



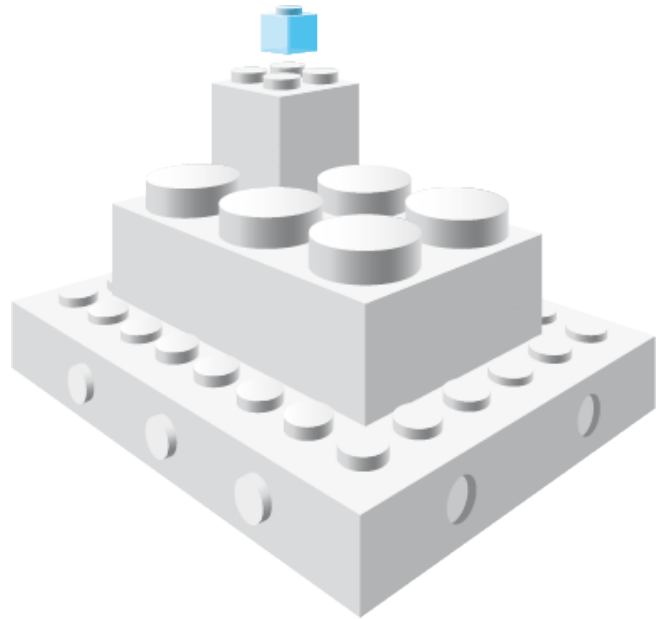
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Innosuisse – Schweizerische Agentur
für Innovationsförderung

Innosuisse Projektnummer 40458.1 IP-ENG

Innovationsprojekt **GEOL_BIM** Ergebnisbericht Arbeitspaket 2: Grundlagen Geologie

Version 1.0
21. Oktober 2020



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

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

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

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

Begleitgruppe

Andri Largiadèr, Amt für Wald und Naturgefahren, Graubünden
Daniel Figi, BTG Büro für Technische Geologie und Dr. von Moos AG
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 Feuerversicherungen VKF



Dokumenthistorie

Version	Datum	Kommentar	Autor
0.01	15.07.2020	Initialversion mit Inhaltsverzeichnis und Überschriften nach FHNW	OS, MK
0.02	15.07.2020	Abschnitte Einleitung, Normen- und Standardlisten hinzugefügt	MK
0.03	28.07.2020	Einleitung und Normen überarbeitet, Geologische Daten hinzugefügt	MK, SV
0.04	04.08.2020	Geologische Daten überarbeitet und Unsicherheiten hinzugefügt	PW
0.05	05.08.2020	Einleitung und Normen überarbeitet, kaputte Tabellen ersetzt	MK
0.06	07.08.2020	Vorschlag zur Strukturierung nach Geometrie, Attributen, und Metadaten	PW
0.07	11.08.2020	Geometrie, Attribute und Metadaten in Kapitel 3, 4, und 5 abbilden	MK
0.08	12.08.2020	Hinzufügen von Definitionen der von Metadaten und Attributen	MK
0.09	12.08.2020	Ergänzen der Wortwolke 'Software aus Interviews', inkl. Beschreibung	MK
0.10	17.08.2020	Korrekturlesen des Abschnittes Unsicherheiten, einige Ergänzungen	MK
0.11	24.08.2020	Captions in Kapitel 4 und 5 hinzugefügt	PW
0.12	24.08.2020	Kapitel 6.1 Informationssysteme + erster Input Kapitel 2.3 Standards	SV
0.13	28.08.2020	Kapitel 6.2 ergänzt, einschliesslich drei neuer Tabellen	MK
0.14	28.08.2020	Vorschlag zum digitalen Feldbuch der GEOTEST AG hinzugefügt	MK
0.15	02.09.2020	Kapitel 2.3 Standards & 4.1 Metadaten ergänzt	PW, SV
0.16	03.09.2020	Kapitel 1 aufteilen in Zielsetzung (Kap. 1) und Einleitung (Kap. 2)	MK
0.17	07.09.2020	Abschnitt über SIA 199 Tunnelprofile und Ausbruchklassen hinzugefügt	MK
0.18	07.09.2020	Übersetzte Tabellen zur Geotechnik nach SIA-Phasen hinzugefügt	MK
0.19	17.09.2020	Kapitel 2.3, 4.1, 6.1 & Durchsicht Kapitel 3. Bis 6.	SV, PW
0.20	21.09.2020	Anpassung Nummerierung Abb. & Tabellen, Einarbeitung LG-Feedback	SV
0.21	22.09.2020	Übersetzung Tabelle 2.3	SV
0.22	22.09.2020	Bereinigen der angebrachten Kommentare, plus diverse Kleinigkeiten	MK
0.23	28.09.2020	Kapitel 1 GEOL_BIM mit Projekthandbuch in Einklang gebracht	MK
0.24	05.10.2020	Anpassungsvorschläge von A. Möri umgesetzt, einzelne Punkte tbd	AM, PW, SV
0.25	06.10.2020	Diverse Anpassungen im Gespräch	SV, MK, PW
0.26	08.10.2020	Abschnitt 1.3 überarbeitet, Abschnitt 3.3.4.2 und Kapitel 8 hinzugefügt	MK
0.27	09.10.2020	Automatische Abbildungsnummerierung und Referenzen hinzufügen	MK
0.28	12.10.2020	Referenzen hinzugefügt	SV
0.29	14.10.2020	Lukas Schildknechts Kommentare vom 13.10 (partiell) einpflegen	MK
0.30	20.10.2020	Feedback von Johannes Graf und Lukas Schildknecht ergänzen	MK
1.00	21.10.2020	Freigabe des Dokumentes zum Versand an die Begleitgruppe	JG



Inhaltsverzeichnis

1	GEOL_BIM	8
1.1	Ausganglage	8
1.2	Projektziele	8
1.2.1	Zielsetzung	8
1.2.2	Erwartete Resultate	10
1.2.3	Zielpublikum des Projektes	11
1.3	Zweck des Dokumentes	11
2	Einleitung	13
2.1	Die Geologie und ihre angewandten Fachbereiche	13
2.1.1	Angewandte Geologie	13
2.1.2	Fachbereiche der angewandten Geologie	15
2.1.2.1	Altlasten	16
2.1.2.2	Energie	16
2.1.2.3	Geotechnik	16
2.1.2.4	Naturgefahren	16
2.1.2.5	Rohstoffe	16
2.1.2.6	Umwelt	17
2.1.2.7	Hydrogeologie – ein Spezialfall	17
2.2	Der Bauprozess und die Rolle des Geologen	17
2.2.1	Leistungsmodelle für Planer nach Projektphasen	17
2.2.2	Die Rolle des Geologen als Fachplaner	19
2.2.3	Methoden zur digitalen Bauwerksdatenmodellierung	20
2.2.3.1	BIM-Methode (Virtual Design and Construction, VDC)	20
2.2.3.2	Building Information Modelling (BIM)	20
2.3	Geotechnik nach SIA-Phasen	20
3	Normen und Standards	24
3.1	Zwischen staatlicher Hoheit und Selbstregulierung	24
3.2	Anerkannte Normen in der Geologie und Geotechnik	24
3.2.1	Schweizer Normen	25
3.2.2	Europäische Normen	26
3.2.3	Internationale Normen	27
3.3	Geologische Standards	29
3.3.1	Internationale Standards	29
3.3.1.1	GeoSciML	30
3.3.1.2	AGS Standard	30
3.3.1.3	Unified Soil Classification System (USCS)	31
3.3.2	Nationale Standards	32
3.3.2.1	Datenmodell Geologie	32
3.3.2.2	Datenmodell Bohrdaten	33
3.3.2.2.1	Modul Geology	34
3.3.2.2.2	Modul Hydrogeology	35
3.3.2.2.3	Modul Geotechnical Data	36
3.3.3	Kantonale Standards	36
3.3.3.1	Datenmodelle für Bohrkataster	36
3.3.3.2	Datenmodelle für Geoportale	36
3.3.3.3	Der Standard «Classes de sols genevois» des Kantons Genf	37
3.3.4	Verbandsrichtlinien und Firmenstandards	38
3.3.4.1	Empfehlungen des CHGEOL für geologische Bohrprofile	39
3.3.4.2	Empfehlungen des CHGEOL für geologische Profilschnitte	40
3.3.4.3	Das digitale Feldbuch der GEOTEST AG	42
4	Geologische Daten und Informationen	46
4.1	Definition	46
4.2	Klassifikationen	47
4.2.1	Klassifikation nach inhaltlicher Zugehörigkeit	47
4.2.2	Klassifikation nach Prozessierungs- und Interpretationsgrad	47
4.2.3	Klassifikation nach den von Geologen erbrachten Leistungen	48
4.2.3.1	Sondierungen	48



4.2.3.2	Profilschnitte	48
4.2.3.3	Karten	48
4.2.3.4	3D-Modelle	49
4.2.3.4.1	Schichtmodelle	50
4.2.3.4.2	Volumenmodelle	50
4.3	Datenmodelle	50
5	3D-Modellierungsparadigmen	52
5.1	Stamm- und Metadaten	52
5.1.1	Stammdaten	52
5.1.2	Metadaten	52
5.2	Geometrische Repräsentationen	52
5.2.1	2D Repräsentation	52
5.2.2	3D Repräsentation	53
5.2.3	Repräsentation von Bohrprofilen in 3D	55
5.2.4	Repräsentation von Profilschnitten in 3D	58
5.2.5	Abbildung von 3D Modellen	59
5.3	Attribuierung geologischer Informationen	61
5.3.1	Definition	61
5.3.2	Geotechnik des Baugrundes	62
5.3.2.1	Attribute des Lockergesteins	62
5.3.2.2	Attribute des Festgesteins	62
5.3.3	Aufnahme des Gebirges im Tunnelbau	63
5.3.3.1	Ausbruchsklassen	64
5.3.3.2	Klassifikation von Gesteinseinheiten	68
5.3.3.3	Gefährdungsbilder	68
6	Unsicherheiten	69
6.1	Definition	69
6.2	Unsicherheiten als Risikoindikatoren	69
6.3	Ursachen und der Umgang mit Unsicherheiten	69
6.3.1	Zielsetzungen, Geologisches Wissen, Daten und Konzept	70
6.3.2	Unsicherheiten geologischer Modelle und Methoden	71
6.3.3	Validierung von Modellergebnissen	72
6.3.4	Prozessübergreifende Fehlerfortpflanzung	73
6.4	Visualisierung und Kommunikation	73
6.4.1	Gestrichelte Linien und Fragezeichen	73
6.4.2	Verteilungen, Indizes und Entropien	74
7	Applikationen	77
7.1	Geologische Informationssysteme	77
7.1.1	Nationale Geoportale	77
7.1.1.1	Kartenviewer des Geoportals Bund (map.geo.admin.ch)	77
7.1.1.2	swissgeol.ch – Geologischer 3D-Viewer	78
7.1.1.3	swissforages.ch - Bohrdatenerfassung gemäss Datenmodell Bohrdaten	79
7.1.2	Kantonale und Firmen-Geoportale	81
7.1.2.1	Geoportal des Kantons Bern	81
7.1.2.2	Geobrowser der Firma Geotest	82
7.2	Geologische Fachapplikationen	83
7.2.1	Häufig verwendete Software	83
7.2.2	Quelloffene Programmbibliotheken	85
8	Schlussfolgerung	87
8.1	Detaillierungsgrad, Systemgrenzen und Rahmenbedingungen	87
8.2	Fazit und Stossrichtung für die Anwendungsfälle	88
8.2.1	AWF1: Geologische Profilschnitte & Prognosegenauigkeit	88
8.2.2	AWF2: Handling geotechnischer Parameter	89
8.2.3	AWF3: Gravitative Naturgefahren	89
8.3	Umgang mit Unsicherheiten	90
9	Literaturverzeichnis	91

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Integration der Geologie in die Anwendung der BIM-Methode.	9
Abbildung 2. Modellbasierte Übergabe geologischer Informationen vom Geologen an den Ingenieur.	10
Abbildung 3. Alle Einzelberichte, die in Ihrer Gesamtheit den GEOL_BIM Abschlussbericht ergeben.	11
Abbildung 4. Unterschiedliche Perspektiven auf die Systematik der Gesteine.	13
Abbildung 5. Abgrenzung zwischen Boden und Untergrund nach Bodenstrategie (BAFU, 2020).	14
Abbildung 6. Illustration der Anwendungsgebiete im geologischen Untergrund (Swisstopo, 2017).	15
Abbildung 7. Anerkannte Normen an der Schnittstelle zwischen Gesetzgebung und Standardisierung.	24
Abbildung 8. Umfang des GeoSciML-Datenmodells V4.1 (Chadwick, 2019).	30
Abbildung 9. Verschiedene Einsatzgebiete des AGS-Standards (OGC, 2017).	31
Abbildung 10. Auszug aus der USCS-Klassifikation (Schmidt, 2020).	32
Abbildung 11. Übersicht der gemäss Datenmodell Geologie erfassten GeoCover-Kartenblätter.	33
Abbildung 12. UML-Modell des Kernmodells Bohrdaten.	34
Abbildung 13. Bohrungen und Profilschnitte GeoQuat-Pilotregion Visp in 3D.	35
Abbildung 14. UML-Diagramm des Moduls Hydrogeology als Teil des Datenmodells Bohrdaten.	36
Abbildung 15. Auszug aus der kantonalen Richtlinie des Kanton Genf.	38
Abbildung 16. Geologisches Bohrprofil nach den Empfehlungen des CHGEOL vom 5. März 2018.	39
Abbildung 17. Geologischer Schnitt nach den Empfehlungen des CHGEOL vom 25. Januar 2018.	41
Abbildung 18. Einblicke in das digitale Feldbuch der GEOTEST AG.	43
Abbildung 19. Export primärer Daten in das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel.	44
Abbildung 20. Mit Hilfe des digitalen Feldbuches generiertes Bohrprofil.	44
Abbildung 21. Stark vereinfachte Übersicht der in Abschnitt 5 diskutierten Modellierungsparadigmen.	51
Abbildung 22. Beispielhafte Abbildungen der Wirklichkeit mit Rasterdaten.	53
Abbildung 23. Verschiedenen geometrischen Definitionen von geologischen 3D-Modellen	55
Abbildung 24. Beispiele für die 3D-Visualisierung von Bohrlöchern (www.rockware.com).	56
Abbildung 25. Vereinfachte Version des Datenmodells für Bohrdaten.	56
Abbildung 26. Darstellung eines Bohrlochs in verschiedenen Repräsentationsformen.	57
Abbildung 27. Unterschiedliche Visualisierungen von Bohrlöchern als Volumen, Ebenen und Linien.	57
Abbildung 28. Eine vereinfachte Version eines möglichen Datenmodells für Profile.	58
Abbildung 29. Darstellung einer 2D-Zeichnung in 3D.	59
Abbildung 30. Komplex gefaltete geologische Struktur in 3D (Zanchi et al., 2009).	60
Abbildung 31. Beispiele für Raumbeziehungsdefinitionen zur Datenabfrage (Safe Software).	60
Abbildung 32. On the fly generierte Querschnitte (rechts) aus einem Blockmodell (links).	61
Abbildung 33. Aufnahme des Gebirges im Tunnelbau nach SN 531 199 (SIA 199).	65
Abbildung 34. Strukturierte Beschreibung der Gebirgsverhältnisse (Ausschnitt aus Abbildung 33).	67
Abbildung 35. Aus Gesteinseigenschaften abgeleitete Gefährdungen nach SN 531 199 (SIA 199).	68
Abbildung 36. Allgemeiner Arbeitsablauf bei der Erstellung von 3D-Modellen.	70
Abbildung 37. Verschiedene Quellen von Unsicherheiten nach (Wellmann and Caumon, 2018).	71
Abbildung 38. Verschiedene Modellrealisierungen nach (Wellmann and Caumon, 2018).	72
Abbildung 39. Schematischer Überblick über die Quellen der Unsicherheit nach (Blaha, 2019).	73
Abbildung 40. Visualisierung von Unsicherheiten über die Datenabdeckung.	74
Abbildung 41. Arten der Visualisierung von Unsicherheit nach (Wellmann and Caumon, 2018).	75
Abbildung 42. Visualisierung Wahrscheinlichkeits-basierter Unsicherheiten.	76
Abbildung 43. 3D-Ansicht von geologischen GeoCover-Daten (map.geo.admin.ch).	78
Abbildung 44. Web-basierte 3D-Visualisierung von geologischen Daten (swissgeol.ch).	79
Abbildung 45. Web-basierte 3D-Visualisierung von Geologie und Infrastrukturdaten.	79
Abbildung 46. Erbohrten Schichten als Suchergebnis einer Abfrage (swissforages.ch).	80
Abbildung 47. Datenerfassungsmaske mit integrierter Datvalidierung (swissforages.ch).	80
Abbildung 48. Webviewer des Geoportals des Kantons Bern (https://www.geo.apps.be.ch).	81
Abbildung 49. Naturgefahren im Geoportal des Kantons Bern (https://www.geo.apps.be.ch).	82
Abbildung 50. Bildschirmansicht der Geobrowser-Applikation der GEOTEST AG.	82
Abbildung 51. Wortwolke zur Illustration von Tabelle 15 nach Häufigkeit der Nennung.	84
Abbildung 52. Schematischer Aufbau eines Gleiskörpers (Däppen and Gerber, 2015).	87



Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Generelle Unterschiede zwischen Locker- und Festgestein.	14
Tabelle 2. Gegenüberstellung der Projektphasen nach SIA 111 und 112.	18
Tabelle 3. Empfehlung der Association des Géotechniciens et des Géologues Vaudois (AGGV) hinsichtlich geologischer und geotechnischer Dienstleistungen nach SIA-Phasen.	20
Tabelle 4. Schweizer Normen von überwiegend nationaler Bedeutung.	25
Tabelle 5. Von der Schweiz übernommene europäische Normen.	26
Tabelle 6. Von der Schweiz übernommene internationale Normen.	27
Tabelle 7. Code-Zusammensetzung des Standards «Classes de sols genevois».	37
Tabelle 8. Unterschiede zwischen 2D GIS Raster- und Vektordaten.	53
Tabelle 9. Punktrepräsentationen nach dem Übergang von 2D nach 3D (Landesgeologie, 2013).	53
Tabelle 10. Repräsentation einer Linie nach dem Übergang von 2D nach 3D (Landesgeologie, 2013).	53
Tabelle 11. Repräsentation eines Polygons beim Übergang von 2D nach 3D (Landesgeologie, 2013).	54
Tabelle 12. Klassifikation von 3D-Modellen in den Geowissenschaften (Lixin and Wenzhong, 2004).	54
Tabelle 13. Auswahl geotechnisch relevanter Baugrundwerte im Lockergestein.	62
Tabelle 14. Auswahl geotechnisch relevanter Baugrundwerte im Festgestein.	62
Tabelle 15. Thematisch gegliederte Daten des Geoportal des Bundes (map.geo.admin.ch).	77
Tabelle 16. Im Rahmen einer Umfrage der Projektunterstützer genannte Softwareapplikationen.	83
Tabelle 17. GEOL_BIM bekannte, aber in der Umfrage nicht genannte, Softwareapplikationen.	84
Tabelle 18. Auswahl quelloffene Programmbibliotheken, die auf C, C++ und Python basieren.	85

1 GEOL_BIM

1.1 Ausgangslage

Das von der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung Innosuisse mitfinanzierten Innovationsprojekt GEOL_BIM ist der erste Schritt zur Transformation von analoger hin zu digitaler Planung und Bewirtschaftung von Bauwerken unter Einbezug der geologischen Verhältnisse. Den Bedarf für GEOL_BIM erkannte der Schweizer Geologenverband CHGEOL. Durchgeführt wird das Projekt in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW und dem Bundesamt für Landestopografie swisstopo.

Dem CHGEOL wurde die Projektleitung des Innovationsprojektes GEOL_BIM übertragen, welches zusammen mit der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW als Forschungs- und dem Bundesamt für Landestopografie swisstopo als Umsetzungspartner durchgeführt wird. Im Frühherbst 2019 haben zudem eine Reihe von Vertretern aus der Privatwirtschaft, Behörden und Verbänden dem CHGEOL mit schriftlichen Absichtserklärungen Ihre Unterstützung des Projektes GEOL_BIM erklärt. Aufgrund der zahlreichen Bekundungen aus der Branche, hat die Innosuisse den Projektantrag im Dezember 2019 bewilligt und das Projekt konnte planmässig im März 2020 gestartet werden. Zusätzlich zu den am Antrag beteiligten Parteien, CHGEOL, FHNW und swisstopo, koordiniert der Schweizer Geologenverband auch die Begleitung des Projektes durch die Unterstützer aus der Privatwirtschaft, Behörden und Verbänden. Kernaufgabe der Begleitgruppe ist das Sicherstellen der Praxistauglichkeit der mit GEOL_BIM erreichten Projektziele. Die in der Begleitgruppe einsitzenden Projektunterstützer stellen dem GEOL_BIM Projektteam eigene Daten und Dokumente zu Forschungszwecken im Rahmen des Innovationsprojektes zur Verfügung oder identifizieren Dritte, um diese Aufgabe zu übernehmen. Die von den Projektunterstützern zugesagten Beiträge zur personellen und finanziellen Unterstützung von GEOL_BIM wurden seit dem Projektstart im März 2020 konsolidiert und in individuellen Verträgen festgehalten. Jeder Unterstützer hat zudem mit seiner Absichtserklärung zur Beteiligung an GEOL_BIM eine Projektidee in Form eines Praxisprojektes eingebracht. Damit haben die Unterstützer bereits in der Antragsphase mitgeholfen die Anwendungsgebiete zu identifizieren in denen zukünftig ein vermehrter Bedarf für den Austausch geologischer Informationen über digitale Bauwerksmodelle entstehen könnte.

Die digitale Transformation der Schweizer Gesellschaft wird auch durch die Schweizer Baukultur aktiv mitgestaltet. Geologen sind seit Jahrhunderten geschätzte und unverzichtbare Partner in Bauprojekten und damit ein fester Bestandteil der Schweizer Baukultur. In einer zunehmend vernetzten Welt hat es sich der CHGEOL zum Ziel gesetzt, der Expertise der Schweizer Geologinnen und Geologen zukünftig zu einer verbesserten Sichtbarkeit zu verhelfen. Nach Abschluss des Projektes ermöglicht der CHGEOL den Zugang zu den erarbeiteten Erkenntnissen von GEOL_BIM, über ein im Rahmen des Innovationsprojektes konzipiertes Weiterbildungs- und Schulungsprogramm. Die digitale Kompetenz der Gemeinschaft, wie auch des Einzelnen, soll gefördert werden, um die digitale Transformation auch zukünftig aktive mitgestalten zu können.

1.2 Projektziele

1.2.1 Zielsetzung

Das Innovationsprojekt GEOL_BIM hat sich die Integration der Geologie in die Anwendung der BIM-Methode zum Ziel gesetzt (Abbildung 1). Entwickelt wird eine herstellerunabhängige, systemneutrale und offene digitale Schnittstelle zwischen der Geologie und digitalen Bauwerksmodellen. Die Schaffung einer solchen Schnittstelle, unter Berücksichtigung geologischer Unsicherheiten, soll zukünftig eine effizientere Art der Zusammenarbeit und Kommunikation im Bauprozess ermöglichen (z.B. zwischen Auftraggeber und Geologe oder zwischen Geologen und Ingenieuren). In der heute üblichen Arbeitsweise werden die Ergebnisse geologische Untersuchungen, Modellierungen und Auswertungen vorwiegend Dokumentenbasiert ausgetauscht. Obwohl bei der Arbeit von Geologen eine Vielzahl von computergestützten Systemen zum Einsatz kommt, kommt es beim Informationsaustausch zu Medienbrüchen und irreversiblen Informationsverlusten, so dass eine echte digitale Transformation nicht stattfindet. Die Interoperabilität zwischen verschiedenen geologischen Software-Applikationen und BIM-Software ist, falls überhaupt, kaum realisiert.

Abbildung 2 illustriert die konventionelle Übergabe geologischer Informationen vom Geologen an den Ingenieur und vergleicht diese mit dem Daten- und Informationsaustausch über digitaler

Bauwerksmodelle. Die Darstellung zeigt auf wie die modellbasierte Kommunikation von Ergebnissen Medienbrüche zukünftig verhindern könnte.

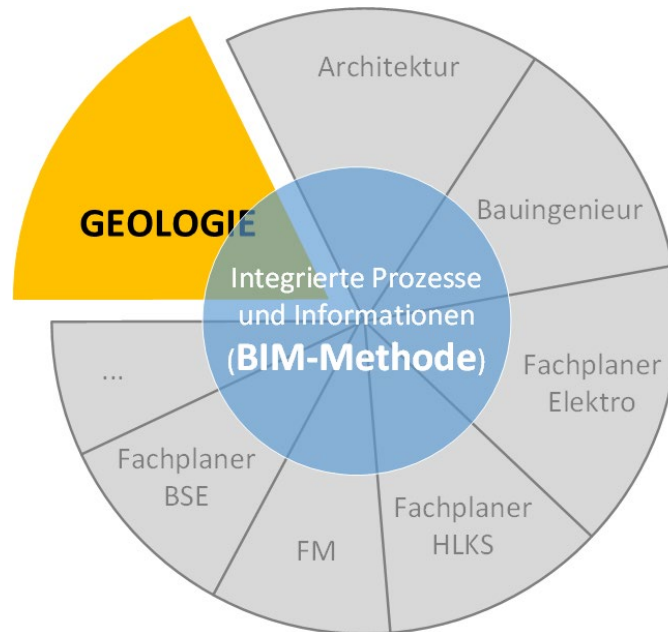
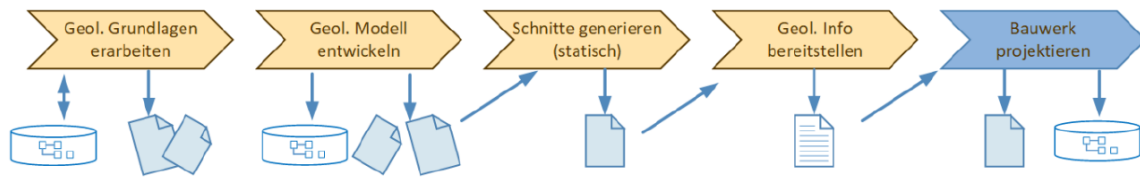


Abbildung 1. Integration der Geologie in die Anwendung der BIM-Methode.

Prozess konventionell:

- viele Medienbrüche, keine Standards, dokumentenbasiert
- Statische Generierung von Schnitten in geologischem Modell (manuell erarbeitet)

Prozess GEOL BIM:

- Modellbasierte, konsistente, durchgehende Datenhaltung, standardisierte Schnittstellen
- (dynamische) Generierung von Schnitten in BIM-Modell (kombiniert mit Bauwerksdaten)

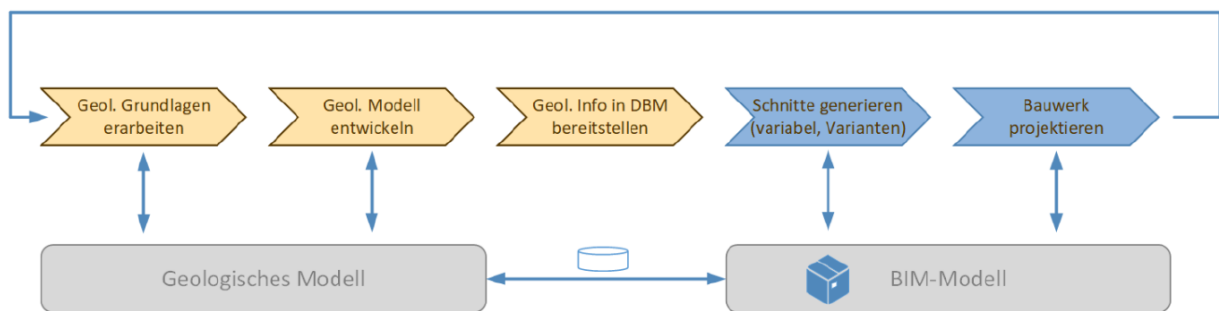
Legende

Abbildung 2. Modellbasierte Übergabe geologischer Informationen vom Geologen an den Ingenieur.

1.2.2 Erwartete Resultate

Die Resultate von GEOL_BIM sind Datenmodelle, Arbeitsabläufe, Richtlinien, Standards, Best-Practice-Beispiele, Implementierungskonzept sowie erste Implementierungsversuche von Programmskripten und Applikationen zur Umsetzung der beschriebenen Schnittstellen. Über GEOL_BIM hinaus soll es möglich werden, die Daten und Informationen über die für ein Bauwerk relevanten geologischen Verhältnisse in die BIM-Modelle von Ingenieuren, Architekten und Gebäude-Bewirtschafter zu integrieren, um damit die interdisziplinäre Zusammenarbeit zu fördern. Die zunehmend internationale Standardisierung des Datenaustausches und der damit verbunden Prozessen ist eine Grundvoraussetzung für die digitale Transformation. Demgegenüber steht die Notwendigkeit die länderspezifischen Bedürfnisse und gesetzlichen Anforderungen zu berücksichtigen und ebenfalls in den Datenmodellen und Implementierungskonzepten abzubilden.

Zur Verbesserung des aktuellen Stands der Wissenschaft und Technik sollen mit Hilfe von GEOL_BIM die folgenden drei Punkte weiter vorangetrieben werden.

1. Entwurf von semantischen und konzeptuellen Datenmodellen, Arbeitsabläufen, Richtlinien, Standards und Best-Practice-Beispielen für die Integration der Geologie in die BIM-Methode.
2. Konkretisierung der nationalen Bedürfnisse zur Anpassung internationaler Standards an die länderspezifischen Anforderungen der Schweiz.
3. Entwicklung von Implementierungskonzepten und prototypischen Realisierungen herstellerunabhängiger, systemneutraler und offener Schnittstellen zur Integration der Geologie in die BIM-Methode.

1.2.3 Zielpublikum des Projektes

Das Innovationsprojekt GEOL_BIM ist ein interdisziplinäres Projekt und entsprechend interdisziplinär ist das Zielpublikum. GEOL_BIM richtet sich, neben den Projektunterstützern, Begleitgruppenmitgliedern und allen Projektbeteiligten an Bauherrn, Planer, Architekten, Ingenieure, die Schweizer Geologie-Szene und alle die sich der Schweizer Geologie- und Baubranche nahe fühlen. Zudem richtet sich GEOL_BIM an alle, die ein Interesse daran haben den interdisziplinären Austausch, die Integration und die Kommunikation über Daten und Informationen von Bauprojekten zukünftig performanter zu gestalten.

1.3 Zweck des Dokumentes

In einer ersten Projektphase wurden in zwei Arbeitspaketen bis Oktober 2020 zwei Teilberichte eines Abschlussberichtes erarbeitet (Abbildung 3). Der vorliegende Bericht (GL-GEOL) 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 des im Projektantrag thematisierten 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.

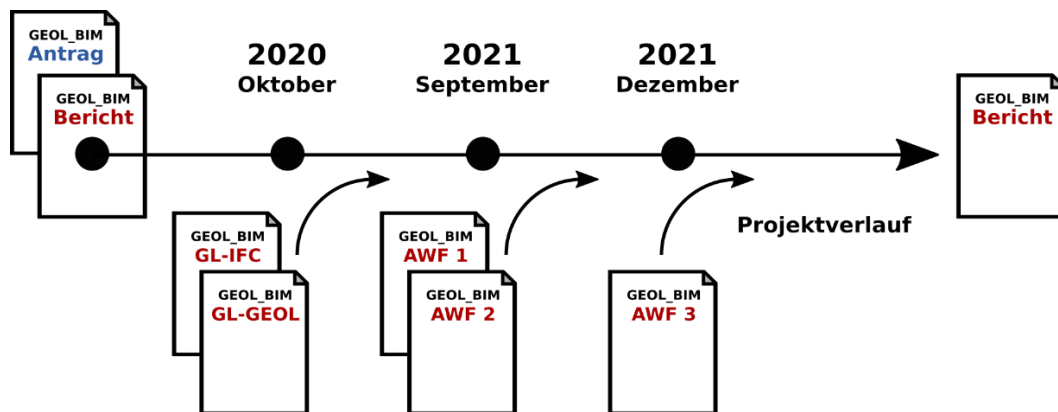


Abbildung 3. Alle Einzelberichte, die in Ihrer Gesamtheit den GEOL_BIM Abschlussbericht ergeben.

Nähere Informationen zum Ablauf der Anwendungsfälle, zu den Zielsetzungen und den erwarteten Resultaten diese Teilphasen sind in einem separaten Projekthandbuch zusammengefasst.

Das GEOL_BIM Projekt wird zudem von Partnern aus der Privatwirtschaft, Behörden und Verbänden unterstützt. Im Rahmen von Interviews wurde bereits im Mai 2020 versucht herauszufinden, mit welchen methodischen und technischen Hilfsmitteln geologische Daten- und Informationen in den Büros verarbeitet werden und wie daraus geologische Modelle entstehen. Diese Herangehensweise stellte sicher, dass auch die Erfahrungswerte und Bedürfnisse der Unterstützer von GEOL_BIM bereits früh in das Projekt eingebunden werden konnten.

Der vorliegende Bericht führt eigene Erfahrungen und Recherchen des Projektteams mit den Ergebnissen aus den Interviews im Mai 2020 zusammen. Das Resultat dient den nachfolgenden Zwecken.

1. Definition wesentlicher Begrifflichkeiten und der Projektgrundlagen für die im November 2020 beginnende nächste Projektphase (Anwendungsfälle, AWFs). Das Dokument soll den Mitgliedern der Begleitgruppe und den Experten der geplanten Anwendungsfälle den Einstieg in das Thema erleichtern und dient als Diskussionsgrundlage für die gemeinsame Definition der Schnittstellen.
2. Das Dokument dient als Tour durch potenziell relevante Themenbereiche und soll aufzeigen, was das Projektteam zum Abschluss der ersten Projektphase als potenziell relevant für GEOL_BIM erachtet. Das Zusammenstellung dient als Diskussionsgrundlage für die nächste Projektphase.



3. Der Zugang zu den Ergebnissen von GEOL_BIM soll der Fachwelt langfristig über Weiterbildungsangebote ermöglicht werden. Die Erarbeitung eines entsprechenden Schulungskonzeptes ist deshalb ein wichtiger Bestandteil des Projektes. Das vorliegende Dokument soll deshalb auch einen Einstieg zur Erarbeitung eines Weiterbildungsprogrammes liefern – auf Basis der Grundlagen und der späteren Entwicklungsergebnisse.
4. GEOL_BIM behält sich vor, die entstandenen Ergebnisberichte einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen, sei es im Rahmen einer Weiterbildung oder in Form einer Veröffentlichung. Da das Projekt bewusst ein interdisziplinäres Publikum anspricht wurden einige Grundlagen ausführlicher erklärt, wie dies z.B. in Fachjournalen üblich ist.

Bei der Erarbeitung der Projektgrundlagen wurde die Komplexität der im Antrag umrissenen Aufgabenstellung schnell deutlich. Während die Einleitungskapitel noch allgemeinverständlich gehalten werden konnten, war dies mit steigender Komplexität der Themenfelder nicht mehr möglich, ohne den Bericht auf Buchlänge auszudehnen. Der Detaillierungsgrad der Ausführungen in diesem Text variiert zwischen den ersten und den letzten Kapiteln also stark. Die fortgeschrittenen Kapitel des Berichtes dienen zunehmend dem Zweck, interessierten einen Einstieg zum Weiterlesen in den genannten Quellen oder das Vokabular für eigene Recherchen zu liefern.

2 Einleitung

2.1 Die Geologie und ihre angewandten Fachbereiche

Die Geologie ist die Lehre vom Aufbau und der Entstehung der Erde. Für wissenschaftlich und praktisch arbeitende Geologen steht die Entstehung von Gesteinen im Vordergrund und wird somit auch in der verwendeten Systematik der Gesteine berücksichtigt. Im Wesentlichen werden drei Entstehungsprozesse unterschieden.

1. Magmatische Gesteine (Magmatite) entstehen durch das Erstarren aufgeschmolzener Gesteinsmassen (Magma). Erstarrt Magma noch im Erdinneren spricht man von Plutoniten. Erreicht Magma die Erdoberfläche und tritt an Vulkanen aus nennt man die resultierenden Gesteine Vulkanite. Vulkanologen aber auch Petrologen, Geochemiker und Geophysiker studieren die Zusammensetzung und die Entstehung dieser Gesteine.
2. Metamorphe Gesteine (Metamorphite) entstehen durch Umwandlung bestehender Gesteine unter Einfluss erhöhter Druck- und Temperaturbedingungen, wie diese typischerweise z.B. während Gebirgsbildungen angetroffen werden können. Während Petrologen und Geochemiker das Zusammenspiel von Druck und Temperatur auf die Vergesellschaftung der einzelnen Gesteinsbestandteile studieren, interessieren sich Strukturgeologen und Geophysiker für den Aufbau und die Dynamik der Gesteinsabfolgen als Ganzes und als Teil von Prozessen wie Gebirgsbildungen.
3. Sedimentäre Gesteine (Sedimentgesteine) entstehen durch Ablagerung auf der Erdoberfläche oder unter Wasser. Lockere Gesteinsbruchstücke können durch anhaltende Ablagerung immer weiter überlagert und damit zunehmend zu Sedimentgesteinen verfestigt werden (klastische Sedimente). Nicht verfestigte Gesteinsbruchstücke bezeichnet der Geologe als Sedimente, um diese von Sedimentgesteinen zu unterscheiden. Die Sedimentologie ist die Teildisziplin der Geologie, die die Ablagerungs- und gegebenenfalls Transportgeschichte von Sedimenten rekonstruiert.

Für die angewandte Geologie der Schweiz sind zudem die Deformation und Entlastung infolge tektonischer aber auch infolge eiszeitlicher (glazialer) Prozesse relevant. Derartige Prozesse haben einen beträchtlichen Einfluss auf die Eigenschaften der Gesteine in der Praxis.

2.1.1 Angewandte Geologie

Es sind mehrheitlich lockere Sedimente (z.B. Kies oder Sand) und Sedimentgesteine (z.B. Kalke als Festgesteine), mit denen die Fachbereiche der angewandten Geologie am häufigsten zu tun haben. Weite Teile der Erdoberfläche sind mit diesen geologisch jüngsten Gesteinen bedeckt (Quartärgeologie).

Vom Bauingenieur zum Bohrtechniker interessieren sich die technischen Disziplinen vor allem für die Eigenschaften des geologischen Untergrundes und weniger für dessen Entstehungsgeschichte. Für den Aushub von Baugruben oder die Durchführung von Bohrungen macht es schliesslich einen entscheidenden Unterschied, ob Fest- oder Lockergesteine angetroffen werden. Aus der Perspektive der Praxis hat sich deshalb eine Systematik eingebürgert, welche Festgesteine (Fels) und Lockergesteine (Boden) unterscheidet (Abbildung 4).

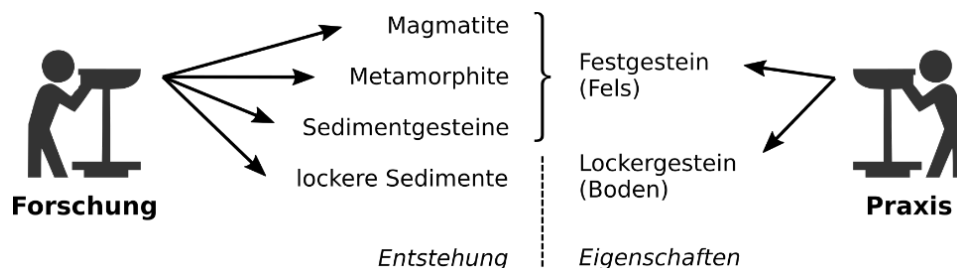


Abbildung 4. Unterschiedliche Perspektiven auf die Systematik der Gesteine.

Die synonym verwendeten Begriffe Fels und Boden haben durch Ihre Anwender den Weg in die Schweizer wie auch internationalen Normenwerke gefunden. An dieser Stelle sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Begriffe Fels und Boden im wissenschaftlich geologischen Sprachgebrauch grundverschieden ausgelegt werden. Bei Felsen handelt sich in der Geologie um freistehende, der Verwitterung und Erosion ausgesetzte, Festgesteinskörper. Der wissenschaftliche Begriff Boden wird wie in der Bodenkunde (Pedologie) üblich verwendet und bezieht sich auf den belebten (Kleinsttiere, Wurzel, etc.) und in Horizonte (A, B, C) gegliederten Verwitterungsbereich des Festgesteins an der Erdoberfläche (Abbildung 5).

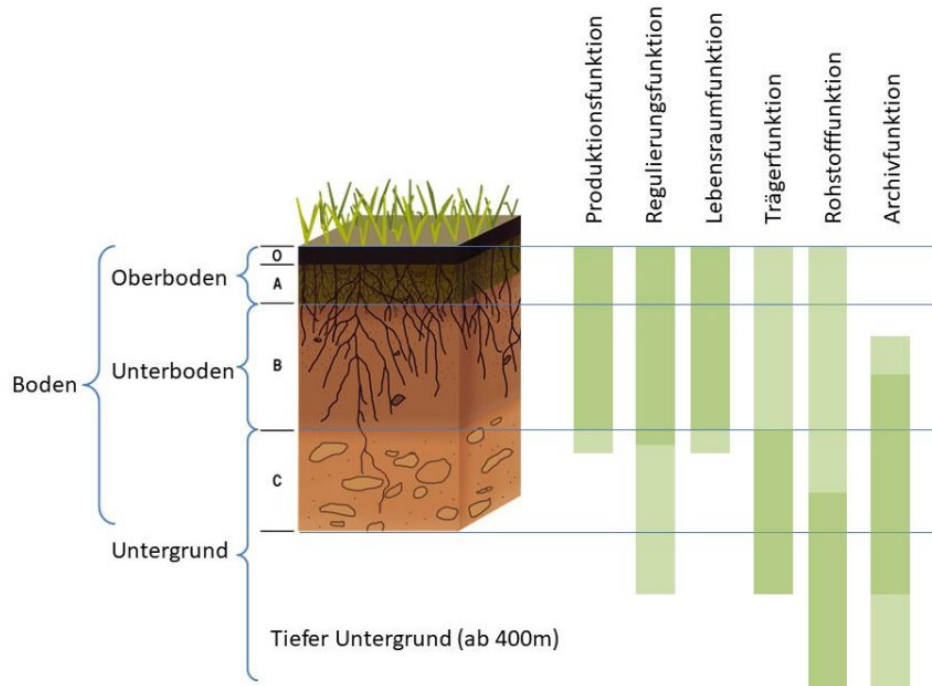


Abbildung 5. Abgrenzung zwischen Boden und Untergrund nach Bodenstrategie (BAFU, 2020).

In der nachfolgenden Dokumentation werden deshalb die Begriffe Fest- und Lockergestein bevorzugt verwendet und die Begriffe Fels und Boden entsprechend ihrer wissenschaftlichen Definitionen angewandt. Die unterschiedlichen Eigenschaften von Fest- und Lockergestein bedingen grundsätzlich unterschiedliche Klassifikationen, Versuch- / Messmethoden und somit auch eine eigenständige Normgebung. Aufgrund des jungen Alters und der dadurch bedingten oberflächennahen Ablagerung ist die Datendichte bei den Lockergesteinen grösser als bei den Festgesteinen. Die Festgesteine reichen in viel grössere Tiefen, da sie die gesamte Erdkruste bilden. Ein weiterer wesentlicher Unterschied spielt die Tektonik. Während diese bei den Lockergesteinen eine marginale Rolle spielt, haben tektonische Elemente einen grossen Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften der Festgesteine. In Tabelle 1 findet sich eine Auflistung der wesentlichen Unterschiede zwischen Fest- und Lockergesteinen.

Tabelle 1. Generelle Unterschiede zwischen Locker- und Festgestein.

	Lockergestein	Festgestein
Alter	Überwiegend junges Gestein (Quartär, jünger als 2.64 Millionen Jahre)	Überwiegend altes Gestein (älter als 2.64 Millionen Jahre)
Vorkommen, Mächtigkeit	Bildet die oberste Schicht, ist jedoch nicht flächendeckend vorhanden, die Mächtigkeit in der Schweiz reicht von 0 bis ungefähr 900 m	Aufgeschlossen an Erdoberfläche, sofern nicht von Lockergestein bedeckt, Mächtigkeit entspricht der Erdkruste
Verfügbare Datendichte	Gross	Klein
Klassifikation	Vorwiegend nach Korngrössenverteilung der Komponenten und Lagerungsdichte	Vorwiegend nach Zusammensetzung der Mineralien und Gefüge

Normierung	Spezifische Normengebung für Lockergesteine (Böden) vorhanden	Spezifische Normengebung für Festgesteine (Fels) vorhanden
Tektonik	Tektonik spielt eine untergeordnete Rolle, einzig neotektonische Phänomene können relevant sein	Die Tektonik stellt eine wichtige Komponente dar, welche das Verhalten und die Eigenschaften vom Festgestein massgebend beeinflussen können.
Beispiele	Kies, Sand, Silt, Ton	Kalk, Mergel, Sandstein, Granit

Es gilt jedoch auch zu beachten, dass Lockergesteine zum Teil auch festgesteinsähnliche Eigenschaften aufweisen. Grundmoränen sind hier ein gutes Beispiel für ein stark verfestigtes Lockergestein. Festgesteine wie stark verwitterte Felsen können aber auch lockergesteinsähnliche Eigenschaften aufweisen. Eine klare Abgrenzung zwischen Fest- und Lockersteinen erweist sich in der Praxis nicht immer als einfach. Es gibt Grenzfälle in denen der Übergang als fließend beschrieben werden kann.

