abschnitte mit erwartetem ähnlichem Wasserdruck
- Erwartete Typen der Wasserführung (Bergwasser, Schichtenwasser, Grundwasser)
- Wasserchemismus, Betonaggressivität, Temperatur etc.

#### 4.3.4 Streckenabschnittsmodell

Das Streckenabschnittsmodell stellt den wichtigen Bezug zwischen den Sub-Fachmodellen GeoDoku (Grundlagendaten) und interpretierten Modellen zum Untertagebauwerk dar.

In einem Streckenabschnittsmodell werden für den konkreten Trassenverlauf und die geplante Geometrie des Bauwerks die relevanten Aspekte aus den interpretierten Modellen der einzelnen Disziplinen und daraus abgeleitete Kenn- und Richtwerte in der Prognose zusammengefasst. Dieses Modell enthält also die Informationen, wie sie in den ÖGG-Richtlinien als Tunnelbautechnischer Prognoselängenschnitt (Projektphasen bis zur Ausschreibung) und Tunnelbautechnischer Rahmenplan (für die Bauausführung) beschrieben sind [10].

Die einzelnen modellierten Abschnitte entlang der Trasse oder Tunnelachse entsprechen Bereichen gleicher thematischer Eigenschaften gemäß den aus der traditionellen Methode bekannten „Tunnelbänder“ im Längsschnitt (**Abbildung 4-4**). Beispiele sind „Gebirgsbereiche“ mit ähnlichem erwarteten geotechnischem Verhalten (= „Homogenbereiche“ gemäß SIA [9]) oder themenbezogene Gliederungen für Logistikplanung, Umweltauflagen etc.

Die Inhalte sind mit Rücksicht auf die geologischen Verhältnisse und andere Rahmenbedingungen projektspezifisch festzulegen. Typische Inhalte wären z. B.

- erwartete Verteilung von Homogenbereiche (z. B. Gebirgsarten)
- erwartete Orientierung von Trennflächensets, Durchtrennungsgrad
- Gebirgsverhaltenstypen
- erwartete Grundwasserzutritte
- zusätzliche Aspekte, die geogene Risiken darstellen können, wie z. B. Gasvorkommen, Kontaminationen, kanzerogene Minerale, ...

Optimalerweise können die entsprechenden Merkmale teilweise durch Abfrage der oben beschriebenen Sub-Fachmodelle mit Werten befüllt werden. Dies ermöglicht eine effiziente Anpassung der bau-

werksbezogenen Prognose einerseits bei einer Aktualisierung des Baugrundmodells (fortschreitende Erkundung) oder andererseits bei Anpassungen des Trassenverlaufs. Das Modell liefert so für den jeweiligen Abschnitt die Grundlage für

- die Festlegung von geplanten Vortriebsmethoden
- geplante Zuordnung von Vortriebsklassen/Ausbau- oder Sicherungsklassen
- Planung von Maßnahmen wie Vorauserkundung, Injektionen etc.
- Planung von Maßnahmen für Arbeits- und Umweltschutzmaßnahmen
- Logistikkonzepte

Der Inhalt des Modells ist zwischen Baugrundgutachter/Modell-Ersteller, Bauherr und Tunnelplaner abzustimmen.

Im Zuge der Bauausführung wird durch die Dokumentation der angetroffenen Baugrundverhältnisse eine große Menge an Daten erhoben, welche nun mit dem Prognosemodell abgeglichen werden können. Die Merkmale des Streckenabschnittsmodells geben nun die Erwartungswerte (bzw. -bereiche) vor, die im Zuge eines modellbasierten Soll-Ist-Vergleichs für jeden aufgefahrenen Abschnitt mit der Dokumentation abgeglichen werden können.

Eine laufende Fortschreibung des Streckenabschnittsmodells für die noch nicht aufgefahrenen Bereiche des Untertagebauwerkes kann auf Basis der zunehmenden Erkenntnisse über den Baugrund und Erfahrungen aus dem Vortrieb durchgeführt werden, um eine wirtschaftliche Optimierung in der Prognose zu erlauben.

Als geometrische Repräsentation des Streckenabschnittsmodells kann eine vereinfachte Geometrie der Tunnelröhre verwendet werden. Je nach geplanten Anwendungsfällen kann der modellierte Bereich des Baugrunds über die Bauwerksabmessungen hinaus gehen.

## 4.4 Objektstruktur

Die hier vorgestellte Struktur soll eine umfassende Grundlage bieten und für alle Projektphasen die nötigen Objekte enthalten, wobei projektspezifisch entschieden werden muss, welche Informationen (Objekte und Eigenschaften) im Fachmodell Baugrund enthalten sein sollen. Die Objektstruktur des Baugrundmodells, wie sie in **Anlage 1** dargestellt ist, gliedert sich prinzipiell in zwei Teile:

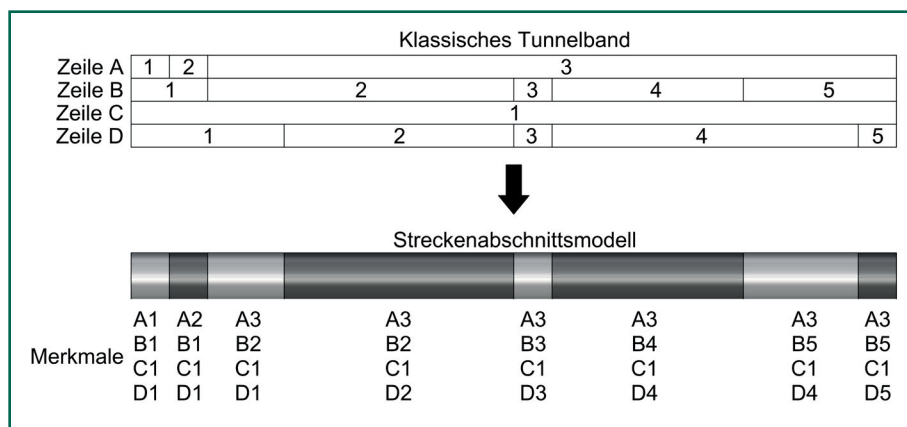
- 1) Das GeoDoku-Modell (**Kapitel 4.2**) mit Objekten, die Beobachtungen, Messungen und Dokumentationen (Grundlagendaten) repräsentieren z. B. Bohrdaten, Testergebnisse und Kartierungsdaten (inklusive geologischer Tunneldokumentation aus der Vortriebsdurchführung)
- 2) Objekte der interpretierten Modelle (**Kapitel 4.3**), die auf dem GeoDoku-Modell beruhen und den natürlichen Untergrund auf verschiedene Weise klassifizieren.

Prinzipiell können Informationen durch eigene (Teil-) Objekte mit diskreter Geometrie repräsentiert werden oder in den Merkmalen übergeordneter Objekte (nur in Semantik) enthalten sein.

### Beispiel:

Der in einer Bohrung dokumentierte Grundwasserstand kann als Merkmal eines Objekts „Bohrung“ repräsentiert sein (Merkmal „WasserstandRelativUnterGOK“ – Ausprägung „10 (m unter GOK)“ oder als eigenes Teilobjekt „Messung Grundwasserniveau“ mit Geometrie (Punkt, Scheibe, ...) modelliert werden.

Je nach Anwendungsfall für das Modell haben beide Ansätze Vor- und Nachteile (z. B. höherer Modellierungsaufwand vs. Vorteile bei Visualisierung und als Grundlage der Modellierung im Zuge der Interpretation).



**Abbildung 4-4**  
Konzeptionelle Darstellung  
des Zusammenhangs  
zwischen dem klassischen  
Tunnelband und dem  
Streckenabschnittsmodell.



Es ist also prinzipiell eine Verschiebung von Informationen zwischen (Teil-)Objekten und Merkmalen möglich, die im Zuge der Vorgaben zur Detaillierung festzulegen sind. Dies betrifft sowohl Grundlagendaten (z. B. Merkmale und geometrische Darstellung von Bohrdaten, Darstellung von Testergebnissen, ...) als auch die interpretierten Modelle (siehe hierzu **Kapitel 4.8**).

Beispielhafte Fragestellung: Muss ein umfassendes Geologiemodell enthalten sein oder nur die projektspezifisch definierten geotechnischen Einheiten?

Zur Gliederung des Modells enthält die Objektstruktur Objekte, die der räumlichen Gliederung dienen (Objektkatalog, Ebene 100 „Objekt“, siehe **Anlage 1**).

**Für das GeoDoku-Modell:**

- Geländeaufschluss:  
im Zuge einer Kartierung dokumentierter Bereich/  
Aufschluss
- Bohrung/Schurf:  
gesamtes Profil, modelliert z. B. als Zylinder/Box
- Ortsbrust:  
Dokumentierte Ortsbrust im Tunnelvortrieb, zugehörig zu Abschlag und/oder Station
- Laibungsabschnitt:  
dokumentierter Abschnitt der Tunnellaibung
- Abtragsabschnitt:  
dokumentierter Abschnitt einer Baugrube/Böschung

Diese Objekte stellen den Raum dar, in denen geologisch-geotechnische Informationen gesammelt wurden (= Messungen und Beobachtungen). Wie oben beschrieben, können diese Informationen entweder mittels Merkmale der „räumlichen Objekte“ transportiert oder durch zusätzliche Objekte (Ebene 110 „Teilobjekt“) mit eigener Geometrie im Detail dargestellt werden. Das heißt, je nach Anforderungen kann das Modell für niedrige Detaillierungsgrade auch auf diese übergeordneten räumlichen Objekte beschränkt werden.

**Für „Interpretationsmodelle“:**

Für manche Anwendungen kann es hilfreich sein, das Gesamtvolumen (= 3D-Modellgrenze) eines Sub-Fachmodells („Modellbereich Geologie“, „Modellbereich Geotechnik“, „Modellbereich Hydrogeologie“, „Modellbereich Streckenabschnitte“, Ebene 100 gem. **Anlage 1**) als eigenes Objekt mit allgemeinen Eigenschaften zu übergeben. Dazu gehören Angaben zu Bearbeitern, Unsicherheiten und Bezug zu Grundlagendaten, die zur Modellprüfung verwendet werden können.

Geotechnische Einheiten (Ebene 110 gem. **Anlage 1**) können auf verschiedene Art und Weise geometrisch verortet werden (siehe **Kapitel 4.3.2**).

## 4.5 Merkmalkatalog

Im Zuge der Erstellung dieser Empfehlung wurden in einem ersten Ansatz etwa 250 baugrundspezifische Merkmale identifiziert. Ein exemplarischer Auszug dieser Merkmale mit der Zuordnung zu möglichen baugrundspezifischen Objekten befindet sich in **Anlage 1**. Der Merkmalkatalog mit allen identifizierten Merkmalen wird in Zukunft über einen eigenen Merkmalsserver zur Verfügung gestellt werden. Eine Bereitstellung über einen Merkmalsserver bietet den großen Vorteil einer zentralen Informationsquelle und erlaubt den Abruf eines, in sich konsistenten, über alle Arbeitsgruppen und Teilgewerke hinweg abgestimmten Datensatzes (vgl. auch **Kapitel 5.1**). Zudem bieten Merkmalsserver i. d. R. die Option die Merkmale mehrsprachig abzuspeichern, um diese international anzuwenden. Die im Zuge der Arbeitsgruppe identifizierten Merkmale liegen derzeit aber nur in Deutsch vor, sollen aber auch in weitere Sprachen übersetzt werden.

Die exemplarische Liste in **Anlage 1** soll die prinzipiellen Überlegungen bei der Einführung und Anwendung von Merkmalen veranschaulichen. Jedes Merkmal ist durch mehrere Attribute spezifiziert, wie beispielsweise dem Merkmalsnamen, dem zugehörigen Datentyp, einer Definition oder einer vorgeschlagenen Einheit. Das Attribut „Einheit“ kann leer sein für Merkmale ohne Einheit, i. d. R. ist aber eine Einheit gegeben. In den meisten Fällen werden für die Merkmale die standardmäßigen Einheiten angegeben werden. Des Weiteren wird jedes Merkmal einer oder mehreren Merkmalsgruppen zugeordnet. Die Merkmalsgruppe repräsentiert das Objekt, zu dem das Merkmal gehört (z. B. Bohrung, Schurf, etc.). So kann die Merkmalsgruppe mit allen benötigten Merkmalen einfach dem jeweiligen Objekt im Modell zugeordnet werden, um das Objekt in allen Leistungsphasen zu beschreiben. Darüber hinaus ist es bei Bedarf ebenfalls möglich, ein Merkmal direkt einem Objekt aus dem Modell zuzuordnen. Die Zuordnung von Merkmalsgruppen zu dem Objekt ist in **Abbildung 4-5** dargestellt.

