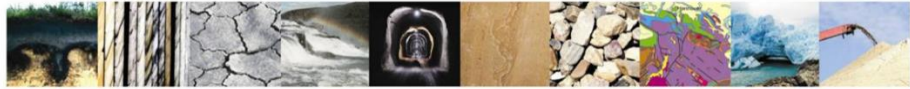




Staatliche
Geologische
Dienste
Deutschlands



Harmonisierung geologischer Kartenwerke im Projekt ConSent am Beispiel der Länder Baden-Württemberg und Bayern

M. Franz*, A. Hagemeister*, D. Jung**, A.-A. Maul***,
A. Pasewaldt***, A.-C. Probst*, B. Wagner**, K. Welzel**,
M.-F. Wiechmann***, U. Wielandt-Schuster*

16.11.2022

* Regierungspräsidium Freiburg
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau
Referat 92 – Landesgeologie
Albertstraße 5
79104 Freiburg i.Br.

** Bayerisches Landesamt für Umwelt
Abteilung Geologischer Dienst
Referat 102 Landesaufnahme Geologie, Geogefahren, Dienststelle Hof
Hans-Högn-Str. 12
95030 Hof

*** Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Fachbereich B4.2: Geoinformationen, Stratigraphie, Bibliothek
Stilleweg 2
30655 Hannover



ConSent
Connect Semantic

Inhalt

Harmonisierung geologischer Kartenwerke im Projekt ConSent am Beispiel der Länder Baden-Württemberg und Bayern	1
1. Einleitung: Projektüberblick und Ziele	3
2. Umsetzung der Geologischen Generallegenden in Thesauri	4
2.1. Das Thesaurus-Management-System PoolParty in der BGR	4
2.2. Import der Generallegenden in das Thesaurus-Management-System PoolParty	7
2.3. Abbildung von Beziehungen mittels SKOS	7
3. Harmonisierung der Kartenwerke	8
3.1. Fachliches Vorgehen und Workflow	8
3.2. Länderlegenden	10
3.3. Übergeordnete Generallegende Geologie (ÜGL)	12
3.4. Kriterien für semantische Verknüpfungen geologischer Einheiten der Länderlegenden mit der Übergeordneten Generallegende Geologie (ÜGL)	12
4. Kartendarstellung der Flächendaten und Signaturen	14
4.1. Flächendaten	14
4.2. Signaturen	17
4.3. Visualisierung des ConSent-Webdienstes im BGR-Kartenviewer	17
5. Aggregierung in kleinere Maßstabsebenen (AutoGen)	17
5.1. Beschreibung des Werkzeuges	17
5.2. Ergebnisse	18
5.3. Einsatzmöglichkeiten	22
6. Schlussfolgerungen und Ausblick	23
6.1. Schlussfolgerungen	23
6.2. Ausblick	23
7. Literatur	24
7.1. Veröffentlichungen	24
7.2. Webseiten	24

1. Einleitung: Projektüberblick und Ziele

Die Harmonisierung der geologischen Generallegenden der großmaßstäbigen Kartenwerke der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) ist die Voraussetzung für eine länderübergreifende Darstellung. Hierzu hat am 21.08.2019 die BGR zusammen mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) und dem Baden-Württembergischen Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) das Projekt „ConSent“ gestartet. Das Akronym ConSent steht dabei für den Projekttitle „Connect Semantic“, d.h. zunächst sollten die geologischen Generallegenden der großmaßstäbigen Kartenwerke von Bayern und Baden-Württemberg mit Methoden des Semantic Web¹ verknüpft werden. Auf dieser Grundlage wurde dann eine einheitliche, länderübergreifend harmonisierte Kartendarstellung von Bayern und Baden-Württemberg erstellt, die anschließend die Basis für eine automatisierte Generalisierung hin zu kleinmaßstäbigeren Karten legt.

In beiden Bundesländern existieren vielfach gleichartig oder ähnlich benannte geologische Einheiten, deren Definitionen sich jedoch mehr oder weniger voneinander unterscheiden können. Hier kommen die Methoden des Semantic Web ins Spiel. Die formale Sprache SKOS (Simple Knowledge Organisation System) wurde als Empfehlung des World Wide Web Consortiums (W3C) für die Publikation von Thesauri, Klassifikationen und Vokabularen entwickelt (W3C, 2009). Dieses gestattet es hierarchische und assoziative Beziehungen zwischen den Begriffen (skos:Concept) eines Vokabulars (skos:ConceptScheme) aufzustellen. Dabei ist zu beachten, dass das englische Wort „Concept“ verschiedene Bedeutungen hat. In diesem Zusammenhang kann es auch mit den Wörtern Gedanke, Idee oder Vorstellung ins Deutsche übersetzt werden.

Darüber hinaus können mithilfe der SKOS-Eigenschaften auch Verbindungen zu anderen im Web verfügbaren Vokabularen aufgebaut werden. Im Sinne des Semantic Web stellt jeder im Web publizierte Fachbegriff eine sogenannte Ressource dar. Ressourcen können aber auch Dokumente, Beschreibungen von Personen, physikalische Objekten oder abstrakte Begriffe darstellen. Diesen Ressourcen wird dabei ein eindeutiger Bezeichner in Form einer URI zugewiesen.

Außer den hierarchischen und assoziativen Beziehungen können zwischen den Begriffen unterschiedlicher Vokabulare auch die semantischen Beziehungen „identische Bedeutung“ (exactMatch) oder „nahezu identische Bedeutung“ (closeMatch) bestehen. Diesbezüglich spielen vor allem die Inhalte des Lithostratigraphischen Lexikons der Deutschen Stratigraphischen Kommission (DSK, 2021) eine wichtige Rolle, da hier ausführliche Erläuterungen zu den Formationsbegriffen für Deutschland zu finden sind. Zudem besteht die Möglichkeit, auch weitere Fachvokabulare benachbarter Länder wie z.B. die Begriffe des Thesaurus der Geologischen Bundesanstalt von Österreich oder desjenigen der Schweiz (sofern dieser mit einer entsprechenden Schnittstelle ausgestattet wird) mit anzubinden.

Zu diesem Zweck wurde bei der BGR ein Redaktionssystem installiert, in das zunächst die geologischen Generallegenden von Bayern und Baden-Württemberg importiert und dann durch Redaktionsteams der betreffenden Landesämter bearbeitet und aktualisiert wurden (s. Kap. 2). Anschließend wurden die Begrifflichkeiten von beiden Ländern untereinander sowie mit den Einträgen einer neu erstellten Übergeordneten Generallegende Geologie (ÜGL) verknüpft (s. Kap. 3).

Ziel ist es, eine Interoperabilität der geologischen Kartenwerke miteinander herzustellen, so dass diese länderübergreifend dargestellt werden können (s. Kap. 4). Weiterhin geht es um die Erzeugung einer Basis für die automatisierte Ableitung von kleinmaßstäbigen aus großmaßstäbigen

¹ Das Semantic Web ist eine Erweiterung des World Wide Web (WWW), bei der im Web publizierte Daten mit maschineninterpretierbaren Metadaten für eine Verarbeitung durch Computerprogramme ausgestattet werden (W3C, 2015)

geologischen Karten. Dass die automatisierte semantische bzw. geometrische Ableitung funktionieren kann, wurde in einer Masterarbeit anhand eines Fallbeispiels in Baden-Württemberg gezeigt (s. Kap. 5). Ein Ausblick auf weitere Einsatzmöglichkeiten des vorliegenden Ansatzes schließt die Ausführungen ab (s. Kap. 6).

Ein weiterer Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass die Einheiten in einem Thesaurus-System eindeutige Webadressen erhalten. Durch die Verknüpfung der Einheiten untereinander unter Verwendung dieser Adressen können Maschinen automatisch den Links im Netz folgen, s. a. die Ausführungen von Tim Berners-Lee – dem Erfinder des World Wide Web – zum Fünf-Sterne-Modell (Tim Berners-Lee, 2015) sowie den Empfehlungen des W3C für Daten im Netz (W3C, 2017), so dass sich im Endeffekt eine sogenannte Linked Open Data Cloud mit öffentlich verfügbaren Ressourcen ergibt.

Mitte 2022 wurde beim Projekt ein wichtiger Meilenstein erreicht, indem erstmals eine digitale geologische Karte von Süddeutschland im Detailmaßstab erstellt werden konnte, die die semantisch harmonisierten Gesteinseinheiten auf Grundlage der ÜGL zeigt.

Der Direktorenkreis der Staatlichen Geologischen Dienste von Deutschland (SGD) hat in der Herbstsitzung 2022 eine Beteiligung der weiteren SGD an dem Projekt befürwortet und die AG Geologie mit der Koordination der inhaltlichen Fortschreibung und fachlichen Pflege der bei der BGR gehosteten ÜGL und der Erarbeitung eines Signaturenkatalogs für die ÜGL-Einheiten beauftragt.

2. Umsetzung der Geologischen Generallegenden in Thesauri

Die Geologischen Generallegenden erfüllen mehrere Aufgaben: Zum einen sind es Symbolschlüssel zur Interpretation der großmaßstäbigen Kartenwerke der Länder in den Maßstäben 1:25.000 bzw. 1:50.000. Zum anderen handelt es sich um Vokabulare mit dem in einem Bundesland vorkommenden geologischen Einheiten. Diese Vokabulare werden von Geowissenschaftlern aufgebaut und kontrolliert. Im Rahmen von ConSent wird der Fokus weniger auf die Symbolisierung, sondern mehr auf die Bedeutung und den Inhalt der geologischen Fachbegriffe gelegt. Neben den geometrischen und topologischen Eigenschaften der absoluten und relativen Lage sind dies miteinander in Einklang zu bringende Merkmale, um mittel- bis langfristig ein Bundeslandgrenzen überschreitendes gemeinsames geologisches Kartenwerk aufzubauen und laufend zu halten.

Voraussetzungen für eine Anwendung der Methoden des Semantic Web auf die Generallegenden sind unter anderem, dass die zu verwendenden Begriffe in einem Thesaurus-Management-System erfasst und gepflegt werden. Damit erhalten diese feste Webadressen (URIs), die auf lange Sicht persistent bleiben sollen. Die letzte Forderung bezieht sich auf die Tatsache, dass die Adressen von Ressourcen im Netz bekannt sind und auch von anderen Informationssystemen aus referenziert werden können. Ändert sich eine verwendete Adresse, ohne dass ein referenzierendes System dieses mitbekommt, so würden die dort angelegten Links ins Leere laufen. Deshalb ist es ratsam, obsolete Begriffe in einem Thesaurus oder anderen für das Semantic Web definierten Ressourcen (wie z.B. LithoLex) nicht zu löschen, sondern mit einer entsprechenden Statusangabe wie beispielsweise „veraltet“ (deprecated) zu versehen und ggf. auf einen Nachfolgebegriff zu verweisen.