2.1.2 Fachbereiche der angewandten Geologie

Dank soliden Fachkenntnissen in unterschiedlichen naturwissenschaftlichen und technischen Disziplinen decken Geologen ein breites Spektrum an angewandten Beratungs- und Planungsdienstleistungen ab. Die nachfolgenden Kapitel beschreiben Fachbereiche, welche als interdisziplinäre Themenfelder zu verstehen sind, in denen Geologen tätig sind. Die Einteilung in Fachbereiche ist zu einem gewissen Grad willkürlich und kann in vielen Fällen auch anders erfolgen. Die Benennung der nachfolgend genannten Fachbereiche orientiert sich deshalb an häufig auf Internetseiten von Schweizer Geologie Büros verwendeten Begrifflichkeiten. Diese Herangehensweise ist kundenorientiert und dient einzig dazu, sich schnell einen Überblick über die Vielfalt der angebotenen Dienstleistungen zu verschaffen. Die nachfolgende Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, es wurden lediglich exemplarisch einige illustrative **Beispiele** ausgewählt (**in Fett hervorgehoben**), um den Einstieg in ein tieferes Verständnis des Dienstleistungsspektrums von Geologen zu ermöglichen. Abbildung 6. Illustration der Anwendungsgebiete im geologischen Untergrund (Landesgeologie, 2017a). Abbildung 6 illustriert einige der Anwendungsgebiete im Kontext einer dreidimensionalen Illustration des geologischen Untergrundes.

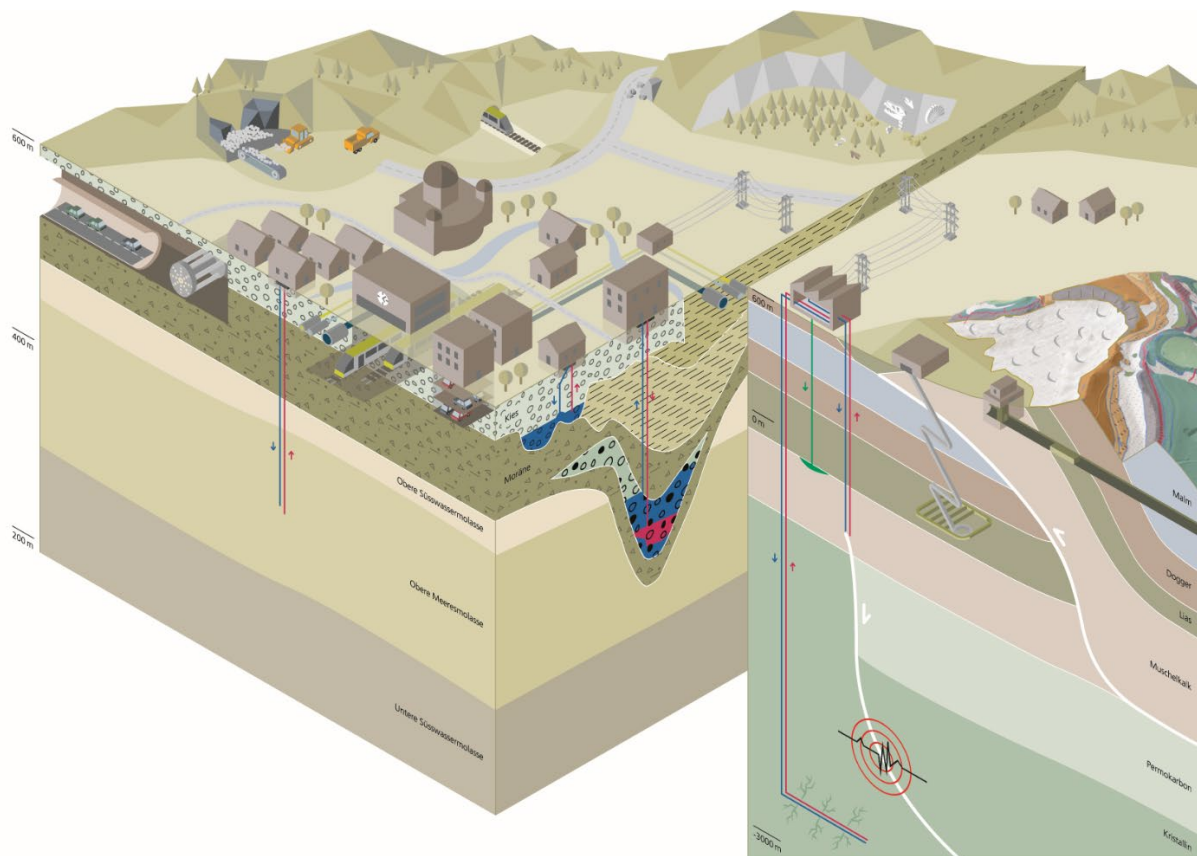


Abbildung 6. Illustration der Anwendungsgebiete im geologischen Untergrund (Landesgeologie, 2017a).



2.1.2.1 Altlasten

Der Begriff Altlast beschreibt einen räumlich abgegrenzten Bereich, in dem gesundheits- oder umweltschädliche Veränderungen des Untergrundes infolge früherer menschlicher Tätigkeiten die rechtlichen Vorgaben überschreiten. Geologen bieten vielfach Beratungs- und Planungsdienstleistungen rund um das Altlasten-Management an. Sie entscheiden, ob im Tiefbau anfallender Aushub und Ausbruch gesondert deponiert werden muss, planen oberirdische **Deponien** oder gar geologische **Tiefenlager** und planen oder begleiten laufende **Sanierungen** von belasteten Standorten. Die präventiven wie auch reaktiven Massnahmen im Umgang mit Altlasten sind auch ein Thema des Umweltschutzes. Es gibt zudem reichlich Berührungspunkte mit der Hydrogeologie, insbesondere dort, wo die Verschmutzung von nutzbarem Grundwasser verhindert werden muss.

2.1.2.2 Energie

Unter den Begriff Energie fallen Technologien, deren Nutzung geologische Expertise bei der Planung, Durchführung, dem Betrieb oder dem Abbau erfordern. Bei der Nutzbarmachung der **Wasserkraft** sind Geologen bei der Planung und Umsetzung von Absperrbauwerken wie Staudämmen und Talsperren beteiligt. Während des Betriebs und beim Abbau von Kraftwerken zur Nutzung der **Kernenergie** kommen Geologen bei der Deponierung schwach radioaktiver oder bei der Tiefenlagerung von mittel und stark radioaktiven Abfällen zum Einsatz. Die **Geothermie** bezeichnet zudem die ingenieurtechnische Nutzung von in der Erdkruste gespeicherter Erdwärme. Unter den von Geologen angebotenen Dienstleistungen werden hier oftmals tiefe (400 bis 4000 m) und untiefe (oberflächennah bis einige 100 m) geothermische Ansätze unterschieden.

2.1.2.3 Geotechnik

Von Geotechnik spricht man immer dann, wenn durch geologische Feldaufnahmen und Laborexperimente eine technische Charakterisierung des Untergrundes gemacht wird. Diese bilden eine essenzielle Arbeitsgrundlage für die Ingenieursdisziplinen des Bauwesens. Zu den klassisch geologischen Dienstleistungen zählt die **Baugrunduntersuchung**, das Baugrundgutachten und die Baubegleitung rund um die offene Baugrube. Hierbei handelt es sich auch heute noch um die Brot- und Butter-Disziplin vieler kleiner und mittelständischer Unternehmungen. **Infrastrukturbauprojekte** öffentlicher Auftraggeber sind ebenso von Bedeutung wie Beratungs- und Planungsdienstleistungen rund um **Tunnel-, Stollen- und Kavernenbauprojekte**.

2.1.2.4 Naturgefahren

Naturgefahren sind drastische Veränderungen der Erdoberfläche oder Atmosphäre, die eine potenzielle Bedrohung für den Menschen oder dessen Lebensweise darstellen. Insbesondere plötzlich eintretende Veränderungen können verheerende Auswirkungen auf Menschen oder Bauwerke haben. Typische Naturgefahren sind Starkwetterereignisse wie Sturm, Hagel oder langanhaltende Niederschläge, die zu **Hochwasser** und Überschwemmungen oder erhöhtem Schneedruck führen können. Die Risikoanalyse und das Erarbeiten von Schutzziele für potenziell drohende Gefahren, die kontinuierliche Überwachung bestehender Gefahren sowie die Umsetzung von Massnahmen zur Prävention von Elementarschäden sind Arbeitsgebiete, in denen Geologen vielfach ein diverses Spektrum an Dienstleistungen anbieten. Der Beizug eines Geologen ist insbesondere bei der Beurteilung von Murgängen, Steinschlägen, **Rutschungen**, Radon als natürlichem Gebäudeschadstoff, **Erdbeben** oder auch bei Vulkanausbrüchen unerlässlich. Die Umsetzung von Massnahmen zur Prävention von Elementarschäden unterstützen Geologen mit beratenden und planerischen Tätigkeiten, zum Beispiel bei der Installation von Hang- und Felssicherung zum Schutz vor Rutschungen oder Steinschlag.

2.1.2.5 Rohstoffe

Der Fachbereich Rohstoffe fasst alle Dienstleistungen zusammen, in denen es um die Exploration, den Abbau oder die Materialbewirtschaftung von natürlich vorkommenden fossilen oder mineralischen Rohstoffen geht. Obwohl fossile Rohstoffe wie **Erdöl und Erdgas** oder Braun- und Steinkohle international noch immer von grosser Bedeutung sind, kommt in der Schweiz nur den mineralischen Rohstoffen eine besondere Bedeutung zu. Zu den klassisch geologischen Dienstleistungen rund um das Thema mineralische Rohstoffe zählen wie auch andernorts die **Sand- und Kiesgewinnung**. Grosse Mengen von Gesteinen dieser Art werden als Zuschlagstoffe für Beton verwendet oder kommen im



Strassen- und Häuserbau zum Einsatz. Ziegelei- und Zementrohstoffe spielen eine ebenso wichtige Rolle wie der Hart- und Naturwerksteinabbau für diverse Anwendungszwecke. Erze sind abbauwürdige metallhaltige Verwachsungen mit anderen Gesteinsbestandteilen in zur Weiterverarbeitung geeigneten Reinheitsgraden. Anreicherungen von Erzmineralen, die als **Erzlagerstätten** bezeichnet werden, zählen ebenfalls zu den mineralischen Rohstoffen, werden in der Schweiz heute aber nicht mehr abgebaut.

2.1.2.6 Umwelt

Der Umweltsektor bietet bei zunehmend steigendem Bewusstsein für Klima- und Umweltfragen eine immer attraktiver werdende Sparte auch für geologische Dienstleistungen. Eine wichtige Rolle spielt hier traditionell der **Grundwasserschutz**. Dieser reicht von der Trink- und Brauchwassergewinnung bis zum Schutz von Aquiferen vor gesundheitsschädlichen Verunreinigungen infolge menschlicher Tätigkeiten. Die Siedlungswasserwirtschaft plant und begleitet vorwiegend den Umgang mit Abwasser, Betriebs- und Niederschlagswasser im städtischen Umfeld, aber auch die Zufuhr von Trinkwasser. In der Schweiz, wie auch in vielen anderen Ländern, gilt der Boden zudem als ein wertvolles Schutzgut, welches es vor Bodenschäden durch Erosion, Auswaschung, Versauerung oder durch Verschmutzungen zu schützen gilt. Geologen erbringen im **Bodenschutz** nicht nur Beratungs- und Planungsdienstleistungen, auch Bodenuntersuchungen vor Ort, die Auswertung von Laborergebnissen oder die Begleitung von Bodenverschiebungen werden angeboten. Vergleichsweise neue Technologien wie die Rückführung des atmosphärischen Treibhausgases Kohlendioxid in den geologischen Untergrund und die dortige Bindung an flüssige oder feste Phasen (**CO₂-Sequestrierung**), lassen aber auch kontinuierlich neue Aufgabenstellungen entstehen.

2.1.2.7 Hydrogeologie – ein Spezialfall

Bei allem rund um das Thema Wasser handelt es sich um einen Spezialfall, da die Hydrogeologie in ausnahmslos jedem anderen der genannten Fachbereiche ebenfalls zum Tragen kommt. Als Querschnittsthema ist die Hydrogeologie interdisziplinär und taucht deshalb mit unterschiedlicher Relevanz in fast jedem geologischen Projekt auf.

Während die Auswaschung von Schadstoffen aus mit **Altlasten** kontaminierten Standorten durch langanhaltende Niederschläge verhindert werden muss, sammelt das hydrologische Einzugsgebiet eines Stausees genügend Wasser für die **Energie**produktion in längeren Trockenphasen. Offene Geothermie Systeme zur Nutzbarmachung der tiefen Erdwärme interagieren unmittelbar mit den in der Tiefe angetroffenen Aquiferen und bei unsachgemässer Nutzung besteht die Gefahr ein solcher Aquifer nachhaltig negativ zu beeinflussen. In jeder Baugrube gehört der Grundwasserspiegel und dessen Dynamik zu den wichtigen Basisinformationen für die Planung. In zahlreichen Tunnel- und Kavernenbauprojekten kämpft die **Geotechnik** mit mehr oder weniger gut kontrollierbaren Wassereintritten. In verkarsteten Gebieten erfolgt die Entwässerung vor allem unterirdisch und ist damit für den Beobachter an der Erdoberfläche unsichtbar. Infolge starker Niederschläge kann es zu schwer vorhersehbaren Hochwasserereignissen als **Naturgefahren** kommen. Anreicherungen von Erzen als **Rohstoffen** entstehen in unterschiedlichsten Bildungsprozessen aber meist durch Absatz aus wässrigen, metallhaltigen Lösungen (hydrothermalen Fluiden). Mit dem Grundwasserschutz als einem der Primärziele des Umweltschutzes spielt die Hydrogeologie im Fachbereich **Umwelt** eine besonders wichtige Rolle.

2.2 Der Bauprozess und die Rolle des Geologen

2.2.1 Leistungsmodelle für Planer nach Projektphasen

Der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein SIA unterscheidet zwei verschiedene Arten von Dienstleistungen. Im Rahmen von zwei Verständigungsnormen werden auf Planung und Beratung ausgerichtete Dienstleistungen nach der Norm SN 509 111 (SIA 111) von solchen unterschieden, die sich unmittelbar auf die Planung von Bauwerken nach der Norm SN 509 112 (SIA 112) beziehen.

Die Ergebnisse von Planungs- und Beratungsvorhaben zielen nicht oder nicht hauptsächlich auf die Realisierung von Bauwerken. Vielmehr handelt es sich um Vorabklärungen, Strategiekonzepte, Varianzverfahren, Leitbilder oder um Aufstellungen zu den Chancen und Risiken geplanter Projekte. Das Modell nach SIA 111 bildet den Prozess von Planungen und Beratungen in seiner logischen Gliederung ab (Tabelle 2, linke Seite). Es fasst die Interaktionen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zusammen und dient als Instrument zur Verständigung beider Parteien bei der Bestellung und Erbringung von Dienstleistungen. Analog zu den Planungs- und Beratungsleistungen bildet das Modell Bauplanung



nach SIA 112 den Planungsprozess für Bauvorhaben in seiner logischen Gliederung ab (Tabelle 2, rechte Seite). Ausgelegt ist das Modell für Neubau-, Umbau-, Erhaltungs- und Umsetzungsvorhaben im Hoch- und Tiefbau und kann auf alle Arten von baubezogenen Planungsdienstleistungen und Bauwerken angewendet werden. Ein wichtiger Schwerpunkt liegt auf den Interaktionen zwischen Auftraggeber und der Planergemeinschaft, in der Praxis häufig vertreten durch einen Gesamtleiter. Die transparente Verteilung von Verantwortlichkeiten zwischen beiden Parteien soll die Zusammenarbeit über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes hinweg fördern. Während dieses Prozesses sind verschiedenste Dokumente von unterschiedlichsten Fachplanern und deren Subunternehmern zu erarbeiten. Die Resultate sind vom Gesamtleiter zu koordinieren und zu optimieren, bevor diese anschliessend mit dem Auftraggeber (z.B. den Bauherrn oder dessen Vertreter) zu besprechen und zu genehmigen sind. Besonders hervorgehoben sei an dieser Stelle, dass nicht nur auf den Erbringer der Dienstleistung ein hoher Aufwand zukommt. Die aktive Mitarbeit und das Engagement des Bestellers, nicht nur bei Entscheidungsprozessen, sind ein essenzieller Faktor zum Projekterfolg.

Mit der seit kurzem auch für die Schweiz bindenden Norm SN EN ISO 19650 verlagert sich das Verhältnis von Besteller und Erbringer, hinsichtlich des Informationsaustausches, zunehmend in Richtung von Informationen, die zu einem im Voraus definierten Zweck angefordert werden. Tendenziell verlieren wohl definierte Projektphase zugunsten agiler Arbeitsmethoden zunehmend an Bedeutung (vergleiche mit dem Ergebnisbericht des Arbeitspaketes 1 «Grundlagen IFC»).

Tabelle 2. Gegenüberstellung der Projektphasen nach SIA 111 und 112.

Planung und Beratung nach SIA 111			
Phasen		Teilphasen	
1	Vorbereitung	11	Bedürfnisformulierung, Auftragsdefinition
2	Strategische Disposition	21	Erfassung Ist-Zustand, Situationsanalyse
		22	Formulierung Ziele und Rahmenbedingungen
		23	Strategischer Ansatz
3	Konzeption	31	Lösungsmöglichkeiten
		32	Auswahl der Lösung
		33	Ausarbeitung
4	Formeller Entscheid	41	Umsetzungsentscheid
		42	Genehmigungs- und Rechtsmittelverfahren
5	Realisierung	51	Umsetzung
6	Begleitung	61	Erfolgskontrolle
		62	Anpassungen

Bauplanung nach SIA 112			
Phasen		Teilphasen	
1	Strategische Planung	11	Bedürfnisformulierung, Lösungsstrategien
2	Vorstudien	21	Definition des Bauvorhabens, Machbarkeitsstudie
		22	Auswahlverfahren
3	Projektierung	31	Vorprojekt
		32	Bauprojekt
		33	Bewilligungsverfahren / Auflageprojekt
4	Ausschreibung	41	Ausschreibung, Offertenvergleich, Vergabe
5	Realisierung	51	Ausführungsprojekt
		52	Ausführung
		53	Inbetriebnahme, Abschluss
6	Bewirtschaftung	61	Betrieb
		62	Überwachung / Überprüfung / Wartung
		63	Instandhaltung

2.2.2 Die Rolle des Geologen als Fachplaner

Mit Blick auf die in Abschnitt 2.1.2 genannten Fachbereiche der angewandten Geologie wird deutlich, dass Geologen sowohl in Planungs- und Beratungsvorhaben nach SIA 111, wie auch am Planungsprozess für Bauvorhaben nach SIA 112 beteiligt sind (Abschnitt 2.2.1 zu den Verständigungsnormen SIA 111 und SIA 112). Unter den Planungs- und Beratungsvorhaben dominieren Themen wie der Infrastrukturausbau, Mobilität und Logistik, natürliche und menschengemachte Ressourcen, der Umgang mit Naturgefahren, die Raum- und Siedlungsentwicklung oder die Organisation des öffentlichen Lebens. Geologen leisten zusammen mit Ingenieuren als Fachplaner aber auch einen wichtigen Beitrag zum Gesamterfolg von Bauvorhaben. Von diversen geologischen und geotechnischen Erkundungen und Untersuchungen bis hin zum Baugrundgutachten begleiten Geologen oftmals den gesamten Bauprozess.

Mit Ausnahme von Infrastrukturbauten beschränken sich viele Bauprojekte für den Auftraggeber und die Ausführenden auf den Bauperimeter. Die Erarbeitung eines verlässlichen geologischen Untergrundmodelles des Bauplatzes setzt oft zwangsläufig auch die Berücksichtigung der näheren Umgebung voraus. Je nach Fragestellung können im Rahmen der «näheren» Umgebung beträchtliche Distanzen um das Bauwerk herum von Interesse sein. Die Geologische Arbeit beginnt demnach oft in parzellen-übergreifenden Studien. Technisch werden Informationen aus nationalen und kantonalen Geoportalen (Abschnitt 7.1) und vielen weiteren Quellen zusammengetragen und mit geologischen Karten sowie mit eigenen, im Rahmen des betroffenen Projekts erarbeiteten Informationen zusammengeführt. Ähnlich der für die Planung und Beratung nach SIA 111 typischen Arbeitsweise finden viele der frühen geologischen Arbeiten auch in Bauprojekten auf Kartenbasis und in Geographischen Informationssystemen (GIS) statt. Digitale Bauwerksmodelle, wie sie bei der Anwendung der BIM-Methode zum Einsatz kommen (nächster Abschnitt), stehen keinesfalls in Konkurrenz zu räumlichen

Informationssystemen. Vielmehr ergänzt der Einsatz von digitalen Bauwerksmodellen die etablierte geologische Arbeitsweise um einen weiteren Schritt, der die frühestmögliche Kommunikation geologischer Expertise gegenüber anderen Projektbeteiligten ermöglichen und transparenter gestalten soll.

2.2.3 Methoden zur digitalen Bauwerksdatenmodellierung

Der englischsprachige Ausdruck «Virtual Design and Construction», kurz VDC, bezeichnet eine Arbeitsmethode des digitalen Bauens. Das «Building Information Modelling», kurz BIM, ist ein Teil dieser Arbeitsmethode. Das Merkblatt zur Anwendung der BIM-Methode (SIA 2051) definiert VDC und BIM wie folgt.

2.2.3.1 BIM-Methode (Virtual Design and Construction, VDC)

Digitales Planen, Bauen und Betreiben, welches die Verwendung von digitalen Bauwerksmodellen in Kombination mit geeigneten Organisationsformen und Prozessen beinhaltet.

2.2.3.2 Building Information Modelling (BIM)

Teil der BIM-Methode, welche die Erzeugung und die Verwaltung von digitalen Modellen einschliesslich der physikalischen und funktionalen Eigenschaften eines Bauwerks oder eines Geländes beinhaltet. Die digitalen Modelle stellen dabei eine Informationsdatenbank rund um das Bauwerk oder das Gelände dar und sind eine verlässliche Quelle für Entscheidungen während des gesamten Lebenszyklus, von der strategischen Planung bis zum Rückbau.

Die Projektziele bestimmen die Zielsetzung der BIM-Methode, indem bereits in frühen Phasen der Planung die Kommunikations- und Entscheidungswege für die spätere Zusammenarbeit definiert werden. Digitale Bauwerksmodelle werden als geeignetes Mittel zur Formulierung der Bedürfnisse des Auftraggebers angesehen und können über den Planungs-, Bau- und Betriebsphasen des Bauwerkes hinweg kontinuierlich überprüft und verbessert werden. Grundvoraussetzung für einen solch zielorientierten Ansatz sind klar und messbar formulierte Projektziele. Dem Auftraggeber untersteht damit eine besondere und letztendlich nicht delegierbare Verantwortung für die Investitionen in das Bauvorhaben. Ob der für die Investitionen erwartete Nutzen erreicht werden kann, hängt dabei massgeblich von der initialen Formulierung der Bedürfnisse ab. Die hier präsentierte Einführung in die BIM-Methode ist bewusst kurzgehalten um inhaltliche Überschneidungen mit der Einführung des Ergebnisberichtes des Arbeitspaketes 1 «Grundlagen IFC» zu vermeiden.

2.3 Geotechnik nach SIA-Phasen

Tabelle 3 basiert auf der Übersetzung einer französisch-sprachigen Empfehlung der Association des Géotechniciens et des Géologues Vaudois (AGGV) und beschreibt die geologischen und geotechnischen Dienstleistungen nach den in Abschnitt 2.2.1 eingeführten SIA Phasen für die Bauplanung. Das Original liegt diesem Bericht als Beilage bei.

Tabelle 3. Empfehlung der Association des Géotechniciens et des Géologues Vaudois (AGGV) hinsichtlich geologischer und geotechnischer Dienstleistungen nach SIA-Phasen. Die Tabelle auf dieser Seite widmet sich der Gegenüberstellung/Zuordnung verschiedener Phasenmodell. Quelle des französischen Originals: <http://aggv.ch/index.php?m=400>.

PHASEN DER PLANUNG, DER REALISIERUNG UND NUTZUNG DES BAUWERKES									
Phasen	Technische Dienstleistungen	Grundlagen	Grundlagen Tunnel	Umwelteinflüsse		Allgemeine Bedingungen	ASTRA	SBB	
	SIA 103 (2003) SIA 112 (2001)	SIA 260 (2013)	SIA 197 (2004)	SIA 269 (2011) SIA 269/1 – SIA 269/7	SIA 118 / 267 (2004) SIA 118 / 198 (2007)	Richtlinie 12001 (2005)			
		Allgemeine Überprüfung Detaillierte Überprüfung							
1	Definition der Ziele (Bedürfnisformulierung, Lösungsstrategien)	Nutzungsanforderungen <i>Nutzungsvereinbarung</i>	Strategische Planung	Studium der Unterlagen zum Bauwerk	Ergebnis der allgemeinen Überprüfung. Ergänzendes Studium der Arbeitsunterlagen	Nutzungsanforderungen <i>Nutzungsvereinbarung, QM-Vereinbarung</i>	Generelles Projekt <i>Vereinbarte Nutzung Nutzungsvereinbarung</i>	Vormeinung (ES)	
2	Vorstudien (Projektdefinition, Machbarkeitsstudie, Auswahlverfahren)	Entwurf <i>Projektbasis</i>	Vorstudien	Allgemeine Zustandsaufnahme	Detaillierte Zustandsaufnahme	Entwurf Tragwerksanalyse Bemessung	Ausführungsprojekt	Vorstudie (EP)	
3	Vorprojekt		Vorprojekt	Interventionskonzept <i>Aktualisierte Projektgrundlagen</i>				Vorstudie	Vorprojekt (AP)
	Bauprojekt	Tragwerksanalyse <i>Statische Berechnung</i> Bemessung <i>Berichte - Pläne - Listen – Kostenvoranschlag - Protokolle</i>		Strukturanalyse Zustandsbeurteilung und Empfehlung für eine Intervention <i>Interventionsprojekt</i>				Vorprojekt	Vorprojekt (AP)
	Bewilligungsverfahren, Auflageprojekt		Auflageprojekt				Genehmigungsdossier	Dossier zum Plangenehmigungsverfahren (DPAP)	
			Bauprojekt					Plangenehmigungsverfahren (PAP)	
4	Ausschreibung , (Offertvergleich, Vergabeantrag)	Ausführung <i>Ausschreibungsunterlagen</i>	Ausschreibung Ausführung	Ausschreibung	Beurteilung der Verhältnismäßigkeit von Instandhaltungsmaßnahmen	Vorbereiten der Ausführung Ausschreibung / Angebot / Vergabe -	Ausschreibung / Vergabe	Bauprojekt (P) Ausschreibung (AO), Zuschlag (C)	
5	Ausführungsprojekt	Ausführung <i>Dokumente der Ausführung, Kontrollplan</i>		Ausführungsprojekt					Unterlagen für Ausführung
	Ausführung	Ausführung <i>Ausführungsdossier</i>				Werkvertrag Bauausführung und Abschluss der Bauarbeiten	Ausführung	Realisierung (T)	
	Inbetriebnahme, Abschluss	Nutzung <i>Nutzungsanweisungen, Betriebsanweisungen</i>				Bewirtschaftung / Nutzung	Abnahme, Dossier zum erstellten Bauwerk	Inbetriebnahme (S)	
6	Betrieb Erhaltung (siehe SIA 269 und SIA 469)	Erhaltung <i>Überwachungsplan Unterhaltsplan Berichte - Pläne - Protokolle</i>	Nutzung und Betrieb	Überwachung und Instandhaltung		Bewirtschaftung / Erhaltung	Unterhalt		
			Erhaltung						

Fortsetzung von

Tabelle 3. Die Darstellung ergänzt die Tabelle auf der vorherigen Seite um die geologischen und geotechnischen Tätigkeiten je nach SIA-Phase.



GEOLOGISCHE UND GEOTECHNISCHE DIENSTLEISTUNGEN (siehe auch SIA 199 und AFTES GT32.R2F1)						
Etappe	Phase	Hauptziele (nach ISO 31000)	Erkundungen und Untersuchungen ZIG: geotechnischer Einflussbereich nach NF P 94-500			Geotechnische Ingenieurwesen (nach SIA 267 und 267/1)
			Untersuchung des geotechnischen Einflussbereichs	Geologische Untersuchungen (siehe auch SIA 106)	Geotechnische Untersuchungen	
Vorstudien	1	Definition der Nutzungsanforderungen, Einschätzung der örtlichen Gegebenheiten, Ressourcen und eine Abschätzung der Möglichkeiten zur Risikokontrolle durch Meidung oder Präventionsmassnahmen..	Erforderlich (SIA 267: Voruntersuchung). Daten, Videos, Begehung vor Ort, einfache Sondierungen möglich.	"Vormeinung" Überblick geologisches Modell, Kurzer Überblick über die Ungenauigkeiten und geologischen Gefahrenpotentiale	"Vormeinung" Überblick geotechnisches Modell, Kurzer Überblick über die Ungenauigkeiten und geotechnischen Gefahrenpotentiale	Vormeinung zu geotechnischen Risiken, Kurze Definition und Bewertung geotechnisch kritischer Situationen (z.B. hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit oder der strukturellen Sicherheit des Bauwerks und der Umgebung)
	2	Beurteilung der geologischen und geotechnischen Verhältnisse im geotechnischen Einflussbereich (ZIG) und Unsicherheiten, Vorschläge zur Risikominimierung	A priori erforderlich	"Vorstudie" Geologisches Modell Stufe Vorstudie, mit entsprechender Beurteilung von Ungenauigkeiten und geologischen Gefahrenpotentialen im ZIG	"Vorstudie" Geotechnisches Modell Stufe Vorstudie, mit entsprechender Beurteilung von Ungenauigkeiten und geotechnischen Gefahrenpotentialen im ZIG	Vorstudie zu geotechnischer Machbarkeit, Definition, Beurteilung und Behandlung wichtiger geotechnisch relevanter Situationen, Konsultation von Dritten, Vorläufige Schätzung von Kosten und Zeitrahmen
Projektklärung	3.1	Geotechnische Risikobeurteilung, Abschätzung der Möglichkeiten zum Umgang mit Risiken, Schätzung der Kosten hinsichtlich Unsicherheiten	Erforderlich (SIA 267: Hauptuntersuchung). Sondierungen, in-situ Tests, Aufnahmen, Laborversuche, in-situ Messungen.	"Vorprojekt" Geologisches Modell auf Stufe Vorprojekt, mit entsprechender Beurteilung von Ungenauigkeiten und geologischen Gefahrenpotentiale im ZIG	"Vorprojekt" Geotechnisches Modell auf Stufe Vorprojekt, mit entsprechender Beurteilung von Ungenauigkeiten und geotechnischen Gefahrenpotentialen im ZIG Abschätzung Extremwerte und wahrscheinliche Werte.	Geotechnische Machbarkeitsstudie auf Stufe Vorprojekt, Definition, Beurteilung und Behandlung wichtiger geotechnisch relevanter Situationen, Konsultation von Dritten, Vorläufige Schätzung von Kosten und Zeitrahmen
	3.2	Risikomanagement des Projektes, basierend auf der Schätzung von Unsicherheiten	Falls erforderlich (SIA 267: umfassende Untersuchung)	"Projekt" Geologisches Modell auf Projektstufe, mit entsprechender Beurteilung von Ungenauigkeiten und geologischen Gefahrenpotentiale im ZIG	"Projekt" Geotechnisches Modell auf Projektstufe, mit entsprechender Beurteilung von Ungenauigkeiten und geotechnischen Gefahrenpotentialen im ZIG Abschätzung Extremwerte und wahrscheinliche Werte.	Geotechnisches Projekt. Definition, Beurteilung und Behandlung von geotechnisch wichtigen und untergeordneten relevanten Situationen auf Projektstufe, geometrische Kenngrössen und geotechnische Parameter: Ausgewählte charakteristische Kennwerte gemäß SIA 267, Abschnitt 4.2 Vereinbarung mit Dritten, Definition von Steuer- und Überwachungsmechanismen auf Projektstufe, falls erforderlich, Anwendung Beobachtungsmethode - einschliesslich detaillierter Fristen
	3.3	Aufzählung von Risiken und Gegenmassnahmen, Definition von übertragbaren Risiken, Akzeptanz von nicht übertragbaren Restrisiken	-	Synthese aller geologischen Kenntnisse	Synthese aller geotechnischen Kenntnisse	Geotechnisches Genehmigungsdossier, Definition der Risiken und Klärung der Verantwortlichkeiten Kommunikation und Beratung.
	4	Definition von Kosten und Terminen, Übertragung von versicherbaren Risiken	-	-	-	Ausschreibung der geotechnischen Dienstleistungen Variantenanalyse Kosten und Vorlaufzeiten: Basis- und Zeitplanangebote, Reserve für unvorhergesehene Ereignisse und unvorhersehbare Reserve.
Realisierung	5.1	Kontrolle der Kosten und Fristen des "Ausführungsprojekts" über Kontrollprogramm	Falls erforderlich	"Ausführungsprojekt" Geologisches Modell auf Stufe Ausführungsprojekt, mit entsprechender Beurteilung von Ungenauigkeiten und geologischen Gefahrenpotentialen im ZIG, Benachrichtigung falls die Beobachtungsmethode zur Anwendung kommt	"Ausführungsprojekt" Geotechnisches Modell auf Stufe Ausführungsprojekt, mit entsprechender Beurteilung von Ungenauigkeiten und geotechnischen Gefahrenpotentialen im ZIG,	Geotechnische Ausführungsstudie, Definition / Bewertung. "Ausführungsprojekt" Behandlung wichtiger oder geringfügiger geotechnisch kritischer Situationen, Beratung mit Dritten, Definition "Ausführungsprojekt" von Kontrollen, Überwachung und präventiven oder unterstützende Massnahmen.
	5.2	Kontrolle der während der Ausführung identifizierten "Werks"-Risiken, Anpassung der Kosten und Termine an die tatsächlichen Bedingungen	Erforderlich	"Bauarbeiten" Überprüfung der Eignung des geologischen Modells, Beurteilung von Kontrollmassnahmen	"Bauarbeiten" Überprüfung der Eignung des geotechnischen Modells,	Management der geotechnischen Umsetzung. Definition / Bewertung / Behandlung von grösseren oder kleineren geotechnisch kritischen Situationen, Beratung mit Dritten Kontrollen, Überwachung und vorbeugende oder unterstützende Massnahmen, Prüfung der Meinungen und Behauptungen des Unternehmens.
	5.3	Abnahme der Arbeit durch den Bauherrn (Beginn der Fristen für die Meldung von Mängeln und Verjährungsfristen)	-	Geologisches Dossier des ausgeführten Bauwerks	Geotechnisches Untersuchungsdossier des ausgeführten Bauwerks	Geotechnisches Dossier für die ausgeführten Arbeiten, Überwachungs- und Instandhaltungsprogramm, Entschädigung Dritter Bau-Endabrechnung, Abnahme der Arbeiten.
Betrieb	6	Gewährleistung der Dauerhaftigkeit des Bauwerks und der Umgebung, Überwachung und Kontrolle der Restrisiken	Falls erforderlich	Stellungnahme zum Überwachungs- und Instandhaltungsprogramm, Überprüfung der Angemessenheit des geologischen Modells	"Instandhaltung " Überprüfung der Eignung des geotechnischen Modells	Überwachung Information an Dritte, Handlungsempfehlung für das Werk oder die Umgebung



n|w

CHGEOL
—

3 Normen und Standards

3.1 Zwischen staatlicher Hoheit und Selbstregulierung

Gesetze, Verordnungen und Erlasse stehen unter staatlicher Hoheit und sind allgemein verbindlich. Im Gegensatz dazu ist die Anwendung von Normen freiwillig. Bindend werden Normen erst als Bestandteil von Verträgen, in denen sich die Geschäftspartner im gegenseitigen Einverständnis zur Einhaltung einer Norm verpflichten. Zusammen mit den von Verbänden herausgegebenen Spezifikationen und Richtlinien, sowie firmenspezifischen Standards handelt es sich um Versuche der wirtschaftlichen Selbstregulierung. Dieses Prinzip der Selbstorganisation beruht auf der Philosophie, dass die betroffenen Berufsgruppen selbst über das beste Wissen eines notwendigen Standardisierungsbedarfs in der eigenen Branche verfügen. Zu den von der Schweizerischen Normen-Vereinigung (SNV) anerkannten Normungsorganisationen gehören zum Beispiel auch die International Organization for Standardization (ISO) mit Sitz in Genf oder das Comité Européen de Normalisation (CEN) mit Sitz in Brüssel. Dabei ist das CEN verantwortlich für die Herausgabe europäischer Normen (EN). Der SNV sieht die anerkannten Normen an der Schnittstelle zwischen der wirtschaftlichen Selbstregulierung hin zu verbindlicheren aber dadurch oft auch weniger flexiblen und weniger detaillierten gesetzlichen Vorgaben (Abbildung 7).

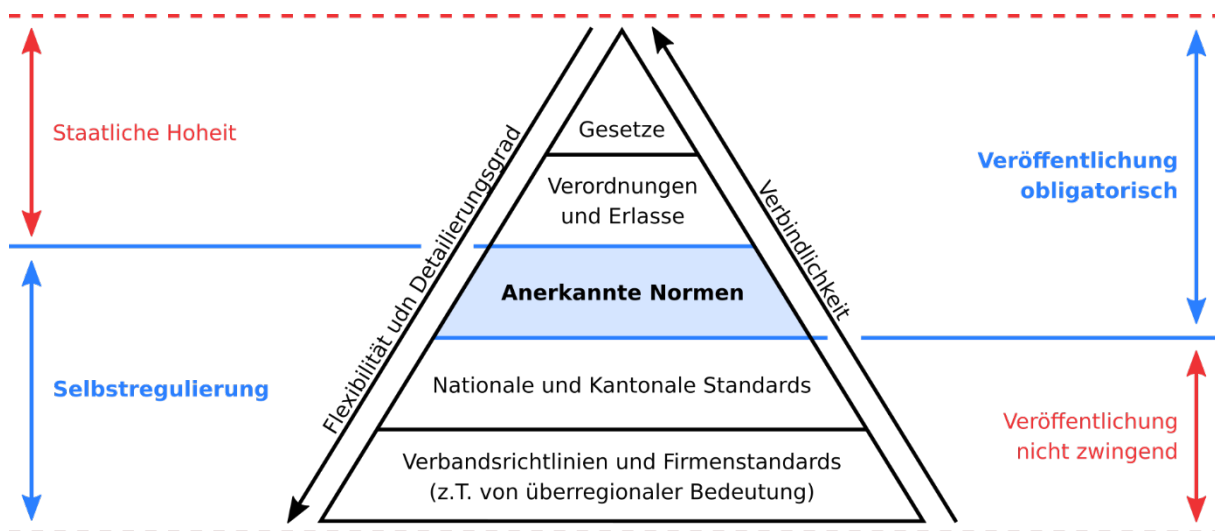


Abbildung 7. Anerkannte Normen an der Schnittstelle zwischen Gesetzgebung und Standardisierung (verändert nach SNV).

Wie sollte es anders sein – die «Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten» sind ebenfalls normiert (SN EN 45020). SN EN 45020 hält fest, dass Normen nicht das Werk einzelner Interessensgruppen sind, sondern im Konsensprinzip herausgegeben werden, also im Einvernehmen mit allen interessierten Kreisen, einschliesslich kritischer Vertreter. Bestätigt durch eine neutrale Institution, die Normungsorganisation, reflektieren Normen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik, wie dieser von einer repräsentativen Mehrheit an Fachpersonen wahrgenommen wird. Das Schweizer Normenwerk besteht derzeit aus mehr als 26'000 Normen. Rund 25'000 Normen wurden direkt aus den europäischen und internationalen Normenwerken übernommen und der reine Schweizer Anteil ist mit ungefähr 1'000 Normen vergleichsweise gering.

3.2 Anerkannte Normen in der Geologie und Geotechnik

Der Fachbereich der Geotechnik zieht sich durch die in GEOL_BIM primär betrachteten Anwendungsgebiete, allen voran jener des Baugrundes und Tunnelbaus. Gerade die Geotechnik ist historisch bedingt ein stark normierter Fachbereich. Das Wissen über aktuelle und ausser Kraft gesetzte Normen ist demnach ein wichtiger Bestandteil der Praxis geologischer Dienstleister.

Die nachfolgenden Abschnitte unterscheiden dem SNV folgend internationale (Kennung: ISO), europäischen (Kennung: EN) und reine Schweizer Normen (Kennung: SN). Im Entstehungsprozess nationaler Normen sind die Berufsverbände stark involviert. Die nachfolgenden Tabellen nennen in der

Spalte «Referenznummer» auch synonyme Bezeichnungen einer Norm. GEOL_BIM verwendet für die Zitation von Normen die fett gedruckten **Referenznummern** mit dem gebräuchlichsten Synonym in runden Klammern. Die Kürzel vor den Normenbezeichnungen folgen den Vorgaben des SNV. Hinweis: Bisher wurden aus dem europäischen oder internationalen Umfeld übernommene Normen zusätzlich zu der ISO- oder EN-Referenznummer mit einer 6-stelligen SN-Referenznummer versehen. Zukünftig werden die auf europäischer oder internationaler Ebene gültigen Referenznummern unverändert in das Schweizer Normenwerk übernommen.

Im Auftrag der European Union (EU) und der European Free Trade Association (EFTA) sollen Normen den freien Warenfluss und grenzübergreifende Dienstleistungen in Europa erleichtern. Damit dies gelingt, muss sichergestellt werden, dass die rein nationalen Normen mit den europäischen im Einklang stehen. Der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (SIA) und der Schweizerische Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) wurden neben einigen anderen Verbänden mit der nationalen Umsetzung beauftragt und sind deshalb als Fachbereiche im SNV vertreten. Bei der Übernahme von Normen aus dem internationalen Umfeld der Schweiz versehen sie die Normen mit einem nationalen Vorwort.

3.2.1 Schweizer Normen

Tabelle 4 fasst für GEOL_BIM relevante Schweizer Normen von überwiegend nationaler Bedeutung zusammen. Der Fokus liegt auf dem Fachbereich Geotechnik, da dieser sowohl für die Fragestellungen rund um die Anwendungsgebiete Tunnelbau und Baugrund von besonderer Relevanz ist. Einige allgemein für Bauprozesse relevante Normen wurden ebenfalls hinzugefügt. Die Normenrecherche wurde im Juli 2020 durchgeführt, für die mit einem * markierten Einträge konnten die Vorläufer nicht sicher rekonstruiert werden.

Tabelle 4. Schweizer Normen von überwiegend nationaler Bedeutung.

Referenznummer	Sprachen	Ersetzt	Titel
SN 505 261 : 2014 SIA 261: 2014	DE / FR	SN 505 261: 2003	Einwirkungen auf Tragwerke
SN 505 261/1 : 2014 SIA 261/1: 2014	DE / FR	SN 505 261/1: 2003	Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen
SN 505 267 : 2013 SIA 267: 2013	DE / FR	SN 505 267: 2003	Geotechnik
SN 505 267/1 : 2013 SIA 267/1: 2013	DE / FR	SN 505 267/1: 2003	Geotechnik – Ergänzende Festlegungen
SN 507 118 : 2014 SIA 118: 2013	DE / FR / IT	SIA 118: 1991	Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten
SN 507 267 : 2019 SIA 118/267: 2019	DE / FR	SIA 118/267: 2004	Allgemeine Bedingungen für geotechnische Arbeiten
SN 507 142 : 2009 SIA 142: 2009	DE / FR / IT	SIA 140	Ordnung für Architektur- und Ingenieurwettbewerbe
SN 507 143 : 2009 SIA 143: 2009	DE / FR / IT	SIA 140	Ordnung für Architektur- und Ingenieurstudienaufträge
SN 507 144 : 2013 SIA 144: 2009	DE / FR / IT	SIA 140	Ordnung für Ingenieur- und Architekturleistungsofferten
SN 509 111 : 2014 SIA 111: 2014	DE / FR / IT	SIA 111: 2003	Modell Planung und Beratung – Verständigungsnorm
SN 509 112 : 2014 SIA 112: 2014	DE / FR / IT	SIA 112: 2003	Modell Bauplanung – Verständigungsnorm
SN 531 199 : 2015 SIA 199: 2015	DE / FR	SN 531 199: 1998	Erfassen des Gebirges im Untertagebau
SN 546 384/6 : 2010 SIA 384/6: 2010	DE / FR / IT	-	Erdwärmesonden
SN 546 384/7 : 2015 SIA 384/7: 2015	DE / FR / IT	-	Grundwasserwärmenutzung
SN 670 009 : 1995 VSS 70 009: 1995	DE / FR	-	Geologische Terminologie der Lockergesteine
SN 670 009a : 2009 VSS 70 009a: 2009	DE / FR	SN 670 009: 1995	Geologische Terminologie der Lockergesteine
SN 670 010 : 2011 VSS 70 010: 2011	DE / FR	SN 670 010b: 1998	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geotechnische Kenngrössen
SN 670 115 : 2004 VSS 70 115: 2004	DE / FR		Gesteinskörnungen – Qualitative und quantitative Mineralogie und Petrographie
SN 670 300 : 1993 VSS 70 300: 1993	DE / FR		Böden, Versuche – Notwendige Parameter für die Darstellung der Resultate geotechnischer Versuche

SN 670 305: 2000 VSS 70 305: 2000	DE / FR		Überwachung von Bauwerken in nicht stabilem Gelände, inkl. Anhang Liste der häufigsten Beobachtungsinstrumente
SN 670 312b: 1998 VSS 70 312b: 1998	DE / FR		VSS-Gerät für den Plattendruckversuch E_V und M_E
SN 670 314: 1996 VSS 70 314: 1996	DE / FR		Rammsondierung «von Moos»
SN 670 316a: 1994 VSS 70 316a: 1994	DE / FR		Versuche an Böden – CBR-Penetrometer, Feldversuch
SN 670 317b: 2019 VSS 70 317: 2019	DE / FR		Böden, Plattendruckversuche E_V und M_E
SN 670 335: 2019 VSS 70 335: 2019	DE / FR	SN 670 335a: 1989*	Versuche an Böden – Dichte des Bodens durch Feldmethoden
SN 670 345: 2008 VSS 70 345: 2008	DE / FR	SN 670 345a: 1989*	Böden – Konsistenzgrenzen
SN 670 350a: 2008 VSS 70 350a: 2008	DE / FR	SN 670 350: 1992*	Böden – Taschenpenetrometer, Taschen- und Laborflügelsonde
SN 670 352a: 2008 VSS 70 352a: 2008	DE / FR	SN 670 352: 1992*	Böden – Einaxiale Druckfestigkeit
SN 640 034: 2019 VSS 40 034: 2019	DE / FR	SN 640 034a: 2011*	Darstellung der Projekte – Signaturen für die Geotechnik und die Geologie

3.2.2 Europäische Normen

Tabelle 5 fasst für GEOL_BIM relevante Schweizer Ausgaben von Europäischen Normen zusammen, die unverändert von allen Mitgliedern der europäischen Normungsorganisation CEN übernommen wurden. Der Fokus liegt auf dem Fachbereich Geotechnik, da dieser sowohl für die Fragestellungen rund um die Anwendungsgebiete Tunnelbau und Baugrund von besonderer Relevanz ist. Die Normenrecherche wurde im Juli 2020 durchgeführt, für die mit einem * markierten Einträge konnten die Vorläufer nicht sicher rekonstruiert werden.