Der künftige Merkmalkatalog ist als Vorschlag für Projekte im Untertagebau zu sehen, zu deren Projektierung der Baugrund digital und im Kontext der BIM-Arbeitsmethode abgebildet werden soll. Er ist dabei so strukturiert, wie es die DIN EN ISO 23386 [13] vorgibt. Die Sammlung der Merkmale wurde im Hinblick auf ein möglichst breites und umfassendes Gewerke- und Anwenderfeld entwickelt, allerdings können die Merkmale nur für die generellen Anwendungsfälle abgebildet werden. Gerade projekt- und (nationale) normenspezifische Attribute können nicht in Gänze wiedergegeben werden. Für diese pro-



jektspezifischen Merkmale kann der DAUB nur eine exemplarische Handlungsempfehlung geben (s. u.).

Prinzipiell bietet es sich an, darauf hinzuweisen, auf welche Norm die verwendeten Merkmale zu beziehen sind, um ein gemeinsames Verständnis für den Informationsgehalt des Merkmals zu erreichen.

Modelltechnisch werden die aufgelisteten Merkmale in drei Kategorien zu unterscheiden sein. Im Folgenden soll detailliert auf die drei unterschiedlichen Merkmalkategorien und ihre Verwendung eingegangen werden.

#### 4.5.1 Unabhängige Merkmale

Unter unabhängigen Merkmalen werden Eigenschaften verstanden, die in einer flachen Struktur ohne Relation zu anderen Merkmalen an ihre zugehörigen Objekte angehängt werden können. Sie bestehen lediglich aus dem Merkmal selbst und dienen der eindeutigen Beschreibung/Attribuierung der Objekteigenschaften. Sie stehen eigenständig für sich und der gesamte Informationsgehalt kann innerhalb des Einzelmerkmals transportiert werden.

##### Beispiel:

Das Merkmal „Bohrfirma“ beschreibt die ausführende Bohrfirma. Das Merkmal ist Teil des Objekts „Bohrung“.

→ Merkmalsname: *Bohrfirma*; Wert: *Musterfirma GmbH*

#### 4.5.2 Merkmale zur Beschreibung der (geotechnischen) Kennwerte im Geotechnischen Modell (Interpretation)

Kennwerte, welche den Baugrund numerisch beschreiben, unterliegen aufgrund der inhärenten Heterogenität des Baugrundes einer gewissen Streubreite. Dem ist gem. aktueller Regelwerke Rechnung zu tragen, weshalb sich in geotechnischen Berichten oft Angaben von Minimal-, Maximal-, Mittelwerten etc. sowie oft ein „charakteristischer Wert“ finden. Um die

erforderliche Streubreite an geotechnischen Kennwerten modelltechnisch eindeutig zu beschreiben und digital auswertbar zu gestalten, ist eine Aufteilung der Kennwerte in Einzelmerkmale sinnvoll. Als einfach umzusetzende Lösung können Kennwerte in mehrfacher Form mit der Endung *\_min*, *\_max*, *\_mean*, *\_char* etc. versehen werden. (Beispielhaft soll das Merkmal „Reibungswinkel“ (d. h. innerer Reibungswinkel von Boden/Fels [°]) genannt werden, welches folgendermaßen in Einzelmerkmalen modelliert werden kann:

Reibungswinkel (Stammwort)

→ Merkmalsname: *Reibungswinkel\_min* Wert: 27,5

→ Merkmalsname: *Reibungswinkel\_max* Wert: 30,0

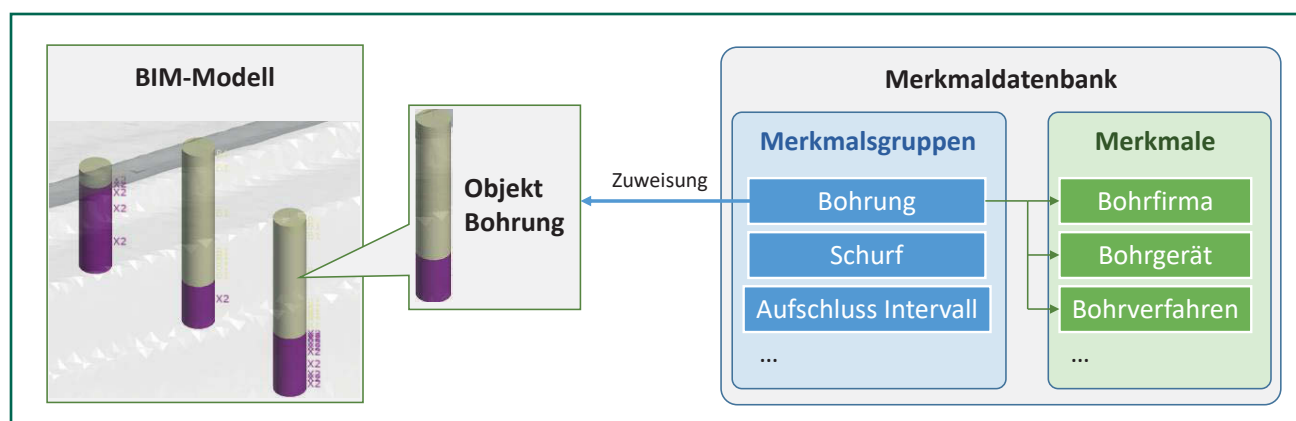
→ Merkmalsname: *Reibungswinkel\_mean* Wert: 28,75

→ Merkmalsname: *Reibungswinkel\_char* Wert: 28,0

#### 4.5.3 Merkmale zur Beschreibung projekt- und normenspezifischer Eigenschaften

Gerade klassifizierende Merkmale sind oft projekt- bzw. normen- und länderspezifisch. Daher kann nur eine mögliche Struktur zum Anlegen klassifizierender Merkmale aufgezeigt werden. Die Namen der Merkmale (z. B. Geotechnische Einheit), insbesondere aber der Inhalt dieser, können nur im Rahmen des Projekts festgelegt werden.

Hiervon sind vor allem Klassifikationen/Homogenbereiche bzw. im weiteren Sinne geologisch-geotechnische Zusammenfassungen betroffen. Die erforderlichen Merkmale müssen projektspezifisch im Zuge der Erstellung des Geotechnischen Berichts und unter Berücksichtigung der herangezogenen Regelwerke und Vorgaben festgelegt und in den Auftraggeber-Informationsanforderungen (AIA) und dem BIM-Abwicklungsplan (BAP) entsprechend dokumentiert werden. Zusätzlich ist eine nachträgliche Anpassung im weiteren Projektverlauf nötig, um beispielsweise auf geänderte Informationsgehalte im Baugrund reagieren



**Abbildung 4-5** Verknüpfung von Merkmalsgruppen mit dem gleichen Namen für das jeweilige Objekt für die Zuweisung der benötigten Merkmale.

zu können (z. B. zusätzliche Homogenbereiche), wie in **Kapitel 4.10** weiter ausgeführt.

#### Beispiele:

Das Merkmal „Geotechnische Einheit“ beschreibt den Namen der Gebirgsarten (nach ÖGG Richtlinie [10], [11]) bzw. den Namen der Homogenbereiche (nach DIN 18300ff [14]).

**Projekt 1:** Verwendung von Homogenbereichen nach DIN 18300ff [14]

→ Merkmalsname: *Geotechnische Einheit*

→ Mögliche Werte: *Homogenbereich B1, B2, X1, etc.*

**Projekt 2:** Verwendung von Gebirgsarten nach ÖGG Richtlinie

→ Merkmalsname: *Geotechnische Einheit*

→ Mögliche Werte: *Gebirgsart GA1, GA2, GA3, etc.*

## 4.6 Umfang von Erkundungsmaßnahmen

Der nach den geltenden Regeln der Technik empfohlene Untersuchungsumfang und das Prinzip der phasenweisen Erkundung des Baugrunds verändern sich durch die Anwendung der BIM-Methode nicht zwangsläufig. Die durchgehende Verwendung digitaler Werkzeuge zur Verbesserung der Informationsdarstellung und -auswertung erlaubt eine effiziente Nutzung bereits vorhandener baugrundbezogener Daten (Kartenwerke, Bestandsbohrungen, etc.; siehe **Kapitel 3.1.1**). Die Planung von nachfolgenden Erkundungskampagnen und die effiziente Platzierung zusätzlicher Aufschlusspunkte kann damit deutlich zielgerichteter erfolgen.

Das Baugrundmodell soll deshalb schon frühzeitig im Projekt etabliert werden, um es als Kommunikations- und Analysewerkzeug für die darauffolgenden Planungsschritte zu verwenden. Nicht immer ist in frühen Projektstadien die lückenlose Aufklärung aller geologischer Strukturen und Unsicherheiten möglich bzw. wirtschaftlich sinnvoll. Dennoch dient das Modell einer transparenten Darstellung der gewonnenen Information, aber auch der Darstellung der dem Modell zugrundeliegenden Unwissenheit und Unschärfe über den Baugrund (**Kapitel 4.7**). Damit ist eine hohe Transparenz und ein gleicher Wissensstand für alle Projektbeteiligten gegeben.

## 4.7 Modellierung von Unschärfe

Im Kontext (hydro-)geologisch-geotechnischer 3D-Baugrundmodelle wird oft befürchtet, dass es durch die 3D-Visualisierung zu einer „vorgetäuschten Genauigkeit“ kommt. Dies ist jedoch unbegründet, da eine interpretierte 3D-Schichtoberfläche in einem Baugrundmodell inhärent derselben Unschärfe unter-

liegt wie eine interpretierte Schichtgrenze in einem 2D-Schnitt.

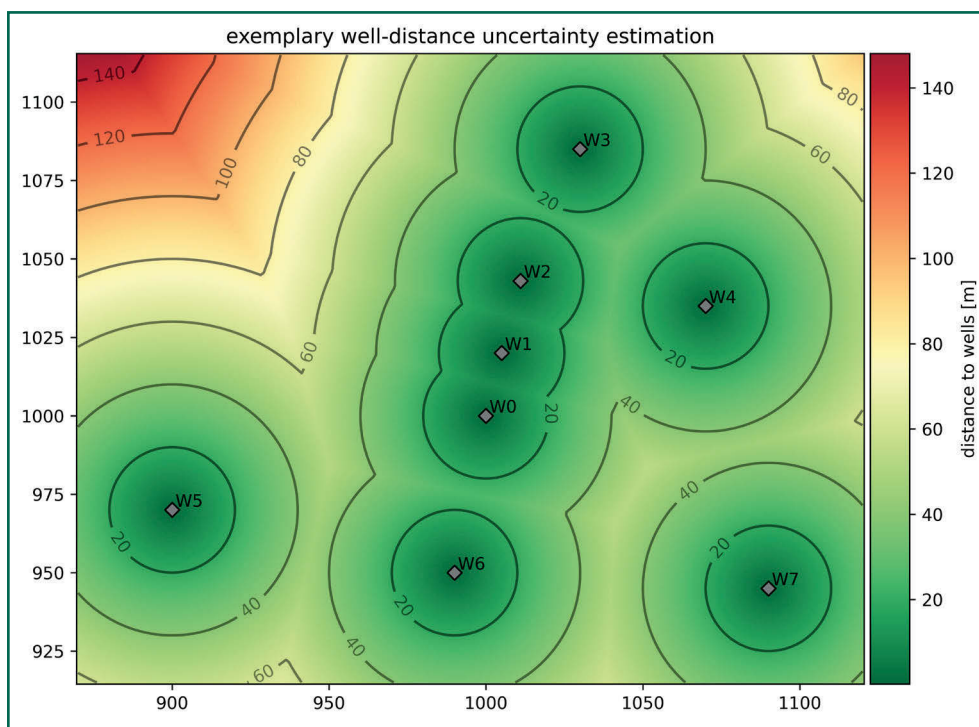
Darüber hinaus ist festzuhalten, dass das Thema von Unschärfe in der Ingenieurgeologie noch nicht erschöpfend erforscht wurde und hier noch Entwicklungspotential besteht. Ferner ist auch die Signifikanz der im Folgenden genannten Quellen von Unschärfe stark projektabhängig und demnach muss auch der allgemeine Umgang damit projektspezifisch und fachmännisch festgelegt werden.

