



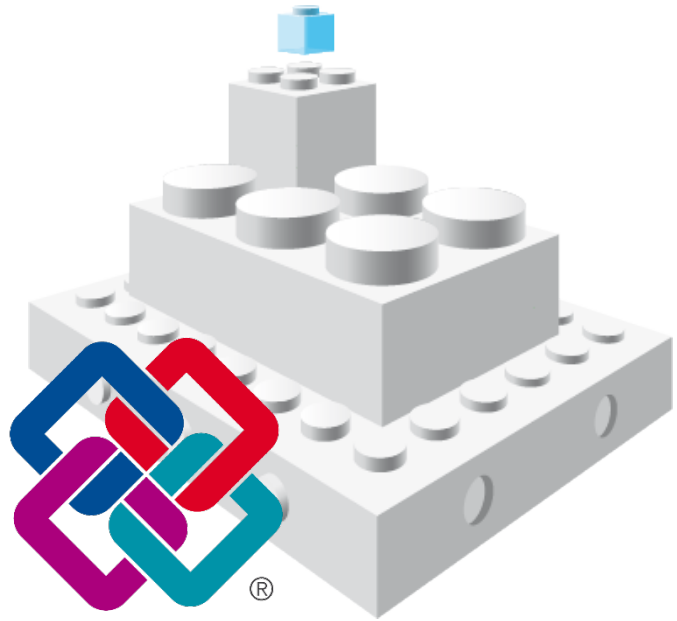
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Innosuisse – Schweizerische Agentur
für Innovationsförderung

Innosuisse Projektnummer 40458.1 IP-ENG

Innovationsprojekt **GEOL_BIM** Ergebnisbericht Arbeitspaket 1: Grundlagen BIM-Methode

Stand: 31.05.2022
Version 2.00



CHGEOL



Schweizer Geologen Verband
Association suisse des géologues
Associazione svizzera dei geologi
Associaziun svizra dals geologs
Swiss Association of Geologists



Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Landesgeologie



Impressum

Autoren

Oliver Schneider, Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Lukas Schildknecht, Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Stefan Volken, Bundesamt für Landestopografie swisstopo
Michael Köbberich, Schweizer Geologenverband CHGEOL
Philip Wehrens, Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Innosuisse

Projektmanagement: Schweizer Geologenverband CHGEOL
Forschungspartner: Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Umsetzungspartner: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Projektsteuerung

Johannes Graf, Schweizer Geologenverband CHGEOL
Manfred Huber, Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Andreas Möri, Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Projektleitung

Michael Köbberich, Schweizer Geologenverband CHGEOL
Oliver Schneider, Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW

Teilprojektleitung

Oliver Schneider, Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Stefan Volken, Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Begleitgruppe

Matthias Folly, Bundesamt für Strassen ASTRA
Alain Oulevey, De Cérenville Géotechnique SA
Matthias Preisig, GeoMod ingénieurs conseils SA
René Brinkmann, GEOTEST AG
Martin Stolz, Geotechnik Schweiz
Pierre Gander, Jäckli Geologie AG
Adrian Auckenthaler, Konferenz Geologischer Untergrund
Manfred Thüning, Lombardi Group GmbH
Severin Wälchli, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle NAGRA
Franz Schenker, Schenker Richter Graf AG
Michael Stockmeyer, Schweizerische Bundesbahnen SBB
Benno Staub, Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen VKG



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 6 |
| 2 | Grundlagen | 6 |
| 2.1 | Grundlagen zur Anwendung der BIM-Methode | 6 |
| 2.1.1 | Definition im Kontext des Forschungsprojekts | 6 |
| 2.1.2 | Neue Prozesse und Organisationsformen | 7 |
| 2.1.3 | Miteinander | 8 |
| 2.1.4 | Glossar | 9 |
| 2.2 | IFC – Industry Foundation Classes | 9 |
| 2.2.1 | Definition | 9 |
| 2.2.2 | Inhalt und Aufbau | 10 |
| 2.2.3 | IFC Version 4.x | 11 |
| 2.2.4 | IFC Version 5.0 | 12 |
| 2.3 | Informationsaustausch und -anforderung | 13 |
| 2.3.1 | Information Delivery Manual (IDM) | 14 |
| 2.3.2 | Level of Information Need (LOIN) | 16 |
| 2.3.3 | Informationsmanagement mit BIM / ISO 19650 | 17 |
| 3 | GIS und BIM | 19 |
| 3.1 | Vergleich BIM/GIS | 20 |
| 3.2 | Warum nicht BIM nach GIS? | 22 |
| 4 | Industry Foundation Classes IFC | 24 |
| 4.1 | Geometrische Repräsentation | 24 |
| 4.1.1 | Vergleich mit Geometrietypen der geologischen Modellierung | 26 |
| 4.2 | Geodätisches Bezugssystem | 29 |
| 4.2.1 | Georeferenzierung in IFC | 30 |
| 4.2.2 | Empfehlungen GEOL_BIM | 32 |
| 4.3 | Attribuierung geologischer Information | 33 |
| 4.3.1 | Beispiel PropertySets GEOL_BIM Begleitgruppe | 33 |
| 4.4 | Unsicherheiten in IFC | 34 |
| 4.4.1 | Mögliche Lösungsansätze | 35 |
| 4.5 | IFC-Tunnel | 36 |
| 4.5.1 | IFC-Tunnel Anwendungsfälle | 37 |
| 4.5.2 | IFC Geotechnik: Möglichkeiten mit IFC 4.3 | 38 |
| 4.5.3 | Empfehlungen für den Umgang mit Unsicherheiten | 38 |
| 5 | Weitere Datenmodelle | 39 |
| 6 | Schlussfolgerungen | 42 |
| 6.1 | Verschiedene IFC Versionen | 42 |
| 6.2 | Geologie Unterstützung mit IFC Version 4.3 | 42 |
| 6.3 | Geometrische Repräsentation von Voxelmolellen in IFC | 42 |
| 6.4 | Unsicherheiten in IFC | 43 |
| 6.5 | Datenmodell GEOL_BIM | 43 |
| 6.6 | Definition eines GEOL_BIM_PSet | 44 |
| 6.7 | Stossrichtungen | 44 |
| 7 | Literaturverzeichnis | 47 |
| Anhang A | Glossar | 49 |
| Anhang B | Beschreibung Datenmodelle | 50 |
| 1. | IFC 4x3 | 50 |
| 2. | AGS | 53 |
| 3. | AGSi | 54 |
| 4. | GeoSciML (GSML) | 57 |
| 5. | INSPIRE GE | 59 |
| 6. | Datenmodell Geologie | 60 |



| | | |
|----|-----------------------------|----|
| 7. | Datenmodell Bohrdaten | 62 |
| 8. | CityGML | 63 |
| 9. | LandInfra | 64 |



Dokumenthistorie

| Version | Datum | Kommentar | Autor |
|----------------|--------------|---|---|
| 1.00 | 10.11.2020 | Auszug Grundlagenbericht BIM-Methode/IFC mit den Grundlagen Kapitel 1 – 3. Publikation innerhalb von GEOL_BIM Projektteam(Kernteam & Begleitgruppe) | Oliver Schneider Lukas Schildknecht |
| 1.02 | 22.12.2020 | Abgabedokument – Reviewprozess GEOL_BIM Kernteam & Steuerungsgruppe | Oliver Schneider Lukas Schildknecht Stefan Volken Michael Köbberich Andreas Möri Johannes Graf |
| 1.04 | 31.3.2021 | Verarbeitung Review von GEOL_BIM Kernteam & Steuerungsgruppe. Formulierung des Kapitels Schlussfolgerungen. | Oliver Schneider Lukas Schildknecht Stefan Volken |
| 1.10 | 22.11.2021 | Präzisierungen nach Rückmeldungen ASTRA, SBB | Oliver Schneider Lukas Schildknecht |
| 1.11 | 18.1.2022 | Präzisierung nach Rücksprache SBB | Oliver Schneider |
| 2.00 | 31.05.2022 | Abgabe an Innosuisse | Oliver Schneider |

1 Einleitung

Der vorliegende Bericht dokumentiert Grundlagen aus dem Bereich der BIM-Methode/IFC, die für das Innosuisse Projekt GEOL_BIM als relevant erachtet werden. Er bildet eine Grundlage für die anschliessende Ausarbeitung der Lösungskonzepte.

Die einzelnen Themen werden in unterschiedlicher Tiefe beschrieben. Während eher unspezifische Themen, wie die eigentliche BIM-Methodik und der offene Datenaustausch mit dem Standard IFC, nur sehr allgemein und orientierend beschrieben werden, wird auf die spezifisch für GEOL_BIM relevanten Themen detaillierter eingegangen.

In einer ersten Projektphase wurden in zwei Arbeitspaketen zwei Teilberichte erarbeitet (Abbildung 1). Der vorliegende Bericht (GL-IFC) ist einer von zwei Grundlagenberichten (GL-IFC und GL-GEOL) des Innovationsprojektes GEOL_BIM, die während dieser ersten Projektphase erarbeitet wurden. In diesen ersten beiden Berichten wurden die Grundlagen der BIM-Methode, des offenen Datenaustauschformates IFC (Industry Foundation Classes, GL-IFC) und die Grundlagen der darin zu implementierenden Geologie (GL-GEOL) erarbeitet. Am Beispiel praxisrelevanter Anwendungsfälle folgen drei weitere Teilberichte (AWF) des GEOL_BIM Abschlussberichtes.

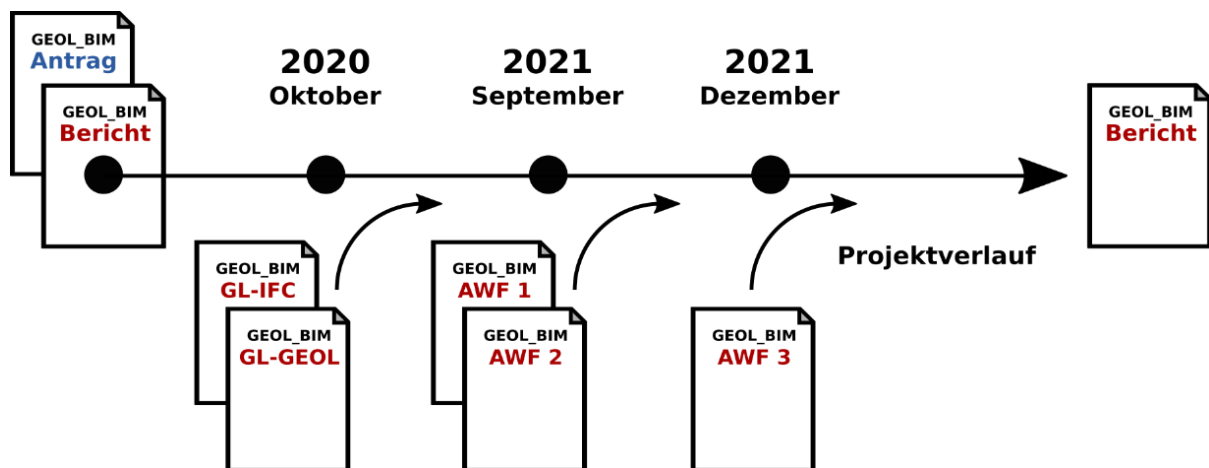


Abbildung 1: Alle Einzelberichte, die in Ihrer Gesamtheit den GEOL_BIM Abschlussbericht ergeben.

Der Bericht richtet sich an Fachpersonen aus den Themengebieten von GEOL_BIM mit Grundkenntnissen im Informations- und Datenaustausch.

2 Grundlagen

2.1 Grundlagen zur Anwendung der BIM-Methode

2.1.1 Definition im Kontext des Forschungsprojekts

Unter dem Begriff «BIM» (Building Information Modelling) werden je nach Kontext unterschiedliche Dinge zusammengefasst resp. verstanden. Daher wird an dieser Stelle einleitend eine kurze Auslegeordnung zu Begrifflichkeiten und zum Verständnis von «BIM» im Kontext dieses Forschungsprojekts gemacht.

Als Building Information Modelling (BIM) wird, vereinfacht formuliert, die Nutzung digitaler Bauwerksmodelle («BIM-Modelle») verstanden. SN EN ISO 19650-1:2018 definiert den Begriff entsprechend wie folgt: «Nutzung einer untereinander zur Verfügung gestellten digitalen Repräsentation eines Assets zur Unterstützung von Planungs-, Bau- und Betriebsprozessen als zuverlässige Entscheidungsgrundlage» (SN EN ISO 19650-1, Kap. 3.3.14).

Building Information Modelling bietet viele neue Möglichkeiten in der Planung, Realisierung und Bewirtschaftung von Bauwerken (Gebäude und Infrastrukturanlagen). Allerdings erzielt der Einsatz



digitaler Bauwerksmodelle nur dann einen effektiven Mehrwert, wenn gleichzeitig auch die Prozesse und Organisationen an diese neuen Möglichkeiten angepasst werden. Idealerweise werden mit der Einführung von Building Information Modelling die bestehenden Prozesse und Organisationen hinterfragt (statt einfach nur «digitalisiert») und - falls zweckmässig - neu definiert und transformiert. Eine solche eher übergeordnete Betrachtungsweise, welche einen expliziten Hinweis auf die Anpassung von Prozessen und Organisationen macht, ist in (SIA 2051, 2017) als «BIM-Methode» definiert: «Digitales Planen, Bauen und Betreiben, welches die Verwendung von digitalen Bauwerksmodellen in Kombination mit geeigneten Organisationsformen und Prozessen beinhaltet.» Es wird hier also ein Unterschied gemacht zwischen «BIM» und der «BIM-Methode». «BIM» ist gemäss dieser Definition ein Teil der «BIM-Methode», indem es explizit mit geeigneten Organisationsformen und Prozessen kombiniert wird.

Der Fokus im Projekt GEOL_BIM liegt in der Entwicklung von Datenmodellen und der Entwicklung von Werkzeugen für den Austausch digitaler Bauwerksmodelle und fokussiert somit auf Aspekte von Building Information Modelling (BIM) im engeren Sinn gemäss obiger Definition. Allerdings sind bei der Entwicklung von Datenmodellen und Werkzeugen zwingend auch die betroffenen Prozesse zu berücksichtigen und dabei auch zu hinterfragen und gegebenenfalls neu zu definieren. Aus diesem Grund werden im Folgenden auch einige Betrachtungen zu Aspekten gemacht, welche über die eigentliche Anwendung digitaler Bauwerksmodelle hinausgehen.

2.1.2 Neue Prozesse und Organisationsformen

Planen und Bauen sind Prozesse, die über viele Jahre oder gar Jahrzehnte andauern können und an denen eine Vielzahl von Personen in unterschiedlichsten Rollen beteiligt sind. Digitale Modelle rund um das Bauwerk und die umgebende Landschaft sollen die Informationen einfacher weitergeben. Abbildung 2 nennt beispielhaft einige wichtige Prozesse im Lebenszyklus eines Bauwerks vom Entwurf, über die Planung, Ausführung, Bewirtschaftung bis hin zum Um- und Rückbau. Die Durchgängigkeit und verlustfreie Weitergabe von digitaler Information über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes hinweg ist eine zentrale Grundbedingung für die erfolgreiche Anwendung der BIM-Methode. Die digitale Durchgängigkeit ist aber nicht nur eine Grundbedingung, sondern auch hochgradig wünschenswert. Letztendlich spart es Geld und Zeit, wenn jederzeit auf bereits erarbeitete Projektergebnisse und Dokumente zurückgegriffen werden kann. Ein systematisches Datenmanagement und der direkte Zugang zur Information erleichtert zudem die alltägliche Arbeit am Projekt und erlaubt es auch, zunehmend komplexere Prozesse zu überschauen.

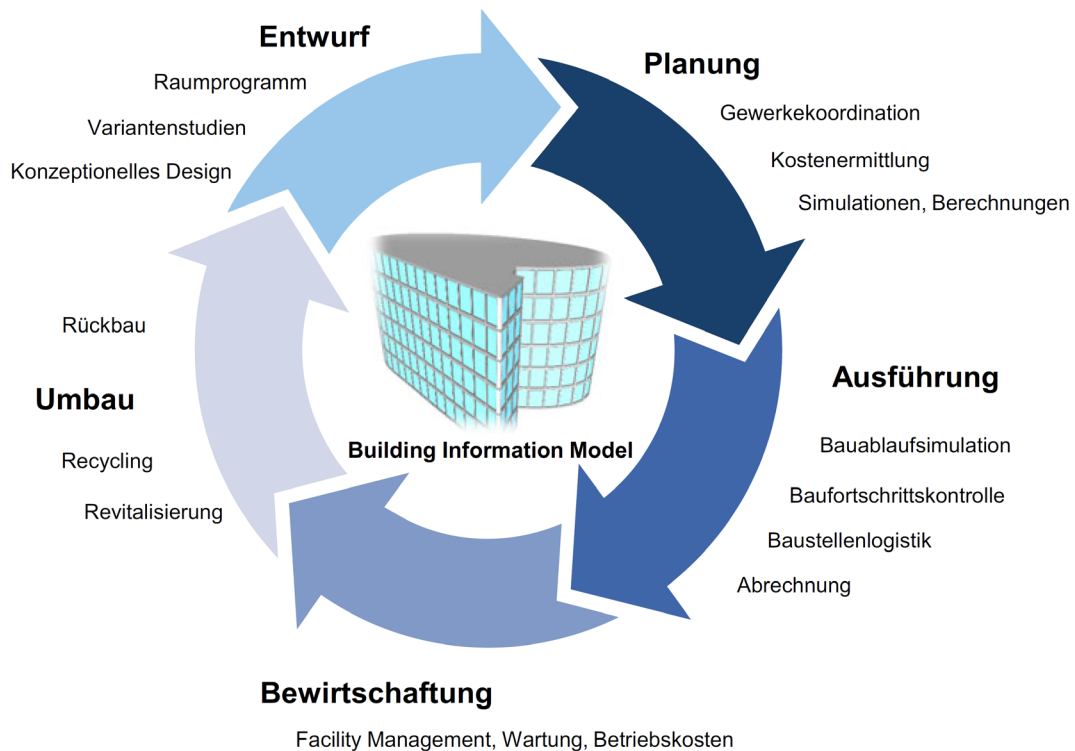


Abbildung 2 Weitergabe von Informationen über den Lebenszyklus von Bauwerken (Borrmann et al., 2015)

Der Einfluss, der auf die Gestaltung der Kosten eines Bauwerkes genommen werden kann, ist zu Beginn eines Projektes am grössten und nimmt über die Projektphasen hinweg kontinuierlich ab. Während Änderungen in den ersten konzeptuellen Entwürfen oft nicht mehr bedeutet als das Verschieben einer Linie auf dem digitalen Papier, kann allein der Änderungsvorschlag während der Ausführungsplanung einen erheblichen personellen und finanziellen Mehraufwand bedeuten. Bei der Anwendung der BIM-Methode wird deshalb versucht, Planungsaufwände in frühere Projektphasen zu verlagern. Wohl wissend, dass die entstehenden Kosten durch Änderungen in der Planung über die Laufzeit eines Bauprojektes hinweg kontinuierlich steigen, sind Kosteneinsparungen und vor allem die Beherrschbarkeit der komplexen Prozesse entscheidende Treiber für die Verlagerung der Planungsaufwände in frühere Projektphasen. Planungsteams stehen in Bauprojekten unter hohem Zeit- und Kostendruck. Um dennoch solide Planungsergebnisse bewerkstelligen zu können, gewinnt die 'Planung der Planung' in diesem Zusammenhang zunehmend an Bedeutung. Während unter Planung der eigentliche Prozess der Bauplanung verstanden wird, beschäftigt sich die Planung der Planung mit den organisatorischen, administrativen und zeitlichen Vorgaben, der Definition von Projektzielen und dem Ableiten von Anforderungen an das Bauprojekt.

2.1.3 Miteinander

Das digitale Bauen erfordert als Methode nun definitiv das Miteinander beim integralen Planen, Bauen und Betreiben. Alle Beteiligten müssen gemeinsam die Ziele festlegen und sich auf gegenseitig nutzbare Informationen einigen. Es muss abgesprochen werden, wie diese in reziproken und agilen Prozessen auszutauschen sind. Ohne diese Vorgehensweise wird die Anwendung der neuen digitalen Werkzeuge mehr Frust als Lust auslösen, wie sich in Skandinavien gezeigt hat (Huber, 2020). Nach der ersten Welle der Begeisterung ist dort eine grosse Ernüchterung eingetreten. Erst als begonnen wurde, die Methoden anzupassen, hat sich der erwünschte Mehrwert an Qualität eingestellt. Das Potential der neuen Werkzeuge in Kombination mit neuen Prozessen und Organisationsformen lässt sich sowohl im Ausland wie in der Schweiz nur erahnen. Es zeigt sich aber schon heute, dass es zu einer deutlich höheren Qualität der Zusammenarbeit und damit schlussendlich zu einer qualitativvolleren bebauten Umwelt führen wird. Obwohl die Schweiz später als die nordischen und angelsächsischen Länder begonnen hat, sich mit dem digitalen Bauen auseinanderzusetzen, hat sie im internationalen Vergleich merklich aufgeholt. Dies verdankt die Schweiz ihrer hohen Planungs- und Baukultur. Die Erfahrungen aus dem

partnerschaftlichen Miteinander beim Planen helfen uns, geeignete neue Methoden sowie passende Werkzeuge zu entwickeln (Huber, 2020).

In Abbildung 3 wird schematisch die heutige Situation dargestellt (IST), wie die Geologie in der «BIM-Methode» eingebunden ist und wie die bidirektionale Integration der Geologie in Zukunft aussehen soll (SOLL/GEOL_BIM).

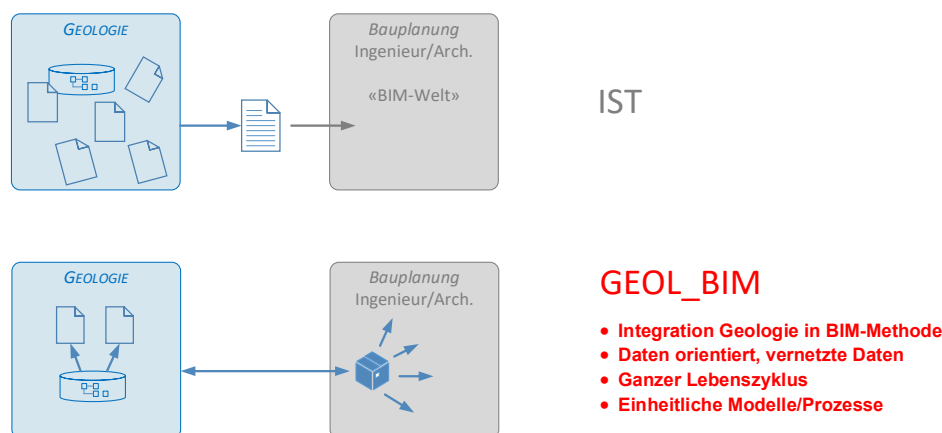


Abbildung 3: Soll-Ist-Vergleich aus Sicht der Geologie und deren Rolle bei der BIM-Methode

2.1.4 Glossar

Für eine gemeinsame Verständigung ist es essenziell, dass es innerhalb der Schweiz eine einheitliche und konsolidierte Terminologie gibt. Basierend auf einer Initiative von Bauen digital Schweiz / buildingSMART Switzerland, der Schweizerischen Zentralstelle für Baurationalisierung (CRB), der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) und des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) wurde in Zusammenarbeit mit verschiedenen Fachverbänden und Institutionen eine einheitliche Terminologie erarbeitet, die als «Nationales Glossar zur Digitalisierung in der Bau- und Immobilienwirtschaft» verfügbar ist. Das Glossar stellt eine einheitliche Terminologie zur Digitalisierung beim Planen, Bauen, Betreiben und Rückbau von Bauwerken zu Verfügung. Das Glossar wird laufend erweitert und wird in den Sprachen Deutsch, Französisch und Italienisch verfügbar sein (Glossar Bauen Digital Schweiz, 2021).

Das Glossar kann unter folgendem Link verwendet werden: <https://bauen-digital.ch/de/produkte/glossar/>

Zusätzlich zum nationalen Glossar führt das Institut Digitales Bauen der FHNW ein Online-Glossar zum Themenbereich der BIM-Methode. Im Glossar werden Begriffe und Definitionen beschrieben, die für die Befähigung im Rahmen der Aus- und Weiterbildung sowie der Praxis von Bedeutung sind.

Das Glossar kann unter folgendem Link verwendet werden: <https://fhnw.ch/vdc-glossary>

2.2 IFC – Industry Foundation Classes

2.2.1 Definition

Industry Foundation Classes (IFC) ist – sehr allgemein - ein Standard für den Austausch von Bauwerksinformationen. IFC ist als SN EN ISO 16739 international normiert, steht aber auch als offener Standard von buildingSmart International zur Verfügung. Es handelt sich bei IFC um ein Datenmodell und um ein Transferformat. Das Ziel von IFC ist es, ein maschinenlesbares, standardisiertes Format zu sein, welches digitale Beschreibungen der bebauten Umgebung, einschliesslich Gebäuden, Infrastruktur aber auch natürlicher Objekte abbilden kann. Es handelt sich um einen offenen, internationalen Standard, der herstellernerneutral ist und für eine Vielzahl von Hardware-Geräten, Software-Plattformen und Schnittstellen für viele verschiedene Anwendungsfälle verwendet werden kann. Die IFC-Schemaspezifikation ist das wichtigste technische Ergebnis von buildingSMART International, um das Ziel der Förderung von open BIM zu erreichen.

Geschichte

Bereits in den späten 1970er Jahren begannen Wissenschaftler sich mit der Frage auseinanderzusetzen, auf welche Art und Weise ein höherwertiger Datenaustausch im Bauwesen realisiert werden kann. Damals entstand die Idee der «Produktmodellierung» als umfassende digitale Beschreibung eines Produkts, welche sowohl die Geometrie als auch die Semantik seiner Bestandteile beinhaltet (Borrmann et al., 2015).

Die erste Version 1.0 wurde 1997 als «Industry Foundation Classes – IFC» veröffentlicht und ab der Version 1.5.1 in bauspezifischen Softwarepaketen implementiert. Die Version IFC 2x3 ist derzeit am weitesten verbreitet, wird jedoch nach und nach durch IFC 4.x abgelöst. Durch eine zusätzliche Normierung als internationaler Standard (SN EN ISO, 2016) gewinnt das Dateiformat zunehmend an Bedeutung für die Öffentliche Hand und ist bereits in einigen Ländern als verbindliches Austauschformat für Vergabe und Genehmigungsverfahren etabliert.

2.2.2 Inhalt und Aufbau

Die Industry Foundation Classes sind ein sehr umfassendes Datenmodell mit über 700 Klassen (bei IFC wird von Entitäten gesprochen). Das Datenmodell ist in verschiedene fachliche Hauptklassen unterteilt, Abbildung 4 zeigt einen vereinfachten Auszug davon. Neben den eigentlichen Bauwerks- und Umgebungsinformationen (IfcElement) können mit dem Datenmodell auch Prozesse für deren Erstellung und Betrieb abgebildet werden (IfcProcess, IfcControl, IfcActor etc). Die heutigen Anwendungen nutzen IFC aber praktisch ausschliesslich für den Austausch von Informationen zu Bauwerken (IfcElement, IfcBuiltElement).

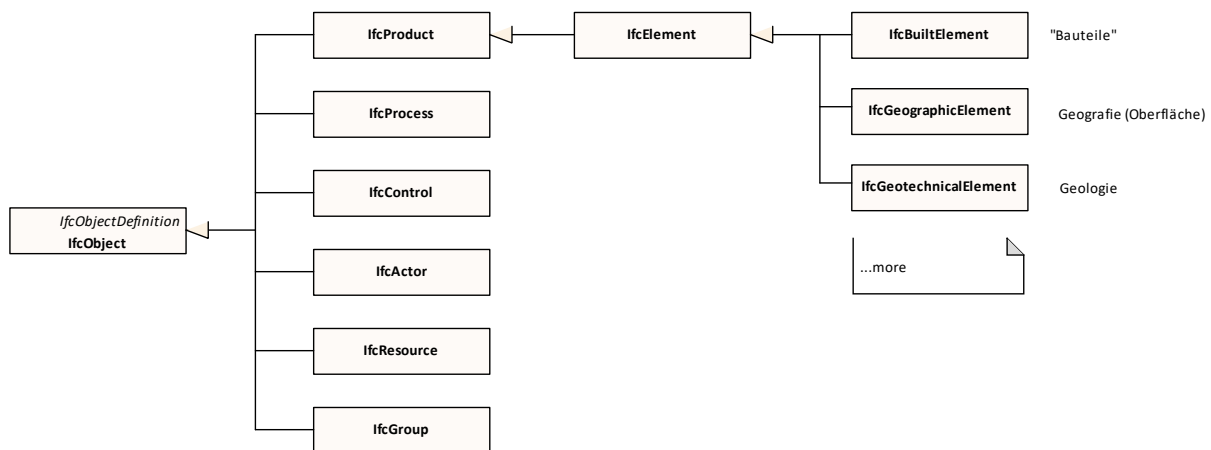


Abbildung 4: IFC-Hauptklassen (Auszug, vereinfacht, auf Basis IFC RC 4x3)

Die eigentliche Beschreibung von Bauwerken erfolgt über Elemente, welche in verschiedene konkrete «Bauteile» spezialisiert sind, wie z.B. Wände, Türen, Fenster, Pfähle etc (in Abbildung 4 nicht mehr dargestellt). Die Eigenschaften der einzelnen Elemente sind in IFC bewusst nur sehr knapp vorgegeben. IFC bietet aber generische Strukturen, mit denen jedes Element fachlich sehr detailliert beschrieben werden kann. So lassen sich Elementen beliebige Eigenschaften zuweisen, so genannte Propertyts resp. PropertySets. Des Weiteren können strukturierte Materialeigenschaften, Typisierungen und Klassifikationen zugewiesen werden. Jedes Element kann zudem mit einer oder mehreren Geometrien repräsentiert werden. Die Geometrie ist optional, so dass ein Element auch instanziiert werden kann, wenn (noch) keine Geometrie vorliegt. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der Trennung zwischen der semantischen Beschreibung und geometrischen Repräsentation eines Elements. Effektiv wird von dieser Trennung in den heutigen Systemen jedoch kaum Gebrauch gemacht. In Abbildung 5 sind diese charakterisierenden Strukturen für Elemente grün dargestellt.