Tabelle 5. Von der Schweiz übernommene europäische Normen.

Referenznummer	Sprachen	Ersetzt	Titel
SN EN 933-1: 2012 SN 670 902-1: 2013	DE / FR / EN	SN EN 933-1:1997 SN 670 902-1b: 2007	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Siebverfahren
SN EN 933-2: 1995 SN 670 902-2: 2003	DE / FR / EN	SN 670 902-2: 2002	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 2: Bestimmung der Korngrößenverteilung – Analysensieb, Nennweite der Sieböffnung
SN EN 933-3: 2012 SN 670 902-3: 2013	DE / FR / EN	SN EN 933-1:1997 SN 670 902-3a: 2005	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 3: Bestimmung der Kornform – Plattigkeitskennzahl
SN EN 933-4: 2008 SN 670 902-4b: 2010	DE / FR / EN	SN EN 933-4: 1999 SN 670 902-4a: 2003	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 4: Bestimmung der Kornform – Kornformkennzahl
SN EN 933-5: 2004 SN 670 902-5b: 2010	DE / FR / EN	SN EN 933-5: 1998 SN 670 902-5a: 2003	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 5: Bestimmung des Anteils an gebrochenen Körnern in groben Gesteinskörnungen
SN EN 933-6: 2014 SN 670 902-6: 2016	DE / FR / EN	SN EN 933-6: 2004 SN 670 902-6b: 2006	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 6: Beurteilung der Oberflächeneigenschaften – Fliehkoeffizienten von Gesteinskörnungen
SN EN 933-7: 1998 SN 670 902-7a: 2003	DE / FR / EN	SN 670 902-7: 2001	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 7: Bestimmung des Muschelschalengehaltes – Prozentsatz von Muschelschalen in groben Gesteinskörnungen
SN EN 933-8: 2012 SN 670 902-8: 2016	DE / FR / EN	SN 670 902-8: 2012	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 8: Beurteilung von Feinanteilen – Sandäquivalent-Verfahren
SN EN 933-9: 2013 SN 670 902-9: 2014	DE / FR / EN	SN EN 933-9: 2009 SN 670 902-9b: 2011	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 9: Beurteilung von Feinanteilen – Mythylenblau-Verfahren
SN EN 933-10: 2009 SN 670 902-10b: 2010	DE / FR / EN	SN EN 933-10: 2001 SN 670 902-10b: 2003	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 10: Beurteilung von Feinanteilen – Kornverteilungen von Füller (Luftstrahlsiebung)
SN EN 933-11: 2009 SN 670 902-11: 2010	DE / FR / EN	SN EN 933-11: 2001*	Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 11: Beurteilung der Bestandteile in grober rezyklierte Gesteinskörnung

EN 1997-1: 2013	DE / EN	EN 1997-1: 2004	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
SN EN 1997-2: 2007 SN 670 002-2-NA: 2009	DE / EN	SN 670 311a: 1969	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrundes
EN 1997-2: 2010	DE / EN	EN 1997-2: 2007	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrundes

3.2.3 Internationale Normen

Tabelle 6 fasst für GEOL_BIM relevante Schweizer Ausgaben von Europäischen Normen zusammen, die mit einer internationalen Norm identisch sind und die unverändert von allen Mitgliedern der europäischen Normungsorganisation CEN übernommen wurden. Der Fokus liegt auf dem Fachbereich Geotechnik, da dieser sowohl für die Fragestellungen rund um die Anwendungsgebiete Tunnelbau und Baugrund von besonderer Relevanz ist. Die Normenrecherche wurde im Juli 2020 durchgeführt.

Tabelle 6. Von der Schweiz übernommene internationale Normen.

Referenznummer	Sprachen	Ersetzt	Titel
SN EN ISO 14688-1: 2017	DE / FR / EN	SN EN ISO 14688-1: 2002 SN 670 004-1b: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung
SN EN ISO 14688-2: 2017	DE / FR / EN	SN EN ISO 14688-2: 2004 SN 670 004-2b-NA: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen
SN EN ISO 14689: 2017	DE / FR / EN	SN EN ISO 14689-1: 2003 SN 670 006	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels
SN EN ISO 17892-1: 2014 SN 670 340-1: 2016	DE / EN	SN EN ISO 17892-1: 2005 SN 670 340-1: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 1: Bestimmung des Wassergehaltes
SN EN ISO 17892-2: 2014 SN 670 340-2: 2016	DE / EN	SN EN ISO 17892-2: 2005 SN 670 340-2: 2008 SN 670 335a-2: 1990	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 2: Bestimmung der Dichte des Bodens
SN EN ISO 17892-3: 2015 SN 670 340-3: 2016	DE / FR / EN	SN EN ISO 17892-3: 2005 SN 670 340-3: 2008 SN 670 335a-3: 1990	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 3: Bestimmung der Korndichte
SN EN ISO 17892-4: 2016 SN 670 340-4: 2018	DE / FR / EN	SN EN ISO 17892-4: 2004 SN 670 340-4: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung
SN EN ISO 17892-5: 2017 SN 670 340-5: 2018	DE / FR / EN	SN EN ISO 17892-5: 2004 SN 670 340-5: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 5: Oedometerversuch mit stufenweiser Belastung
SN EN ISO 17892-6: 2017 SN 670 340-6: 2018	DE / FR / EN	SN EN ISO 17892-6: 2004 SN 670 340-6: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 6: Fallkegelversuch
SN EN ISO 17892-7: 2017 SN 670 340-7: 2018	DE / FR / EN	SN EN ISO 17892-7: 2004	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 7: Einaxialer Druckversuch
SN EN ISO 17892-8: 2018 SN 670 340-8: 2018	DE / FR / EN	SN EN ISO 17892-8: 2004 SN 670 340-8: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 8: Unkonsolidierter undrännierter Triaxialversuch
SN EN ISO 17892-9: 2018 SN 670 340-9: 2018	DE / FR / EN	SN EN ISO 17892-9: 2004 SN 670 340-9: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 9: Konsolidierter triaxiale Kompressionsversuche an wassergesättigten Böden
SN EN ISO 17892-10: 2018 SN 670 340-10: 2018	DE / FR / EN	SN EN ISO 17892-10: 2005 SN 670 340-10: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 10: Direkte Scherversuche
SN EN ISO 17892-11: 2019 SN 670 340-11: 2019	DE / FR / EN	SN EN ISO 17892-11: 2005 SN 670 340-11: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit



SN EN ISO 17892-12: 2018 SN 670 340-12: 2019	DE / FR / EN	SN EN ISO 17892-12: 2004 SN 670 340-12: 2008 VSS 70345: 2019	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 12: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen
SN EN ISO 18674-1: 2015 SN 670 007-1: 2018	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geotechnische Messungen – Teil 1: Allgemeine Regeln
SN EN ISO 18674-2: 2016 SN 670 007-2: 2018	DE / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geotechnische Messungen – Teil 2: Verschiebungsmessungen entlang einer Messlinie: Extensometer
SN EN ISO 18674-3: 2017 SN 670 007-3: 2018	DE / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geotechnische Messungen – Teil 3: Verschiebungsmessungen quer zu einer Messlinie: Inklinometer
SN EN ISO 18674-5: 2019	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geotechnische Messungen – Teil 5: Spannungsänderungsmessungen mittels Druckmessdosens
SN EN ISO 22282-1: 2012 SN 670 341-1: 2012	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geohydraulische Versuche – Teil 1: Allgemeine Regeln
SN EN ISO 22282-2: 2012 SN 670 341-2: 2012	DE / FR / EN	SN 670 390a: 2003	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geohydraulische Versuche – Teil 2: Wasserdurchlässigkeitsversuche in einem Bohrloch unter Anwendung offener Systeme
SN EN ISO 22282-3: 2012 SN 670 341-3: 2012	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geohydraulische Versuche – Teil 3: Wasserdruckversuch in Fels
SN EN ISO 22282-4: 2012 SN 670 341-4: 2012	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geohydraulische Versuche – Teil 4: Pumpversuche
SN EN ISO 22282-5: 2012 SN 670 341-5: 2012	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geohydraulische Versuche – Teil 5: Infiltrometerversuche
SN EN ISO 22282-6: 2012 SN 670 341-6: 2012	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geohydraulische Versuche – Teil 6: Wasserdurchlässigkeitsversuche im Bohrloch unter Anwendung geschlossener Systeme
SN EN ISO 22476-1: 2011 SN 670 318-1: 2012	FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck
SN EN ISO 22476-2: 2011 SN 670 318-2: 2012	DE / FR / EN	SN 670 318-2: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 2: Rammsondierungen – Änderung 1
SN EN ISO 22476-3: 2011 SN 670 318-3: 2012	DE / FR / EN	SN 670 318-3: 2008	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 3: Standard Penetration Test – Änderung 1
SN EN ISO 22476-4: 2012 SN 670 318-4: 2013	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 4: Pressiometerversuch nach Ménard
SN EN ISO 22476-5: 2012 SN 670 318-5: 2013	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 5: Versuch mit dem flexiblen Dilatometer
SN EN ISO 22476-6: 2012 SN 670 318-6: 2013	FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 6: Versuch mit selbstbohrendem Pressiometer
SN EN ISO 22476-7: 2012 SN 670 318-7: 2013	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 7: Seitendruckversuch
SN EN ISO 22476-8: 2018 SN 670 318-8: 2020	FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 8: Versuch mit dem Verdrängungspressiometer
EN ISO 22476-10: 2017	DE / FR / EN	EN ISO 22476-10: 2005	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 10: Gewichtsdondierung
EN ISO 22476-11: 2017	DE / FR / EN	EN ISO 22476-11: 2005	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 11: Flachdilatometerversuche
SN EN ISO 22476-12: 2009 SN 670 318-12: 2009	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 12: Drucksondierungen mit mechanischen Messwertaufnehmern
SN EN ISO 22476-15: 2016 SN 670 318-15: 2019	DE / FR / EN	-	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 15: Aufzeichnung der Bohrparameter

3.3 Geologische Standards

Der Begriff «Standard» findet heutzutage eine breite Verwendung. Die vorangehend besprochenen Normen zählen ebenfalls zu den Standards und werden bspw. im englischen Sprachraum auch als solche (recognized / public standards) bezeichnet. Aufgrund ihrer übergeordneten Rolle werden sie im vorliegenden Bericht in dem separaten Abschnitt 3.2 behandelt.

Im aktuellen Kapitel werden weitere Standards innerhalb des Themenfeldes Geologie exemplarisch betrachtet. Die Erarbeitung und die Anwendung dieser Standards erfolgen auf unterschiedlichen Ebenen. Es kann sich dabei um internationale, nationale, kantonale Standards oder um Verbandsrichtlinien oder Firmenstandards handeln. 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 oder logischen Datenmodells dokumentiert und verfügbar wird. 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 Hilfe bei der Realisierung solcher Schnittstellen dar. Demgegenüber bestehen Normen meistens aus beschreibendem Text, der zunächst strukturiert werden muss, um daraus Datenmodelle und Schnittstellen ableiten zu können. Es ist jedoch wichtig, dass Standards bzw. Datenmodelle die bestehenden Normen berücksichtigen und eine entsprechende Integration gewährleistet ist.

Nachstehend werden auch Standards berücksichtigt, die keine eigenständigen Datenmodelle beinhalten, jedoch in Datenmodelle integriert werden können. Hierbei handelt es sich in der Regel um die Definition von Code- oder Wertelisten, welche die Klassifikation geologischer Elemente nach verschiedenen Kriterien wie etwa Lithologie, Lithogenese, Lithostratigraphie, Chronostratigraphie oder Korngrößenverteilung erlauben.

3.3.1 Internationale Standards

Nachstehend sind drei internationale Standards kurz beschrieben. Es handelt sich um die zwei Datenmodell basierten Standards GeoSciML (Geoscience Markup Language) und AGS-Datenmodell (Association of Geotechnical Specialists) sowie der weltweit bekannte USCS-Standard (Unified Soil Classification System). Eine detailliertere Beschreibung von GeoSciML und AGS ist im «Ergebnisbericht Arbeitspaket 1 Grundlagen IFC» zu finden.

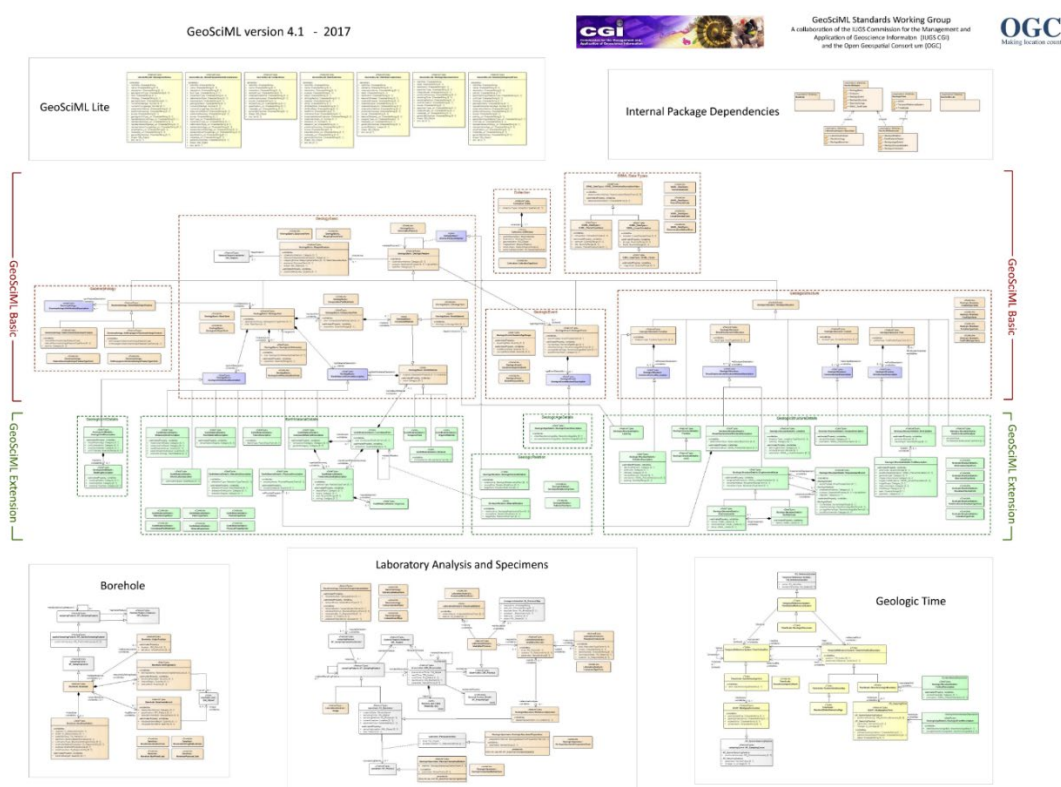


Abbildung 8. Umfang des [GeoSciML-Datenmodells V4.1](#) (Chadwick, 2019).

3.3.1.1 GeoSciML

GeoSciML (<http://geosciml.org/>) ist ein Standard des Open Geospatial Consortiums (OGC), der aktuell in der Version V4.1 verfügbar ist. Es handelt sich um ein Datenmodell, das die geologischen Elemente einheitlich beschreibt. Hierzu gehören u. a. geologische Karten, geologische Profilschnitte wie auch geologische Berichte. Es deckt verschiedene Arbeitsmethoden der Geologie ab (z.B. geologische Einheiten und Stratigraphie, geologische Strukturen, Geomorphologie und Geochemie). Ein wichtiger Teil stellt zudem die Ermittlung und Erfassung geologischer Daten dar. Dies beinhaltet auch die Bohraufnahmen, die Probeentnahmen und -untersuchungen.

Es besteht eine Vollversion sowie eine light Version von GeoSciML. Der Standard wird von zahlreichen Geologischen Landesdiensten genutzt und wird bei mehreren Geodateninfrastrukturen (INSPIRE, EPOS, AuScope, ...) berücksichtigt. Abbildung 8 zeigt illustrativ das breite Spektrum des GeoSciML-Datenmodells.

In der Schweiz ist keine Verwendung von GeoSciML bekannt.

3.3.1.2 AGS Standard

Im Jahr 1991 erarbeitete die AGS einen Standard zum Austausch von geotechnischen Daten zwischen Branchenorganisationen. Dieses "AGS-Datenformat" bietet einen Standard für die Übertragung von Bodenuntersuchungs-, Laboruntersuchungs- und Überwachungsdaten zwischen den beteiligten Parteien von Projekten, die geotechnische oder geoökologische Elemente beinhalten. Der AGS Standard ermöglicht somit einen effizienten Datenworkflow.

Die geotechnischen Daten werden von einem Auftragnehmer direkt vor Ort oder im Labor erfasst und dann an alle Mitglieder des Projektteams weitergeleitet. Das Projektteam verwendet die Daten im Anschluss 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 9 zeigt die verschiedenen Einsatzbereiche, bei denen der AGS-Standard zum Einsatz kommt, als Übersetzung aus dem englischsprachigen Original (OGC, 2017).



Abbildung 9. Verschiedene Einsatzgebiete des AGS-Standards (OGC, 2017).

Der AGS-Standard findet in Grossbritannien breite Verwendung. Jedoch kommt er auch in Ländern wie den USA, Australien oder Singapur zum Einsatz.

In der Schweiz kommt AGS teilweise bei Anbietern von geologischen Dienstleistungen und bei Ingenieurbüros zum Einsatz, wenn es sich um internationale Projektbeteiligungen in einem der vorangehend aufgeführten Ländern handelt.

3.3.1.3 Unified Soil Classification System (USCS)

Seit mehr als 80 Jahren kommt weltweit die bekannte USCS-Klassifikation für die geotechnische Klassifikation von Lockergesteinen zur Anwendung. Es handelt sich um eine codebasierte Klassifikation für Lockergesteine mit Korngrössenspektren zwischen Ton- bis Kiesfraktion (Abbildung 10). Neben Korngrösse und Kornverteilung berücksichtigt die USCS-Klassifikation auch die Plastizitätseigenschaften des Feinanteils sowie die organischen Beimengungen. Die USCS-Klassifikation kann im Labor oder bedingt auch im Feld angewendet werden. Sie hat sich im themenübergreifenden Einsatz zwischen Geologen, Geotechnikern und Bauingenieuren bewährt. Sie wird auch heute noch in gültigen Normen berücksichtigt, zum Beispiel in:

- SN EN ISO 14688-2 - Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierungen
- SN 670 010 - Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Geotechnische Kenngrössen

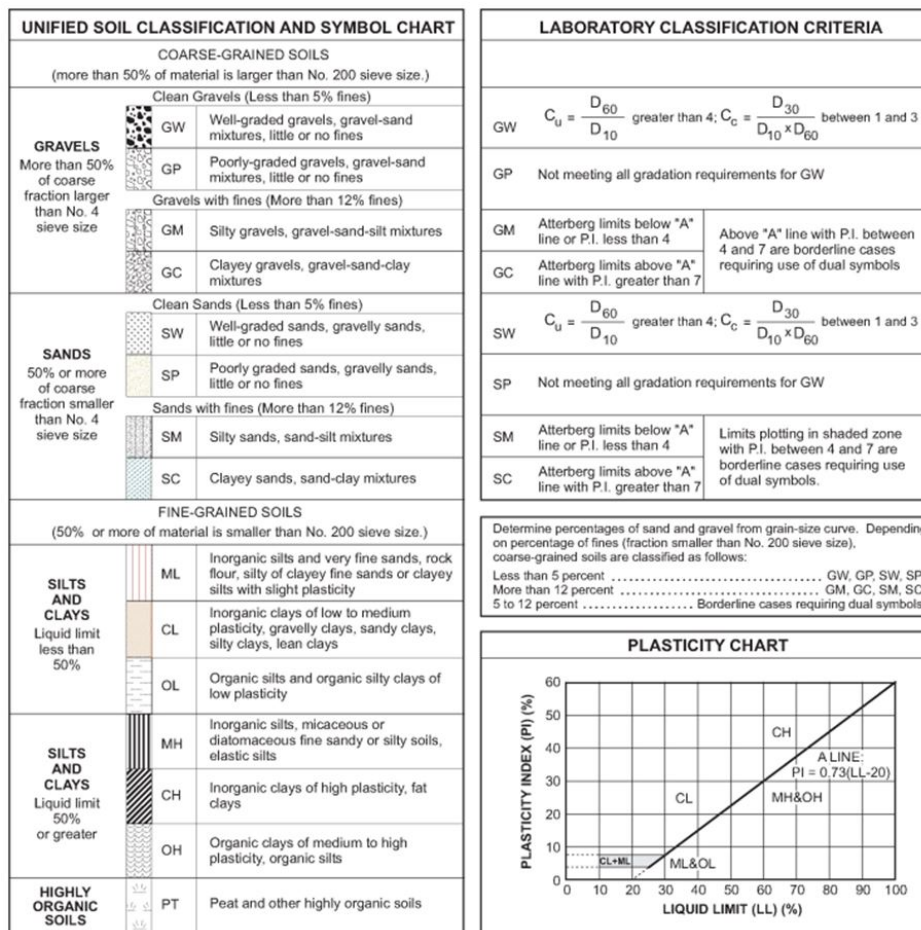


Abbildung 10. Auszug aus der [USCS-Klassifikation](#) (Schmidt, 2020).

3.3.2 Nationale Standards

In der Geologie gibt es neben den Schweizer Normen nur wenige nationale geologische Standards. Intensive Bestrebungen zur Umsetzung nationaler geologischer Standards laufen bei swisstopo. Die Landesgeologie als Bereich von swisstopo ist gesetzlich verpflichtet, für die geologischen Geobasisdaten nach Bundesrecht (=geologische Produkte von swisstopo) minimale Datenmodelle zu erstellen, welche die Daten in ihrer Struktur und nach ihrem Inhalt beschreiben. Eine Beschreibung dieser Datenmodelle muss auch mittels der Datenbeschreibungssprache INTERLIS erstellt und bereitgestellt werden. Zweck von INTERLIS ist die möglichst präzise Beschreibung des Transfermodelles (INTER) zwischen Land-Informationssystemen (LIS) verschiedener Anwender (KOGIS, 2006).

Mittlerweile wurden bei swisstopo bereits mehrere Datenmodelle entwickelt. Einige Datenmodelle bzw. Module von Datenmodellen befinden sich aktuell noch im Aufbau, teilweise sind bereits Modellentwürfe vorhanden. Nachstehend sind die beiden swisstopo-Datenmodelle «Geologie» und «Bohrdaten» beschrieben.





3.3.2.1 Datenmodell Geologie

Eine der Hauptaufgaben der Landesgeologie bildet die geologische Landesaufnahme. Diese beinhaltet die geologische Kartierung der Schweiz im Massstab 1:25'000 und die Publikation der Daten im Geologischen Atlas 1: 25'000 (GA25). Mit dem GeoCover-Datensatz liegt zudem ein flächendeckender Vektordatensatz der GA25-Daten vor. Abbildung 11 zeigt eine Kartenübersicht zur Abdeckung der Schweiz mit den Atlasdaten. Die GeoCover-Datensätze basieren in ihrer Struktur auf thematischen Punkt-, Linien- und Polygondaten mit zahlreichen verknüpften Attributen. Das Datenmodell Geologie beschreibt diese Geodaten zusammen mit ihren Attributen in einem konzeptuellen Datenmodell – dem Datenmodell Geologie. Die erste Version des Datenmodells wurde 2012 publiziert. Mittlerweile ist es in einer dritten erweiterten Version unter

<https://www.geologieportal.ch/de/wissen/lookup/datenmodelle/datenmodell-geologie.html> verfügbar.

Geologischer Atlas der Schweiz Atlas géologique de la Suisse

1:25 000

-  Blatt lieferbar gedruckt, als Pixel- oder Vektordatensatz
Feuille disponible imprimée, en jeu de données raster ou vectorielles
-  Vektordatensatz lieferbar (GeoCover-Kompilationen)
Jeu de données vectorielles disponible (compilations GeoCover)
-  Blatt in Bearbeitung (GeoCover-Kompil. lieferbar)
Feuille en préparation (compil. GeoCover disponible)
-  Blatt in Aufnahme (GeoCover-Kompil. lieferbar)
Feuille en levée (compil. GeoCover disponible)

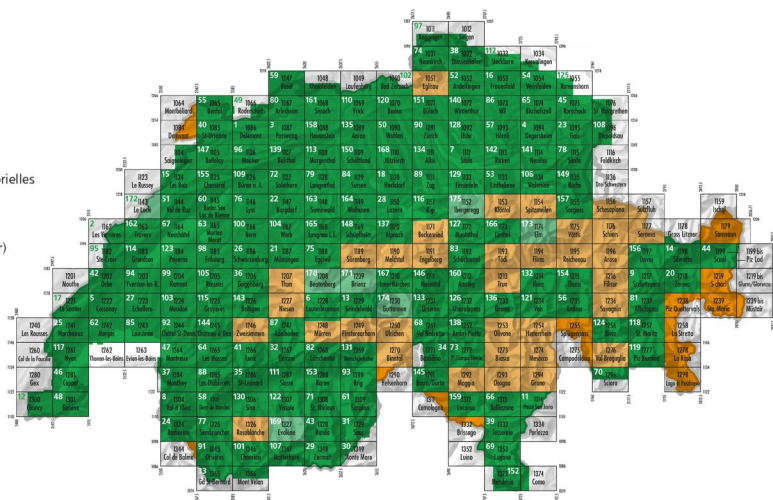


Abbildung 11. Übersicht der gemäss Datenmodell Geologie erfassten GeoCover-Kartenblätter.

Einen wichtigen Bestandteil des Datenmodells Geologie bilden die harmonisierten Wertetabellen zu Lithostratigraphie, Lithologie, Chronostratigraphie und Tektonik der Schweiz. In engem Zusammenhang mit der Lithostratigraphie steht das lithostratigraphische Lexikon, welches unter <http://www.strati.ch> einsehbar ist. Die konsequente Anwendung dieser Wertetabellen ermöglicht eine schweizweite Harmonisierung der geologischen Daten.

Das Datenmodell Geologie ermöglicht die Erstellung von einheitlich strukturierten geologischen Karten. Es stehen auch zum Teil kostenlose Hilfsmittel zur Verfügung wie etwa die Software «Toolmap» (<https://www.terranum.ch/toolmap/>), welche die modellbasierte Realisierung von geologischen Karten unterstützt.

3.3.2.2 Datenmodell Bohrdaten

Bohrungen stellen eine der wichtigsten geologischen Informationsquellen dar. Die Erfassung der Bohrdaten in der Praxis erfolgt bis heute nicht gemäss einer einheitlichen Datenstruktur. Je nach Stil des erfassenden Geologen gibt es bei den Bohraufnahmen grosse inhaltliche wie auch strukturelle Unterschiede. Um dem entgegenzuwirken, hat swisstopo die Erarbeitung eines Datenmodells Bohrdaten initiiert. Das Datenmodell besteht aus einem bereits 2014 publizierten Kernmodell (Abbildung 12) und zahlreichen angebotenen Modulen, die noch nicht publiziert sind. Das Kernmodell wurde in Zusammenarbeit mit Vertretern von Bund, Kantonen, Privatwirtschaft und Universitäten entwickelt. Es besteht aus einem Inneren und einem Erweiterten Kern, welche die Stamm- und Metadaten der Bohrungen beinhalten.

Der innere Kern beschreibt die grundlegendsten Eigenschaften, die eine Bohrung definieren. Ohne die Angabe dieser Eigenschaften wie z. B. die Länge oder die Koordinaten ergibt eine Weiterverwendung dieser Bohrdaten keinen Sinn. Diese Angaben sind öffentlich. Der Erweiterte Kern ergänzt den inneren Kern um einige wichtige und grundlegende Attribute, wie z. B. die Bohrmethode, den Bohrzweck und ob Grundwasser angetroffen wurde. Das Kernmodell kann unter <https://www.geologieportal.ch/de/wissen/lookup/datenmodelle/datenmodell-bohrdaten.html> heruntergeladen werden.

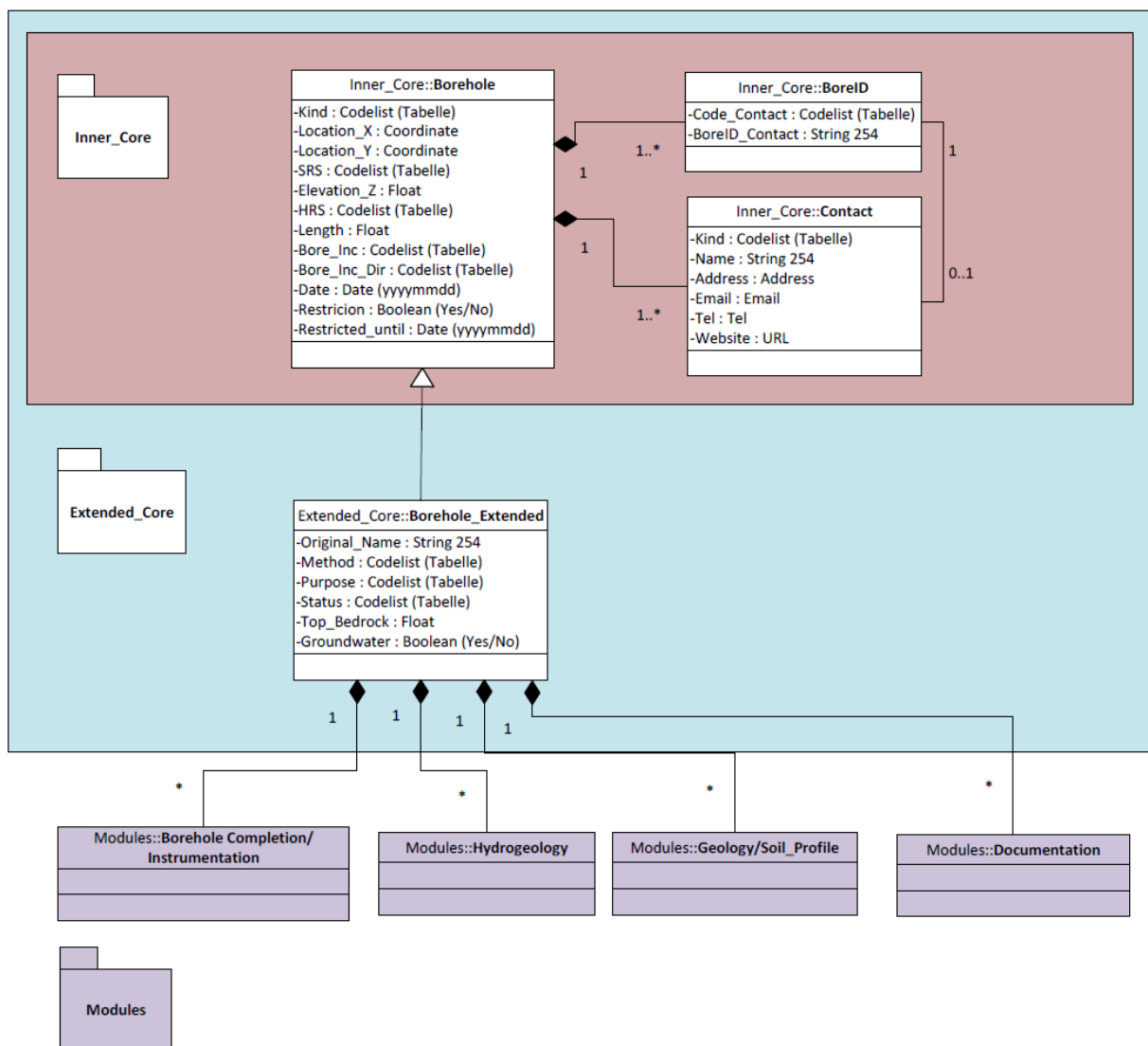


Abbildung 12. UML-Modell des Kernmodells Bohrdaten.

Angebunden an das Kernmodell befinden sich verschiedene Module in Planung oder der Entwicklung:

- Geology: geologische Schichtabfolge
- Well-track & Completion: 3D-Bohrpfad und Ausbau
- Hydrogeology: hydrogeologische Daten in der Bohrung (Messungen, Versuche, ...)
- Geotechnical Data: geotechnische Daten (Messungen, Versuche, ...)
- Deep drilling: spezifische Daten zu Tiefbohrungen

Von einigen dieser Module bestehen bereits Entwürfe. Die Module, die für das Projekt GEOL_BIM die grösste Relevanz aufweisen, sind in den nachfolgenden Abschnitten kurz beschrieben.

3.3.2.2.1 Modul Geology

Das Modul Geology – von welchem ein Entwurf vorliegt – enthält u.a. die Attribute inkl. Wertelisten für die Erfassung der Einzelschichten am Bohrgut. Neben der Korngrössenbestimmung werden auch Parameter wie Rundung, Form, Farbe oder Lagerungsdichte erfasst. Die Erfassung beinhaltet sowohl die Aufnahme von Lockergestein wie auch von Festgestein. Das Modul kam mitunter im swisstopo Projekt «GeoQuat» zum Einsatz. Im Projekt wurden ca. 8'000 Lockergesteinsbohrungen schichtbasiert erfasst und untereinander harmonisiert. Diese Daten wurden für die Realisierung von geologischen und parametrischen 3D-Modellen verwendet. Die Abbildung 13 zeigt eine 3D-Ansicht mit diesen strukturiert erfassten Bohrdaten (klassifiziert nach Lithostratigraphie) sowie ein Längensprofil und ein geschnittenes

3D-Modell der hydraulischen Durchlässigkeit. In der dargestellten Pilotregion Visp (Brig bis Gampel) wurden rund 850 Bohrungen gemäss dem Geology-Modul erfasst, klassifiziert, interpretiert und harmonisiert.

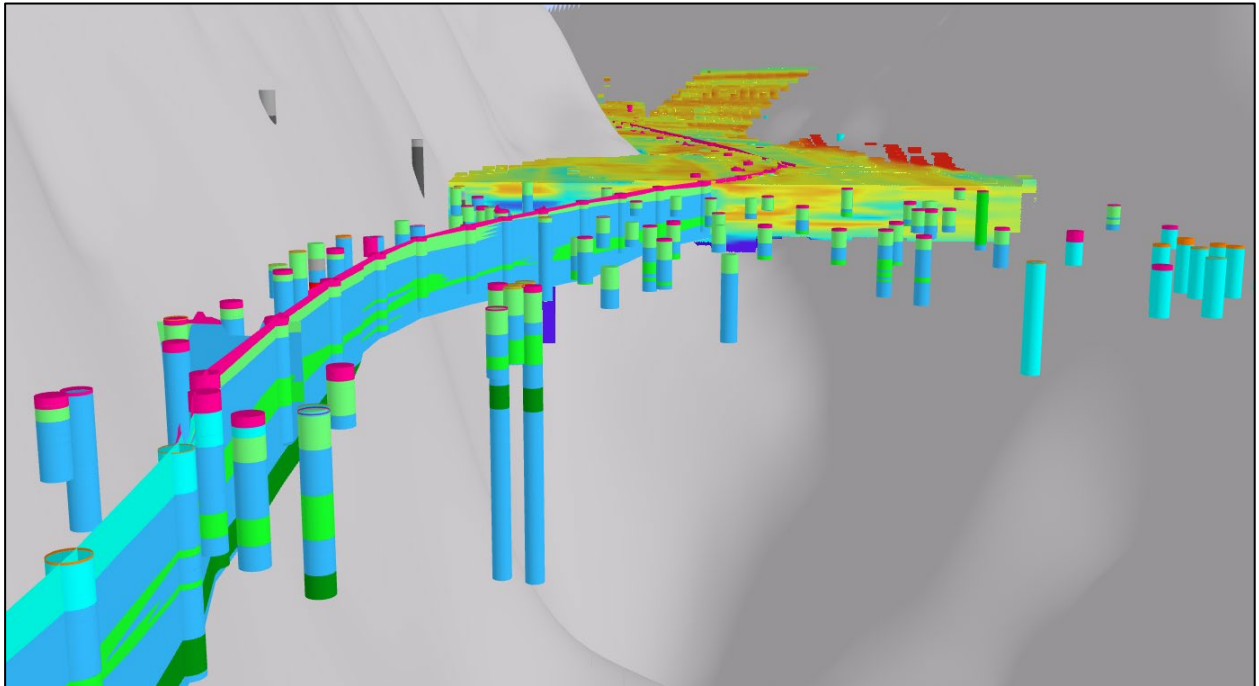


Abbildung 13. Bohrungen und Profilschnitte GeoQuat-Pilotregion Visp in 3D. Die nach der Lithostratigraphie klassifizierten Bohrungen und Profilschnitte werden ergänzt durch ein geschnittenes 3D-Modell der hydraulischen Leitfähigkeit im Bereich der Pilotregion.

3.3.2.2 Modul Hydrogeology

Für die Erarbeitung des Moduls Hydrogeology wurde eine Fachinformationsgruppe gebildet, die neben Vertretern von swisstopo und BAFU auch aus Kantonsvertretern und Hydrogeologie-Experten eines mandatierten Büros bestand. Das Resultat bildet ein umfassendes Datenmodell, welches die Abbildung vieler hydrogeologischer Daten in Bohrungen ermöglicht. In einem nächsten Schritt ist nun zu prüfen, welche Klassen und Attribute zwingend enthalten sein müssen und welche optional sind. Hierbei erhofft man sich auch Input aus den Arbeiten im Rahmen des Projekts GEOL_BIM. Abbildung 14 zeigt den Umfang des Moduls Hydrogeology als Teil des Datenmodells Bohrdaten.

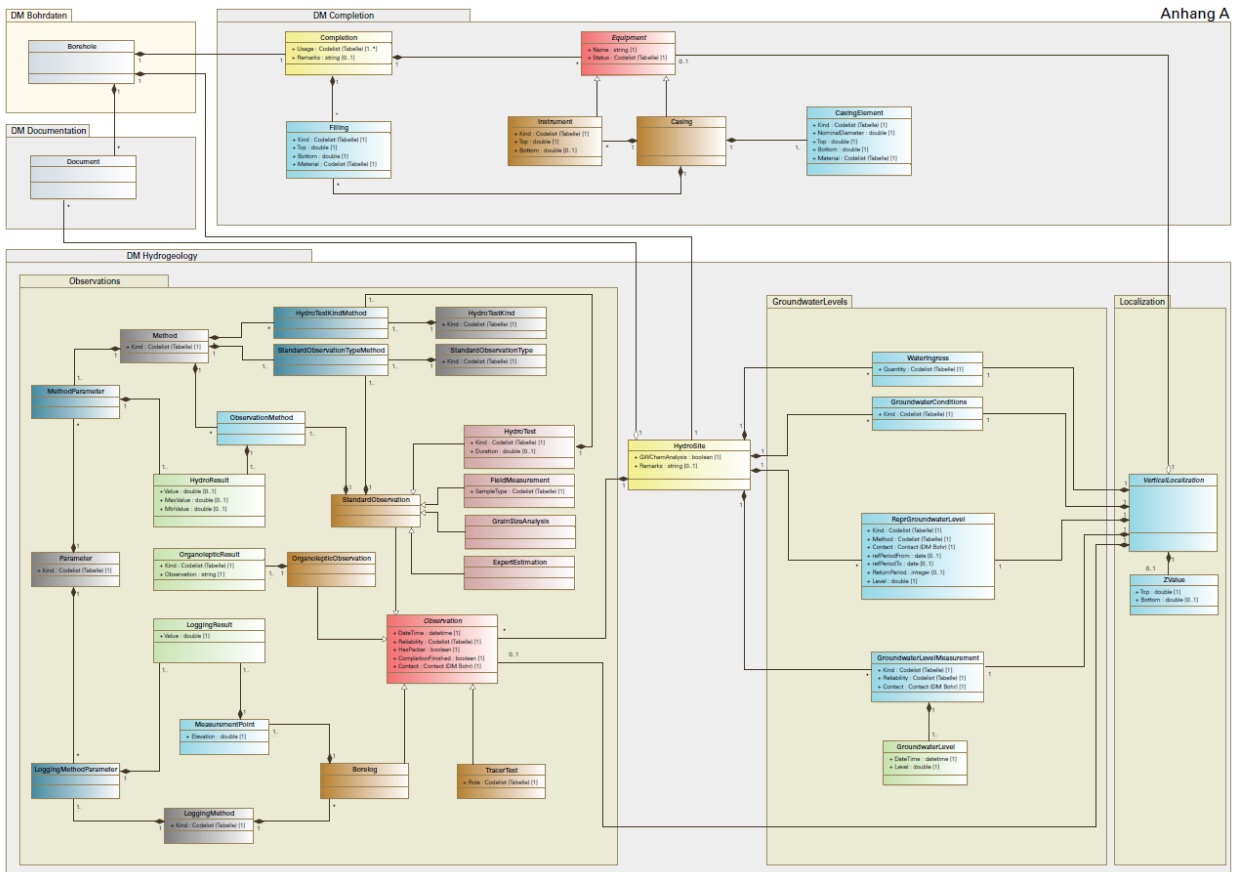


Abbildung 14. UML-Diagramm des Moduls Hydrogeology als Teil des Datenmodells Bohrdaten.

3.3.2.3 Modul Geotechnical Data

Das Modul Geotechnical Data ist geplant, wurde jedoch noch nicht in Angriff genommen. Da die geotechnischen Daten im Projekt GEOL_BIM eine zentrale Rolle spielen, ist zu erwarten, dass die Ergebnisse aus GEOL_BIM wertvolle Inputs zur Erarbeitung dieses Datenmodells liefern werden.

3.3.3 Kantonale Standards

3.3.3.1 Datenmodelle für Bohrkataster

Die Kantone sind bei verschiedenen Bewilligungsverfahren auf geologische Daten angewiesen. Dabei kann es sich z.B. um Erdwärmesondenbohrungen, um Brunnenbohrungen zur Nutzung von Grundwasserwärme oder um Kernbohrungen zur Beurteilung von Baugrund oder zur Ermittlung der Kies-/Sandqualität für die Gewinnung mineralischer Rohstoffe handeln. Auch die hydrogeologischen Daten stellen in diesem Zusammenhang eine wichtige Datengrundlage dar. Aufgrund der Wichtigkeit von Bohrdaten haben viele Kantone eigene Bohrkataster aufgebaut. Diese basieren in der Regel auf Attributen zu den Stammdaten der Bohrungen wie Koordinaten, Typ der Bohrung, Bohrzweck, Auftraggeber, zuständiger Geologe etc. Einige Kantone sind dabei kompatibel mit dem Kernmodell des Datenmodells Bohrdaten von swisstopo. Andere Kantone haben ihre eigenen Datenmodelle, die teilweise bereits mehr als 10 Jahre zur Anwendung kommen.

3.3.3.2 Datenmodelle für Geoportale

Heutzutage betreiben viele Kantone in der Schweiz ein eigenes Geoportal. In diesen Portalen werden auch geologische Daten bereitgestellt (siehe hierzu Kapitel 7.1.2). Das Angebot umfasst jedoch ein breites Spektrum an Geodaten aus verschiedenen Fachgebieten. Damit die Geodaten via Web bereitgestellt und aktuell gehalten werden können, benötigt es eine klar definierte Datenstruktur. Als Beispiel kann hier das Geoportal des Kantons Bern betrachtet werden, das in Abschnitt 7.1.2.1 kurz vorgestellt wird. Dort werden die geologischen Daten durch die zuständige Fachstelle bereitgestellt. Jeder Untersuchungsstandort enthält ein PDF mit dem Profil.



Die frei verfügbaren Daten werden anschliessend exportiert, mit Metadaten angereichert und mittels automatisiertem Prozess in die kantonale Geodateninfrastruktur integriert. Die Publikation der Geodaten erfolgt sowohl intern für die Desktop-GIS-Anwendung als auch via kantonales Geoportal als (geologische) Karte, Geodienst und Downloaddienst.

Zentral für die Automation der Prozesse innerhalb der KGDI sind dabei die Meta- und Prozessdaten, welche generiert oder erfasst worden sind.

3.3.3.3 Der Standard «Classes de sols genevois» des Kantons Genf

Neben Standards in Form von Datenmodellen wird hier noch ein codebasierter Standard vorgestellt. Es handelt sich um den Standard «Classes de sols genevois». Dieser wurde in den 1960er Jahren vom Büro GADZ SA in Genf in Zusammenarbeit mit dem Kanton ausgearbeitet und laufend weiterentwickelt. Die Klassifikation berücksichtigt drei geologisch-geotechnische Parameter, aus denen sich der Code aufbaut (vergleiche mit Tabelle 7. Code-Zusammensetzung des Standards «Classes de sols genevois». Tabelle 7):

1. Geologie: Der erste Teil des Codes ist eine Zahl zwischen 1 bis 15, die den geologischen Ursprung der angetroffenen Sedimente beschreibt (GADZ, 1997).
2. Korngrösse: Der zweite Teil des Codes ist ein Kleinbuchstabe zwischen a und f, der auf die Korngrösse der Lockergesteine hinweist.
3. Konsolidierungsgrad (Konsistenz, Lagerungsdichte): Da die Konsistenz und Lagerungsdichte innerhalb derselben Schicht variieren können, vervollständigt ein dritter numerischer Term (1, 1-2, 2, 3) den zugewiesenen Code.