Quellen der Unschärfe in geologischen Prognosen – unabhängig, ob es sich um eine 2D- oder 3D-Bearbeitung handelt – sind gemäß [15]:

- Auflösung, Messungenauigkeit und statistische Schwankungsbreiten von Grundlagendaten
- Schwankungsbreiten durch die projektabhängige Wahl der Gebirgs-Klassifikationsmethode bzw. der Ausweisung von geotechnischen Homogenbereichen
- Geometrie und Auflösung des Modells, welche keine exakte Prognose von kleinräumigen Strukturen erlaubt bzw. mit einem höheren Detailierungsgrad i. d. R. auch eine unsicherere Verortung einhergeht
- Grundlegende konzeptionelle Unsicherheit des interpretierten geologischen Modells, welches durch prozessorientierte, fachmännische Interpolation zwischen Fixpunkten erstellt wurde

Auch wenn sich die Unschärfe eines geologischen 3D-Modells nicht von der eines konventionellen geologischen Modells unterscheidet, wird es dennoch für sinnvoll erachtet, diese im Zuge der BIM-Bearbeitung zu modellieren und zu kommunizieren. Die oben beschriebenen Aspekte können in diesem Zusammenhang mit Merkmalen zumindest qualitativ und bestenfalls quantitativ beschrieben werden. Als Entwicklung in die Richtung der Quantifizierung geologischer Modellunsicherheit im Untertagebau ist z. B. der „R-Index“ von Bianchi et al. (2009) [16] zu nennen (siehe auch Venturini et al. (2019) [17]), der auch als Merkmal an ein Modell gefügt werden kann. Einfache Methoden zur Visualisierung von Unsicherheiten umfassen z. B. den Abstand im Modell zur nächsten gesicherten Informationsquelle (z. B. Bohrung, siehe **Abbildung 4-6**) oder die Verwendung der Kantenlänge von einer automatischen Dreiecksvermaschung als Parameter für die Modellierungsunsicherheit [18].

Auch Voxelmmodelle bieten in diesem Zusammenhang zahlreiche Möglichkeiten der Behandlung von Unschärfen, die an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden.


**Abbildung 4-6**

Kartendarstellung, die die Modellierungsunsicherheit durch die Distanz zur nächsten Informationsquelle repräsentiert (hier beispielhafte Bohrungen).

## 4.8 Detaillierungsgrad

Wie in [2] angegeben, wird der Detaillierungsgrad eines Bauwerksmodells durch den Level of Detail (LOD) definiert, der sich seinerseits aus dem Level of Information (LOI) und Level of Geometry (LOG) zusammensetzt. Während der LOD für alle Bauteile im Untertagebau aufgrund der genauen Kenntnis der geplanten Materialien und Geometrien mit vertretbarem Aufwand definierbar ist, ist dies Konzept für das Baugrundmodell so nicht umsetzbar (vgl. auch **Kapitel 1.1** mit der **Abbildung 1-1** und **Tabelle 1-1**), da Grundlagendaten (GeoDoku) nur mit einer Repräsentation des beobachteten Bereichs dargestellt und die Interpretationsmodelle durch Kenntnisstand und Anforderungen aus dem geplanten Anwendungsfall (AWF) definiert werden. Herausforderungen ergeben sich insbesondere aus der inhärenten Unschärfe eines geologischen Modells sowie der stark projektspezifischen Erkundungsanforderungen an ein Baugrundmodell. Die standardisierte Definition des existierenden LOD-Konzepts aus der Bauwerksmodellierung ist daher für Baugrundmodelle nicht anwendbar. Stattdessen können AWF-spezifische Festlegungen von Geometrie und Informationsgehalt entsprechend des sogenannten LOIN-Konzepts getroffen werden (siehe auch Teil 2 Informationsmanagement [3] mit DIN EN 17412-1:2021-06 [19]).

Zur Einteilung von einzelnen Detaillierungsgraden im Zusammenhang mit der Modellierung des Baugrunds wird daher in dieser Empfehlung die Verwen-

dung von „**Granularitätsstufen**“ vorgeschlagen. Diese enthalten anwendungsspezifische Festlegungen für die Sub-Fachmodelle statt herkömmlicher LOD-Definitionen für einzelne Objekte.

Als Beispiel wird zur Veranschaulichung der Systematik eine Einteilung gewählt, die in der folgenden **Tabelle 4-1** aufgestellt ist. Diese Tabelle listet die in **Anlage 1** aufgeführten Objekte der Ebene 100 (dunkelgrün) und Teilobjekte der Ebene 110 (hellgrün) auf und weist ihnen mögliche Darstellungen in den einzelnen Granularitätsstufen zu. Sie ist unterteilt in zwei Bereiche :

- **Tabelle 4-1** beinhaltet Granularitäten für das GeoDoku-Modell, das in fünf Granularitätsstufen eingeteilt werden kann.
- **Tabelle 4-2** beinhaltet die Objekte bzw. Teilobjekte der interpretierten Modelle, für die eine Detaillierung vergleichbar zu den GeoDoku-Modellen wenig sinnvoll erscheint. Stattdessen bietet sich eine kombinierte Definition zur Detaillierung an, die sich aus den Granularitätsstufen GS1 – GS3 und zusätzlich aus Angaben zur Auflösung und zulässigen Unschärfe zusammensetzt.

Folgende Überlegungen führten zur Empfehlung dieser Systematik.

Eine projektspezifische Definition des Detaillierungsgrads für das Baugrundmodell unter Beachtung der realen Fragestellungen und zur Verfügung stehenden Mittel (z. B. im Rahmen der AIA) ist im Interes-

**Tabelle 4-1** Beispielhafte Einordnung von Granularitätsstufen für das Fachmodell Baugrund (Faktenmodell)

Sub-Fachmodell GeoDoku					
Relative Zuordnung von Granularitäten zu "Räumlichen Objekten" und "Teilobjekten"					
Objekt-/Teilobjekt	Granularitätsstufe				
	GS1	GS2	GS3	GS4	GS5
Geländeaufschluss	Punkt	Punkt	Fläche	Volumen	detaillierte 3D-Visualisierung mit Fachsoftware (z. B. Photogrammetrie, Histogramme, 3D-Scan, Bohrloch-Scan)
Trennflächenschar		Punkt	Scheibe	3D-Netzwerk	
Bohrung	(Ansatz-)Punkt	Linie	Zylinder	vermessener Bohrlochverlauf	
Schurf	Punkt	Linie	Quader		
Aufschluss Intervall	—	(abgedeckt durch Merkmale von „Bohrung“ bzw. „Schurf“)	Linie	Zylinder	
Bohrlochausbau	—		Linie	Zylinder	
Bohrlochversuch	—		Punkt/Linie	Zylinder	
Insituversuch	—		Punkt/Linie	Zylinder	
Hydroversuch	—		Punkt/Linie	Zylinder	
Probe	—		Punkt/Linie	Zylinder	
Messung Grundwasserniveau	—		Punkt	Zylinder	
Messung Wasserabfluss	—	(abgedeckt durch Merkmale von z. B. „Ortsbrust“)	Punkt	Zylinder/Symbol	
Messung Wasserzutritt			Punkt	Fläche	
Messung Gaszutritt			Punkt	Fläche	
Messung Gebirgstemperatur			Punkt	Fläche	
Ortsbrust	Punkt	Fläche			
Laibungsabschnitt	Linie	3D-Form			
Abtragsabschnitt	Linie	Fläche			
Teilbereich geologische Dokumentation		(abgedeckt durch Merkmale von z. B. „Ortsbrust“)	Fläche	Fläche	

se des Auftraggebers, der dadurch präzisere Leistungen ausschreiben und vor allem erbrachte Leistungen nachvollziehbar auf Qualität prüfen kann. Außerdem helfen wohl definierte Anforderungen an die Detaillierung dem Modellersteller, zielgerichteter auf das geforderte digitale Baugrundmodell hinzuarbeiten sowie den Abstimmungsbedarf zu minimieren.

Zwei Aspekte bestimmen die Ansätze zur Definition von Detaillierungsgraden für Baugrundmodelle:

1) Anforderungen gemäß gewählten Anwendungsfällen:

Im Falle, dass detaillierte Informationen vorhanden sind, wie zum Beispiel bei Baugrunderkundungsdaten (Bohrdokumentation inklusive Probenahme, Labor- und In-situ Messungen), kann entschieden werden, welche Information mit welcher geometrischen Repräsentation ins Modell übernommen werden soll.

➔ Bekannte Geometrie wird vereinfacht und Information gefiltert (vergleichbar mit Bauwerksmodellen)

**Tabelle 4-2** Beispielhafte Einordnung von Granularitätsstufen für das Fachmodell Baugrund (interpretierte Modelle)

Sub-Fachmodell Interpretation Kombinierte Angabe zur Modellgranularität					
Objekt-/Teilobjekt	Granularitätsstufe + Zusätzliche Angaben				
	GS1	GS2	GS3	Auflösung	Zulässige Unschärfe
Modellbereich Geologie	2D Modell-grenzen	Volumen			
Geologische Einheit	Umhüllende für Gruppen von GE mit %-Angabe	3D-Geometrie einzelner Geol.E.		z. B. Dreiecks-vermaschung 3m	z. B. +/- 1 m
Geologische Störung	Linie Karte	3D-Fläche	3D-Volumen		
Modellbereich Geotechnik	2D Modell-grenzen	Volumen			
Geotechnische Einheit	Umhüllende für Gruppen von GE mit %-Angabe	3D-Geometrie einzelner Geot.E.		z. B. Dreiecks-vermaschung 3m	z. B. +/- 1 m
Geotechnische Trennfläche	Merkmale in GeotechEinheit	3D-Geometrie			
Modellbereich Streckenabschnitte	Linie	Zylinder	Ausbruchs-geometrie		
Geotechnischer Streckenabschnitt	Linie	Zylinder	Ausbruchs-geometrie	schematisch/idealisiert	z. B. +/- 10 m Achsabschnitte
Modellbereich Hydrologie	2D Modell-grenzen	Volumen			
Hydrologische Einheit	3D-Geometrie	(geostatistische Beschreibung der hydraulischen Kennwerte)		z. B. Dreiecks-vermaschung 3 m	z. B. +/- 1 m
Grundwasserstand	Z=konstant	3D-Geometrie	zeitl. Komponente		

## 2) Kenntnisstand:

Interpretierte Modelle stellen eine Vorhersage von unbekannten Bedingungen dar und beinhalten Unsicherheiten (vgl. **Kapitel 4.7**). Wenn wenig Informationen vorliegen, sind detaillierte Vorhersagen oft nicht zielführend und eine hochauflösende Modellierung von z. B. Baugrundsichten (Geotechnische Einheit) nur mit sehr hoher Unsicherheit möglich.

➔ Unkenntnis limitiert die geometrische Auflösung (spezifisches Problem von Baugrundmodellen)

Bei Objekten des Sub-Fachmodells GeoDoku ist der erste Aspekt bestimmend:

Auf Basis des vorgelegten Objektkatalogs (**Anlage 1**) kann ein Ansatz für die Detaillierung umgesetzt werden, in dem ein höherer Detaillierungsgrad mit einem Mehr an Objekten und Merkmalen einhergehen kann. Einzelne Objekte wie z. B. eine Bohrung oder

eine Ortsbrustaufnahme können jedoch ebenfalls detaillierter modelliert werden (siehe **Anlage 2**), was projektspezifisch in der AIA zu definieren ist.

Für die interpretierten Sub-Fachmodelle ist der zweite Aspekt (Kenntnisstand) der limitierende Faktor. Die „Genauigkeit“ eines Modells wird nicht nur durch die Auflösung und den Detaillierungsgrad bestimmt, sondern auch durch die enthaltene Unsicherheit, die räumlich variiert (siehe **Kapitel 4.7**).

Die Anforderungen an die Verortung der erwarteten Verhältnisse hängt vom geplanten Bauwerk ab und können im Projektgebiet bzw. im Modellbereich variieren. Üblicherweise ist die höchste Genauigkeit im Bereich der geplanten Hohlräume und der unmittelbaren Umgebung gefordert und in Abschnitten mit speziellen Bauwerksteilen wie Querschlägen, Schächten und Kavernen höher als z. B. in Streckenabschnitten eines TBM-Tunnels.



Eine standardisierte Vorgabe von LOGs für interpretierte Modelle wird daher als nicht zielführend erachtet (s. o.), da die Anforderungen zum einen mit der Komplexität der zu erwartenden Geologie und der zu erstellenden Bauwerke zusammenhängen, zum anderen aber auch von der jeweiligen Projektphase und den geplanten Anwendungsfällen abhängen. Stattdessen sollte entsprechend dieser projektspezifischen Anforderungen

- die geometrische Auflösung und
- die maximal zulässige Unschärfe

für ein geotechnisches Modell definiert werden.

Die geometrische Auflösung kann z. B. durch die Festlegung der Kantenlänge bei Dreiecksnetzen oder anderen eingesetzten Objektdarstellungen beschrieben werden.

Die maximal zulässige Unschärfe kann durch die Längenangabe möglicher zu berücksichtigender Abweichungen von der modellierten Fläche angegeben werden, eventuell auch richtungsabhängig. Bei Vorlage neuer zusätzlicher Informationen ermöglicht diese Angabe, die Richtigkeit des Modells zu beurteilen. Um hochauflösende Modelle erzeugen zu können, ist der erforderliche Kenntnisstand durch entsprechende Erkundungsmaßnahmen zu schaffen.