2.1. Das Thesaurus-Management-System PoolParty in der BGR

In der BGR wurde das Thesaurus-Management-System „PoolParty“ eingeführt, um kontrollierte Vokabularien und Thesauri durch Redaktionsteams zu erarbeiten und im WWW zu veröffentlichen. Dabei werden die Begriffe und Konzepte durch die Attribute der SKOS-Ontologie sowie Eigenschaften aus anderen standardisierten RDF-Vokabularien wie z. B. Dublin Core Metadata Terms (DublinCore, 2020) in ihren Eigenschaften definiert und beschrieben. Diese Begriffe werden dann mit weiteren (internen oder externen) Ressourcen verlinkt. Neben den Begriffen aus dem ConSent-Projekt und

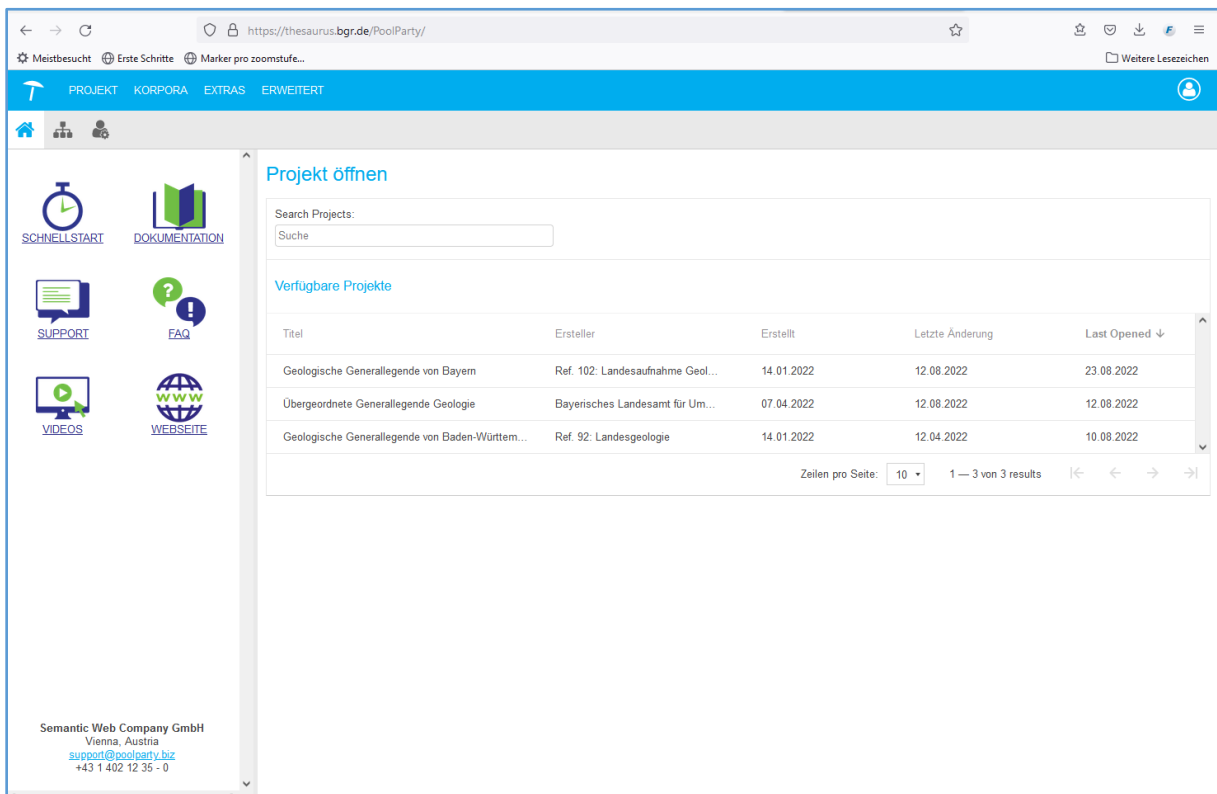
LithoLex ist hier beispielsweise die Störungsdatenbank für Deutschland zu nennen (s. Kap. 6.2 Ausblick).

In PoolParty werden die Thesauri und Taxonomien in sogenannten Projekten angelegt. Ein Projekt kann mehrere Vokabulare enthalten. Im vorliegenden Fall enthält jedes Projekt genau ein Vokabular. Gegenwärtig existieren in der produktiven BGR-PoolParty-Instanz drei Projekte (Abb. 1):

- Die Geologische Generallegende von Baden-Württemberg
- Die Geologische Generallegende von Bayern
- Die Übergeordnete Generallegende Geologie

PoolParty verfügt über eine ausgeklügelte Benutzerverwaltung, in der ein Administrator Projekte sowie Gruppen und Benutzer anlegen kann. Benutzer werden Gruppen zugeordnet, die in den jeweiligen Projekten über bestimmte Rechte verfügen. So können z.B. die Redakteurinnen und Redakteure neue Einträge hinzufügen oder hierarchisch anders einsortieren, die Einträge in ihren Projekten bearbeiten oder Verlinkungen ergänzen. Andere Nutzerinnen und Nutzer können die Einträge nur einsehen.

Wird einem Projekt die Benutzergruppe „Public“ durch den Administrator zugewiesen, dann wird der Thesaurus öffentlich gemacht, d.h. die Einträge, deren Beschreibungen und Adressen sind dann im Netz einsehbar und verwendbar.



The screenshot shows the BGR-PoolParty web interface. The browser address bar displays <https://thesaurus.bgr.de/PoolParty/>. The navigation menu includes 'PROJEKT', 'KORPORA', 'EXTRAS', and 'ERWEITERT'. The main content area is titled 'Projekt öffnen' and features a search bar with the text 'Suche'. Below the search bar, there is a section for 'Verfügbare Projekte' containing a table with the following data:

Titel	Ersteller	Erstellt	Letzte Änderung	Last Opened ↓
Geologische Generallegende von Bayern	Ref. 102: Landesaufnahme Geol...	14.01.2022	12.08.2022	23.08.2022
Übergeordnete Generallegende Geologie	Bayerisches Landesamt für Um...	07.04.2022	12.08.2022	12.08.2022
Geologische Generallegende von Baden-Württem...	Ref. 92: Landesgeologie	14.01.2022	12.04.2022	10.08.2022

At the bottom of the page, contact information for Semantic Web Company GmbH is provided: Vienna, Austria, support@poolparty.biz, +43 1 402 12 35 - 0.

Abb. 1: Gegenwärtig in der BGR-PoolParty-Instanz angelegte Projekte.

In Abb. 2 sind Details der Geologischen Generallegende von Bayern am Beispiel der Amaltheenton-Formation gezeigt. Im linken Baum erkennt man die hierarchische Gliederung mit dem hervorgehobenen Eintrag der Amaltheenton-Formation, rechts die Eigenschaften zu dieser Legendeneinheit, die durch die Redaktionsteams definiert wurden.

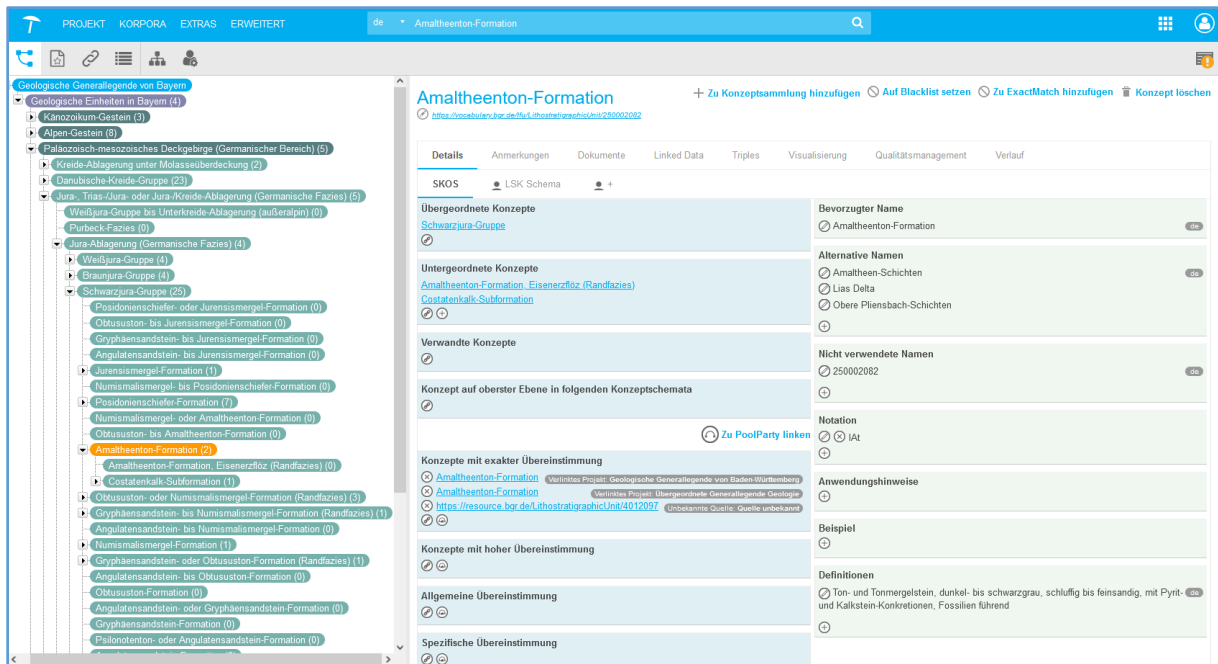
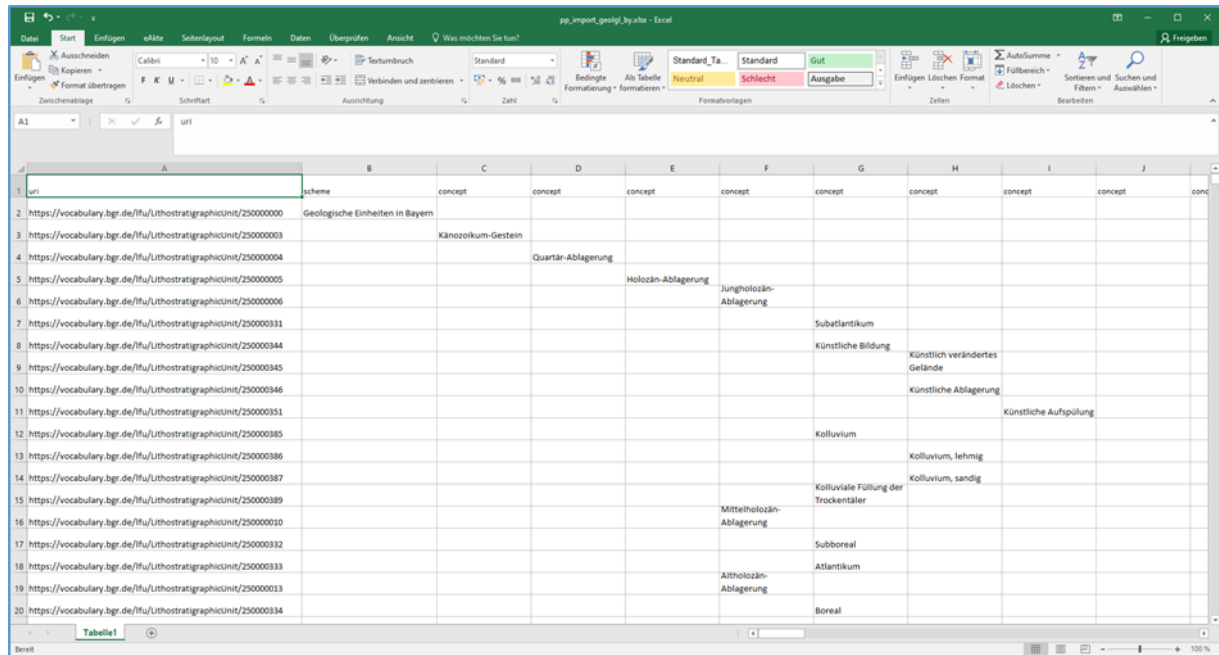


Abb. 2: Geologische Generallegende von Bayern im Thesaurus-Management-System PoolParty mit dem Beispiel der Amaltheenton-Formation.