Tabelle 7. Code-Zusammensetzung des Standards «Classes de sols genevois».

Code 1	Geologie
1	Deckschicht, heutige Böden
2	Aufschüttung, Auffüllung
3	Hangschutt, Hanglehm, Schwemmlehm (Holozän)
4	Alluvionen der Terrassen (3 und 10 m ; Holozän)
5	Seeablagerungen, Seekreide, Torf (Holozän)
6	Supraglaziale Rückzugsablagerungen (Würm)
7	Moräne mit alpine Gerölle und Blöcke (Würm)
8	Intramoräne- oder intraformationelle Ablagerungen (Würm)
9	Cailloutis morainiques profonds oder "alluvions anciennes" (alte glazio-fluviatile Schotter)
10	Interglaziale Ablagerungen (Riss-Würm)
11	Rückzugsablagerungen (Riss)
12	Moräne mit alpine Gerölle und Blöcke (Riss)
13	Intramoräne- oder intraformationelle Ablagerungen (Riss)
14	Komplex der Graue Gipsmolasse des oberen Chattien
15	Komplex der Rote Molasse des unteren Chattien
Code 2	Korngrösse
A	kiesig
B	sandig
C	siltig
D	siltig-tonig
E	tonig
F	kreidig
Code 3	Konsolidierungsgrad (Konsistenz, Lagerungsdichte)
1	hohe Lagerungsdichte, Konsistenz hart bis sehr hart
12	mittlere Lagerungsdichte, Konsistenz fest
2	geringe Lagerungsdichte, Konsistenz weich
3	verwittert

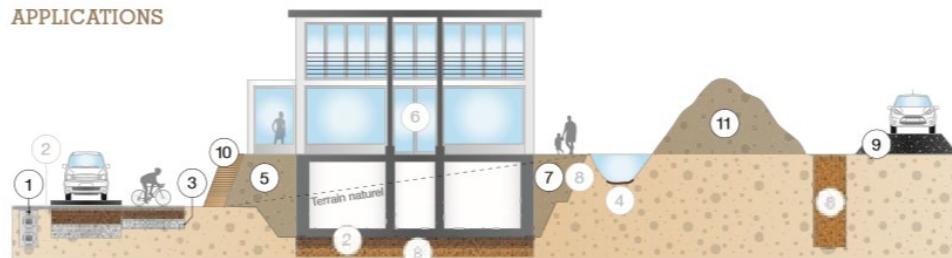
Der einfache Aufbau des Codes hat sich in den letzten rund 50 Jahren im Kanton Genf als Standard etabliert. Er wird von Geologen, Geotechnikern wie auch Ingenieuren und den kantonalen Behörden heute noch verwendet. Es gibt Produkte, wie etwa die kantonale Richtlinie «Ecomat^{GE} - guide pour la réutilisation des matériaux d'excavation non pollués» (ecomat GE, 2016), die auf den «Classes de sols genevois» aufbauen. Abbildung 15. Auszug aus der kantonalen Richtlinie des Kanton Genf. «Ecomat^{GE} - guide pour la réutilisation des matériaux d'excavation non pollués» des Kantons Genf mit Verwendung des Standards «Classes de sols genevois» (gelb markiert). zeigt einen Ausschnitt aus dieser Publikation, bei welcher es um die Wiederverwertung von Aushubmaterial geht. Jede Aushubklasse weist die entsprechenden Angaben zu den «Classes de sols genevois» auf.

LIMONS ARGILEUX FINEMENT SABLEUX SANS CAILLOUX 4c/6c2/6c12/6c1

PROPRIÉTÉS

Peu perméables, sensibles à très sensibles à l'altération, très sensibles au gel-dégel.

APPLICATIONS



1	Remblayage tranchées de collecteurs	utilisation brute ou stabilisée
2	Couche de fondation	inadaptée
3	Couche de forme infrastructure routière	utilisation stabilisée
4	Etanchement	inadaptée
5	Surélévation terrain	utilisation brute ou stabilisée
6	Matériaux de construction	inadaptée
7	Remblayage contre ouvrages	utilisation brute ou stabilisée selon exigences en matière de déformations/tassements
8	Drainage	inadaptée
9	Digue ou remblais pour infrastructure routière	utilisation brute ou stabilisée selon exigences en matière de déformations/tassements
10	Modelage paysager avec renforcement	utilisation brute ou stabilisée
11	Modelage paysager sans renforcement	utilisation brute, avec réduction des pentes à 1V/2H

Abbildung 15. Auszug aus der kantonalen Richtlinie des Kanton Genf. «Ecomat^{GE} - guide pour la réutilisation des matériaux d'excavation non pollués» des Kantons Genf mit Verwendung des Standards «Classes de sols genevois» (gelb markiert).

3.3.4 Verbandsrichtlinien und Firmenstandards

Allen anerkannten Normungsorganisationen gemein ist die Pflicht zur Veröffentlichung der herausgegebenen Normen. Der SNV klassifiziert die von Verbänden herausgegebenen Spezifikationen und Richtlinien sowie firmeninterne Standards als schlechter zugänglich, im Vergleich zu anerkannten Normen (siehe Abschnitt 3.1 und Abbildung 7). Der Wandel der modernen Welt hin zu einer Informations- und Wissensgesellschaft schreitet unaufhaltsam voran. In diesem Rahmen veröffentlichen auch Verbände und Firmen zunehmend mehr der von ihnen erarbeiteten Spezifikationen und Richtlinien – oft mit dem Ziel, die Zusammenarbeit über die Grenzen der eigenen Institution hinweg zu fördern und die digitale Durchgängigkeit der gesammelten Daten und Informationen zu gewährleisten. Am Beispiel eines geologischen Bohrprofils illustriert Abschnitt 3.3.4.1 beispielhaft eine Verbandsrichtlinie. Abschnitt 3.3.4.3 nennt das digitale Feldbuch der GEOTEST AG als ein Beispiel für eine ursprünglich firmeninterne Entwicklung, die sich heute einer breiteren Beliebtheit erfreut. Auch im letzteren Fall wird auf bestehende Normenwerke zurückgegriffen und diese bei Bedarf erweitert.

3.3.4.1 Empfehlungen des CHGEOL für geologische Bohrprofile

Zu den grundlegenden Aufschlusstechniken für die Beschreibung des geologischen Untergrundes zählt das Abteufen von Bohrungen. Das zu Tage geförderte Material wird durch den Geologen aufgenommen und ein Bohrprofil wird gemäss der CHGEOL-Empfehlung vom 5. März 2018 erstellt. Das Bohrprofil bildet die Basis für weitere geologische Interpretationen und Gutachten. Durch die klar strukturierte Visualisierung werden die relevanten Sachverhalte einfach und verständlich dargestellt (Abbildung 16).

Projekt, Bohrzweck				Geologisches Profil		
Gemeinde:		Kote OKT [m ü.M.]:		Projekt, Masstab 1:xxx Bewilligung Nr.: Auftrag Nr.: Sachbearbeiter: (keine Kürze!!) Datum:		
Koordinaten:		+ Situationsplan beilegen				
Ausführungsdatum:						
Bohrfirma, Bohrmeister:		Einbau:				
Endtiefe Bohrung [m ü.M.]:		Endtiefe Verrohrung [m ü.M.]:				
Kote OKRohr [m ü.M.]:				Geologiebüro		
Bohrart und ø	Geologische Interpretation	Kote m ü. M./Tiefe OKT (m)	Profil	Materialbeschreibung (Lockergesteine nach SN 670 004-1b oder SN 670 005a)	Bohrlochversuche, Proben Einbauten, GW-spiegel	
BEISPIEL-PROFIL Kernbohrung Bohr-ø 203 - 145 mm (evtl. Angabe wo weicher Durchmesser)	Künstliche Auffüllung	zzz1 z1		Sand, siltig / leicht siltiger Sand mit Fremdbestandteilen (u.a. Ziegelbruchstücken); dunkelbraun	 Abdichtungen angeben! PVC ø 4.5" Gwsp. Messdatum xx m U.T. xxx m ü.M. Masse angeben!	
	Lösslehm	zzz2 z2		Silt, tonig, feinsandig, gering plastisch, weich - steif; mittelbraun/ Toniger Silt, kleine Plastizität, mit wenig Sand, weich bis mittelsteif; mittelbraun		
	Niederterrassenschotter Rheintalschotter			Kies, sandig, siltig, kantengerundet; graubraun Tonig-siltiger Kies mit viel Sand, mitteldicht; graubraun		
	Schinznach-Formation, Stamberg-Member (ehemals Trigonosusdolomit)	zzz3 z3		Zuckerkörniger Dolomit; hellbeige; mit milchigen Silexknollen und Bivalven		
Weitere wichtige Informationen: Unsicherheiten darstellen Verwendete Normen angeben (z.B. USCS, falls entsprechende Analysen gemacht wurden) Spülverluste: Tiefenintervall angeben Wasserzutritte: Tiefenintervall angeben, Abschätzung Q Arteser: Tiefenintervall, Druck und Q angeben Resultate von Bohrlochversuchen eintragen (z.B. k-Werte)						

Abbildung 16. Geologisches Bohrprofil nach den Empfehlungen des CHGEOL vom 5. März 2018.

Bei Aufnahme des Bohrprofils versucht der Geologe möglichst mit den gültigen Schweizer Normen konform zu sein. Für die Erarbeitung der Inhalte einer solchen Visualisierung in Form eines Bohrprofils empfiehlt die Richtlinie des CHGEOL die nachfolgenden Normen und das Lithostratigraphische Lexikon der Schweiz, welches unter <https://www.strati.ch/> erreicht werden kann.



- SN 505 267 (SIA 267)
- SN 531 199 (SIA 199)
- SN 546 384/6 (SIA 384/6)
- SN 546 384/7 (SIA 384/7)
- SN 640 034 (VSS 40 034)
- SN 670 005a -> Nicht mehr gültig, wird in der Praxis aber noch immer verwendet.
- SN 670 009a (VSS 70 009a)
- SN EN 1997-2 (SN 670 002-2-NA)
- SN EN ISO 14688-1 (SN 670 004-1b)
- SN EN ISO 14688-2 (SN 670 004-2b-NA)
- SN EN ISO 14689 (SN 670 006-1)

3.3.4.2 Empfehlungen des CHGEOL für geologische Profilschnitte

Analog zu Bohrprofilen gibt es auch eine CHGEOL-Empfehlung vom 25. Januar 2018 für geologische Schnitte bei Baugrundgutachten (Abbildung 17). Darin heisst es: «Der geologische Schnitt ist unverzichtbar für die Beurteilung des Baugrundes im Allgemeinen und für die Ableitung von Gefährdungsbildern.»

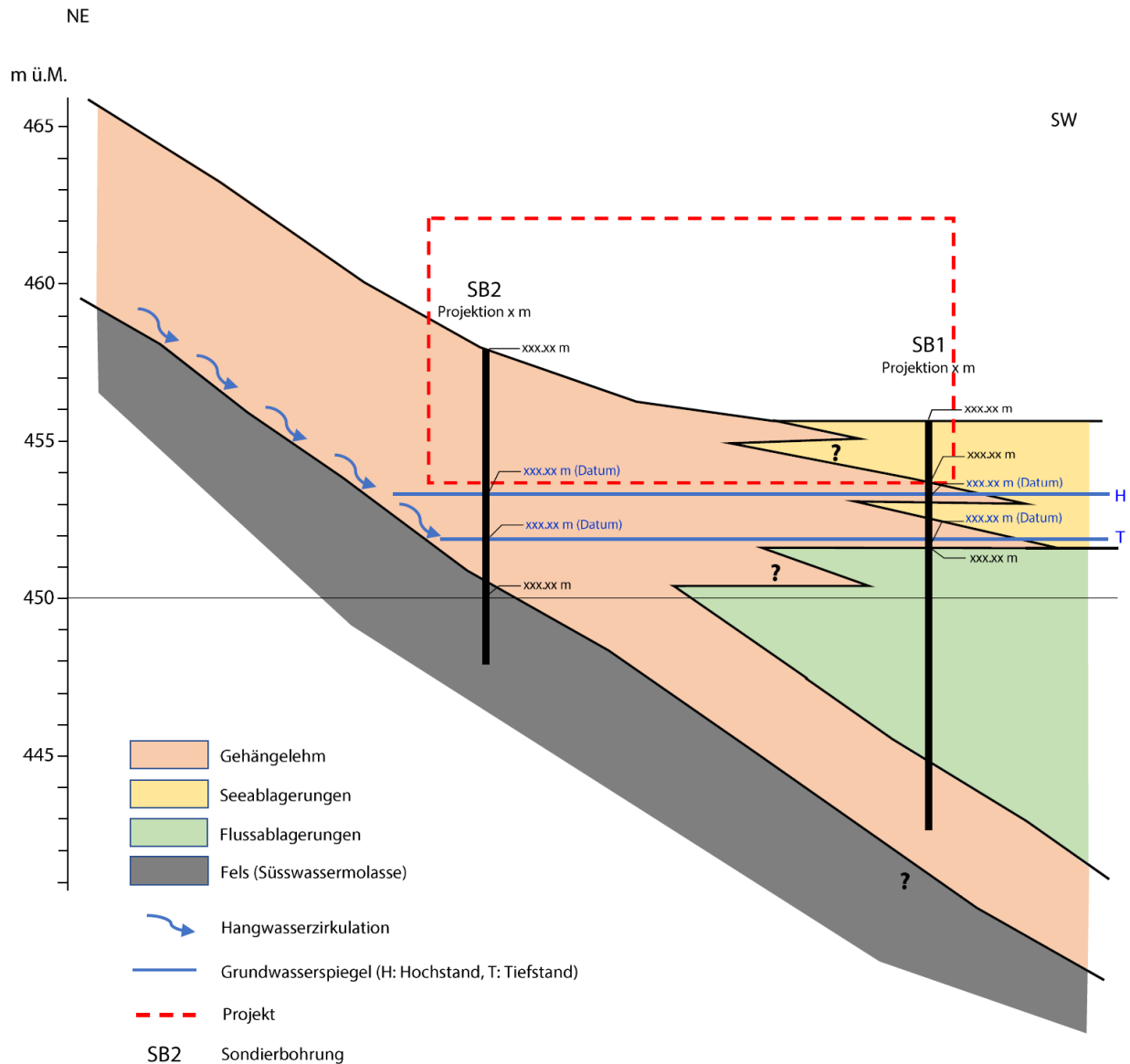


Abbildung 17. Geologischer Schnitt nach den Empfehlungen des CHGEOL vom 25. Januar 2018.

Laut der Empfehlung gibt es die nachfolgenden Punkte zu beachten:

- Geologische Schnitte können auch für kleine Bauvorhaben wichtig sein.
- Kontrolle: Schichtbezeichnung identisch mit Bericht.
- Grundwasserspiegel (Hoch-/Tiefstand mit Datum)
- Hang-/Sickerwasserhorizonte
- Sondierungen einzeichnen
- Bauvorhaben / Aushublinie/-kote einzeichnen
- Ist die Wahl der Lage des Schnittes aussagekräftig?
- Situation mit Lage des Schnittes beilegen
- Prognoseunsicherheiten angeben
- Skala / Orientierung / Legende
- Massstab (wenn möglich nicht überhöht) / Plan-Nr. / Verfasser / Datum

Auch für die Umsetzung geologischer Profilschnitte wird empfohlen, das Schweizer Normenwerk zu konsultieren. Für die Erarbeitung der Inhalte einer solchen Visualisierung empfiehlt die Richtlinie des CHGEOL die nachfolgenden Normen und das Lithostratigraphische Lexikon der Schweiz, welches unter <https://www.strati.ch/> erreicht werden kann.



- SN 505 267 (SIA 267)
- SN 531 199 (SIA 199)
- SN 640 034 (VSS 40 034)
- SN 670 005a -> Nicht mehr gültig, wird in der Praxis aber noch immer verwendet.
- SN 670 009a (VSS 70 009a)
- SN 670 010 (VSS 70 010)
- SN 670 300 (VSS 70 300)
- SN EN 1997-2 (SN 670 002-2-NA)
- SN EN ISO 14688-1 (SN 670 004-1b)
- SN EN ISO 14688-2 (SN 670 004-2b-NA)
- SN EN ISO 14689 (SN 670 006-1)

3.3.4.3 Das digitale Feldbuch der GEOTEST AG

Firmen-interne Standards werden auch über die Firmengrenze hinaus sichtbar, wenn sie sich in Kombination mit den Vorgaben aus anerkannten Normen, z.B. in Softwareprodukten widerspiegeln. Die Firma GEOTEST AG vertreibt mit ihrem digitalen Feldbuch ein Produkt in das Firmen-interne Standards gleichermaßen einfließen wie die Vorgaben aus anerkannten Normen. Es handelt sich demnach um einen Firmen-internen Versuch der Standardisierung, wie er in der untersten Spalte in Abbildung 7 aufgezeigt wurde.

Die Umsetzung von Feldnotizen in geologische Berichte kann langwierig, mühsam und ineffizient sein. Es können sich Fehler einschleichen, wenn handschriftliche Notizen erst zeitversetzt im Büro digitalisiert werden und die Erinnerung des Beobachters zu verblassen beginnt. Mobile Endgeräte können helfen, Daten bereits im Gelände digital zu erfassen, das hilft Fehler beim Übertragen der gesammelten Beobachtungen zu vermeiden. Hinzu kommt, dass die geologische Aufnahme des Untergrundes möglichst konform sein soll mit branchenweit anerkannten Normen oder firmeninternen Standards. Zum Teil ist die Berücksichtigung etablierter Normen und Standards sogar ein fester Vertragsbestandteil und direkt vom Auftraggeber gefordert. Bei der Gesteinsansprache im Gelände stellt es Geologen vor Herausforderungen den exakten Wortlaut und das Vokabular der teils umfangreichen Normen stets präsent zu haben. Immer mehr Firmen ergänzen anerkannte Normen zudem um firmenspezifische Informationen und setzen damit eigene Standards ('Firmenstandards'). Firmen-spezifische Ergänzungen können verschiedensten Zwecken dienen, von der Optimierung firmeninterner Prozesse bis hin zur Erweiterung von Normen um höhere Qualitätsstandards sind verschiedene Motivationen denkbar. Die digital unterstützte Erfassung von Geländebeobachtungen kann den Vorteil bringen, dass das von einer Norm geforderte Vokabular oder die firmeninternen Standards in der Software-Applikation auf dem mobilen Gerät hinterlegt werden können. Der Geologe im Gelände bekommt dann bei der Gesteinsansprache Empfehlungen welcher Wortlaut gewählt werden müsste, um mit einer Norm oder einem Firmeninternen Standard konform zu sein.

1. Kartenansicht auf Mobilgerät

2. Datenerfassung auf Mobilgerät

Bohrlocheinbau						
Typ Einbau	Durchmesser Einbau (inkl. Einhei...	Überstand [m] über (+) / unter (-) DK T...	Einbau Vollrohr [m] (ab OK Rohr)	Einbau Filterrohr geschlitz [m] (ab...	Filtermaterial Typ	
Piezometer	2"	2"	1-2m, 14-15m	2-14m	Kies 4/8	>

Probenahme Feststoff					
Bezeichnung Probe	Tiefe von [m u. T.]	Tiefe bis [m u. T.]	Zustand Probe	Zweck	Untersuchung für
Probe1	6.00	6.20			>
Probe2	9.60	10.00			>

Aufnahme Untergrund - Schichtbeschreibung						
Anfangstiefe	Endtiefe	Geologische Interpretation	Hauptkomponente	1. Nebenkompone	2. Nebenkompone	
0.00	0.30		Sand	siltig		>
0.30	0.70		Sand	siltig	kiesig	>
0.70	1.40					>
1.40	4.10		Kies	sandig	siltig	>
4.10	4.25					>
4.25	4.60					>

3. Datenzugang über Webbrowser / WebGIS

Abbildung 18. Einblicke in das digitale Feldbuch der GEOTEST AG.

Abbildung 18 illustriert, wie mit Hilfe des digitalen Feldbuches der GEOTEST AG die Standorte von Feldaufnahmen und Sondierungen auf der Kartenansicht eines Mobilgerätes eingetragen (1) und mit Beobachtungen oder Messwerten ergänzt werden können (2). Mit der Kamera des Mobilgerätes aufgezeichnete Fotos können einen Datensatz angehängt werden, um später deren Zuordnung zu einem räumlichen Standort zu erleichtern. Die Synchronisierung mit einem webbasierten geographischen Informationssystem (GIS) ermöglicht den Zugang zu den erhobenen Daten von jedem beliebigen mit dem Internet verbundenen Computer (3). Der Geologe hat nun die Möglichkeit die Zugriffsrechte auf die Daten zu verwalten und diese nur für die Firmeninterne Auswertung zu nutzen oder Kunden den Zugang zu ausgewählten Informationen über das Internet zu ermöglichen.

Es ist möglich, alle erfassten Daten für die Archivierung oder für die Weiterverarbeitung der Informationen in anderen Applikationen in gängige Tabellenkalkulationsprogramme zu exportieren (Abbildung 19).



Aufnahme Untergrund														
1	Projekt	1518072												
2	Koordinaten LV95 (E, N)	2628375, 1167581												
3	Koordinaten WGS84 (Lat, Lon)	46.658865, 7.809358												
4														
5	Bohrloch: 01/19 - Bohrlocheinbau, 25.06.2019 14:33													
6	Typ Einbau	Piezometer												
7	Durchmesser Einbau (inkl. Einheit) und Material	2" <input type="text"/>												
8	Überstand [m] über (+) / unter (-) OK Terrain													
9	Einbau Vellohr [m] (ab OK Rohr)	1-2m, 14-15m												
10	Einbau Filterrohr geschliffzt [m] (ab OK Rohr)	2-14m												
11	Filtermaterial Typ	Kies 4/8												
12	Filterkies von - bis (m, u. T.)	0.1m, 2-15m												
13	Tonabdeckung von - bis (m u. T.)	1.2m												
14	Schacht / Schutzrohr: Typ, Durchmesser, Verschluss	Schutzrohr												
15	Schematische Skizze/Foto													
16	Bemerkungen													
17	Anfangstiefe	Endtiefe	Zusammenfassung	Bemerkungen	Geologie	Taschenp(Hauptkoll)	1. Nebenl. 2. Nebenl.	3. Nebenl. Steine	4. (alt)	5. (Rundung)	6. (Korngr.)	7. (Korngr.)	8. (m)	
18	0	0.3	Fein- bis Mittelsand, siltig, mit wenig Steinen (ø bis 7 cm), kantig bis kantengerundet, Würzeln, erdfeucht, braun											
19	0.3	0.7	Fein- bis Mittelsand, siltig, mittel- bis grobkiesig, erdfeucht, hellbraun	Bohrmehl										
20	0.7	1.4	Mittel- bis Grobkies, mittel- bis grobsandig, siltig, mit Steinen (ø bis 10 cm), scharfkantig bis kantengerundet, Blätter 2.6m, erdfeucht, hellbraun		1.7-1.8m, 2.65-2.8m, 3.3-3.4m stark siltig									
21	1.4	4.1	Block, dunkelgrau											
22	4.1	4.25	Block, hellgrau											
23	4.25	4.6	Silt, fein- bis mittelsandig, mittel- bis grobkiesig, erdfeucht, hellbraun											
24	4.6	5	Mittel- bis Grobkies, sandig, siltig, mit Steinen (ø bis 13 cm), kantig bis kantengerundet, hellgrau - hellbraun											
25	5	5.3	Silt, tonig, schwach kiesig, schwach sandig, mit Silt, mittel- bis grobkiesig, sandig, mit wenig Steinen (ø bis 7 cm), feucht, hellbraun											
26	5.3	5.65	Block, dunkelgrau											
27	5.65	5.85	Block, dunkelgrau											
28	5.85	8.3	Silt, tonig, kiesig, schwach sandig, mit wenig Steinen (ø bis 11 cm), nass, hellbraun											
29	8.3	9.1	Silt, mittel- bis grobkiesig, sandig, mit wenig Steinen (ø bis 13 cm)											
30	9.1	9.6	Silt, tonig, kiesig, schwach sandig, mit wenig Steinen (ø bis 9 cm), feucht, hellbraun - braun											
31	9.6	13.7	Silt, kiesig, schwach sandig, mit wenig Steinen (ø bis 10 cm), erdfeucht, hellbraun											
32	13.7	15.0	Silt, kiesig, tonig, mit wenig Steinen (ø bis 8 cm), hellbraun											

Abbildung 19. Export primärer Daten in das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel.

Objekt : N08.52 Spiez - Interlaken West	Auftrag Nr. : 1518072.44	Plan Nr. : 1518072.44_KbPmJ38-01/19	GEOTEST GEOLOGEN / INGENIEURE / GEOPHYSIKER / UMWELTFACHLEUTE GEOTEST AG T +41 (0)31 910 01 01 BERNSTRASSE 165 F +41 (0)31 910 01 00 CH-3052 ZOLLIKOFEN zollikofen@geotest.ch www.geotest.ch
Bohrprofil	Ausführungsdatum : 24.06.2019	Aufgenommen :	
KbPm J38-01/19	Unternehmung :	Gezeichnet :	
Kernbohrung	Bohrmeister :	Geprüft :	
Masstab 1:100	Bohrmethode : Rotationskernbohrung	Format : A3	
	Koordinaten : 2'628'373/1'167'577	Terrainkote : ca. 608.27 m ü.M. OK-Rohr : ca. 608.02 m ü.M.	

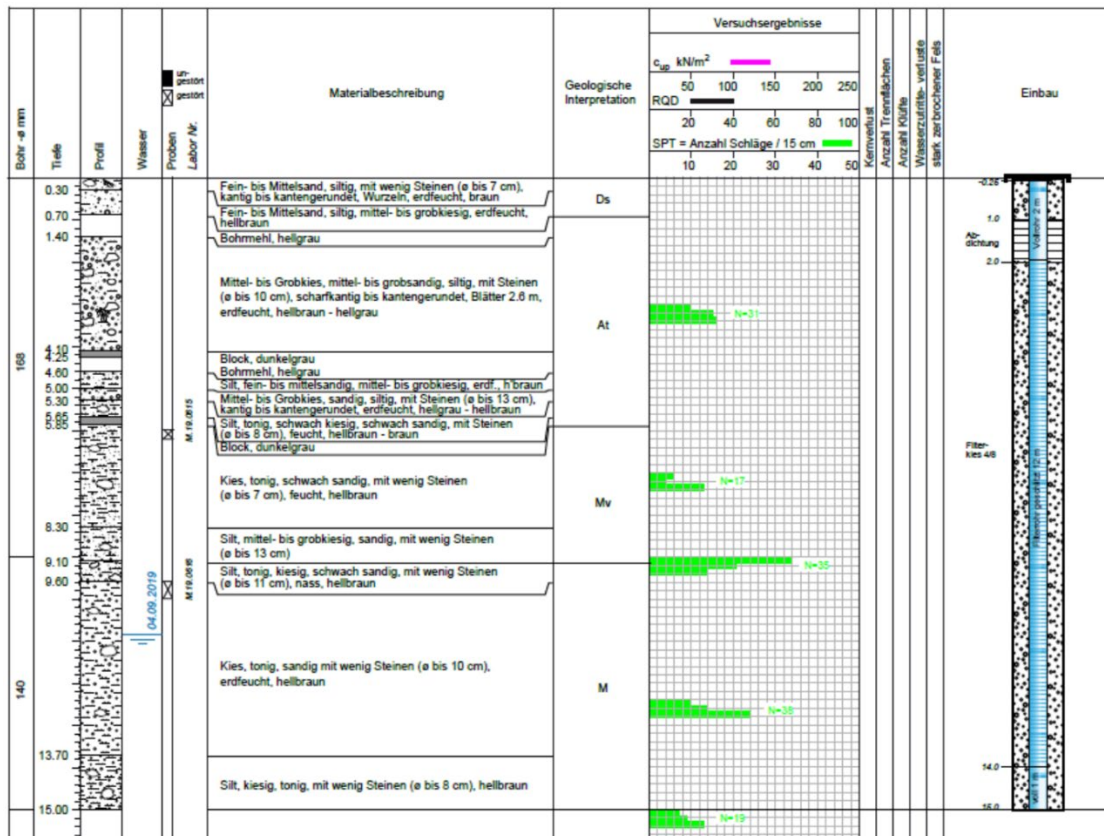


Abbildung 20. Mit Hilfe des digitalen Feldbuches generiertes Bohrprofil.



Abbildung 20 zeigt ein Bohrprofil, welches auf Basis eines tabellenbasierten Exportes gezeichnet wurde. Dieses exemplarisch gewählte Beispiel illustriert, wie die Standardisierung der Datenerfassung dabei helfen kann, effizient, reproduzierbar und optisch immer gleich aussehende Ergebnisse zu generieren. Gerade wenn die eingesetzten Hilfsmittel auch bei der Formatierung der Darstellung unterstützen, kann wertvolle Zeit eingespart werden.

4 Geologische Daten und Informationen

4.1 Definition

Unter «geologischen Daten» versteht man die Gesamtheit aller verfügbaren Daten und verarbeiteten Informationen mit Bezug zur Geologie. Darunter fallen geologische Berichte, die vom Auftraggeber in digitaler Form – aus Gründen der langfristigen Archivierbarkeit oft im 'Portable Document Format' (PDF) – eingefordert werden. Grundlage solcher Berichte sind wiederum geologische Daten aus Bohraufnahmen, In-Situ-Versuchen im Gelände, Laborversuchen oder Beobachtungen im Feld. Die Methodik und die erarbeiteten Ergebnisse werden als Textbeschreibungen, in tabellarischer Form oder als Grafiken präsentiert (z.B. Karten oder Profilschnitte). Die erhobenen Daten sind von deren Interpretation getrennt. Aus derart grundlegenden Daten können weitergehende Datenprodukte abgeleitet werden. Charakteristisch für solche Datenprodukte sind komplexere geologische Modelle. In ganzen Teams von Geologen wird versucht, eine Vielzahl von unterschiedlichsten Daten und Informationen in einem einheitlichen geologischen Modell zusammen zu führen. Geologische Profilschnitte, geologische Karten und 3D-Modelle sind klassische Beispiele solcher Datenprodukte und dienen Geologen als Hilfsmittel zur Kommunikation komplexer geologischer Sachverhalte, die aus den geologischen Modellen hinter diesen Datenprodukten abgeleitet werden können. Über solche Datenprodukte zugänglich gemachte geologische Sachverhalte leisten einen wichtigen Beitrag zur Beantwortung offener geologischer Fragestellungen und stellen deshalb nicht selten ein Kernstück der geologischen Berichterstattung dar.

Allen geologischen Daten gemein ist der Raumbezug, das heisst die Verortung im dreidimensionalen Raum und die Beschreibung der Charakteristika ihrer geometrischen Repräsentation. Die Abbildung realer Objekte mit Hilfe von Technologien geht mit einer Abstraktion der Wirklichkeit einher. Bei jeder abstrakten Abbildung der Wirklichkeit handelt es sich um ein Modell. Je nach Anwendungszweck können reale Strassen in dem einen Abbild der Wirklichkeit auf eine Linie reduziert werden, während andere Modelle die Strassen und ihren Unterbau als komplexe dreidimensionale Objekte mit hohem Detaillierungsgrad erfassen. Wie beim Umgang mit allen Daten sind Metadaten auch für geologische Daten von essenzieller Bedeutung. Diese ergänzenden Informationen über die Daten selbst sind äusserst wichtig für das Auffinden, die Beurteilung, die Verwaltung und den Austausch von geologischen Daten und Informationen jeder Art und sollten für jedes Objekt in strukturierter Form basierend auf Datenmodellen (Abschnitt 4.3) erfasst werden. Das Thema Metadaten wird in Abschnitt 5.1 näher beleuchtet.

Zu den geologischen Daten werden hier auch assoziierte Daten gezählt. Assoziierte Daten weisen keinen unmittelbaren Bezug zur Geologie auf, werden aber zu den «geologischen Daten» gezählt, wenn diese in für geologische Arbeitsprozesse unverzichtbar sind. Diese Daten entstehen z.B. indirekt bei der Validierung der Datengenauigkeit und Datenunsicherheit (grosse Relevanz hinsichtlich Prognosesicherheit und Risikoabschätzung), direkt im Rahmen baulicher Massnahmen, wie der Ermittlung von Bodenkennwerten bei der Umsetzung von Bodenverbesserungsmassnahmen oder als Messdaten über den Projektverlauf hinweg (Baugrubenüberwachung oder bei der kontinuierlichen Erfassung von Geländeänderungen).

Es ist nicht zu unterschätzen, welche Mengen an geologischen Daten die Erbringung geologischer Leistungen nach sich ziehen kann.

Welche Daten in welchem Umfang im jeweiligen Projekt zu erfassen sind und welche Datenprodukte daraus abgeleitet werden können, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, z.B.:

- Projektphase
- Anforderungen des Auftraggebers (Bauherr)
- Grösse, Komplexität und Empfindlichkeit des (Bau-)Projekts
- Komplexität der geologischen, geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse
- Relevante Gefährdungsbilder
- Topografische Verhältnisse

Im Gegensatz zur Architektur oder dem Bauingenieurwesen, bei denen die Planung und Realisierung von Bauwerken im Vordergrund steht, beschäftigt sich die Geologie mit dem natürlichen Untergrund, der durch komplexe geologische Prozesse geschaffen wurde. Somit wird nicht wie bei einem Bauwerk etwas von Menschenhand neu erschaffen, sondern es geht darum, den Aufbau und die Eigenschaften des

bestehenden – schlecht zugänglichen – Untergrunds so realitätsgetreu wie möglich zu erfassen, zu charakterisieren und zu beurteilen. Dabei kann man nicht auf Bauteilkataloge zurückgreifen, welche die Eigenschaften der Bauteile in Attributform enthalten. Da die geologischen, geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnisse dennoch einen sehr grossen Einfluss auf die Realisierungskosten, Realisierungsdauer und die Sicherheit eines Bauwerkes haben, ist eine möglichst realitätsgetreue Repräsentation und Beurteilung des geologischen Untergrunds von grosser Bedeutung. Diese erfordert jedoch strukturierte geologische Daten als zugrundeliegende Basis für jegliche daraus abgeleiteten Informationen und Wissen.

4.2 Klassifikationen

Geologische Daten können auf unterschiedliche Art und Weise klassifiziert werden. Bei der Entscheidung für oder gegen ein Klassifikationsschema gibt es kein richtig oder falsch. Welche Klassifikation zum Einsatz kommt, hängt von der Fragestellung ab. Einige gängige Klassifikationen tauchen jedoch immer wieder auf und sind allgemeingültig genug, so dass diese in den nachfolgenden Abschnitten anhand ausgewählter Beispiele kurz erläutert werden.

4.2.1 Klassifikation nach inhaltlicher Zugehörigkeit

Geologische Daten können nach den naturwissenschaftlichen Teildisziplinen der Geologie unterteilt werden. Beispiele sind naturwissenschaftliche Einteilungen nach Disziplinen wie der Strukturgeologie, der Sedimentologie oder der Geophysik. In der Praxis sind Einteilungen nach den in Abschnitt 2.1.2 beschriebenen angewandten Fachbereichen Altlasten, Energie, Geotechnik, Hydrogeologie, Rohstoffe, Naturgefahren oder Umwelt jedoch häufiger vertreten. Alternativ kann es sinnvoll sein, die Fachbereiche sogar noch in die jeweiligen Anwendungsgebiete zu unterteilen, so können sich die geotechnischen Daten von Baugrundprojekten von denen in Tunnelbauprojekten unterscheiden.

Eine weitere Perspektive auf die Einteilung geologischer Daten nach thematischen Kriterien berücksichtigt die Art der Beschreibung der aufgenommenen Geologie. Die mineralogisch-petrologische Gesteinsbeschreibung ist dabei nicht das Gleiche wie die lithostratigraphische Einteilung nach geologischen Formationen. Zudem unterscheiden sich die Daten von gefügekundlichen Untersuchungen von denen, die bei chemischen und physikalischen Analysen anfallen. Schlussendlich handelt es sich aber bei all diesen Ansätzen – so verschieden sie auch sein mögen – um den Versuch, basierend auf Gemeinsamkeiten, ähnliche Bereiche als Einheiten zusammenzufassen. Die nachfolgende Liste nennt vier ausgewählte Beispiele häufig verwendeter thematischer Klassifikationen, die auf Einteilungen nach Ähnlichkeiten und Unterschieden basieren.

- Fazies
- Gefügekunde
- Lithologie
- Lithostratigraphie

4.2.2 Klassifikation nach Prozessierungs- und Interpretationsgrad

In der Landesgeologieverordnung (LGeoIV vom 21. Mai 2008, Stand am 1. Januar 2018) findet sich nachfolgende Klassifikation, welche die geologischen Daten nach ihrem Prozessierungs- und Interpretationsgrad unterteilt (Artikel 2 e., f. und g.).

Primäre geologische Daten

Daten im Sinne von Messungen oder direkten Beschreibungen, Aufnahmen, Dokumentationen geologischer Eigenschaften, namentlich unprozessierte Signale und Messwerte, lithologische und geotechnische Beschreibungen von Bohrkernen und Bohrklein, Aufschlusskartierungen, Laboranalysen.

Prozessierte primäre geologische Daten

Primäre geologische Daten, die im Hinblick auf eine Interpretation aufbereitet wurden, namentlich prozessierte geophysikalische Daten, Bohrprofile.

Sekundäre geologische Daten und Informationen

Geologische Daten und Informationen, welche durch die Interpretation von primären oder prozessierten primären geologischen Daten entstehen, namentlich Interpretationen von geophysikalischen Daten, geologische Karten, geologische Profilschnitte, geologische Modelle.

4.2.3 Klassifikation nach den von Geologen erbrachten Leistungen

Es bestehen verschiedene Arten, wie geologische Daten erfasst werden können. Nachstehend werden einige Ausgewählte näher beschrieben.

4.2.3.1 Sondierungen

Sondierungen umfassen alle Untersuchungsmethoden, die in irgendeiner Weise Materialien des geologischen Untergrundes zu Tage fördern (z.B. Bohrungen, Ramm- oder Drucksondierungen, Baggerschlitze).

Bohrungen: Das Abteufen von Bohrungen ist ein weit verbreitetes Verfahren zur Erkundung des geologischen Untergrundes. Ein grosser Vorteil von Bohrungen ist, dass anhand von Bohrkernen oder dem zutage geförderten Bohrklein der Schichtaufbau und die Eigenschaften direkt und olfaktorisch untersucht werden können. In-situ (im Bohrloch) oder an den entnommenen Bohrkernen können Versuche durchgeführt werden, um die relevanten Gesteinsparameter zu ermitteln. Die zum Einsatz kommenden Bohrmethoden unterscheiden sich deutlich voneinander. In Abhängigkeit vom Bohrzweck, der zu erwartenden Geologie, der zu ermittelnden Parameter, sowie dem zur Verfügung stehenden finanziellen Budgets wird entschieden, welche Bohrmethode zum Einsatz kommt und wie viele Bohrungen in welche Tiefe abgeteuft werden. Das Hauptresultat von Bohrungen stellt das Bohrprofil dar, in denen die angetroffenen geologischen Schichten mit Tiefenangabe (von/bis) beschrieben werden. Es findet sich auch eine geologische Interpretation, sowie Resultate von Messungen und Versuchen, die im Bohrloch oder im Labor durchgeführt wurden. Da das Abteufen von Bohrungen bewilligungspflichtig ist, besitzen viele Kantone ein Bohrkataster, das laufend aktualisiert wird. Diese Kataster bestehen meistens aus einer strukturierten alphanummerischen Erfassung der Bohrstammdaten, die wiederum mit einem PDF-Dokument des Bohrprofils verknüpft sind. Einige ausgewählte Standards zur Erfassung von Bohrdaten wurden bereits in Abschnitt 3.2 näher erläutert.

Ramm- oder Drucksondierungen: Die wichtigsten Verfahren sind das 'Direct Push' oder CPT-Verfahren ('Cone Penetration Test'). Die dabei gewonnenen Daten sind Messwerte, die kontinuierlich mit zunehmender Tiefe aufgezeichnet werden. Diese Messreihen sind vergleichbar mit Bohrlog-Daten, die in offenen Bohrungen durchgeführt werden.

Baggerschlitze: Diese können schnell ausgeführt werden, ihre Eindringtiefe ist jedoch aufgrund der Länge des Baggerarms und der Standfestigkeit des Materials begrenzt. Im Gegensatz zu Bohrungen erhält man bei Baggerschlitzen keinen linearen Aufschluss der Geologie, sondern einen flächigen oder gar ein dreidimensionales Bild durch die rundum aufgeschlossenen Wände. Bei Baggerschlitzen handelt es sich eher um künstliche Aufschlüsse des geologischen Untergrundes, die dabei helfen können, geologische Profilschnitte zu verfeinern.

4.2.3.2 Profilschnitte

Bei geologischen Profilschnitten handelt es sich um reale oder interpretierte Darstellungen des geologischen Schichtverlaufs entlang einer definierten Schnittlinie. Prognoseprofile entstehen durch Interpretation von bestehenden geologischen Daten wie Bohrungen, geologischen Karten oder prozessierten geophysikalischen Messungen. Reale Profilschnitte entstehen durch die Aufnahme einer Baugrubenwand oder eines Hanganschnitts und haben die angetroffene Geologie zur Grundlage. Zudem ist es möglich, geologische Profilschnitte aus einem bestehenden geologischen 3D-Modell zu erzeugen.

Ein geologischer Profilschnitt besteht klassischer Weise aus zwei Komponenten: 1) Die Profilspur zeigt den Verlauf und die geographische Lage des Schnittes, zumeist relativ zur Erdoberfläche an. 2) Die Profilschnittansicht ist typischerweise orthogonal zur Profilspur orientiert und zeigt einen vertikalen Schnitt durch den geologischen Untergrund. Bei der Profilspur kann es sich um eine gerade Linie handeln oder um eine in gerade Segmente unterteilte Spur. Es können jedoch auch Profilschnitte entlang von Strassen- oder Tunnelachsen konstruiert werden, die dann typischerweise aus Kreisbögen bestehen. Bei der Profilschnittansicht handelt es sich in der Regel um eine zweidimensionale Darstellung (z.B. Vektorzeichnungen, Pixelzeichnungen oder Bilder) des geologischen Untergrundes.

4.2.3.3 Karten

Auch bei geologischen Karten handelt es sich um geologische Daten. Im Unterschied zu Profilschnitten werden Karten jedoch typischerweise durch die Begehung des Geländes und durch die Beschreibung natürlicher und menschengemachter geologischer Aufschlüsse an der Erdoberfläche bearbeitet. Oftmals

unterstützen Orthofotos oder digitale Geländemodelle die Erfassung der geologischen Daten. Geologische Karten bilden die Grenzflächen zwischen klassifizierten Einheiten im Gelände ab (Oberflächengeologie). Die klassische geologische Karte klassifiziert die dargestellten Einheiten nach lithologischen oder lithostratigraphischen Kriterien. Karten eignen sich aber auch für die Darstellung von Modellen des geologischen Untergrundes. Karten des Grundwasserspiegels stellen zum Beispiel oft dessen Höhe als die Verbindungslinie zwischen Orten gleicher Höhe über Normalnull dar (Isohypsenkarte). Kartendarstellungen werden klassischerweise von der Gemeinschaft der Anwender geographischer Informationssysteme (GIS) abgehandelt.

4.2.3.4 3D-Modelle

Ein geologisches 3D-Modell stellt eines oder mehrere geologische Merkmale, Parameter oder Elemente des Untergrundes in seinem räumlichen Kontext dar. Da man keinen vollständigen Zugang zum Untergrund hat, sind Interpolationen nötig, um geologische Informationen zwischen den Aufnahmepunkten miteinander in Verbindung zu setzen. Aufgrund dieser Interpolationen spricht man vom 'Modellieren' des geologischen Untergrundes.

Die Ausgangsdaten für geologische 3D-Modelle sind äusserst heterogen. In der Regel basieren Modelle auf Bohrlöchern und Querschnitten (z.B. geologische Profile oder tiefenkonvertierte seismische Profile) und Kartendaten.

Bei mit geologischem Sachverstand überarbeiteten Profilschnitten handelt es sich häufig um Eingangsdaten für die Realisierung eines verfeinerten 3D-Modells. Die kontinuierliche Verbesserung geologischer Untergrundmodelle gelingt dabei meist nur durch iterierte Überarbeitung ausgewählter Profilschnitte des 3D-Modells. Eine weitere Möglichkeit zur Generierung von geologischen Profilschnitten erfolgt durch Interpretation. Zusätzlich können andere geophysikalische Ergebnisse und vorhandene 3D-Modelle zur Ausgestaltung des Modelles beitragen. Bei der Interpolation handelt es sich meist um prozessierte primäre geologische Daten, die vor der Nutzung diskretisiert werden müssen. Für die kontinuierliche Modellierung eines Parameters können die Daten entweder vom Typ «primär» oder vom Typ «prozessiert primär» sein (vergleiche Abschnitt 4.2.2).