Als Ergebnis wird das Baugrundmodell für ein Projektgebiet aus Teilmodellen mit jeweils unterschiedlichem Detaillierungsgrad so zusammengesetzt. **Abbildung 4-7** zeigt ein Beispiel mit einer Abgrenzung

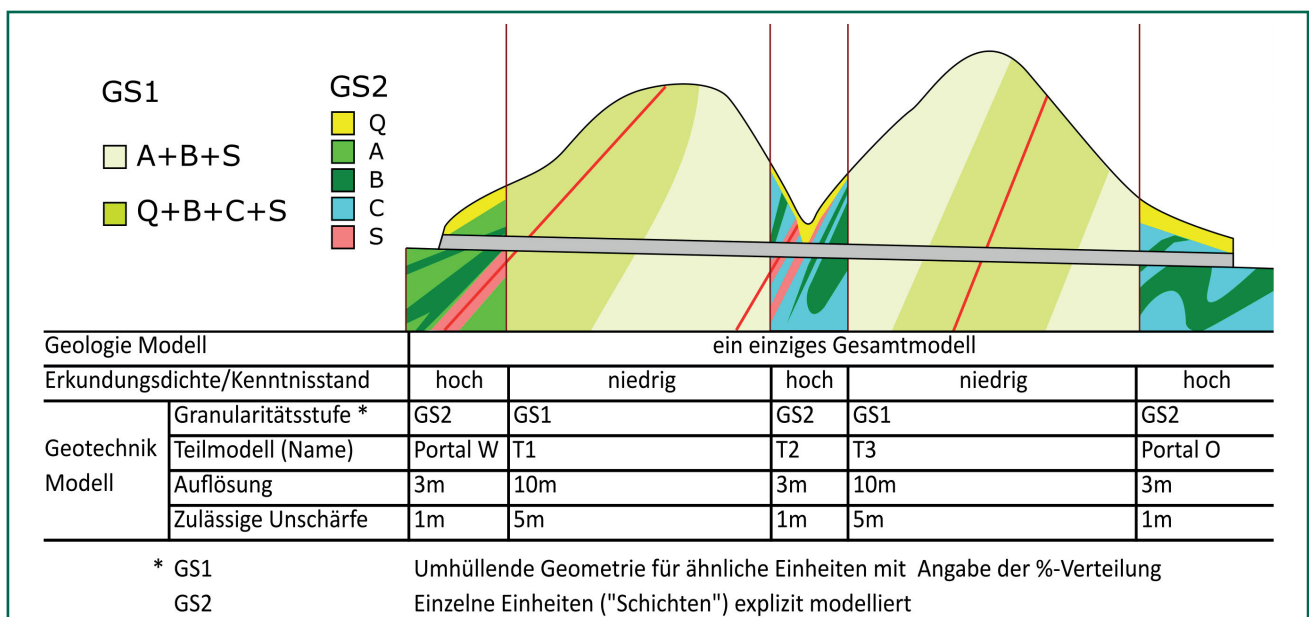
in die Teilmodelle Portal W, T1, T2, T3 und Portal O. Hierbei können die in **Kapitel 4.3** beschriebenen Sub-Fachmodelle verwendet werden, wobei besonders die beiden Ansätze für das Geotechnikmodell (**Kapitel 4.3.2**) Möglichkeiten zum Umgang mit unterschiedlichem Kenntnisstand, Unschärfe und Anforderungen an die Detaillierung bieten.

## 4.9 Anforderung an die Qualität des Baugrundmodells

Die Erstellung vom Fachmodell Baugrund erfolgt durch den Projektverfasser Baugrund gemäß den länderspezifischen Normen und Richtlinien auf Basis der vorhandenen Grundlagen und den geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Interpretationen. Er gilt als Modellersteller (MOD) gem. Teil 2 Informationsmanagement Anlage 3 [3]

Projektspezifische Anforderungen bezüglich des Informationsgehalts (Merkmale, Detaillierungsgrad usw.), Modellstruktur, Modellbezeichnung usw. werden in den AIA bzw. dem BAP definiert. In der **Anlage 1** zu der vorliegenden Empfehlung sind beispielhaft Objekte und Merkmale für das Baugrundmodell zusammengestellt.

Die Erstellung und Koordination des Baugrundmodells unterliegen den Koordinations- und Qualitätssicherungsprozessen, welche im projektspezifischen BAP definiert sind. Die Anforderungen an die Qualitätssicherung werden im Teil 2 Informationsma-



**Abbildung 4-7** Beispielhafte Darstellung von Teilmodellen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad (Auflösung und Unschärfe sind Beispielwerte): Höhere Erkundungsdichte und besserer Kenntnisstand in Portalbereichen und bei geringer Überlagerung (T2): Detaillierte Modellierung Geotechnischer Einheiten (GS2). Niedrige Erkundungsdichte bei höherer Überlagerung: Weniger detaillierte Modellierung (GS1). Angabe von Auflösung und Unschärfe als Beispielwerte!



nagement Kapitel 5 [3] für die Anwendung von BIM näher beschrieben und sind entsprechend auf das Baugrundmodell übertragbar.

#### 4.10 Anforderung an die Aktualisierung des Baugrundmodells

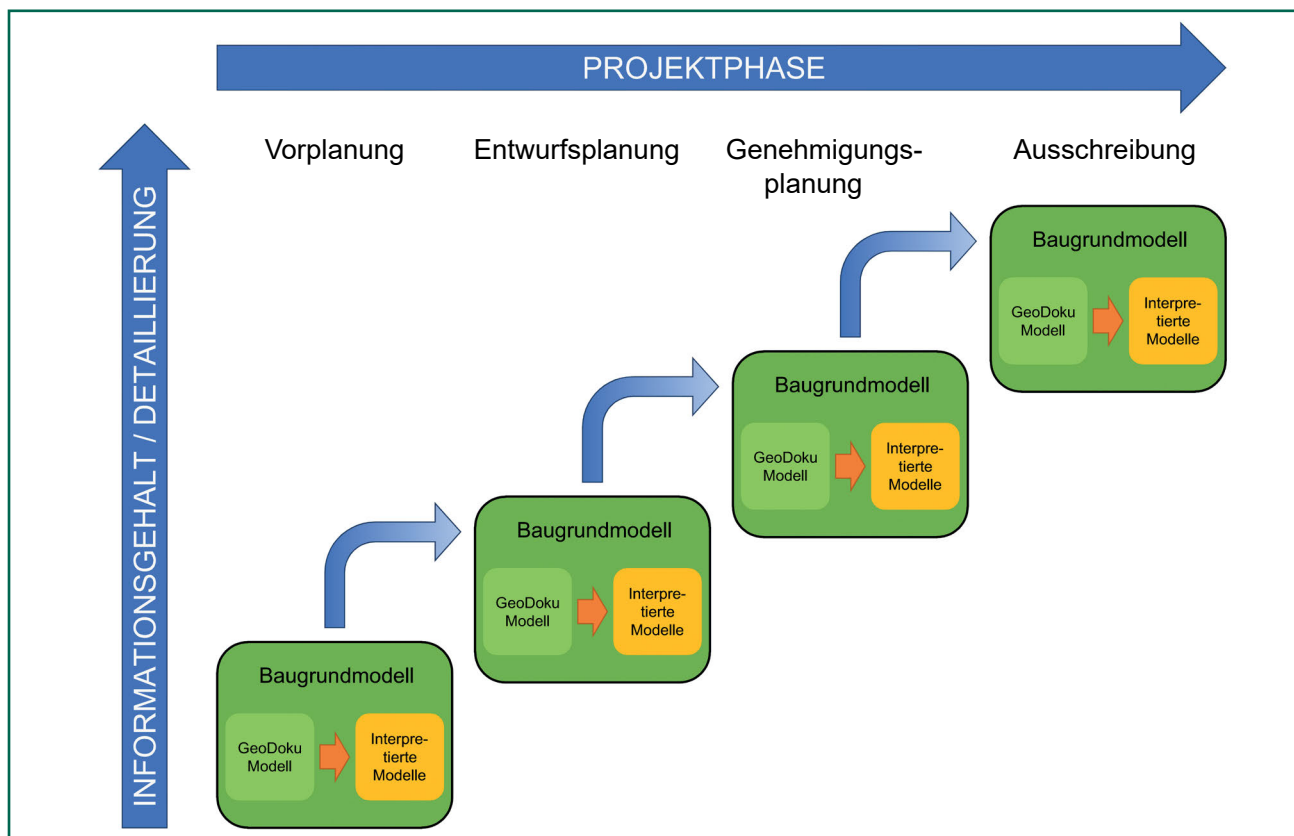
Die Erarbeitung und Aktualisierung des Baugrundmodells ist ein iterativer Prozess, der sich über verschiedene Projektphasen erstreckt. In einem ersten Schritt erfolgt die Bearbeitung des GeoDoku-Modells auf Basis der vorhandenen Daten aus der Erkundung und weiterer geologischer Informationen (Karten, historische Berichte usw.). In einem zweiten Schritt werden auf Basis der Interpretation des GeoDoku-Modells die interpretierten Modelle erstellt (Geologiemodell, Geotechnikmodell, Hydrogeologiemodell und Streckenabschnittsmodell). Die Fertigstellung der Modelle erfolgt projektphasenbezogen. Dies bedeutet, dass am Ende einer Phase jeweils ein konsolidiertes Baugrundmodell vorliegt. Die Aktualisierung vom Baugrundmodell kann somit je Projektphase auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse während der Projektbearbeitung erfolgen. So wird zum Beispiel zwischen den Phasen Vorplanung bis Ausschreibung das Baugrund-

modell mit den je Phase zusätzlich durchgeführten Erkundungskampagnen aktualisiert (GeoDoku-Modell und interpretierte Modelle). Die Aktualisierung erfolgt dadurch in jeder Projektphase. Das aktualisierte Modell kann als Planungsgrundlage für die zu bearbeitende Planungsphase dienen (**Abbildung 4-8**).

Es ist möglich, dass zwischen bestimmten Phasen kein zusätzlicher Informationsgewinn aus Erkundungskampagnen oder ähnliches erwartet wird (keine Aktualisierung des GeoDoku-Modells); das Baugrundmodell (interpretierte Modelle) sollte jedoch mit vertragsrelevanten Informationen im Hinblick auf die Ausschreibung ergänzt werden (Bohrklassen, Sicherungsklassen, Materialklassen usw.).

Es bietet sich an, das Baugrundmodell der Phase Ausschreibung nach Unterzeichnung des Bauvertrags bis Bauende als "Vertrags-Baugrundmodell" einzufrieren.

Weiter ist zu empfehlen, dass während der Phase „Ausführung“ (siehe **Abbildung 4-9**) das GeoDoku-Modell auf Basis der Vortriebsdokumentation (z. B. Ortsbrustaufnahmen, Wasserzutritte) laufend aktualisiert wird. Auf dieser Grundlage können ebenfalls die interpretierten Modelle angepasst und somit auch der Soll-Ist-Vergleich kontinuierlich aktualisiert werden (Basis für Abrechnung, Prognosen noch aufzufah-



**Abbildung 4-8** Schematische Darstellung Aktualisierung Baugrundmodell in Abhängigkeit der Projektphase (Planungsphase)

render Vortriebsabschnitte und damit Prognosen für Bauzeit und Kosten auf das Bauzeitende etc.).

Am Ende der Ausführungsphase können alle vorhandenen Daten dokumentiert und in einer eigenen Modellversion archiviert werden. Für den Übergang in die Phase „Betrieb“ sollte der Informationsgehalt an die Bedürfnisse der betreibenden Organisation angepasst und somit eine neue Modellversion verwandt werden.

Die Versionierung der jeweiligen Stände des Baugrundmodells erfolgt nach dem Prinzip sogenannter „DataDrops“, wie sie in den DAUB Modellanforderungen Teil 2 Informationsmanagement [3] beschrieben sind.

Wenn es aus projektspezifischen Gründen erforderlich erscheint, dass zwischen einzelnen Projektphasen gewisse Stände des Baugrundmodells dokumentiert werden müssen, so muss eine entsprechende Versionierung zu diesen Zeitpunkten erfolgen. Dies kann der Fall sein, wenn z. B. der Bearbeiter des Baugrundmodells wechselt, neue Anwendungsfälle verfolgt werden oder ungeplanter Informationsgewinn aus Erkundungskampagnen Dritter etc. eintritt.