2.2. Import der Generallegenden in das Thesaurus-Management-System PoolParty

Die Einträge von Konzepten und deren Eigenschaften in den Thesaurus können über die Redaktionsoberfläche vorgenommen werden. Für einen Massenimport bieten sich aber auch die Excel- und die RDF-Import-Schnittstellen an (Abb. 3). Um die Einträge in PoolParty über eine Excel-Datei importieren zu können, muss diese eine vordefinierte Struktur aufweisen. Beispielsweise ist in der ersten Spalte die vorgesehene URI des Thesaurus-Eintrages erkennbar. Die folgenden Spalten bilden die Begriffshierarchien mitsamt der bevorzugten Bezeichnungen (skos:prefLabel) ab.



uri	concept	concept	concept	concept	concept	concept	concept	concept	concept
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000000	Geologische Einheiten in Bayern								
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000003		Känozoikum-Gestein							
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000004			Quartär-Ablagerung						
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000005				Holozän-Ablagerung		Jungholozän-Ablagerung			
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000006									
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000031						Subatlantikum			
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000044						Künstliche Bildung			
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000045							Künstlich verändertes Gelände		
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000046							Künstliche Ablagerung		
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000051								Künstliche Aufspülung	
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000085						Kollivium			
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000086							Kollivium, lehmig		
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000087							Kollivium, sandig		
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000089							Kolliviale Füllung der Trockentäler		
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000010						Mittelholozän-Ablagerung			
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000032							Subboreal		
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000033							Atlantikum		
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000013						Altholozän-Ablagerung			
https://vocabulary.bgr.de/ifu/LithostratigraphieUnit/250000034							Boreal		

Abb. 3: Excel-Importdatei für PoolParty am Beispiel der Geologischen Generallegende von Bayern.

Diese Import-Datei wird durch den Administrator der PoolParty-Software in das entsprechende Projekt eingelesen. Dabei findet eine semiautomatisierte Qualitätssicherung durch die Software statt; z. B. wird im Vokabular nach hierarchischen Zyklen oder nach überlappenden Bezeichnungen gesucht. Bei den gefundenen Problemfällen muss der Benutzer noch entscheiden, ob es sich um einen tatsächlichen Fehler oder um einen fachlich begründeten Umstand handelt. Anschließend können die dafür berechtigten Redakteurinnen und Redakteure die Einträge weiterbearbeiten. Hat das Projekt einen entsprechenden Reifegrad erreicht, werden die Einträge durch den Administrator der Benutzergruppe „Public“ zugeordnet und sind dadurch frei im World Wide Web verfügbar.

2.3. Abbildung von Beziehungen mittels SKOS

Das SKOS-Vokabular gestattet hierarchische Gliederungen **innerhalb** eines Thesaurus, die durch die inversen Beziehungen *broader* ↔ *narrower* ausgedrückt werden. Am Beispiel der Amaltheenton-Formation in Abb. 2 ist erkennbar, dass in Bayern die Schwarzjura-Gruppe der Amaltheenton-Formation übergeordnete Begriff („broader“) ist. Gleichzeitig ist die Amaltheenton-Formation ein spezifischerer Eintrag als die Schwarzjura-Gruppe in der Generallegende („narrower“), ebenso wie die Costatenkalk-Subformation ein spezifischerer Begriff unterhalb der Amaltheenton-Formation ist.

Weiterhin gibt es die assoziative Beziehung „related“, die nicht-hierarchisch und nicht-transitiv, aber ebenfalls symmetrisch ist. Sie kennzeichnet Begriffe, die in einer wie auch immer gearteten Beziehung zueinanderstehen.

Werden Beziehungen zwischen **verschiedenen** Thesauri, d.h. Konzept-Schemata gebildet, so sieht SKOS dafür die hierarchischen Eigenschaften *narrowMatch* bzw. *broadMatch* analog zu *narrower*

bzw. broader vor. Eine exakte Übereinstimmung von Begriffen zwischen zwei verschiedenen Konzept-Schemata wird durch die Eigenschaft `exactMatch` ausgedrückt, während eine ungefähre Übereinstimmung mit `closeMatch` beschrieben wird. Auch hier gibt es die assoziative Eigenschaft `relatedMatch`. In Abb. 2 erkennt man am Beispiel der Amaltheenton-Formation der bayerischen Generallegende, dass eine exakte Beziehung („`exactMatch`“) zur Amaltheenton-Formation der Generallegende in Baden-Württemberg sowie dem der ÜGL existiert. Ebenfalls wurde ein `exactMatch` zur Beschreibung der Amaltheenton-Formation in LithoLex verwendet.

SKOS sieht neben den Konzepten, ihren Bezeichnungen (Labels) und ihren Definitionen (u. U. auch in verschiedenen Sprachen mit entsprechenden Tags für die jeweilige Sprache) weiterhin optionale redaktionelle Anmerkungen vor. Für diesbezüglich umfassendere Erläuterungen wird auf den SKOS-Primer (W3C, 2009) verwiesen.

3. Harmonisierung der Kartenwerke

3.1. Fachliches Vorgehen und Workflow

Als Ausgangsdatensatz für die Harmonisierung standen die digitalen Datensätze der geologischen Detailkartenwerke von Baden-Württemberg und Bayern zur Verfügung:

Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:50.000 (GeoLa, auf Grundlage der GK25):

https://produkte.lgrb-bw.de/catalog/list/?wm_group_id=15113

Digitale Geologische Karte von Bayern 1:25.000 (dGK25):

https://www.lfu.bayern.de/geologie/geo_karten_schriften/dgk25_uab/index.htm

Beide Kartenwerke liegen flächendeckend vor und verfügen über eine Geologische Generallegende in Form hierarchischer Schlüssellisten.

Bei der Umsetzung der Harmonisierung stellte sich die Frage, auf welchem Weg diese am besten erreicht werden kann. Von vorneherein war klar, dass sich die verwendeten Legendeneinheiten nicht 1 : 1 übersetzen lassen, so dass eine semantische Verknüpfung der Einheiten erforderlich würde (Kriterien s. Kap. 3.4).

In einem ersten Bearbeitungsschritt des Projekts wurde versucht, die Harmonisierung der Länder-Generallegenden auf bilateralem Weg durch eine Zuordnung der Beziehungen der Einheiten der Länder-Generallegenden untereinander zu bewerkstelligen. Dieser Weg erwies sich als sehr komplex, da es 1 : n, n : 1 und n : m-Beziehungen gibt, die in der Praxis schwer zu handhaben sind. Insbesondere beim Hinzukommen weiterer Länder müssten die jeweiligen Beziehungen zwischen den Geologischen Generallegenden über mehrere Länder abgestimmt werden, was als nicht praktikabel erachtet wurde.

Als Alternative wurde eine Einigung auf eine etwas gröbere Aggregierungsstufe (etwa Maßstab 1:50.000) auf Formationsebene in Form einer ÜGL als größten gemeinsamen Nenner der Kartenwerke verfolgt. Die ÜGL ist wie die Länder-Generallegenden hierarchisch angelegt, so dass potentielle Aggregierungsansätze für die harmonisierten Kartenwerke direkt über die Hierarchiebäume der ÜGL realisiert werden können.

Für das Beispiel Baden-Württemberg und Bayern enthalten die Geologischen Generallegenden beider Länder jeweils bis zu 3000 Legendeneinheiten, während die ÜGL über ca. 860 Einheiten verfügt.

Workflow der Bearbeitung

Bei diesem Vorgehen ergibt sich ein relativ einfacher und robuster Workflow (Abb. 4):

1. Die Länder setzen ihre Geologischen Generallegenden separat voneinander um (im Regelfall als hierarchische Schlüssellisten, jedoch nicht zwingend)
2. Die Länder einigen sich auf den „größten gemeinsamen Nenner“, im Regelfall in der Formationsebene, als hierarchisch angelegte ÜGL
3. Die Länder mappen die Einheiten ihrer Geologischen Generallegenden auf die ÜGL in Form semantischer Beziehungen (i.d.R. 1 : 1- oder n : 1-Beziehungen)

Harmonisierte Karte

Für die Erstellung der harmonisierten Kartenwerke erhalten die Flächen der Länder-Kartenwerke eine Attribuierung mit den jeweils gemappten ÜGL-Einheiten. Damit können die Karten sowohl mit den spezifischen Ländersignaturen als auch in der Signatur der harmonisierten Karten auf Grundlage der ÜGL visualisiert werden. Für eine weitere Bearbeitung der ÜGL-Kartenwerke bietet sich ein Join auf die ÜGL-Einheiten an (siehe auch Kap. 4).

Aggregation der Kartenwerke

Auf Grundlage der ÜGL können Aggregationen einfach entlang der Hierarchie der ÜGL (Verwendung von Oberbegriffen in unterschiedlichen Hierarchien) umgesetzt werden (s. Kap. 5).

Hinzunahme weiterer Länder

Bei einer Hinzunahme weiterer Länder werden die Geologischen Länder-Generallegenden jeweils als zusätzliche, neue Projekte angelegt. Die ÜGL muss jeweils in Abstimmung mit den schon bearbeiteten Ländern um noch benötigte Einheiten erweitert werden. In der End-Ausbaustufe gäbe es damit für Deutschland 16 Geologische Länder-Generallegenden und eine deutschlandweite ÜGL.