Die Methoden, die zur Interpolation zwischen Daten zum Einsatz kommen, greifen auf verschiedenste Ansätze aus der höheren Mathematik zurück. Während einige Ansätze nur die nächsten Nachbarn (Nearest Neighbour) verwenden, versteht man unter «Kriging» ein geostatistisches Verfahren, mit dem zwischen mehreren umliegenden Messwerten interpoliert werden kann. Ausserhalb der Geostatistik und ausserhalb von 3D-Modellen ist dieser Ansatz als Gauss'sche Regression bekannt. Abgesehen davon, welche Berechnungsmethode zur Verbindung der Daten verwendet wird, gibt es große Unterschiede in der Art und Weise, wie geologische Konzepte in den Modellierungsansatz integriert werden, abhängig davon, ob ein expliziter oder impliziter Ansatz zur Verbindung der Daten gewählt wird. Die explizite Modellierung ist in hohem Maße von der Interaktion und Umsetzung geologischer Konzepte durch die Geologen abhängig, wie z.B. bei der manuellen Querschnittserstellung oder der manuellen Bearbeitung von 3D-Modellen. Die implizite Modellierung stützt sich stärker auf mathematische Funktionen und Regeln, um die Interpolation von Daten einzuschränken. Dies hat Auswirkungen auf die Bestimmung von Unsicherheiten (siehe Abschnitt 6). Hybridlösungen, bei denen eine Mischung aus impliziten und expliziten Methoden verwendet wird, sind üblich (Russell et al., 2019). Die Auswahl dieser Ansätze ist Sache der Modellierungsexperten und findet in entsprechender Spezialsoftware statt. Im Rahmen der in diesem Dokument beschriebenen Grundlagen zur Integration der Geologie in die BIM-Methode wird nicht näher auf diese Themen eingegangen.

Es gibt eine Vielzahl von Varianten geologischer 3D-Modelle. Die Kriterien für Modellauswahl sind vielseitig. Sie können sich massgeblich in der Interpolationsmethode und dem Geometriotyp unterscheiden. Die Wahl einer bestimmten Methode hängt unter anderem vom Zweck des 3D-Modells, den verfügbaren Daten und Datentypen, der erforderlichen Qualität und der zur Modellierung verfügbaren Zeit ab. Abschnitt 5 greift einige ausgewählte Modellierungsparadigmen für die Darstellung von Bohrprofilen und Profilschnitten in 3D heraus und erläutert diese näher.

Meistens sind geologische, hydrogeologische und geotechnische Parameter aufeinander bezogen. Wenn man geotechnische Parameter miteinander vergleicht, weisen sie eine Variation auf, die oftmals typisch für eine bestimmte lithologische oder lithostratigraphische Einheit ist. In der Praxis wird daher ein diskretes geometrisches 3D-Modell der lithostratigraphischen Einheiten und dessen Störzonen als Grundlage für die weitere numerische oder geostatistische Modellierung bestimmter Parameter erstellt. Im weitesten Sinne bilden diskrete Modelle beliebige diskrete oder kategorielle Variablen in ihrem

räumlichen Kontext ab. In der Geologie sind die diskreten Variablen von Interesse typischerweise ein Code der Gesteinsart, Stratigraphie, Lithostratigraphie, Fazies oder ähnlichem. Im engeren Sinne bezieht sich ein geologisches 3D-Modell häufig auf die Geometrie von lithostratigraphischen Einheiten und Störungszonen, die als Grundlage für die weitere Modellierung vieler anderer Parameter dienen. Die Bestimmung von numerischen Parametern, wie chemische Konzentrationen (Rohstoff- oder Schadstoffgehalte) oder petrophysikalische Eigenschaften (Permeabilität, Porosität oder ähnlichem), erfolgt in der Regel innerhalb von kategoriellen Bereichen, die durch das diskrete Modell definiert sind. In der Hierarchie der geologischen 3D-Modelle kommt dem diskreten Modell folglich eine übergeordnete Rolle zu (Blaha, 2019). Es handelt sich um eine auf Messwerte und Beobachtungen gestützte Form der Generalisierung auf Basis geologischen Sachverständes. Abhängig von den genannten Kriterien, können im Wesentlichen zwei Typen unterschieden werden, Schicht- und Volumenmodelle.

4.2.3.4.1 Schichtmodelle

Schichtmodelle fokussieren auf die Ober- und Untergrenzen geologischer Einheiten. Sie kommen zum Beispiel bei der Darstellung lithologischer Einheiten in ihrem räumlichen Kontext häufig zum Einsatz oder immer dann, wenn relevante Parameter sich in den definierten Einheiten ähnlich verhalten. Die Volumina der geologischen Einheiten sind in dieser Modellform nicht als modellierte Objekte abfragbar und müssen geometrisch aus zwei Schichtgrenzen abgeleitet werden.

4.2.3.4.2 Volumenmodelle

Soll das Volumen geologischer Einheiten direkt abgreif- und gegebenenfalls unterteilbar sein, kommen häufig Volumenmodelle (z.B. Voxelmodell) zum Einsatz. Sollen Parameter im räumlichen Kontext visualisiert werden, kommt diese Modellform ebenfalls häufig zum Einsatz, da jedem Volumen oder gar den einzelnen Stützpunkten eines Volumenkörpers ein Set an Eigenschaften zugewiesen werden kann. Je nach Geometrie der Volumenkörper können quer im Raum stehende Schichtflächen oder geologische Störzonen mehr oder weniger gut abgebildet werden.

4.3 Datenmodelle

Datenmodelle beschreiben den Inhalt und die Struktur von Daten. Grundsätzlich kann zwischen semantischen, konzeptuellen und logischen Datenmodellen unterschieden werden. Die semantische Ebene ist eine fachliche, formal freie Beschreibung der Daten. Konzeptuelle Datenmodelle bilden Objekte der realen Welt, einschliesslich ihrer Beziehungen untereinander, formal und systemneutral ab. Während konzeptuelle Datenmodelle unabhängig von Systemen und Herstellern sind, sind logische Datenmodelle oft Ansätze zur Implementierung. Sie sind systemabhängig und zielen z.B. auf ein definiertes Datenbankmanagementsystem. In der Regel kommen zur strukturierten Speicherung von Daten relationale Datenbanksysteme zum Einsatz. GEOL_BIM bewegt sich gerade in der Anfangsphase des Projektes vor allem auf der Ebene des semantischen und konzeptuellen Datenmodells, in dem es vorrangig darum geht zu identifizieren, welche Aspekte der Geologie für die Integration in die BIM-Methode übergeben werden müssen.

Datenmodelle dienen vorrangig dem Zweck der Harmonisierung und Standardisierung der Beschreibung von Daten. In den Abschnitten 3.3.2 und 3.3.3 wurden gleichermassen einige der für die Geologie relevanten nationalen und kantonalen Ansätze zur Standardisierung dargestellt, wie auch ausgewählte Verbandsrichtlinien und Firmenstandards eine Erwähnung fanden. Der Versuch, alle in der Geologie potenziell relevanten Datenmodelle zusammenzutragen, würde den Rahmen dieser Dokumentation sprengen.

Die mit den Datenstrukturen beschriebenen Eigenschaften lassen sich in folgende Gruppen unterteilen:

- Stammdaten und Metadaten, Abschnitt 5.1.
- Geometrische Repräsentation (Raumbezug), Abschnitt **Error! Reference source not found.**
- Geologische Daten, Abschnitt 5.3.

Stammdaten, geologische Daten und die geometrische Repräsentation beschreiben den eigentlichen Inhalt der Information, also die Sachverhalte, um die es tatsächlich geht. Sie werden als Inhaltsdaten bezeichnet. Demgegenüber stehen die Metadaten, welche nicht den eigentlichen Sachverhalt beschreiben, sondern die Inhaltsdaten. Metadaten dienen der verbesserten Zuordnung und Auffindbarkeit einer Information und deren Einordnung. Über die Einordnung kann eine Quelle z.B. als aktuell oder vertrauenswürdig eingestuft werden.

Der räumlich Bezug einer Information wird häufig über dessen geometrische Repräsentation hergestellt, welche die Form und Ausdehnung des Objekts im dreidimensionalen Raum beschreibt. Den Objekten im Raum können dann geologische Informationen als Attribute angehängt werden. Abbildung 21 visualisiert diese als allgemeingültig betrachtete Gruppierung aus geometrischer Repräsentation, der Attribuierung und den dazugehörigen Meta- und Stammdaten. Mehr zu den heute gängigen Modellierungsparadigmen im Umgang mit geologischer Information – mit dem Schwerpunkt auf 3D-Modelle – findet sich in Abschnitt 5 dieser Dokumentation. Die strikte Unterteilung des Abschnittes 5 'Modellierungsparadigmen' nach der farbig hervorgehobenen Dreiteilung (siehe oben) ist bewusst so gewählt und soll hervorheben, dass die genannten drei Charakteristika voneinander unabhängig sind. Geologische Informationen können als Attribute nicht nur den Leistungen von Geologen (Bohrprofilen, Profilschnitten, Karten oder 3D-Modellen) zugeordnet werden, sondern auch beliebigen geometrischen Repräsentationen. Zum Beispiel können Messwerte einem Punkt im Raum gleichermaßen zugeordnet werden wie einer Schichtgrenze, einem Volumen oder dem Stützpunkt eines Volumenkörpers. Die Dreiteilung bestehend aus Stamm- und Metadaten, geometrischer Darstellung und geometrischer Attribuierung wird im nachfolgenden Kapitel ausführlicher diskutiert.

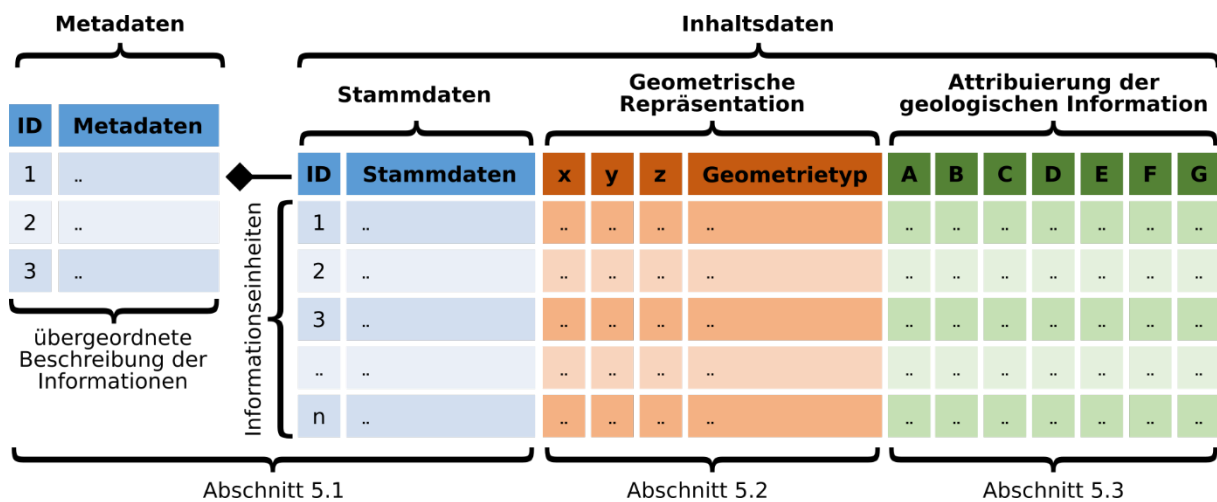


Abbildung 21. Stark vereinfachte Übersicht der in Abschnitt 5 diskutierten Modellierungsparadigmen.

5 3D-Modellierungsparadigmen

5.1 Stamm- und Metadaten

5.1.1 Stammdaten

«Als Stammdaten werden alle allgemeinen oder auch fachspezifischen Angaben bezeichnet, die zur Identifikation und allgemeinen Beschreibung eines Objektes dienen» (“Die Geologische Kartieranleitung der SGD,” n.d.). Stammdaten einer Bohrung sind z.B. der Bohrtyp, das Ausführungsdatum der Bohrung, der Zweck der Bohrung, die Bohrfirma. Zu den Stammdaten wird hier insbesondere auch die Identifikation von Objekten gezählt. Dabei handelt es sich um ein Attribut oder eine Attributkombination, die einen Datensatz eindeutig identifizieren.

Welche Informationen zu den Stammdaten gezählt werden ist nicht eindeutig definiert und kann sich derzeit von Datenmodell zu Datenmodell deutlich unterscheiden. Eine klare Abgrenzung von Stammdaten, die hier zu den Inhaltsdaten gezählt werden (Abbildung 21), und Metadaten (Abschnitt 5.1.2) ist hilfreich für die branchenweite Harmonisierung von Datenmodellen und sollte deshalb einheitlich definiert werden.

5.1.2 Metadaten

Metadaten sind «Daten, die Informationen über andere Daten liefern». Mit anderen Worten, es sind «Daten über Daten». «Metadaten sind die Dokumentation von Daten, die primär als Information dient, und dem Verwalter oder Benutzer erlaubt, den Inhalt des beschriebenen Datenbestands zu verstehen, zu vergleichen und auszutauschen.» (“GM03,” 2005).

Sowohl für die Attribuierung von geologischen Informationen als auch für die geometrische Repräsentation können Metadaten definiert werden. Bei der Attribuierung geologischer Informationen kann man sich Metadaten vorstellen wie z.B. die Versionsnummer der verwendeten Lithostratigraphie-Definition. So gibt es auch Metadaten, die Teil der geometrischen Darstellung sind, wie zum Beispiel das Koordinatensystem. Es stellt sich die Frage, ob z.B. die Unsicherheit (eines geologischen Wertes) zu den Metadaten oder zu den geologischen Daten zählt, oder ob die Genauigkeit der GPS-Lokalisierung an einem Bohrloch zu den Geometriedaten oder zu den Metadaten über die Geometrie gehört. Derzeit ist auch die Abgrenzung zwischen Stamm- und Metadaten oft unscharf. Es ist möglich die Definition von Metadaten deutlich enger zu fassen, als dies in der Praxis heute oft getan wird. Alternativ könnten wie bei Dateien in einer Dateistruktur nur Computersystem-relevante Parameter wie das Erstellungsdatum, das Datum der letzten Modifikation oder Benutzernamen als Metadaten klassifiziert werden.

Sollen die Leistungen geologischer Arbeit in Form von Publikationen Dritten zugänglich gemacht werden, können Metadaten von Bedeutung sein. Beispielsweise können Zugriffsbeschränkungen für bestimmte geologische Daten bestehen, die eine Veröffentlichung dieser Daten verhindern. Dennoch können Metadaten aus Gründen der Auffindbarkeit offen zugänglich gemacht werden. Es gilt die richtige Balance zu finden, zwischen schützenswerten inhaltlichen Informationen und offen zugänglichen Metadaten. Beispielsweise kann es vorkommen, dass bei bestimmten Bohrdaten der Schichtaufbau nicht veröffentlicht werden darf. In einem solchen Fall kann aber allenfalls ein Teil der Metadaten öffentlich zugänglich sein (z.B. Bohrungsname, Lage (XYZ)), so dass öffentlich einsehbar ist, wo die Bohrdaten verfügbar sind ohne dass z.B. die detaillierte Schichtinformation verfügbar gemacht wird.

Für die Strukturierung von Metadaten gibt es aus der Geoinformation etablierte Standards. In der Schweiz ist dies die Norm GM03 Metadatenmodell (“GM03,” 2005), welche eine Implementierung der ISO 19115 ist. Da geologische Daten Geodaten sind, ist anzustreben, die Metadaten möglichst gemäss GM03 zu strukturieren.

5.2 Geometrische Repräsentationen

5.2.1 2D Repräsentation

Klassischerweise wird in der 2D GIS-Welt zwischen Raster- (je nach Software manchmal auch Grid genannt) und Vektordaten unterschieden. Rasterdaten bestehen aus Gitterzellen, die durch Zeilen und Spalten identifiziert werden. Vektordaten hingegen setzen sich aus den Grundelementen Punkte und Linien zusammen. Wo Punkte Linien bilden, bilden Linien Polygone und Polygone Flächen und Flächen Körper.

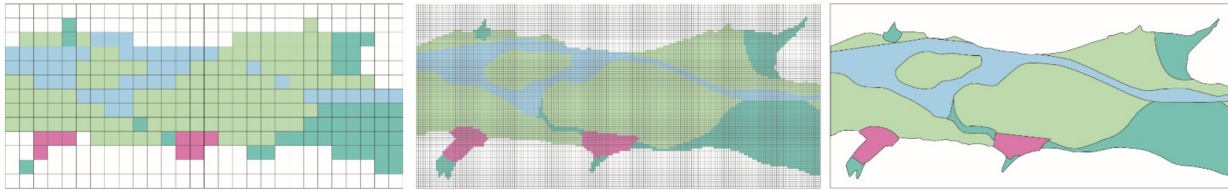


Abbildung 22. Beispielhafte Abbildungen der Wirklichkeit mit Rasterdaten. Die Abbildung illustriert unterschiedliche Auflösungen von Rasterdaten (links und mitte) und vergleicht diese mit Vektordaten (rechts).

Der grosse Unterschied in dieser Dichotomie hat mit der Art und Weise zu tun, wie die Daten gespeichert werden: Bei den Rasterdaten als Matrix aufgrund der Regelmäßigkeit des Gitters, bei den Vektordaten als Beschreibung verschiedener (manchmal unregelmässiger) Pfade. Beide Typen haben Vor- und Nachteile. Der offensichtlichste ist, dass Gitter aufgrund der Matrixdefinition sehr effizient im Hinblick auf Rechenleistung sind, aber durch die Zellgrösse/-auflösung räumlich begrenzt sind, und dass Vektordaten mit sehr hoher Präzision etwas darstellen können, aber aufgrund ihrer räumlichen Definition weniger effizient hinsichtlich Rechenleistung sind (Abbildung 22). Eine Übersicht der Vor- und Nachteile findet sich in Tabelle 8.

Tabelle 8. Unterschiede zwischen 2D GIS Raster- und Vektordaten.

	Raster	Vektor
Komplexität der Struktur	Einfach	Komplex
Lagegenauigkeit	Limitiert	Unlimitiert
Recheneffizienz	Hoch	Niedrig
Datenvolumen	Hoch	Niedrig
Räumliche Auflösung	Limitiert	Unlimitiert
Topologische Darstellung zwischen Elementen	Schwierig	Einfach

5.2.2 3D Repräsentation

In der 3D-Umgebung gibt es mehrere Raumdatentypen, jeder mit seinen eigenen Definitionen, wie die Daten aufgebaut und gespeichert werden. Wie bei der klassischen 2D-Aufteilung zwischen Vektor- und Rasterdaten ist auch in der 3D-Umgebung die zu wählende Geometriedefinition vom verfolgten Zweck abhängig. Die Auswahl an 3D-Darstellungen reicht von der 3D-Darstellung von Punkten und Linien bis hin zu komplexeren geometrischen Definitionen wie Oberflächen und Volumen. Die Tabelle 9, Tabelle 10 und Tabelle 11 (Landesgeologie, 2013) zeigen, was es für die Geometrie eines Objekts bedeutet, wenn von der 2D-Umgebung in die 3D-Umgebung gewechselt wird.

Tabelle 9. Punktrepräsentationen nach dem Übergang von 2D nach 3D (Landesgeologie, 2013).

2D-Repräsentation	3D-Repräsentation	Beispiel	Erweiterung in 3D
a) Punkt (XY-Koordinaten)	Punkt (XYZ-Koordinaten)	Fallzeichen	Keine, da Punkte mit den bestehenden Geometriertypen dargestellt werden können.
b) Punkt (XY-Koordinaten)	Linie	Bohrung	Keine, da Linien mit den bestehenden Geometriertypen dargestellt werden können.

Tabelle 10. Repräsentation einer Linie nach dem Übergang von 2D nach 3D (Landesgeologie, 2013).



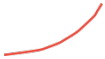
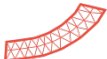

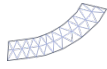

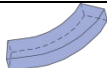

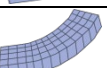
2D-Repräsentation	3D-Repräsentation	Beispiel	Erweiterung in 3D
a) Linie 	Linie 	Faltenscharnier (Projektion)	Keine, da Linien mit den bestehenden Geometrietypen dargestellt werden können.
b) Linie 	Oberfläche 	Bruch / Bruchfläche	Einführung eines neuen Geometrietyps Oberfläche → «Surface».

Tabelle 11. Repräsentation eines Polygons nach dem Übergang von 2D nach 3D (Landesgeologie, 2013).

2D-Repräsentation	3D-Repräsentation	Beispiel	Erweiterung in 3D
a) Polygon 	Oberfläche 	Oberfläche einer Formation	Einführung eines neuen Geometrietyps Oberfläche → «Surface».
b) Polygon 	Hülle 	Gesteinskörper	Einführung eines neuen Geometrietyps Hülle → «Shell».
c) Polygon 	Körper / Volumen 	Gesteinskörper	Einführung eines neuen Geometrietyps Körper → «Volume».

Punkte und Linien sind in 3D relativ einfach zu definieren. Sobald es aber um Flächen und Volumen geht, sind mehrere Definitionen möglich (siehe Tabelle 12). Analog zu dem, was wir in 2D beim Vergleich zwischen Raster- und Vektordaten sehen, gibt es auch in 3D je nach Definition und Struktur der Geometrie Vor- und Nachteile zwischen den verschiedenen Geometriedefinitionen. So können zum Beispiel reguläre Volumenmodelle (genau wie 2D-Raster) sehr effizient sein, sind aber durch die Auflösung ihrer Zellgrösse begrenzt.

Tabelle 12. Klassifikation von 3D-Modellen in den Geowissenschaften (Lixin and Wenzhong, 2004).

Oberflächenmodell	Volumenmodell		"Mixed" Modell
	Regelmässig	Unregelmässig	
TIN (triangular irregular network)	CSG-tree	TEN (Tetrahedron network)	TIN-CSG mixed
Grid	Voxel	Pyramid	TIN-Octree mixed or hybrid
Brep (Boundary representation)	Octree	TP (Tri-prism)	Wire framework-Block mixed
NURBS (Non-uniform rational B-splines)	Needle	Geocellular	Octree-TEN Mixed
Wire framework or linked slices	Regular block	Irregular block	
Serial sections		Solid	
Sections- TIN mixed		3D voronoi volume	
Multi-DEMs		Analogous TP, General TP	

In Abbildung 23 ist eine Reihe von Beispielen für die Darstellungen sowohl von Flächen als auch von Volumen zu sehen. Heutzutage ist es zunehmend auch möglich, zwischen geometrischen Typen zu transformieren. Es ist jedoch wichtig, sich bewusst zu machen, dass bei der Transformationen zwischen geometrischen Definitionen bestimmte Informationen verloren gehen oder geändert werden können. In diesem Kapitel soll nicht das Ziel verfolgt werden, vollständig zu sein, sondern vielmehr einen Überblick darüber zu geben, was derzeit im geologischen Sektor weit verbreitet ist.

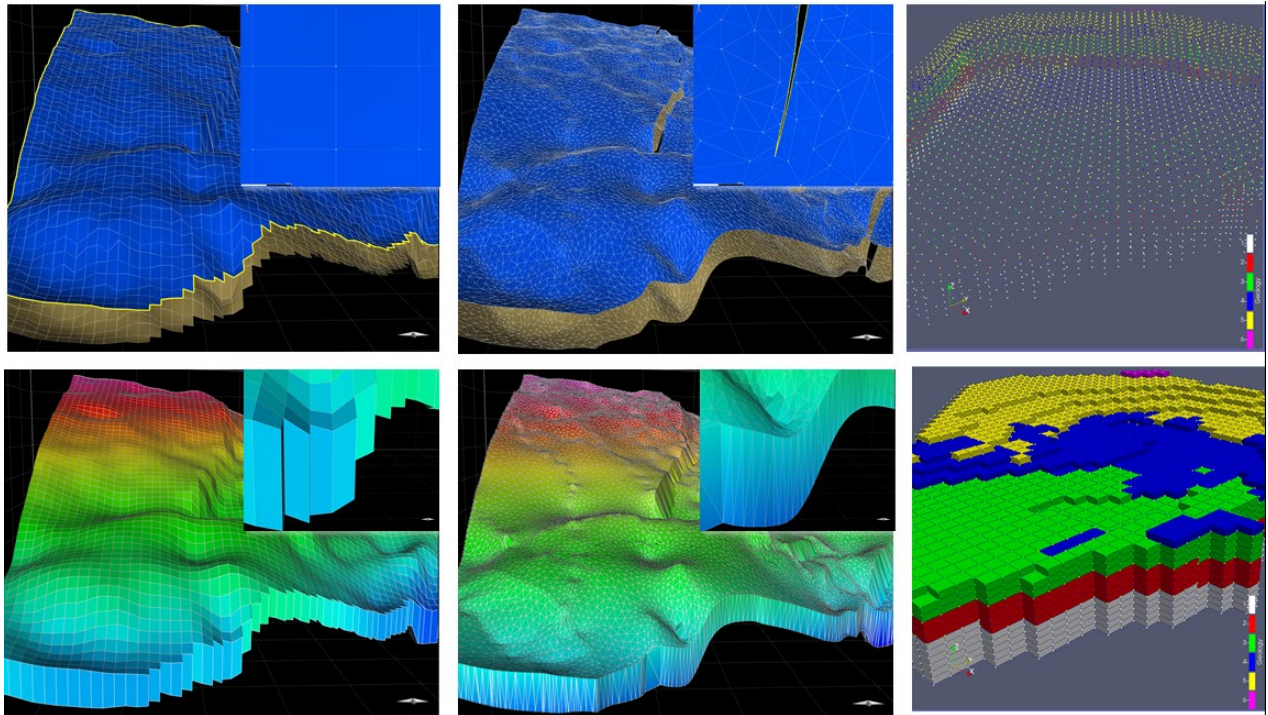


Abbildung 23. Vergleich zwischen verschiedenen geometrischen Definitionen von geologischen 3D-Modellen. a) Regelmässige Rasteroberfläche, b) TIN mit Störung, c) Gleichmässig verteilte Punktwolke mit lithostratigraphischer Information d) «Geocellular volume» zwischen zwei Rasteroberflächen, e) TEN zwischen zwei TINs, f) Block-/Voxel-Modell. Abbildung a) und b) zeigen zwei Horizontflächen in Raster- bzw. TIN-Definition. Aus dieser Abbildung ist ersichtlich, dass die Gesamtgeometrie zwar dieselbe ist, die TIN-Version jedoch die Definition von Löchern (Störungsrausschnitten) erlaubt, während die Raster durchgehend sind. Auch die geometrische Darstellung des TIN ist präziser. Vergleicht man die Abbildungen d) und e), so zeigt sich, dass das TEN-Volumen präziser definiert ist, während das Geocellular-Volumen durch seine Zellgröße begrenzt wird. Das Geocellular-Volumen hat jedoch separate volumetrische und parametrische Definitionen für jede einzelne Zelle, während das TEN-Volumen als ein einziges Volumen betrachtet wird. In den Abbildungen d) und f) wird ein regelmäßiges 3D-Gitter von Zellen betrachtet. Zuerst d) als Punktwolke (Sammlung von Punkten in einem geometrischen Objekt) mit Attributen/Parametern für jeden einzelnen Punkt. In f) wird diese Punktwolke als Blockmodell betrachtet und von der Software entsprechend dargestellt. In diesem Fall wird jeder einzelnen Zelle ein Volumen mit entsprechenden Attributen/Parametern zugeordnet.

5.2.3 Repräsentation von Bohrprofilen in 3D

Bei den meisten Bohrungen handelt es sich um Senkrechtbohrungen oder geneigte Bohrungen (Abbildung 24). Auch wenn diese Bohrungen in der Realität keine gerade Linie darstellen, stehen meist keine Daten zur Abweichung zur Verfügung. Es bestehen jedoch auch Bohrverfahren, bei denen die Bohrung bewusst abgelenkt wird. Bei diesen Bohrungen wird zusätzlich der 3D-Pfad des Bohrverlaufs erfasst.

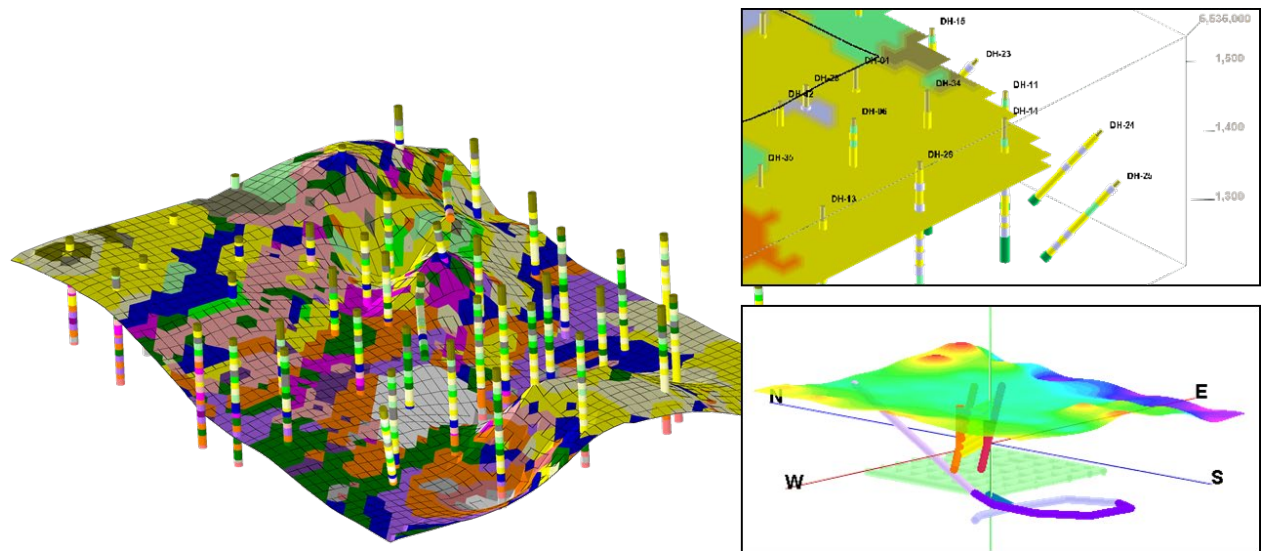


Abbildung 24. Beispiele für die 3D-Visualisierung von Bohrlöchern (www.rockware.com).

Somit werden Bohrungen, die keine Angaben zum 3D-Bohrpfad besitzen, als Gerade im dreidimensionalen Raum dargestellt, deren Verlauf aus Bohransatzpunkt, Neigungswinkel und Azimut ermittelt wird. Besteht ein 3D-Bohrpfad, kann der Bohrungsverlauf als Polylinie im dreidimensionalen Raum erfasst werden, deren Knotenpunkte beliebige XYZ-Koordinaten aufweisen können.

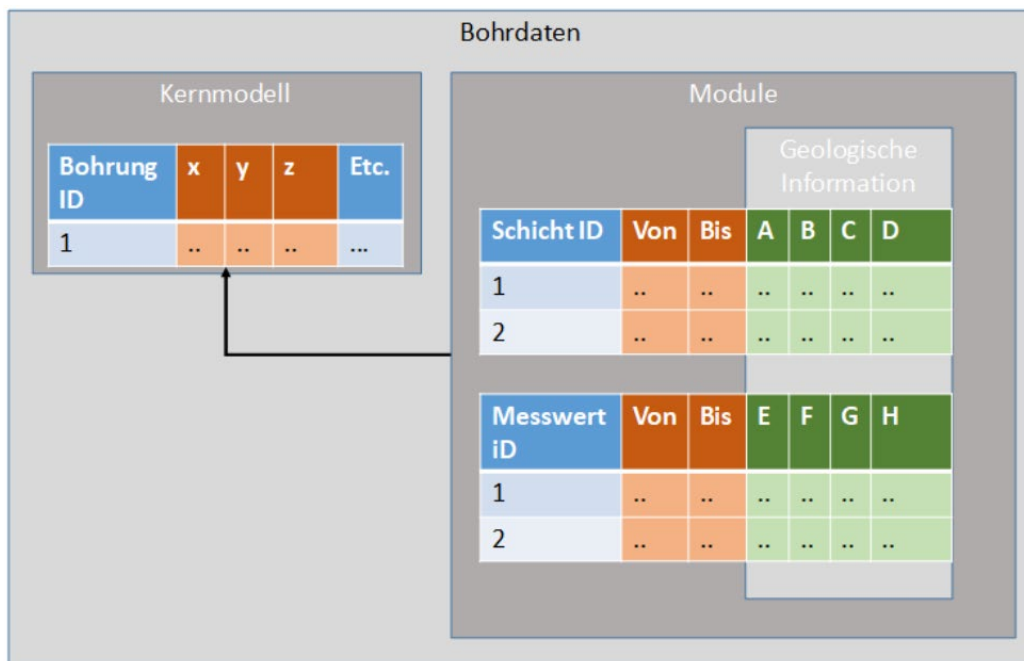


Abbildung 25. Vereinfachte Version des Datenmodells für Bohrdaten. Geologische Informationen werden bei diesem Beispiel pro Schicht beschrieben. Für jedes Bohrloch gibt es einen Eintrag im Kernmodell, in dem die Lage (xy) und die Anfangshöhe (z) zusammen mit der ID, dem Bohrlochtyp usw. beschrieben werden (Stammdaten, in blau). Die xyz-Beschreibung liefert zusammen mit der "von - bis"-Beschreibung einen georeferenzierten 3D-Standort (in Rot) für die geologischen Informationen (in grün). Basierend auf dieser geometrischen Beschreibung, die im Wesentlichen 3D-Punkte darstellen, gibt es viele Darstellungsvarianten der geologischen Informationen innerhalb dieses Bohrlochs.

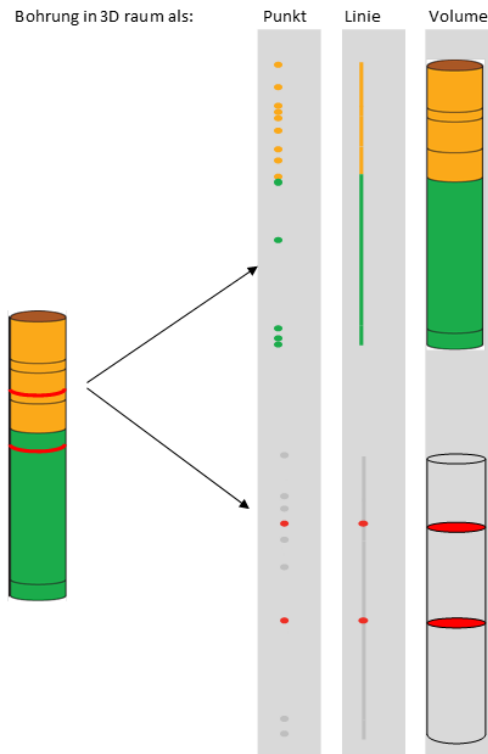


Abbildung 26. Darstellung eines Bohrlochs in verschiedenen Repräsentationsformen. Die Bohrung ist mit lithostratigraphischen Einheiten und Störungsflächen im 3D-Raum visualisiert. In der Realität handelt es sich bei den lithostratigraphischen Einheiten per Definition um Volumina und bei Störungen um Flächen. Dennoch kann das Bohrloch in 3D auf verschiedene Weise visualisiert werden: als Punkte, wobei die lithostratigraphische Einheit aus einer Anzahl von Punkten besteht und die Störungsflächen einen Punkt darstellen. Als Linien, wobei jede lithostratigraphische Einheit eine Linie ist und die Störungsfläche zu einem Punkt wird. Oder als Volumen, wobei die lithostratigraphischen Einheiten Volumina sind und die Störungsfläche eine Fläche ist. Dies zeigt, dass je nachdem, was der Benutzer benötigt, ein reelles Objekt auf verschiedene Arten visualisiert werden kann, was Auswirkungen auf die geometrische Definition der visualisierten Informationen hat.

Werden gerichtete Bohrungen ausgeführt, bei denen die Lage des Bohrkerns erfasst wird und der Kern evtl. zusätzlich noch gescannt wird, können die Bohrungen jedoch auch als 3D-Körper (Röhre) repräsentiert werden. Je nach Art der Datenspeicherung (Definition des Datenmodells, Abbildung 25), den Bedürfnissen des Benutzers, der verfügbaren Software und dem visualisierten geologischen Element sind verschiedene Darstellungen eines Bohrlochs in 3D möglich. (Abbildung 26 und Abbildung 27).

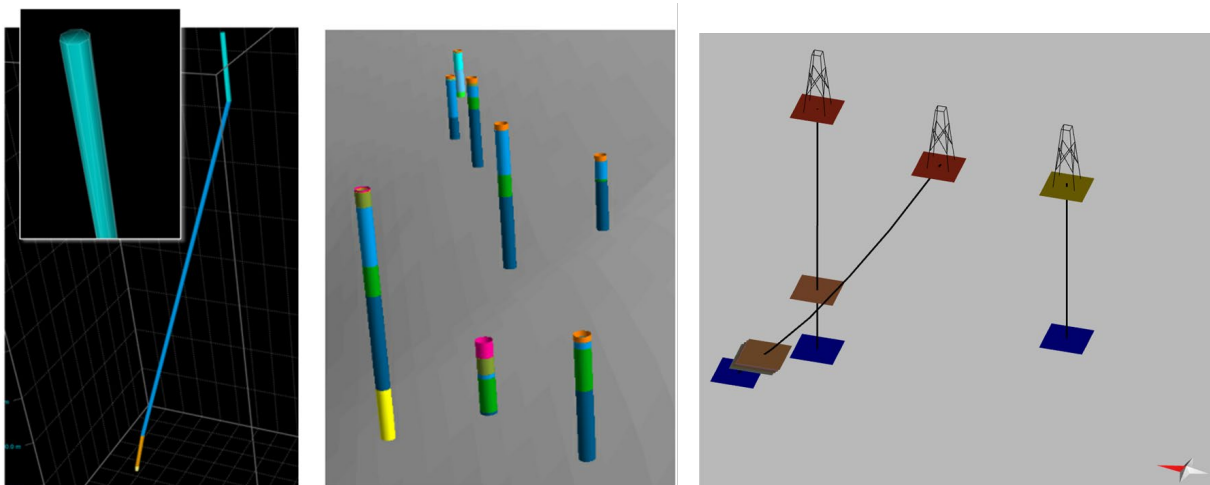


Abbildung 27. Unterschiedliche Visualisierungen von Bohrlöchern als Volumen, Ebenen und Linien. a) Bohrung als Volumenkörper unterteilt nach lithostratigraphischen Einheiten, b) Bohrung als Rohr gerendert aus Liniensegmenten unterteilt nach lithostratigraphischen Einheiten, c) Bohrungsverlauf als Linien mit lithostratigraphischen Grenzen als Flächen. All diese verschiedenen geometrischen Visualisierungen stammen aus dem gleichen Datenmodell. Der Teil des Datenmodells, der die Verbindung zur geografischen Lage der Informationen herstellt, ist in diesem Fall so aufgebaut, dass verschiedene Arten von Informationen (Einheiten oder Grenzen) auf unterschiedliche Weise visualisiert werden können (Volumen, Ebenen, Linien).

5.2.4 Repräsentation von Profilschnitten in 3D

Geologische Profilschnitte werden separiert von Profilspur im dreidimensionalen Raum dargestellt. Die Profilspur zeigt zwar die georeferenzierte Lage des Profilschnittes, jedoch ist dieser davon abgekoppelt in einer vertikalen Ebene dargestellt. Je nachdem, wie und welche Informationen gespeichert werden (Datenmodell-Definition, Abbildung 28) besteht die Möglichkeit den Profilschnitt an die Profilspur anzuhängen. Dadurch wird ein gerader Profilschnitt in Form von Polygonen in einer senkrechten Ebene im dreidimensionalen Raum dargestellt (Abbildung 29). Bei geknickten Profilschnitten oder Profilschnitten entlang von Strassen- oder Bahnachsen wird der geologische Profilschnitt nicht mehr als Ebene, sondern als Oberfläche repräsentiert.

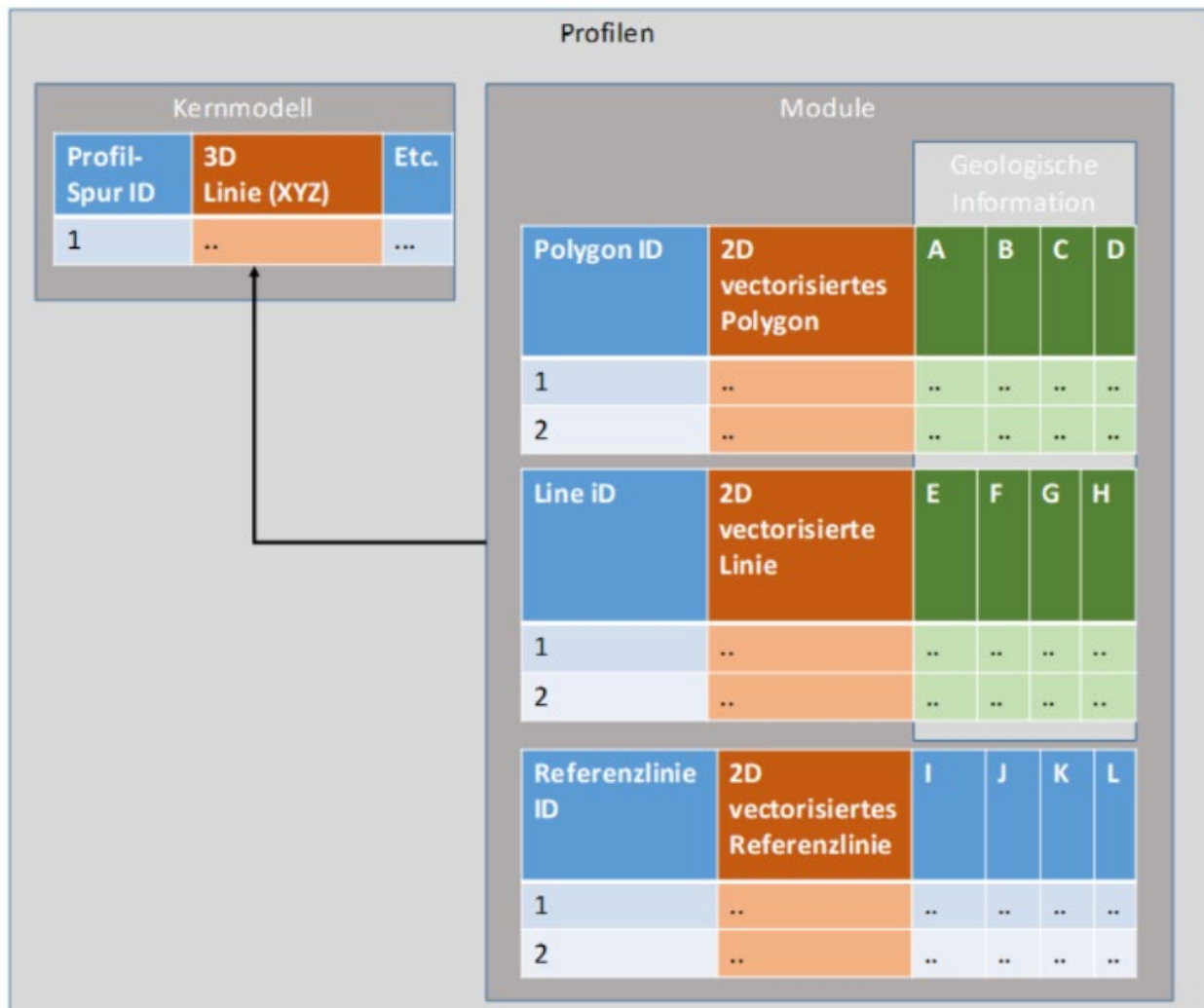


Abbildung 28. Eine vereinfachte Version eines möglichen Datenmodells für Profile. Wo Linien und Polygone von 2D-Profilzeichnungen (im Kartenraum) mit geologischen Informationen versehen sind, werden Referenzlinien hinzugefügt und über eine Profil-ID mit einer georeferenzierten (x,y,z) Profilsur verknüpft. Die Beschreibung der Spur x,y,z zusammen mit den Referenzlinien ergibt einen in 3D georeferenzierten Standort (in rot) für die geologische Information (in grün).

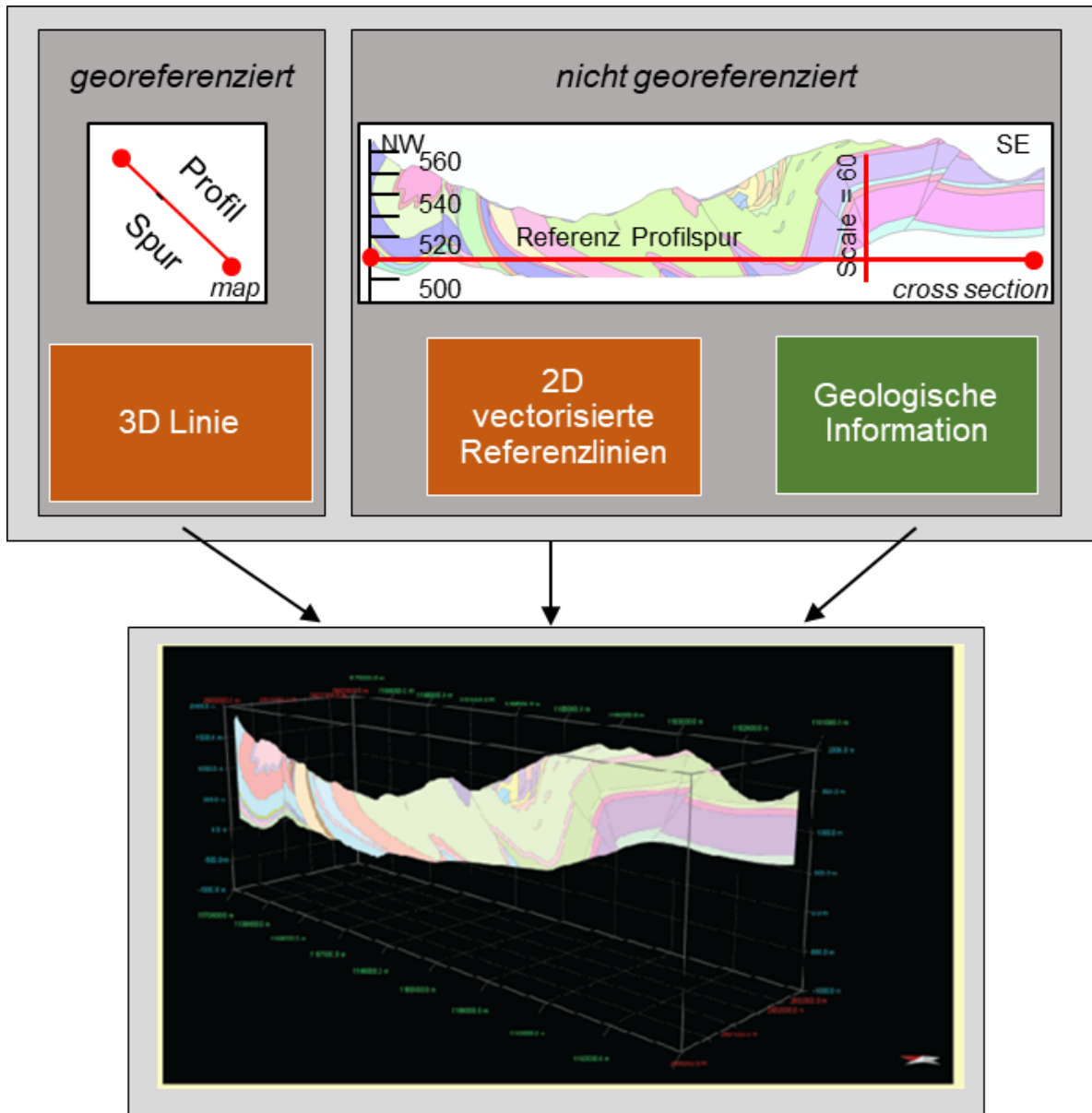


Abbildung 29. Darstellung einer 2D-Zeichnung in 3D. Verknüpfung einer vektorisierten 2D-Zeichnung eines geologischen Querschnitts mit geografischen Daten zur Erstellung eines 3D-Querschnitts.