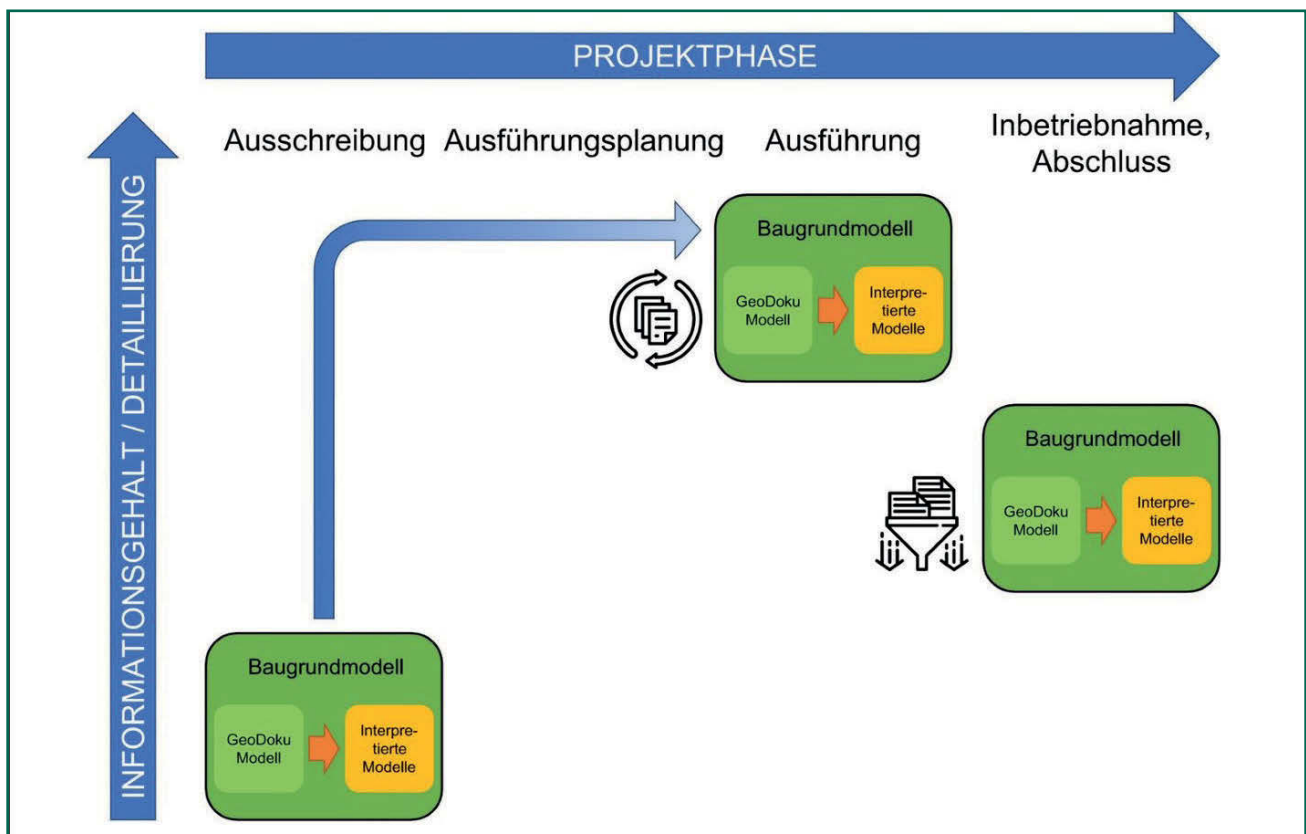
## 4.11 Erstellung Koordinationsmodell Baugrund/Bauwerk und Datenaustausch

Baugrunddaten liegen in vielen verschiedenen Formaten (analog und digital) vor, da sie in den unterschiedlichen Phasen von unterschiedlicher Software generiert werden.

Zuerst müssen Mess- und Grundlagendaten („GeoDoku-Modell“) in der Arbeitsumgebung des Erstellers von Baugrundmodellen zusammengeführt werden (inklusive Geländemodellen etc.), wo ihre fachliche Interpretation und die Erstellung interpretierter Modelle erfolgen (vgl. auch **Kapitel 4.3**).

Vorweg sei erwähnt, dass das Sub-Fachmodell „GeoDoku“ aus dem Bereich „Fakten/Dokumentation“ als reines Informationsmodell dient und sich nicht zur Erstellung eines Koordinationsmodells Baugrund/Bauwerk anbietet.

Zur Erstellung eines Koordinationsmodells Baugrund/Bauwerk werden daher die Sub-Fachmodelle aus dem Bereich „Interpretation“ (vgl. **Abbildung 4-1**) inklusive der für weitere AWF relevanten Teile der Grundlagenlagendaten mit den entsprechenden Teilmodellen des Fachmodell Bauwerk verknüpft. Je nach Projektphase und AWF wird zu entscheiden sein, welches der Sub-Fachmodelle für die Koordination mit



**Abbildung 4-9** Schematische Darstellung der Aktualisierung des Baugrundmodells in Abhängigkeit von der Projektphase (Ausführungsphase)

dem Bauwerksmodell herangezogen wird. Die Verknüpfung selber findet üblicherweise in einer geeigneten Koordinationssoftware statt, wobei die Dateien aus der Baugrund- bzw. Bauwerksmodellierung über offene Dateiformate importiert werden. Hierbei ist zu beachten, dass neben der korrekten Verknüpfung der Geometrien und deren Verortung (georeferenziert, Beachtung Modellursprung) auch die ausgewählten Informationen (Merkmale) an die sachgerechte Stelle (z. B. Merkmals-Platzhalter) übernommen werden.

Mit der Verknüpfung kann zum einen die Lage des geplanten Untertagebauwerks in dem erschlossenen und interpretierten Baugrund ((Hydro-)Geologie- oder Geotechnikmodell bzw. Streckenabschnittsmodell) visualisiert werden. Zum anderen ist es aber auch möglich, etwa durch die Definition von Abfragen mittels Prüfreden die Vortriebsklassenplanung zu unterstützen bzw. deren Ergebnisse zu plausibilisieren. Es lässt sich neben anderem nachvollziehen, ob z. B. die geplante Sicherungskategorie mit Rohrschirm tatsächlich die gesamte Lockergesteinsstrecke abdeckt bzw. zu kurz oder zu lang angesetzt wurde. Bei der Festlegung des relevanten Kriteriums – z. B. Übergang vom Locker- zum Festgestein – bietet es sich an, die in **Kapitel 4.8** beschriebene „Unschärfe“ (z. B.  $\pm 10$  m) mit in die Prüfungen einzubeziehen.

Verfügt die Koordinationssoftware über eine BCF-Funktion (BIM-Collaboration-Format), können Unstimmigkeiten, die aus der Überlagerung der Fachmodelle ersichtlich werden, zwischen den Fachgewerken Baugrund und Bauwerk auf direktem Weg kommuniziert werden.

Die Koordination der Modelle erfolgt auf der definierten Datenaustauschplattform („common data environment“, CDE). Eine genauere Beschreibung der CDE wird in der Veröffentlichung Teil 2 zum Informationsmanagement [3] gegeben. Allerdings ist darauf zu achten, dass das Koordinationsmodell nicht überladen wird und seine Übersichtlichkeit beibehält. Daher sollten „exotische“ Daten oder große Datenmengen (z. B. generiert durch das Prozesscontrolling während der Ausführung) nur verlinkt werden. Welche Informationen genau in welcher Form ins Koordinationsmodell integriert werden, muss im BAP/Modellierungsrichtlinie des Projekts mit Hilfe des Objektkatalogs in Verbindung mit den Festlegungen zur Detaillierung definiert werden.

Im BAP/Modellierungsrichtlinie sollten die Datenübergabepunkte definiert sein, d. h. wann Daten ausgetauscht werden sollen. Dies richtet sich i. d. R. nach den Projektphasen und dem angestrebten Detaillierungsgrad zu bestimmten Projektmeilensteinen. Der Datenaustausch oder die Informationsübergabe wird auch als „Data Drop“ bezeichnet (siehe auch [3]).

In der Regel werden Baugrundinformationen mit Projektfortschritt schrittweise verdichtet. Dabei wird

das „GeoDoku-Modell“ kontinuierlich durch Einpflege von aktuellen Erkundungsergebnissen und geologischer Vortriebsdokumentation aktualisiert. Die Dokumentationen werden idealerweise mit digitalen Methoden (Ortsbrust-Scan, Measurement While Drilling (MWD) o. ä.) durchgeführt. Hier ist besonders die Qualitätskontrolle durch den Fachbereich Baugrund (BIM-Fachkoordinator) hervorzuheben, der die erhobenen Daten ins Datenbank- und BIM-Modell einpflegen muss.

Infolge der Tatsache, dass bei der Projektierung und Umsetzung von Untertagebauwerken Datenbeiträge von vielfach unterschiedlichen Quellen stammen, sind besondere Anforderungen an die Dateninteroperabilität zu beachten. Die Ausführungen hierzu können der Anlage 5 zu [3] entnommen werden.

In Zusammenhang mit dem Datenaustausch von Baugrundinformationen ergeben sich die gleichen Fragen zur Transparenz und Kollaboration wie bei der allgemeinen modellbasierten Abwicklung des Gesamtprojekts, die projektspezifisch geklärt werden müssen und in den jeweiligen AIA bzw. im BAP zu definieren sind.

## 4.12 Verwendete Software

Bei der Baugrundmodellierung bestehen andere Anforderungen an Softwareprodukte als beim Modellieren von Bauwerken mit ihren klar definierten Strukturen. Die Anforderungen sind wie folgt:

- Bearbeitung von Geometrien mit heterogenen Detaillierungsgraden, schleifenden Verschnitten bzw. allgemein komplexen Formen
- Einfache Klassifizierung (Zuordnung von Geometrie zu Objekten/Klassen)
- Effiziente Zuordnung von Merkmalen (wo möglich automatisiert)
- Effiziente Anpassung des Modells (GeoDoku und Interpretationen) an neue Grundlagendaten (neue Aufschlüsse und Messwerte)
- Überarbeitung des Baugrundmodells infolge Planungsänderungen (z. B. Änderung der Trasse)

Um all diesen Anforderungen zu entsprechen, erfordert die BIM-basierte Baugrundmodellierung i. d. R. das Wissen um eine ganze Palette von Softwarepaketen. Es muss projektspezifisch eine Bearbeitungskaskade (z. B. im Rahmen des BAP) definiert werden. Es ist zum jetzigen Zeitpunkt wie auch in absehbarer Zukunft nicht davon auszugehen, dass es einzelne Programme gibt, die alle Anforderungen erfüllen und die die komplette digitale Baugrundmodellierung abdecken können.

Für die Modellierung von baugrundrelevanten Daten und Geometrien stehen verschiedene Programme für die Verarbeitung und Aufnahme bereit. Diese können nach Art der Datenakquisition und Funktionalität klassifiziert werden:

- **GIS (Geographische Informationssysteme):**  
GIS ermöglichen Erfassung, Organisation, Modellierung, Analyse und Visualisierung von räumlichen Informationen. GIS sind bereits seit Jahrzehnten in Verwendung. Die GIS-basierte Modellierung von Geometrien und Informationen kommt den Konzepten von BIM sehr nahe. Als Hauptunterschied ist die überwiegende Ausrichtung von GIS auf 2D bzw. 2,5D (insb. Rasterdaten, welche z. B. keine Überhänge und damit vollwertige 3D Informationen darstellen können) nennen. Vorhandene GIS-Systeme sollten bei der Baugrundmodellierung in BIM eingebunden werden.
- **CAD (Computer Aided Design):**  
CAD-Programme werden für computergestützte Zeichnung und Dokumentation realer und geplanter Objekte bei der Bauwerksmodellierung eingesetzt. Prinzipiell können auch die Baugrundverhältnisse (z. B. Bohrungen und Schichtgrenzen) modelliert werden. Trotz parametrischer Modellierungswerkzeuge und Verknüpfungen zu Datenbanken stoßen diese Programme bei großen Datenmengen und komplexen geologischen Verhältnissen an ihre Grenzen.
- **Geologische 3D-Modellierung:**  
Diese Programme sind speziell für das Analysieren, Bearbeiten und Visualisieren von umfangreichen räumlichen und geologischen Daten konzipiert. Dabei setzen sie auf unterschiedliche statistische Methoden für deren Verarbeitung, helfen bei der Interpolation und Extrapolation von Datensätzen und können im Gegensatz zu konventionellen CAD-Programmen mit besonders komplexen Oberflächen umgehen.

## 5 Handlungsfelder für weitere Entwicklungen

### 5.1 Datenbank für Merkmalkatalog

Der identifizierte Merkmalkatalog (vgl. **Kapitel 4.5**) ist ein wichtiges Werkzeug für die Verwaltung von digitalen Baugrundmodellen im Untertagebau, da er eine Vielzahl von grundlegend benötigten Informationen spezifiziert, die während der Planung, Ausführung und dem Betrieb benötigt werden. Durch eine zentrale Bereitstellung der Merkmale sind die Projekt-

beteiligten in der Lage, benötigte Merkmale aus der gleichen Quelle in das jeweilige Modell zu integrieren, wodurch die Interoperabilität und die Integration der einzelnen (Sub-)Fachmodelle gefördert wird. Die zentrale Bereitstellung der Merkmale ist somit von großer Bedeutung für die jeweiligen Projekte, wobei es keine Einzellösungen für einzelne Projekte geben sollte, sondern eine übergeordnete Serverlösung, damit auch einfach zwischen Projekten verglichen werden kann. Möchte man beispielsweise die Mächtigkeit mehrerer Schichten in verschiedenen Projekten miteinander vergleichen, müssen die Merkmale (z. B. Schichtdicke) in den Projekten gleich benannt sein, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Dies ist mit einer übergeordneten Serverlösung gegeben. Somit ist das Ziel, einen nachhaltigen Merkmalsserver u. a. für Baugrundmerkmale zu entwickeln, der ständig gepflegt sowie gewartet wird und der unter einer zentralen Administration auch fortlaufend mit neuen Merkmalen erweitert werden kann (etwa Merkmale für die Erfassung und Quantifizierung von Unschärfen, siehe **Kapitel 4.7**).