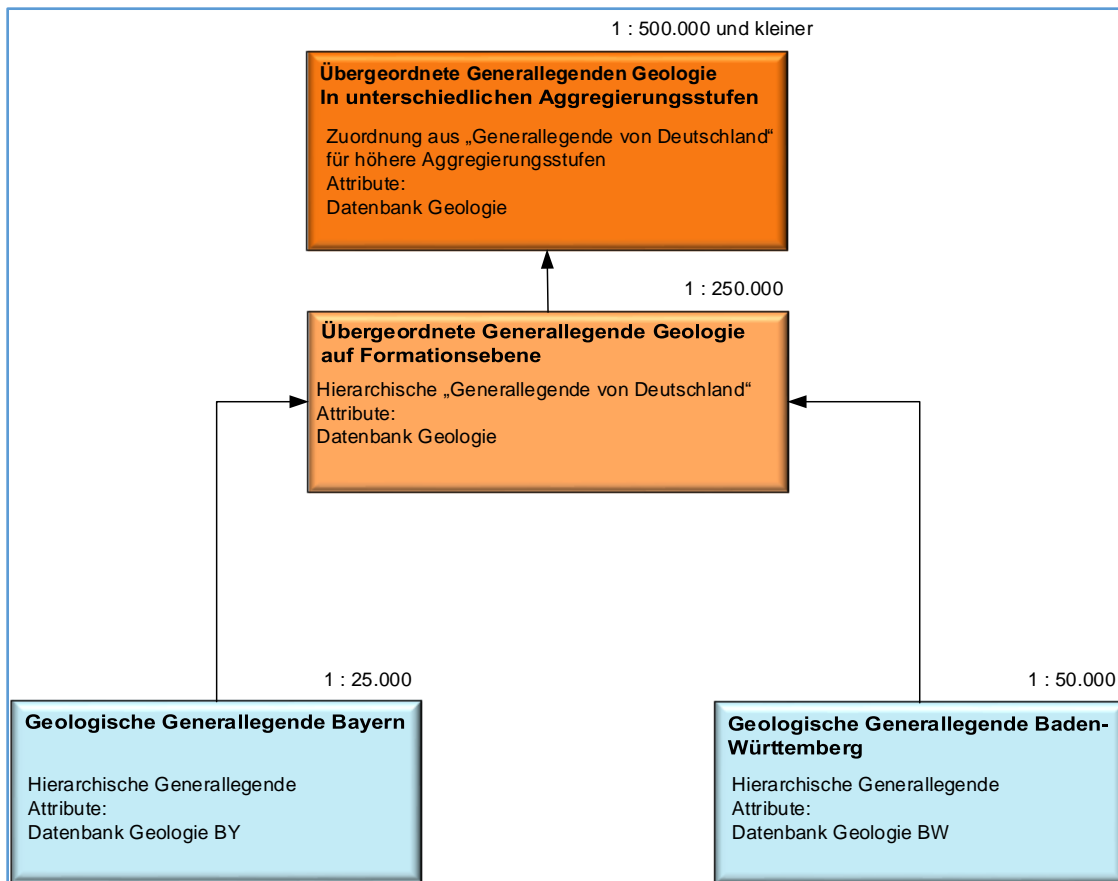


Abb. 4: Workflow der Harmonisierung der Länder-Generallegenden und Aggregation auf kleinere Maßstäbe anhand der Übergeordneten Generallegende Geologie.

3.2. Länderlegenden

Die Länderlegende der einzelnen SGD's stellen die Kerndaten zur Harmonisierung der Kartenwerke dar. In das PoolParty-System wurden alle Einheiten egal welchen Ranges aus den hierarchischen Schlüssellisten der Länder eingepflegt. Für die Kartendarstellung selbst sind Einheiten ab dem Formationsrang relevant. Priorität haben die definierten geologischen Einheiten, weitere Kartereinheiten (siehe unten), die zur vertieften Information auf der Karte beitragen, können zusätzlich berücksichtigt werden. Die Länderlegenden sollten vorwiegend lithostratigraphisch aufgebaut sein. Ab der Periode wird dann von der Lithostratigraphie zur Geochronologie gewechselt. Im Fall Baden-Württembergs gibt es Generallegendeneinheiten (GLE), die nicht zwingenderweise eine von der Deutschen Stratigraphischen Kommission verabschiedete Einheit darstellen. GLEs sind Geologische Einheiten, Teile oder Zusammenfassungen von Geologischen Einheiten, die auf Geologischen Karten zur Darstellung kommen (z. B. Hochmoor (GLE) als Teil der geologischen Einheit Junge Moorbildung oder Dolomit und zuckerkörniger Kalkstein im Unteren Massenkalk (GLE) als Teil der geologischen Einheit Unterer Massenkalk). In diesem Projekt wurden diese inoffiziellen Einheiten den klar definierten lithostratigraphischen Ländereinheiten untergestellt, sodass nur diese auf der harmonisierten Karte dargestellt werden.

Die bayerische Generallegende enthält neben Haupteinheiten, die zur Attribuierung von Flächen auf der dGK25 benötigt werden weitere Einträge wie z. B. Gliederungselemente und Geologische Einheiten, die nur für die Attribuierung von Bohrungen oder Profilen benötigt werden (Subformationen, Bänke, usw.). Ebenfalls enthalten sind sogenannte Varianten. Dabei handelt es sich um unterschiedliche lithologische Ausbildungen einer Geologischen Einheit (z. B. Kiese und Feinsedimente der Oberen Süßwassermolasse).

Kleinere Datensätze können direkt im Redaktionssystem von PoolParty eingetragen werden. Bei größeren Datenmengen, wie im vorliegenden Fall, ist diese Vorgehensweise fehleranfällig. Es empfiehlt sich stattdessen eine Import-Tabelle zu nutzen, in der Zuordnungsfehler leicht erkannt werden können (s. Kap. 2.2).

Die Tabelle benötigt zwei Bereiche. Den ersten für die hierarchische Zuordnung der jeweiligen Einheit (concept, siehe Abb. 5) und einen zweiten für näher beschreibende Informationen zu jeder Einheit. Im ersten Abschnitt der Tabelle werden die Einheiten nach ihren hierarchischen Beziehungen abgelegt. Die Eintragungen erfolgen treppenartig wie in Abb. 5 dargestellt. Man muss darauf achten, dass weder leere Spalten noch leere Zeilen entstehen, da diese beim Import in PoolParty Fehler erzeugen können.

concept	concept	concept	concept	concept	concept	concept
Trias						
	Keuper					
		Oberkeuper				
			Exter-Formation ("Rhätkeuper")			
				Oberkeuper-Tonsteine		
					Trileteston	
					Contortaton	
					Malschenberg-Tonstein	
				Oberkeuper-Sandsteine		
					Rhätolias-Grenzbonebed	
					Glimmersandstein (des Oberkeupers)	
					Contorta-Sandstein	Tübingen-Sandstein
					Malschenberg-Sandstein	
		Mittelkeuper				
			Arnstadt-Formation			
			Trossingen-Formation			

Abb. 5: Auszug aus der Import-Tabelle für die baden-württembergische Länderlegende mit der Darstellung der hierarchischen Beziehungen.

concept	concept	concept	notation	altLabel@de	hiddenLabel@de	hiddenLabel@de
			Fm		Rhätkeuper	Rhättsandstein
Oberkeuper-Tonsteine			SFm		Rhätton	
	Trileteston		Hor/FK		Grauer Rhätton	
	Contortaton		Hor/FK		Schwarzer Rhätton	
	Malschenberg-Tonstein		Hor/FK			
Oberkeuper-Sandsteine			SFm		Rhätquarzit	Rhättsandstein
	Rhätolias-Grenzbonebed		Bk/Lg		Grenzbonebed	
	Glimmersandstein (des Oberkeupers)		Hor/FK			
	Contorta-Sandstein		Hor			
		Tübingen-Sandstein	FK		Tübinger Rhättsandstein	Gelber Sandstein
	Malschenberg-Sandstein		Hor/FK		Malschenberger Rhättsandstein	Stromberg-Rhättsandstein
			UGr		Bunter Keuper	
			Fm		Steinmergelkeuper	
			Fm	Knollenmergel-Formation		
Mittelbronn-Schichten			SFm			
Knollenmergel			SFm		Coburg-Grupper	
	Großhöchberg-Kalkstein		Bk/Lg			
			Fm	Stubensandstein-Formation	Löwenstein-Formation	Coburg-Grupper
Oberer Stubensandstein			SFm			
	Ellenberg-Sandstein		Hor/FK	Stubensandstein 5	Feuerlettensandstein	

Abb. 6: Auszug aus der Import-Tabelle für die baden-württembergische Länderlegende mit der Darstellung weiterer beschreibender Angaben wie notation, altLabel und hiddenLabel.

In den zweiten Abschnitt werden die beschreibenden Informationen mit Hilfe von SKOS-Vokabularen eingetragen (s. Abb. 6). Hier wurden die beschreibenden Angaben *notation*, *scopeNote*, *prefLabel*, *altLabel*, *hiddenLabel* und *definition* verwendet. Jede Information bekommt eine eigene Spalte. Es können auch mehrere Spalten mit der gleichen Vokabel, insbesondere bei *altLabel* und *hiddenLabel*, angelegt werden.

Unter *notation* wird das Kürzel der Ländereinheit eingetragen. Die Spalte *scopeNote* beschreibt Anwendungshinweise, wie z.B. Rang oder Kartiereinheit. In die Spalte *prefLabel* wird die bevorzugte Ansprache der Einheit eingetragen. Bleibt dieses Feld leer, wird der Eintrag aus dem concept (die Bezeichnung der Ländereinheit aus dem ersten Abschnitt) automatisch eingesetzt. Alternative bzw. veraltete nicht-konforme Bezeichnungen für eine Einheit werden unter *altLabel* notiert (z.B. Lias bei der Einheit Unterjura). Bezeichnungen, die nicht angezeigt werden sollen, aber von Suchmaschinen benutzt werden können, werden unter *hiddenLabel* eingetragen. Hier können veraltete Begriffe oder

typische Rechtschreibfehler hinterlegt werden. Unter *definition* sollte eine kurze Beschreibung der Einheit erfolgen.

Jeder Einheit wird eine ganzzahlige ID zugeordnet. Weiterhin besitzt jede Einheit einen Sortierschlüssel. Für Einheiten, die nachträglich einsortiert werden müssen, kann eine Dezimalzahl benutzt werden. Inoffizielle Einheiten haben stattdessen in Baden-Württemberg einen Buchstaben erhalten, sodass diese Einheiten zwar hierarchisch einer lithostratigraphischen Ländereinheit unterstellt sind, aber nicht in Kartenanwendungen benutzt werden.

3.3. Übergeordnete Generallegende Geologie (ÜGL)

Die ÜGL stellt einen zentralen Punkt im Projekt dar. Auf diese Legende erfolgen die semantischen Verknüpfungen der länderspezifischen Einheiten (siehe auch Kap. 3.1). Mit Hilfe der ÜGL ist es möglich, Länderlegenden mit deutlich unterschiedlichem Umfang und Systematik zu harmonisieren. Die Gliederung der ÜGL, die vorwiegend lithostratigraphisch aufgebaut ist, sollte nach Möglichkeit bis zur Formationsebene reichen, d. h. sie beinhaltet auch Gruppen und Supergruppen. Um ein Minimum an neuen Einheitsbegriffen einzuführen, wurde als Grundlage für die meisten Abschnitte (Trias, Jura, usw.) auf die Gliederung der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland (STD 2016) zurückgegriffen. Für andere Abschnitte (Kristallines Grundgebirge, Tertiär, Quartär) wurde die ÜGL abweichend von der STD 2016 konzipiert, da ansonsten eine sinnvolle Verknüpfung mit den Länderlegenden nicht möglich gewesen wäre. Wenn keine von den Subkommissionen verabschiedeten lithostratigraphischen Einheiten vorlagen (z. B. für das süddeutsche Molassebecken) wurde auf die bestehenden und klar definierten informellen Einheiten zurückgegriffen. Diese stehen im Rang einer Formation (und höherrangig) zur Verfügung.