Elemente lassen sich in IFC gleichzeitig in verschiedenen hierarchischen Strukturen gliedern und erlauben somit unterschiedliche Aggregationen. Für Bauwerke ist eine Gliederung innerhalb einer Raumstruktur typisch. Dabei wird ein Element (Bauteil) innerhalb einer Hierarchie von Räumen, Stockwerken, Gebäuden und Arealen positioniert. Elemente können aber auch nach funktionalen Kriterien strukturiert werden. Abbildung 5 veranschaulicht schematisch die für Elemente möglichen Strukturkonzepte.

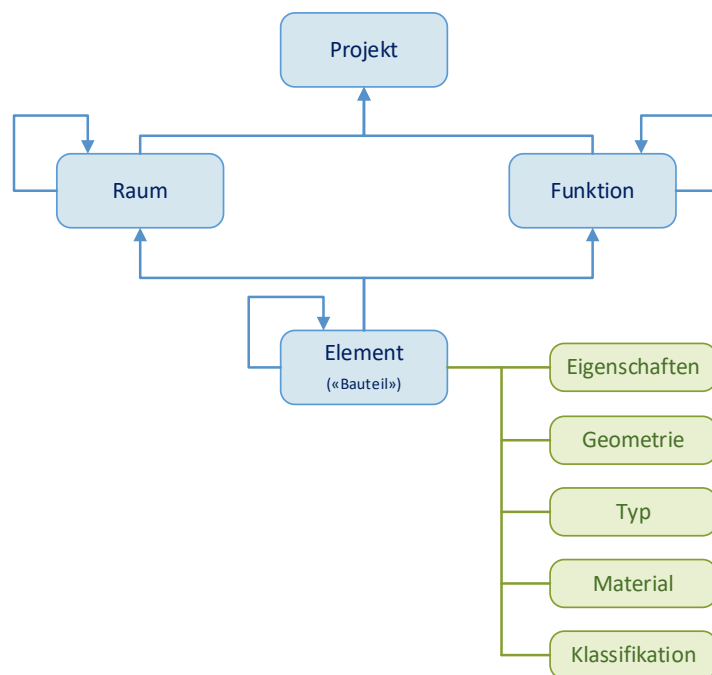


Abbildung 5: IFC-Strukturkonzepte (in Anlehnung an (Borrmann et al., 2017))

Weitere Details zu den Versionen des Datenmodells IFC sind in den folgenden Kapiteln beschrieben. In Kapitel 4 werden weitere ausgewählte Aspekte zu IFC im Detail beschrieben.

2.2.3 IFC Version 4.x

Die aktuell gültige höchste IFC-Version ist die Version 4.1 (Stand November 2020). Bis zu der Version 4.0 fokussierte der IFC-Standard ausschliesslich auf den Hochbau. Seit der Version 4.0 gibt es viele Erweiterungen für den Infrastrukturbau. Als solides Fundament dient die über die Norm SN EN ISO 16739 im Jahr 2013 standardisierte Version 4.0 von IFC. Darauf aufbauend folgten im Jahr 2017, in der Version 4.1, die Berücksichtigung von Strassen- und Bahntrassierungen, basierend auf der etablierten Herangehensweise, die Entwürfe in Lage- und Höhenplänen vorsieht ('IFC Alignment'). Ebenfalls noch aus dem Jahr 2017 stammen die ersten Richtlinien zur Etablierung einer übergeordneten Modellarchitektur und zur Beschreibung der räumlichen Struktur und den geometrischen Repräsentationen von Infrastrukturprojekten (buildingSMART InfraRoom Project, 2020). Die darin berücksichtigten geometrischen Repräsentationen beinhalten die von Linienführungen, Profilschnitten, Oberflächen- und Terraindarstellungen und von soliden Körpern im Raum (Borrmann et al., 2017).

Die aktuell gültigen Dokumentationen findet man unter folgenden Links:

Überblick: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/>

Aktuelle Version 4.1: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/

Release Candidate 4.3: https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_3/RC4-voting/HTML/

Im April 2020 ist ein erster Release Candidate erschienen für die Version 4.3. In diesem sind viele Erweiterung aus den Arbeitsgruppen Rail und Road eingeflossen, welche auch von grosser Relevanz für das GEOL_BIM Projekt sind. Der Plan ist, dass die IFC Version 4.3 im 1. Quartal 2022 offiziell wird. Man geht davon aus, dass viele Softwarefirmen, aus dem Bereich Infrastruktur, diese Version zeitnah implementieren werden. In Abbildung 6 sieht man eine RoadMap, welche im November 2021 von buildingSMART International vorgestellt worden ist (buildingSMART International, 2021).

IFC 4.3 Time line

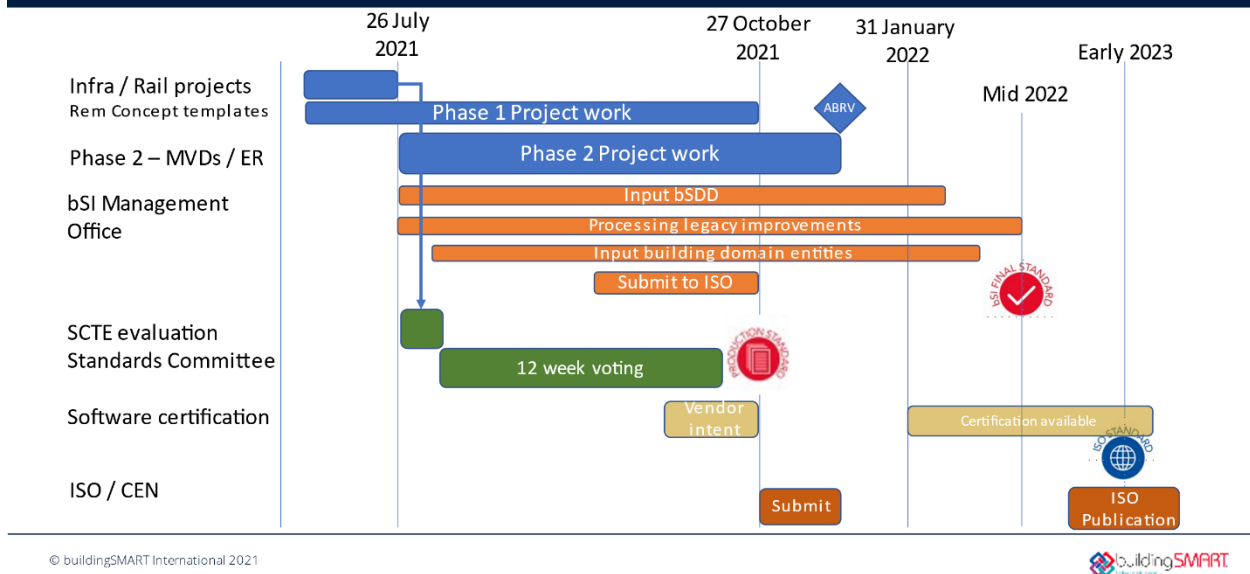


Abbildung 6: Fahrplan zur Veröffentlichung der IFC Version 4.3 nach buildingSMART (buildingSMART International, 2021)

2.2.4 IFC Version 5.0

Die ersten Versionen von IFC konzentrierten sich in erster Linie auf den Datenaustausch innerhalb der Gebäudedomäne. In den letzten Jahren hat sich dies stark verändert und viele weitere neue Anwendungsfelder kommen dazu. Es gibt immer mehr Anwender, Entwickler und Modellierer, welche auch ausserhalb des Gebäudes offene BIM-Standards in ihren Prozessen und Werkzeugen verwenden wollen. Mit neuen Konzepten wie intelligenten Gebäuden, intelligenten Städten und digitalen Zwillingen steigt die Erwartung an zukunftssichere Standards und Lösungen. Diese gestiegenen Anforderungen für den Umgang mit hohem Datenvolumen, geringe Latenzzeit im Austausch, moderne Rahmenbedingungen für künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen führen dazu, dass die neue Version so definiert wird um auch dem zukünftigen technologischen Wandel gerecht zu werden.

Die Branche bewegt sich in Richtung einer immer stärkeren Konnektivität zwischen den Domänen. Aus diesen Gründen entwickelt buildingSMART aktuell mit IFC 5.0 einen neuen skalierbaren Standard, der mit modernen Werkzeugen und Technologien arbeiten kann. Das Hauptziel ist der Übergang von massgeschneiderten Lösungen und Technologien zu Technologien und Lösungen, die skalierbar sind und somit für ein breites Spektrum verwendet werden können.

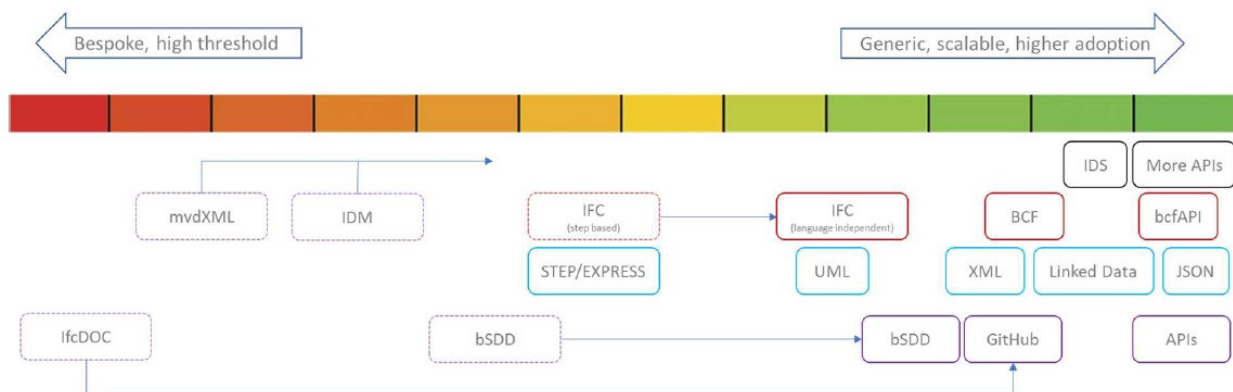


Abbildung 7: Technische RoadMap von buildingSMART im April 2020 vorgestellt (buildingSmart International, 2020a)

In Abbildung 7 wird die technische RoadMap aufgezeigt von buildingSMART International. Speziell hervorgehoben werden die Veränderungen mit den jeweiligen Pfeilen, welche von einer massgeschneiderten Lösung zu einer generischeren Lösung, die besser skalierbar ist, umgesetzt werden sollen. Die Roadmap stellt auch eine Lösung vor, das IFC-Schema modularer zu gestalten, um die Wartung zu vereinfachen.

Die Änderungen, die mit der Version 5.0 angestrebt werden, betreffen primär software-architektonische und technologische Aspekte. Sie sind grundlegender Art und werden grosse Auswirkungen auf die Softwaresysteme haben. Die neuen Konzepte werden von buildingSmart derzeit jedoch erst erarbeitet. Es ist davon auszugehen, dass die Einführung dieser Neuerungen erst nach Projektende von GEOL_BIM erfolgen wird.

Bevor im Projekt GEOL_BIM der Fokus auf die technische Umsetzung gelegt werden kann, ist als primäres Ziel auf der fachlich-semantischen Ebene eine Etablierung von fachlich abgestimmten Datenmodellen und Prozessen anzustreben. Die Implementierung dieser Fachmodelle sollte auch ohne grössere Hindernisse auf der neukonzipierten Version 5.0 möglich sein. Daher wird aus Projektsicht GEOL_BIM davon ausgegangen, dass im Rahmen des Projekts nicht auf die zu erwartenden Änderungen der Version 5.0 eingegangen werden muss. Die Entwicklungen werden jedoch ständig verfolgt, so dass die Situation im Lauf des Projekts bei Bedarf neu beurteilt werden kann.

2.3 Informationsaustausch und -anforderung

Die Nutzung digitaler Bauwerksmodelle in Planungs- und Bauprojekten impliziert einen intensiven Austausch von Informationen resp. Daten. Denn ein digitales Bauwerksmodell ist typischerweise nicht ein einzelnes Operat, welches durch eine einzelne Partei zentral geführt wird. Vielmehr besteht ein digitales Bauwerksmodell aus einer Menge von einzelnen, spezifischen Fachmodellen, welche von den jeweiligen Fachdisziplinen erstellt und nachgeführt werden und in periodischen Abständen zur gemeinsamen fachlichen Koordination zusammengeführt werden.

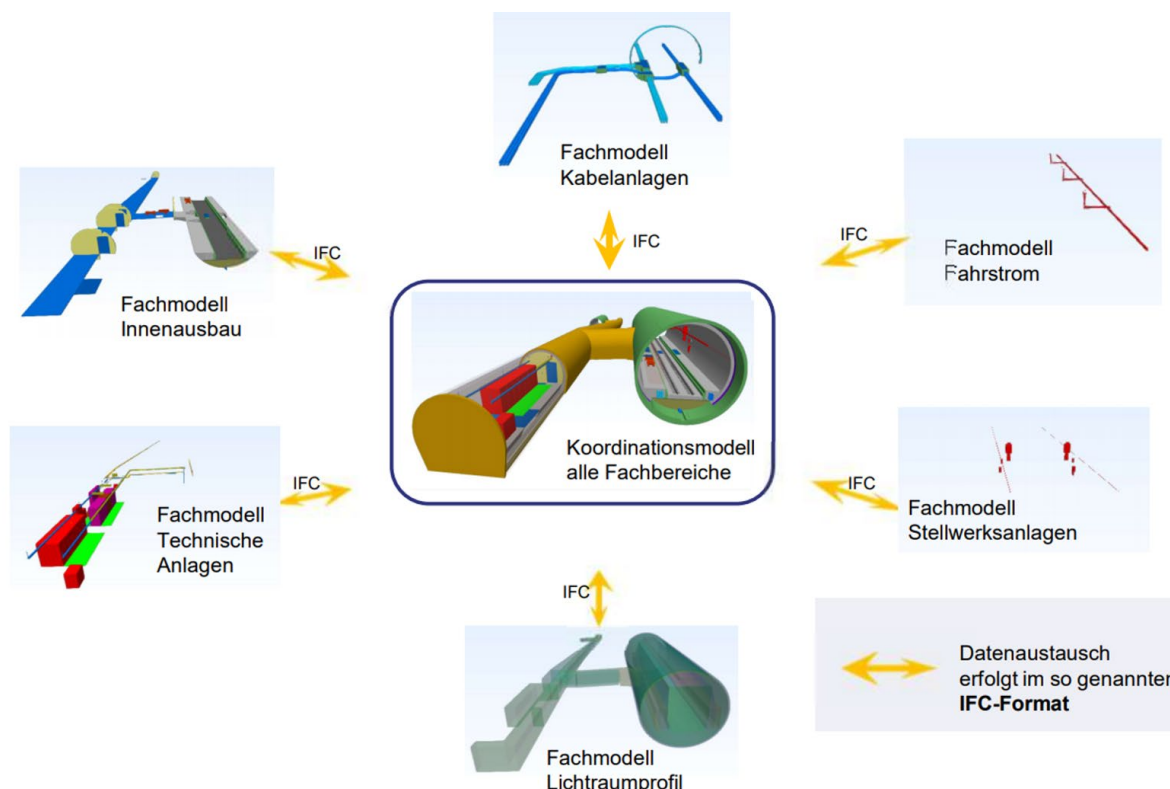


Abbildung 8: Koordinationsmodell aller Fachbereiche am Beispiel Brüttenertunnel SBB (Sauter et al., 2020)

Damit der Informationsaustausch zwischen den Systemen möglichst nahtlos und ohne individuelle Absprachen erfolgen kann, sollte er auf Standards basieren. Der Austausch und die Zusammenführung der einzelnen Fachmodelle erfolgt daher häufig mittels des offenen Standards IFC, welcher auch für

GEOL_BIM eine zentrale Rolle spielt. IFC bietet für die Interoperabilität zwischen den Systemen eine gute und wichtige Basis, es ist jedoch alleine nicht ausreichend für einen funktionierenden Informationsaustausch. Dies ist in zwei eigentlich gegensätzlichen Eigenschaften von IFC begründet (siehe auch Kapitel 2.2):

- Grosser Umfang: IFC definiert ein Datenmodell, das einen sehr grossen Umfang hat. D.h. es definiert sehr viele Fachobjekte und deren Beziehungen und bietet in verschiedenen Bereichen auch mehrere, alternative Abbildungsmöglichkeiten für einen realen Sachverhalt an. Dadurch können heterogene Anwendungen des Datenmodells entstehen, was die Integration und Wiederverwendbarkeit der Daten einschränkt oder sogar verunmöglicht.
- Erweiterbarkeit: Trotz des grossen abgedeckten Umfangs kann das Datenmodell nicht jeden real vorkommenden Aspekt abbilden. Um projektspezifische Anforderungen abdecken zu können, bietet IFC daher generische Strukturen für eine situative Erweiterung des Datenmodells. Zu diesen generischen Strukturen zählen beispielsweise die Konzepte der «Proxys» sowie der «Property Sets». Die Anwendung der generischen Strukturen kann dazu führen, dass für ähnliche Fragestellungen unterschiedliche Modellerweiterungen definiert werden und somit heterogene Umsetzungen entstehen. Es ist also auch bei der Verwendung von IFC für den Informationsaustausch zwingend notwendig, die konkreten Anforderungen an die Informationen exakt zu definieren. Im Kontext von IFC hat sich dafür das Konzept der Model View Definitionen (MVD) resp. der Exchange Requirements (ER) etabliert, die im folgenden Kapitel erläutert werden.

2.3.1 Information Delivery Manual (IDM)

Um die Anforderungen an einen Informationsaustausch definieren zu können, reicht es in der Regel nicht aus, nur die eigentlichen Informationen zu spezifizieren, sondern es braucht auch Kontextinformationen zum Prozess. Denn der Informationsaustausch findet an einer bestimmten Stelle im Prozess zwischen klar definierten Beteiligten statt. Alle am Prozess Beteiligten brauchen ein gemeinsames Verständnis über die Abläufe und Aufgaben im Prozess. Denn nur unter dieser Voraussetzung lassen sich die Anforderungen an den Informationsaustausch für alle Beteiligten nachvollziehbar und akzeptabel definieren.

Zur Beschreibung und Spezifikation des Informationsaustauschs unter besonderer Berücksichtigung der Prozessbeschreibung kann die Methode des Information Delivery Manual (IDM) verwendet werden. IDM wurde von buildingSmart International entwickelt und ist auch in (ISO 29841-1, 2016) normiert. Die Methode unterscheidet zwei Sichten, die der Prozessbeschreibung sowie die der Austauschforderungen.

Prozessbeschreibung (Process Map)

Mit einer Prozesskarte (Process Map) wird eine Übersicht des Prozesses gezeigt, in welcher die Beteiligten, die Aktivitäten und der Informationsfluss definiert und dargestellt sind. Als Notationsform für die grafische Darstellung des Prozesses wird BPMN (Business Process Model and Notation) verwendet. Abbildung 9 zeigt beispielhaft eine Prozesskarte.

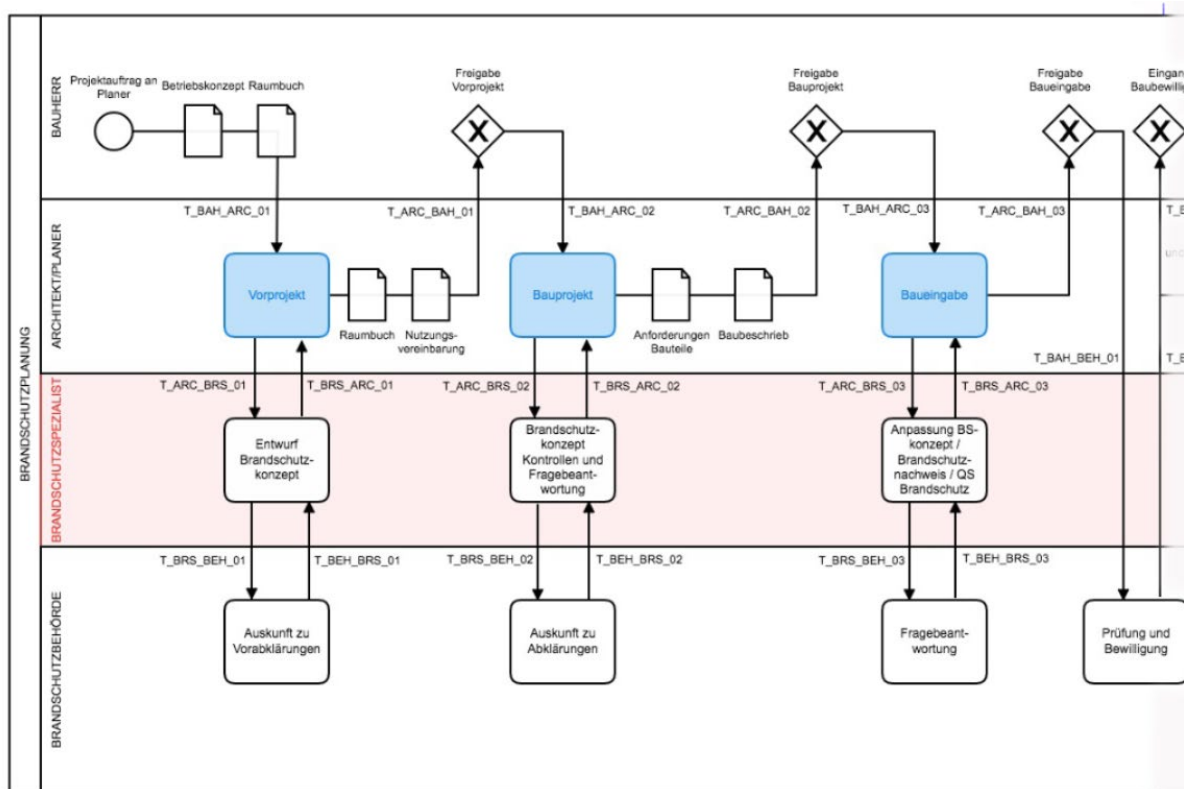


Abbildung 9: Prozesskarte (Beispiel Use Case Brandschutz, buildingSmart CH)

Neben der Prozesskarte sieht die Methode IDM auch noch andere Diagrammtypen vor, um ergänzend auf spezifische Sichten auf den Prozess fokussieren zu können. Dazu zählen insbesondere die Diagrammtypen Sequenz- und Interaktionsdiagramm, wie sie in der UML (Unified Modelling Language) definiert sind.

Austauschanforderungen (Exchange Requirements)

Die Prozessbeschreibung muss darauf fokussieren, die Informationsaustausche und deren Zeitpunkte zu identifizieren. Für diese werden dann die Austauschanforderungen (Exchange Requirements) definiert. Die Beschreibung der Austauschanforderungen sind nicht-technisch formuliert, so dass sie von einer Fachperson verstanden werden können. Die Methode IDM macht keine Vorgaben oder Empfehlungen, wie die Austauschanforderungen formal zu verfassen sind. In der Praxis werden heute vor allem Excel-Listen verwendet.

Die Austauschanforderungen können auch in maschinenlesbarer Form definiert werden, sie werden dann als Model View Definitionen (MVD) bezeichnet. Die normierte Methode IDM spezifiziert selbst keine Vorgaben, wie Model View Definitionen technisch zu formulieren sind. Hingegen hat buildingSmart den Standard mvdXML publiziert (Chipman et al., 2016), welcher eine XML-basierte Struktur für die Formulierung und den Austausch von Austauschanforderungen bietet. MvdXML kann gemäss Spezifikation für unterschiedliche Zwecke verwendet werden. In der heutigen Praxis wird mvdXML hauptsächlich zur Dokumentation und zur Definition von Submodellen für Software-Zertifikationen verwendet. Die Verwendung von mvdXML für die Spezifikation von einzelnen Austauschanforderungen (Exchange Requirements), wie sie mit IDM definiert werden, hat sich bisher nicht durchgesetzt. In der aktuellen Roadmap von buildingSmart wird denn auch postuliert, dass in Zukunft für die Formulierung von Austauschanforderungen nicht mehr mvdXML verwendet wird, sondern ein noch neu zu entwickelnder Standard «Information Delivery Specification» (IDS) (buildingSmart International, 2020a, p. 18).

Es gibt verschiedene Initiativen, in denen versucht wird, Prozessbeschreibungen und Austauschanforderungen systematisch zu beschreiben und zu sammeln. In der Schweiz sind dazu aktuell namentlich das Use Case Management von buildingSmart Schweiz ("UCM bSCH," n.d.) sowie der BIM-Profil-Server der Schweizerische Zentralstelle für Rationalisierung im Bauwesen (CRB) und der FHNW ("CRB BIM-Profil-Server,") zu nennen. Das Use Case Management ist eine offene Plattform, auf welcher

so genannte Use Cases (Anwendungsfälle) beschrieben und definiert werden können. Die Plattform bietet damit ein Gefäß, um Prozessbeschreibungen in Analogie zur Methode IDM zu erstellen und publizieren. In den bisher veröffentlichten Anwendungsfällen ist zu beobachten, dass die Definitionen der Anwendungsfälle hinsichtlich Detaillierung und Systematik relativ heterogen sind. Der BIM-Profil-Server ist eine Plattform, mit welcher Austauschforderungen definiert und publiziert werden können. Dabei ist insbesondere auch die Definition des prozessualen Kontextes des Informationsaustauschs möglich. Die im BIM-Profil-Server erfassten Austauschforderungen können sowohl in menschen- als auch in maschinenlesbarer Form ausgegeben werden.

2.3.2 Level of Information Need

Für den Informationsaustausch in der digitalen Abwicklung von Bauprojekten ist auch das Konzept des Level of Information Need relevant, welches aktuell in einem Entwurf einer EN-Norm vorliegt (*DRAFT prEN 17412*, 2019). Das Konzept Level of Information Need definiert eine spezifisch an die jeweiligen Anforderungen ausgerichtete Informationslieferung. Es zeigt grob auf, wie die Anforderungen an den Informationsaustausch strukturiert werden sollen, indem es z.B. unterscheidet zwischen geometrischen (LOG) und attributiven (LOI) Anforderungen.

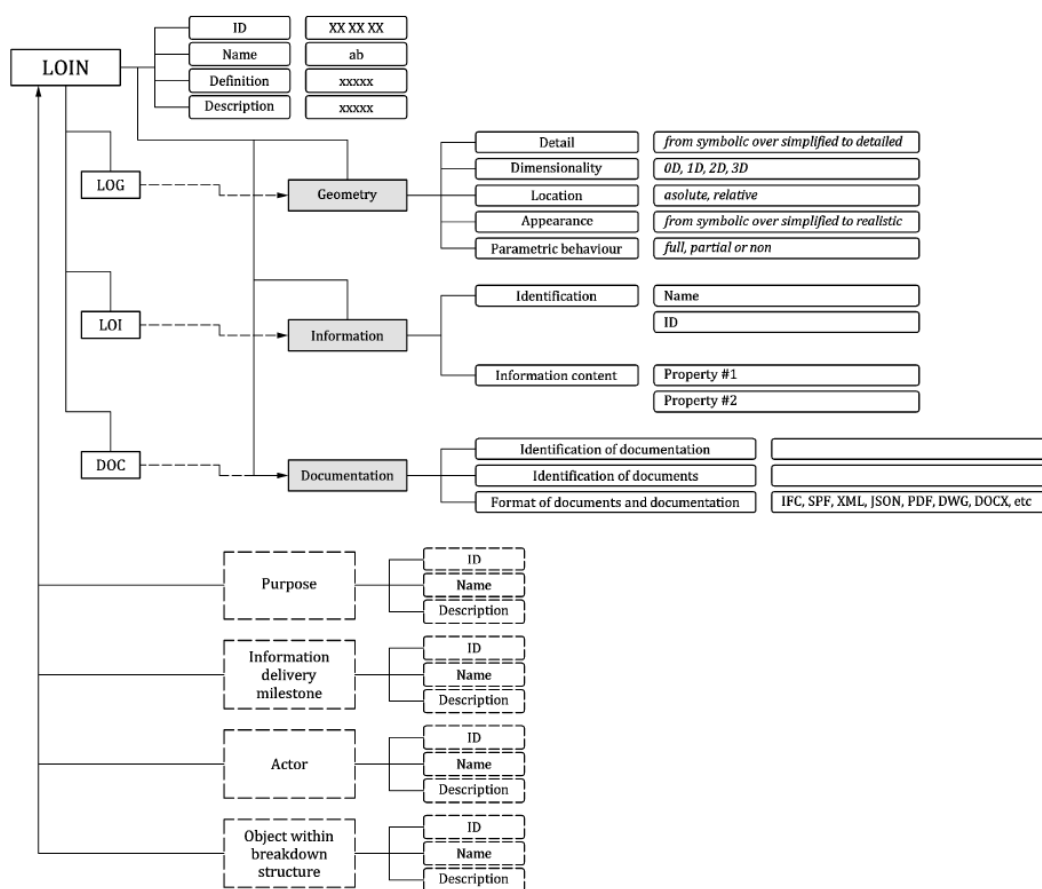


Abbildung 10: Level of Information Need (DRAFT prEN 17412, 2019)

Die Kernaussage dieses Konzeptes ist, dass klare Ziele (purpose) definiert sein müssen, auf die sich der Informationsaustausch konzentriert und nur genau die Informationen ausgetauscht werden, die für die Erreichung dieser Ziele relevant sind. Diese Ausrichtung ist eine Folge der bisherigen Erfahrungen aus der Praxis, wo häufig «ziellos» zu viele Informationen ausgetauscht werden, die den Empfänger der Information überfordern.

In diesem Kontext wird auch von Pull- und Push-Prinzipien gesprochen. Die bisherige Praxis folgte eher dem Push-Prinzip, bei dem der Lieferant einer Information seine Informationen übergab, ohne dass ihm das Ziel des Bestellers genau bekannt war und in der Folge zu viele, und damit auch nicht relevante, Information ausgetauscht wurden. Im Gegensatz dazu wird beim Pull-Prinzip vom Informationsbesteller

genau definiert, welche Informationen benötigt werden und nur diese werden vom Informationslieferanten auch bereitgestellt.