Dieser zentrale Merkmalsserver ist zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Empfehlung noch in Arbeit. Die Funktionsweise eines Merkmalservers ist in der Veröffentlichung zum Informationsmanagement [3] beschrieben.

Eine zentrale und einheitliche Lösung für die Verwaltung von Merkmalen ist zudem wichtig im Hinblick auf das Geologiedatengesetz (GeolDG) in Deutschland. Hierbei müssen neu generierte Geologiedaten in eine zentrale Stelle (z. B. Datenbanken von Landesämtern) eingepflegt werden, die wiederum aber auch verfügbare Daten für untersuchte Bereiche bereitstellen muss. Der Austausch der Daten mit Hilfe einer zentralen Serverlösung und in einem gängigen Austauschformat erleichtert sowohl das Einspeisen neuer Daten als auch die Verarbeitung bestehender, extrahierter Daten.

Analog zum deutschen GeolDG wird die Gesetzgebung in Österreich derzeit angepasst (z. B. Geodateninfrastrukturgesetz, GeoDIG) und verpflichtet öffentliche Einrichtungen zur Weitergabe von Geodaten, die im öffentlichen Auftrag erstellt wurden, nach vorgegebenen Standards zu Datenmodellierung, Datendownload und Datenvisualisierung. Derzeit betreiben die staatlichen Institutionen (u. a. geologische Landesdienste) z. T. umfangreiche Datenbanken für Bohrdaten, die digital abrufbar sind und sich an den gängigen Normen orientieren, aber nicht einheitlich strukturiert sind. Auch die Geologische Bundesanstalt (GBA) betreibt GIS und Datenbanksysteme, die konform mit den Vorgaben von INSPIRE („Infrastructure for Spatial Information in the European Community“) und OGC-standards (OGC: Open Geospatial Consortium) sind. Im Zuge der Umstrukturierung dieser Insti-

tution (GBA wird zu GSA) soll ein Zentrum zur „Etablierung und Betrieb einer zentralen Daten-Infrastruktur als Dienstleistung für Wissenschaft, Wirtschaft, öffentliche Verwaltung und Gesellschaft mit automatisiertem Zugang ...“ geschaffen werden. (GSAG §4 (3), Punkt 5).

Öffentliche Auftraggeber und Betreiber von großen Tunneln (u. a. ÖBB, Asfinag, Wiener Linien) beabsichtigen prinzipiell die Entwicklung von gemeinsamen, kompatiblen Datenstrukturen. Die Bestrebungen zur Harmonisierung stehen aber noch am Anfang.

Das vom Schweizer Geologenverband durchgeführte Innovationsprojekt GEOL\_BIM hatte die Integration von geologischen Daten, respektive geologischen Modellen, in digitale Bauwerksmodelle zum Ziel. Dazu wurde im Projekt eine herstellerunabhängige, systemneutrale und offene Schnittstelle zwischen geologischen und hydrogeologischen Daten und digitalen Bauwerksmodellen entwickelt. Die Schnittstelle konvertiert, via einer Webapplikation, geologische Inputdaten ins IFC-Format und ermöglicht somit den Import von diesen Daten in übliche BIM-Umgebungen. Als Inputdaten werden 3D-Modelle (Schichtmodell und Voxelmmodell), Profilschnitte, Bohrungen und Voxel unterstützt. Die entwickelte Schnittstelle soll den digitalen Austausch zwischen dem Projektverfasser Geologie und den Fachplanern fördern und unterstützen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ebenfalls die Kompatibilität der Schweizer Norm SIA 199 „Erfassen des Gebirges im Untertagebau“ mit digitalen Geologie-Modellen untersucht. Dabei wurde ein Workflow für die Erstellung von einem Fachmodell Geologie entwickelt, welcher alle Informationen gemäß SIA 199 als Attribut enthält und ins IFC-Format exportiert werden kann. Dieser Workflow wurde am Beispiel des Projekts 2. Röhre Gotthard-Straßentunnel erarbeitet.

Weitere Informationen zum Innovationsprojekt GEOL\_BIM können dem Abschlussbericht entnommen werden [20].

## 5.2 Risikozuordnung Baugrund

Die Allokation des Baugrundrisikos im Zuge einer Projektentwicklung und -abwicklung von Untertagebauwerken ist ein zentrales und immanentes Thema in den Vertragsverhältnissen der beteiligten Parteien Auftraggeber, Planer, Sachverständiger und Bauunternehmer.

Der DAUB geht in seiner Empfehlung zum konfliktarmen Bauvertrag im Untertagebau (April 2020) [21] u. a. speziell auf die klare und faire Risikoverteilung ein und empfiehlt definierte Risikobereiche in diesem Zusammenhang gemeinschaftlich zu tragen.

Letztendlich obliegen den Vertragsparteien in der Zusammenarbeit entsprechende Prüf- und Hinweispflichten, so dass eine gemeinsame Beurteilung der Baugrundsituation durch die beteiligten Vertragspar-

teien von Nutzen ist. Zur Erfüllung des Grundsatzes der partnerschaftlichen Vertragsabwicklung liegt es auf der Hand, das digitale Baugrundmodell zur Projektentwicklung und -abwicklung zu nutzen. Durch die Implementierung von 3D-Modellen und dem damit einhergehenden Informationsmanagement bei zielgerichteter Beteiligung aller Projektbeteiligter, wird die notwendige Transparenz zur paritätischen Kooperation und Kollaboration erreicht, um Risiken – nicht nur aus dem Baugrund – frühzeitig zu identifizieren und eine sachgerechte und zielorientierte Entscheidungsfindung zur Bewältigung zu ermöglichen.

## 6 Ausblick

In der vorliegenden Empfehlung wurden viele verschiedene Aspekte zur Baugrundmodellierung beleuchtet, wobei einige Themen detaillierter als andere beschrieben wurden. Dies liegt u. a. anderem daran, dass es für bestimmte Themen nur sehr limitierte Erfahrungen gibt und in der Empfehlung größtenteils nur die Vorstellungen und Ideen der Autoren beschrieben werden konnten, die größtenteils einen Planerhintergrund besitzen. Beispiele hierfür sind die Anforderungen an die Modellierung von Unschärfe und die Anforderungen an die Aktualisierung des Baugrundmodells während der Ausführung. Mit der zukünftigen Behandlung dieser Themen in BIM-Pilotprojekten und der dadurch wachsenden Erfahrung in diesen Bereichen müssen die getroffenen Aussagen nochmal kritisch betrachtet und gegebenenfalls angepasst werden.

Der in Arbeit befindliche **Merkmalkatalog** mit den benötigten Merkmalen zur Baugrundmodellierung ist ebenfalls nicht als vollständig zu betrachten. Der Merkmalkatalog deckt den Großteil benötigter Merkmale ab, muss aber stetig gepflegt und erweitert werden. Allerdings sollte davon abgesehen werden, Merkmale, die besonders projektspezifisch sind, dem Katalog hinzuzufügen, um eine gewisse Übersichtlichkeit zu behalten und auch Anwender in anderen Projekten nicht zu irritieren. Daher muss die Pflege des Merkmalkatalogs von einem Gremium gesteuert und überwacht werden.

Die Komplexität der Erstellung, Verwaltung und Wartung von Baugrundmodellen lässt erwarten, dass die verschiedenen Schritte mit diversen **Softwarelösungen** durchgeführt werden. Für eine kontinuierliche und reibungsarme Zusammenarbeit aller Projektbeteiligter ist es daher umso wichtiger, dass die jeweiligen Softwarelösungen gut miteinander kommunizieren und Daten austauschen können. Eine Standardisierung von Schnittstellen ist daher anzustreben.



In diesem Ausblick sollen aber auch **zukünftige Anwendungsfelder von Baugrundmodellen** im Tunnel- und Untertagebau beleuchtet werden. Rasant fortschreitende Technologien und Entwicklungen, beispielsweise im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) sowie des Internet of Things (IoT), bieten neue Anwendungsmöglichkeiten zur Planungs- und Prozessoptimierung in allen Planungsphasen bis hin zur Echtzeit Prozessanpassung während der Bauphase.

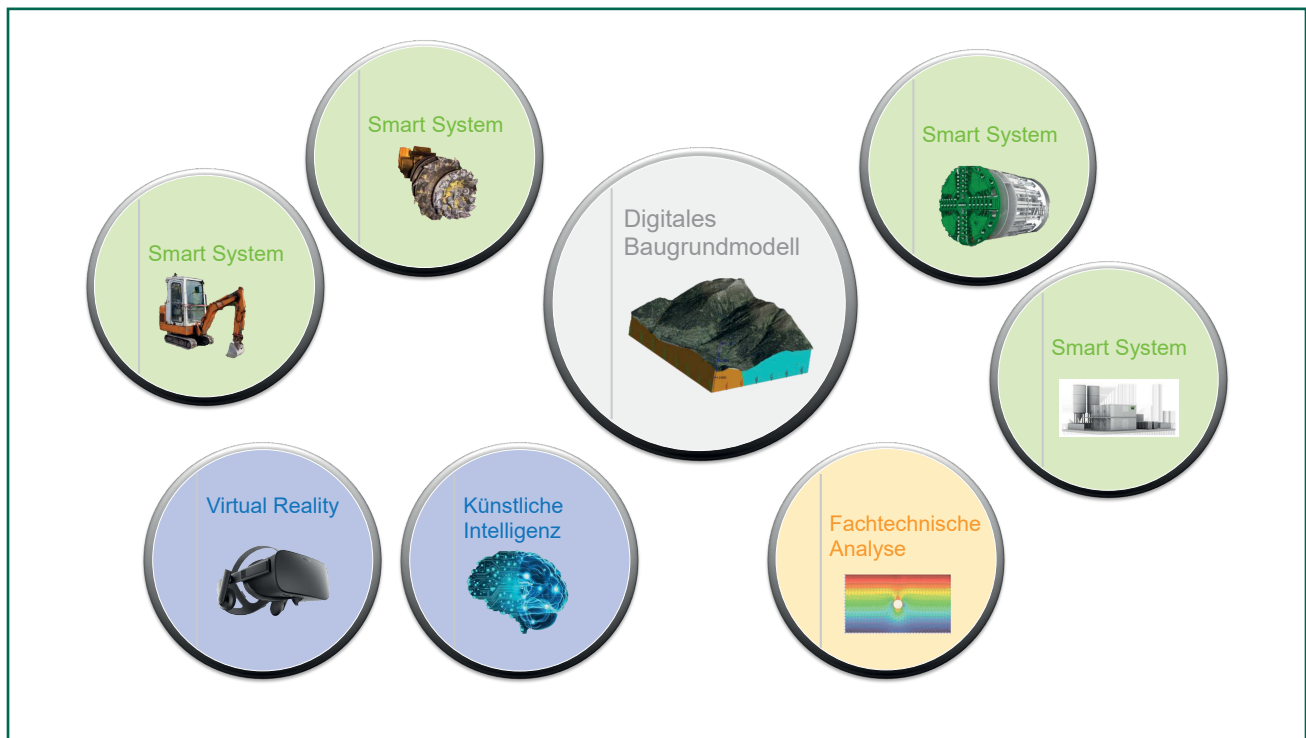
Die Bauindustrie befindet sich auf dem Weg, dass Baustelleneinheiten zukünftig zu „**Smart Systems**“ ausgebaut werden. Diese Systeme nehmen immer öfter Daten über entsprechende Sensorik auf, werten sie unmittelbar und automatisiert über Edge Computing aus oder leiten sie zur fachspezifischen Analyse, z. B. durch Finite-Element-Anwendungen, weiter, leiten Reaktionen ein bzw. lösen Interaktionen zwischen Smart Systems aus. Die in der Planungsphase erstellten Modelle, seien es 3D-Baugrund- oder Bauwerks-Modelle, können dann in Echtzeit angepasst werden, um beispielsweise eine unmittelbare und automatisierte Aktualisierung des Zeitbedarfs, der Baukosten sowie des CO<sub>2</sub>-Footprints zu ermöglichen.

Aus den oben genannten Gründen wird auch die Erfassung der in-situ-Geologie zunehmend an Bedeutung gewinnen, um über abrechnungstechnische Beweggründe hinaus aus den gemachten Erfahrungen für zukünftige Projekte zu lernen. Dies geschieht zunehmend durch Machine Learning Prognosemodelle,

welche die historischen Prozessdaten als Trainings- und Testdatensätze verwenden. Das Baugrundmodell kann quasi zur Datenbasis, bestehend aus georeferenzierten, strukturierten Daten, werden, welche die geotechnischen Randbedingungen in numerischer Form beschreiben.