Als Sonderfall stellt sich die ÜGL im Abschnitt Quartär dar. Während die Geologische Generallegende von Baden-Württemberg auch hier einen weitgehend lithostratigraphischen Ansatz verfolgt, weist die bayerische Generallegende eine petrogenetische Gliederung ohne Formationsbegriffe auf. Da eine sinnvolle Verknüpfung der Länderlegenden auf eine einheitliche ÜGL nicht möglich ist, wurden in die ÜGL sowohl die Formationsbegriffe als auch vereinfachte bayerische petrogenetische Begriffe aufgenommen. In einigen Fällen war es möglich, einen gemeinsamen Begriff zu finden, da beispielsweise nur die Benennung der Ländereinheiten unterschiedlich ist (z.B. Anthropogene Bildung (BW) und Künstliche Bildung (BY)).

Die größte Gliederungsstufe wurde abweichend vom lithostratigraphischen Schema der ÜGL durch Periodenbegriffe (Trias, Jura, Kreide usw.) gegliedert, da ansonsten im Hinblick auf Generalisierungsprozesse in sehr kleinen Maßstäben kein sinnvolles Ergebnis erzielt werden kann. Bei periodenübergreifender Ablagerung (lithostratigraphische Einheiten, die über eine Periodengrenze hinwegreichen) wurden Übergangsbegriffe eingeführt. Dies trifft vor allem für die jüngere Erdgeschichte zu.

3.4. Kriterien für semantische Verknüpfungen geologischer Einheiten der Länderlegenden mit der Übergeordneten Generallegende Geologie (ÜGL)

Nach gegenseitiger Abstimmung über Inhalt und Aufbau der ÜGL wurden die beiden Länderlegenden mit dieser verknüpft. Für die jeweilige Verknüpfungsart wurden folgende Kriterien angewendet, wobei für die Wahl einer Verknüpfung nicht zwingend alle Kriterien erfüllt sein müssen:

1. „skos:exactMatch“

- Der Gesteinskörper in einem Bundesland entspricht demjenigen in der ÜGL hinsichtlich Bezeichnung und Ausbildung. Als Beispiel kann hierfür die Opalinuston-Formation angesehen werden. Sowohl in Bayern als auch in Baden-Württemberg ist die Gesteinseinheit identisch zu sehen mit der Eintragung in der ÜGL.

- Der Gesteinskörper in einem Bundesland entspricht demjenigen in der ÜGL hinsichtlich seiner Ausbildung, nicht jedoch in seiner Bezeichnung. Ein Beispiel hierfür ist die Trossingen-Formation des Keupers. Die Gesteine werden in Baden-Württemberg traditionell als Knollenmergel, in Bayern dagegen als Feuerletten bezeichnet. Letztendlich ist jedoch mit beiden Bezeichnungen die Trossingen-Formation gemeint.
- Im Idealfall sollte im Lithostratigraphischen Lexikon der BGR (LithoLex) ein Eintrag vorhanden sein, der der Bezeichnung aus der ÜGL entspricht und in dem sich die Begriffe aus den beiden Länderlegenden wiederfinden.
- Mit „exact“ verknüpfte Gesteinskörper sollten nach Möglichkeit einen identischen hierarchischen Rang aufweisen.

2. „skos:closeMatch“

- Mit dieser Verknüpfung wurden Gesteinskörper belegt, die eine ähnliche oder identische Genese bei unterschiedlichem Differenzierungsgrad aufweisen. Beispielsweise sind der „Schwemmlehm, pleistozän bis holozän“ oder die „Abschwemmmasse, pleistozän bis holozän“ der bayerischen Legende jeweils mit der ÜGL-Einheit „Verschwemmungssediment“ und dem Vokabular „close“ verknüpft worden.
- Eine weitere close-Verknüpfung erfolgte dort, wo Einheiten eines Bundeslandes aus Traditionsgründen eine geringfügig andere Definition als der Formationsbegriff der ÜGL aufweisen. Zum Beispiel wird die Hassberge-Formation etwas anders abgegrenzt als die bayerische Einheit „Blasensandstein i. w. S.“. Ähnliches gilt für Stuttgart-Formation und Schilfsandstein.

3. „skos:relatedMatch“

- Die Verknüpfung „related“ wurde dort gewählt, wo die Kartiereinheit eines Bundeslandes eine gewisse Ähnlichkeit oder Beziehung zur Einheit der ÜGL aufweist, diese Beziehung jedoch nur noch einen geringen Übereinstimmungsgrad beinhaltet. Häufig handelt es sich hierbei um fazielle Sonderausbildungen, die in der ÜGL unberücksichtigt blieben. Zum Beispiel wurden die Kartiereinheiten der Misch- und Moldanubischen Serie der bayerischen Oberen Süßwassermolasse related zur Hangendserie gesetzt, wobei nur letztere in der ÜGL aufgeführt wird.
- Die mit related verknüpften Gesteinskörper sollten wiederum annähernd gleiches Alter besitzen. Ein Beispiel hierfür ist der bayerische Legendeneintrag Unterkeuper. Dieser entspricht in etwa dem ÜGL-Eintrag der Erfurt-Formation im Hinblick auf sein Alter, die Lithologie ist jedoch aufgrund der Ablagerungssituation (bayerische Randfazies) deutlich abweichend.
- Eine abweichende Petrographie ist zulässig, z. B. Geröllinhalt von Schotterkörpern.

4. „skos:broadMatch“ und „skos:narrowMatch“

- Mit diesen beiden Begriffen wurden Verknüpfungen durchgeführt, bei denen der Begriff der ÜGL entweder weiter oder enger gefasst ist als die Begriffe der Länderlegenden. Da die ÜGL wesentlich weniger Begriffe beinhaltet, ist die Verknüpfungsart „broad“ (im Hinblick auf die Länderlegenden) die bei weitem am häufigsten verwendete.
- Als Sonderfall gelten kombinierte Einheiten, die vor allem in der bayerischen Geologischen Generallegende vorkommen. So wird beispielsweise die Einheit „Posidonienschiefer- und Jurensismergel-Formation“ auf manchen bayerischen Kartenblättern verwendet, da die einzelnen Einheiten zu geringmächtig für eine Kartendarstellung 1:25 000 sind. Diese kombinierte Einheit hat als „broad“-Pendant in der ÜGL zwangsläufig die „Schwarzjura-

Gruppe“. Das bedeutet, dass hier von einer Verknüpfung auf gleiche Hierarchiestufen abgewichen werden muss. Weiterhin kann die kombinierte Einheit mit „narrow“ zu ihren beiden Teilschichten in der ÜGL (Posidonienschiefer-Formation und Jurensismergel-Formation) verknüpft werden.

In den Arbeitsprozess zur Erstellung der ÜGL sowie zur Verknüpfung mit den Geologischen Länderlegenden flossen diverse Überlegungen mit ein. So wurde vereinbart, die Verknüpfungen nur mit Kartiereinheiten durchzuführen, die an der Oberfläche vorkommen. Etwaige, teils spekulative Kontakte im Untergrund wurden nicht berücksichtigt. Im Hinblick auf weiterführende Bearbeitungen, z. B. mittels 3D-Modellen sollte dieser Sachverhalt nochmals diskutiert werden. Ferner wurden (bisher) keine Verknüpfungen von Einheiten durchgeführt, die in Relation zueinander stehen, wenn sie nicht unmittelbar in Kontakt stehen. Beispielsweise könnte die Arzberg-Formation des Weißjura (in Bayern) mit der Lacunosamerigel-Formation (in Baden-Württemberg) mit „close“ oder „related“ verknüpft werden. Eine derartige Verknüpfung ist bisher nicht erfolgt, da es sich – auch nach STD 2016 (Menning, 2018) – um zwei eigenständige Gesteinskörper handelt (gleichalt, jedoch mit zwei LithoLex-Einträgen und abweichender Gesteinsausbildung). Soll der Pfad beschriftet werden, auch derartige Einheiten zu verknüpfen, so ist zu bedenken, dass unter Nichtberücksichtigung der hierarchischen Stufe sehr viele zusätzliche Verknüpfungen vorgenommen werden könnten (z. B. jede Formation des Weißjura mit „broad – narrow“ mit der „Weißjura-Gruppe“). Derartige Verknüpfungen sind jedoch bereits innerhalb der hierarchisch aufgebauten Länderlegenden hinterlegt und wurden deswegen im Rahmen des Projekts nicht berücksichtigt.

4. Kartendarstellung der Flächendaten und Signaturen

4.1. Flächendaten

Für die Darstellung des harmonisierten Kartenwerks wurden den Original-Geometrien der Geologischen Karte von Baden-Württemberg 1:50.000 (GeoLa) und der Digitalen Geologischen Karte von Bayern 1:25.000 (dGK25) die semantisch verknüpften Einheiten der ÜGL zugewiesen.

Hierzu wurde auf Basis der in PoolParty abgelegten Beziehungen für jedes Bundesland eine Tabelle erstellt, welche die Verknüpfung der ÜGL-Einheiten im GIS mittels Join an die Originaleinheiten ermöglichte.

Bei mehreren Verknüpfungen einer länderspezifischen Einheit zur ÜGL wurde für die Darstellung im GIS die jeweils „engste“ Beziehung berücksichtigt (in der Reihenfolge „skos:exact“ – „skos:close“ – „skos:related“ – „skos:broad“). Bei mehreren Beziehungen vom gleichen Typ wurde die jeweils erste Beziehung berücksichtigt.

Als Ergebnis ergibt sich ein Flächendatensatz aus Originalgeometrien der Länder, in dem jedes Objekt sowohl die länderspezifischen Attribute besitzt, als auch die Attribute der jeweils verknüpften ÜGL-Einheit mit der „engsten“ Beziehung (s. Abb. 7). Der Datensatz kann somit sowohl mit länderspezifischer Visualisierung dargestellt werden (s. Abb. 8), als auch mit (derzeit vorläufiger) Visualisierung nach ÜGL (s. Abb. 9).

Bei zukünftigen Aktualisierungen der Länder-Kartenwerke muss lediglich der Join zur Verknüpfung der ÜGL-Einheiten erneuert werden, um automatisch eine aktualisierte und konsistente Karte nach ÜGL zu erhalten.

Die harmonisierte Karte nach ÜGL ist als ConSent-Viewer (BGR, 2022) im Geoportal der BGR mit der derzeit vorläufigen Signaturengebung veröffentlicht. Künftig wäre es auch denkbar, dass die Bundesländer ihre Geologischen Karten in der ÜGL-Darstellung als eigene WMS-Dienste herausgeben, welche bei Bedarf periodisch aktualisiert werden können und welche, neben der

Darstellung im ConSent-Viewer, von den Nutzern wie einzelne Puzzle-Teile in ein GIS-Projekt geladen werden können.