2.3.3 Informationsmanagement mit BIM / ISO 19650

Die Normenreihe SN EN ISO 19650 ist eine «Basisnorm» zum Informationsmanagement mit BIM. Es handelt sich um eine Normenreihe bestehend aus fünf Teilen. Aktuell sind drei der fünf Normen der Normenreihe erschienen und wurden in das Schweizer Normenwerk übernommen, zwei weitere folgen voraussichtlich bis Ende 2022.

Während der erste Teil der Norm die Begriffe und Grundsätze klärt, fokussiert der zweite Teil auf die Projektierung wie auch auf das Bauen selbst. Der dritte Teil ist auf die Betriebsphase ausgerichtet. Die geplanten vierten und fünften Teile werden sich mit dem Informationsaustausch und Themen des Urheberrechtes und Datenschutzes auseinandersetzen. Die gesamte Normenreihe ist bewusst generisch gehalten. Nationale und projektspezifische Anpassungen sind nötig.

Ein Wesentliches Prinzip der SN EN ISO 19650 ist die Unterscheidung von zwei Hauptrollen, dem Informationsbesteller (Appointing Party) und dem Informationslieferanten (Lead Appointed Party resp. Appointed Party) von Informationen. Der Besteller formuliert ein Bedürfnis, oder ein Ziel, welches er mit Hilfe des Lieferanten erreichen möchte. Daraus leitet der Besteller die Anforderungen an die zu liefernden Informationen des Lieferanten ab. Im Vordergrund stehen immer die Informationsanforderungen zur Erfüllung der Bedürfnisse oder Erreichung der Ziele. Der Lieferant der Information muss die an ihn gestellten Anforderungen prüfen, bevor er mit der Erarbeitung der Informationen beginnt. Analog muss auch der Besteller die gelieferten Informationen prüfen.

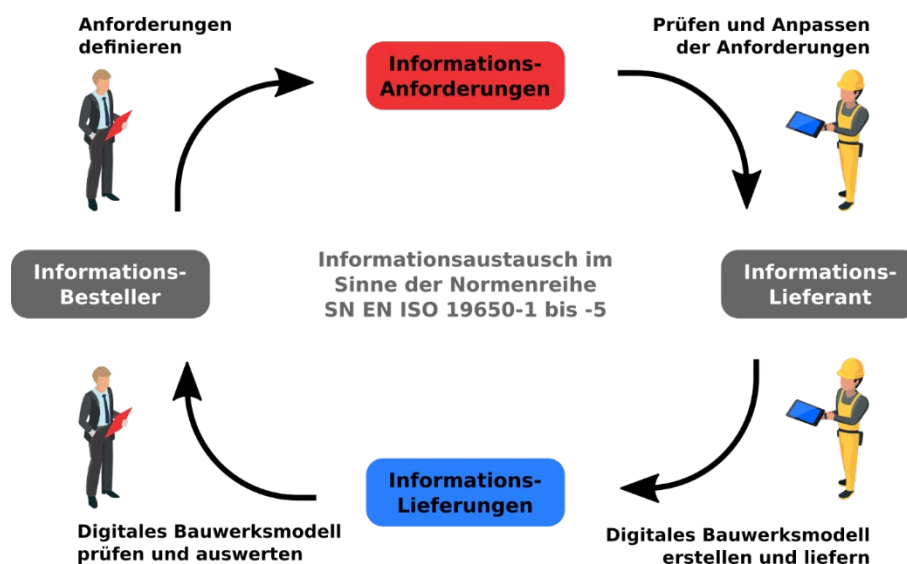


Abbildung 11 Das Besteller-Lieferanten Verhältnis während der Produktion von Information

Folgende Punkte sind für ein erfolgreiches Informationsmanagement nach ISO 19650 essenziell:

1. **Definition der Informationsanforderungen:** Informationsanforderungen spezifizieren Informationen, die in Form von alphanummerischen und geometrischen Informationen sowie Dokumentationen zu einem bestimmten Zweck und Zeitpunkt vorzuliegen haben. Die Informationsanforderungen spezifizieren die zu erstellenden und nutzenden Informationsmodelle. Das Informationsmodell für die Projektierung (Fach- und Teilmodelle, die für die Planung und Realisation genutzt werden) ist dabei nicht mit dem Informationsmodell für die Bewirtschaftung gleichzusetzen. Beide Modelle sind aber strukturell von Anfang an festzulegen und miteinander zu verbinden.
2. **Planung der Informationslieferungen:** Informationslieferungen sind innerhalb des Projektteams gemeinsam zu planen. Dabei kommt das Pull-Prinzip zur Anwendung. Ausgehend vom zu erreichenden Ziel und dem Zweck wird die Informationslieferung geplant. Es sollen nur die

Informationen bereitgestellt und ausgetauscht werden, die zur Aufgabenerfüllung notwendig sind. Zweck, Zeitpunkt, Beteiligte und Lieferobjekte sind zu vereinbaren.

3. **Common Data Environment als einheitliche Informationsquelle:** Zur Lieferung und Bereitstellung von Informationen kommt das Konzept des Common Data Environment (CDE) zum Einsatz. Ein CDE besteht aus einem Workflow (Prozesse) und meist mehreren technischen Lösungen, die die Daten der Informationsmodelle auf Plattformen bereitstellen und oft noch weitere Funktionen (u. a. Visualisierung, Möglichkeit, Anmerkungen anzubringen) beinhalten. Für ein erfolgreich implementiertes CDE ist es grundlegend, dass zuerst die Arbeitsabläufe entwickelt und dann die technischen Lösungen ausgewählt werden, die die Arbeitsabläufe erleichtern.

Abbildung 12 zeigt schematisch auf, wie die wichtigsten Normen und Standards zum Informationsaustausch mit BIM im Kontext zur ISO 19650 verstanden werden können. Demnach werden in der ISO 19650 Grundlagen und Prinzipien definiert, welche in anderen Normen konkretisiert und detailliert werden resp. auf welchen die anderen Normen aufsetzen. IDM liefert eine Methode, mit welcher die Prozesse des Informationsaustauschs beschrieben und definiert werden können und somit insbesondere das Besteller-Lieferanten-Muster systematisch aufgezeigt werden kann. Level of Information Need konkretisiert das Prinzip der ziel-fokussierten, bedarfsgesteuerten Spezifikation von Informationsanforderungen.

Es ist anzumerken, dass die dargestellten Normen und Standards zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten entstanden resp. noch in Entstehung begriffen sind (IDS, Information Delivery Specification), so dass inhaltlich im Detail keine vollständig konsistenten Abhängigkeiten zueinander bestehen und die Darstellung daher nur prinzipiell zu verstehen ist.

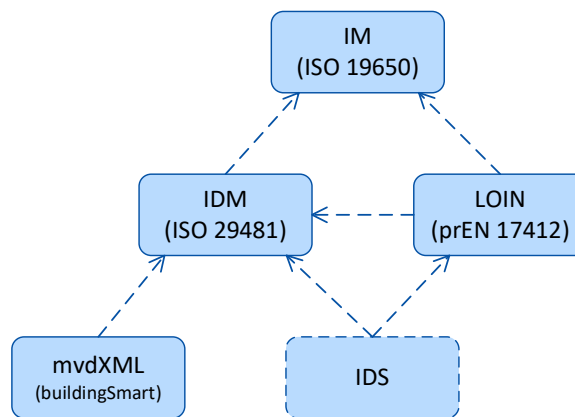


Abbildung 12: Normen/Standards zum Informationsaustausch (Quelle: FHNW)

3 GIS und BIM

Das Schweizerische Bundesgesetz über Geoinformation (*Geoinformationsgesetz, GeoIG, 2007*) unterscheidet Geodaten von Geoinformationen. Geodaten sind «raumbezogene Daten, die mit einem bestimmten Zeitbezug die Ausdehnung und Eigenschaften bestimmter Räume und Objekte beschreiben, insbesondere deren Lage, Beschaffenheit, Nutzung und Rechtsverhältnisse. Geoinformationen sind raumbezogene Informationen, die durch die Verknüpfung von Geodaten gewonnen werden.» Geoinformationen unterscheiden sich also von Geodaten durch eine zusätzliche Ebene, die es erlaubt, Geodaten miteinander in Verbindung zu setzen oder in einen Kontext zu stellen. GEOL_BIM beschäftigt sich mit geologischen Daten und Informationen. Nicht alle geologischen Daten sind zwingend auch Geodaten im Sinne des Bundesgesetzes. Das 'L' in GEOL_BIM ist also durchaus bewusst platziert und betont, dass das Innovationsprojekt sich mit geologischen Daten beschäftigt, deren Umgang noch nicht im gleichen Ausmass gesetzlich reglementiert ist wie das bei Geodaten bereits heute der Fall ist. Um Verwechslungen zu vermeiden, sei an dieser Stelle auch auf die häufig verwendete Abkürzung GeoBIM hingewiesen. Wer jetzt glaubt, herleiten zu können, dass es sich um BIM-Applikationen handeln muss, die auch Geodaten berücksichtigen, der liegt nicht immer richtig. Der Begriff wird auch im Kontext von geotechnischen Anwendungen der BIM-Methode verwendet. Darunter versteht man die Bestrebung, den Bau- oder Untergrund, respektive die geotechnischen Verhältnisse rund um Bau- oder Infrastrukturprojekte, wie Tunnels, ebenfalls mit Hilfe der BIM-Methode zu verwalten. In Grossbritannien gibt es hierzu bereits mehrere Publikationen von Bahntunnelprojekten, bei denen dieser Ansatz gewählt wurde. Eines ist das Crossrail-Projekt mit der Farringdon Station (Aldiss et al., 2009). In der Abbildung 13 wird die neue U-Bahn-Station als 3D-Modell und die geologischen Informationen gezeigt. Die Darstellung ist im Landeskoordinatensystem und kann kombiniert mit einem flächendeckenden geologischen Modell visualisiert werden.

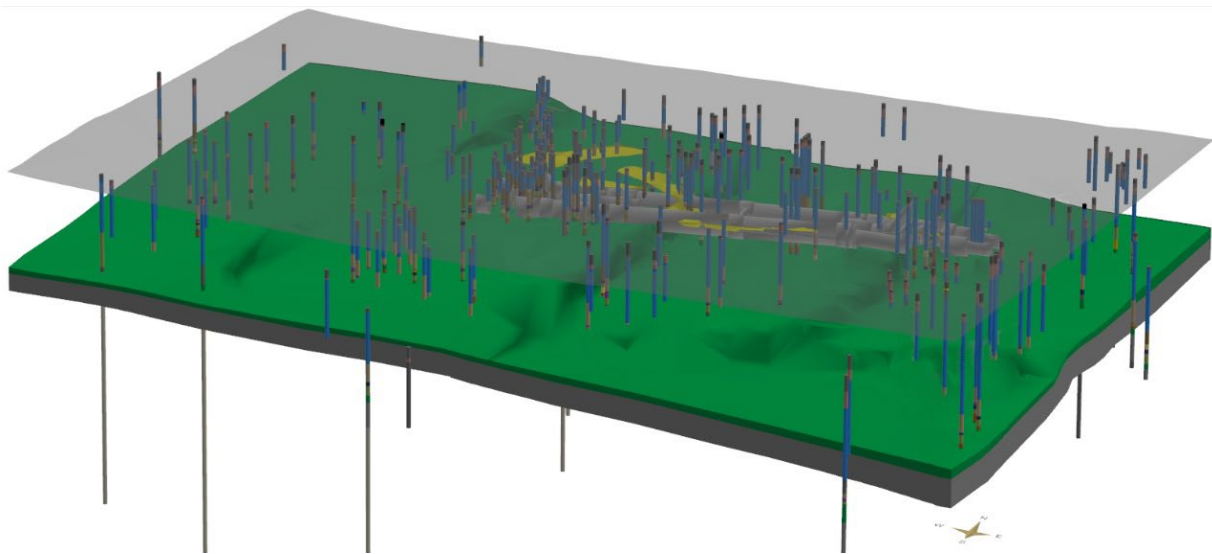


Abbildung 13: 3D Dokumentation der neuen U-Bahn Station Farringdon (2015) mit den geologischen Bohrdaten und einem geologischen Schichtenmodell (Aldiss et al., 2009)

Wie in Kapitel 2.1.1 erwähnt, ist die Entstehung von IFC aus dem Hochbau gekommen. In den letzten Jahren hat man sich aber stark mit der Erweiterung für den Infrastrukturbau beschäftigt. Da der Auftraggeber bei Infrastrukturprojekten meistens die öffentliche Hand ist, gibt es sehr grosses Interesse, die BIM-Methode für Infrastrukturprojekte zu verwenden. In gewissen Ländern hat man darum schon sehr früh die BIM-Methode für öffentlich finanzierte Infrastrukturprojekte vorgeschrieben. In der Schweiz hat die Schweizerische Bundesverwaltung mit dem Aktionsplan «Digitale Schweiz» die Einführung von BIM in der Schweiz vorangetrieben (BAKOM, 2018).

3.1 Vergleich BIM/GIS

Der Begriff GIS (Geografisches Informationssystem) wird in Zusammenhang mit der BIM-Methode in den konsultierten Publikationen nur selten verwendet. Die Bedeutung von GIS bei BIM-Projekten hat aber in den letzten Jahren stark zugenommen. Unter anderem auch, weil bei Infrastrukturprojekten eine grössere räumliche Abdeckung relevant ist und somit die verbaute Umgebung inkl. des Untergrunds auch von Interesse sind. Im SIA-Merkblatt zu BIM wird ebenfalls erwähnt, dass BIM auch die Landschaft und nicht nur die Bauwerke betrifft (SIA 2051, 2017). Wenn der Baugrund für ein Gebäude oder ein Infrastrukturprojekt digital 3D-modelliert wird, kommt GIS ins Spiel und kann bei der Planung eine entscheidende Rolle spielen. Mit GIS können Daten erfasst, bearbeitet, und georeferenziert verwaltet und 3D-visualisiert werden. Die Informationen beziehen sich dabei auf grössere Flächen (Dörfer, Städte, Länder) während sich die Modelle in einem BIM-Projekt typischerweise auf das zu erstellende Bauwerk begrenzen (Abbildung 14).

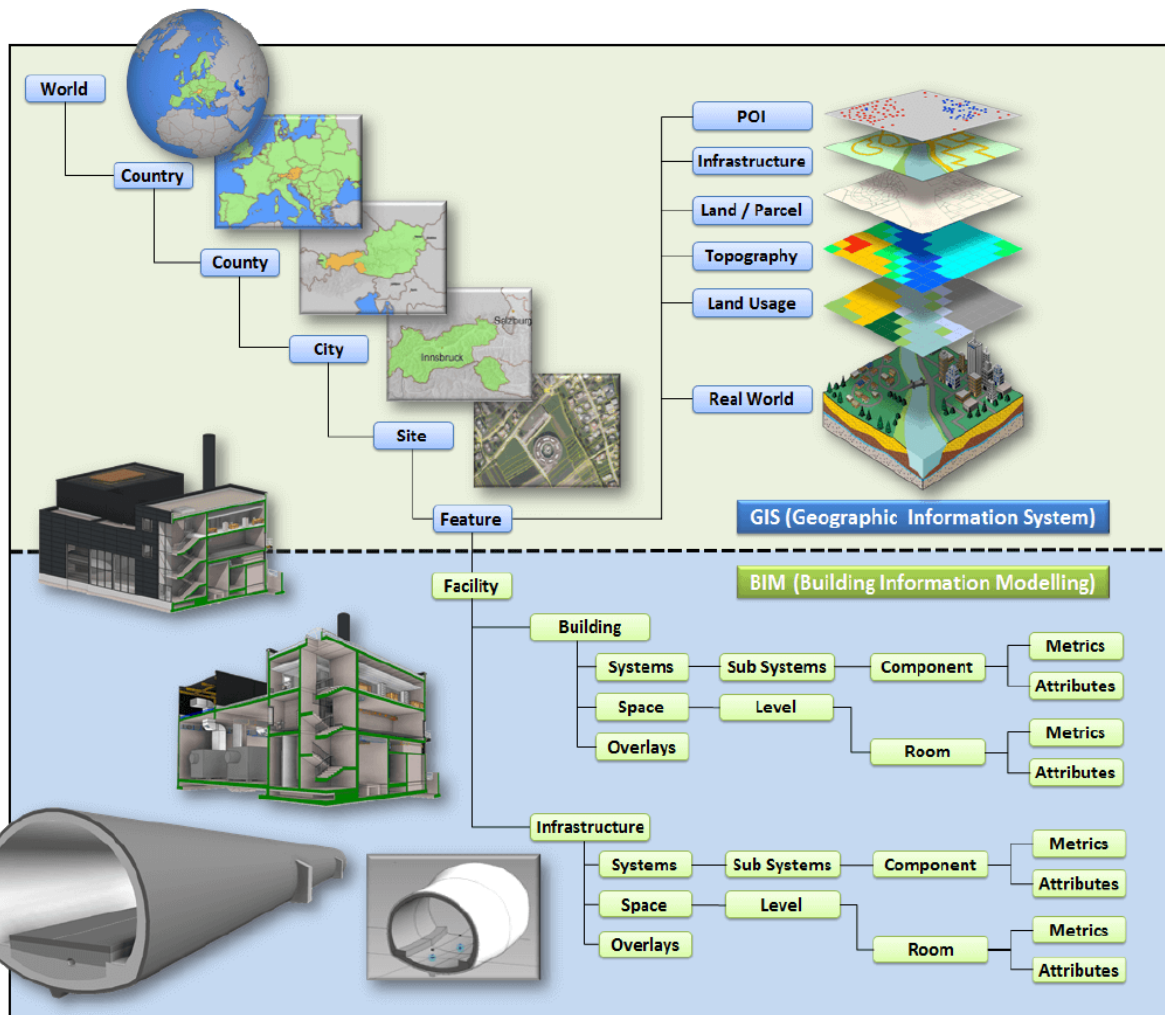


Abbildung 14 Vergleich Informationen in einem GIS und in einem BIM (ILF, 2020)

Welche GIS-Daten für die Projektierung eines Bauwerks hilfreich sein können, ist beispielhaft in Abbildung 15 aufgelistet. Mit GIS wird in der Regel der Ist-Zustand abgebildet (man kann auch geplante Zustände abbilden), wobei im Rahmen der BIM-Methode ein digitaler Prototyp des zu erstellenden Bauwerks modelliert wird. Sind die entsprechenden Daten im GIS am Projektstandort vorhanden, können diese für die in der strategischen Planung und Vorstudie durchgeführten Anwendungen verwendet werden. Für die nächsten Jahre zeichnet sich eine Annäherung von GIS an BIM ab. Die GIS-Branche hat grosse Schritte in Richtung 3D-Modellierung gemacht, was den momentanen Wandel in der Planungs- und Baubranche widerspiegelt und somit die Integration von GIS und BIM in einer ganzheitlichen Umgebung in Aussicht stellt (Casanova, 2019).

| Projektphasen SIA 112 | | GIS | | | GIS & BIM | | | | |
|--|---------------------------------------|-----------------------|--|------------------|---------------|------------|----------------|---|--|
| | | Strat. Planung | Vorstudien | | Projektierung | | | Ausschreibung | Realisierung |
| Daten 2D 3D | | Bedürfnisformulierung | Projektdefinition Machbarkeitsstudien | Auswahlverfahren | Vorprojekt | Bauprojekt | Auflageprojekt | Ausschreibung Offertvergleich Vergabeantrag | Ausführungsprojekt Ausführung Inbetriebnahme |
| Amtliche Vermessung Topografisches Landschaftsmodell | Fixpunkte | | | | | | | | |
| | DOM/swissALTI3D | | | | | | | | |
| Nutzung | Übersichtspläne | | | | | | | | |
| | Orthofoto | | | | | | | | |
| Umwelt | Bodenbedeckung | | | | | | | | |
| | Stadtmodell/TLM | | | | | | | | |
| Erdwissenschaft | Verkehrsnetz | | | | | | | | |
| | Leitungskataster | | | | | | | | |
| Projekt | Liegenschaftskataster (Bau-)zonenplan | | | | | | | | |
| | Nutzungsdaten | | | | | | | | |
| Erdwissenschaft | Altlastenkataster | | | | | | | | |
| | Schutzonen | | | | | | | | |
| Projekt | Lärmkataster | | | | | | | | |
| | Geologie | | | | | | | | |
| Projekt | Geotechnik | | | | | | | | |
| | Hydrogeologie | | | | | | | | |
| Projekt | Naturgefahren | | | | | | | | |
| | (Sondier-)bohrungen | | | | | | | | |
| Projekt | Erdwärmesonden | | | | | | | | |
| | Geol. 3D-Modelle | | | | | | | | |
| Projekt | Projektspez. Baugrundmodell | | | | | | | | |
| | Daten realisierter Projekte | | | | | | | | |
| Projekt | Eigene Bauwerksdaten | | | | | | | | |

Abbildung 15 Geodaten für den Untertagebau (Dall'Agnolo and Volken, 2016)

Mit GIS wie auch mit BIM werden heute Gebäude und deren Räume modelliert. Mit BIM werden Gebäude viel detaillierter modelliert, mit den Eigenschaften und dem Material von jedem Bauteil. Bauwerke werden mit BIM so modelliert wie sie in der Regel gebaut werden sollen, im GIS werden sie typischerweise so erfasst wie sie in der Realität existieren. In BIM wird im Allgemeinen ein lokales Koordinatensystem verwendet, im GIS ein geographisches Referenzsystem. Eine Übersicht der Unterschiede zwischen BIM und GIS ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich BIM und GIS (Angepasst nach Huber, 2018)

| | BIM | GIS |
|-------------------------|---|---|
| Einsatzgebiet | Teilweise frühe Projektphasen, Hauptsächlich bei der Planung und Realisation. | Frühe Projektphasen, Variantenstudium, Erhaltungsmanagement |
| Objekt | Gebäude, Räume, Installationen, Bauteile | Gebäude, Städte, Regionen, Länder und Daten im Untergrund (z.B. Werkleitungen, Geologie) |
| Verwendungszweck | Wird verwendet, um Informationen zu einem Bauwerk, während seinem Lebenszyklus, zu organisieren | Wird verwendet, um mehrere Informationstypen zu organisieren und räumliche und nicht räumliche Informationen zu integrieren |
| Daten | Fokus auf Bauwerke: Geometrie, Eigenschaft und Material | Fokus auf Geometrie (generalisiert), Attribute und räumliche Analyse |
| Geometrie | Es können sehr komplexe 3D-Geometrien modelliert werden: B-Rep, NURBS, Splines, Sweep und CSG | Wenige Möglichkeiten für geometrisch Repräsentation: B-Rep für 3D |
| Genauigkeit | Hohe Genauigkeit (mm) | Mittlere Genauigkeit (cm – m) |
| Bezugssystem | Im Allgemeinen lokale Koordinatensysteme | Regionale, nationale oder globale geographische Koordinatensysteme |

3.2 Warum nicht BIM nach GIS?

Bei der Planung von Bauprojekten sind gerade in frühen Projektphasen grundstücksübergreifende Informationen relevant. Bereits während der strategischen Planung kommen Übersichtspläne, Liegenschaftskataster, Bauzonenpläne oder Karten von Grundwasserschutz zonen zum Einsatz. Spätestens in Vor- und Machbarkeitsstudien kommen detailliertere Pläne wie Leitungskataster oder Gefahrenkarten zur Abschätzung von Naturgefahren hinzu. Bei all diesen Informationen handelt es sich um Geodaten, die während der Planung typischerweise in geographischen Informationssystemen (GIS) zusammengeführt werden. GEOL_BIM beschäftigt sich mit der Integration der Geologie in die BIM-Methode. Grundstücksübergreifende geologische Karten sind dabei Ausgangsdaten, die auch bei der Planung von Bauwerken und Infrastrukturprojekten eine wichtige Rolle spielen. Im Rahmen des Projektes sollen geologische Informationen mit Hilfe des offenen und systemunabhängigen Standards IFC an eine BIM-Software übermittelt werden. Es stellt sich die berechtigte Frage, warum nicht versucht wird, Bauwerksdaten in GIS zu importieren und damit die Anwendung der BIM-Methode in GIS zu fördern. Die kurze Antwort auf diese Frage lautet, dass beide Wege Ihre Berechtigung haben – sie dienen lediglich unterschiedlichen Zwecken. Stehen raumplanerische Studien, z.B. zur Stadtentwicklung, im Fokus des Interesses, kann es durchaus hilfreich sein, die Umhüllende von Bauwerken als 3D-Körper aus der BIM-Software eines Projektes zu exportieren, um diese im GIS mit anderen Bauwerken zusammenzuführen und beispielsweise ein 3D-Modell einer Stadt zu erzeugen.



Für GEOL_BIM steht die Kommunikation geologischer Informationen im **Kontext des Bauwerks** gegenüber Projektbeteiligten im Vordergrund.

GEOL_BIM widmet sich der Integration der Geologie in die BIM-Methode über offene und systemunabhängige Datenaustauschformate. Die nachfolgende Liste nennt einige ausgewählte Gründe warum bewusst nicht versucht wird, Bauwerksmodelle in GIS zu integrieren.

1. Von der strategischen Planung bis zur Realisierung eines Bauprojektes beginnen viele Projekte mit Grundstücksübergreifenden Informationen in GIS und entwickeln sich hin zu höheren Detaillierungsgraden eines einzelnen Bauwerkes im BIM ('grob nach fein'). Um ein mit hohem Detaillierungsgrad geplantes Bauwerk noch immer in seinen geologischen Kontext stellen zu können kann es hilfreich sein, die Geologie, einschliesslich Unsicherheiten, auch in Bauwerksmodellen darstellen zu können.
2. Bereits heute laufen immer mehr Ausschreibungen auf Basis digitaler Bauwerksmodelle. In wie weit die formellen Kriterien einer Eingabe mit der Ausschreibung übereinstimmen, kann dann maschinengestützt ermittelt werden. Ob die Anforderungen an geologische Untersuchungen zukünftig ebenfalls modellgestützt definiert werden könnten, ist derzeit noch völlig unklar. Die Bereitstellung von Ergebnissen geologischer Untersuchungen in offenen und BIM-fähigen Datenaustauschformaten ist aber schon heute in vielen Grossbauprojekten gefordert.
3. In Bauprojekten, die mit der BIM-Methode geplant werden, werden bereits heute von einer Vielzahl von Projektbeteiligten die Anforderungen, Probleme und Lösungsansätze, über digitale Bauwerksmodelle kommuniziert. Für viele den Ausbau oder die Gebäudetechnik betreffende Bereiche sind grundstücksübergreifende Informationen nicht oder nur in Ausnahmefällen relevant. Es ist daher in vielen Fällen effizienter, nur die für ein Bauwerk relevanten geologischen Informationen aus GIS an eine BIM-Software zu übergeben.

4 Industry Foundation Classes IFC

In den folgenden Kapiteln werden ausgewählte, spezifische Eigenschaften von IFC erklärt, die für das GEOL_BIM-Projekt von Relevanz sind. Die Grundlagen (Definition, Geschichte, Inhalt und Aufbau, Version 4.x, geplante Version 5.0) von IFC werden in dem Kapitel 2.2 behandelt.

Bei der Beschreibung von geologischen Daten in IFC ist es wichtig zu unterscheiden zwischen der eigentlichen geometrischen Repräsentation und der geologischen Information. Dies wird auch strikt innerhalb vom IFC-Datenmodell unterschieden. In diesem Kapitel werden die Möglichkeiten der geometrischen Repräsentation in IFC aufgezeigt, mit einem Fokus auf die Geologie.

Wieso braucht es zur Abbildung der Geologie umfangreiche und komplexe Geometrieformen? Die Abbildung 16, welche eine komplexe Faltung darstellt, zeigt schön auf, dass für die Geologie komplexe Repräsentationsformen nötig sind. Geologische Schichten sind häufig «freiformige» Flächen/Volumenkörper und folgen nicht einer einfachen mathematischen Beschreibung. Die räumliche Ausdehnung von geologischen Schichten kann sehr gross sein und die jeweiligen Schichtgrenzen sind meistens unklar und fließend definiert.

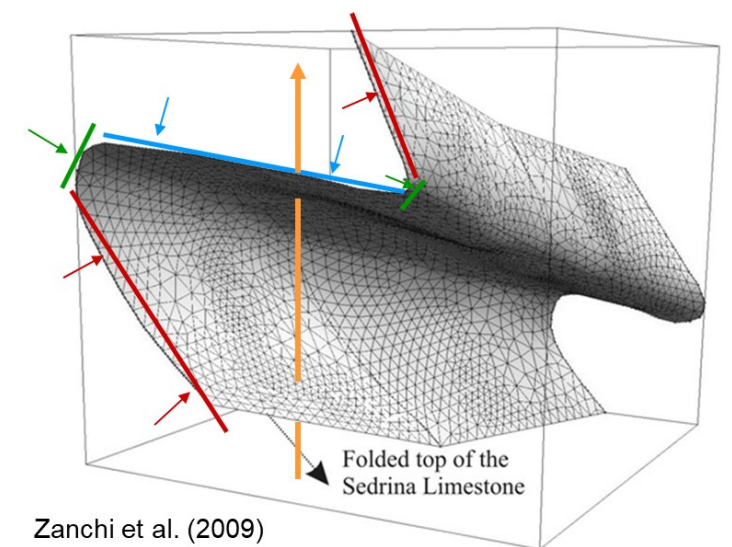


Abbildung 16: Darstellung einer komplexen Faltung aus dem AP2 Grundlagen Geologie Bericht IFC (Zanchi et al., 2009)

4.1 Geometrische Repräsentation

In IFC können Elemente optional über eine oder auch mehrere geometrische Repräsentationen verfügen. Die verschiedenen Repräsentationen eines Elements dienen dabei unterschiedlichen Zwecken. So wird typischerweise für alle physischen Realweltobjekte eine Repräsentation der Art «Body» definiert, welche die 3D-Körpergeometrie des Elements darstellt. Ergänzend oder alternativ dazu kann ein Element z.B. auch eine geometrische Repräsentation seiner Achse (Axis), des Grundrisses (Footprint), der Bounding Box (Box) oder des Schwerpunkts (CoG) aufweisen. Die Art der geometrischen Repräsentation wird im Attribut RepresentationIdentifier der Entität IfcShapeRepresentation definiert. Abbildung 17 zeigt ein vereinfachtes Klassendiagramm von IFC, aus welchem die hier beschriebenen geometrischen Repräsentationen dargestellt sind.