5.2.5 Abbildung von 3D Modellen

Wenn der Zweck der Modellierung darin besteht, Schichten oder Grenzflächen zu erzeugen, können diese durch Raster- oder Vektordaten dargestellt werden. Zusätzlich zu den Vor- und Nachteilen von Raster- und Vektordaten, die in der Einleitung dieses Kapitels erwähnt wurden, kommt hinzu, dass ein Raster unmöglich doppelte z-Werte haben kann. Dies bedeutet, dass einige geologischen Geometrien (z.B. Aufschiebungen oder vertikal gefaltete Schichten) nicht oder nur ungenau mit einem Raster dargestellt werden können (siehe Abbildung 23). Dieser Nachteil kann mit Vektormodellen umgangen werden, z.B. durch Triangulationsnetze (Mesh). Meshes erlauben doppelte z-Werte und können daher komplexe geologische Geometrien darstellen und zusätzlich geschlossene Körper bilden, die innen hohl sind (Abbildung 30). In der Geologie werden Volumina in der Regel zwischen Ebenen gebildet, die mit Hilfe von 3D-Rastern in regelmässige oder unregelmässige kleinere Blöcke/Bereiche unterteilt werden. Auch hier hängt die Wahl des Flächen- oder Volumenmodells von den Wünschen der Anwender (und der verfügbaren Software!) ab (siehe Abbildung 23).

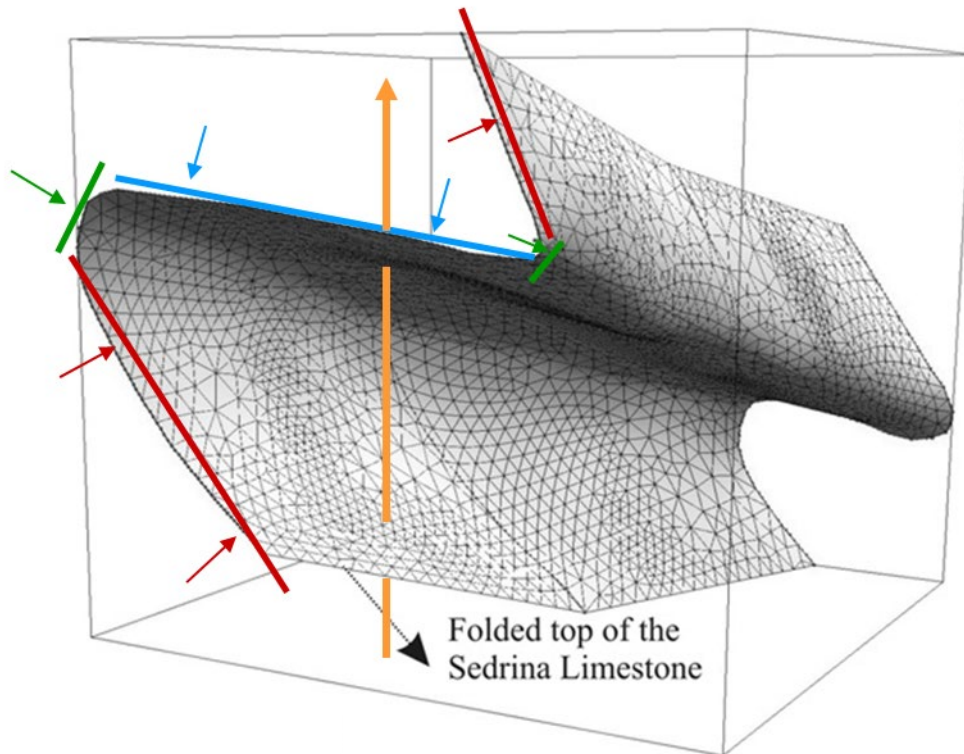


Abbildung 30. Komplex gefaltete geologische Struktur in 3D (Zanchi et al., 2009). Die roten, grünen und blauen Linien zeigen die verschiedenen Ebenenausrichtungen, und die Pfeile zeigen die Richtung der stratigraphischen Abfolge, wobei der orangefarbene Pfeil die Richtung der Gesamtfolge der Sequenz anzeigt. Diese komplexe Verfaltung hat doppelte z-Werte, die ein reguläres Gitter nicht verarbeiten kann, daher wird zur Darstellung dieser Fläche ein Meshing verwendet.

Werden Daten eines Modelles visualisiert, spricht man von Rendering. Dabei enthält das zugrundeliegende Modell Informationen über die Geometrie, optional können auch Belichtungs-, Schattierungseffekte und viele weitere Eigenschaften der einzelnen Objekte hinzukommen.

In vielen Fällen ist es nicht notwendig, ein komplexes geometrisches Objekt zu erzeugen, da viele Softwarepakete die Möglichkeit bieten, aus vereinfachten Daten ein komplexeres Ergebnis zu erzeugen. Zum Beispiel kann man in der 3D-Umgebung von ESRI ArcScene eine 3D-Linie als Röhre (siehe Abbildung 27) oder als Voxel gerenderte 3D-Gitterpunkte repräsentieren.

Viele geologische Softwarepakete ermöglichen räumliche Abfragen. Das bedeutet, dass Geometrien untereinander nach Schnittpunkten, Überlappungen usw. abgefragt werden können (siehe Abbildung 31). Ein gutes Beispiel ist eine räumliche Abfrage, bei der eine Abfrage entlang einer bestimmten Linie erfolgt um einen Profilschnitt zu erstellen (siehe Abbildung 32).

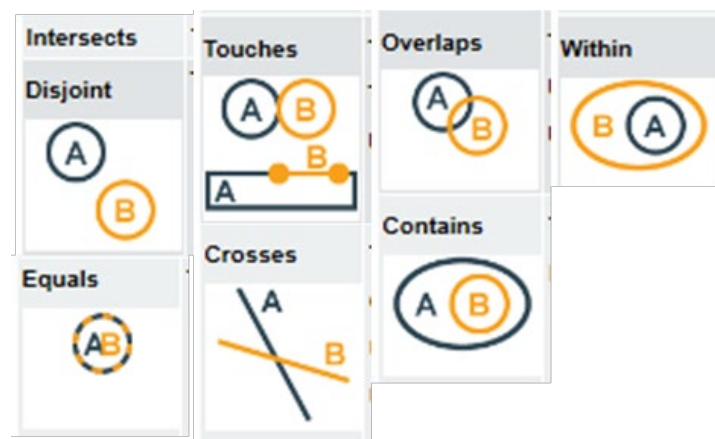


Abbildung 31. Beispiele für Raumbeziehungsdefinitionen zur Datenabfrage (verändert nach Safe Software).

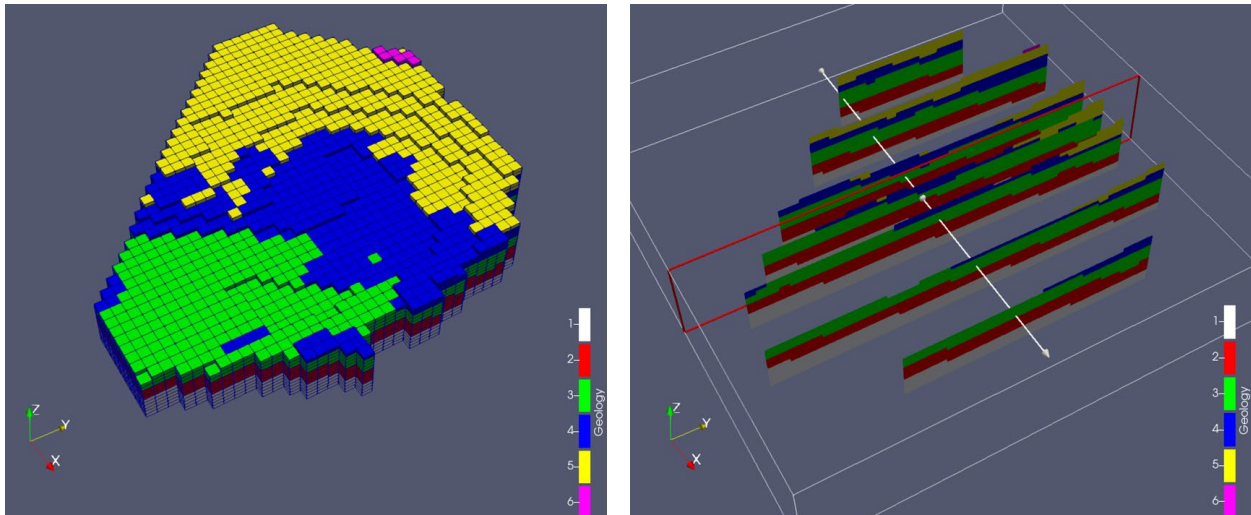


Abbildung 32. On the fly generierte Querschnitte (rechts) aus einem Blockmodell (links).

Darüber hinaus kann man unter den räumlichen Abfragen auch Attributstatistiken rechnen, wo z.B. bei der Punkt-in-Polygon-Methode eine räumliche Abfrage der Statistik über ein bestimmtes Attribut zugrunde liegt.

Bei der Datenspeicherung besteht jede Geometrie im Wesentlichen aus einzelnen Punkten, die mittels Datenbank-Logik zusammengehalten werden.

In der Geologie sind die gebräuchlichsten Geometrien für 3D-Modelle TIN für Oberflächenmodelle oder 3D-Gitter (regelmässig, unregelmässig) für Volumenmodelle. Es ist daher die Aufgabe von GEOL_BIM, die Möglichkeit zu bieten, die gängigsten Formen von 3D-Modellen in der BIM-Umgebung darzustellen. In Bezug auf räumliche Fragen und Rendering müssen wir untersuchen, was in der BIM-Umgebung direkt möglich ist.

5.3 Attribuierung geologischer Informationen

5.3.1 Definition

Attribute beschreiben die Eigenschaften von Objekten. Bei inhaltlichen Daten und Informationen einer Informationseinheit spricht man von Attribut- oder Feldwerten, da historisch die Eingabe oftmals über in Felder eingeteilte Formulare erfolgt. Ein Attribut ist primär definiert über seinen Namen und seinen Datentyp. Zu den gängigsten für Attribute verwendeten Datentypen zählen Zahlen-, Zeichenketten- oder Textfelder. Während bei Zahlen zu definieren ist, ob Ganze Zahlen oder Gleitkommazahlen gespeichert werden sollen, wird für alphanummerische Attribute die maximale Länge der zu erfassenden Zeichenketten oder Texte festgelegt.

Zusätzlich zu den beschriebenen gängigsten Datentypen kommen viele Spezialfälle zum Einsatz. Beispiele sind Zeitstempel, Datum aber auch Container, die wiederum beliebig komplexe andere Daten und Informationen enthalten können (Bilder, Dokumente). Im einfachsten Fall wird jedem Attribut ein Datentyp aus der Liste der Zahlen-, Zeichenketten- oder Textfelder zugewiesen und dem Nutzer des Attributs wird die volle Freiheit bei der Eingabe der Werte gelassen. Die zugelassenen Wertebereiche können numerisch oder auf Basis text-basierter Kriterien eingeschränkt werden. Alternativ können Wertelisten vordefiniert werden und der Nutzer entscheidet, welcher der zur Auswahl stehenden Werte das Attribut am besten beschreibt.

Numerische Wertebereiche können über die Eingabe von Minimal- und Maximalwerten erfolgen, aber auch deutlich komplexer gestaltet werden. Beschreibt ein Attribut zum Beispiel die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses auf Basis statistischer Proben, kann zum Beispiel die gesamte mathematische Verteilungskurve (Gauss-, Poisson- oder Normalverteilung) als Wert eines Attributes einer Informationseinheit abgelegt werden. Logisch zusammengehörige Attribute können

zudem als Sammlungen von Attributen zusammengefasst und erneut über ein einzelnes Attribut abgebildet werden.

5.3.2 Geotechnik des Baugrundes

In den nachfolgenden beiden Unterabschnitten 5.3.2.1 und 5.3.2.2 wurden mit Hilfe der geoMod ingénieurs conseils SA exemplarisch einige für Locker- (Tabelle 13) und Festgesteine (Tabelle 14) relevante Baugrundwerte zusammengetragen.

5.3.2.1 Attribute des Lockergesteins

In den meisten Fällen werden Bodenparameter für Lockergestein durch Sondierbohrungen mit SPT-Versuchen in unterschiedlichen Tiefen bestimmt. Beim Standard Penetration Test (SPT) wird im Bohrloch eine Sonde in den Boden gerammt. Aus der Anzahl Schläge für eine Eindringtiefe von 30 cm können durch Korrelation mehrere Parameter abgeleitet werden.

Tabelle 13. Auswahl geotechnisch relevanter Baugrundwerte im Lockergestein.

Parameter	Beschreibung	Einheit	Bestimmung durch ...
ϕ'	Reibungswinkel	°	Triax, Direktscherversuch
ψ'	Dilatanz	°	Triax
c'	Kohäsion	kPa	Triax, Direktscherversuch
E	E-Modul für Erstbelastung	MPa	Interpretation (SPT, CPT, Pressiometer?)
E'	E-Modul für Wiederbelastung	MPa	Interpretation (SPT, CPT, Pressiometer?)
ν	Querdehnzahl	-	Literatur
γ	Raumgewicht trocken	kN/m ³	
n	Porosität $n = \frac{e}{1+e}$	-	
v_s	Scherwellengeschwindigkeit	m/s	Geophysische In-Situ Versuche
k	Hydraulische Durchlässigkeit	m/s	Pumpversuch, aus Kornverteilung
$\sigma'_{v,hist}$	Vorbelastung (Spannungshistorie)	kPa	Annahme, Interpretation?

5.3.2.2 Attribute des Festgesteins

Tabelle 14. Auswahl geotechnisch relevanter Baugrundwerte im Festgestein.

Parameter	Beschreibung	Einheit	Bestimmung durch ...
E	E-Modul	MPa	Einaxialer Druckversuch, Pressiometer?
ν	Querdehnzahl	-	Literatur
γ	Raumgewicht trocken	kN/m ³	
v_s	Scherwellengeschwindigkeit	m/s	Geophysische In-Situ Versuche
f_c	Einaxiale Druckfestigkeit	kPa	Einaxialer Druckversuch
f_t	Einaxiale Zugfestigkeit	kPa	Brasilianischer Versuch
	Klüftung		
	In-situ Spannungen		Annahme, Interpretation?

5.3.3 Aufnahme des Gebirges im Tunnelbau

Gemäss der Norm SN 531 199 (SIA 199) dient die geologische Aufnahme vor und während des Tunnelbaus der Beurteilung und Prognose von Beschaffenheit und des Gebirgsverhaltens bei der Realisierung und Nutzung von Untertagebauten. Das Ausarbeiten von Gefährdungsbildern ist eines der Hauptanliegen bei der Beurteilung des Gebirges. Gefährdungsbilder beschreiben erkannte Gefahren, die beim Bau und bei der Nutzung eines Untertagebauwerkes entstehen können. Die Beurteilung des Gebirges dient zudem dem Zweck, die Projektvarianten zu identifizieren, die mit einem akzeptablen Mass an Gefahren einhergehen. Zudem beeinflussen Gefährdungsbilder die Wahl des Vortriebsverfahrens und der Sicherungsmassnahmen, wie zum Beispiel die Art der Bruststützung oder gegebenenfalls erforderliche Bauhilfsmassnahmen, die sich im Locker- und Festgestein massgeblich unterscheiden können.

Bei einer Vorgehensweise nach der Norm ist das wichtigste von einem Geologen erbrachte Leistung ein Profilschnitt des Gebirges entlang der Tunnelachse, ergänzt durch eine Beschreibung der Gebirgsverhältnisse. Je nachdem ob Locker- oder Festgesteine im Fokus der Aufmerksamkeit stehen, unterscheiden sich die zu beschreibenden Elemente. In beiden Fällen wird jedoch die Geometrie des Tunnels mit den entlang der Tunnelachse angetroffenen lithologischen Einheiten in Verbindung gebracht. Neben detaillierten Gesteinsbeschreibungen werden Trennflächen zwischen den geologischen Einheiten erfasst und gegebenenfalls strukturgeologische Störungszonen und Klüfte lokalisiert. Geotechnisch relevante Parameter von der Korngrössenverteilung über Scherfestigkeiten, den Elastizitätsmodule, das Quellpotenziell und viele weitere, werden aus Beobachtungen abgeleitet oder mit Hilfe von Feld- und Laborversuchen quantifiziert. Neben den Eigenschaften von Wechsellagerungen geologischer Abfolgen spielen deren Wasserdurchlässigkeit und potenzielle Interaktionen mit Grundwasservorkommen im Umfeld des Bauwerkes eine entscheidende Rolle. Wesentlich für die Realisierung von Untertagebauten ist der Schutz des Menschen beim Tunnelbau, zum Beispiel vor austretenden Gasen, natürlicher Radioaktivität oder angetroffenen Altlasten. Abbildung 33 illustriert wie entlang eines Tunnels der geologische Profilschnitt durch das Gebirge von den typischerweise tabellarisch gelisteten Beschreibungen der Gebirgsverhältnisse getrennt wird. Zur zielgerichteten Kommunikation gegenüber Entscheidungsträgern und Bauingenieuren werden die erarbeiteten Ergebnisse strukturiert und tabellarisch unter dem Profil dargestellt. Um dem Betrachter der Darstellung den Zugang zur gesuchten Information zu erleichtern wird zumeist nach Themen klassifiziert (Gesteinseigenschaften, Hydrogeologie, Ausbruchsklassen, Gefahren, etc.). Abbildung 34 zeigt exemplarisch einen Ausschnitt aus Abbildung 33 neben einer solchen Klassifizierung zur strukturierten Beschreibung der Gebirgsverhältnisse.

Informative Anhänge der Norm SN 531 199 (SIA 199) unterstützen bei der normenkonformen Aufnahme des Gebirges und dienen in der Praxis als Nachschlagewerk, z.B. für das zu verwendende Vokabular. Obwohl die Anhänge der Norm bereits weitreichend zur Standardisierung der geologischen Aufnahme beitragen ist jedes Tunnelprofil einzigartig. Ergänzungen können notwendig werden, um den Anforderungen eines Projektes zu genügen. In den meisten Fällen ist das nur mit der entsprechenden geologischen Expertise zu bewerkstelligen und trotz einem hohen Mass an Standardisierung wichtiger Basisinformationen verbleiben Freiheitsgrade bei der Ausgestaltung.



5.3.3.1 Ausbruchsklassen

Gemäss der Norm SN 531 199 (SIA 199) werden mit Hinblick auf die ökologische und wirtschaftliche Verwertung des Ausbruchsmaterials vier Materialklassen unterschieden. Unterschieden werden, in drei Abstufungen, als Rohstoff geeignete Klassen (1 – 3) und wirtschaftlich nicht verwertbare und gegebenenfalls sogar verschmutzte Materialien (Klasse 4). Damit handelt es sich um eine qualitative Klassifikation zur deskriptiven Erfassung der Verwertbarkeit des Ausbruchsmaterials. Der Mengenanteil, der jeder Ausbruchklasse zukommt, wird bestimmt und den Abtransport und gegebenenfalls die Deponierung verschmutzter Materialien planen zu können.

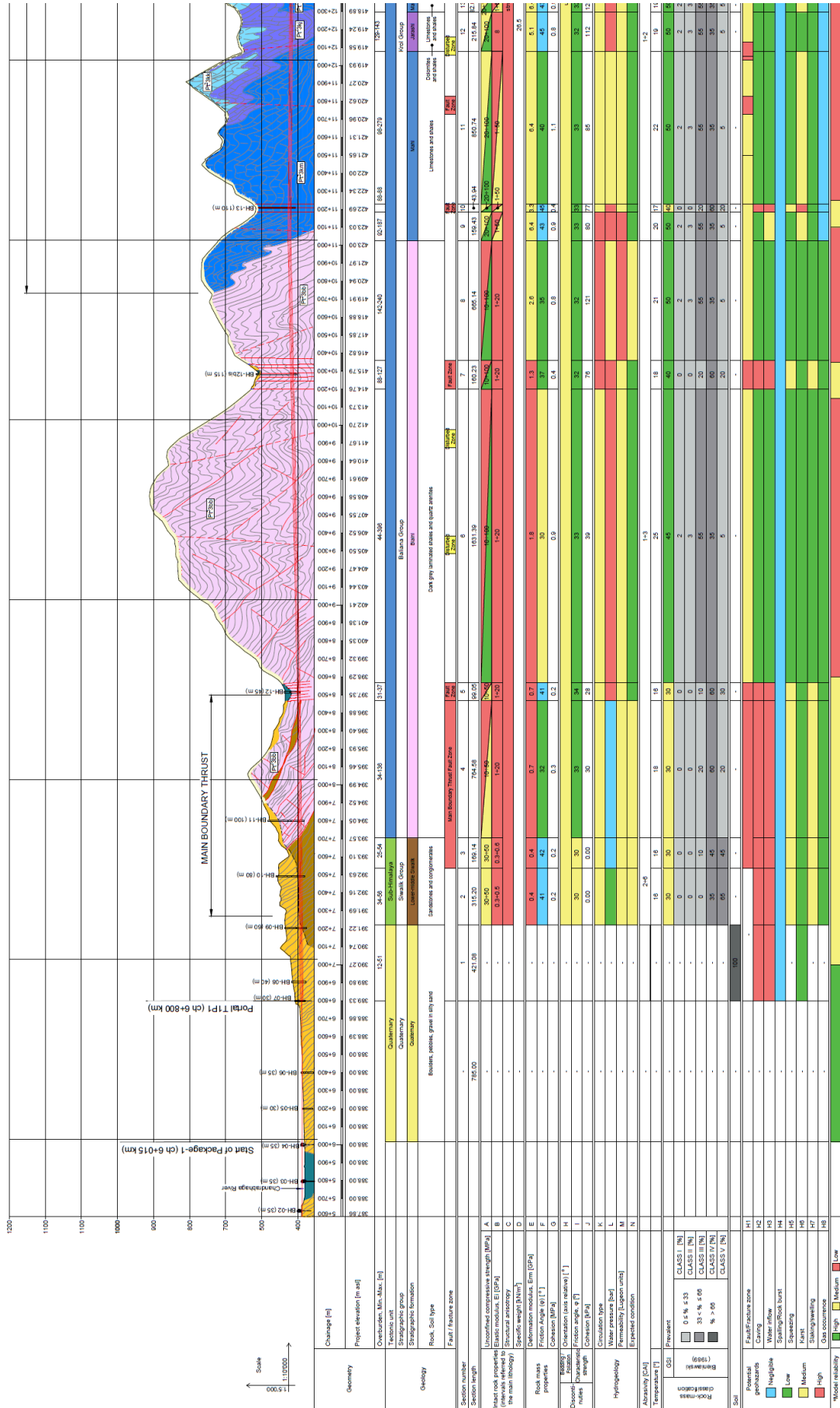


Abbildung 33. Aufnahme des Gebirges im Tunnelbau nach SN 531 199 (SIA 199). das Profil dient als Beispiel und eignet sich nicht für konstruktive Zwecke. Fortsetzung auf der nächsten Seite.



QUATERNARY COVER

- Recent deposits (containing) and on the chemical alteration of the substrate
- Recent deposits (containing) and on the chemical alteration of the substrate
- Recent deposits (containing) and on the chemical alteration of the substrate
- Recent deposits (containing) and on the chemical alteration of the substrate
- Recent deposits (containing) and on the chemical alteration of the substrate

SUB-HIMALAYA

- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)

OUTER LESSER HIMALAYA

- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)

Inner Himalaya

- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)

Lesser Himalaya

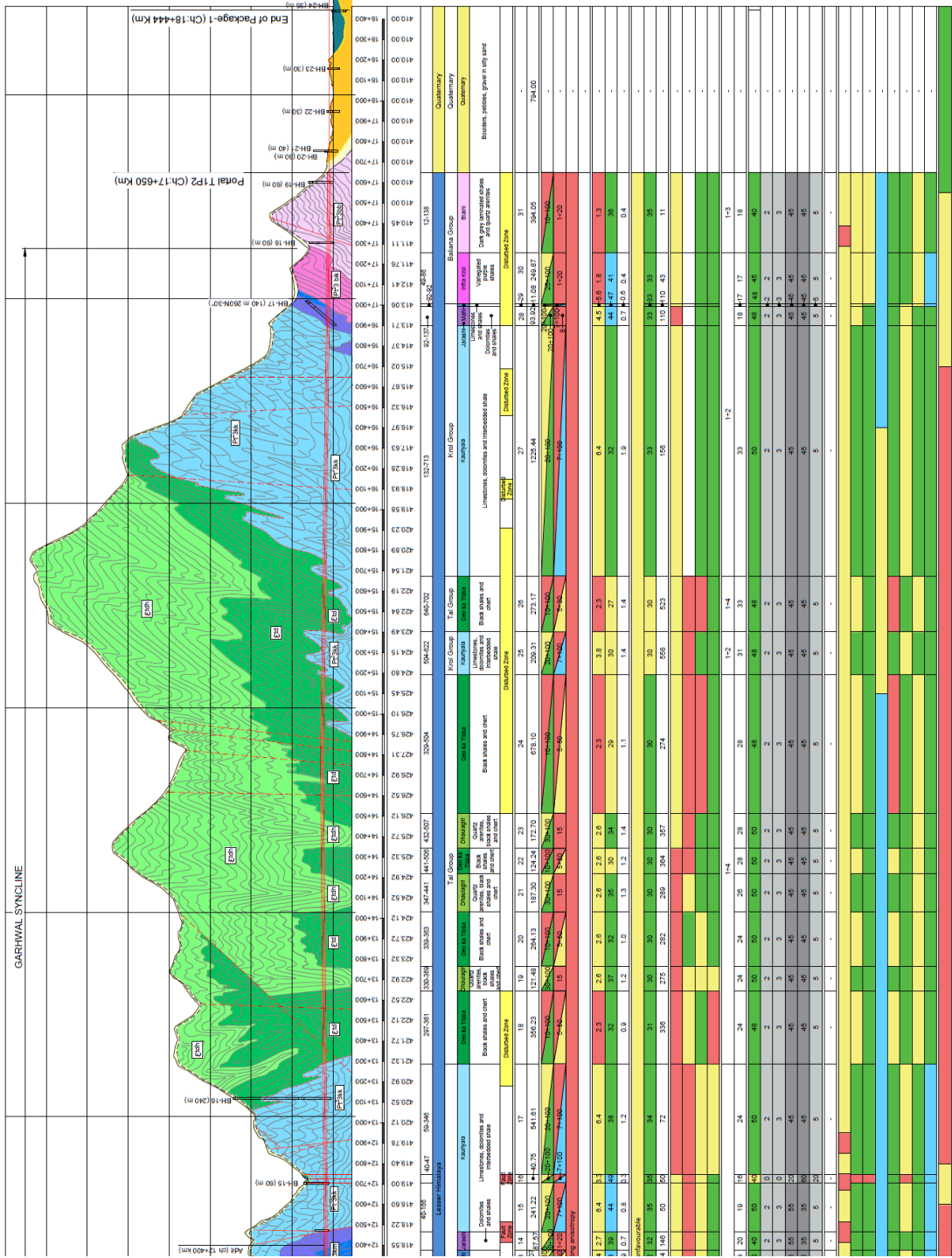
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)

Lesser Himalaya

- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)
- Swak Group (Miocene to Pliocene)

Geological model reliability

- 1 Once the presence of formation and/or structures as their position along the strike and dip is confirmed by geodesy, data and observations
- 2 Once the presence of formation, structures and/or structures are confirmed by geodesy, data and observations
- 3 Once the presence of formation and/or structures as their position along the strike and dip is confirmed by geodesy, data and observations



Fortsetzung von Abbildung 5.3.3-A auf der vorherigen Seite.



		Chainage [m]	12+100	12+200	12+300	12+400	12+500	12+600	12+700	12+800	12+900	13+000	13+100	13+200
Geometry	Project elevation [m asl]		419.58	419.24	418.89	418.55	418.22	418.60	419.00	419.40	419.78	420.12	420.52	420.92
	Overburden, Min.-Max. [m]		129-143				40-166			40-47		59-346		
	Tectonic unit		Lesser Himalaya											
Geology	Stratigraphic group		Krol Group											
	Stratigraphic formation		Jarashi		Mahi	Jarash	Kauriyala							
	Rock, Soil type		Limestones and shales			Dolomites and shales	Limestones, dolomites and interbedded shale							
	Fault / fracture zone		Disturbed Zone			Fault Zone		Fault Zone						
Section number		12	13	14	15	16	17							
Section length		215.84	82.07	87.57	241.22	40.75	541.61							
Intact rock properties (intervals referred to the main lithology)	Unconfined compressive strength [MPa]	A	20+100		20+100	20+100	20+100	20+100	20+100	20+100	20+100	20+100	20+100	20+100
	Elastic modulus, Ei [GPa]	B	8	1+50	1+20	7+100	7+100	7+100	7+100	7+100	7+100	7+100	7+100	7+100
	Structural anisotropy	C	strong anisotropy											
	Specific weight [kN/m³]	D	26.5											
Rock mass properties	Deformation modulus, Erm [GPa]	E	5.1	6.4	2.7	6.4	3.3	6.4						
	Friction Angle (φ) [°]	F	45	43	39	44	49	38						
	Cohesion [MPa]	G	0.8	0.9	0.7	0.8	0.3	1.2						
Discontinuities	Bedding / Foliation	H	unfavourable											
	Orientation (axis relative) [°]	I	32	32	32	35	35	34						
	Friction angle, φ [°]	J	112	124	146	50	50	72						
Hydrogeology	Circulation type	K												
	Water pressure [bar]	L												
	Permeability [Lugeon units]	M												
	Expected condition	N												
Abrasivity [CAI]		1+2												
Temperature [°]		19	19	20	19	16	24							
Rock-mass classification	GSI	Prevalent	50		50	40	50	40	50					
	Bieniawski (1989)	0 ≤ % ≤ 33	CLASS I [%]	2	2	2	2	0	2					
		33 < % ≤ 66	CLASS II [%]	3	3	3	3	0	3					
			CLASS III [%]	55	55	55	55	20	45					
		% > 66	CLASS IV [%]	35	35	35	35	60	45					
			CLASS V [%]	5	5	5	5	20	5					
Soil		-	-	-	-	-	-							
Potential geohazards	Fault/Fracture zone	H1												
	Caving	H2												
	Negligible	H3												
	Water inflow	H3												
	Low	H4												
	Spalling/Rock burst	H4												
	Medium	H5												
	Squeezing	H5												
High	Karst	H6												
	Slaking/swelling	H7												
	Gas occurrence	H8												
	*Model reliability													

Abbildung 34. Strukturierte Beschreibung der Gebirgsverhältnisse (Ausschnitt aus Abbildung 33).

5.3.3.2 Klassifikation von Gesteinseinheiten

In der Praxis kommen zusätzlich zu den qualitativen Ansätzen, wie den Ausbruchsklassen (Abschnitt 5.3.3.1), noch quantitative Methoden zur Klassifikation von Gesteinseinheiten zum Einsatz. Beispiele für quantitative Methoden sind das 'Rock Mass Rating' (RMR) nach Bieniawski (1989) oder die 'Rock Mass Quality' (RMQ) nach Barton et al. (1974). Beide Systeme versuchen die Qualität des Gesteins mit Hinblick auf dessen Stabilität zu bewerten und in einem Kennwert zusammenzufassen. RMR berücksichtigt einaxiale Druckfestigkeiten oder Punktlastindizes zur Bestimmung der Gesteinsfestigkeit. Neben dem Faktor Wasser berücksichtigt der Kennwert aber auch den Zustand, Abstand und die Orientierung von Klüften. Die RMQ-Kennzahl, oder kurz der Q-Wert, berechnet sich aus dem Grad der Klüftung, der Scherfestigkeit und dem Gebirgsdruck. Der von Deere 1967 vorgeschlagene Kennwert 'Rock Quality Designation – RQD' (Deere and Deere, 1988) fliesst in beide Klassifikationen (RMR und RMQ) ein. Neben den quantitativen Ansätzen kommen International aber auch qualitative Klassifikationen wie der 'Geological Strength Index' (GSI) nach Hoek and Brown (1997) zum Einsatz. Für die Abschätzung der Mengenanteile, die einer Ausbruchsklasse zukommen (vergleiche mit Abschnitt 5.3.3.1) liefern die in diesem Abschnitt vorgestellten Klassifikationen wichtige Grundlagedaten. Zum Teil werden qualitative Beschreibungen also aus quantitativen Ausgangsdaten abgeleitet.

5.3.3.3 Gefährdungsbilder

Gefährdungsbilder dienen dem Zweck potenzielle Gefahren für Menschen und Bauwerke frühzeitig zu erkennen. Sie bilden eine wichtige Grundlage bei der Planung von Massnahmen gegen unvermeidbare Gefahren. Das Ausmass und Zusammenspiel verschiedener Gefahren ist für jedes Tunnelbauprojekt einzigartig und entsprechend vielfältig sind die Herangehensweisen zur Erarbeitung von Gefährdungsbildern. Die Norm SN 531 199 (SIA 199) empfiehlt die Einstufung von Gefährdungen nach Gefahrenstufen, die auf der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses beruhen. Abbildung 35 hebt die aus den Gesteinseigenschaften abgeleiteten Gefahrenstufen farblich hervor. Um kritische Gesteinseinheiten farblich hervorheben zu können wurde eine Klassifizierung nach Wertebereiche vorgenommen (Abbildung 35).

			1	2	3	4	
Intact Rock Properties (Intervals Referred to the Main Lithology)	A	Unconfined Compressive Strength [MPa]	MPa	Very high, > 100	Medium, 50 - 100	Low, 10 - 50	Very low, < 10
	B	Deformation Modulus (Ei) [GPa]	Gpa	Very high, > 75	High, 50 - 75	Medium, 25 - 50	Low, < 25
	C	Structure Anisotropy	-	Massive (isotropic)	Low Anisotropy	Medium Anisotropy	Strong Anisotropy
	D	Specific Weight [kN/m ³]	kN/m ³				
Rock Mass Properties	E	Deformation Modulus (Em) [GPa]	Gpa	High, > 25	Medium, 10 - 25	Low, 2 - 10	Very low, < 2
	F	Friction Angle (φ) [°]	-	High, > 40	Medium, 30 - 40	Low, 20 - 30	Very low, < 20
	G	Cohesion [MPa]	MPa	High, > 2	Medium, 0.2 - 2	Low, 0.02 - 0.2	Very low, < 0.02
Discontinuities	H	Bedding / Schistosity Orientation (axis relative) [°]	-	Very favourable	Favourable	Unfavourable	Very Unfavourable
	I	Characteristic Strength Friction Angle (φ) [°]	-	High, > 40	Medium, 30 - 40	Low, 20 - 30	Very low, < 20
Hydrogeology	J	Cohesion [kPa]	MPa	High, > 2	Medium, 0.2 - 2	Low, 0.02 - 0.2	Very low, < 0.02
	K	Circular Type	-	none	Pores	Fractures	Karst
	L	Water Pressure [bar]	Bar	Low, < 1	Medium, 1 - 5	High, 5 - 10	Very high, > 10
	M	Permeability (Lugeon) [L/m/min]	L/m/min	Very Low, < 1	Low, 1 - 5	Medium, 5 - 20	High, > 20
	N	Condition	-	Dry	Dripping a few small spring	Frequent smaller some large springs	Frequent larger springs large water flow

Abbildung 35. Aus Gesteinseigenschaften abgeleitete Gefährdungen nach SN 531 199 (SIA 199).

Zur Kommunikation von Gefahrenbildern gehört auch die Darstellung potenzieller Gefahren entlang der Tunnelachse. Die untersten Zeilen von Abbildung 34 illustrieren die Gefahren für Mensch und Bauwerk, erneut nach farblich hervorgehobenen Klassen. Es handelt sich um Einschätzungen die auf einer Vielzahl von Beobachtungen, den Ergebnissen von Feld- und Laboruntersuchungen, geologischen Modellen, Literaturstudien und Erfahrung beruhen. Für die Kommunikation der zugrundeliegenden Überlegungen sind ergänzende geologischen Berichte ein unerlässliches Hilfsmittel.

6 Unsicherheiten

6.1 Definition

Unsicherheiten entstehen bei der Vorhersage von zukünftigen Ereignissen oder wenn die Ergebnisse von Analysen und Messungen auf unbekanntem oder unvollständigen Informationen beruhen. Besonders in vom Zufall abhängigen Systemen (Stochastik) oder in Systemen, die nur unvollständig beobachtet werden können, sind Unsicherheiten unvermeidbar. Wann immer der Mensch mit komplexen Systemen und Methodiken zu tun hat, können durch Unwissenheit, Nachlässigkeit oder Kombinationen aus beiden zusätzliche Unsicherheiten entstehen. Ein Nutzen lässt sich generieren, indem aus der Gesamtheit aller Unsicherheiten die Projektrisiken abgeleitet werden (Abschnitt 6.2).

Physikalische Einzelmessungen sind oft gut reproduzierbar und können eine hohe Präzision erreichen. Unter präzise reproduzierten Einzelmessungen versteht man Resultate mit geringer Streuung, das heisst ähnlichen Ergebniswerten. Präzise Ergebnisse sind aber nicht zwangsläufig auch genau. Dutzendfach reproduzierte Ergebniswerte können trotzdem systematisch falsch sein, hier gilt es Messunsicherheiten von gesamthaften Abschätzungen der Unsicherheit zu unterscheiden. Letztere können viele weitere Faktoren berücksichtigen. Beispiele sind die Fortpflanzung von Fehlern über viele einzelne Arbeitsschritte oder die Berücksichtigung von menschlichen Fehlern im Umgang mit komplexen Methoden (vergleiche mit Abschnitt 6.3).

Die Geologie versucht, mit Hilfe physikalischer Daten und Beobachtungen, die Beschaffenheit des Untergrundes vorherzusagen. Unsicherheiten sind ein wichtiger Bestandteil jeder physikalischen Messung, jeder Beschreibung oder Berechnung. Der Umgang mit Unsicherheiten gehört deshalb für die meisten Geologen zum alltäglichen Handwerkzeug. Die Kommunikation von Unsicherheiten gilt gemeinhin als eine Selbstverständlichkeit (Abschnitt 6.4).

6.2 Unsicherheiten als Risikoindikatoren

Es gibt einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen der Qualität von Risikoabschätzungen und den quantifizierten Unsicherheiten in einem Projekt. Als mit einem Risiko behaftet bezeichnet man Unternehmungen, die mit einem Wagnis verbunden sind, das heisst der Ausgang ist unklar und es kann zu negativen Ergebnissen, unerwünschten Wirkungen oder erheblichen Verlusten kommen. Risikoabschätzungen unterscheiden sich von der Angabe der Unsicherheit durch die Abschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten und Schadensausmass, die dabei helfen sollen zu entscheiden, ob ein Risiko tragbar ist oder nicht. Je genauer die mit einem Vorhaben verbundenen Unsicherheiten bekannt sind, desto besser können Risiken und die potenziell damit einhergehenden Verluste vermieden werden. Die konsequente Anwendung der BIM-Methode eröffnet viele neue Möglichkeiten geologische Unsicherheiten über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerkes hinweg stärker zu berücksichtigen – von der Planung über die Realisierung bis in die Betriebsphase.

6.3 Ursachen und der Umgang mit Unsicherheiten

Unsicherheiten sind mit allen Bereichen geologischer Daten und Informationen assoziiert und können für jeden angewandten Fachbereich der Geologie unterschiedlich sein (Abschnitt 2.1.2). Auch wenn man geologische Daten und Informationen nach Prozess- und Interpretationsgrad (Abschnitt 4.2.2) betrachtet, ist eine Einteilung der Unsicherheiten nach dieser Klassifikation möglich. Die mit Messwerten assoziierte Unsicherheit ist dabei oft quantifizierbar, wohingegen die Unsicherheiten von Interpretationen tendenziell eher qualitativ beschrieben werden. Auch die Klassifizierung nach der Art der Datenerfassung und der Repräsentation der Ergebnisse spielt eine wichtige Rolle (Abschnitt 4.2.3). Was diese zuletzt genannte Klassifikation zusätzlich erschwert, ist die Tatsache, dass einzelne Handgriffe der Datenverarbeitung und jede bewusste Entscheidung im Prozess der geologischen Modellierung die resultierende Unsicherheit signifikant beeinflussen kann. Anhand einiger aus einem Workflow ausgewählter Arbeitsschritte können wir anhand von Beispielen die damit verbundenen Unsicherheiten beleuchten. Viele physikalische Messmethoden, die für die Datenerfassung verwendet werden, enthalten Informationen über die Präzision der Messung, also die Streuung um einen Mittelwert. Alternativ werden Bandbreiten auch über Minimal- und Maximalwerte angegeben oder die Ergebnisse in Form einer mathematischen Verteilung beschrieben. Die Unsicherheiten, die mit anderen Daten assoziiert sind, sind typischerweise schwerer

zu quantifizieren. Bei Bohrungen sind diese zum Beispiel stark von der Bohrmethode abhängig und werden vom Geologen oftmals nur qualitativ beurteilt.

Jeder Arbeitsschritt von der geologischen Aufnahme, über Messungen bis hin zum Umgang mit den gesammelten Daten und Informationen kann mit Unsicherheiten behaftet sein. Dabei ist es hilfreich sich bewusst zu machen, welche Einzelschritte bei der Erzeugung von Informationen und Wissen durchlaufen werden. Abbildung 36 liefert einen Überblick über die Unsicherheiten die potenziell mit der geologischen Arbeitsweise verbunden sein können. Der hier vorgestellte Arbeitsablauf erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, soll aber beispielhaft aufzeigen, welche Schritte von der initialen Beobachtung bis zum fertigen 3D-Modell mit welcher Art von Unsicherheit behaftet sein können. Generell gilt, dass jeder Schritt des verallgemeinerten Arbeitsablaufes mit Unsicherheiten assoziiert sein kann.