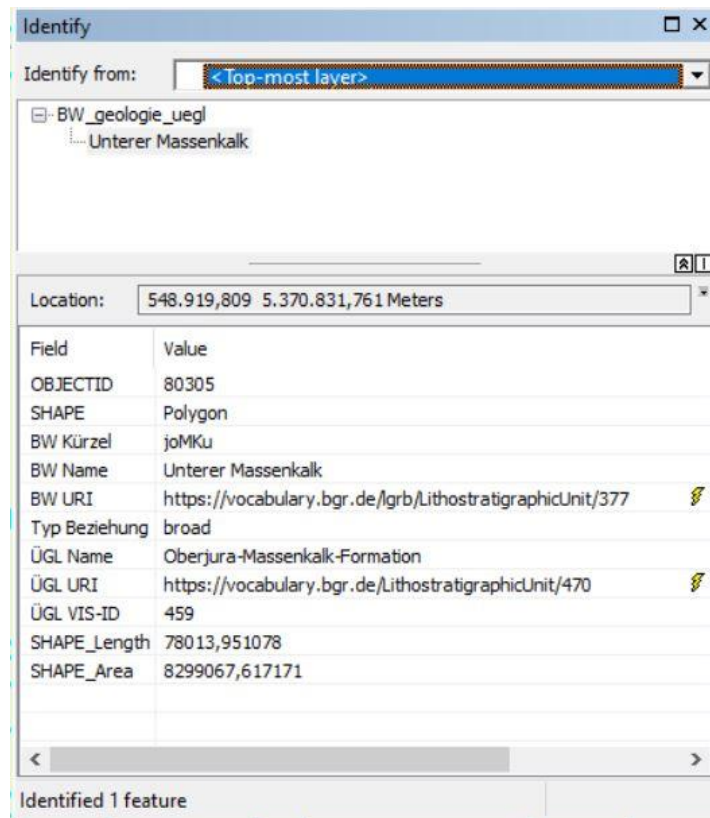


Abb. 7: Beispiel der Attribute einer Fläche des Unteren Massenkalks der Geologischen Karte von Baden-Württemberg 1:50.000 (GeoLa)

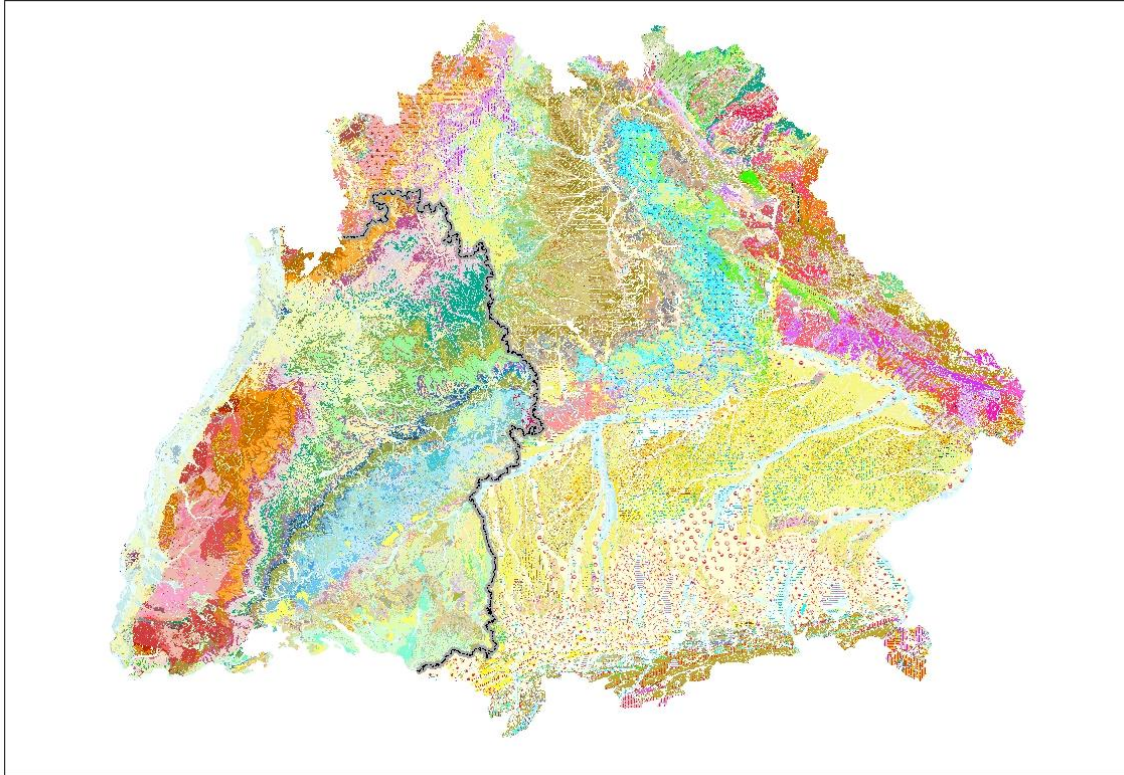


Abb. 8: Original-Geometrien der Geologischen Karte von Baden-Württemberg 1:50.000 (GeoLa) und der Digitalen Geologischen Karte von Bayern 1:25.000 (dGK25) mit länderspezifischer Visualisierung.

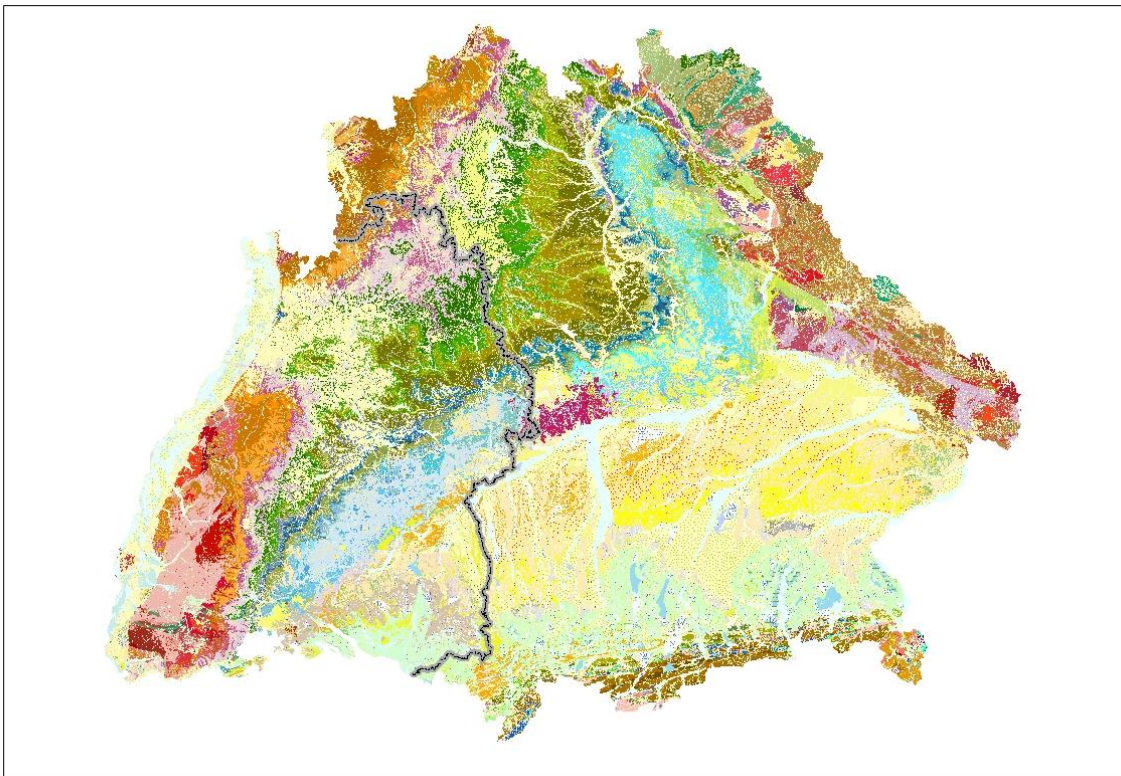


Abb. 9: Original-Geometrien der Geologischen Karte von Baden-Württemberg 1:50.000 (GeoLa) und der Digitalen Geologischen Karte von Bayern 1:25.000 (dGK25) mit vorläufiger Visualisierung nach ÜGL.

4.2. Signaturen

Im Projekt wurden für die Darstellung des harmonisierten Kartenwerks den Einheiten der ÜGL vorläufige Signaturen zugewiesen, welche sich an die länderspezifische Symbolisierung der Geologischen Karten von Baden-Württemberg und Bayern anlehnen. Für hierarchisch übergeordnete (chronostratigrafische) Einheiten wurden im Allgemeinen die in der „International Chronostratigraphic Chart“ der International Commission on Stratigraphy (ICS) etablierten Farben der Commission for the Geological Map of the World (CGMW) verwendet (International Commission on Stratigraphy, 2020). Der DK hat die AG Geologie mit der Erarbeitung eines Signaturenkatalogs für die ÜGL-Einheiten beauftragt.

4.3. Visualisierung des ConSent-Webdienstes im BGR-Kartenviewer

Für den ConSent-Viewer (BGR, 2020) konnten vorhandene Softwarepakete nachgenutzt werden und mussten nur in ihrer Konfiguration angepasst werden. Dabei wurden zunächst nur die grundlegenden Funktionen eines Kartenviewers wie Zoom und Pan, einstellbare Transparenz sowie die Feature-Abfragen implementiert. Um weiße Flächen bei kleinen Maßstäben zu vermeiden und Wartezeiten beim Aufbau der ÜGL-Karteninhalte zu überbrücken, wird bei kleinen Maßstäben zunächst die GK2000, beim weiteren Hineinzoomen dann sukzessive die GK1000, die GÜK250 und bei großen Maßstäben die nach der ÜGL vereinheitlichte Karte angezeigt (Abb. 10).