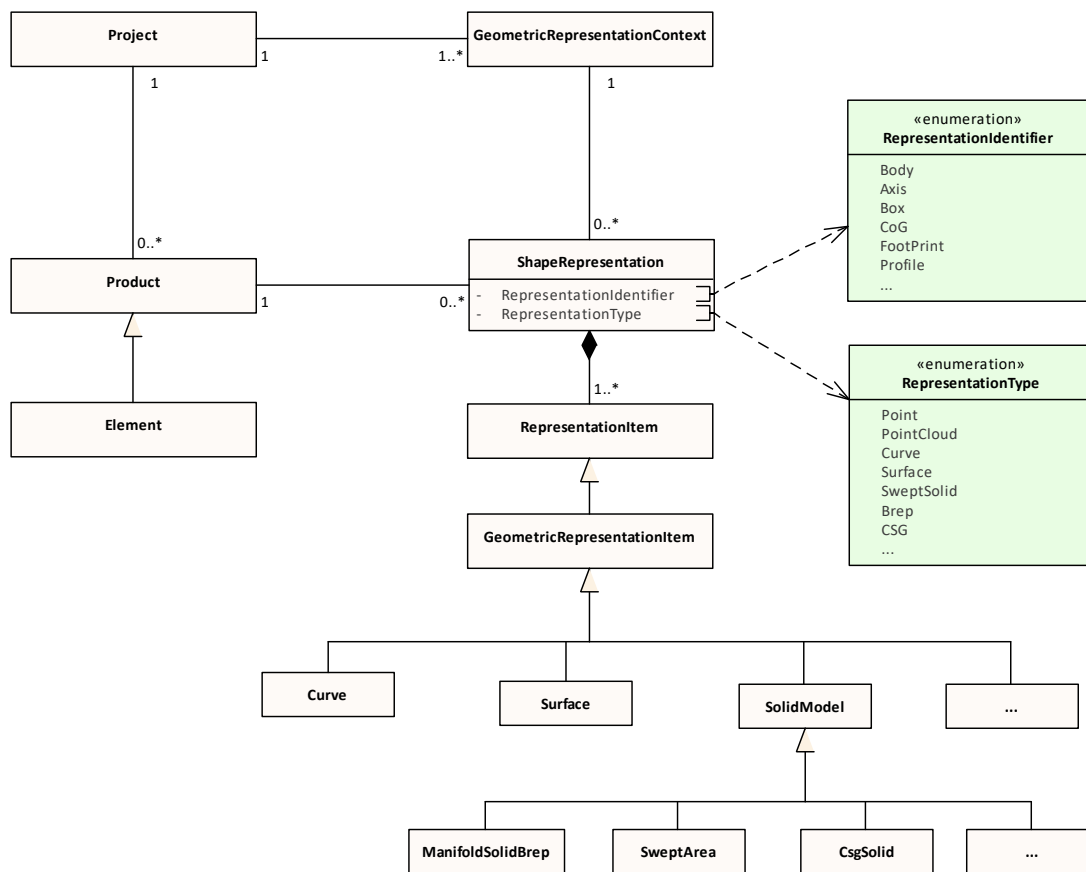


Abbildung 17: Konzept der geometrischen Repräsentation in IFC

Die Speicherung der eigentlichen Geometrie erfolgt für jede Repräsentation in den sehr umfangreichen Datenstrukturen als Subentitäten von `IfcGeometricRepresentationItem`. Je nach Geometriertyp werden dazu unterschiedliche Datenstrukturen genutzt. Im Attribut `RepresentationType` der `IfcShapeRepresentation` wird festgelegt, um welchen Typ es sich bei der Geometrie handelt und damit auch, welche Datenstrukturen für die Speicherung verfügbar sind resp. verwendet werden müssen. Bei den Geometriertypen wird unterschieden zwischen u.a. Point, PointCloud, Surface, SweptSolid, Brep etc., wobei 2D und 3D unterstützt wird.

IFC bietet sehr vielfältige Möglichkeiten zur Speicherung unterschiedlicher Geometriertypen resp. Verfahren der geometrischen Repräsentation. Die Möglichkeiten von IFC bezüglich der Abbildung von Körper-Geometrien lassen sich in zwei Kategorien unterteilen (siehe auch Abbildung 18):

- Boundary Models (explizite Verfahren)

Bei diesem Verfahren wird die Oberfläche des Körpers explizit beschrieben. D.h. die Fläche wird durch ihre Begrenzungskanten und diese durch ihre Stützpunkte beschrieben. Alle Koordinaten der Stützpunkte sowie der Aufbau der Kanten und Flächen sind somit explizit definiert. Dieses Verfahren wird auch als Boundary Representation (B-Rep) bezeichnet. Ein spezieller Fall liegt vor, wenn die Oberfläche ausschliesslich mit Dreiecken beschrieben wird. Dieses Verfahren wird als Triangulated Irregular Network (TIN) bezeichnet.

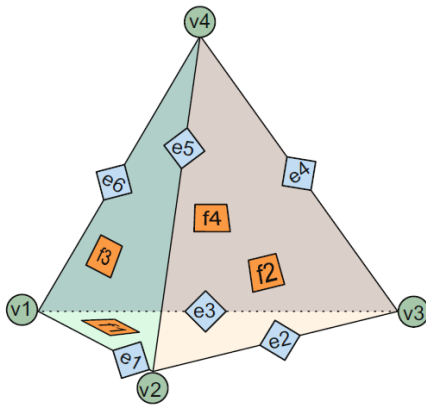
Im einfachen Fall können die Teilflächen der Oberflächenbeschreibung als eben angenommen werden. In einer Erweiterung dazu können aber auch gekrümmte Flächen definiert werden. Die gekrümmten Flächen werden als so genannte Freiformflächen mit parametrischen Formeln beschrieben. Bekannte Verfahren zur Beschreibung von Freiformflächen sind BSplines und NURBS, welche von IFC unterstützt werden.
- Constructive Models (implizite Verfahren)

Das Volumen eines Körpers wird durch eine «Konstruktionsanleitung» beschrieben. Dabei werden verschiedene geometrische Formen durch Boolean Mengen-Operatoren (Schnitt, Vereinigung, Differenz) miteinander kombiniert.

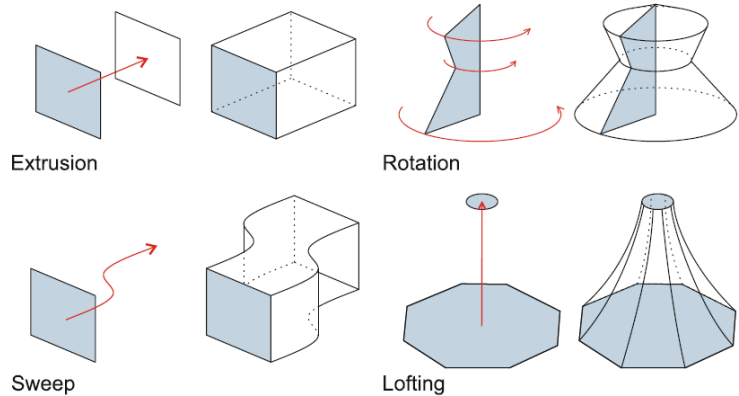
Typischerweise werden als geometrische Primitive mathematisch gut beschreibbare, eindeutig abgrenzbare Körper wie Quader, Zylinder etc. verwendet. In diesem Fall spricht man von der Methode des Constructive Solid Geometry (CSG).

Ein Spezialfall der konstruktiven Modelle stellen Sweep-Verfahren dar. Bei diesen Verfahren (z.B. Rotation, Extrusion, Sweeping und Lofting) werden 2D-Flächen entlang von Achsen «bewegt», wobei der dadurch aufgespannte Raum den Volumenkörper definiert.

In der Literatur wird alternativ zu konstruktiven Verfahren auch von impliziten Verfahren gesprochen.

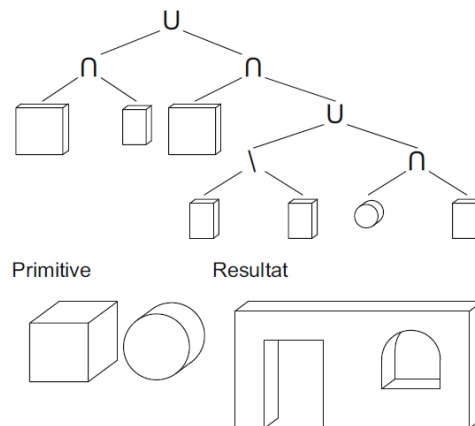


Boundary Representation B-Rep



Quelle: (Borrmann et al., 2015)

Konstruktionsbaum



Constructive Solid Geometry CSG

Abbildung 18: Geometrische Modellierungsverfahren

Die hier aufgezeigten prinzipiellen Geometriertypen von IFC sind z.B. auch in (Borrmann et al., 2015) anschaulich und im Detail beschrieben. Theoretische Grundlagen zu den verschiedenen Geometriertypen sind z.B. in (Mäntylä, 1988) beschrieben.

4.1.1 Vergleich mit Geometriertypen der geologischen Modellierung

Im Grundlagenbericht Geologie werden Geometriertypen aufgezeigt und klassifiziert, die im Fachbereich der Geologie üblich sind. Im Folgenden wird ein Vergleich der Geometriertypen aus dem Bereich der Geologie mit denen aus IFC aufgezeigt. Es wird analysiert, ob in beiden Bereichen dieselben Geometriertypen verwendet werden und wo Unterschiede bestehen. Der Vergleich basiert auf einer konzeptionellen Ebene durch eine Gegenüberstellung der verwendeten Verfahren. Es wird nicht auf logische Implementierungen und konkrete Datenstrukturen zur Speicherung der Geometrien eingegangen.



Im Grundlagenbericht Geologie wurde eine Klassifizierung von (Wu, 2004) aufgezeigt. Da jedoch die Klassifizierung von Geometrietypen und Verfahren der Modellierung nicht einheitlich vorgenommen werden, sondern abhängig sind von der Fragestellung und der Granularität der Betrachtung, lassen sich die dort definierten Geometrietypen nicht direkt mit den im Kontext von IFC etablierten Geometrietypen vergleichen. Für den Vergleich zwischen den beiden Klassifizierungen wird deshalb ein «neutrales» Klassifizierungssystem definiert, in welchem die beiden Fachbereiche zusammengebracht werden können. Das «neutrale» Klassifizierungssystem basiert auf einer grundlegenden Unterteilung der Geometrietypen in Boundary-, Constructive- und Decomposition-Verfahren, in Anlehnung an die Definitionen in (Mäntylä, 1988) und ist wie folgt definiert:

Tabelle 2: Klassifizierungssystem Geometrietypen GEOL_BIM

| Klassifizierung Geometrietyp gemäss GEOL_BIM | Beschreibung |
|--|---|
| Oberflächen (surface) | |
| Boundary Models | Boundary Representation (Oberflächenbegrenzungsmodell) |
| B-Rep (linear) | Nur ebene Flächen (gerade Kanten, ebene Flächen) |
| B-Rep (freiform) | Gekrümmte Flächen (Freiformkurven wie BSplines, NURBS) |
| Decomposition Models (Raster) | Raster, Grid |
| Körper (solid) | |
| Boundary Models (explizit) | Oberfläche des Volumenkörpers wird beschreiben |
| B-Rep (linear) | Nur ebene Flächen (gerade Kanten, ebene Flächen) |
| B-Rep (freiform) | Gekrümmte Flächen (Freiformkurven wie BSplines, NURBS) |
| Constructive Models (implizit) | «Konstruktionsanleitung» des Volumenkörpers wird beschrieben. |
| CSG | Constructive Solid Geometry. Konstruktionsverfahren mit geometrischen Primitiven und Boolean Mengen-Operatoren. |
| Sweep | Konstruktionsverfahren mit «Bewegen» einer geometrischen Grundform entlang einer Achse. |
| Decomposition Models | Das Volumen des zu beschreibenden Körpers wird «zerlegt» in kleinere, in der Regel regelmässige Volumenkörper (Zerlegungsmodell). Typischerweise werden dazu Quader resp. allgemein Tetraeder verwendet. Bei der Dekomposition mit Quadern wird auch von «Voxel»-Modellen gesprochen. |
| Regelmässig | Regelmässige Hexaeder. Je nach Verhältnis der Kanten werden verschiedene Ausprägungen unterschieden (Voxel, Octree, Needle, Regular Block, Geocellular, Definitionen siehe (Wu, 2004). |
| Unregelmässig | Unregelmässige Polyeder. Z.B. TEN, Pyramid, Tri-Prism, Definitionen siehe (Wu, 2004). |

In der nachfolgenden Abbildung 19 werden die Geometrietypen der Klassifizierungssysteme der Geologie gemäss (Wu, 2004) sowie von IFC (siehe Kapitel 4.1) in das «neutrale» Klassifizierungssystem von GEOL_BIM abgebildet und können somit gegenübergestellt werden.



| Geometrie-Typen (GEOL_BIM) | Classification of 3D, (Wu L., 2004) | | | | | | | | | | | | | IFC (ShapeRepresentationType) | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|------|-------|-------|-------------|----------|------------------|--------|--------|---------------|-----|---------|-----------|-------------------------------|-------|---------|------------|---------|-----------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------------|------|--------------|-----|----------|---|
| | Facial Model | | | | | | Volumetric Model | | | | | | | Surface Model | | | SolidModel | | | | | | | | | | | | |
| | TIN | Grid | B-Rep | NURBS | Wire-framed | CSG-Tree | Voxel | Octree | Needle | Regular Block | TEN | Pyramid | Tri-Prism | Geocellular | Solid | ATP/GTP | PointCloud | Surface | AdvancedSurface | unspezifisch | Tessellation | unspezifisch | SweptSolid | AdvancedSweptSolid | Brep | AdvancedBrep | CSG | Clipping | |
| (Ober)flächen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B-Rep | | | x | | | | | | | | | | | | | | | x | x | | | | | | | | | | |
| Linear | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | |
| Freiform | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BSpline | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | |
| NURBS | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Raster (Grid) | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Volumen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Solid | | | | | | | | | | | | | | | x | | | | | | x | | | | | | | | |
| Explizit | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B-Rep | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Linear | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Freiform | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BSpline | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NURBS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Implizit | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CSG | | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Extrusionen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x | x | | | | x | x |
| Zerlegung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| regelmässig (Hexaeder) | | | | | | | x | x | x | x | | | | | x | | | | | | | | | | | | | | |
| unregelmässig (Polyeder) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Abbildung 19: Vergleich Geometrietypen zwischen Geologie und IFC

Aus der Gegenüberstellung der Geometrietypen der beiden Fachbereiche können folgende Aussagen getroffen werden:

- Beide Fachbereiche unterstützen Oberflächen und Volumenkörper in 3D im B-Rep-Verfahren.
- Beide Fachbereiche kennen Freiformflächen zur Definition von Oberflächen im B-Rep-Verfahren.
- Raster (Grid) sind in der Geologie verbreitet, in IFC jedoch nicht unterstützt.
- Beide Fachbereiche unterstützen explizite Verfahren für Volumenkörper. In der Klassifizierung von Wu wird jedoch nicht im Detail darauf eingegangen.
- In IFC werden bei Volumenkörpern Freiformflächen (BSplines) unterstützt.
- Beide Fachbereiche unterstützen CSG als implizites Verfahren.
- In der Geologie sind keine Extrusionsverfahren definiert.
- Zerlegungsverfahren spielen in der Geologie eine grosse Rolle. Es werden viele unterschiedliche Methoden unterschieden.
- Zerlegungsverfahren sind in IFC nicht explizit definiert.

Es gibt technische Möglichkeiten, Zerlegungsverfahren mit den vorhandenen Geometrietypen von IFC anzunähern. So ist vorstellbar, Punkte oder Punktwolken als Repräsentation von Voxeln zu verwenden oder auch die Voxel durch B-Rep-Repräsentationen abzubilden.

Freiformflächen Boundary Repräsentationen sind für die Geologie eher nicht relevant. Zur Darstellung von Volumenkörpern sind lineare B-Reps ausreichend.

Die nachfolgende Tabelle 3 zeigt auf, welche Geometrietypen in den standardisierten Datenmodellen im Kontext der Geologie unterstützt werden. Die aufgeführten Datenmodelle werden im Kapitel 5 noch detaillierter beschrieben.

| Datenmodell | Organisation | Geometriertypen | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|-----------------|------------------|--------|----------------|------------------|--------------|-------|------------------------|--------------------------|
| | | Flächen | | | Körper (solid) | | | | | |
| | | Boundary | | Raster | Boundary | | Constructive | | Decomposition | |
| Bezeichnung | | B-Rep (linear) | B-Rep (freiform) | | B-Rep (linear) | B-Rep (freiform) | CSG | Sweep | regelmässig (Hexaeder) | unregelmässig (Polyeder) |
| AGS | AGS | - | - | | - | - | - | - | - | - |
| AGSi | AGS | x | (x) | - | (x) | (x) | - | - | - | - |
| GeoSciML | OGC | x | ? | - | x | ? | - | - | - | - |
| INSPIRE Geology | INSPIRE | x | - | - | - | - | - | - | - | - |
| DM Geologie | swisstopo | x | - | - | - | - | - | - | - | - |
| DM Bohrdaten | swisstopo | - | - | | - | - | - | - | - | - |
| CityGML | OGC | x | ? | - | | | . | | | |
| LandInfra (InfraGML) | OGC | x | ? | - | x | ? | - | - | - | - |
| IFC (2x3, 4x1, 4x3)) | bSI | x | x | - | x | x | x | x | - | - |

Tabelle 3: Datenmodelle Geologie und Geometriertypen

Die analysierten Datenmodelle basieren häufig auf Geodatenstandards, insbesondere GML. Entsprechend sind die Möglichkeiten von Geometriertypen durch diese Standards vorgegeben. Es fällt auf, dass keiner dieser Standards die Dekompositionsverfahren explizit unterstützt.

4.2 Geodätisches Bezugssystem

Geodätische Bezugssysteme sind für alle GIS Anwender bekannt. Da die BIM-Methode zuerst im Hochbau eingeführt wurde, blieb das sogenannte Plandenken erhalten und wurde mit in das freie Austauschformat IFC überführt. Alle Koordinaten in IFC sind normalerweise Koordinaten in einem lokalen kartesischen Koordinatensystem. Für die meisten Hochbauprojekte ist dies kein Problem, da sich die grundlegende Arbeit nicht ändert. Projektierte Koordinaten treten im Wesentlichen nur beim Import von Grundlagedaten in das Projekt auf, und darum kümmert sich in der Regel der Geometer (Klonner and Mathis, 2020).

Mit der Ausbreitung der BIM-Methode vom Hochbau auf den Infrastrukturbau treffen die unterschiedlichen Welten von BIM und GIS aufeinander, und die unterschiedlichen Herangehensweisen werden sichtbar. Folgende Themen können dabei aufkommen:

- Bei einem linearen Infrastrukturprojekt von einer grösseren Ausdehnung (> 4km), stellt sich die Frage, wie kann man ein verwendetes **geodätisches Bezugssystem** in IFC übergeben?
- Wie kann/muss die **Längenverzerrung** infolge Höhe/Projektion berücksichtigt werden, wenn die Planung in Landeskoordinaten erfolgt? Wo/wie werden die daraus folgenden Mengenanpassungen (Beton, Schotter, Asphalt, ...) im DBM berücksichtigt?
- Wie kann man ein **Hochbauprojekt** (Massstab 1:1) **in ein Infrastrukturprojekt einbetten**? Welche Art von Dokumentation ist dazu notwendig? Bis zu welcher Ausdehnung ist so eine Einbettung möglich?
- Wie stelle ich die **Georeferenzierung** meines DBM sicher, vor allem bei einem Export in IFC?

4.2.1 Georeferenzierung in IFC

Das Austauschdatenformat IFC geht davon aus, dass es im Projekt ein lokales kartesisches Koordinatensystem gibt. Das Projekt liegt dabei oft in positiven x und y Koordinaten. Die gängigsten Autorensoftwares haben Probleme, falls der Nullpunkt des Koordinatensystems sehr weit weg vom Projekt selbst ist. Dies wäre der Fall bei den Landeskoordinaten. Die Geometrieobjekte im IFC-Format haben eigene lokale Koordinatensysteme, welche relativ zu Koordinatensystemen stehen, die zu übergeordneten Objekten gehören. Die Georeferenzierung sollte auf der obersten Hierarchiestufe, mit dem *IfcProject*, erfolgen. Weil durch die räumliche Aggregationshierarchie (üblicherweise) alle Elemente dem Grundstück (*IfcSite*) untergeordnet sind, ist eine Georeferenzierung mit *IfcSite* auch möglich.

Zur Georeferenzierung bestehen in IFC drei Möglichkeiten (Hochuli and Schildknecht, 2020):

1. Platzierung des Grundstückes
2. Platzierung des Projektes
3. Koordinatentransformation (ab Version IFC 4.0)

Für das GEOL_BIM Projekt erachten wir nur die Möglichkeiten 2. & 3. als relevant. In den folgenden Kapiteln werden die beiden Arten der Georeferenzierung weiter erläutert. Wichtige Punkte sind:

- Nullpunkt *IfcSite* (violett)
- Project Base Point (PBP, blau): Nullpunkt des Projektes
- Survey Point (siehe Abbildung 21 in rot): Einfügepunkt im Projektionssystem

Georeferenzierung durch die Projektplatzierung

Die LV95-Koordinaten des Projektnullpunktes und eine allfällige Rotation werden mit der Projektplatzierung (*IfcAxis2Placement3D*) angegeben (blau in Abbildung 20). Diese Art der Georeferenzierung ist sowohl in IFC2x3, als auch in IFC4 möglich.

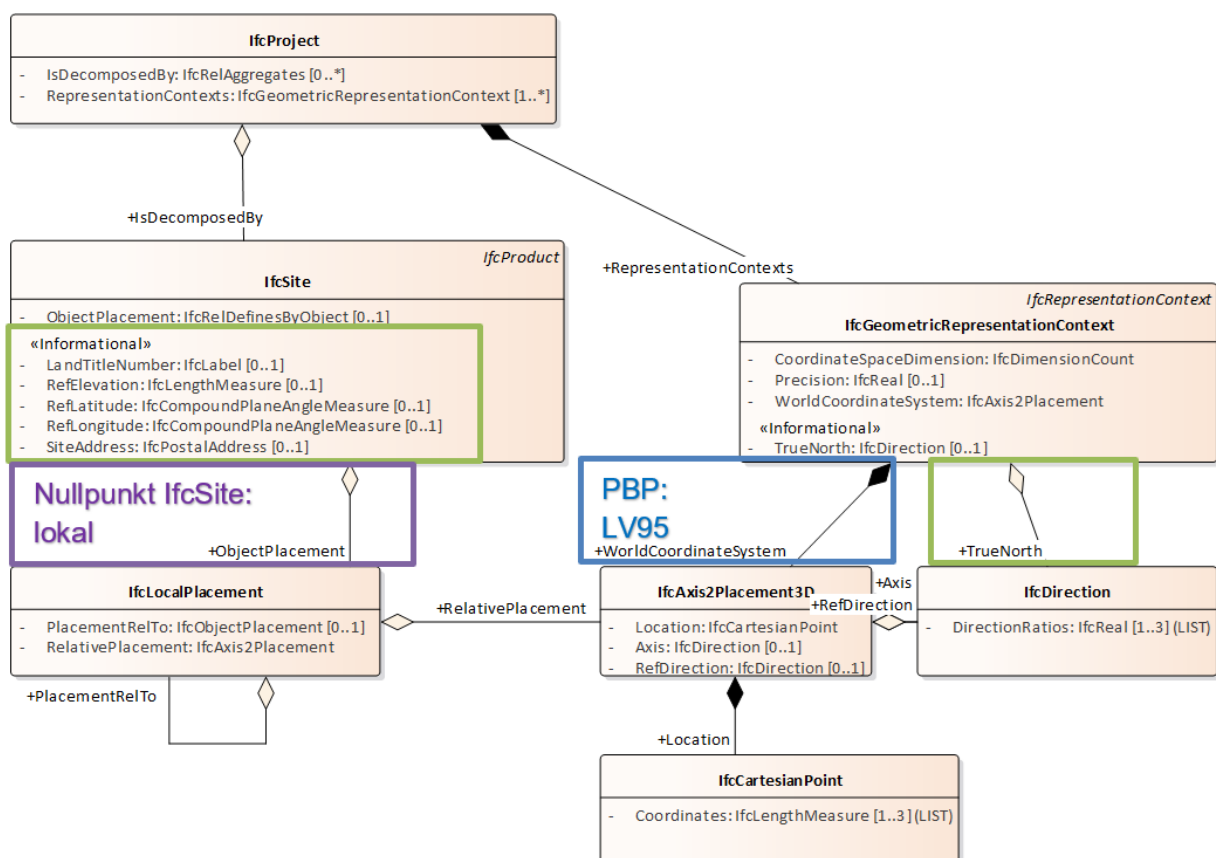


Abbildung 20: Georeferenzierung über die Platzierung des Projekts (Hochuli and Schildknecht, 2020)

Die Platzierung von *IfcSite* als oberstes Produkt der Aggregationshierarchie ist relativ zum PBP und ist in lokalen Koordinaten angegeben. Die informativen Attribute können der *IfcSite* Klasse angegeben werden.

Koordinatentransformation in IFC 4.0

Die Eigenschaften der Koordinatentransformation sind im Objekt *IfcProjectedCRS* definiert. Gemäss der offiziellen Dokumentation sollte der Name den EPSG-Code enthalten. In Tabelle 4 sind die Attribute mit Beispielswerten der Schweiz (LV95) definiert. Je nach Bezugssystem muss eine Kartenzone angegeben werden, in der Schweiz entfällt diese Angabe. In der Schweiz werden bei Bauprojekten üblicherweise Gebrauchshöhen, LN02, verwendet.

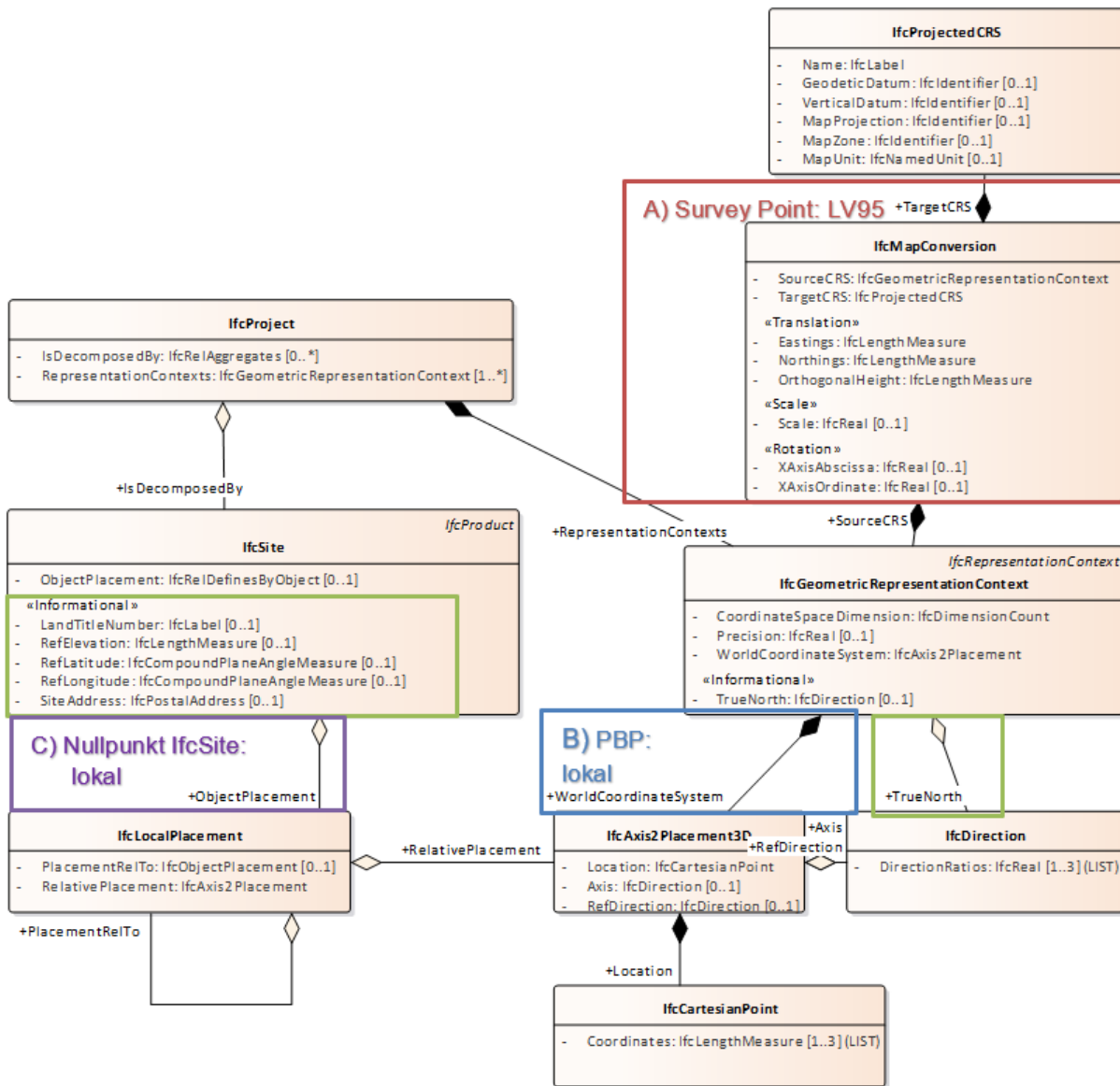


Abbildung 21: Georeferenzierung in IFC4 mittels Koordinatentransformation, vereinfachte Darstellung (ohne objektifizierte Beziehungen, nur relevante Attribute). Einzelne Objekte werden mehrfach instanziiert (Hochuli and Schildknecht, 2020)



Tabelle 4: Attribute von IfcProjectedCRS mit den Beispielswerten der Schweiz

| IfcProjectedCRS | |
|-----------------|--|
| Name | «EPSG:2056» |
| Description | - |
| GeodeticDatum | «CH1903+» |
| VerticalDatum | «LN02» |
| MapProjection | «CH1903+ / LV95» |
| MapZone | - |
| MapUnit | «IFCSIUNIT(*, .LENGTHUNIT, \$, .METRE.)» |

Mittels *IfcMapConversion* ist es möglich den lokalen Ursprungpunkt in ein anderes Koordinatensystem zu überführen. Falls unterschiedliche Bezugssysteme verwendet werden, kann man mittels *IfcMapConversion* diese transformieren.