Darüber hinaus werden Baugrundmodelle bereits im Bereich der Virtual oder Augmented Reality eingesetzt. Hier können geotechnische Randbedingungen und den Baugrund betreffende Prozesse den Projektbeteiligten optimal veranschaulicht werden.

Auch wenn sich die oben genannten Entwicklungen nicht unmittelbar auf den Baugrund bzw. dessen Erkundung beziehen, kann das Baugrundmodell in Zukunft die Single Source of Truth darstellen, auf die sich all diese Systeme beziehen. Besonders im Tunnel- und Untertagebau kann daher das digitale Baugrundmodell zunehmend an Bedeutung und Einfluss gewinnen. Auch wenn eine rein digitale und 3D modellbasierte Planung insbesondere hinsichtlich Genehmigungsplanung aktuell noch Zukunftsmusik ist, muss dies doch das Ziel sein, um die Vorteile der räumlichen Planung vollumfänglich auszuschöpfen. Umso wesentlicher ist es, die Entwicklungen in der Erstellung der Baugrundmodelle zu standardisieren, um allen Projektbeteiligten den entsprechenden Datenaustausch zu ermöglichen. Die vorliegende DAUB-Empfehlung möchte hier einen grundlegenden Beitrag leisten.



**Abbildung 6-1** Anwendung des Baugrundmodells zur Planungs- und Prozessoptimierung unter Einsatz fortschreitender Technologien wie Künstliche Intelligenz, Internet of Things, Virtual und Augmented Reality



## 7 Glossar

3D		Entspricht einer dreidimensionalen Geometrie, die mit Körpern im Raum konstruiert und dargestellt werden kann
Anwendungsfall	AWF	Aus den BIM-Zielen abgeleitete Aufgaben zur Umsetzung der BIM-Methodik
As-built		Darstellung und Dokumentation des tatsächlich ausgeführten Zustands
Attribut		Alle Daten bezüglich der Beschreibung eines Merkmals, einer Merkmalsgruppe usw. (nach DIN EN ISO 23386)
Auftraggeber-Informationen-Anforderungen / Austausch-Informationen-Anforderungen	AIA	Dokument, welches Informationsanforderungen des Auftraggebers in der Ausschreibung vorgibt, um die Rahmenbedingungen der BIM-Anwendung festzulegen
Ausführungsmodell		Modell, das während der Ausführung inklusive der verfügbaren Informationen entsteht
Baugrundmodell		Modell mit Darstellung der geologischen/hydrogeologischen/geotechnischen Baugrundverhältnisse
Bestandsmodell		Modell, welches den Bestand im Projektgebiet darstellt
BIM-Abwicklungsplan	BAP	Dokument, das die Rahmenbedingungen für die BIM-Anwendung in der Projektabwicklung festlegt
BIM Collaboration Format	BCF	Format zur Koordination von Problemen und Mitteilungen am Modell zwischen verschiedenen Softwarelösungen
Common Data Environment	CDE	Digitale Plattform zur gemeinsamen Datenablage und -austausch von Modellen und weiteren Informationen
Data Drop	DD	Festgelegter Zeitpunkt, an dem definierte Liefergegenstände übergeben, geprüft und dokumentiert werden
Detaillierungsgrad		Ausprägung der geometrischen und semantischen Informationen
Fachmodell		Beinhaltet die gewerkespezifischen Informationen des Fachplaners. Für den Untertagebau können exemplarisch die Fachmodelle Tunnelbau, Ausbau, Entwässerung oder Brandschutz herangezogen werden
Faktenmodell		siehe GeoDoku-Modell
GeoDoku-Modell		Modell, das alle vorhandenen faktenbasierten Grundlagendaten aus neuen oder früheren Baugrunderkundungen abbildet (s. <a href="#">Kapitel 4.2</a> )
Geologiemodell		Modell der Disziplin "Geologie", das die auf dem GeoDoku-Modell basierende Interpretation des geologischen Aufbaus abbildet (s. <a href="#">Kapitel 4.3.1</a> )
georeferenziert		Räumliche Zuweisung eines Objekts in einem Koordinatensystem
Geotechnikmodell		Modell der Disziplin "Geotechnik", das die auf dem GeoDoku-Modell basierende Interpretation der geotechnischen Baugrundverhältnisse abbildet (s. <a href="#">Kapitel 4.3.2</a> )
Granularitätsstufe	GS	Einteilung zur Festlegung der Detaillierung eines Baugrundmodells
Hydrogeologiemodell		Modell der Disziplin "Hydrogeologie", das die auf dem GeoDoku-Modell basierende Interpretation der hydrogeologischen Baugrundverhältnisse abbildet (s. <a href="#">Kapitel 4.3.3</a> )
Interpretationsmodell		Setzt sich zusammen aus den interpretierten Sub-Fachmodellen (Geologie-, Geotechnik-, Hydrogeologie- und Streckenabschnitts-Modell) (s. <a href="#">Kapitel 4.3</a> )
Klassifikation		Standardisiertes System für die Zuordnung/Strukturierung (Klassifizierung) von Elementen/Informationen

Koordinationsmodell		Modell, das aus unterschiedlichen Fach- und/oder Teilmodellen zusammengespielt wird, um die Koordination durchzuführen.
Merkmal		Inhärente oder erworbene Eigenschaft eines Datenelements zur Beschreibung eines Objekts bzw. Teilobjekts (nach DIN EN ISO 23386)
Merkmalsgruppe		Container, der es ermöglicht, die Merkmale vor auszuplanen oder zu organisieren. Eine nach ISO 16739 festgelegte Merkmalsliste ist eine Merkmalsgruppe, aber eine Merkmalsgruppe ist nicht zwangsläufig eine Merkmalsliste (DIN EN ISO 23386)
Modell		Dreidimensionales Modell, welches physikalische, geometrische und funktionale Merkmale mit Attributen enthält
modellbasiert		Bearbeitung unter Zuhilfenahme eines digitalen Modells
Objekt		Mit Informationen hinterlegtes, einzelnes Modellelement. Es kann sich z. B. um ein Bauteil, ein Gerät oder einen Raum handeln.
objektbasiert		Bearbeitung unter Zuhilfenahme von Objekten
Objektkatalog		Strukturierte Sammlung aller Objekte bzw. Teilobjekte, die zur Modellierung in relevanter Detaillierung erforderlich sind; siehe Modellanforderungen – Teil 1 Objektdefinition, Codierung und Merkmale
Prognosemodell		Modell, dass die zu erwartenden prognostizierten Verhältnisse im Baugrund während der Bauausführung darstellt. Beschreibt den Stand des Interpretationsmodells/Streckenabschnittmodells vor der Ausführung
Projektphasen		Abschnitte in der Entwicklung, Umsetzung und dem Betrieb eines Projekts, die mit zweckgebundenen Meilensteinen den Projektfortschritt beschreiben.
Projektverfasser Baugrund		Rolle des Sachverständigen für (Hydro-)Geologie/Geotechnik
Semantik		Bedeutung von Zeichen(folgen)
semantisch		Mit Zeichen(folgen) erwirkte Bedeutung
Streckenabschnittsmodell		Darstellung der relevanten Aspekte aus den Interpretationsmodellen der einzelnen Disziplinen (z. B. Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie) mit direktem Bezug auf das geplante Untertagebauwerk (s. <b>Kapitel 4.3.4</b> )
Sub-Fachmodell		Unterteilung eines Fachmodells Baugrund in weitere spezifischere Fachbereiche bzw. Disziplinen (z.B. Geologie, Geotechnik, Hydrogeologie)
Teilfachmodell		Möglichkeit der Unterteilung von Fachmodellen in unterschiedliche Bereiche, z. B. Fachmodell Untertagebauarbeiten wird unterteilt in ein Teilfachmodell Schachtabteufen und ein Teilfachmodell Vortrieb
Teilmodell		Teilmodelle bilden einen Teil des Gesamtmodells ab und beinhalten alle Fachmodelle in ihrem Bereich, z. B. Portalbereich, Schacht 1, Vortrieb Nord
Teilobjekt		Das kleinste Element, das im Modell vorhanden ist.
Unschärfe		Abweichungen im Fachmodell Baugrund im Vergleich zur Realität, z. B. aufgrund von Prognoseunschärfen, Detaillierungsgrad oder limitierten Rechen- und Speicherkapazitäten
Voxelmodell		In diesem Modell werden Körper (Objekte) in kleinere (regelmäßige) Volumenelemente mit eigenen Informationen zerlegt

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] DAUB (2019): Digitales Planen, Bauen und Betreiben – BIM im Untertagebau. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB), Köln
- [2] DAUB (2020): Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – Modellanforderungen – Teil 1 – Objektdefinition, Codierung und Merkmale. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB), Köln
- [3] DAUB (2022): Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – Modellanforderungen – Teil 2 – Informationsmanagement. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB), Köln
- [4] DAUB (2022): Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – Modellanforderungen – Teil 3 – Baugrundmodellierung,“ Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB), Köln
- [5] DAUB (2022): Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – Modellanforderungen – Teil 4 – Modellbasierte Leistungsverzeichnis. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB), Köln
- [6] DAUB (2022): Digitales Planen, Bauen und Betreiben von Untertagebauten – Modellanforderungen – Teil 5 – Vorhaltemaße und Überhöhungen. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB), Köln
- [7] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV, 2021): Masterplan BIM Bundesfernstraßen. Berlin, 09/2021
- [8] DIN 4020:2010-12: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag, Berlin, 2010
- [9] SIA 199 (2015): Erfassen des Gebirges im Untertagebau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2015
- [10] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG, 2021): Richtlinie für die Geotechnische Planung von Untertagebauten mit zyklischem Vortrieb, Salzburg
- [11] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG, 2013): Richtlinie für die geotechnische Planung von Untertagebauten mit kontinuierlichem Vortrieb, Salzburg
- [12] Österreichische Gesellschaft für Geomechanik (ÖGG, 2017): Ermittlung geologisch-geotechnischer Grundlagen für die Planung tiefliegender Tunnel, Salzburg
- [13] DIN EN ISO 23386:2019: Bauwerksinformationsmodellierung und andere digitale Prozesse im Bauwesen – Methodik zur Beschreibung, Erstellung und Pflege von Merkmalen in miteinander verbundenen Datenkatalogen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag, Berlin, 2019
- [14] DIN 18300:2019-09: VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Erdarbeiten. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag, Berlin, 2019
- [15] Weil, J. (2020): Digitale Baugrundmodelle im Tunnelbau - Status, Chancen und Risiken. Geomechanics and Tunneling 13 (2), pp. 221-236, 2020
- [16] Bianchi, G. W.; Perello, P.; Venturini, G.; Dematteis, A. (2009): Determination of reliability in geological forecasting for tunnel projects: the method of the R-index and its application on two case studies. IAEG Italia, pp. 1-7, 2009
- [17] Venturini, G.; Bianchi, G. W.; Diederichs, M. (2019): How to Quantify the Reliability of a Geological and Geotechnical Reference Model in Underground Projects, S. 525–537, 2019
- [18] Norwegian Geotechnical Institute & GeoVita AS (2020): Webinar: BIM for Geo-Sciences, part 1. BIM for GeoSciences. Online: <https://youtu.be/pmu5iUVCdnE> (zuletzt geprüft am 19.10.2021)
- [19] DIN EN 17412-1:2021-06: Bauwerksinformationsmodellierung – Informationsbedarfstiefe – Teil 1: Konzepte und Grundsätze; Deutsche Fassung EN 17412-1:2020. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2021
- [20] Köbberich, M.; Schneider, O.; Schildknecht, L.; Gafner, T.; Volken, S.; Wehrens, P.; Preisig, M. et al. (2022): Innovationsprojekt GEOL\_BIM – Abschlussbericht. Schweizer Geologen Verband CH-GEOL, 2022
- [21] DAUB (2020): Empfehlung zum konfliktarmen Bauvertrag im Untertagebau. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e.V. (DAUB), Köln



# Anlagen

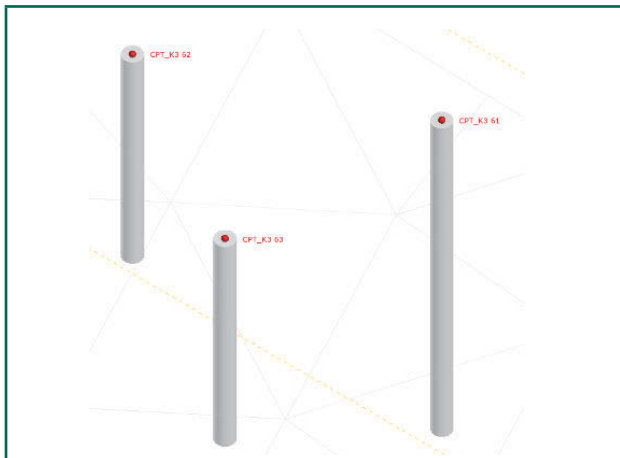




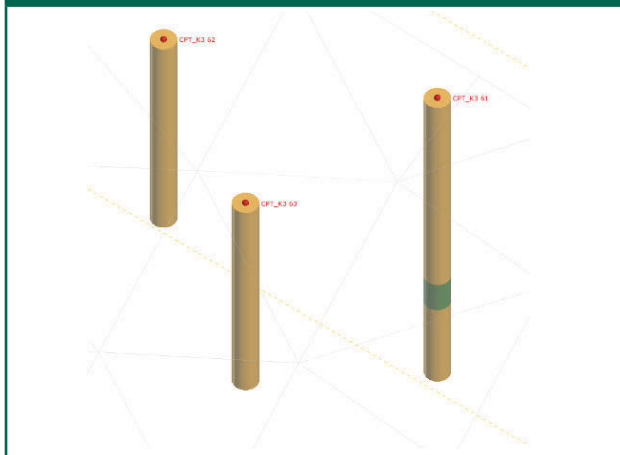
## Anlage 1: Objektkatalog inklusive Auswahl Merkmale

Anlage 1 steht als Excel-Datei zum Download zur Verfügung.