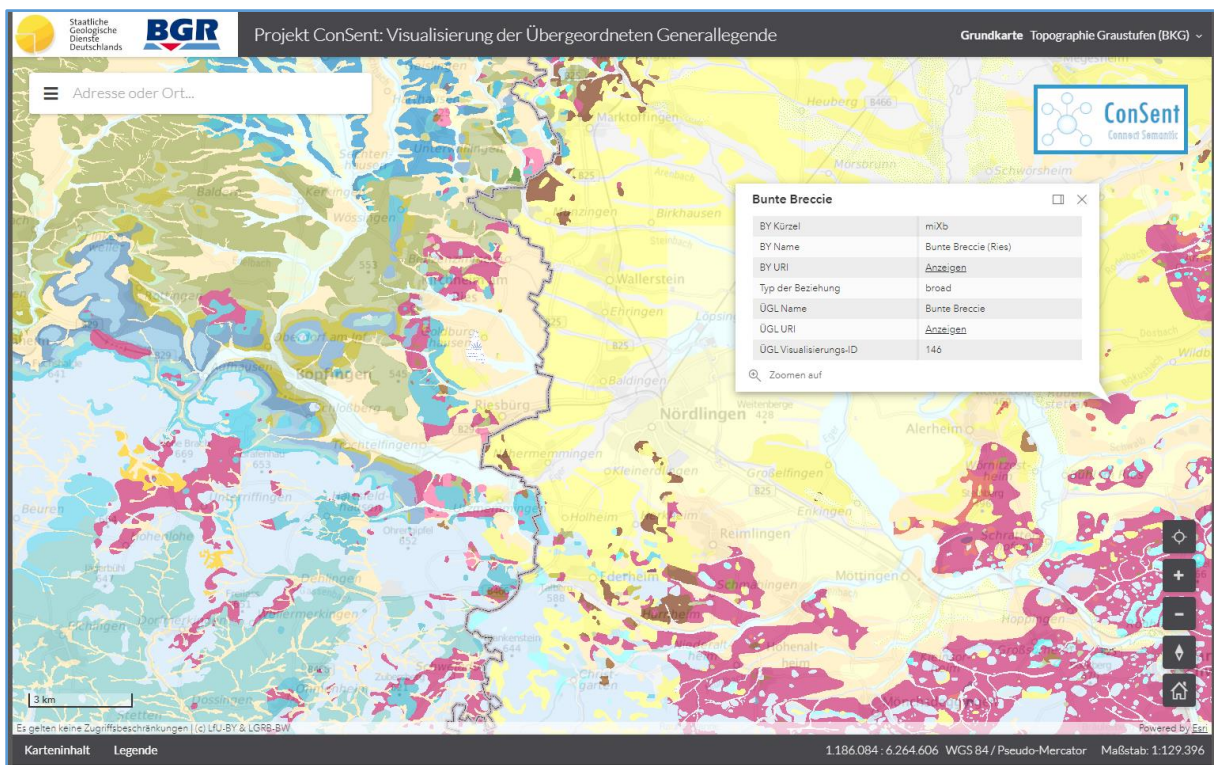


Abb. 10: ConSent-Kartenanwendung mit Themenkarten und FeatureInfo des Webdienstes (BGR, 2020).

5. Aggregation in kleinere Maßstabsebenen (AutoGen)

5.1. Beschreibung des Werkzeuges

Die harmonisierte Karte nach ÜGL diente als Ausgangsdatensatz für die Generalisierung in drei übergeordnete Maßstabsbereiche:

- 1 : 75.000 bis 1 : 150.000
- 1 : 150.000 bis 1 : 500.000
- 1 : 500.000 bis 1 : 1.000.000

Zu Testzwecken wurde die Generalisierung auf einen ca. 2100 km² großen, grenzüberschreitenden räumlichen Ausschnitt bei Wertheim am Main begrenzt. Die Generalisierung des BW-BY-Gesamtdatensatzes bleibt noch zu prüfen, sollte aber technisch realisierbar sein.

Als Generalisierungs-Tool kam das im LGRB erstellte Werkzeug **AutoGen** (Verfahren zur automatisierten Generalisierung flächenhafter Geofachdaten) zum Einsatz, das von Schuff (2019) im Rahmen einer Masterarbeit entwickelt wurde.

AutoGen ist ein Verfahren, das den Besonderheiten geologischer Daten für die Generalisierung Rechnung trägt. So werden neben flächenhaften Objekten auch die topologisch abhängigen, linienhaften tektonischen Strukturen im AutoGen-Prozess gesondert als invariante Bereiche berücksichtigt.

Dem Verfahren wurde ein hybrider Lösungsansatz zugrunde gelegt, bestehend aus vektorieller und rasterbasierter Verarbeitung: im ersten Teil des Gesamtprozesses werden die flächenhaften Objekte auf Vektorbasis aggregiert und mit Hilfe berechneter, geometrischer Kenn- und Distanzwerte anhand verschiedener Verfahren eliminiert bzw. aufgelöst. Erhaltenswerte Elemente unterliegen dabei der Typisierung hin zu linien- oder punkthaften Objekten. Diesem Ablauf vorausgesetzt ist eine inhaltlich hierarchische Struktur der Eingangsdaten, die eine semantische, modellbasierte Zusammenfassung ermöglicht und anhand einer datenspezifischen Attributanreicherung die Berücksichtigung weiterer thematischer Aspekte beinhaltet. Die entsprechende Zuordnungstabelle wurde im Rahmen des ConSent-Projektes, ausgehend von den ÜGL-Einheiten erzeugt.

Im zweiten Teil des Verfahrens werden die Geometrien der aggregierten Objekte im Rasterformat vereinfacht und geglättet. Als Kernfunktionalität wurde hierzu ein zellulärer Automat (CA) eingesetzt, der dem GIS-Werkzeug **GeoScaler** (Huot-Vezina et al., 2012) angelehnt ist. Der CA berechnet von einem Ausgangszustand der zuvor gerasterten geologischen Information im Originalmaßstab in einem iterativen Prozess einen gewünschten Endzustand im Zielmaßstab. Mit jeder Iteration werden die Zustände der Rasterzellen in Abhängigkeit ihrer Nachbarzellen neu berechnet, was zu einer geometrischen Vereinfachung und somit Generalisierung der Daten führt. Das Ergebnis dieses Teilschrittes wird final wieder in einen Vektordatensatz konvertiert. Die Bündelung aller Teilschritte zu einem automatischen, zentral steuerbaren Gesamtprozess erfolgte durch Implementierung mit der Software FME.

5.2. Ergebnisse

Der BW-BY länderübergreifende Testausschnitt (Abb. 11) mit einer Ausdehnung von ca. 48 km x 44 km (Fläche: ca. 2.112 km²) befindet sich in der Main-Tauber Region (TK-Blätter 6121 bis 6424) um Wertheim am Main und hat in etwa gleich große Flächenanteile von BY (nördlicher Teil) und BW (südlicher Teil).

In der Originalauflösung (1 : 25.000 bis 1 : 50.000) umfasst der Datensatz 8.960 Flächen sowie 2.187 tektonische Linienelemente. Für die tektonischen Linienelemente wurde für den bayerischen Teil die Daten dahingehend angereichert, dass für jede übergeordnete Maßstabsebene eine Filterung (Selektion) der jeweils relevanten Störungen anhand des Attributes „flag“ vorgenommen werden kann. Für die BW-GeoLa-Daten liegt der angereicherte Datensatz landesweit flächendeckend vor.



Abb. 11: Originaldaten mit BY- und BW-Anteil (Landesgrenze BY/BW als grau gestrichelte Linie).

Die Daten für die übergeordneten Maßstabsebenen werden grundsätzlich aus dem Originaldatensatz abgeleitet (Sternansatz), wobei für jede Generalisierungsstufe eine angepasste Parametrisierung zur Anwendung kommt. Diese nutzerdefinierten Parameter können vor dem Durchlauf des Prozesses individuell modifiziert werden. Folgende Parameter sind Bestandteil auf AutoGen-Steuerungsebene:

- Anzahl der Iterationen beim zellulären Automaten (CA)
- Berücksichtigte Anzahl der Nachbarzellen beim CA (Moor's Radius)
- Geometrische Maßzahlen zum Auflösen von kleinen oder schmalen Polygonen (sog. Kollabieren und Überführen von der Polygon- zu einer Linien- oder Punktgeometrie)
- Größe des invarianten Bereiches in räumlicher Nachbarschaft zu tektonischen Linienelementen
- Rasterzellengröße, in Abhängigkeit des Zielmaßstabs
- Auswahl, ob es sich um geologische Basis (bedrock)- oder Deckschichten (surficial)-Flächen handelt

Die aufgrund ihrer geometrischen Eigenschaften eliminierten Flächen (zu klein und/oder zu schmal) werden als Linien- oder Punkt-Objekte in separate Ausgabe-Layer gespeichert, die optional vom Nutzer hinzugeschaltet werden können (für die 3. Stufe, 1 : 500.000 bis 1 : 1 Mio, werden keine kollabierten Objekte erzeugt).

Abb. 12 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse der AutoGen-Generalisierung, in Verbindung mit statistischen Angaben u. Parametereinstellungen.

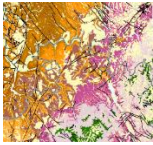
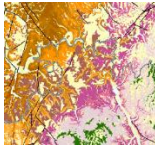
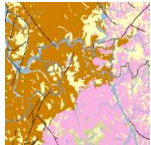
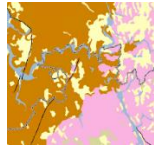
Generalisierungsstufe	Originaldaten	1	2	3
Abbildung				
Anzahl Polygone	8.690	4.235	633	170
Anzahl distinkter Einheiten	43	39	8	6
CA-Iterationen	-	50	30	15
CA-Rasterweite	-	10 m	25 m	50 m
Flächen-Mindestgröße	-	10.000 m ²	25.000 m ²	100.000 m ²
Designierter Maßstabsbereich	1 : 25.000 bis 1 : 50.000	1 : 75.000 bis 1 : 150.000	1 : 150.000 bis 1 : 500.000	1 : 500.000 bis 1 : 1 Mio

Abb. 12: Ergebnisse der Autogen-Generalisierung.

Die einzelnen Generalisierungsstufen sind in folgenden Abbildungen dargestellt (Abb. 13 bis Abb. 15).



Abb. 13: Erste Generalisierungsstufe; Maßstabsbereich 1 : 75.000 bis 1 : 150.000.