Tabelle 5: Attribute von IfcMapConversion mit den Beispielswerten der Schweiz

| IfcMapConversion | |
|------------------|-----------------------------------|
| SourceCRS | IfcGeometricRepresentationContext |
| TargetCRS | IfcProjectedCRS |
| Eastings | <LV95 Easting>, z.B. 2615300.940 |
| Northings | <LV95 Northing>, z.B. 1264921.000 |
| OrthogonalHeight | <LN02>, z.B. 276.8 |
| XAxisAbscissa | <Rotation> z.B. 0.99033 |
| XAxisOrdinate | <Rotation> z.B. -0.13873 |
| Scale | <Massstabsfaktor> z.B. 1. |

4.2.2 Empfehlungen GEOL_BIM

Die meisten geologischen Daten in der Schweiz liegen mit der Projektion LV95 vor. Ab der IFC Version 4.x können mit *IfcProjectedCRS* EPSG Codes verwendet werden. Für das Landeskoordinatensystem wird der EPSG Code 2056 verwendet. Mittels *IfcMapConversion* kann man das lokale Referenzsystem in einen absoluten Bezug setzen. Ausserdem können mit dem Massstabsfaktor die Projektionsbedingten Verzerrungen reduziert werden. Der Survey Point sollte nahe oder im Bereich des Projektes liegen. Zur Vereinfachung kann der Project Base Point und der Survey Point derselbe Punkt sein. Bei Projekten mit IFC 2x3 empfehlen wir die Georeferenzierung durch die Projektplatzierung. In jedem Fall ist die Art der Georeferenzierung mit den Projektpartnern abzuklären, damit die Daten korrekt in die entsprechenden Autorensoftwares importiert werden können.

4.3 Attribuierung geologischer Information

Das Datenmodell von IFC definiert bewusst nur wenige Eigenschaften zu einer Klasse. Das Ziel ist es, lokale, regionale und nationale Gegebenheiten mittels des Erweiterungsmechanismus der Property Sets zu ermöglichen. Nationale und regionale Organisationen erhalten damit die Möglichkeit, Standards oder Best practice zu definieren und in IFC zu spezifizieren. Solche erweiternden Spezifikationen werden idealerweise mit MVD resp. Exchange Requirements/Profilen definiert.

4.3.1 Beispiel PropertySets GEOL_BIM Begleitgruppe

Im Beispiel Brütternertunnel wurde ein Property Set «Pset_Baugrund» definiert, welches gemäss nachfolgender Tabelle 6 beschrieben ist. Mit diesen Eigenschaften werden die Klassen «GeologischeOberkante», «AusbruchFestgestein» und «AusbruchLockergestein» in dem Projekt beschrieben.

Tabelle 6: Pset_Baugrund SBB

| ID | Eigenschaft | Beschreibung |
|----|--------------------------|---|
| 1 | Geologie | |
| 2 | Gestein | |
| 3 | Geländeoberfläche | |
| 4 | Wasseroberfläche | |
| 5 | Überlagerung | |
| 6 | Wassersäule | |
| 7 | γ | Feuchtraumgewicht [kN/m ³] |
| 8 | ϕ' | Reibungswinkel [°] |
| 9 | c' | Effektive Kohäsion [kN/m ³] |
| 10 | Me | Zusammendrückungsmodul bei Erstbelastung [MN/m ²] |
| 11 | Me' | Zusammendrückungsmodul bei Wiederbelastung [MN/m ²] |
| 12 | EinaxialeDruckfestigkeit | |
| 13 | E-Modul | |
| 14 | Auflockerungsfaktor | |
| 15 | Raumgewicht | |

4.4 Unsicherheiten in IFC

Menschen sind es gewohnt, wenn sie auf Karten oder Pläne schauen, dass dort die Wirklichkeit abgebildet ist. Wenn wir Menschen auf einen Plan oder ein 3D-Modell schauen, gehen wir davon aus, dass die Übergänge, welche farblich hervorgehoben sind, auch in der Realität so bestehen. Bei der geologischen Kartierung und vor allem dann bei der 3D-Modellierung ist dies aber nicht mehr so. Es muss das Bewusstsein über die Unsicherheit geweckt werden. Unsicherheiten kann man in Plänen mit gestrichelten Linien, Fragezeichen, Unsicherheitskorridoren oder auch wachsender Unschärfe angeben. Doch wie macht man dies bei 3D-Modellen und wie werden diese Informationen in IFC weitergegeben? Erste Recherchen und Anfragen zu internationalen Projekten haben gezeigt, dass an dieser Frage zurzeit sehr viele forschen. Ein Hauptproblem liegt darin, dass die ungenaueste Stufe innerhalb von digitalen Bauwerksmodellen, wie sie für Unsicherheiten von Bauwerksinformationen verwendet werden, immer noch zu genau für eine geologische Unsicherheit ist.

In der Tabelle 7 werden die Quellen und Arten von Unsicherheit in geologischen Prognosen kurz zusammengefasst. Eine umfangreiche Zusammenstellung von Unsicherheiten im Kontext der Geologie wird im GEOL_BIM Grundlagenbericht «Arbeitspaket 2: Grundlagen Geologie» im Kapitel 6 gegeben.

Tabelle 7: Quelle und Arten von Unsicherheit in geologischen Prognosen (Weil, 2020)

| | |
|---------------------------------------|--|
| Grundlagedaten | Auflösung, Messungengenauigkeit und statistische Schwankungsbreite sind abhängig von der Aufnahmemethode. |
| Klassifikation | Basierend auf den gemessenen oder angenommenen geotechnischen Eigenschaften und dem ingenieurgeologischen Konzeptmodell werden projektabhängig geotechnische Einheiten definiert, wobei die zugeordneten Parameter üblicherweise als Wertebereiche angegeben werden (Zusammenfassung heterogener Eingangsdaten, Statistik, subjektiver Einfluss). |
| Geometrie und Auflösung eines Modells | Kleinräumige Muster wie z. B. Wechsellagerungen oder Trennflächen, Störungen und Faltung können nicht für den gesamten Modellbereich exakt vorhergesagt und verortet werden. Eine exemplarische oder schematische Darstellung und Übersignaturen wie in 2D-Schnitten sind in 3D-Modellen nicht ohne weiteres möglich. Das Argument einer «vorgetäuschten Genauigkeit» wird häufig in Bezug zu 3D-Modellen gebracht, trifft aber prinzipiell genauso auf 2D-Abbildungen zu. |
| Eigenschaften von Grenzflächen | Unter Berücksichtigung der zugrundeliegenden geologischen Prozesse zwischen den lokal bekannten Werten/Verhältnissen interpretiert, wobei die Unsicherheit von der Komplexität der geologischen Verhältnisse abhängt. Ein mögliches Mittel zur Quantifizierung dieses Effekts (R-Index), wurde entwickelt und kann z.B. als Merkmal in einem Modell hinterlegt werden. |

4.4.1 Mögliche Lösungsansätze

Beschreibung der Unsicherheit in einem Attribut

In Abhängigkeit der gesamtheitlichen Datenverarbeitung (Daten, Methoden, Algorithmen, etc.) eröffnen sich verschiedene Möglichkeiten zur Visualisierung quantifizierter Unsicherheiten. Jedem Element einer von einem Geologen erbrachten Leistung kann, egal ob es sich um ein geometrisches Objekt, einen Stütz- oder Knotenpunkt oder um ein Kartenpolygon handelt, ein Ergebniswert, beziehungsweise eine Verteilung zugeordnet werden. Diesem Ergebniswert kann ein Konfidenz- oder Vertrauensintervall, eine Bandbreite (Minimal- bis Maximalwert) oder eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden. Die entsprechenden Werte (oder auch Bandbreiten/Min. Max. Werte) könnte man als zusätzliche Attribute in IFC verwalten.

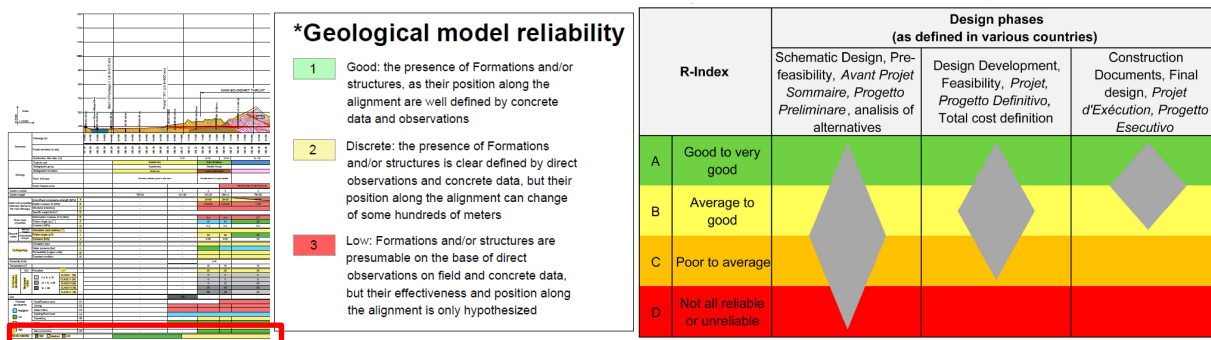


Abbildung 22: Darstellung einer Wahrscheinlichkeit des geologischen Modells am Beispiel von einem geologischen Profil inkl. Tunnelband gemäss SIA199 (links Quelle Lombardi) und Wahrscheinlichkeitsberechnung des R-Index (rechts) (Dematteis and Soldo, 2015)

Level of Accuracy (LoA)

Die Methode von Level of Accuracy LoA kommt aus der Vermessungswelt. Hier geht es eigentlich um eine Genauigkeitsangabe zu einem beliebigen Vermessungspunkt und streng genommen nicht um die Unsicherheit. Die Definition von LoA stammt ursprünglich aus dem USIBD Level of Accuracy Specification Guide (USIBD Version 2.0, 2016). Die LoA sind aber auch identisch als DIN-Norm (DIN18710 Ingenieurvermessung) definiert, mit folgenden Genauigkeitsklassen:

- LoA 10: 50mm - Benutzerdefiniert
- LoA 20: 15 – 50mm
- LoA 30: 15 – 5mm
- LoA 40: 5 – 1mm
- LoA 50: 1 – 0mm

Die LoA-Klasse könnte man entsprechend auch als zusätzliches Attribut bei jedem Koordinatenpunkt verwalten. In der Abbildung 23 werden die Bereiche für LoA 50 bis LoA 30 aufgezeigt.

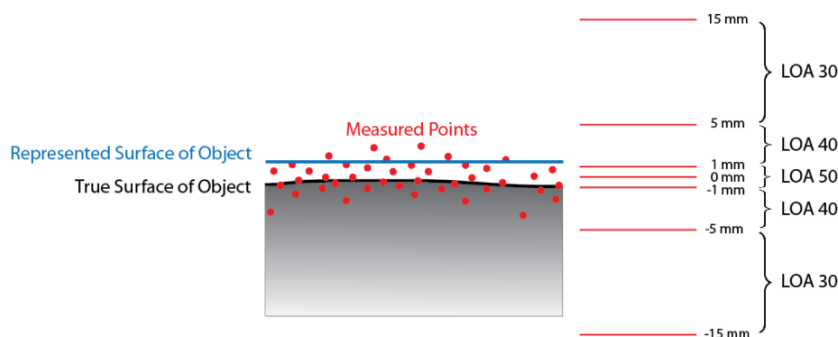


Abbildung 23: Beschreibung der Genauigkeitsklassen LoA 30 - LoA 50 (USIBD Version 2.0, 2016)

«Heatmap» als geometrische Repräsentationsform für Unsicherheiten

Eine andere Möglichkeit die Unsicherheit in einem 3D-Modell zu visualisieren, ist eine unabhängige 3D-Geometrie zu definieren, welche die Unsicherheit abbildet. Die entsprechende Unsicherheit kann als eigene geometrische Einheit in IFC verwaltet werden. Man könnte auch Voxelmodelle von der Unsicherheit modellieren und mittels der Grösse der Voxel die Unsicherheit des Modells darstellen. In der Abbildung 24 wird derselbe Ausschnitt als Lithostratigraphie (links) und als Wahrscheinlichkeit (rechts) abgebildet (Darstellung aus dem Grundlagenbericht Geologie).

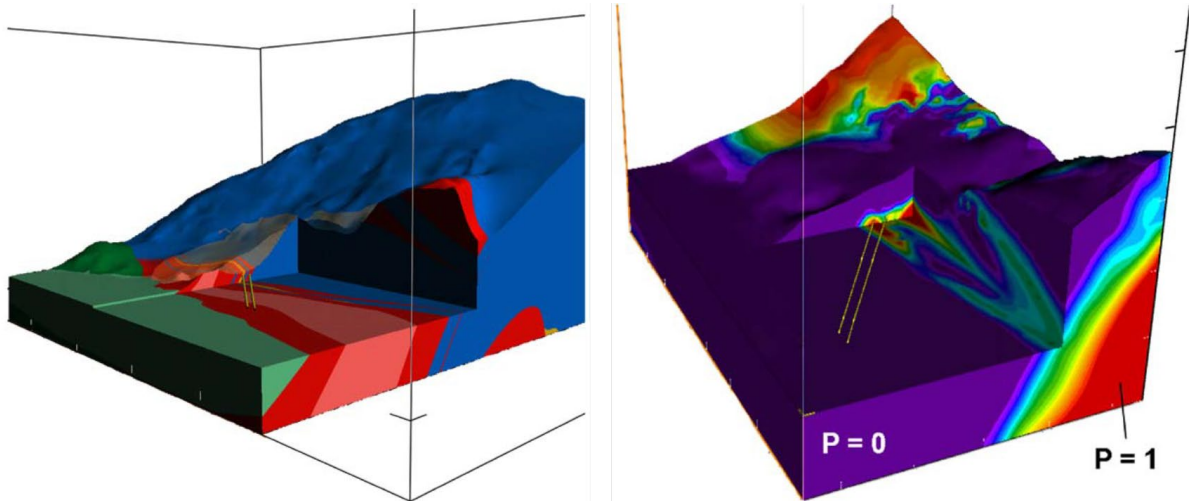


Abbildung 24: Visualisierung Wahrscheinlichkeits-basierter Unsicherheiten. Die Abbildung links ein geologisches Modell (diskrete Werte einer Lithostratigraphie) und rechts die Wahrscheinlichkeit des Auftretens für eine bestimmte Einheit (Tacher et al., 2006).

4.5 IFC-Tunnel

Auf Seiten von buildingSMART International gibt es seit einigen Jahren die Untergruppe «Infrastructure». Innerhalb dieser Gruppe gibt es wiederum verschiedene Arbeitsgruppen pro Themengebiet (Rail, Road, Bridge, Tunnel und Maritime). Die Arbeitsgruppe Tunnel beschäftigt sich mit ca. 40 internationalen Experten damit den IFC Standard für den Tunnelbau zu erweitern. Innerhalb dieser Fachgruppe spielen die Geologie und die Geotechnik auch eine wichtige Rolle. Die eigentliche Umsetzung der Erweiterungen findet fast zeitgleich wie das GEOL_BIM Projekt statt. Im Juli 2020 wurde die Phase 1 (Abbildung 25), mit der Anforderungsdefinition für die IFC-Tunnel Erweiterung abgeschlossen und mittels dem «Report WP2: Requirements analysis report (RAR)» veröffentlicht (buildingSmart International, 2020b).

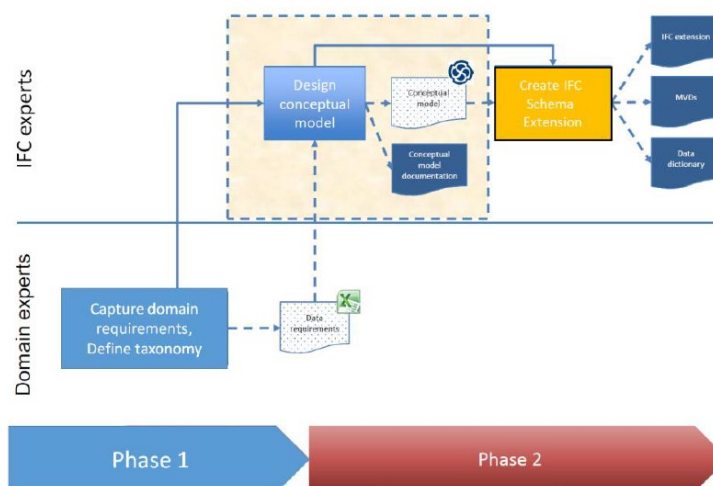


Abbildung 25: IFC Erweiterung Prozess Phase 1 & 2 der Arbeitsgruppe IFC Tunnel (buildingSmart International, 2020b)

Als Grundlage für die Definition der IFC-Tunnelerweiterungen identifizierte das internationale Projektteam die wichtigsten Anwendungsfälle der Datenaustauschprozesse in unterirdischen Infrastrukturprojekten.



Das Projekt folgt den Richtlinien, die im IFC Infrastruktur Gesamtarchitekturprojekt festgelegt wurden. Ausgangspunkt für die IFC-Tunnelerweiterung ist das als IFC4.3 veröffentlichte Schema, das im Rahmen des IFC-Road-, IFC-Rail- und IFC-Bridge and Waterways-Projekts entwickelt und harmonisiert wurde.

4.5.1 IFC-Tunnel Anwendungsfälle

Die IFC-Tunnel-Anwendungsfälle wurden vom Projektteam durch die Analyse der Ergebnisse der nationalen Tunnelprojekte und durch Diskussionen mit dem internationalen Expertengremium identifiziert. In der publizierten Tabelle wurden 31 Anwendungsfälle vorgestellt, bewertet und auch priorisiert. Von den 31 Anwendungsfällen beschäftigen sich 6 mit der Geologie und Geotechnik. Abbildung 26 zeigt die entsprechenden 6 Anwendungsfälle, welche für unser Projekt GEOL_BIM von Relevanz sind. In dieser Tabelle geht man auch bereits auf mögliche IFC Szenarien und die Möglichkeit von geologischer Repräsentation resp. die Anforderung an die Semantik ein.

| No | Use case | Description | Candidate exchange mechanisms | IFC exchange scenario | Required geometry representation | Required semantic information | Priority | Complexity |
|-----|---|---|------------------------------------|---|--|--|----------|------------|
| 1b | Geologic factual data | Alignment planning, environmental assessment | AGS / GeoSciML / Geo3DML (?) / IFC | From GIS and geological modeling SW to BIM design SW | Explicit geometry (Faceted BRep, Triangulated Face Sets) | Detailed semantics on geological units, geotechnical properties etc. including uncertainties | High | Low |
| 2a | Geologic and geotechnical modelling for planning | Assessment of geotechnical risk along tunnel route | AGS / GeoSciML / IFC | From GIS and geological modeling software to BIM design software | Explicit geometry (Faceted BRep, Triangulated Face Sets), Potentially voxel or octree representation | Detailed semantics on geological units, geotechnical properties etc. including uncertainties | High | Low |
| 2b | Geotechnical modelling for design | Selection of tunneling method, Design of tunnel structure, Decision on ground improvement methods, | IFC | 1. From GIS and geological / geotechnical modeling software to BIM design SW 2. From geotechnical modeling software to numerical analysis SW | Explicit geometry (Faceted BRep, Triangulated Face Sets), Potentially voxel or octree representation | Detailed semantics on geological units, geotechnical properties etc. including uncertainties | High | Medium |
| 2c | Geotechnical modelling for construction and maintenance | Models with higher degree of detail, focusing on critical sections, Assessment of geotechnical risk during construction, Estimation of cause of tunnel damage and formulation of countermeasures in the maintenance stage | IFC | From geological and geotechnical modeling SW to construction and asset management SW | Explicit geometry (Faceted BRep, Triangulated Face Sets) | Detailed semantics on geological units, geotechnical properties etc. including uncertainties | High | Medium |
| 12b | Design to tender: Geotechnical Model | Translation of the Geotechnical Baseline Report into a 3D geometrical representation | IFC | From the client/designer to the contractor's model viewer and tendering application | Explicit geometry (volume objects) ground sections: zones of similar ground behaviour | Definition of excavation- and support types and other measures, the corresponding structural analysis and the used geotechnical design model | High | Medium |
| 15b | Geological documentation | The geological model is updated throughout the whole cycle life of the project and especially during the excavation phase. | IFC | From surveying SW to geological / geotechnical modeling SW, visualization application | Explicit geometry (Faceted BRep, Triangulated Face Sets) | Detailed semantics on geological units, geotechnical properties etc., according to ISO standards | High | Medium |

Abbildung 26: Auszug aus der Bewertungstabelle von den Anwendungsfällen IFC-Tunnel mit den 6 Anwendungsfällen, die für das GEOL_BIM Projekt von Relevanz sind (buildingSmart International, 2020b)

4.5.2 IFC Geotechnik: Möglichkeiten mit IFC 4.3

Mittels eines Harmonisierungsprojektes, innerhalb von buildingSMART Infrastruktur, wurde ein erster Entwurf erstellt, wie man mit der IFC Version 4.3 die Geologie und Hydrogeologie beschreiben kann. Nach Einschätzung der Expertengruppe IFC-Tunnel sind diese Möglichkeiten nicht ausreichend für das Anwendungsgebiet Tunnel (buildingSmart International, 2020b).

Eine andere Darstellung ist im Mai 2020 von der buildingSMART IFC Tunnel Gruppe publiziert worden (Abbildung 27). In dieser Darstellung werden Empfehlungen von Modellierungsformen für «Geological Modeling» und für «Geological Documentation» aufgezeigt. Beide Anwendungsfälle werden aktuell zu den expliziten Verfahren zugeordnet. Die Hauptargumentation liegt unter anderem auch darin, dass die meisten Softwareprodukte besser mit expliziten Verfahren umgehen können (buildingSmart International, 2020b).

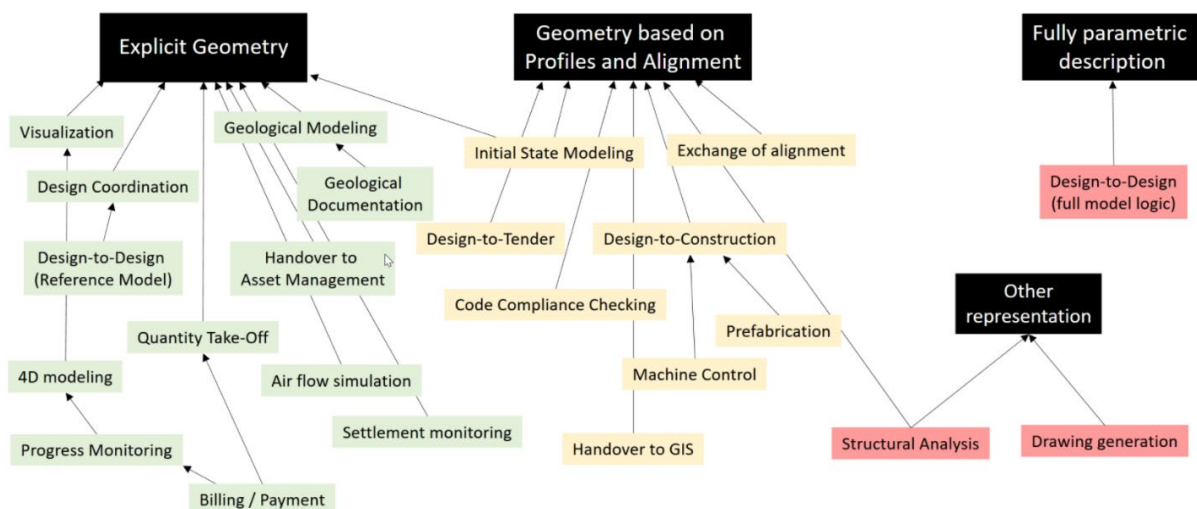


Abbildung 27: Darstellung von unterschiedlichen geometrischen Repräsentationsformen je nach Anwendungsfall (buildingSMART InfraRoom Project, 2020)

4.5.3 Empfehlungen für den Umgang mit Unsicherheiten

Ein zentrales Thema ist für die IFC-Tunnel Arbeitsgruppe auch der Umgang mit geologischen Unsicherheiten. Erste Empfehlungen gehen in die gleiche Richtung, welche in dem Kapitel 4.4 vorgestellt worden sind. Neben der Möglichkeit von der Beschreibung der Unsicherheit mittels einem Wert oder einem Bereich gibt es auch erste Ansätze zusätzlich geometrische Elemente für die Unsicherheit einzufügen, welche entsprechend visualisiert und ausgewertet werden kann (siehe Abbildung 28).

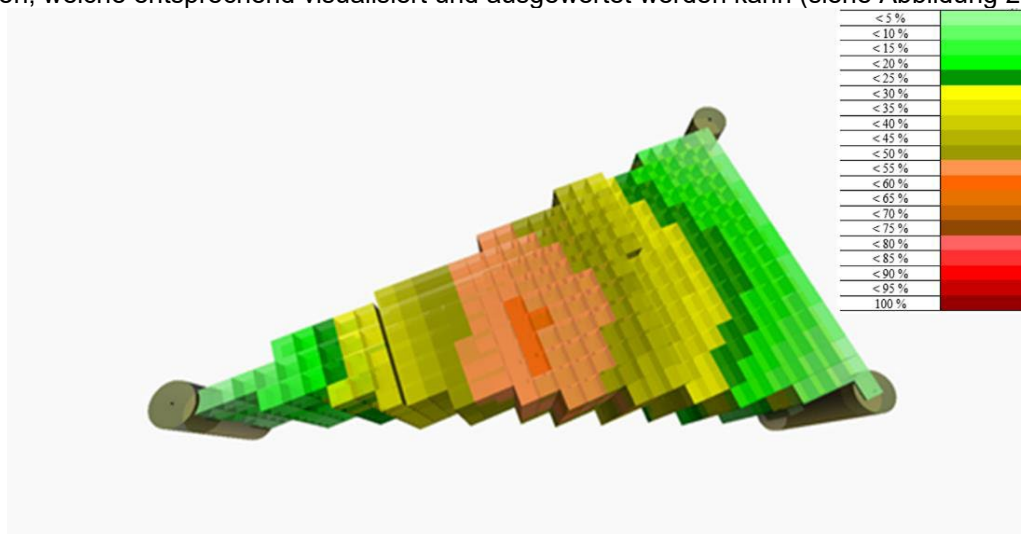


Abbildung 28: Visualisierung von Unsicherheiten mittels einem Voxelmodell (buildingSmart International, 2020b)



5 Weitere Datenmodelle

Im aktuellen Kapitel werden weitere Standards innerhalb des Themenfeldes Geologie betrachtet. Die Erarbeitung und die Anwendung dieser Standards erfolgen auf unterschiedlichen Ebenen. Es handelt sich dabei um internationale und nationale Standards. Die Existenz dieser Standards gründet vorwiegend auf dem Bedürfnis zur Harmonisierung geologischer Daten und Prozesse. Dabei können die Erwartungen und Anforderungen der beteiligten Parteien zu Beginn unterschiedlich sein. Durch Konsensfindung kristallisiert sich ein gemeinsamer Nenner heraus, der häufig in Form eines konzeptuellen Datenmodells das Ergebnis darstellt. Mit Hilfe der Datenmodelle lassen sich im Anschluss Datenverwaltungssysteme realisieren, die eine strukturierte Datenerfassung, -abfrage und -analyse und vor allem auch einen standardisierten Austausch von geologischen Daten ermöglichen. Durch die fortschreitende Digitalisierung nimmt auch der Bedarf nach Datenschnittstellen zu. Gut strukturierte Datenmodelle stellen eine wesentliche Grundlage bei der Realisierung von Datenschnittstellen dar.