## Anlage 2: Beispiele Visualisierungen

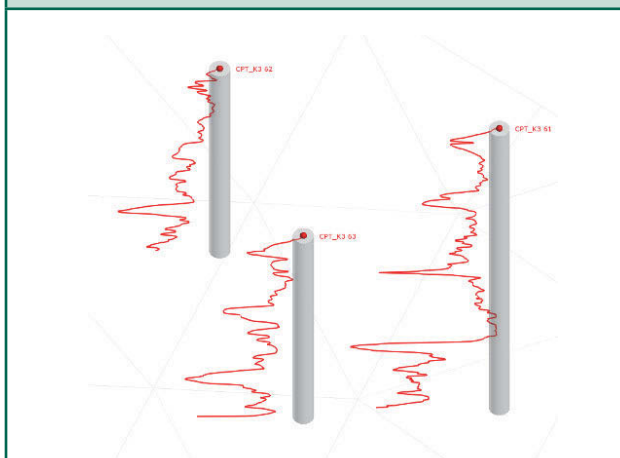


**Bohrung**



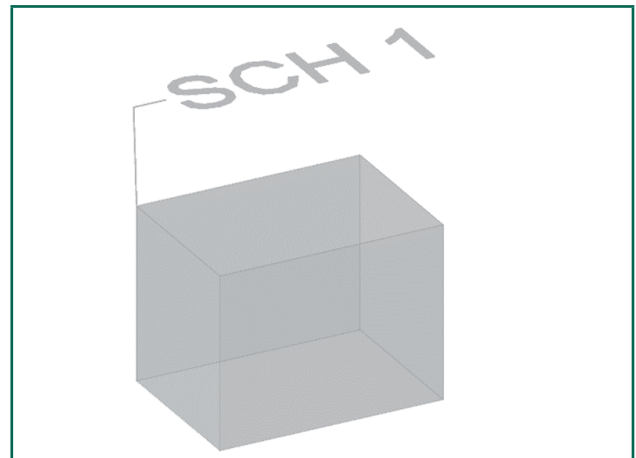
**Aufschluss Intervall**

(hier: Beispielvisualisierung als Bohrung)

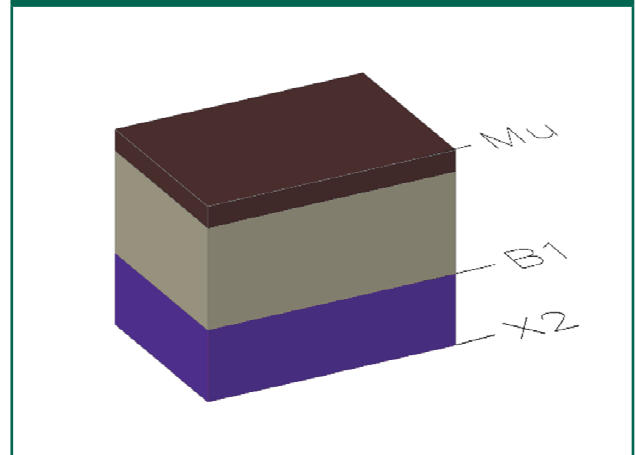


**Bohrlochversuch**

(hier: Darstellung des CPT-Spitzendrucks)

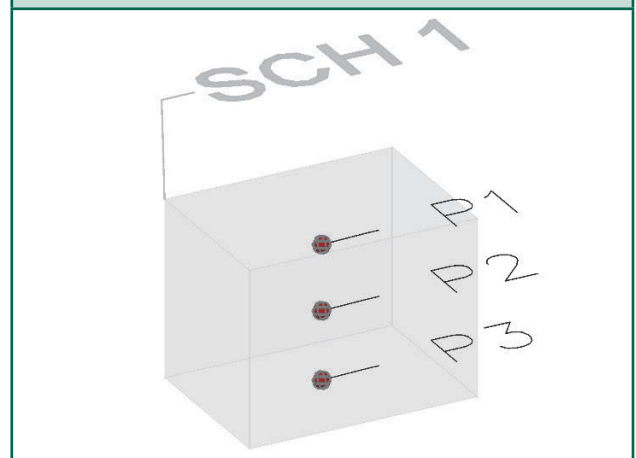


**Schurf**



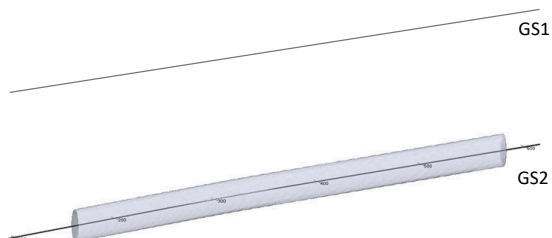
**Aufschluss Intervall**

(hier: Beispielvisualisierung als Schurf)

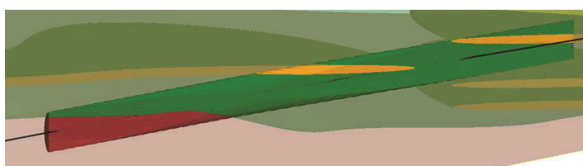


**Probe**

(hier: Beispielvisualisierung als Kugel)



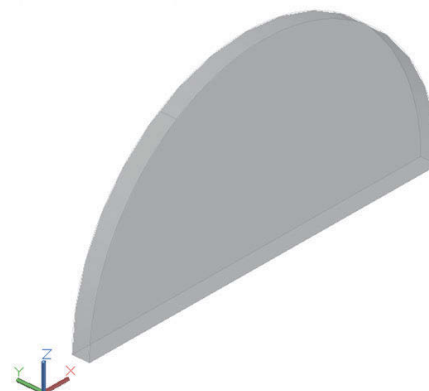
**Modellbereich Streckenabschnitte**  
(hier: Darstellungsvarianten für GS1 und GS2)



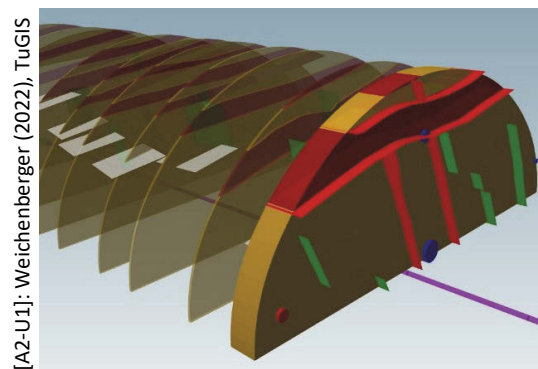
**Geotechnischer Streckenabschnitt**  
(hier: Visualisierung für geotechn. Einheiten)

Streckenabschnittsmodell					
A1	A2	A3	A3	A3	A3
B1	B1	B2	B2	B3	B4
C1	C1	C1	C1	C1	C1
D1	D1	D1	D2	D3	D4

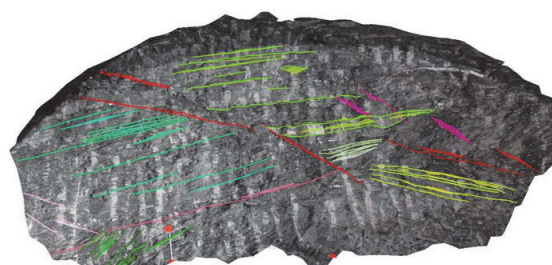
**Geotechnischer Streckenabschnitt**  
(hier: Darstellung weiterer Merkmale)



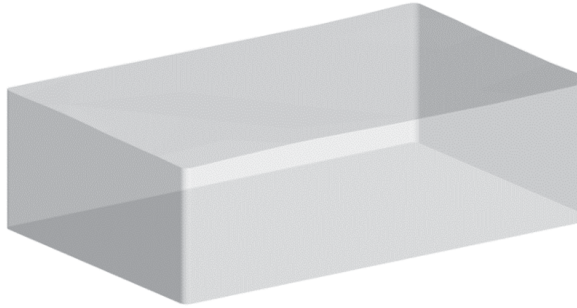
**Ortsbrust**  
(hier: Darstellung für Granularitätsstufe GS2)



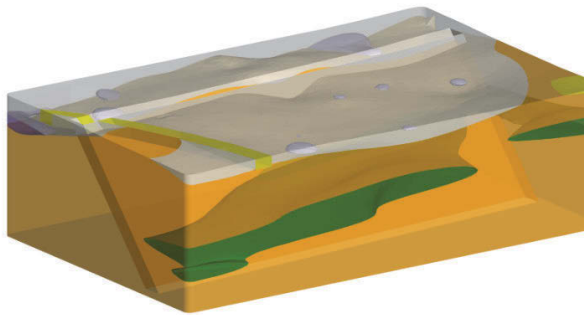
**Teilbereich geologische Dokumentation + Trennflächenschar**  
(hier: Darstellung in Granularitätsstufe GS4)



**Ortsbrust + Trennflächenschar**  
(hier: Darstellung in Granularitätsstufe GS5)

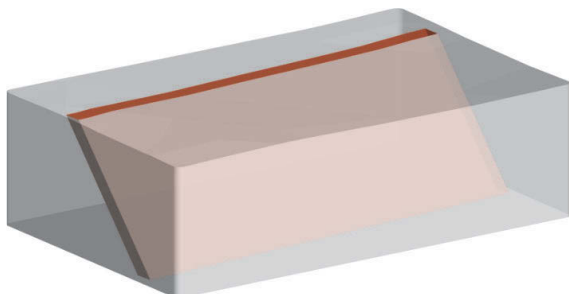


**Modellbereich Geologie**



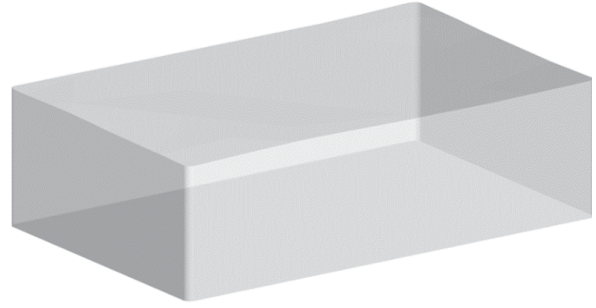
**Geologische Einheit**

(hier: Visualisierung für geolog. Einheiten)

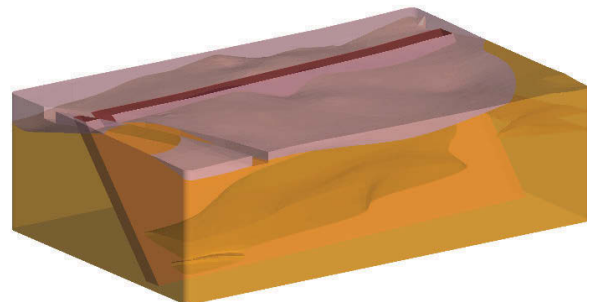


**Geologische Störung**

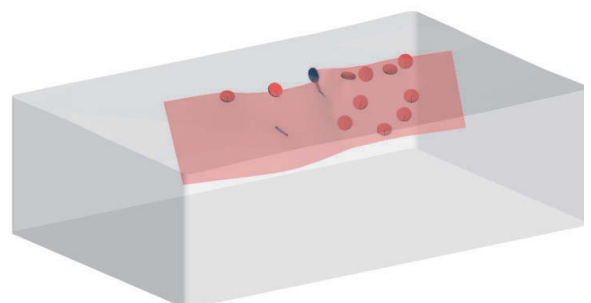
(hier: Darstellung einer Störungszone)



**Modellbereich Geotechnik**



**Geotechnische Einheit**



**Geotechnische Trennfläche  
+ Trennflächenschar**