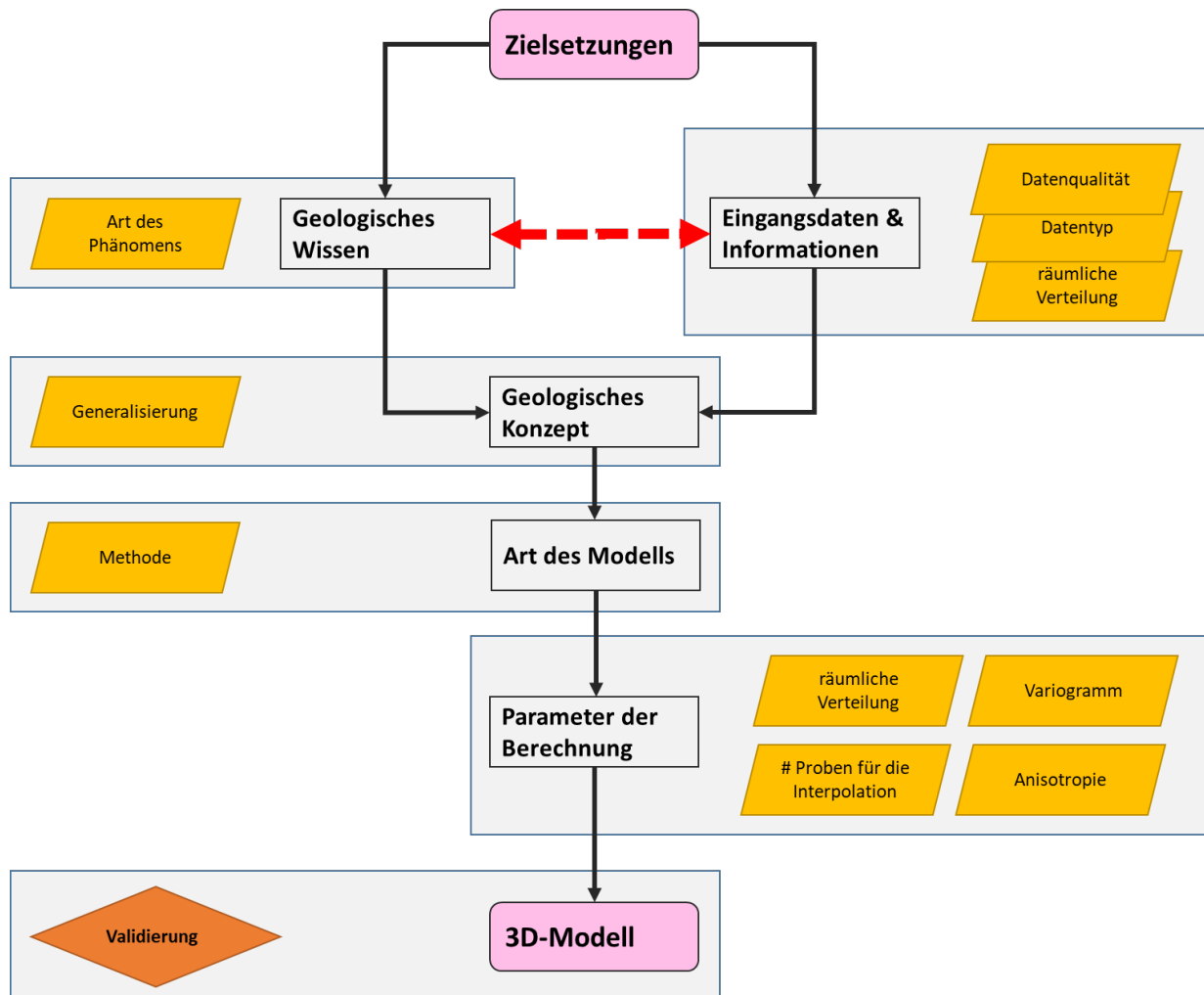


Abbildung 36. Allgemeiner Arbeitsablauf bei der Erstellung von 3D-Modellen. Farbige Parallelegramme zeigen Unsicherheitsquellen bei jedem Arbeitsschritt auf. Der rote Pfeil zwischen "Geologisches Wissen" und "Eingabedaten & Informationen" markiert eine der wichtigsten Wechselwirkungen im allgemeinen Arbeitsablauf (Blaha, 2019). Obwohl diese Illustration für den Arbeitsablauf bei der 3D-Modellierung von GeoQuat-Modellen gedacht ist, soll sie beispielhaft geologischen Arbeitsschritten mit assoziierten Unsicherheiten veranschaulichen.

6.3.1 Zielsetzungen, Geologisches Wissen, Daten und Konzept

Wie in Abbildung 36 dargestellt, besteht eine enge Beziehung zwischen dem Zweck des Modells, dem vorhandenen Wissen und den Eingabedaten. Aus dieser Kombination ergibt sich ein geologisches Konzept dessen, was man modellieren will, wo das geologische Wissen durch die vorliegenden Daten beeinflusst wird und umgekehrt geologisches Wissen als Eingangsinformation dienen kann. Geologisches Wissen zum Beispiel hat als Unsicherheitsfaktor die Komplexität der Phänomene, die man

zu beschreiben versucht. Bei Eingabedaten spielen Datenalter, Datentyp, räumliche Verteilung der Daten eine Rolle, aber auch die reine Klassifikation von Rohdaten kann bereits eine Ursache für Unsicherheiten sein, da es sich bei Klassifikationen unweigerlich um einen Abstraktionsprozess handelt. Wird nach anerkannten Normen und Standards gearbeitet, ist wenigstens die Durchführung der Methode auf verschiedenartige Proben vergleichbar. Dadurch entsteht – zu einem gewissen Grad – eine quantifizierbare Unsicherheit. Die Interpretation der Ergebnisse zählt sicher zu den grösseren Ursachen für Unsicherheiten, die stark vom studierten Phänomen, der Verfügbarkeit und Verteilung von Informationen und dem geologischen Wissen (Präferenz) des Experten abhängt. Interpretationen spielen eine wesentliche Rolle im geologischen Konzept, dass von Beginn an mitbestimmt aus welchem Blickwinkel die geologische Situation vor Ort oder im Modell beurteilt wird. Eine ausführliche Beschreibung der Unsicherheiten bei Eingangsdaten findet man in Datenmodell Geologie (swisstopo, 2017).

6.3.2 Unsicherheiten geologischer Modelle und Methoden

In Kapitel 5 wurden verschiedene Modellierungsmethoden beschrieben. Im Gegensatz zur impliziten oder automatisierten Modellierung können Modelle, die auf einer expliziten oder manuellen Methode basieren, nicht direkt mathematisch ermittelte Unsicherheitswerte enthalten (swisstopo, 2017). Sobald Rechenverfahren zum Einsatz kommen, können Unsicherheiten auf unterschiedliche Art und Weise angegeben (Standardabweichung, Varianzen, etc.) werden. Jeder der angewendeten Berechnungsmethoden ist jedoch an Parameter gebunden, die ihrerseits so definiert werden müssen, dass sie das geologische Konzept am besten beschreiben. Im Gegensatz zu den Eingangsdaten gibt es für die Ermittlung von Unsicherheiten bei mathematischen Modellen sehr viel Dokumentation (Tacher et al., 2006; Wellmann and Caumon, 2018).

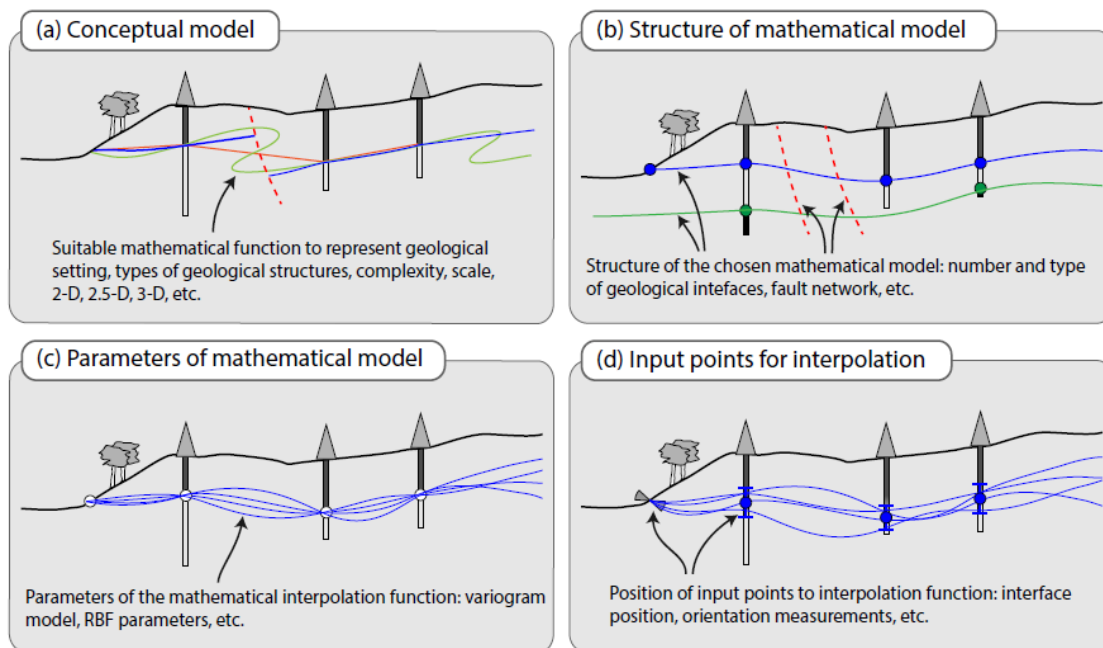


Abbildung 37. Illustration verschiedener Quellen von Unsicherheiten nach (Wellmann and Caumon, 2018). Die Abbildung zeigt anschaulich die Konsequenzen der Variabilität, die durch die Unsicherheit an verschiedenen Unsicherheitsquellen während eines Teils des Modellierungsprozesses verursacht werden. a) Das konzeptuelle Modell hat einen grossen Einfluss darauf, welche Methode zur Modellierung gewählt wird, sowie auf das resultierende Modell. Dieser Schritt hängt stark von geologischem Wissen sowie der Präferenz des geologischen Experten ab. b) Die Wahl der Methode oder des mathematischen Modells trägt weiter zur Unsicherheit bei. c) ebenso wie die Wahl der Parameter innerhalb des mathematischen Modells. d) und schließlich die Genauigkeit/Position der zur Erstellung des Modells verwendeten Eingabe. Die Unsicherheiten des eigenen Inputs stehen natürlich in engem Zusammenhang mit den Unsicherheiten der Inputdaten und -informationen aus Abbildung 36.

Abhängig von den in Abschnitt 6.3 beschriebenen Arbeitsschritten unterscheiden sich die mit den Prozessen assoziierten Unsicherheiten deutlich in Ihrem Charakter. Es gibt keine allgemeingültige Klassifikation solcher Unsicherheiten. Abbildung 37 beschreibt beispielhaft den Charakter von Unsicherheiten die mit konzeptuellen Modellen (a), der Struktur von mathematischen Modellen (b), den

Parametern von mathematischen Modellen (c) und mit den Eingabedaten für Interpolationen (d) einhergehen.

6.3.3 Validierung von Modellergebnissen

Muss eine Vielzahl von Annahmen getroffen werden, um die nötigen Eingabeparameter abzuschätzen, bedient man sich gerne Methoden zur Validierung von Modellen. Dabei wird die Gesamtheit aller oder nur ausgewählter Parameter systematisch variiert. Anhand einer unabhängigen Variablen oder Funktion, meistens einer Kostenfunktion, wird berechnet, wie weit das Modell bei welcher Konstellation von Parametern von der beobachteten oder gemessenen Situation abweicht. Die mathematischen Verfahren hinter dieser Optimierung minimieren oft nur die Ergebnisse der Kostenfunktion und leiten daraus einen geeigneten Satz von Parametern ab. Die mathematische Lösung dieses Problems kann zu physikalisch unsinnigen Werten einzelner Parameter führen und für die Definition realistischer Rahmenbedingungen braucht es zwingend den Sachverstand eines Experten. Zudem kann auch der Vergleich mehrerer Modellrealisierungen zum Verständnis und zur Quantifizierung von Unsicherheit beitragen (Abbildung 38).

Bei der Validierung von Modellen handelt es sich um einen Ansatz zur Bewertung der Ergebnis- oder Modellqualität. Dabei steht die Validierung in engem Zusammenhang mit der Unsicherheit, indem das Modell mit den Rohdaten und frei definierten Rahmenbedingungen verglichen wird. Zum Einsatz kommen visuelle Prüfungen, Kreuzvalidierungen, Restraktionstechniken, Deformationsanalysen, Mächtigkeitenkartenberechnungen, Prognosen und viele weitere Ansätze. Schlüsselresultate von Validierungen sind ein besseres Verständnis der Unsicherheiten als Ganzes oder einzelner Regionen eines Modelles. Die Methodik kann auch Anhaltspunkte für die Ursprünge von Unsicherheiten liefern, die die Gesamtqualität eines Modelles am meisten beeinträchtigen. Damit trägt die Validierung von Modellen massgeblich zum Identifizieren von Schwächen in der Datenerfassung, -verarbeitung oder der Analyseverfahren bei.

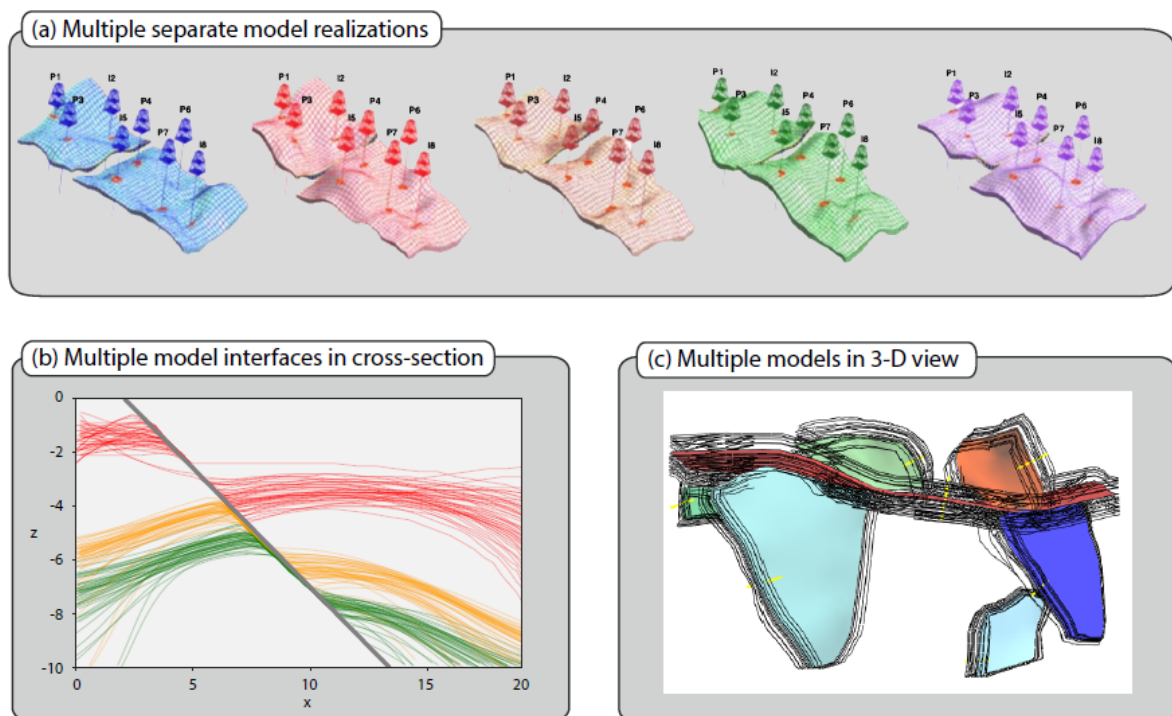


Abbildung 38. Visuelle Darstellung von verschiedenen Modellrealisierungen nach (Wellmann and Caumon, 2018). Die Visualisierung mehrerer Realisierungen kann dem Betrachter helfen, die Variabilität der geologischen Prognosen direkt zu verstehen. Dies ist eine Möglichkeit Unsicherheit zu visualisieren. a) zeigt mehrere Modellrealisierungen als separate Abbildungen, b) zeigt mehrere Realisierungen einer 3D-Oberfläche in der Querschnittsansicht c) oder alternativ mehrere Realisierungen verschiedener Oberflächen direkt in einer 3D-Darstellung.

6.3.4 Prozessübergreifende Fehlerfortpflanzung

Die Fortpflanzung von Unsicherheiten über die einzelnen Arbeitsschritte von der Datenerfassung bis zur Modellierung kann herangezogen werden, um die Unsicherheit eines frühen Arbeitsschrittes bis in das Endergebnis einer Studie zu tragen. Die Abschätzung der Unsicherheit des gesamten Arbeitsablaufes integriert dann alle zuvor quantifizierten Unsicherheiten. Dabei kann es sich schwierig gestalten einen singulären Wert zu finden, um die gesamtheitliche Unsicherheit zu beschreiben. Die Komplexität, die Gewichtung der Einzelwerte und die abhängige Ausbreitung von Unsicherheiten muss zuvor gründlich verstanden werden, um keine bedeutungslose Zahl zu erzeugen. An dieser Stelle ist die geologische wie auch statistische Expertise gleichermaßen gefragt (Abbildung 39).

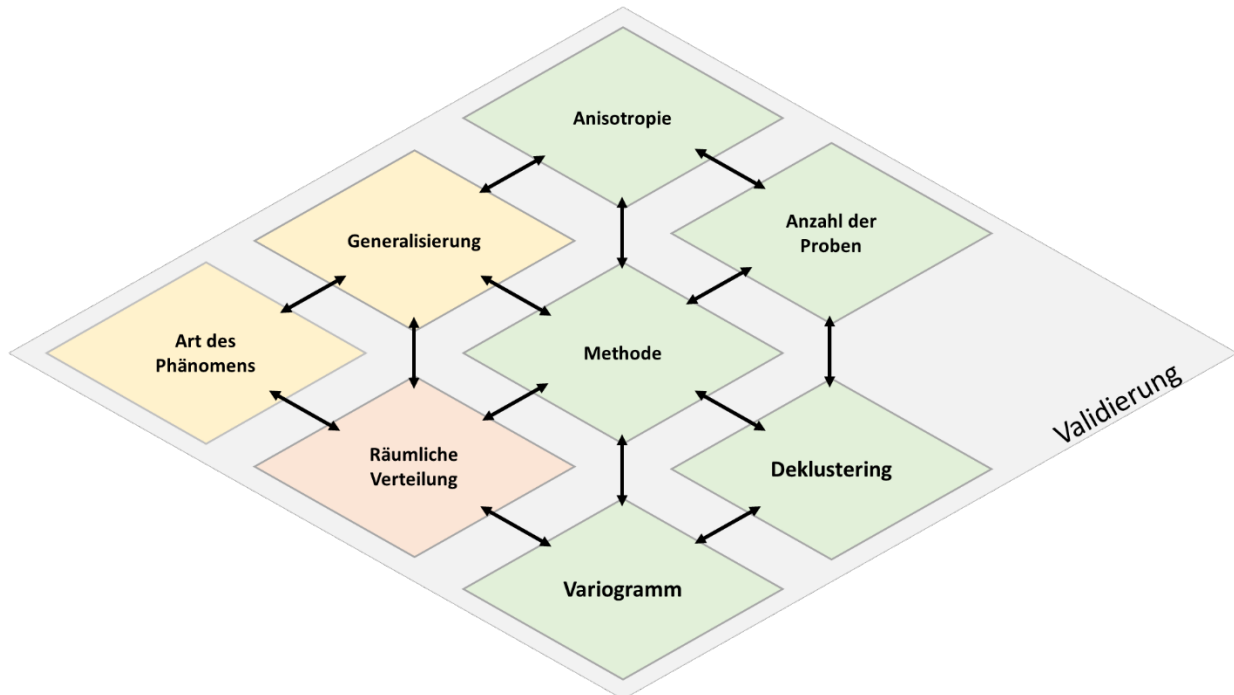


Abbildung 39. Schematischer Überblick über die Quellen der Unsicherheit nach (Blaha, 2019). Die Pfeile zeigen die Interaktion zwischen allen Unsicherheitsquellen an und veranschaulichen die Komplexität der Fehlerfortpflanzung. Die Validierung wird hier als übergreifende Methode zur Identifizierung und Schätzung von Unsicherheiten und deren Wechselwirkungen gesehen.

6.4 Visualisierung und Kommunikation

Unsicherheiten sind ein überaus komplexes Thema und geologische Daten, Methoden und die von Geologen erbrachten Leistungen sind vielgestaltig. Unabhängig von der Komplexität hinter diesem Thema ist es essenziell die Unsicherheiten bei der Anwendung der digitaler Bauwerksmodelle gleichermaßen darstellen zu können wie in geologischen 3D-Modellen.

6.4.1 Gestrichelte Linien und Fragezeichen

Stehen komplexe Systeme wie der geologische Untergrund im Fokus der Aufmerksamkeit ist es im Regelfall nötig mehr als nur die Reproduzierbarkeit von Einzelmessungen anzugeben. Die Ansätze zur Kommunikation von Unsicherheiten können sich in der Praxis deutlich voneinander unterscheiden. Zum Beispiel kommen in geologischen Karten und Profilschnitten Fragezeichen zum Einsatz, um Bereiche hervorzuheben, die mit einer vermeintlich hohen Unsicherheit assoziiert sind. Dabei ist es besonders wichtig zu erkennen, dass die Toleranzen und Unsicherheiten von menschengemachten Bauteilen eines Bauwerkes um Größenordnungen geringer sein können, als jene die typischerweise mit Naturbeobachtungen einhergehen. Mit anderen Worten, die Skala der Präzision im Bausektor unterscheidet sich massgeblich von jener der Geologie. Wird zum Beispiel für ein lithostratigraphisches Modell zwischen Messungen und Beobachtungen interpoliert, sind Unsicherheiten im Meter- bis Dekameterbereich keine Seltenheit. Dennoch, oder gerade deshalb, sind geologische Unsicherheiten für den Bausektor von großer Bedeutung.

Anhand der präsentierten Resultate geologischer Studien und Modelle ist derzeit nur schwer abzuschätzen, inwieweit die in Abschnitt 6.3 beschriebenen Ursachen für Unsicherheiten heute bereits

berücksichtigt werden. Gerade weil die Methoden und Herangehensweisen zur Quantifizierung von Unsicherheiten sehr unterschiedlich sein können, ist der direkte Vergleich oft nicht möglich.

Während bei Messwerten Mittelwerte, Konfidenzintervalle, Bandbreiten und Varianzen einen Eindruck der Unsicherheit vermitteln, gestaltet sich die Berücksichtigung qualitativer Einschätzungen eines Geologen deutlich komplexer.

In der Praxis kommen in den abgegebenen Ergebnissen gestrichelte Linien, Fragezeichen, Transparenzen oder andere Symboliken zur Kennzeichnung von Unsicherheiten besonders häufig zum Einsatz. Auch die Darstellung der Eingabedaten («data coverage maps») in Kombination mit dem interpretierten Produkt ist ein üblicher Weg, um Unsicherheiten zu illustrieren (siehe Abbildung 40), Darüber hinaus ist der geologische Bericht selbstverständlich auch heute noch ein unerlässliches Hilfsmittel, um Unsicherheiten zu dokumentieren und ausdrücklich auf Gefahren und Risiken aufmerksam zu machen.

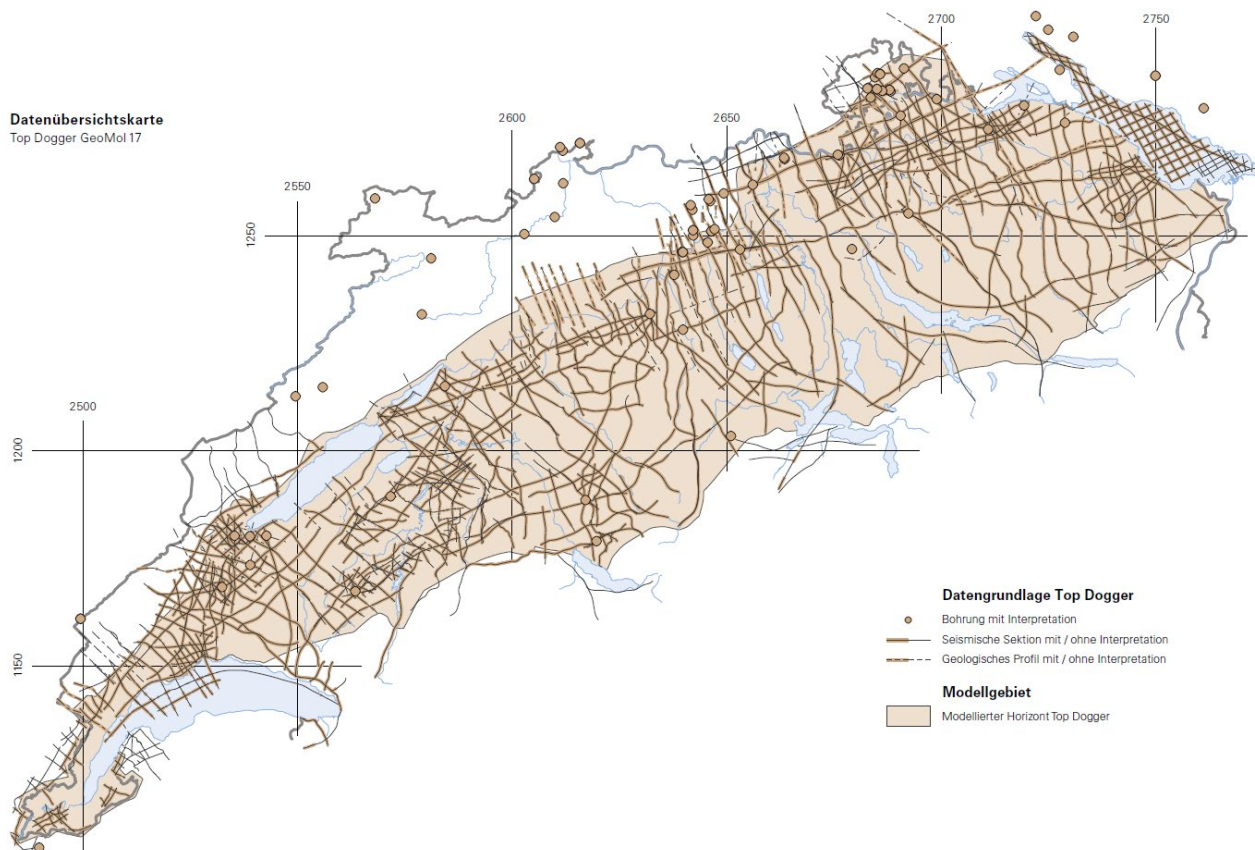


Abbildung 40. Visualisierung von Unsicherheiten über die Datenabdeckung (Landesgeologie, 2017b). Hier kann die Entfernung des modellierten Objekts von den Eingabedaten als direkter visueller Indikator für die Unsicherheit angesehen werden, wobei eine große Entfernung eine größere Unsicherheit impliziert als eine kurze Entfernung.

6.4.2 Verteilungen, Indizes und Entropien

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.

Alternativ können Ergebniswerten auch ganze Wahrscheinlichkeitsverteilungen zugeordnet werden. Bei diesem Ansatz handelt es sich um eine Erweiterung des Konzeptes des Vertrauensintervalls. Ein Vertrauensintervall kommuniziert lediglich die Wahrscheinlichkeit, mit der normalverteilte Zufallswerte in ein bestimmtes Intervall fallen. Alternativ kann auch die Wahrscheinlichkeitsverteilung aus zahlreichen Simulationen abgeleitet werden und mit den Daten gespeichert werden. Vorteil dieser Methode ist die

Möglichkeiten, pro Parameter und unter Berücksichtigung verschiedener mathematischer Beschreibungen, die Wahrscheinlichkeitsverteilung erneut berechnen zu können.

Unsicherheitsindizes und Näherungen der Entropie sind weitere Methoden, die zum Einsatz kommen können und komplexe Unsicherheiten in einem Wert zusammenzuführen. Beide Konzepte können für jeden Ort im dreidimensionalen Raum einen numerischen Wert zur Darstellung von Unsicherheiten liefern. Damit ist es möglich, Modellunsicherheiten über Farbgradienten räumlich zu visualisieren. Der Unsicherheitsindex liefert einen Wert, der es ermöglicht, Sätze von Schätzungen nach ihrer Zuverlässigkeit zu vergleichen. Der absolute Wert dieses Index ist irrelevant, er dient lediglich dem Zweck, verschiedene Bereiche eines Modells miteinander vergleichen zu können. Derartige Berechnungen der Entropie auf Grundlage von Wahrscheinlichkeiten stellen ein Mass für die Gleichförmigkeit eines Systems dar und sind in allen Bereichen der Modellierung weit verbreitet und nicht auf die Geologie beschränkt.

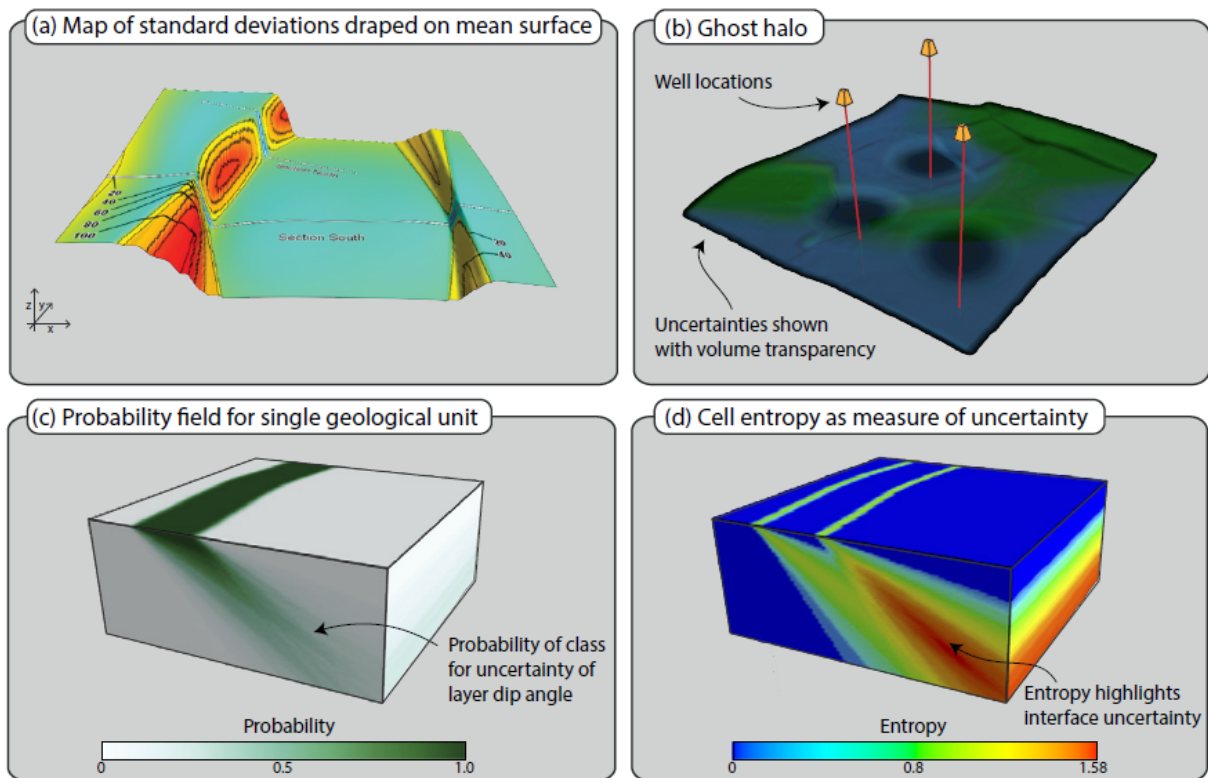


Abbildung 41. Verschiedene Arten der Visualisierung von Unsicherheit nach (Wellmann and Caumon, 2018). Welche Visualisierungstechnik man verwenden kann, hängt stark von der gewählten Modellierungsmethode ab. a) Farbcodierung der Unsicherheit der Oberfläche auf der Basis der Standardabweichung. b) Volumentransparenz in Abhängigkeit vom Abstand zum Brunnen als Indikator der Unsicherheit. Das Prinzip ist hier ähnlich wie bei der 2D-Datenabdeckungskarte in Abbildung 40. c) Darstellung der Unsicherheit über die Wahrscheinlichkeit einer Einheit. d) Visualisierung der Unsicherheit der Grenzfläche (Einheitsgrenze) mit Hilfe von Entropieberechnungen.

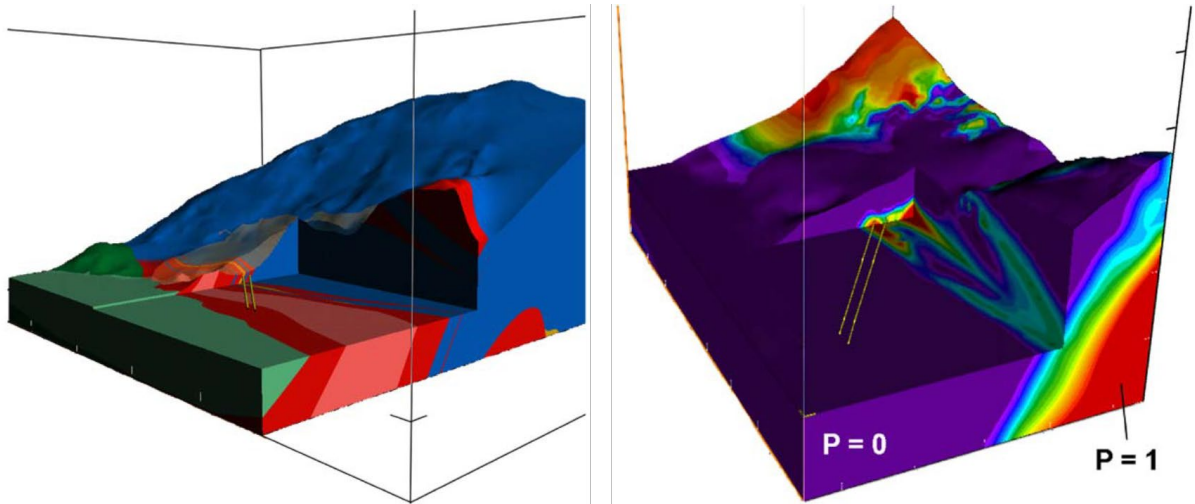


Abbildung 42. Visualisierung Wahrscheinlichkeits-basierter Unsicherheiten. Die Abbildung zeigt a) ein geologisches Modell (diskrete Werte einer Lithostratigraphie) und b) die Wahrscheinlichkeit des Auftretens für eine bestimmte Einheit. Auch auf diese Weise kann die Unsicherheit visualisiert werden (Tacher et al., 2006).

7 Applikationen

7.1 Geologische Informationssysteme

In der Schweiz bestehen zahlreiche webbasierte Geoportale, die auch geologische Inhalte aufweisen. Diese Systeme erlauben die Visualisierung und Abfrage von geologischen Daten gemeinsam mit Geodaten anderer Themen. Je nach Betreiber des Geoportals weisen diese Datensätze eine nationale, kantonale oder lokale Abdeckung auf. Zusätzlich kann es sich jedoch auch um projektspezifische Daten handeln, die ein geologisches Büro einem Kunden z.B. durch passwortgeschützten Zugriff auf einem Webportal gewährt. Oder das Büro kann seinen Kunden eine Infrastruktur via Web oder App zur Verfügung stellen, damit diese die geologischen Daten eigenständig erfassen und abfragen können.

Eine Auswahl verfügbarer geologischer Informationssysteme ist in den nachstehenden Abschnitten beschrieben. Neben einer Auswahl verfügbarer geologischer Informationssysteme wird hier noch auf die Internetseite <https://opendata.swiss/> hingewiesen. opendata.swiss ist das zentrale Portal für offene, d.h. frei verfügbare Daten der Schweizer Behörden. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Open Government Data (OGD). Das Portal wird im Rahmen der «Open Government Data-Strategie der Schweiz für die Jahre 2019 bis 2023» betrieben und weiterentwickelt. Das Portal beinhaltet aktuell rund 100 verschiedene Datensätze zum Thema Geologie.

7.1.1 Nationale Geoportale

7.1.1.1 Kartenviewer des Geoportals Bund (map.geo.admin.ch)

Auf dem Kartenviewer des Geoportals Bund map.geo.admin.ch wird ein breites Spektrum an Bundesgeodaten bereitgestellt. Unter dem «Thema Geologie» sind in übersichtlicher und thematisch strukturierter Form zahlreiche geologische und Geologie relevante Daten kostenlos abrufbar. Die Tabelle 15 zeigt eine thematisch gegliederte Kurzübersicht dieser Daten. Bei den Daten handelt es sich in der Regel um Datensätze mit nationaler Abdeckung. Derzeit sind bereits rund 80 geologische Datensätze abrufbar und das Angebot wird laufend ausgebaut.

Tabelle 15. Thematisch gegliederte Daten des Geoportal des Bundes (map.geo.admin.ch).

Geologische Kartenwerke	Geophysikalische Daten	Mineralische Rohstoffe	Naturgefahren
Geologie 500	Schweregrundnetz	Min. Rohstoffe 500 (vereinfacht)	Lawinen (SilvaProtect-CH)
Tektonik 500	Isostatische Anomalien 500	Mineralische Rohstoffe 200	Hangmuren (SilvaProtect-CH)
Geol. Generalkarte 200	Bouguer-Anomalien 500	Geotechnische Karte 200	Murgang (SilvaProtect-CH)
Geologischer Atlas GA25	Gravimetrischer Atlas 100	Gebrochene Gesteine: Abbau	Sturz (SilvaProtect-CH)
GeoCover - Vektordaten	Gravimetrische Messpunkte 100	Naturwerksteine: Abbau	Übersarung (SilvaProtect-CH)
Letzteiszeitliches Maximum 500 (Raster)	Einteilung Gravimetrischer Atlas 100 Papier	Naturwerksteine an Bauwerken	Aktuelle Erdbeben
Letzteiszeitliches Maximum 500 (Vektor)	Geoidmodell in CH1903	Zementrohstoffe: Abbau und Verarbeitung	Historische Erdbeben
Entstehung der Gesteine 500	Aeromagnetik 500	Zementindustrie 1965	Erdbebenzonen
Gesteinsklassen 500	Aeromagnetik Voralpen/Jura 500	Steinbrüche 1965	Spektrale Mikrozonierung
Übersicht Geomorphologie	Aeromagnetik Aargau 1100 m 100	Steinbrüche 1915	Seismische Baugrundklassen
Diverse Karteneinteilungen	Aeromagnetik Aargau 1500 m 100	Ziegeleirohstoffe: Abbau	Überschwemmung Aquaprotect 50 / 100 / 250 / 500
Geologische Grundlagen	Deklination 500	Ziegeleirohstoffe: Verarbeitung	Hydrogeologie
Geol. Dokumente (>21000km ²)	Inklination 500	Ziegeleien 1907	Übersichtskarte Hydrogeologie
Geol. Dokumente (1000-21000km ²)	Magnetfeldstärke 500	Industriemineralie: Vorkommen	Grundwasservorkommen 500

Geol. Dokumente (100-1000km ²)	Geoenergie	Salz: Abbau und Verarbeitung	Grundwasservulnerabilität 500
Geol. Dokumente (10-100km ²)	Fossile Kohlenwasserstoffe: Vorkommen	Gips: Abbau und Verarbeitung	Hydrogeologische Karte 100
Geol. Dokumente (<10km ²)	Tiefengeothermie-Projekte	Metallrohstoffe: Vorkommen	Karst-Einzugsgebiete
Geol. Dokumente (10x10km)	Geothermische Potenzialstudien	Geotourismus, Geologie für alle	Karst-Einzugsgebietseinheiten
Geol. Dokumente (1x1km)	Wärmestromdichte 500	GeoEvents demnächst	Karstwasservorkommen
Geol. Dokumente (Linien)	Temperaturmodell - Daten	GeoEvents auf Anfrage	Unterirdische Fließwege
Geol. Dokumente (Punkte)	Temperaturen Top OMM	Geosites	Karstquellen und Schwinden
Bohrungen > 500 m	Temperaturen Top Oberer Malm	Geowege	NAQUA-QUANT Messstellen
Geometrie des Untergrundes	Temperaturen Top Muschelkalk	Geotope der Schweiz	Grundwasser: Nitrat
Mächtigkeit des Lockergesteins	Temperaturen 500 m / 1000 m / 1500 m / 2000 m / 3000 m / 4000 m Tiefe		Grundwasser: VOC
Höhenmodell der Felsoberfläche	Höhe 60 °C- / 100°C- / 150°C- Isotherme		

Die geologischen Datensätze können zusammen mit Datensätzen anderer Themen visualisiert werden. Es besteht auch die Möglichkeit weitere Datensätze via WMS/WMTS darzustellen oder eigene Daten z.B. als KML-Datei zu importieren. Zusätzlich können die Daten auch in 3D bzw. 2.5D durch Überlagerung auf das digitale Höhenmodell betrachtet werden (Abbildung 43).

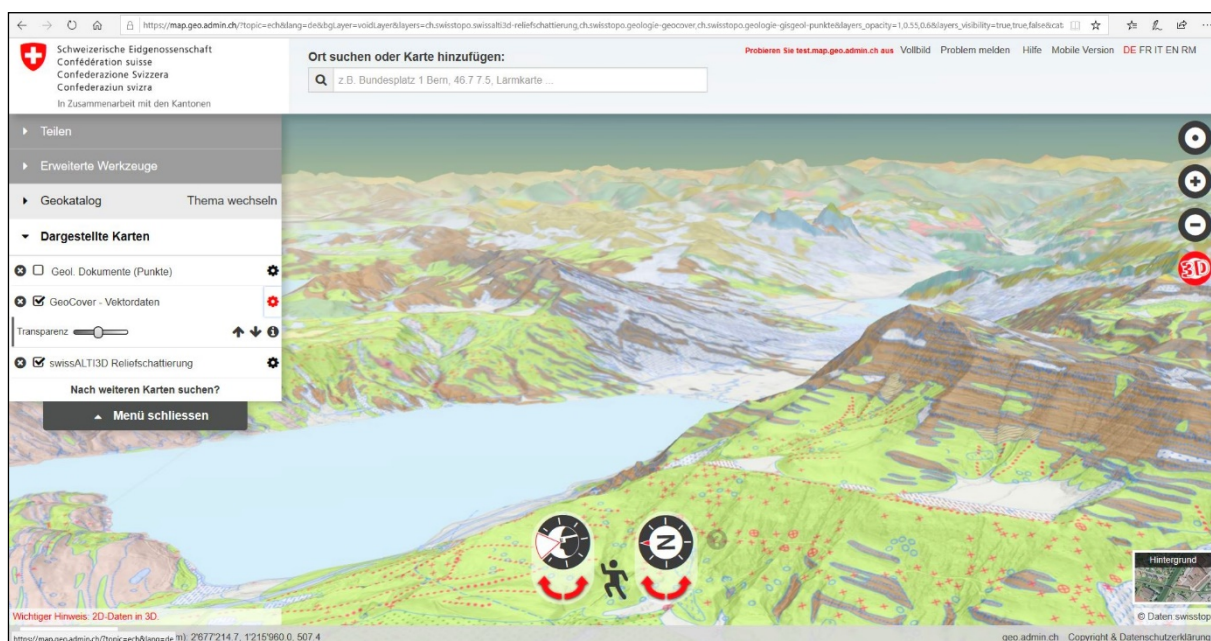


Abbildung 43. 3D-Ansicht von geologischen GeoCover-Daten (map.geo.admin.ch). Dargestellt wurde das geologische 3D-Modell im Bundesgeodatenviewer.

7.1.1.2 swissgeol.ch – Geologischer 3D-Viewer

Das Geoportal des Bundes bietet die Möglichkeit eine Vielzahl Geodaten in 2D und 3D darzustellen. Es bietet damit einen schnellen und einfachen Zugang zu diesen Daten. Die Darstellung der Daten ist aber auf den Raum über der Erdoberfläche beschränkt. Geologische Daten können daher nicht in ihrer korrekten Lage im Untergrund visualisiert werden. swissgeol.ch ist ein swisstopo Produkt (zurzeit als Beta-Version über beta.swissgeol.ch zugänglich) und erweitert in Zukunft die 3D-Visualisierung in den Untergrund. Mit der Web-Applikation können die Daten und ihre relevanten Eigenschaften angezeigt werden (Abbildung 44). Im Bereich des Molassebeckens können virtuelle Schnitte (Bohrung, vertikaler

und horizontaler Schnitt) basierend auf dem hinterlegten GeoMol-3D-Modell erstellt werden. Die geologischen Daten können zum Beispiel auch gemeinsam mit Infrastrukturdaten in 3D visualisiert werden (Abbildung 45).

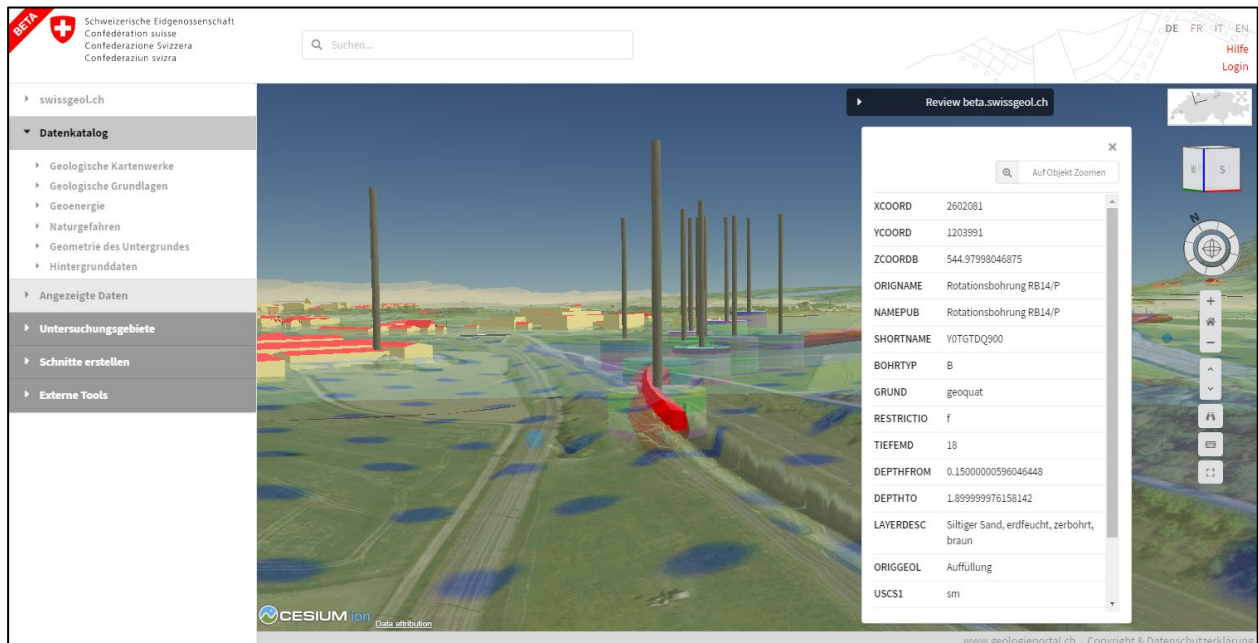


Abbildung 44. Web-basierte 3D-Visualisierung von geologischen Daten (swissgeol.ch). Die geologischen Daten wurden in diesem Beispiel zusammen mit anderen thematischen Daten über und unter der Erdoberfläche dargestellt.