Das zu erarbeitende resp. zu definierende Datenmodell für GEOL_BIM soll soweit möglich und sinnvoll auf bereits bestehende Standards aufbauen oder auf diese abgestimmt sein. Aus diesem Grund werden im Folgenden einige standardisierte Datenmodelle aus dem Kontext der Geologie beschrieben und diskutiert. Mit dieser Auslegeordnung wird ein Überblick der vorhandenen Geologie-Datenmodelle gegeben und es wird analysiert, welche Aspekte der Geologie diese beschreiben. In diesem Kapitel werden die Datenmodelle nur summarisch beschrieben. Eine detailliertere Beschreibung ausgewählter Datenmodelle befindet sich in Anhang B .



| Datenmodell | verantwortliche Organisation | Kurzbeschreibung |
|--------------|------------------------------|---|
| AGS | AGS | Übertragung von Bodenuntersuchungs-, Laboruntersuchungs- und Überwachungsdaten innerhalb eines Projekts. Beschreibt ein logisches Transferformat (ASCII-Format). |
| AGSi | AGS | AGSi ist ein Transfermodell für geologische Modelle und interpretierte geologische Daten, welches derzeit von der AGS entwickelt wird. Erst im Entwurf verfügbar. Ergänzt das Datenmodell AGS fachlich, wird aber auf einer neuen Methodik und Technologie entwickelt. Als Transferformat wird JSON verwendet. |
| GeoSciML | OGC | GeoSciML (Geoscience Markup Language) ist ein von OGC publiziertes logisches Datenmodell, das den Fachbereich Geologie beschreibt, inklusive der zugehörigen Probenahmen. Verwandte Bereiche wie die Hydrogeologie sind ausgeklammert, da dafür spezialisierte Datenmodelle verfügbar sind, z.B. GroundwaterML. GeoSciML definiert ein auf GML basierendes Transfermodell. |
| INSPIRE GE | EU | In der Initiative INSPIRE wurden Datenmodelle für die Geologie entwickelt. Die logischen Datenmodelle umfassen die Bereiche Geology, Geophysics und Hydrogeology und werden in Kurzform als «INSPIRE GE» bezeichnet. Das Datenmodell INSPIRE GE (Geology) wurde auf Basis von GeoSciML entwickelt. Gegenüber GeoSciML wurden Vereinfachungen vorgenommen und nur für INSPIRE relevante Themen übernommen. Die Grundprinzipien und Schlüsselemente wurden jedoch beibehalten. INSPIRE GE definiert ein auf GML basierendes Transfermodell. |
| DM Geologie | Swisstopo | Das Datenmodell Geologie der swisstopo hat zum Ziel, schweizweit einheitliche geologische Vektordatensätze zu gewährleisten. Das Datenmodell ist stark planorientiert und unterstützt nur 2D-Geometrien für Punkte, Linien und Flächen. Das Datenmodell ist in INTERLIS beschrieben. Der Datentransfer kann daher mit INTERLIS erfolgen. |
| DM Bohrdaten | Swisstopo | Das Datenmodell Bohrdaten der swisstopo ist eine Empfehlung zur Strukturierung digitaler Bohrdaten. Es ermöglicht die Beschreibung von Bohrungen, Sondierungen und Aufschlüssen, die künstlich entstanden sind und eine eindimensionale (linienförmige) Darstellung des Untergrundes wiedergeben. Das definierte und dokumentierte Datenmodell beschreibt nur einige Stammdaten zur Bohrung. Die Beschreibung des mit einer Bohrung analysierten Untergrunds wird in separate Module ausgelagert, die jedoch zurzeit noch nicht definiert sind, bzw. erst in Entwurfsform vorliegen. Das Datenmodell ist in INTERLIS beschrieben. Der Datentransfer kann daher mit INTERLIS erfolgen. |
| CityGML | OGC | Datenmodell zur Abbildung von 3D-Stadtmodellen. Fokussiert primär auf die sichtbaren Objekte (Bauwerke, Umgebung). Bietet keine Strukturen für die Abbildung der Geologie. |
| LandInfra | OGC | Der Standard LandInfra definiert ein konzeptuelles Datenmodell für den Fachbereich des Tief- und Infrastrukturbaus. Die Geologie kann als «subsurface layer» in sehr vereinfachter Form abgebildet werden. Für LandInfra sind Implementierungsregeln für GML definiert. |
| IFC | buildingSmart | IFC ist im Baubereich der verbreitetste offene Standard für den Datenaustausch. Mit der Version 4x3, welche im 2021 publiziert wird, werden erstmals Strukturen für den Austausch von geologischen Informationen enthalten sein. Es sind einfache Strukturen definiert zur Abbildung von Strata und deren Abbildung in verschiedenen Darstellungsformen (unterschiedliche geometrische Repräsentationen). Der Datenaustausch von IFC erfolgt im Transferformat des Standards EXPRESS. |

In der nachfolgenden Tabelle werden die verschiedenen Datenmodelle nach einfachen, summarischen Kriterien verglichen. Dazu werden folgende Kriterien verwendet:

- Geologisches Modell: Datenstrukturen zur Abbildung von geologischen Einheiten sind vorhanden.
- Bohrloch: Datenstrukturen zur Abbildung von Bohrlochinformationen sind vorhanden.
- Observation/Parameter: Datenstrukturen zur Abbildung von Messwerten oder Beobachtungen (Rohdaten und/oder Interpretationen, allgemein Parameter zur Beschreibung von geologischen/geotechnischen Eigenschaften) sind vorhanden.
- 2D/Flächen: Geometrien können als Flächen dargestellt werden.
- 3D/Körper: Geometrien können als Körper dargestellt werden.

Ein Vergleich der Güte und des Detaillierungsgrads bezüglich der einzelnen Kriterien ist in dieser Tabelle nicht enthalten. Es wird lediglich dargestellt, ob in einem Datenmodell Aspekte des jeweiligen Kriteriums berücksichtigt sind.

| Datenmodell | Aspekte Geologie | | | Geometrie | |
|--------------|---------------------|----------|-----------------------|--------------|-------------|
| | Geologisches Modell | Bohrloch | Observation/Parameter | 2D (Flächen) | 3D (Körper) |
| AGS | | x | x | | |
| AGSi | x | x | x | x | x |
| GeoSciML | x | x | x | x | x |
| INSPIRE GE | x | x | x | x | |
| DM Geologie | x | x | | x | |
| DM Bohrdaten | | x | | x | |
| CityGML | | | | - | - |
| LandInfra | (x) | | | x | x |
| IFC | x | x | | x | x |

Tabelle 8: Einfacher Vergleich Datenmodelle

Aus dem Vergleich in Tabelle 8 sowie auch den detaillierten Beschreibungen in Anhang B können bezüglich der vorhandenen, standardisierten Datenmodelle folgende Erkenntnisse für das Projekt GEOL_BIM festgehalten werden:

- Das Datenmodell **GeoSciML** deckt die verschiedenen Bereiche der Geologie umfassend ab und scheint das derzeit ausgereifteste Datenmodell im Kontext der Geologie zu sein. Der Kern von GeoSciML ist auch in INSPIRE GE. Die Arbeitsgruppe IFC-Tunnel stützt ebenfalls stark auf die Konzepte von GeoSciML ab.
GeoSciML geht im Bereich der Abbildung der Geologie viel weiter als für GEOL_BIM benötigt. Die Abbildung von Messdaten/Parametern ist sehr generisch definiert und müsste für GEOL_BIM konkretisiert werden.
- Das Datenmodell **AGSi** ist derzeit erst im Entwurf vorhanden und scheint noch nicht ausgereift zu sein. Für GEOL_BIM können allenfalls die angedachten Konzepte zur Abbildung von Messwerten/Parametern von Interesse sein.
- Die demnächst publizierte Version **IFC 4x3** sieht erstmals Strukturen zur Abbildung der Geologie (Geotechnik) vor. Diese Strukturen sind aber noch rudimentär. Es ist zu prüfen, ob und wie geologische Phänomene sowie auch Messdaten/Parameter abgebildet werden können. Das Grundprinzip bezüglich geometrischer Repräsentation ist analog zu demjenigen bei GeoSciML. Die Nutzung linearer Referenzierungsmethoden (IfcAlignment) ist für die Darstellung von Bohrprofilen sowie auch Profilschnitten zu prüfen.
- Das **Datenmodell Geologie** der swisstopo ist stark planorientiert und nicht konsequent objektorientiert. Damit ist es als Grundlage für eine objektorientierte Modellierung, wie sie bei GEOL_BIM angestrebt wird, weniger geeignet. Die Semantik der Geologie ist aber sehr detailliert beschrieben und sollte in GEOL_BIM möglichst übernommen resp. referenziert werden.
- Das im Bereich 3D-GIS verbreitetste Datenmodell **CityGML** unterstützt die Geologie standardmässig nicht. Es liegen Erweiterungsvorschläge vor, mit denen eine sehr einfache Abbildung der Geologie aufgezeigt wird. Falls eine (einfache) Abbildung der Geologie im GIS-Kontext relevant wird, ist eine Weiterverfolgung dieses Ansatzes prüfenswert.

- Der für den Tiefbau entwickelte Standard **LandInfra** sieht rudimentäre Strukturen zur Abbildung der Geologie vor. Es fehlt derzeit an Implementierungen dieses Standards.

–

6 Schlussfolgerungen

Bevor im Projekt GEOL_BIM der Fokus auf die technische Umsetzung gelegt werden kann, ist als primäres Ziel auf der fachlich-semantischen Ebene eine Etablierung von fachlich abgestimmten Datenmodellen und Prozessen anzustreben. Um die Zusammenarbeit zwischen den interdisziplinären Fachgruppen zu fördern, ist ein gemeinsames Verständnis der disziplinären Fachgebiete essenziell wichtig. Gemeinsam mit den Grundlagen Bericht Geologie bietet der Bericht Grundlagen BIM-Methode/IFC essenzielle Informationen, welche für eine gemeinsame Verständigung im Projekt als sehr wichtig erachtet wird.

6.1 Verschiedene IFC Versionen

Es werden in der Praxis bereits heute einige Geologie Softwarelösungen verwendet, die IFC Exportformat erstellen oder lesen können. Häufig wird in der Praxis nicht die aktuelle Version von IFC unterstützt, sondern eine ältere Version. Ein wesentlicher Punkt von GEOL_BIM ist es, nicht nur die neuste Version von IFC zu unterstützen, sondern Versionen zu unterstützen, die bei den Anwendern weit verbreitet sind. Die häufig erwähnte IFC Version 5.0, die für den Infrastrukturbau wesentliche Vorteile bringt, wird nicht als relevant für das GEOL_BIM erachtet, da die Version erst gegen Ende unseres Projektes verfügbar sein wird. Die Implementierung der Fachmodelle sollte aber auch ohne grössere Hindernisse auf der neukonzipierten Version 5.0 möglich sein. Daher wird aus Projektsicht GEOL_BIM davon ausgegangen, dass im Rahmen des Projekts nicht auf die zu erwartenden Änderungen der Version 5.0 eingegangen werden muss. Die Entwicklungen werden jedoch ständig verfolgt, so dass die Situation im Lauf des Projekts bei Bedarf neu beurteilt werden kann.

6.2 Geologie Unterstützung mit IFC Version 4.3

Mit der Version 4x3 von IFC, welche im Frühling 2021 publiziert werden soll, werden erstmals Strukturen zur expliziten Abbildung der Geologie resp. der Geotechnik in IFC aufgenommen. Es wird dazu eine neue Spezialisierung des IfcElements als IfcGeotechnicalElement eingeführt. Die geotechnischen Elemente stehen damit auf gleicher Ebene wie die Bauwerkselemente (IfcBuiltElement), geografische Elemente oder auch Transport Elemente. Im Anhang B unter Kapitel 1 wird auf unsere Interpretation des Datenmodells eingegangen.

Nach einer ersten Einschätzung von uns und auch von der Fachgruppe IFC Tunnel (buildingSmart International, 2020b, p. 72), stellt diese Modellversion nur sehr rudimentäre Strukturen zur Abbildung der Geologie (eigentlich Geotechnik) dar. Es ist unklar, ob mit IfcGeotechnicalStratum auch geologische Einheiten abgebildet werden sollen und können. Falls nicht, fehlen die Strukturen zur Abbildung der Geologie vollständig. Zudem sieht das Datenmodell keine Strukturen zur Abbildung von Rohdaten resp. Messungen und Observationen vor. Die Arbeitsgruppe IFC-Tunnel hat bereits angekündigt, dass für die Eignung im Untertagebau unbedingt eine Erweiterung zu diesem Modell benötigt wird (buildingSmart International, 2020b, p. 73). Es wurde auch eine Vergleichsmatrix erstellt, in welcher die Anforderungen von IFC-Tunnel mit den vorhandenen Datenmodellen von IFC 4x3 sowie auch GeoSciML dargestellt sind (buildingSmart International, 2020b p. 74f).

6.3 Geometrische Repräsentation von Voxelmodellen in IFC

In der Geologie kommen neben den gängigen geometrischen Repräsentationsformen auch häufig die Volumenmodelle Voxel vor. Voxelmodelle besitzen meistens mehrere beschreibende Parameter, welche mittels der Voxelgeometrie in einen räumlichen Bezug gebracht werden. Geologische Expertensoftware haben sich auf die Darstellung und der Verarbeitung von Voxelmodellen spezialisiert und auch die Darstellungsoptionen optimiert. Die hohe räumliche Ausdehnung der Voxelgeometrien in IFC ist aber aktuell nicht gelöst. Die Problematik liegt unter anderem an der sehr rechenintensiven Verarbeitung von hierarchischen Schemas. Ein möglicher Ansatz ist es die Voxelgeometrien mittels Octrees zu speichern



und zu verarbeiten. In der Zukunft soll es möglich sein auch Voxelgeometrien in IFC zu verwalten und auszutauschen.

6.4 Unsicherheiten in IFC

Menschen sind es gewohnt, wenn sie auf Karten, Pläne oder auf ein 3D Modell schauen, dass dort die Wirklichkeit abgebildet ist. Unsicherheiten kann man in Plänen mit gestrichelten Linien, Fragezeichen, Unsicherheitskorridoren oder auch wachsender Unschärfe angeben. Wie macht man dies in einem 3D Modell mittels IFC? Recherchen und Anfragen zu internationalen Projekten haben gezeigt, dass an dieser Frage, unabhängig von der Geologie, zurzeit sehr viele forschen. Unter anderem ein Hauptproblem von Unsicherheiten in IFC zu verwalten liegt darin, dass die ungenaueste Stufe innerhalb von digitalen Bauwerksmodellen, wie sie für Unsicherheiten von Bauwerksinformationen verwendet werden, immer noch zu genau für eine geologische Unsicherheit ist. Hinzukommt, dass die Unsicherheit stark von den geologischen Verhältnissen abhängt und der verwendeten Prozesse. Mögliche Ansätze um geologische Unsicherheit in IFC zu verwalten könnte die Quantifizierung der Unsicherheit mittels R-Index sein, welcher als zusätzliches Attribut in einem Modell hinterlegt wird. Ein anderer Ansatz wäre mit unabhängigen Geometrien zu arbeiten, welche die Unsicherheit als «Heatmap» darstellen.

6.5 Datenmodell GEOL_BIM

Die Untersuchung von bestehenden Datenmodellen, die national und international im Kontext mit der Geologie angewendet werden, war ein zentrales Element bei der Erarbeitung des Grundlagenberichtes. Auf nationaler Ebene wurden die von swisstopo erarbeiteten Datenmodelle «Geologie» und «Bohrdaten» betrachtet. Das «Datenmodell Geologie» kommt vorwiegend als Produktdatenmodell bei der Erarbeitung und Bereitstellung des Geologischen Atlas 1:25'000 resp. den daraus generierten Vektordatensätzen (GeoCover) zum Einsatz. Es ist stark planorientiert und nicht konsequent objektorientiert. Damit ist es als Grundlage für eine objektorientierte Modellierung, wie sie bei GEOL_BIM angestrebt wird, weniger geeignet. Die Semantik der Geologie ist aber sehr detailliert beschrieben und sollte in GEOL_BIM möglichst übernommen resp. referenziert werden.

Das Kernmodell des «Datenmodells Bohrdaten» wurde bereits von einigen Kantonen und privaten Geologiebüros adaptiert. Die zusätzlichen Module, welche die geologischen Informationen beschreiben, sind erst als Entwurf verfügbar, werden jedoch derzeit weiterentwickelt mit Berücksichtigung der Anforderungen von GEOL_BIM.

Bei den internationalen Datenmodellen hat sich gezeigt, dass die meisten Datenmodelle sich an Teile des Datenmodells von GeoSciML richten. Das Datenmodell GeoSciML deckt die verschiedenen Bereiche der Geologie umfassend ab und scheint das derzeit ausgereifteste Datenmodell im Kontext der Geologie zu sein. Der Kern von GeoSciML ist auch in INSPIRE GE enthalten. Die Arbeitsgruppe IFC-Tunnel stützt ebenfalls stark auf die Konzepte von GeoSciML ab. GeoSciML geht im Bereich der Abbildung der Geologie viel weiter als für GEOL_BIM benötigt. Die Abbildung von Messdaten/Parametern ist sehr generisch definiert und müsste für GEOL_BIM konkretisiert werden.

Das Datenmodell GEOL_BIM basiert auf dem GeoSciML 4.1 und wurde mit Ansätzen von INSPIRE GE ergänzt. Das GEOL_BIM Datenmodell soll ein Datenmodell sein für den Austausch zwischen der Geologie und «BIM». Es hat nicht den Anspruch den gleichen Detaillierungsgrad wie andere geologische Datenmodelle abzudecken, sondern richtet sich vielmehr an die Informationen, welche bei dem Empfänger ankommen sollen. In der Abbildung 29 wird ein Entwurf des GEOL_BIM Exportdatenmodells dargestellt.

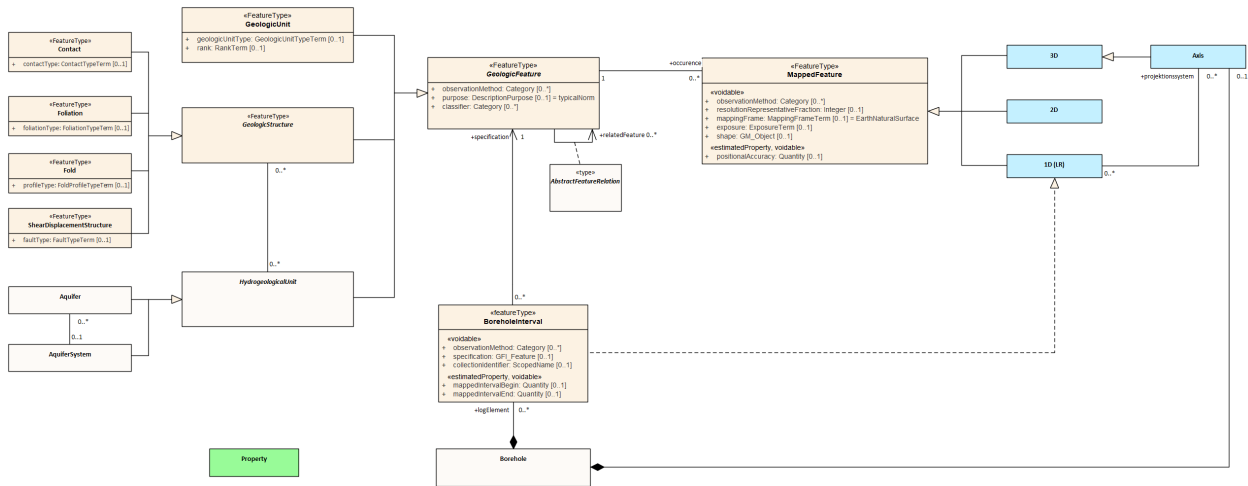


Abbildung 29 Entwurf GEOL_BIM Exportdatenmodell

6.6 Definition eines GEOL_BIM_PSet

Für das Projekt GEOL_BIM ist neben der geometrischen Repräsentation auch die Übergabe von geologischen Informationen und geotechnischen Gebirgskennwerten ein zentraler Punkt für das Projekt. Von der beschreibenden Form von geologischen Berichten soll ein Teil direkt im IFC File gespeichert, und als Resultat übergeben werden können. Um dies zu ermöglichen, gibt es die Möglichkeit der Definition von IFC PropertySets. Dieses System wird unter anderem auch verwendet, um länderspezifische sowie regionale Erweiterungen von bestehenden Datentypen zu ermöglichen. Diese Möglichkeit wird beim GEOL_BIM Projekt verwendet, um eine Erweiterung der Datentypen aus Blickpunkt der Geologie zu erreichen. Die Definition von einem GEOL_BIM PSet wird gemeinsam mit den Fachinformationsgruppen erarbeitet und hat das Ziel eine möglichst einheitliche Struktur zu haben für die unterschiedlichen Anwendungsfälle.

6.7 Stossrichtungen

Ein Ziel von GEOL_BIM ist es an den Schnittstellen zwischen den entsprechenden Experten mittels geeigneter Erweiterungen und Transformatoren eine wesentliche Optimierung im Datenaustausch und vor allem eine Zeitersparnis zu erreichen. In der Abbildung 30 wird der Soll-Ist-Vergleich für den heutigen Prozess aufgezeigt aus Sicht der Geologie. Die Grafik visualisiert, neben dem heutigen Prozess auch erste Ideen und Ansätze wie dies nach dem Innosuisse Projekt GEOL_BIM in der Praxis umgesetzt werden kann. Zusätzlich wird auch eine Prognose erstellt für die zu erreichende Zeitersparnis pro Prozessschritt. Die beiden Prozessschritte mit dem grössten Potential liegen bei einer strukturierten Datenübernahme in ein einheitliches geologisches Datenmodell und bei der Datenübergabe vom Geologen zum Bauingenieur. Diese beiden Punkte bilden dann unter anderem auch zwei wichtige Stossrichtungen für die weitere Erarbeitung im Projekt.

| | GEOLOGE | | | | | | | BAUINGENIEUR | | GEOTECHNIKER | | | BAUINGENIEUR |
|--|--|--|--|--|---|---------------------------------|---|--|--|--|--------------------------------|--|--------------|
| BEARBEITUNGSGESCHICHTE HEUTE OHNE GEOL_BIM Bearbeitungsprozess: Manuelle Korrelation und Harmonisierung von geologischen Schichten aus unterschiedlichsten, unstrukturierten Quellen. Erstellung von Projekt-Datenpool Illustration: Ergebnisse | Durchführung von ergänzenden Sondagen und Integration in Projekt-Datenpool | Erstellen eines geologischen 3D-Schichtmodells und Erstellung geologischer Schnitte (2D) entlang der Tunnelachse und Querprofile | Export in CAD | Übernahme geologischer 2D-Schnitte als dwg-Datei, manuelle Übertragung der geologischen Informationen | Manuelle Integration der Gebirgskennwerte im CAD, manuelle Übertragung der geologischen Informationen | Übermittlung an Tunnelingenieur | Import des geologischen Profils als Grafik ins BIM | Erstellung Tiefbauprojekt | Übernahme Tiefbauprojekt als dwg-Datei, manuelle Übertragung geotechnischer Parameter aus Geologie-Gutachten | Bemessung Sicherungsmassnahmen und Tunnelausgestaltung | Export geotechnische Bemessung | Weiterverarbeitung und Integration in Tiefbauprojekt | |
| | Individuelle Datenbank oder Excel | Datenbank oder Excel | Geologische 3D-Modellierungs-Software | CAD | e-mail | BIM Editoren Software | Geotechnische Anwendersoftware | BIM Editoren Software | | | | | |
| ZUKÜNFTIG MIT GEOL_BIM Bearbeitungsprozess: Extraktion bestehender Untergrunddaten aus standardisierter Geologie-Datenbank (Geologisches Datenmodell) und Abspeicherung in der Geologie-Datenbank Illustration: Ziele/Ergebnisse | Digitale Erfassung direkt im Feld mithilfe des Geologischen Datenmodells und Abspeicherung in der Geologie-Datenbank | Erstellen eines geologischen 3D-Schichtmodells | Definition der Lage typischer geologischer Querprofile im geologischen 3D-Modell | Automatische Extraktion von typischen Gebirgskennwerte aus Geologie-Datenbank und manuelle Ergänzung mit neu erhobenen Werten. Ausbruchqualitäten und Risiken gem. sIA 199 | Transfer des geologischen 3D-Modells mit Gebirgskennwerten, Ausbruchqualitäten und Risiken (gem. sIA 199) in BIM Editoren Software. Sämtliche Parameter erhalten Vertrauensintervalle für die Prognose an einem bestimmten Punkt im Modell. | Erstellung Tiefbauprojekt | Übernahme Tiefbauprojekt inkl. geotechnischer Parameter aus BIM | Bemessung Sicherungsmassnahmen und Tunnelausgestaltung | Export geotechnische Bemessung | Weiterverarbeitung und Integration in Tiefbauprojekt | | | |
| | 100% | 20% | 0% | 20% | 20% | 80% | 90% | 0% | 20% | 20% | 0% | 0% | |
| TOOL Standardisierte, strukturierte geologische Datenbank | Geologische 3D-Modellierungs-Software | | Standardisierte, strukturierte geologische Datenbank + geologische 3D-Modellierungs-SW | | Export über GEOL_BIM Schnittstelle ins BIM | BIM Editoren Software | Geotechnische Anwendersoftware | | | BIM Editoren Software | | | |

Abbildung 30 GEOL_BIM Prozess Soll-Ist-Vergleich aus der Antragsphase für das Innosuisse Projekt erstellt

Während der Interviewphase von GEOL_BIM wurde ein Fokus gelegt auf die verwendeten Prozesse und die eingesetzten Tools in den entsprechenden Geologie Büros. Aufbauend auf diesen Informationen sollen weit verbreitete Datenformate für die geometrische Repräsentation und für die beschreibende geologische Information als strukturierte Inputdaten vordefiniert werden. Die entsprechenden Inputdaten werden anschliessend mittels eines Dienstes in entsprechende IFC Dateien geschrieben, die für den Austausch mit den entsprechenden Fachexperten verwendet werden können. Der Fokus liegt hier auf einem Ausschnitt der geologischen Information und nicht auf der Vollständigkeit aus Sicht des Geologen. Zusätzlich soll es auch aus Projektsicht eine Vorgabe geben wie strukturierte Daten in dem Dienst übermittelt werden sollen. Der Informationsfluss resp. die Informationsverarbeitung im Projekt GEOL_BIM folgt prinzipiell dem Ablauf, welcher in der Abbildung 31 gezeigt wird. Der Fokus unseres Projekts liegt dabei auf der «grünen Box» in der Abbildung 31. Die Visualisierung der Produkte werden wir vereinzelt umsetzen und exemplarisch darstellen.

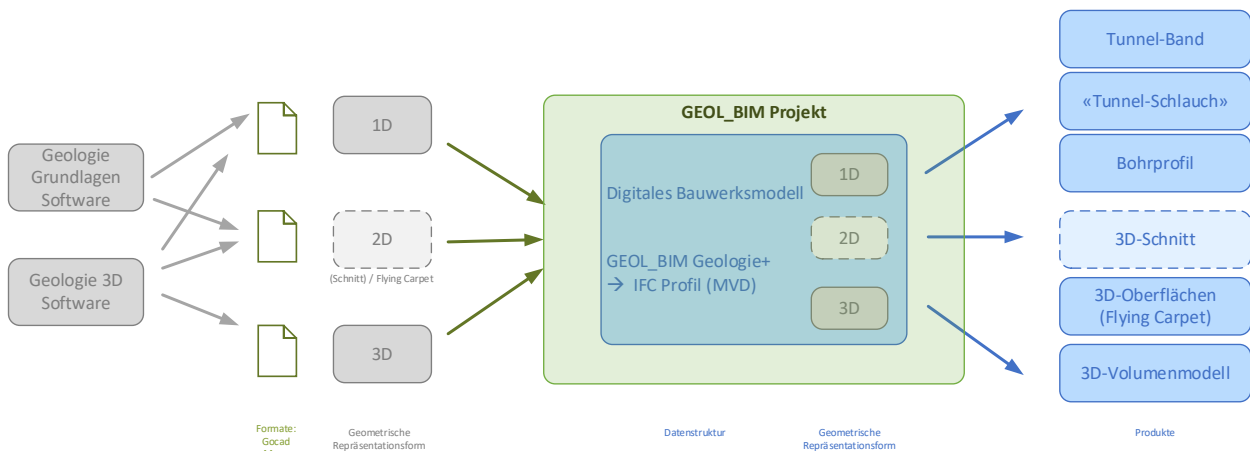


Abbildung 31 Stossrichtung Informationsfluss GEOL_BIM Projekt



Geologische Informationen werden durch Geologen in verschiedenen spezialisierten Software-Produkten erfasst und bearbeitet. Aus diesen Applikationen können sie in unterschiedlichen Formaten und Strukturen (Datenmodellen) exportiert werden. Aus den Exportformaten werden die Daten in das digitale Bauwerksmodell (Fachmodell Geologie) überführt.

Aus dem digitalen Bauwerksmodell (Fachmodell Geologie und weitere Fachmodelle) lassen sich sodann mit unterschiedlichen Applikationen verschiedene «Produkte» (Auswertungen) erzeugen.

In dieser prinzipiellen Betrachtung wird das digitale Bauwerksmodell als reine Informationsbasis betrachtet (d.h. nur die Daten, keine Applikation für deren Bearbeitung/Darstellung/Auswertung). Für das digitale Bauwerksmodell (Fachmodell Geologie) wird ein konzeptuelles Datenmodell entwickelt und beschrieben (Datenmodell GEOL_BIM Geologie+).

Das digitale Bauwerksmodell kann sodann in unterschiedlichen logischen Strukturen oder Formaten implementiert sein. Eine vordergründige logische Struktur zur Abbildung des digitalen Bauwerksmodells ist IFC. Es sind aber auch andere Formate wie eine SQL-Datenbank oder ein GML-Applikationsschema denkbar.

7 Literaturverzeichnis

- AGSi Draft Documentation [WWW Document], 2020. URL https://ags-data-format-wg.gitlab.io/AGSi_Documentation/ (accessed 11.4.20).
- Aldiss, D., Entwisle, D., Terrington, R., 2009. A 3D geological model for the proposed Farringdon underground railway station, central London.
- BAKOM, 2020. Aktionsplan Digitale Schweiz. Bern.
- BIM-Profil-Server [WWW Document], n.d. URL <https://www.crb.ch/Stories/BIM-Profil-Server.html> (accessed 10.24.20).
- Borrmann, A., Amann, J., Chipman, T., Hyvärinen, J., Liebich, T., Muhic, S., Mol, L., Plume, J., Scarponcini, P., 2017. IFC Infra Overall Architecture Project Documentation and Guidelines.
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (Eds.), 2015. Building Information Modeling: technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Brodhag, S., Oesterling, N., 2014. Datenmodell Bohrdaten. Beschreibung des Kernmodells mit Objektkatalog und UML-Modell, Version 2.0.
- buildingSMART InfraRoom Project, 2020. buildingSMART InfraRoom Project Execution Plan IFC Tunnel Phase 1 Requirements analysis.
- buildingSMART International, 2021. RoadMap IFC Rail. Steering Committee Workshop, Richard Kelly - Operations Director.
- buildingSmart International, 2020a. Technical RoadMap buildingSMART - Getting ready for the future.
- buildingSmart International, 2020b. IFC-Tunnel Project - Report WP2: Requirements analysis report (RAR).
- Bundesgesetz über Geoinformation, 2007.
- Casanova, F., 2019. BIM im Untertagbau: Modellbasierte Ausschreibung. (Masterthesis). ETH, Zürich.
- Chadwick, N., 2019. The AGS data format, Geotechnical Data Standardization Workshop, 22-24 January 2019, Paris, France.
- Chipman, T., Liebich, T., Weise, M., 2016. mvdXML specification 1.1, buildingSmart International.
- Dall'Agnolo, S., Volken, S., 2016. Bedeutung und Verbreitung von 3D-Geodaten im Planungsprozess aktueller Grossbauprojekte. (Thesis CAS 3D GEO). Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz.
- Dematteis, A., Soldo, L., 2015. The geological and geotechnical design model in tunnel design: estimation of its reliability through the R-Index. Georisk Assess. Manag. Risk Eng. Syst. Geohazards 9, 1–11. <https://doi.org/10.1080/17499518.2015.1104547>
- DRAFT prEN 17412 Building Information Modelling - Level of Information Need - Concepts and principles, 2019. , CEN European Committee for Standardization.
- Glossar Bauen Digital Schweiz [WWW Document], 2021. . Gloss. Bau. Digit. Schweiz. URL <https://bauen-digital.ch/de/produkte/glossar/> (accessed 11.12.21).
- Harrison, S., 2021. Interview Harrison Stewart.
- Hochuli, S., Schildknecht, L., 2020. Koordinatensysteme in IFC - Platzierung und Georeferenzierung.
- Huber, M., 2020. Übersicht und Einleitung zur BIM-Methode, Vorlesungsunterlage CAS GeoBIM 2020.
- Huber, S., 2018. Geometrien in BIM und GIS: Vergleich und Integration, Literaturrecherche MSc Geomatics FHNW Muttenz.
- iLF, 2020. Informationsmanagement GIS & BIM [WWW Document]. URL <https://www.ilf.com/de/leistungen/zusaetzliche-leistungen/informationsmanagement-und-gis/> (accessed 12.21.20).
- INSPIRE, 2013. INSPIRE D2.8.II.4 Data Specification on Geology – Technical Guidelines.
- ISO, 2016. ISO 29481-1 Building information models — Information delivery manual — Part 1: Methodology and format, ISO.
- ISO, 2011. ISO 19156:2011 Geographic information - Observations and measurements.
- Klonner, M., Mathis, L., 2020. BIM2GISInfra.
- Kumar, K., Labetski, A., Otori, K.A., Ledoux, H., Stoter, J., 2019. Harmonising the OGC Standards for the Built Environment: A CityGML Extension for LandInfra. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 8, 246. <https://doi.org/10.3390/ijgi8060246>
- Mäntylä, M., 1988. An Introduction To Solid Modeling. Computer Science Press.
- OGC, 2020. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard.
- OGC, 2017a. OGC Geoscience Markup Language 4.1 (GeoSciML).
- OGC, 2017b. OGC WaterML 2: Part 4 – GroundWaterML 2 (GWML2).