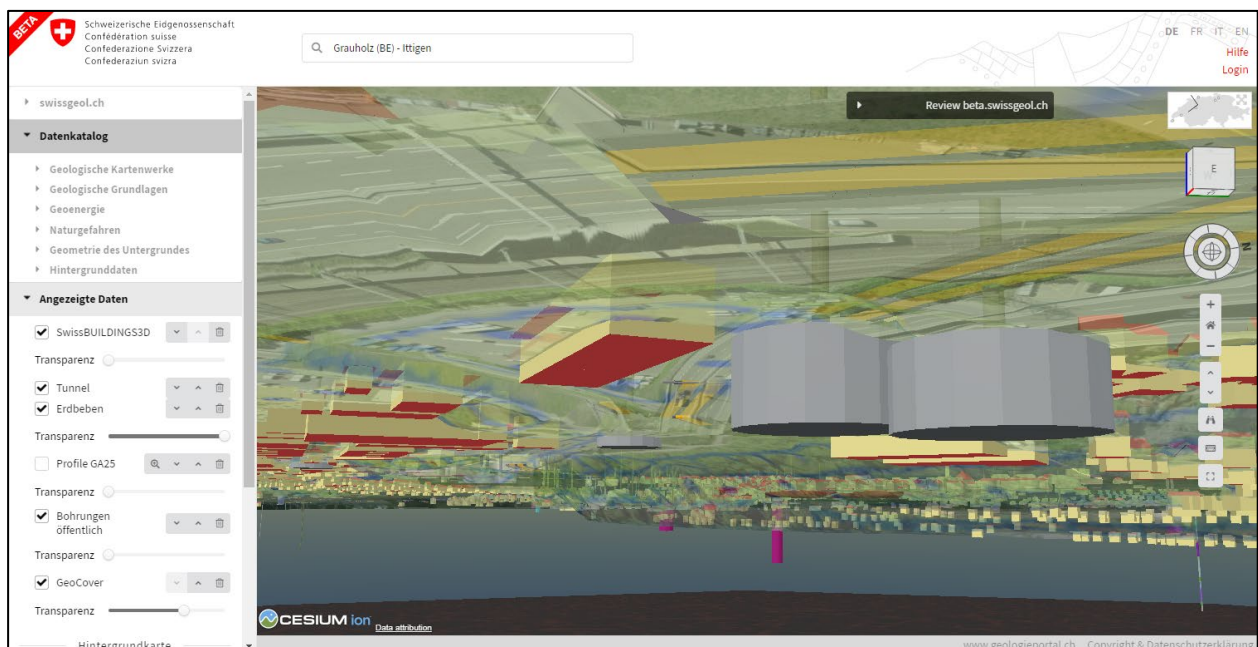


Abbildung 45. Web-basierte 3D-Visualisierung von Geologie und Infrastrukturdaten. Dargestellt wurden Kombinationen von geologischen Daten (Bohrungen) mit Infrastrukturdaten (Gebäude, Strasse, Gleise) im Untergrund.

7.1.1.3 swissforages.ch - Bohrdatenerfassung gemäss Datenmodell Bohrdaten

Für die Erfassung und den Austausch von Bohrdaten stellt swisstopo die Webanwendung swissforages.ch zur Verfügung. Mit swissforages.ch können Bohrdaten (Stammdaten und Schichtdaten)

strukturiert aufgenommen werden und über einen Kontrollprozess geprüft werden (Abbildung 46 und Abbildung 47). Die relevanten Dokumente können zu jeder Bohrung in die Applikation geladen werden. Mit dem Export der Daten aus swissforages.ch können die Bohrungen in andere Applikationen überführt werden.

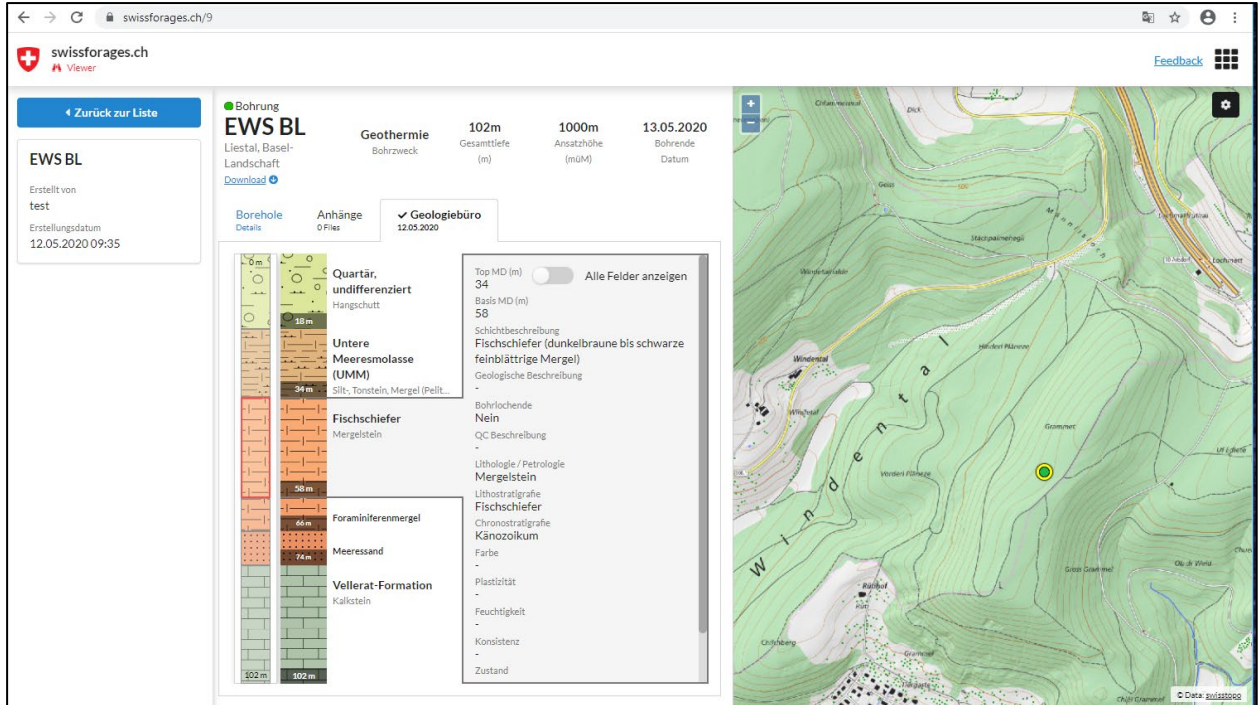


Abbildung 46. Harmonisierte Darstellung der erbohrten Schichten als Suchergebnis einer Abfrage (swissforages.ch).

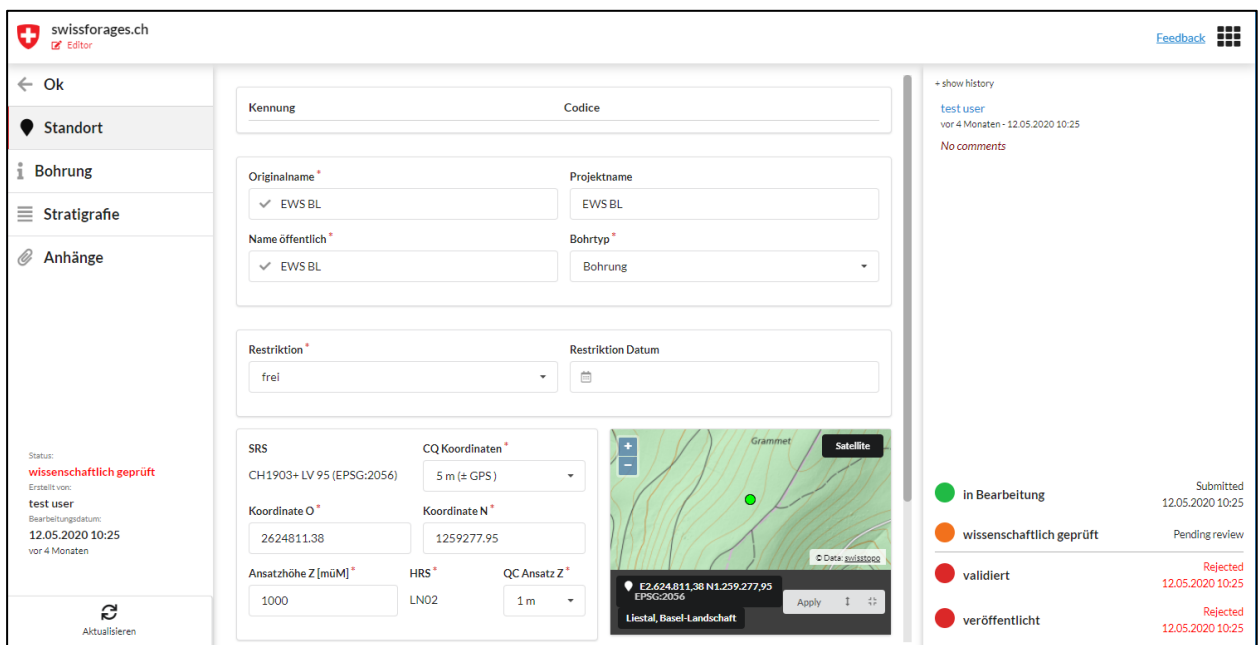


Abbildung 47. Datenerfassungsmaske mit integrierter Datenvalidierung (swissforages.ch).

7.1.2 Kantonale und Firmen-Geoportale

Viele Kantone besitzen eigene Publikationsplattformen für Geoinformationen in Form von Geodaten, Geodiensten, Karten und Fachanwendungen. Die Konferenz der Kantonalen Geoinformationsstellen (KKGEO) zeigt auf ihrer Webseite unter «https://www.kkgeo.ch/geodaten/kantonale_geoportale» eine Übersicht der verfügbaren Geoportale mit direkter Verlinkung. Die Portale unterscheiden sich im Erscheinungsbild wie auch im Angebot von Daten und Diensten. Zur Beschreibung des Aufbaus und der Inhalte kantonaler Geoportale wird nachstehend exemplarisch das Geoportal des Kantons Bern näher betrachtet.

7.1.2.1 Geoportal des Kantons Bern

Das Geoportal des Kantons Bern (<https://www.geo.apps.be.ch>) bildet die offizielle Publikationsplattform des Kantons Bern für Geoinformationen in Form von Geodaten, Geodiensten, Metadaten und Karten. Es können rund 50'000 Einträge über den Aufbau des geologischen Untergrundes im Kanton Bern abgefragt werden, die bei der geologischen Dokumentationsstelle des Amtes für Wasser und Abfall (AWA) erfasst wurden. Es handelt sich dabei um Informationen aus geologischen, hydrogeologischen und geophysikalischen Untersuchungen, Baugrunduntersuchungen, Wärme- oder Rohstofftechnischen Bohrungen, Schutzzonengutachten, Altlastenuntersuchungen, usw. Dargestellt werden Bohrungen (inkl. Direktzugriff auf das Bohrprofil), Brunnen sowie weitere Sondierungen (Abbildung 48).

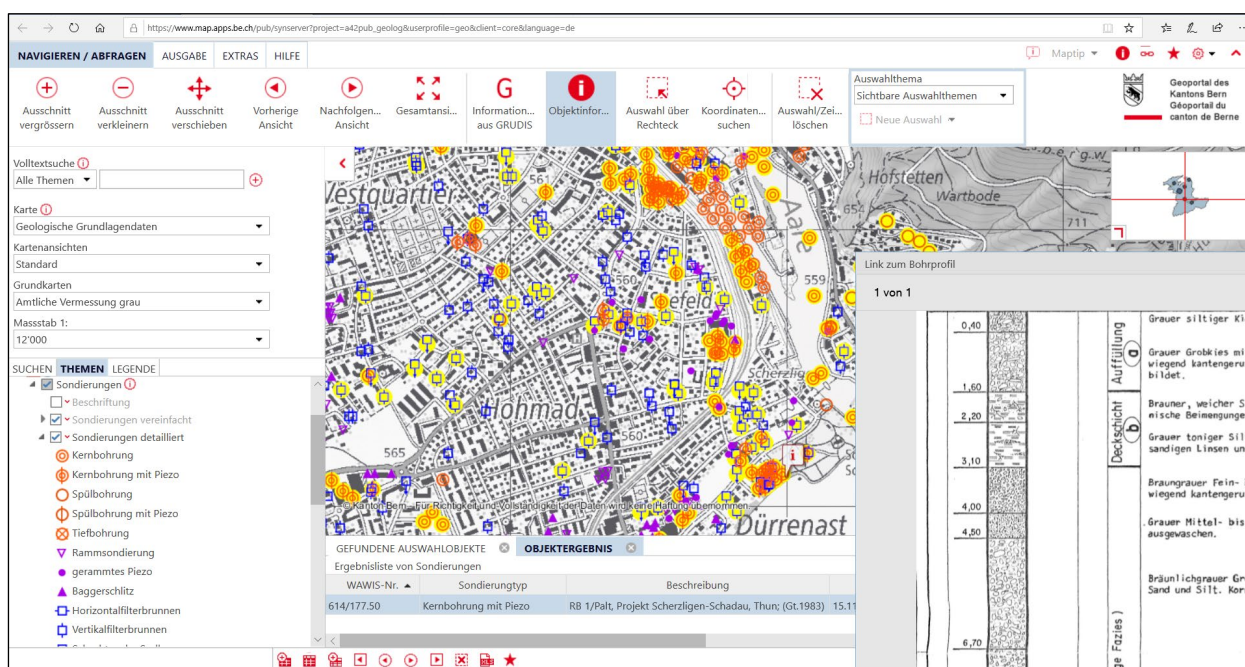


Abbildung 48. Webviewer des Geoportals des Kantons Bern (<https://www.geo.apps.be.ch>). Dargestellt sind die Abfragen von Bohrungen, Brunnen und weiteren Sondierungen.

Auch der Bereich Naturgefahren wird durch zahlreiche Datensätze wie Gefahrenkarten, Gefahrenhinweiskarten oder Ereigniskataster abgedeckt (Abbildung 49).

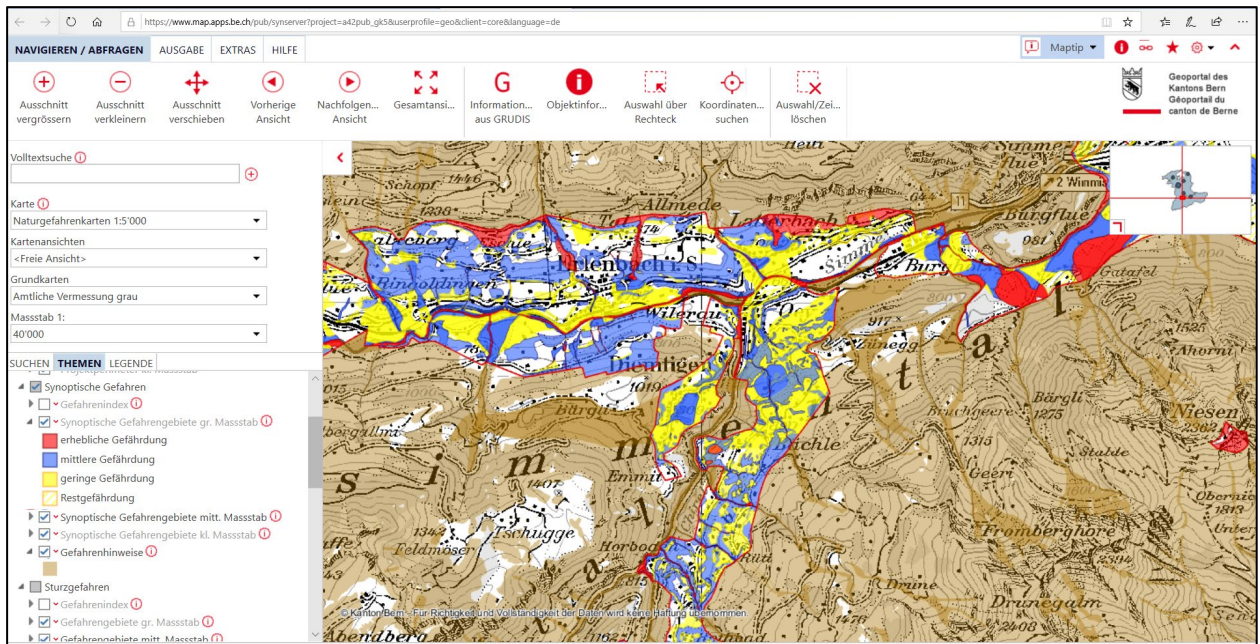


Abbildung 49. Darstellung von Naturgefahren im Geoportal des Kantons Bern (<https://www.geo.apps.be.ch>). Dargestellt sind abfragbare Datensätzen rund um das Thema Naturgefahren.

7.1.2.2 Geobrowser der Firma Geotest

Mit dem Geobrowser hat die Firma Geotest für Kunden ein webbasiertes Datenportal mit umfangreicher Funktionalität entwickelt.

- **Kartenbasierte Darstellung von Messdaten.** Mit dem Geobrowser können automatische und manuelle Messstationen übersichtlich auf interaktiven Karten, Plänen oder Orthophotos dargestellt werden. Dank der geographischen Verortung können die relevanten Daten schnell gefunden und als Plots, Tabellen oder als Vektoren dargestellt werden (Abbildung 50). Sämtliche Messdaten können kombiniert dargestellt werden, so dass ein Vergleich der verschiedenen Stationen möglich ist. Die Daten können jederzeit als Exceltabellen oder CSV exportiert und so weiterverwendet werden.



Abbildung 50. Bildschirmansicht der Geobrowser-Applikation der GEOTEST AG.



- **Manuelle Messdatenerfassung direkt im Feld.** Die Messdaten können entweder von automatischen Stationen via GSM, Internet oder Internet of Things (z.B. LORA) an den Server geschickt oder von Hand in Tabellen eingetragen werden. Die speziell für iOS Geräte entwickelte App ermöglicht auch eine Dateneingabe direkt im Feld. Die Formulare der App können benutzerspezifisch gestaltet werden. Für die Arbeit im Feld ist keine Verbindung mit dem Internet notwendig, so dass die Dateneingabe auch in abgelegenen Gebieten einwandfrei funktioniert.
- **Geographisch lokalisierte Dateiablage.** Für jede Messstation oder ein beliebiges Objekt im Feld können Dateien hochgeladen und mit anderen Benutzern geteilt werden. Mit der Karte als Orientierung sind die Messstationen und die dazugehörigen Dateien schnell gefunden. Ein langes Durchsuchen von Verzeichnissen erübrigt sich damit. Auf Wunsch können die Dateien auf eigenen Servern gehostet werden, damit sie auch lokal abrufbar sind.

Im Gegensatz zu den öffentlich zugänglichen Geoportalen bietet der Geobrowser einen massgeschneiderten kartenbasierten Datenzugang für Kunden inkl. standortunabhängiger Datenerfassung.

7.2 Geologische Fachapplikationen

Dieser Abschnitt liefert einen Einstieg in für die Geologie relevante Softwareapplikationen. Die Liste der im Rahmen dieser Dokumentation ausgewählten Produkte erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

7.2.1 Häufig verwendete Software

Das GEOL_BIM Projekt wird von Partner aus der Privatwirtschaft, Behörden und Verbänden unterstützt. Im Rahmen von Interviews wurde versucht herauszufinden mit welchen Hilfsmitteln geologische Informationen in den Büros verarbeitet und visualisiert wird. Dabei wurde unter anderem gefragt ob bereits Softwareapplikationen zur Integration der Geologie in die BIM-Methode zum Einsatz kommen und wenn ja um welche Applikationen es sich handelt. Aus dieser Umfrage wurde schnell klar, dass nicht eine, sondern eine Vielzahl von zum Teil hochgradig spezialisierten Softwarepaketen zum Einsatz kommt.

Tabelle 16. Im Rahmen einer Umfrage der Projektunterstützer genannte Softwareapplikationen.

Name	Lizenz					
		GeoShape		Link	Powerpoint	Link
Acrobat	Proprietär Link	GoCAD		Link	Python	Quelloffen Link
ArcGIS	Proprietär Link	Google Earth	Proprietär	Link	QGIS	Quelloffen Link
AutoCAD	Proprietär Link	Grapher		Link	RAMMS	Proprietär Link
BIMcollab	Proprietär Link	HEC-RAS		Link	Revit	Link
BIMvision	Link	Illustrator		Link	RocLab	Link
Civil3D	Proprietär Link	InRoads		Link	ROFMOD	Proprietär Link
CloudCompare	Quelloffen Link	KUBA		Link	SGeMS	Quelloffen Link
Dips	Link	LARIX		Link	STORM	Link
Excel	Link	Leapfrog	Proprietär	Link	Strater	Link
FEFLOW	Link	mapitGIS		Link	Surfer	Link
FeldApp	Proprietär Link	Metashape		Link	UnWedge	Link
Fieldmove	Proprietär Link	MISTRA		Link	UQLab	Quelloffen Link
FME	Proprietär Link	Move	Proprietär	Link	Voxler	Link
GeODin	Link	Open Stereo	Quelloffen	Link	Zsoil	Proprietär Link
GeoFace3D	Link	ParaView	Quelloffen	Link		

Die Stichprobe der fragten Projektunterstützer ist mit insgesamt 16 Personen aus 9 Institutionen eher gering und nicht repräsentativ für die gesamte Geologie-Branche der Schweiz. Die Ergebnisse liefern jedoch erste Hinweise auf die Vielfalt an quelloffenen und kommerziellen Lösungen, die bereits heute auf dem Schweizer Markt zum Einsatz kommen. Die in Tabelle 16 präsentierten Resultate reflektieren von den Klassikern unter der Bürosoftware (Microsoft Excel und Powerpoint) bis hin zu hochspezialisierter Fachsoftware die unterschiedlichsten Arbeitsweisen. Aus den persönlichen Gesprächen mit allen Unterstützern wurde deutlich, dass nahezu keine der beschriebenen Arbeitsweisen auf nur eine Software beschränkt ist. Typischerweise laufen die Erfassung und Verarbeitung der Daten über andere Applikationen als die Visualisierung der Ergebnisse. Gerade während der letzten Schritte des Prozesses kommen Bürosoftware oder Illustrationsprogramme wie Adobe Illustrator zum Einsatz, um den Ergebnissen aus Fachapplikationen den letzten Feinschliff zu geben oder Unsicherheiten grafisch hervorzuheben.



Abbildung 51. Wortwolke zur Illustration von Tabelle 16 nach Häufigkeit der Nennung.

Die Schriftgrösse der Applikationsnamen in Abbildung 51 illustriert zudem wie viele Institutionen die Software erwähnten. Haben mehrere Personen der gleichen Institution eine Applikation mehrfach erwähnt wurde dieser nur einmal gezählt. Neben proprietären GIS (ArcGIS) und CAD Systemen (AutoCAD, Revit, Civil 3D, GoCAD) fällt auf, dass unter den quelloffenen Applikationen die Skriptsprache Python und das auf C, C++ und Python basierende QGIS häufig genannt wurden. Prominente Vertreter von Software zur 3D-Modellierung des geologischen Untergrundes waren Move und Leapfrog. Zur Visualisierung und Abfrage wurde das ebenfalls auf C, C++ und Python basierende ParaView häufig genannt. Neben Implementierungskonzepten hat sich GEOL_BIM die Entwicklung von hersteller- und systemunabhängigen offenen Schnittstellen zum Ziel gesetzt. Abschnitt Quelloffene Programmibliotheken 7.2.2 listet deshalb einige häufig verwendete und quelloffene Programmibliotheken.

Tabelle 17. GEOL_BIM bekannte, aber in der Umfrage nicht genannte, Softwareapplikationen.

Name	Lizenz	GEORient	Link	PostGIS	Quelloffen	Link
3d Studio Max	Proprietär	MAPublisher	Link	PostgreSQL	Quelloffen	Link
Blender	Quelloffen	MySQL	Link	Rockworks		Link
Cinema4D	Proprietär	OpenStereo	Link	Surpac		Link



ERDAS Imagine	Link	Oracle Spatial	Proprietär	Link	Toolmap	Link
GEO5	Link	Petrel	Proprietär	Link	Vulcan 3D	Link

Neben den von allen Projektunterstützern genannten Applikationen sind dem GEOL_BIM Projektteam noch einige weitere bekannt, die ergänzend in Tabelle 17. GEOL_BIM bekannte, aber in der Umfrage nicht genannte, Softwareapplikationen. aufgelistet sind.

7.2.2 Quelloffene Programmbibliotheken

Moderne Softwareapplikationen bauen oft auf bestehenden Programmbibliotheken auf, das vermeidet das erneute Sammeln von Erfahrungswerten, die andere bereits gemacht haben. Daraus entstehen zwar Abhängigkeiten, bei quelloffenen Bibliotheken ist aber zumindest der Zugang langfristig gewährleistet. Quelloffen heisst nicht kostenlos, da die Softwareprodukte aus quelloffenen Bibliotheken oder ein zusätzlicher Kundensupport oft nur kommerziell erhältlich sind. Selbst wenn quelloffene Programmbibliotheken kostenlos zur Verfügung gestellt werden, sind wiederkehrende Wartungsarbeiten und Anpassungen an eine sich stetig verändernde IT-Infrastruktur eine Herausforderung, die viele Firmen oft nur mit personellen oder finanziellen Aufwänden gewährleisten können. Die vielleicht grösste Stärke quelloffener Software liegt aber in der langfristigen Reproduzierbarkeit der Herangehensweise. Historische Versionen des Quellcodes können reproduziert und referenziert werden. Damit ist es möglich, zeitlich lange zurückliegende Berechnungen zu wiederholen, auch wenn zwischenzeitlich viele neue Versionen einer Bibliothek oder eines Programmes erschienen sind. Ein weiterer Vorteil quelloffener Programme ist die Modularität spezialisierter Programmbibliotheken. Ohne die Grundlagen der zugrundeliegenden Technologien erneut erarbeiten zu müssen kann neues geschaffen werden.

Viele der proprietären und quelloffenen Applikationen zur 3D-Modellierung in Abschnitt 7.2.1 enthalten Programmierschnittstellen für die Sprachen C, C++ und Python. Zu den häufig für die 3D-Visualisierung verwendeten Bibliotheken gehört VTK (Visualization Toolkit), auf dessen Basis zum Beispiel auch GemPy zur 3D-Modellierung des geologischen Untergrundes entwickelt wurde. Tabelle 18 nennt neben den beschriebenen noch einige weitere essenzielle Programmbibliotheken, die für den Umgang mit geologischen Daten und Geodaten häufig verwendet werden.

Tabelle 18. Auswahl quelloffene Programmbibliotheken, die auf C, C++ und Python basieren.

Projekt	Beschreibung	Webseite	Quellcode
CGAL	C++ basierte Programmbibliothek, die eine Vielzahl geometrischer Algorithmen beinhaltet (Triangulationen, Voronoi Diagramme, etc.), welche heute die Grundlage für eine Vielzahl der Funktionen in GIS und CAD Systemen darstellen.	Link	Link
GDAL/OGR	C und C++ basierte Programmbibliothek zur Verarbeitung räumlicher Rasterdaten, einschliesslich deren Georeferenzierung. Das ehemals unabhängige Projekt OGR wird zusammen mit GDAL gepflegt und erweitert dessen Funktionalitäten auf räumliche Vektordaten.	Link	Link
PDAL	C++ basierte Programmbibliothek zur Verarbeitung und Manipulation von Punktdaten, wie diese zum Beispiel für LiDAR zum Einsatz kommen.	Link	Link
NumPy	C und Python basierte Programmbibliothek zum Umgang mit Vektoren, Matrizen und grossen mehrdimensionalen Arrays.	Link	Link
Matplotlib	Python basierte Programmbibliothek zur Visualisierung von Messergebnissen und Modellresultaten in Form von 2D- und 3D-Grafiken.	Link	Link
Pandas	Python basierte Programmbibliothek zur effizienten Datenanalyse und zur Manipulation von Daten, einschliesslich deren Visualisierung	Link	Link
VTK	C, C++ und Python basierte Programmbibliothek zum Rendern von 3D-Grafiken und zur Bildverarbeitung für wissenschaftliche Zwecke.	Link	Link
PyVista	Python und VTK basierte Programmbibliothek zur Berechnung von Vermaschungen für die 3D-Visualisierung und deren Darstellung.	Link	Link
GemPy	Python und VTK basierte Programmbibliothek zur 3D-Modellierung des geologischen Untergrundes, einschliesslich Faltungen und Störungszonen.	Link	Link
pyGIMLi	Python basierte Programmbibliothek zur Modellierung, Inversion und Visualisierung geophysikalischer Daten.	Link	Link



n|w

CHGEOL
—

8 Schlussfolgerung

Um die Geologie in die BIM-Methode integrieren zu können, muss eine Vielzahl fachspezifischer Anforderungen berücksichtigt werden. Die Komplexität dieser Aufgabe kann mit Hilfe des breiten Spektrums geologischer Anwendungsgebiete vielleicht am besten illustriert werden (Abschnitt 2.1.2). Die Leistungen von Geologen sind entsprechend vielgestaltig und können nicht allein auf geologische Profilschnitte, Karten oder Berichte reduziert werden (Abschnitt 3 und 4). Das wichtigste Ergebnis geologischer Arbeit ist eine evidenzbasierte Abbildung der Wirklichkeit in Form von geologischen Modellen, basierend auf der Vorstellungskraft des Geologen. Die von Geologen erbrachten Leistungen kommunizieren Teilaspekte geologischer Modelle im Kontext konkreter Fragestellungen als Entscheidungsgrundlagen für Entscheidungsträger. Die Perspektive auf die von einem Geologen erbrachte Leistung ist immer im Kontext der spezifizierten Fragestellung zu betrachten. Bohrprofile, die zum Zweck einer Altlastenuntersuchung aufgenommen wurden, sind z.B. für geothermische Fragestellungen nur bedingt nutzbar. Geologischer Grundlagedaten sind nicht selten deskriptiver Natur und ihre Aufnahme ist stark von der Expertise des beschreibenden Geologen abhängig. Bei zunehmender Spezialisierung nach geologischen Fachbereichen ist es also weder möglich noch zielführend, dass die geologische Aufnahme und Erkundung hinsichtlich aller denkbaren Fragestellungen erfolgt. In der Konsequenz ist die von einem Geologen erbrachte Leistung untrennbar mit der Fragestellung verbunden – ein Umstand, der auch bei zunehmende mehr digitalisierten Arbeitsweisen zwingend berücksichtigt werden muss.

8.1 Detaillierungsgrad, Systemgrenzen und Rahmenbedingungen

Digitale Bauwerksmodelle stellen die Bauteile von Gebäuden oder Überbauungen in hohem Detailgrad auf einem begrenzten Perimeter dar. Die Arbeit eines Geologen beginnt typischerweise mit niedrigem Detaillierungsgrad, georeferenziert und parzellenübergreifend in Geographischen Informationssystemen (GIS). Eine Schnittstelle von GIS nach BIM muss geologische Modelle georeferenziert übergeben können und sollte in der Lage sein die Ausmasse eines Projektes auf den Zielperimeter im BIM zu reduzieren.

Die Systemgrenzen der Geologie sind scharf zu definieren. IFC Rail ist ein offenes Datenaustauschformat zur Beschreibung von Bahntrassen. Gegenüber dem Gleiskörper, der die Fahrstrecke einer Bahntrasse stabilisiert kann zum Beispiel das Planum als Grenzfläche zum Untergrund dienen (Abbildung 52). Hinsichtlich anthropogener Auffüllungen oder künstlicher Schüttungskörper gestaltet sich die Abgrenzung schwieriger. Es empfiehlt sich anthropogener Körper von natürlichen geologischen Formationen zu unterscheiden, aber dennoch zu führen, da der Umgang mit Altlasten zu den häufigsten geologischen Fachbereich zählt.

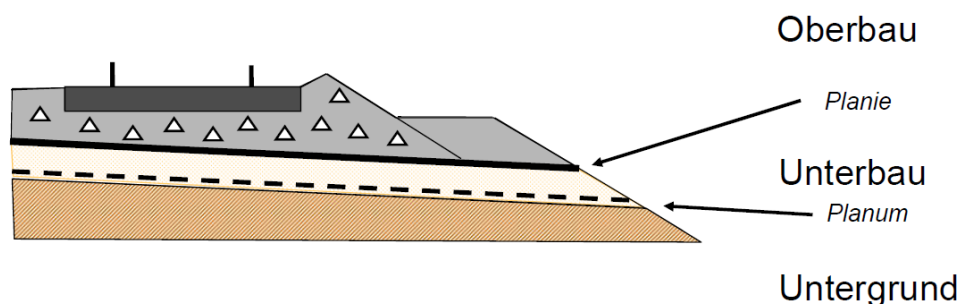


Abbildung 52. Schematischer Aufbau eines Gleiskörpers (Däppen and Gerber, 2015).

Rahmenbedingungen für die Erbringung jeder geologischen Leistung sind gesetzliche Vorgaben, anerkannte Normen, nationale, kantonale und Firmen-interne Standards (Abschnitt 3). Die Einhaltung dieser Vorgaben ist entweder vertraglich geregelt oder wird als «Best-Practice» schlicht vorausgesetzt. Gerade in der Geotechnik gibt es eine Vielzahl von sich thematisch überlappenden Normen (Tabelle 4, Tabelle 5 und Tabelle 6) und nicht alle Normen und Standards sind untereinander kompatibel. Zum Teil werden fachlich begründet nicht die aktuellen Normen angewendet, stattdessen wird auf inzwischen ersetzte Vorgängerversionen verwiesen. Für die im Rahmen von GEOL_BIM entwickelte Schnittstelle muss nachvollziehbar dokumentiert sein, im Kontext welcher Norm oder Standards geologische Daten aufgenommen wurden. Idealerweise sind Normen und Standards modularisierte Bestandteile des Datenmodelles und können bei Aktualisierung einer Vorgabe als Teilmodul des gesamten Datenmodelles ausgetauscht werden ohne die restliche Funktionsweise zu beeinträchtigen.

8.2 Fazit und Stossrichtung für die Anwendungsfälle

GEOL_BIM wird von Partnern aus der Privatwirtschaft, Behörden und Verbänden unterstützt. Bereits früh im Projekt konnten aus Interviews mit den Projektunterstützern viele wichtige Informationen zusammengetragen werden. Dieses direkte Feedback hat nicht nur den vorliegenden Bericht aktiv mitgestaltet, sondern hat auch geholfen die Stossrichtung für das weitere Vorgehen gemeinschaftlich zu erarbeiten.

Abschnitt 2 über die Geologie und ihre angewandten Fachbereiche ist ein solches Ergebnis, dass letztlich aus dem Versuch resultierte die verschiedenen Anwendungsgebiete von Geologen exemplarisch aufzuzeigen. Es wurde zwar eine arbiträre Einteilung vorgenommen (Abschnitt 2), diese eignete sich aber zumindest zur Einteilung aller Projektunterstützer und den von ihnen eingebrachten Praxisprojekten nach Anwendungsfällen. Mehr zu dieser Einteilung nach Anwendungsfällen, aber vor allem auch zur Vorgehensweise während der Schnittstellenentwicklung und den zu erwartenden Resultate sind in einem separaten Projekthandbuch zusammengefasst.

Aufbauend auf den hier vorgestellten Projektgrundlagen wurde das reichhaltige Feedback der Projektunterstützer verwendet, um stichpunktartig die potenziellen Stossrichtungen für den Start der Anwendungsfälle zur Diskussion zu stellen.

8.2.1 AWF1: Geologische Profilschnitte & Prognosegenauigkeit

Ziel dieses Anwendungsfalles ist der Import eines geologischen 3D-Modelles in eine BIM-Software und die Erstellung eines geologischen Profils entlang einer Projektachse mit Angabe der Prognosegenauigkeit an einem beliebigen Punkt. Diese Grundfunktion soll bereits verschiedene angewandte Szenarien wie die Ausarbeitung von Varianten der Linienführung im Tunnelbau oder die Mengenermittlung für die Bewirtschaftung des Aushubs massgeblich erleichtern.

In diesem Anwendungsfall zusammengefasst sind alle Praxisprojekte, die sich im weiteren Sinne mit den Anwendungsgebieten des Tunnelbaus beschäftigen (Abbildung 7 im Projekthandbuch).

Stossrichtung

- Die Aufnahme des Gebirges im Tunnelbau (Abschnitt 5.3.3) gemäss der Norm SN 531 199 (SIA 199) eignet sich als guter Startpunkt für die Implementierung einer Schnittstelle.
- Mengenabschätzungen von Gesteinsmaterialien nach Ausbruchsklassen eignen sich, um den quantitativen Nutzen der BIM-Methode aufzuzeigen. Über den Baufortschritt hinweg können auf diese Weise zukünftig der Abtransport und gegebenenfalls die Deponierung von Aushub besser koordiniert werden (Abschnitt 5.3.3.1).
- Die Klassifikation der ausgebrochenen Gesteinseinheiten erfolgt nach unterschiedlichsten qualitativen und quantitativen Methoden. Idealerweise ist das von GEOL_BIM implementierte Datenmodell modular, flexibel und erweiterbar genug, um verschiedenartige Klassifikationen gleichermaßen zu unterstützen. Die Klassifikation der Gesteinseinheiten nach verschiedenen Normen, Standards oder Publikationen eignet sich gegebenenfalls, um die Bandbreite verschiedener Klassifikationsschemata aufzuzeigen (Abschnitt 5.3.3.2) und somit sicher zu stellen, dass die Erweiterbarkeit der entwickelten Schnittstelle gewährleistet ist.
- Gefährdungsbilder sind ebenfalls normiert nach SN 531 199 (SIA 199) und basieren auf dem Zusammenspiel von Gesteinseigenschaften und daraus abgeleiteten Gefahren entlang der Tunnelachse (Abschnitt 5.3.3.3). Das Abschätzen von Gefahren im Tunnel berücksichtigt viele hydrologische und geotechnische Parameter und eignet sich für den Austausch mit dem auf geotechnische Parameter fokussierenden Anwendungsfall 2 (AWF2).

Minimalanforderungen

- Georeferenzierbarkeit von Objekten
- Terrainoberfläche aus digitalem Geländemodell



- Profilspur als 3D Linie oder Fläche im Raum
- Geologische Formationen als Objektklassen und Objekte
- Lithologische Schichtobergrenzen als Oberflächen
- Verschnitt-Fähigkeit von Profil und Geologie

8.2.2 AWF2: Handling geotechnischer Parameter

Unmittelbar geknüpft an den ersten Anwendungsfall sollen im zweiten Anwendungsfall zusätzlich zum geologischen 3D-Modell auch geotechnische Parameter, wie Baugrundkennwerte, an die BIM-Software übergeben werden. Diese Erweiterung der Funktionalität soll die direkte geotechnische Modellierung und Dimensionierung von Fundationen und Baugrubensicherungen, wie z.B. die Platzierung und Länge von Felsankern, unterstützen.

In diesem Anwendungsfall zusammengefasst sind alle Praxisprojekte, die sich im weiteren Sinne mit den Anwendungsgebieten des Baugrundes beschäftigen (Abbildung 7 im Projekthandbuch).

Stossrichtung

- Profilschnitte durch eine Baugrube sollen auf die gleiche Weise erzeugt werden, wie in Anwendungsfall 1 im Tunnel (Abschnitt 8.2.1). Anwendungsfall 2 basiert auf Anwendungsfall 1 und ergänzt diesen um die Baugrund-spezifischen Aspekte, wie die Aushubsohle von Baugruben.
- Es existiert eine Vielzahl geotechnischer Normen und Standards (Abschnitt 3.2). Die geologische Aufnahme des Baugrundes eignet sich, um exemplarisch an ausgewählten Gesteinseigenschaften sicherzustellen, dass die zu implementierende Schnittstelle modular und erweiterbar genug ist, um zukünftig auch sich verändernde gesetzliche Vorgaben oder Normen abzubilden.
- Die geotechnischen Gesteinseigenschaften unterscheiden sich zudem stark in Locker- und Festgesteinen. Die Locker- und Festgesteinsgrenze eignet sich demnach für eine Auswahl und Klassifizierung essenzieller Gesteinseigenschaften ähnlich oder aufbauend auf dem Vorschlag in Abschnitt 5.3.2.1 und 0.
- Zur geologischen Beschreibung des Baugrundes zählen viele weitere Parameter, wie die Aufnahme von Sondierungen und Baggerschlitten oder Prognosen des Grundwasserspiegels. Anwendungsfall 2 eignet sich, um auch diese Perspektiven in den zu implementierenden Schnittstellen berücksichtigen zu können.

Minimalanforderungen

Alle aus Anwendungsfall 1 plus die nachfolgenden:

- Aushubsohle von Baugruben
- Locker- und Festgesteinsgrenze mit Unterschieden in geotechnischen Parametern
- Sondierungen (Rammsondierungen und Bohrungen)
- Grundwasserspiegel
- Baggerschlitz

8.2.3 AWF3: Gravitative Naturgefahren

Fachexperten und Behörden sollen zukünftig in das naturgefahren-gerechte Planen und Bauen mit der BIM-Methode eingebunden werden. Dabei fördert die frühestmögliche Sensibilisierung wichtiger Akteure im Bauprozess für Naturgefahren den Risikodialog. Zudem sollen Konzepte zum Umgang mit parzellen-übergreifenden geologischen Daten- und Informationen und der kontinuierlichen Nachführung von Messdaten erarbeitet werden, wenn diese zum Beispiel im Kontext einer Rutschung eine Relevanz für ein oder mehrere Bauwerke haben.



Dieser Anwendungsfall beschäftigt sich innerhalb des Fachbereiches Naturgefahren mit dem Anwendungsgebiet permanente Rutschung (Abbildung 7 im Projekthandbuch).

8.3 Umgang mit Unsicherheiten

Der Umgang mit Unsicherheiten ist ein Anwendungsfall-übergreifendes Thema, dem eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden sollte.

Stossrichtung

- Die Grenze zwischen Locker- und Festgestein, der Grundwasserspiegel und Wassereinträge in den Tunnel eignen sich zum Validieren der Schnittstellendefinition aus AWF 1 und 2 und für konzeptuelle Überlegungen zur Prognosegenauigkeit. Abschnitt 6 zeigt unterschiedlich komplexe Herangehensweisen zum Umgang mit Unsicherheiten. Im einfachsten Fall werden die modellierten Objekte zuerst mit Unsicherheiten in Form von Attributwerten oder Wertebereichen hinterlegt.
- Die Prognosegenauigkeit von geologischen Profilschnitten ergibt sich aus der Gesamtheit aller Beobachtungen aus Sondierungen am Berg oder in der Baugrube, aus Gesteinsansprachen im Tunnel und aus den Unsicherheiten der Modellierung selbst. Eine Schlüsselaufgabe zur erfolgreichen Integration der Geologie in die BIM-Methode ist an die gezielte Kommunikation von Unsicherheiten geknüpft. Das Thema Unsicherheiten eignet sich, um aufzeigen zu können, wo z.B. Sondierungen fehlen, um eine verlässlichere Aussage treffen zu können.

9 Literaturverzeichnis

- BAFU, 2020. Bodenstrategie Schweiz für einen nachhaltigen Umgang mit dem Boden.
- Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6, 189–236. <https://doi.org/10.1007/BF01239496>
- Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications - A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*, 1st Edition. ed. John Wiley & Sons, New York.
- BlaHa, P., 2019. Validation of GeoQuat 3D Models: Module 3 – Analysis and Prioritization of uncertainties of the GeoQuat 3D models.
- Chadwick, N., 2019. The AGS data format, Geotechnical Data Standardization Workshop, 22-24 January 2019, Paris, France.
- Däppen, J., Gerber, K., 2015. SBB Vertiefungsmodul Fahrbahn: Geotechnik - Geotechnische Grundlagen.
- Deere, D.W., Deere, D.U., 1988. The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice, in: Kirkaldie, L. (Ed.), *Rock Classification Systems for Engineering Purposes*. ASTM International, pp. 91–101.
- Die Geologische Kartieranleitung der SGD [WWW Document], n.d. URL <https://www.geokartieranleitung.de/> (accessed 10.17.20).
- ecomat GE, 2016. Guide pour la réutilisation des matériaux d'excavation non pollués.
- GADZ, 1997. Rapport de synthèse sols genevois.
- GM03 - Metadatenmodell, Ein Schweizer Metadatenmodell für Geodaten, Version 2.3, 2005.
- Hoek, E., Brown, E.T., 1997. Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 34, 1165–1186. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(97\)80069-X](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(97)80069-X)
- KOGIS, 2006. INTERLIS 2 - Referenzhandbuch.
- Landesgeologie, 2017a. Die Landesgeologie - kompetent in Sachen Untergrund.
- Landesgeologie, 2017b. GeoMol: Geologisches 3D-Modell des Schweizer Molassebeckens: Schlussbericht.
- Landesgeologie, 2013. Datenmodell 3D-Geologie. Erweiterung zum Datenmodell Geologie Version 2.0 (nicht publiziert).
- Lixin, W., Wenzhong, S., 2004. GTP-based integral real-3D spatial model for engineering excavation GIS. *Geo-Spat. Inf. Sci.* 7, 123–128. <https://doi.org/10.1007/BF02826649>
- OGC, 2017. GeoSciML version 4.1 - 2017.
- Russell, H.A.J., de Kemp, E., MacCormack, K.E., 2019. Overview of Geological Survey Organizations Contributions on Modelling Approaches, in: *Synopsis of Current Three-Dimensional Geological Mapping and Modelling in Geological Survey Organizations*.
- Schmidt, S.P.E., 2020. Webseitenartikel zur USCS-Klassifikation auf <https://www.benchmark-inc.com>.
- Tacher, L., Pomian-Szrednicki, I., Parriaux, A., 2006. Geological uncertainties associated with 3-D subsurface models. *Comput. Geosci.* 32, 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.06.010>
- Wellmann, F., Caumon, G., 2018. 3-D Structural geological models: Concepts, methods, and uncertainties, in: *Advances in Geophysics*. Elsevier, pp. 1–121. <https://doi.org/10.1016/bs.agph.2018.09.001>
- Zanchi, A., Francesca, S., Stefano, Z., Simone, S., Graziano, G., 2009. 3D reconstruction of complex geological bodies: Examples from the Alps. *Comput. Geosci., 3D Modeling in Geology* 35, 49–69. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.09.003>