- OGC, 2016. Land and Infrastructure Conceptual Model Standard (LandInfra).
- Sauter, J., Borio, L., Henn, C., 2020. Der Brüttener Tunnel: Ein Grossprojekt mit BIM.
- SIA 2051, 2017. SIA 2051:2017 Building Information Modelling (BIM) - Grundlagen zur Anwendung der BIM-Methode.
- SN EN ISO, 2016. SN EN ISO 16739 Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauindustrie und im Anlagenmanagement, SN EN ISO.
- swisstopo, 2017. Datenmodell Geologie. Beschreibung im UML-Format und Objektkatalog, Version 3.0.
- Tacher, L., Pomian-Srzednicki, I., Parriaux, A., 2006. Geological uncertainties associated with 3-D sub-surface models. *Comput. Geosci.* 32, 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.06.010>
- Use Case Management [WWW Document], n.d. URL <https://ucm.buildingsmart.org/> (accessed 10.24.20).
- USGS, 2004. NADM Conceptual Model 1.0— A Conceptual Model for Geologic Map Information.
- USIBD Version 2.0, 2016. USIBD Level of Accuracy - LoA Specification Guide.
- Weil, J., 2020. Digital ground models in tunnelling – Status, chances and risks. *Geomech. Tunnelbau* 13, 221–236. <https://doi.org/10.1002/geot.201900078>
- Wu, L., 2004. Topological relations embodied in a generalized tri-prism (GTP) model for a 3D geoscience modeling system. *Comput. Geosci.* 30, 405–418. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2003.06.005>



Anhang A Glossar

| Begriff | Erläuterung |
|----------------|---|
| AGS | Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists |
| GML | Geography Markup Language (OGC und ISO 19136) |
| INTERLIS | Datenmodellierungssprache und Transferformat. Schweizer Norm SN 612031. |
| MVD | Model View Definition |
| OGC | Open Geospatial Consortium |
| Simple Feature | Spezifikation von OGC für einfache Geometrietypen |
| | |

Anhang B Beschreibung Datenmodelle

1. IFC 4x3

Mit der Version 4x3 von IFC, welche im Jahr 2021 publiziert werden soll, werden erstmals Strukturen zur expliziten Abbildung der Geologie resp. der Geotechnik ins Datenmodell aufgenommen. Es wird dazu eine neue Spezialisierung des `IfcElement` als `IfcGeotechnicalElement` eingeführt. Die geotechnischen Elemente stehen damit auf gleicher Ebene wie die Bauwerkselemente (`IfcBuiltElement`), geografische Elemente oder auch Transport Elemente. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Einordnung der neuen `GeotechnicalElemente` in die Hierarchie von IFC in der Übersicht.

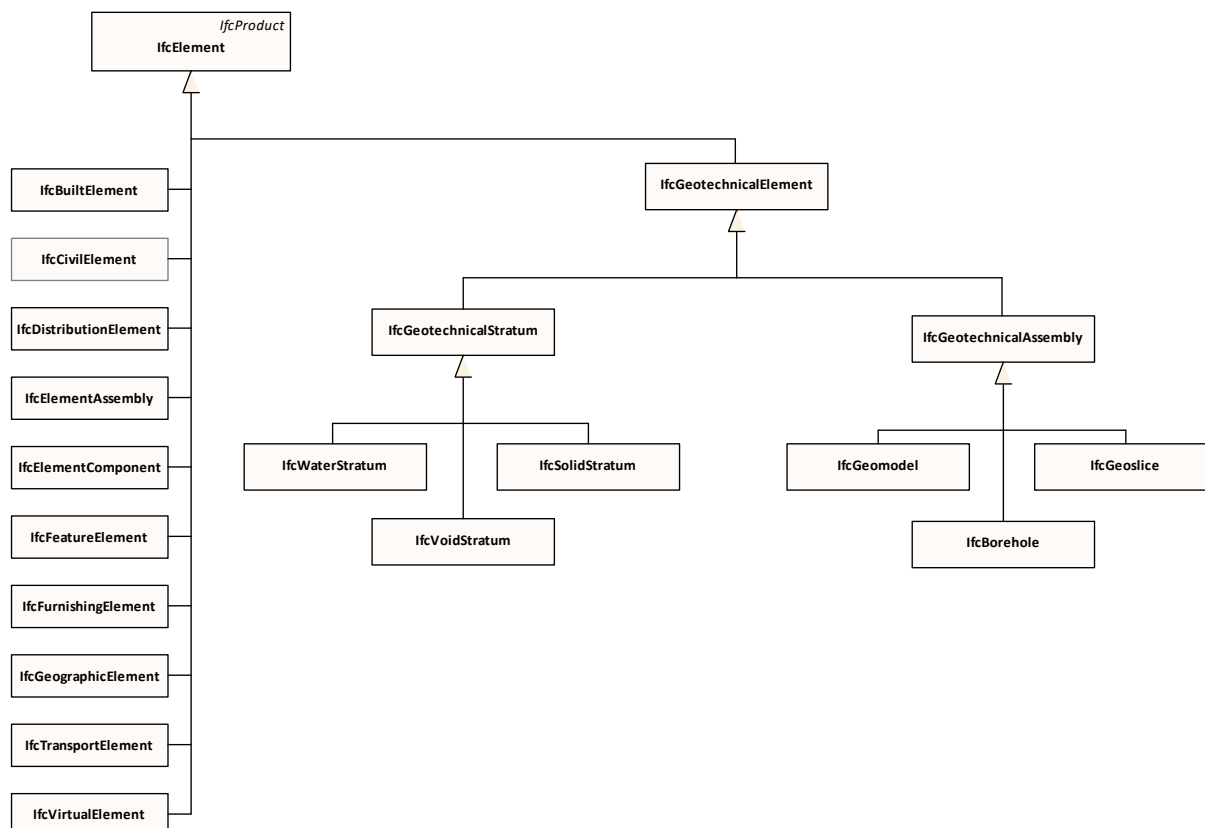


Abbildung 32: Klassendiagramm IFC 4x3, Übersicht `GeotechnicalElement`

Bei den geotechnischen Elementen wird unterschieden zwischen `Stratum` (`IfcGeotechnicalStratum`) sowie geotechnischen Anordnungen (`IfcGeotechnicalAssembly`). Mit drei unterschiedlichen Arten von `Stratum` (`Solid`, `Water`, `Void`) können die natürlichen geologischen und geotechnischen Phänomene (geologischen Konzepte) abgebildet werden. Ein `Stratum` kann über verschiedene geometrische Repräsentationen verfügen. Jede dieser Repräsentationen kann in eine `Assembly` eingebunden werden. In einer `Assembly` werden also unterschiedliche `Stratum` (sowie auch technische Elemente) eingebunden und bilden dort entweder eine 3D-Repräsentation (`IfcGeomodel`), eine Schnittdarstellung (`IfcGeoslice`) oder ein eindimensionales «Bohr-Profil» (`IfcBorehole`¹) der Geologie ab. Abbildung 33 veranschaulicht diese Zusammenhänge in einem «interpretierten» Klassendiagramm. Die dargestellten Assoziationen zwischen den Klassen sind in der aktuellen Dokumentation zu IFC 4x3 nicht explizit definiert. Sie stellen eine eigene Interpretation zum Verständnis des Datenmodells dar.

¹ Der Begriff `IfcBorehole(Assembly)` ist etwas irreführend. Es geht einerseits um das Bohrloch selbst (siehe zugehörige PSet-Definitionen), aber zusätzlich auch um die 1D-Darstellung «entlang» eines Bohrlochs (lineare Referenzierung) von `Stratum`.

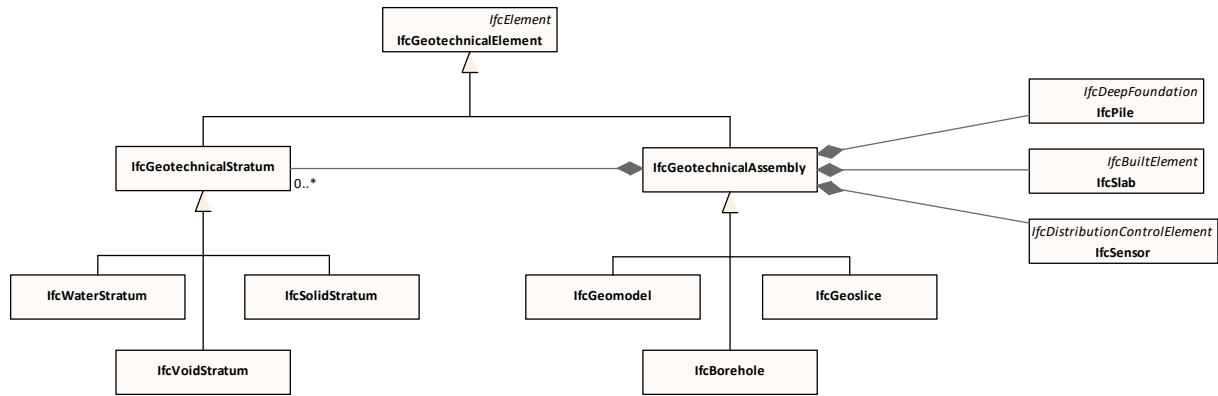


Abbildung 33: Klassendiagramm IFC 4x3, GeotechnicalElement (interpretiert)

Dieses Konzept der Zusammenführung von geologischen Entitäten in eine Darstellung wurde auch im Datenmodell von GeoSciML sowie auch in etwas vereinfachter Form in AGSi verfolgt. Bezüglich dieses Konzepts sind sich diese Datenmodelle relativ ähnlich.

Wie auch in (buildingSmart International, 2020b, p. 72) argumentiert wird, stellt diese Modellversion nur sehr rudimentäre Strukturen zur Abbildung der Geologie (eigentlich Geotechnik) dar. Es ist unklar, ob mit *IfcGeotechnicalStratum* auch geologische Einheiten abgebildet werden sollen und können. Falls nicht, fehlen die Strukturen zur Abbildung der Geologie vollständig. Zudem sieht das Datenmodell keine Strukturen zur Abbildung von Rohdaten resp. Messungen und Observationen vor. Die Arbeitsgruppe von IFC-Tunnel stellt denn auch fest, dass sie für die Belange des Tunnels unbedingt Erweiterungen zu diesem Modell benötigen (buildingSmart International, 2020b, p. 73). Es wurde auch eine Vergleichsmatrix erstellt, in welcher die Anforderungen von IFC-Tunnel mit den vorhandenen Datenmodellen von IFC 4x3 sowie auch GeoSciML dargestellt sind (p. 74f).

2. AGS

Im Jahr 1991 richtete die AGS (Association of Geotechnical & Geoenvironmental Specialists) eine Methode zur Übertragung von Daten zwischen Branchenorganisationen ein. Dieses ist vielen einfach als "AGS-Format" oder "AGS-Datenformat" bekannt und bietet eine Standardmethode für die Übertragung von Bodenuntersuchungs-, Laboruntersuchungs- und Überwachungsdaten zwischen den beteiligten Parteien eines Projekts, das geotechnische oder geoökologische Elemente beinhaltet. *.ags ist ein Textdateiformat, das für die Übertragung von Daten zwischen Organisationen in der Standortermittlungsbranche verwendet wird, unabhängig von Software, Hardware oder Betriebssystem.

Typischerweise werden die Daten von einem Auftragnehmer für Bodenuntersuchungen, einer Labor- oder Vorort-Bohrmannschaft oder Technikern erzeugt und dann an alle Mitglieder des Projektteams weitergeleitet. Das Projektteam verwendet die Daten dann für die Planung, ohne dass eine zeitaufwändige und teure Neueingabe der Daten mit den damit verbundenen potenziellen Fehlern oder unvollständigen Dateneingaben erforderlich ist. Nach Abschluss des Projekts lassen sich die Daten im AGS-Format problemlos archivieren, so dass sie zu einem späteren Zeitpunkt abgerufen werden können, ohne dass Kenntnisse der Software erforderlich sind, mit der sie erzeugt wurden.

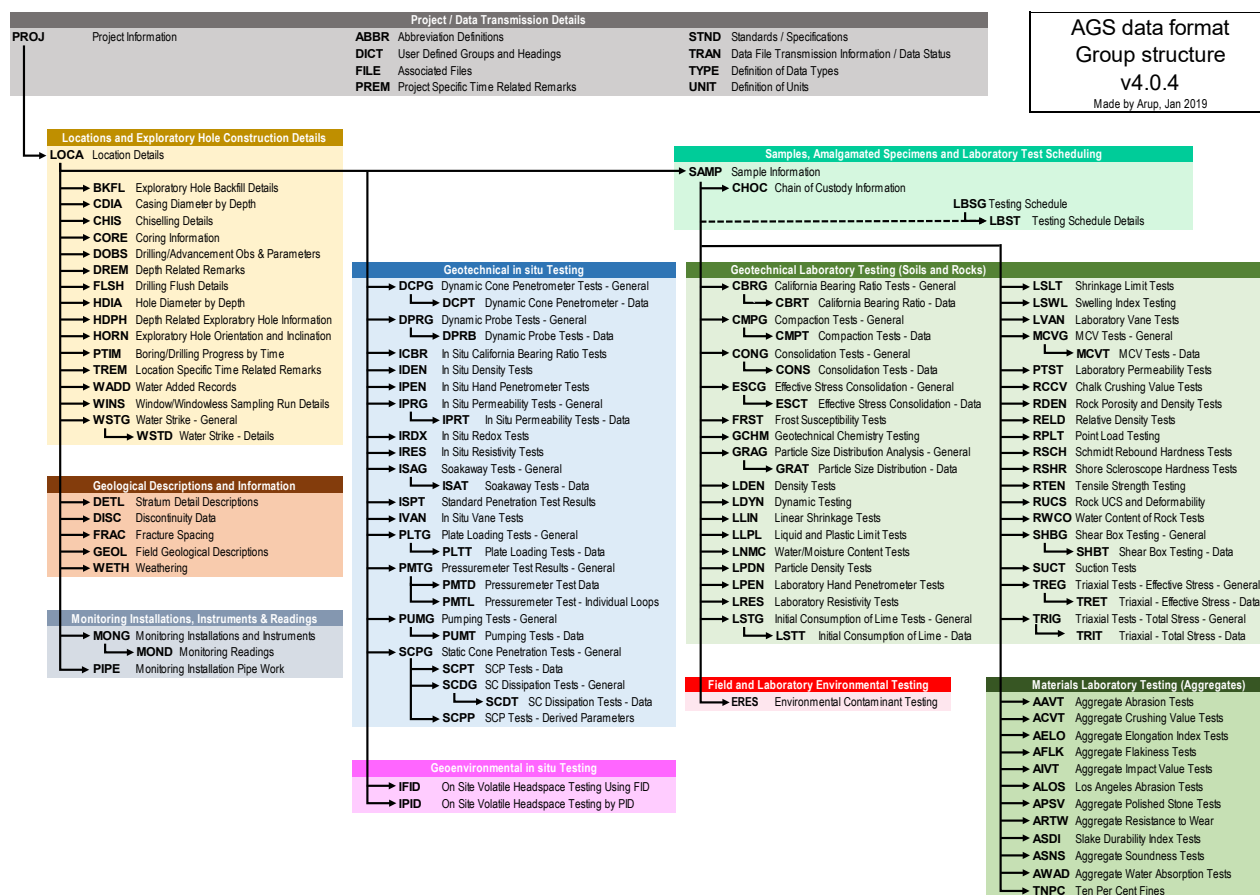


Abbildung 35: AGS Datenformat version 4.0.4 (Chadwick, 2019)

3. AGSi

«Association of Geotechnical & Geoenvironmental Specialists transfer format for ground model and interpreted data (AGSi)»

AGSi ist ein Transfermodell für geologische Modelle und interpretierte geologische Daten, welches von der «Association of Geotechnical & Geoenvironmental Specialists» AGS entwickelt wird. Derzeit ist das Modell als Entwurf, der aber noch in Bearbeitung ist, öffentlich publiziert unter https://ags-data-format-wg.gitlab.io/AGSi_Documentation/ ("AGSi Draft," 2020). Die nachfolgenden Ausführungen und Erläuterungen zum Datenmodell basieren auf dieser Dokumentation.

Einbettung

Das Transfermodell AGSi ist eine fachliche Erweiterung zum etablierten Transfermodell AGS. Während AGS den Austausch von geologischen Primärdaten (factual data) ermöglicht, ist AGSi für den Austausch von geologischen Modellen und interpretierten Daten vorgesehen. Es ist nicht für Primärdaten ausgelegt. Für die Neuentwicklung von AGSi wurden im Vergleich zum bestehenden Transferformat AGS neue Methoden und Technologien verwendet. Als Transferformat wird JSON verwendet, die Datenmodellierung folgt objektorientierten Ansätzen. Dies führt dazu, dass AGSi und AGS aktuell nicht ineinander integrierbar sind. Es ist jedoch beabsichtigt, auch das bestehende Transferformat AGS komplett zu überarbeiten und auf die neuen Methoden und Technologien zu migrieren, so dass die beiden Transfermodelle kompatibel zueinander sein werden. Abbildung 36 zeigt die geplante «Familie» der AGS Schemas auf, wobei es gemeinsam definierte Kopfinformationen geben soll, die mit AGSi eingeführt werden. Alle Schemas zusammen sollen dann einen einheitlichen Transfer aller geologischen Themen ermöglichen.

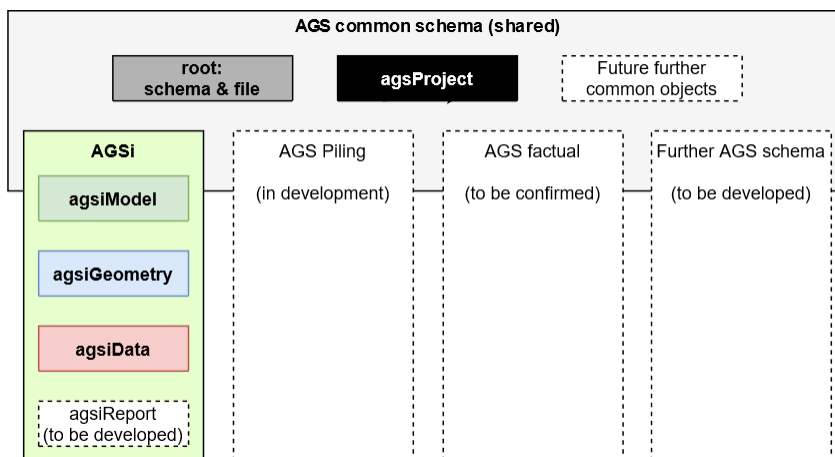


Abbildung 36: Übersicht AGS Schema (Vision)

Datenstruktur

Das Datenmodell ist ganz auf den Transfer ausgerichtet. Es wird ein Wurzelement definiert (agsRoot), in welchem alle Objekte eines Datentransfer enthalten sind.

Es werden vier Hauptelemente unterschieden (siehe auch Abbildung 37):

- Project
Enthält allgemeine, übergeordnete Informationen zum Projekt, wie Koordinatensysteme und Dokumente, die referenziert werden können.
- Model
Ein Model ist eine digitale geometrische Repräsentation des Untergrunds (2D oder 3D). Ein Model besteht aus Modellelementen, welche die eigentlichen Inhalte bilden. Die Modellelemente stellen also z.B. eine geologische Schicht im 3D Modell oder in einem Schnitt dar. Jedes Modellelement verfügt über eine geometrische Repräsentation sowie optional über «Daten». Die Geometrie und Daten eines Modellelements werden unabhängig vom Modellelement in separaten Strukturen gespeichert und lediglich über Referenzen verknüpft. Damit wird ermöglicht, dass eine Geometrie von unterschiedlichen Modellelementen mehrfach genutzt werden kann.
- Geometry
Im Bereich Geometry werden die Geometrien aller Modellelemente gespeichert. Es bestehen

verschiedene Strukturen zur unterschiedlichen geometrischen Abbildung, siehe separate Diskussion weiter unten.

– Data

Im Bereich Data werden die geologischen Eigenschaften aller Modellelemente gespeichert. Es wird dabei unterschieden zwischen «DataProperty» und «DataParameter». Eine Property ist ein beobachteter oder gemessener Wert. Als Parameter werden interpretierte Werte bezeichnet.

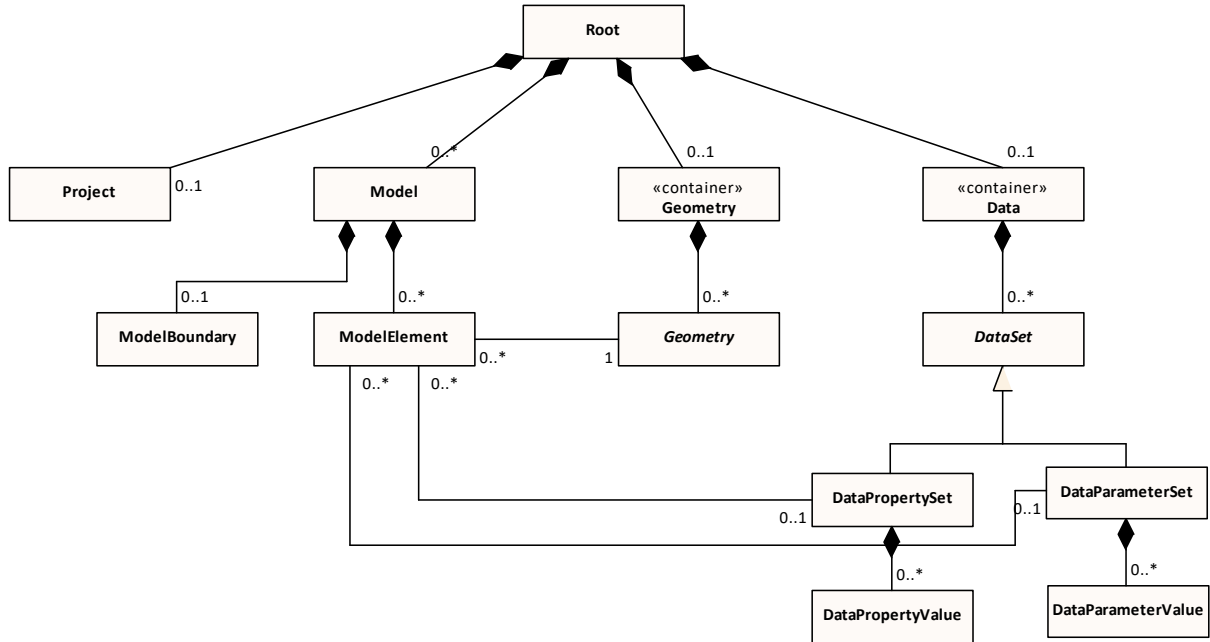


Abbildung 37: Klassendiagramm AGSi (Übersicht)

Die geologischen Daten (DataProperty, DataParameter) können über generische Strukturen transferiert werden, d.h. die Datenstruktur definiert keine konkreten geologischen Eigenschaften. Die konkreten geologischen Eigenschaften können als DataCode im Transfer definiert werden und dann bei den einzelnen Datenwerten referenziert werden.

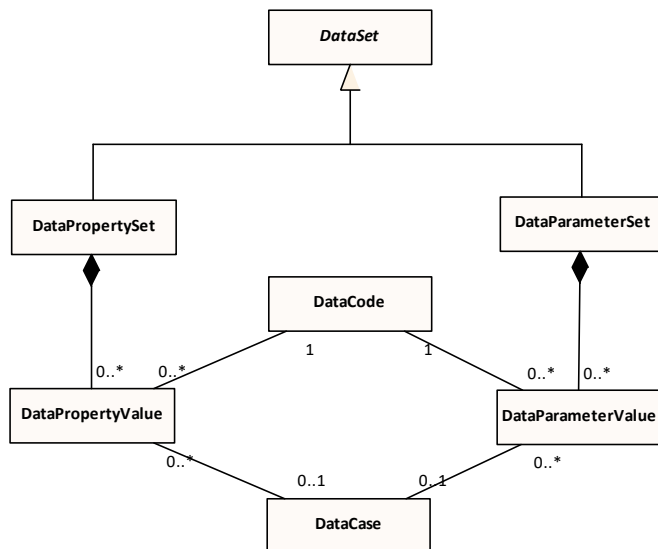


Abbildung 38: Klassendiagramm AGSi Data

Definitionen aus ("AGSi Draft," 2020):

Model/ModelElement: The Model group (agsiModel) is used to define and assemble geometry based models. These models are built up from elements which are linked to geometry objects stored in the Geometry (agsiGeometry) group. Model elements may also be linked to data stored in the Data (agsiData) group.

Property: A value reported from an observation or test (directly measured, or based on interpreted measurement), as typically reported in a factual GI report. Properties are likely to be (Eurocode 7) measured or derived values.

Parameter: An interpreted single value, or a profile of values related to an independent variable, that is to be used in design and/or analysis. Parameters are most likely to be (Eurocode 7) characteristic values.

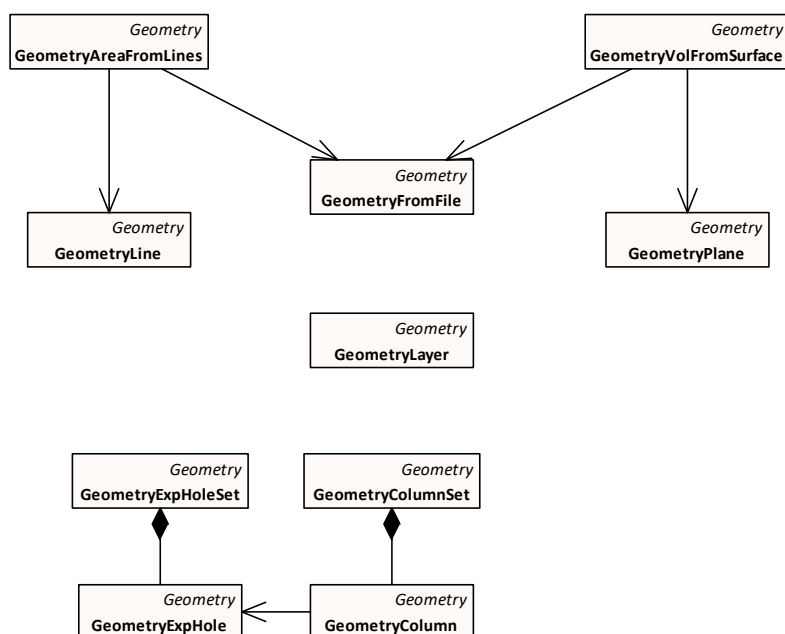


Abbildung 39: Klassendiagramm AGSi Geometrien

Erwägungen

Das Datenmodell folgt objektorientierten Grundsätzen. Die Verwendung von JSON als Transferformat wurde offensichtlich als Rahmenbedingung definiert. Das definierte Datenmodell wurde auf dieses Transferformat ausgerichtet, was sich insbesondere an der Verwendung hierarchischer Strukturen zeigt. Neben diesen werden aber auch relationale Strukturen mit Verweisen zwischen den Elementen genutzt.

Die Möglichkeiten zur Abbildung der Geometrien scheinen etwas limitiert zu sein. Zudem werden keine etablierten Standards genutzt, die Geometrien zu beschreiben (z.B. GML, GeoJSON, o.ä.). Für ganz primitive Geometrietypen werden die Datenstrukturen definiert (GeometryAreaFromLines, GeometryVolFromSurface). Es wird zudem mit GeometryFromFile die Möglichkeit gegeben, eine Geometrie in einer externen Datei, z.B. CAD-Datei, zu referenzieren und für die geometrische Repräsentation zu verwenden. Damit werden scheinbar alle Möglichkeiten der geometrischen Repräsentation geöffnet. Jedoch dürfte ein solcher Ansatz kaum praktikabel sein und nur unter sehr spezifischen Abmachungen nutzbar sein.

4. GeoSciML (GSML)

GeoSciML (Geoscience Markup Language) ist ein von OGC publiziertes Datenmodell, das den Fachbereich Geologie beschreibt, inklusive der zugehörigen Probenahmen («earth materials, geological units and stratigraphy, geological time, geological structures, geomorphology, geochemistry.... boreholes and geological specimens», (OGC, 2017a, p. 1)). Verwandte Bereiche wie die Hydrogeologie sind ausgeklammert, da dafür spezialisierte Datenmodelle verfügbar sind, z.B. (OGC, 2017b).

GSML definiert ein auf GML basierendes Transfermodell. Dieses logische Modell ist zu weiten Teilen eine Implementierung des North American Data Model (NADM). NADM (siehe (USGS, 2004)) ist ein systemneutrales konzeptuelles Datenmodell, welches geologische Konzepte und deren Beziehungen beschreibt (OGC, 2017a, p. 17). Für den Bereich der Messdaten implementiert GSML zudem die Konzepte aus (ISO, 2011), «Observations and Measurements». Abbildung 40 veranschaulicht diese Zusammenhänge.

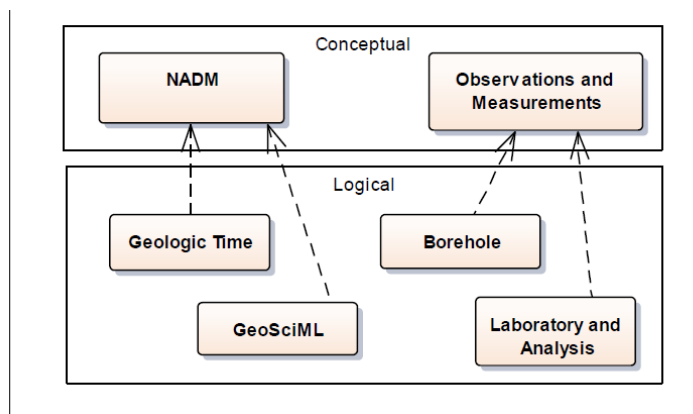


Figure 1 - Model lineage. Geological entities are logical implementations of NADM while sampling and observations entities are implementations of O&M (ISO19156).

Abbildung 40: GeoSciML: Grundlagen und Abhängigkeiten (OGC-GeoSciML, 2017)

Das Datenmodell ist in sechs Pakete unterteilt, wovon im «Basic»-Paket die zentralen Klassen zur Beschreibung der Geologie definiert sind, siehe Abbildung 41.

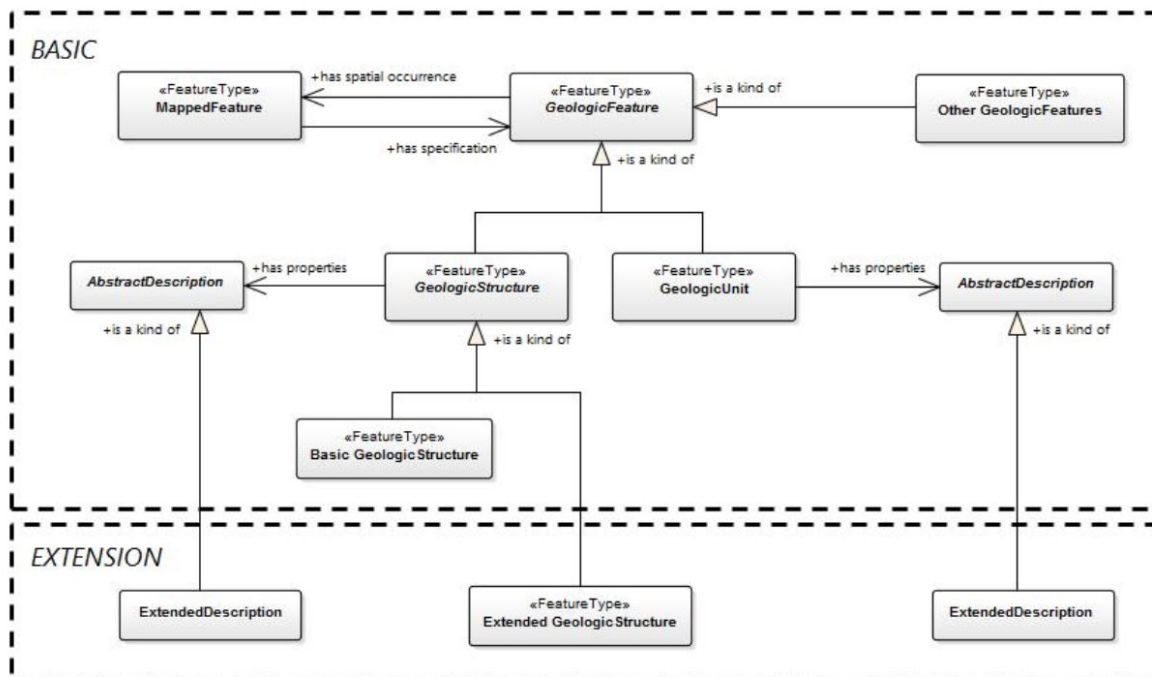


Abbildung 41: Klassendiagramm GeoSciML, High-Level Model (OGC, 2017)

Ein «GeologicFeature» repräsentiert sehr allgemein ein geologisches Konzept. Im Wesentlichen wird dabei zwischen geologischen Einheiten und geologischen Strukturen unterschieden (zudem noch geologische Ereignisse und geomorphologische Einheiten, nicht dargestellt in Abbildung oben). Mit diesen Klassen werden abstrakte Gefässe definiert, mit welchen quasi beliebige, konkrete geologische Einheiten und Strukturen in beliebiger Granularität und Abhängigkeit abgebildet werden können. Das Datenmodell definiert einige Attribute zur Beschreibung dieser Objekte, wobei immer auf separat definierbare Klassifikationssysteme verwiesen werden kann.

Jedes geologische Feature kann über ein oder mehrere «MappedFeature» verfügen. Dabei handelt es sich um geometrische Repräsentationen in einer «Karte». D.h. ein geologisches Feature kann in unterschiedlichen «Karten» mit unterschiedlichen Geometrien abgebildet werden. Die konkrete geometrische Repräsentation ist durch das Datenmodell weitgehend offen gelassen. Als Geometrietyp wird ein allgemeiner Geometrietyp definiert, mit welchem beliebige Geometrietypen gemäss der Spezifikation von GML genutzt werden können. Es können demnach 1D, 2D und auch 3D Geometrien (inkl. Körper) verwendet werden, siehe auch (OGC, 2017a, pp. 33, MappedFeature.Shape).

Insbesondere mit dem «Extension» Paket erlaubt das Datenmodell eine sehr weitgehende, strukturierte Abbildung der Geologie, die allerdings auch recht komplex ist.

Mit dem Paket «Borehole» werden relativ einfache Strukturen zur Abbildung von Bohrlöchern mit einigen Angaben zum Bohrloch selbst sowie zu den Bohrloch-Intervallen (Schichten) definiert. Das Datenmodell zu den Bohrlöchern ist bewusst einfach gehalten das später allenfalls durch ein spezifisches Datenmodell ersetzt werden soll, (OGC, 2017a, p. 18).

Das Bohrloch kann als Liniengeometrie repräsentiert werden und damit ein lineares Bezugssystem definieren, auf welches sich die Bohrloch-Intervalle beziehen und somit räumlich positioniert und dargestellt werden können. Zudem kann jedes Bohrloch-Intervall mit einem geologischen Feature verknüpft werden, womit der Bezug zur Geologie hergestellt wird, siehe Abbildung 42.

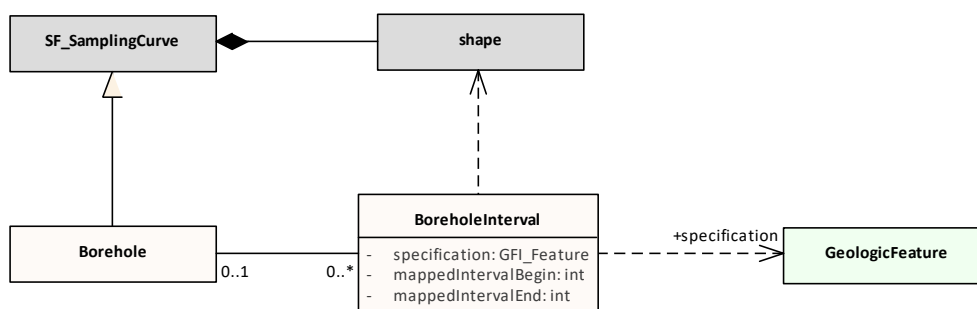


Abbildung 42: Klassendiagramm GeoSciML Borehole, vereinfacht

Die Strukturen zur Abbildung von Messdaten werden in GSML sehr direkt vom Datenmodell aus (ISO, 2011) abgeleitet. Abbildung 43 zeigt einen vereinfachten, auf wenige Aspekte fokussierten Ausschnitt zur Abbildung der Messdaten (hergeleitet aus einer Kombination von (ISO, 2011, p. 10) sowie (OGC, 2017a, p. 139)).

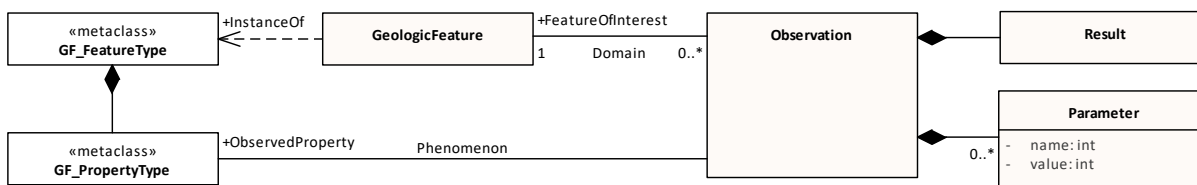


Abbildung 43: Klassendiagramm GeoSciML LaboratoryAnalysis, vereinfacht

In einer «Beobachtung» (Observation) werden Messungen oder eben Beobachtungen abgebildet. Der eigentliche Beobachtungswert wird als «Result» erfasst. Zu einer Observation können noch beschreibende Parameter definiert werden, wie z.B. die Umgebungstemperatur, wenn diese für die Messung relevant ist (Parameter sind nicht die eigentlichen Messwerte!).

Für jede Observation wird auch das «FeatureOfInterest» angegeben. Im Kontext der Geologie ist dies in der Regel ein GeologicFeature. Zudem wird auch die «ObservedProperty» definiert, welche der beobachtete Wert beschreibt. Im Datenmodell von GSML werden keine Aussagen zu den möglichen Property eines Geologic Feature gemacht, diese sind nicht explizit definiert. Aus der allgemeinen Definition gemäss (ISO, 2011) lässt sich aber ableiten, dass für GeologicFeature auch Property's definiert werden könnten.

5. INSPIRE GE

In der Initiative INSPIRE wurden Datenmodelle für die Geologie entwickelt. Die Datenmodelle umfassen die Bereiche Geology, Geophysics und Hydrogeology und werden in Kurzform als «INSPIRE GE» bezeichnet.

Das Datenmodell INSPIRE GE (Geology) wurde auf Basis von GeoSciML, Version 3.1 entwickelt. Gegenüber GeoSciML wurden Vereinfachungen vorgenommen und nur für INSPIRE relevante Themen übernommen. Die Grundprinzipien und Schlüsselemente wurden jedoch beibehalten (INSPIRE, 2013, p. 286), so dass hier auf eine vertiefere Beschreibung verzichtet werden kann. Die Datenmodelle sind in (INSPIRE, 2013) ausführlich beschrieben.

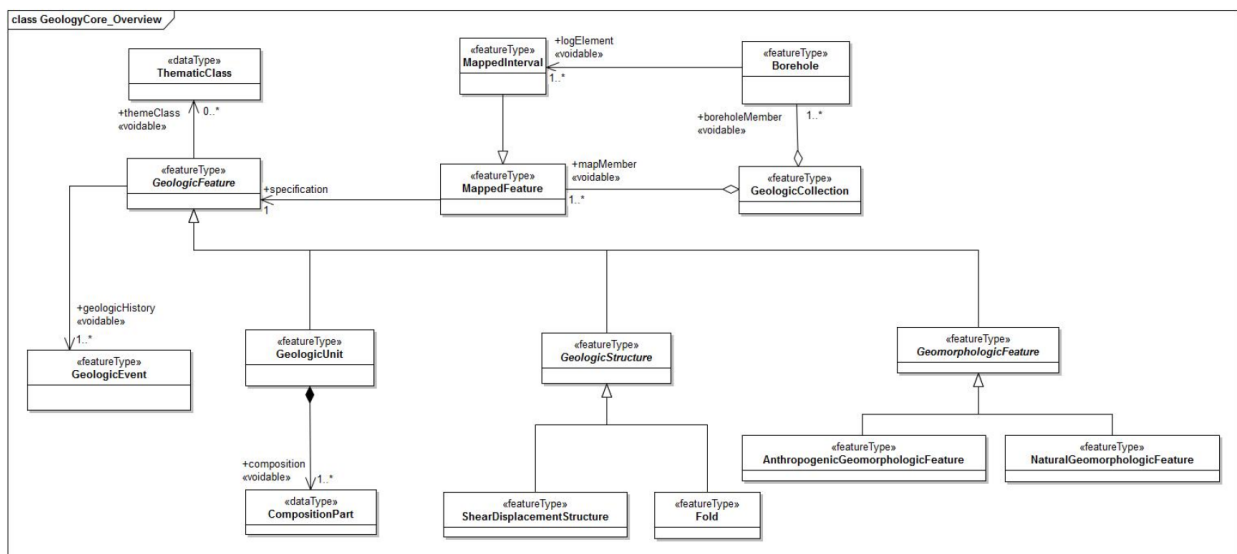


Abbildung 44: Klassendiagramm INSPIRE Geology, Übersicht (INSPIRE, 2013)

Auch das INSPIRE Modell definiert als Codierungssprache GML. Im Gegensatz zu GeoSciML werden jedoch die Geometrietypen etwas eingeschränkt, da explizit nur Simple Feature Typen erlaubt sind, d.h. maximal 2.5D aber keine 3D Geometrien (INSPIRE, 2013, pp. 18, Geometry Representation Requirements).

Die Abbildung von Messdaten erfolgt beim INSPIRE-Modell im Submodell Geophysics. Wie auch bei GeoSciML wird dazu sehr stark auf die Konzepte von (ISO, 2011) aufgesetzt. Wie Abbildung 45 zeigt, werden im INSPIRE-Modell jedoch noch einige Klassen explizit ausmodelliert, die sich auf die Metaklassen SF_SpatialSamplingFeature beziehen. Mit GeophMeasurement können geophysikalische Messungen resp. Beobachtungen abgebildet werden. Dabei wird zusätzlich noch zwischen den räumlichen Ausprägungen der Messungen unterschieden (GeophStation/Punkt, GeophProfile/Linien, GeophSwath/Flächen).

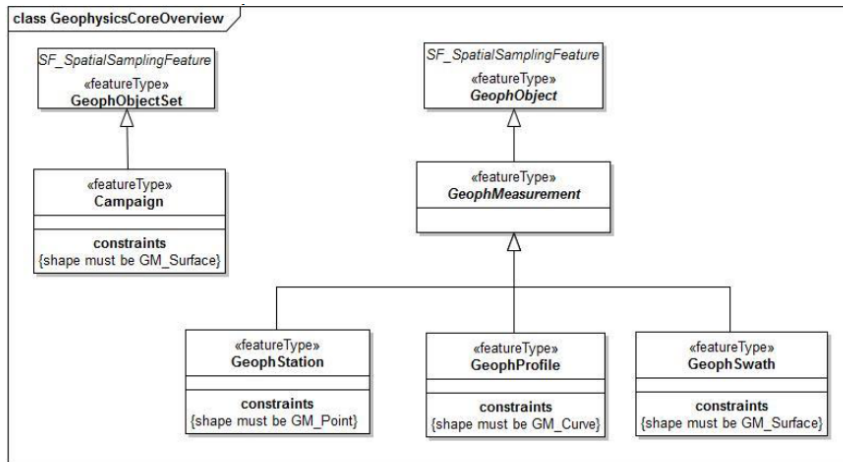


Figure 15 – UML class diagram: Overview of the Geophysics application schema

Abbildung 45: Klassendiagramm INSPIRE Geophysics (INSPIRE, 2013)

Für das Submodell Geophysics sind in INSPIRE auch noch Erweiterungen definiert, welche zusätzliche Strukturen zur Abbildung von Messungen bereitstellen. Insbesondere wird auch ermöglicht, dass die geophysikalischen Messwerte auch in interpretierter Form abgebildet werden können. Dazu wird die Klasse GeophModel verwendet, Details siehe (INSPIRE, 2013, p. 288).

6. Datenmodell Geologie

Das «Datenmodell Geologie» der swisstopo hat zum Ziel, schweizweit einheitliche geologische Vektordatensätze zu gewährleisten (swisstopo, 2017, p. 1). Explizit genannte Anwendungsfälle sind die blattschnittfreie GIS-Analyse sowie auch die Produktion von gedruckten Karten.

Im Datenmodell werden rund 40 Fachklassen definiert, die in 8 geologische Themen unterteilt sind (siehe Abbildung 47). Für die einzelnen Klassen sind jeweils einige Attribute definiert, für deren Werte auch auf Klassifikationssysteme verwiesen wird, insbesondere auf lithostratigraphische, lithologische, chronostratigraphische und tektonische Einheiten. Die Klassifikationen sind in der Modelldokumentation vollständig enthalten.

Das Datenmodell ist stark planorientiert und unterstützt nur 2D-Geometrien für Punkte, Linien und Flächen. Die starke Planorientierung ist auch in der Struktur des Datenmodells erkennbar, indem jede Fachklasse eine (lose) Referenz auf ein «Mapsheet» hat, siehe auch Abbildung 46. Ein Mapsheet repräsentiert eine Karte. Im INTERLIS-Modell ist diese Klasse jedoch gar nicht modelliert, sondern wird nur durch schwach strukturierte «Metadaten» vereinfacht abgebildet.

Zwischen den Fachklassen existieren keine fachlichen Beziehungen.

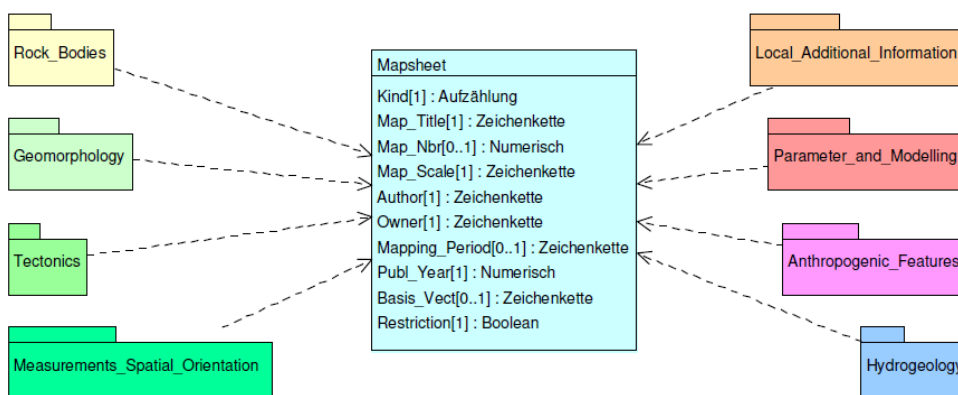


Abbildung 46: Datenmodell Geologie, Mapsheet (Quelle: swisstopo)



| Tehma | Klasse | Geometriotyp | | |
|------------------------------|--|--------------|--------|-------------|
| | | Point PT | Line L | Polygon PLG |
| Rock Bodies | | | | |
| | Lithostratigraphic_Units (ABSTRACT) | | | |
| | Unconsolidated_Deposits | x | | |
| | Unconsolidated_Deposits | | | x |
| | Bedrock | | | x |
| Geomorphology | | | | |
| | Instability_Structures | x | x | |
| | Instabilities_within_Unconsolidated_Deposits | | | x |
| | Instabilities_within_Bedrock | | | x |
| | Glacial_Structures | x | | |
| | Glacial_and_Periglacial_Structures | | x | |
| | Glacial_Structures | | | x |
| | Erosional_Structures | x | x | |
| | Karstic_Structures | x | | x |
| | Alluvial_and_Lacustrine_Structures | | x | |
| Tectonics | | | | |
| | Deformation_Structures | x | x | x |
| | Tectonic_Boundaries | | x | |
| Measurements | Spatial Orientation | | | |
| | Lithostratigraphic_Unit (ABSTRACT) | | | |
| | Folds | x | | |
| | Lineation | x | | |
| | Planar_Structures | x | | |
| Local Additional Information | | | | |
| | Lithostratigraphic_Unit (ABSTRACT) | | | |
| | Anomalies | x | | |
| | Fossils | x | | |
| | Indication_of_Resources | x | | |
| | Mineralised_Zone | | x | |
| | Sedimentary_Structures | x | | |
| | Type_Localities | x | | |
| | Prominent_Lithological_Features | | x | |
| | Miscellaneous | x | | |
| | Geological_Outlines | | x | |
| Parameter and Modelling | | | | |
| | Lithostratigraphic_Unit (ABSTRACT) | | | |
| | Slope_Bedrock | x | | |
| | Contour_Lines_Bedrock | | x | |
| | Modelled_Water_Table | x | | |
| | Contour_Lines_Hydro | | x | |
| Anthropogenic Features | | | | |
| | Archaeology | x | x | x |
| | Exploitation_Geomaterials | x | x | x |
| | Boreholes | x | | |
| | Artificial_Surface_Modifications | | | x |
| Hydrogeology | | | | |
| | Construction | x | x | |
| | Palaeohydrology | | x | |
| | Subsurface_Water | | x | |
| | Surface_Water | x | x | x |

Abbildung 47: Klassen des Datenmodells Geologie

7. Datenmodell Bohrdaten

Das «Datenmodell Bohrdaten» der Swisstopo ist eine Empfehlung zur Strukturierung digitaler Bohrdaten. Es ermöglicht die Beschreibung von Bohrungen, Sondierungen und Aufschlüssen, die künstlich entstanden sind und eine eindimensionale (linienförmige) Darstellung des Untergrundes wiedergeben (Brodhag and Oesterling, 2014, p. i).

Das definierte und dokumentierte Datenmodell beschreibt nur einige Stammdaten zur Bohrung. Die Beschreibung des mit einer Bohrung analysierten Untergrunds wird in separate Module ausgelagert (Geology, Hydrogeology, Instrumentation etc.). Diese Module sind jedoch zur Zeit noch nicht definiert. Abbildung 48 zeigt das komplette Datenmodell Bohrdaten gemäss (Brodhag and Oesterling, 2014).

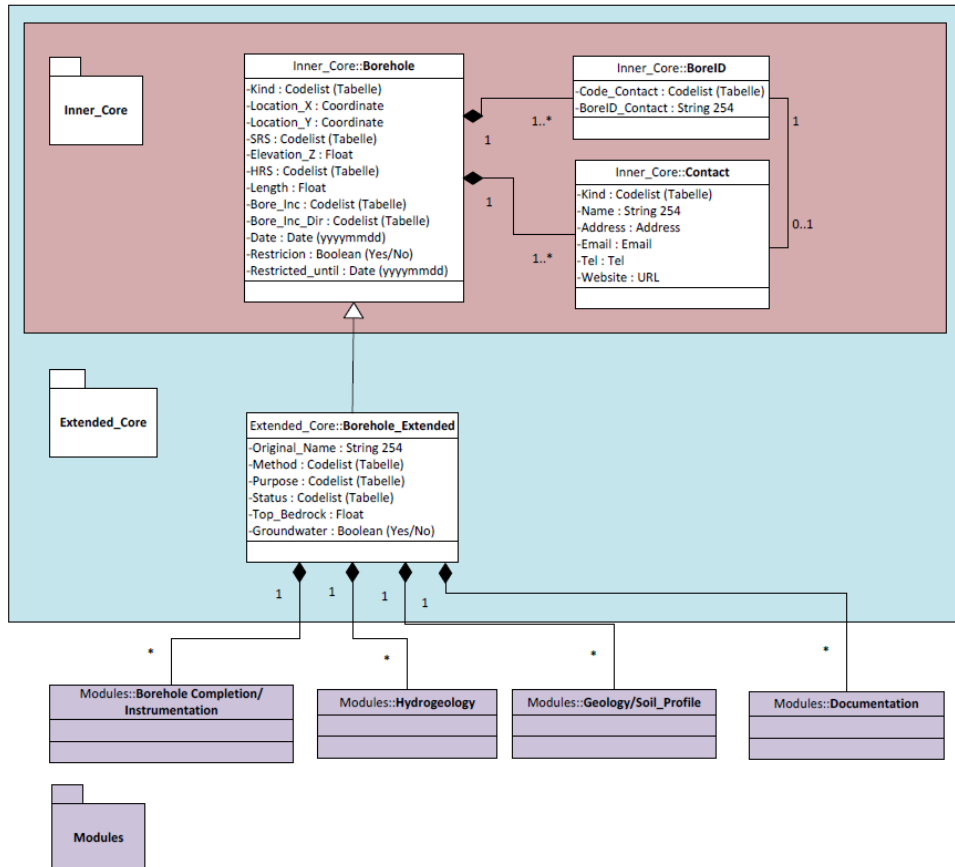


Abbildung 48: Klassendiagramm Datenmodell Bohrdaten (swisstopo)

8. CityGML

Der Standard CityGML (OGC, 2020) definiert ein konzeptuelles Datenmodell zur Speicherung und Austausch von virtuellen 3D Stadtmodellen (p. 6). Mit CityGML werden verschiedene Fachklassen für Stadtmodelle definiert, die neben rein geometrischen auch fachliche/sachliche Informationen enthalten. Abbildung 49 zeigt eine Modulübersicht des Datenmodells von CityGML.

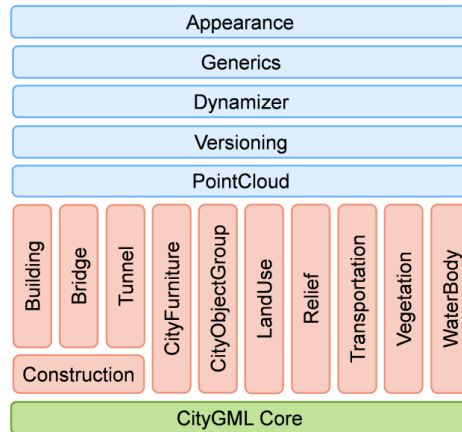


Figure 3. CityGML 3.0 module overview. The vertical boxes show the different thematic modules. Horizontal modules specify concepts that are applicable to all thematic modules.

Abbildung 49: CityGML Modulübersicht (CityGML CM, 2020)

In CityGML sind derzeit keine Strukturen zur Abbildung geologischer Informationen definiert.

(Kumar et al., 2019) haben eine Erweiterung zu CityGML entwickelt (eine so genannte Application Domain Extension ADE), mit welcher einige Konzepte und Strukturen aus LandInfra in CityGML integriert werden können. In diesem Rahmen haben sie auch einen Vorschlag erarbeitet, wie Informationen des Untergrunds in CityGML abgebildet werden können. Sie haben dabei drei Arten der Repräsentation definiert: Als TIN, 3D-Polyface-Mesh-Körper oder als vertikale 2D-Schnitte (p. 13). Jeder Untergrundlayer verfügt über ein Attribut «Material».

9. LandInfra

Der Standard LandInfra (OGC, 2016) definiert ein konzeptuelles Datenmodell für den Fachbereich des Tief- und Infrastrukturbaus («land and civil engineering», p. 17). Darin sind u.a. Themen wie Bauwerke, Projekte, Trassierung, Strasse, Bahn, Vermessung sowie auch Ver- und Entsorgungen von Wasser enthalten.

Die Geologie wird in LandInfra nicht namentlich adressiert. Allerdings kann sie unter dem Begriff der «subsurface layer» in LandInfra auf eine sehr rudimentäre Art abgebildet werden. Als spezielle Form von «LandFeature» können neben anderen natürlichen Objekten (LandElement) und Landoberflächen (LandSurface) auch «LandLayer» definiert werden. Diese sind dafür konzipiert, unterschiedliche Materialschichten unter der Landoberfläche abzubilden. Abbildung 50 zeigt das konzeptuelle Klassenmodell für den Bereich der LandLayer.

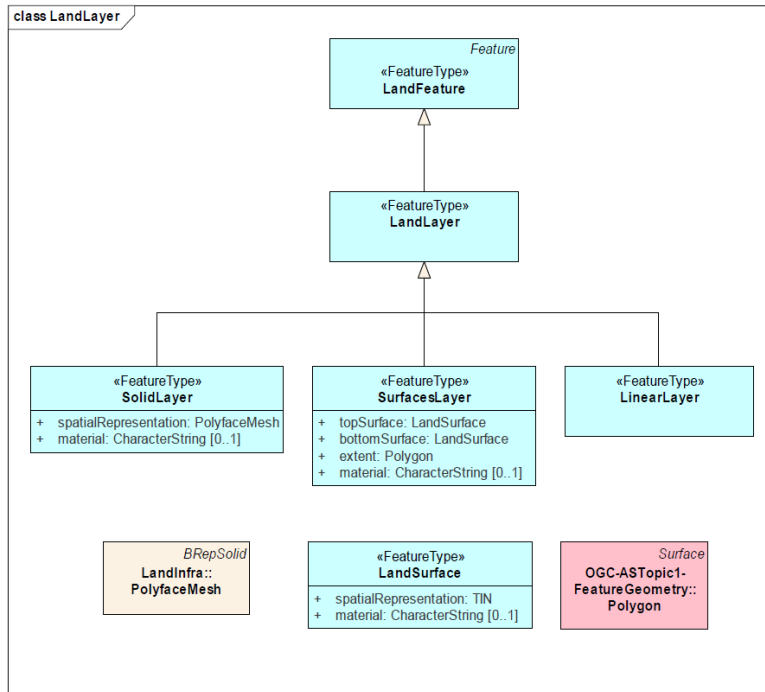


Figure 57. LandLayer context diagram

Abbildung 50: Klassendiagramm LandInfra, LandLayer (LandInfra, 2016)

Eine solche Schicht im Untergrund kann auf drei verschiedene Arten geometrisch repräsentiert werden: Als Körpergeometrie (SolidLayer), mit je zwei Schichtflächen (obere und untere Begrenzung, SurfaceLayer) sowie als eine Serie von vertikalen Querschnitten (LinearLayer). Für die semantische Beschreibung der Schicht steht das Attribut «material» zur Verfügung.