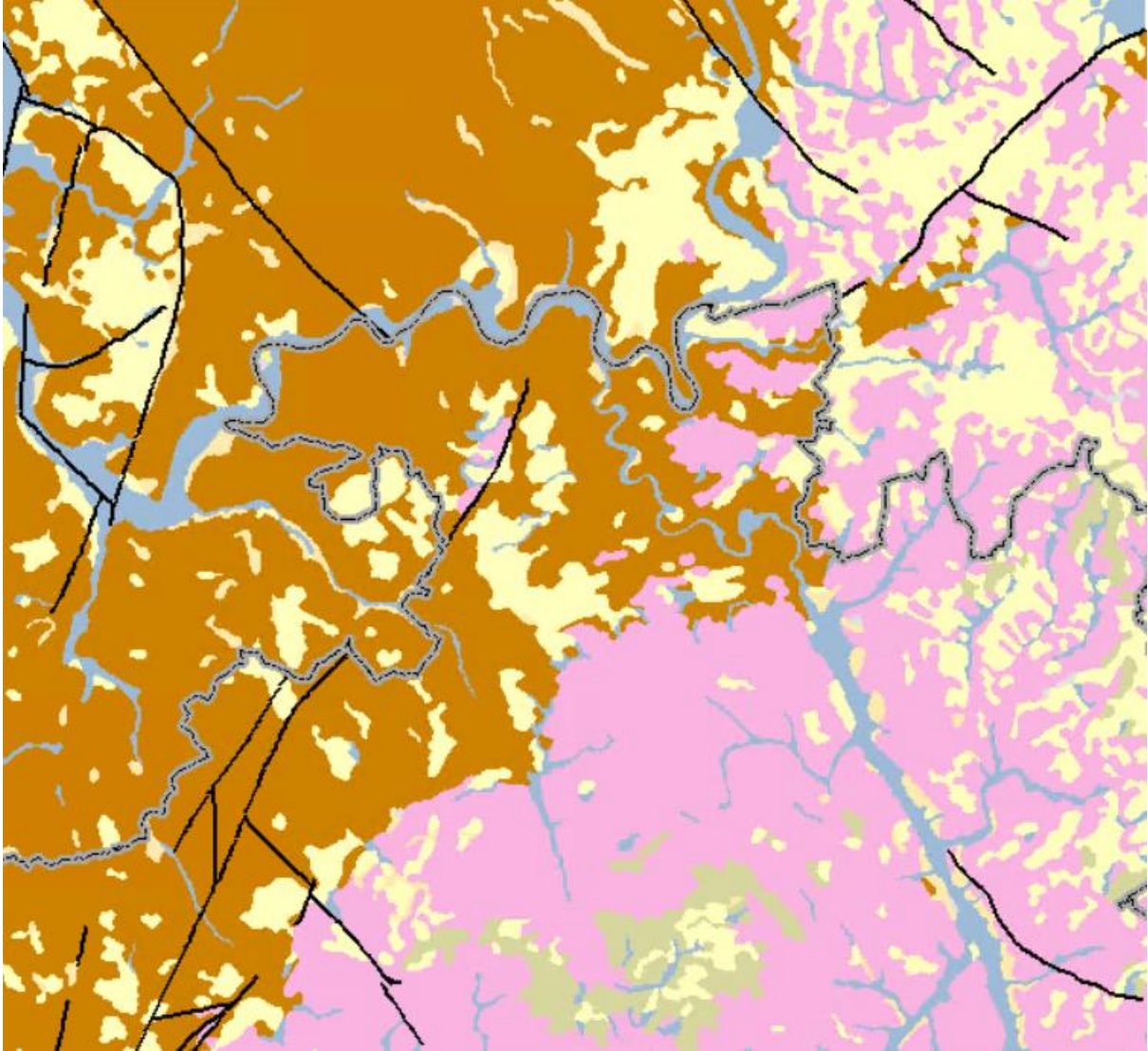


Abb. 14: Zweite Generalisierungsstufe; Maßstabsbereich 1 : 150.000 bis 1 : 500.000.

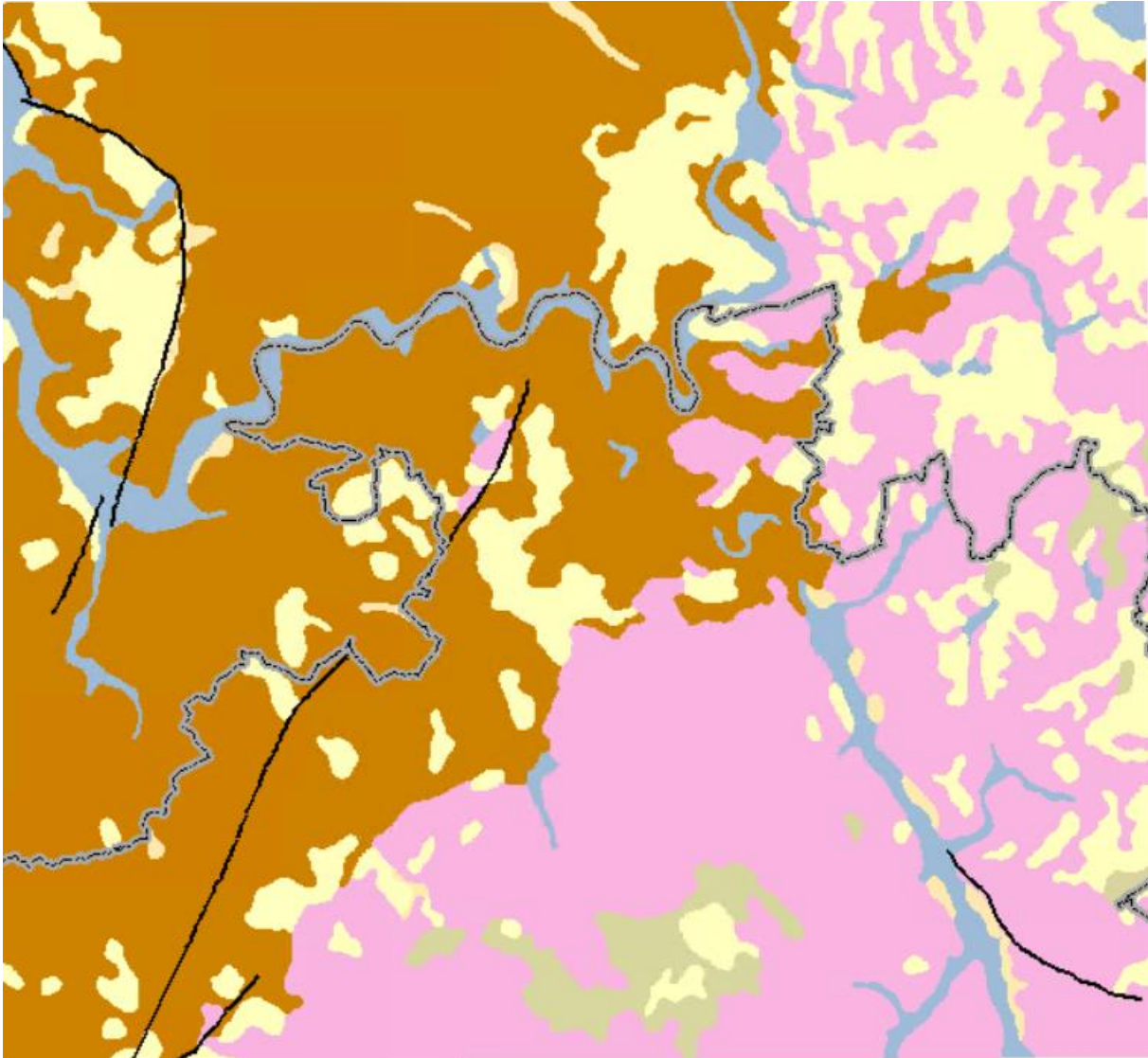


Abb. 15: Dritte Generalisierungsstufe; Maßstabsbereich 1 : 500.000 bis 1 : Mio.

5.3. Einsatzmöglichkeiten

Grundsätzlich sollte eine Generalisierung des Gesamtdatensatzes von Bayern und Baden-Württemberg mit dem Tool AutoGen möglich sein. Da die geometrischen und topologischen Anforderungen an die Qualität der Eingangsdaten für AutoGen hoch sind, müssen ggf. noch Korrekturen am BY-Anteil im Vorfeld vorgenommen werden. Kritisch könnte auch die Größe des Gesamtdatensatzes mit mehr als 610.000 Polygonen sein, so dass hier soft- und hardwareseitig noch nachgebessert werden müsste (mehrere FME-Engines; größerer Arbeitsspeicher; Aufteilung in Teilgebiete; etc.).

Für BW wurden mit AutoGen die landesweiten Geologiedatensätze der Übersichtsmaßstäbe aus den original GeoLa-Daten erzeugt (ca. 150.000 Polygone). Diese werden zeitnah die veralteten digitalen Datensätze der Übersichtskarten ersetzen und als amtliche Produkte des LGRB publiziert und vertrieben werden.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

6.1. Schlussfolgerungen

Im Projekt ConSent wurden die geologischen Detail-Kartenwerke der Länder Baden-Württemberg (GK50 GeoLa) und Bayern (dGK25) harmonisiert. Die Geologischen Generallegenden der Länder liegen als separate hierarchische Thesauri in PoolParty (gehostet bei BGR) vor. Jede Generallegendeneinheit verfügt über eine eigene URI, über die sie im Internet adressiert werden kann. Beide Generallegenden sind auf die gemeinsame ÜGL in Form eines ebenfalls maschinenlesbaren Thesaurus im PoolParty gemappt. Das Mapping erfolgt über eine Abbildung der Ähnlichkeitsbeziehungen mit RDF in SKOS.

Die ÜGL ist Grundlage für die Kartendarstellung des harmonisierten Kartenwerks in GIS-Systemen; die harmonisierte Karte wurde im GeoViewer der BGR mit einer vorläufigen Signaturengebung aufgenommen. Die Aggregation auf kleinere Kartenmaßstäbe wurde exemplarisch für ein länderübergreifendes Pilotgebiet im Schichtstufenland durchgeführt.

Als wesentliche Errungenschaften wurden im ConSent-Projekt erstmals digitale Detailkartenwerke der Länder in einem möglichst hohen Detailierungsgrad erfolgreich harmonisiert. Damit ist eine blattschnittfreie und maschinenlesbare Darstellung und Weiterverarbeitung der Daten für unterschiedliche Anwendungen möglich. Ein solcher Ansatz wurde bereits im One Geology Projekt verfolgt (OneGeology, 2022), allerdings in sehr kleinen Maßstäben.

Das Vorliegen der harmonisierten Karten im Detailmaßstab ermöglicht eine Vielzahl von länderübergreifenden Anwendungen: neben der Darstellung einer widerspruchsfreien blattschnittfreien Karte können länderübergreifend Auswerte- und Themenkarten zu verschiedenen Fachthemen schnell, quasi auf Knopfdruck, erstellt werden (z.B. Karten zur Geothermie, Hydrogeologie, Ingenieurgeologie etc.). Weiterhin kann das gemeinsame Begriffsinventar der ÜGL verwendet werden, um lithostratigraphische Bohransprachen unterschiedlicher Länder anhand des Mappings auf der ÜGL-Ebene zu harmonisieren. Ebenso kann die ÜGL genutzt werden, um 3D-Modelle der Länder zu harmonisieren. **Damit hat der hier aufgezeigte Ansatz das Potential, in allen Bereichen geologischer Begriffswelten Daten zu harmonisieren und so länderübergreifend – auch automatisiert – interpretierbar zu machen.**

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die **Möglichkeit der automatisierten Erstellung länderübergreifender Übersichtskartenwerke** in unterschiedlichen Maßstäben direkt aus den Kartenwerken der Länder (mit dem Tool AutoGen in drei Aggregierungsstufen), wie z.B. GÜK250, GK500, GK1000. Wesentliche Vorteile sind hier eine inhaltliche Integrität und einfache Aktualisierbarkeit der Datensätze.

6.2. Ausblick

Der gegenwärtig erreichte Meilenstein im ConSent-Projekt zeigt, dass durch die Erstellung einer ÜGL auf Formationsebene zunächst für Süddeutschland eine Harmonisierung der großmaßstäbigen Karten möglich ist. Eine Ausweitung auf weitere Bundesländer hängt von der Verfügbarkeit deren Geologischer Generallegenden ab. In einigen weiteren SGD existieren solche Generallegenden bereits, in anderen zumindest teilweise, so dass diesbezüglich noch einiges an Vorarbeiten zu leisten ist.

Der DK hat in seiner Herbstsitzung 2022 eine Beteiligung der weiteren SGD am Projekt ConSent befürwortet. Geologische Generallegenden weiterer Bundesländer, die sich am ConSent-Projekt beteiligen werden, können durch einen Excel-Import leicht in PoolParty hinzugefügt werden. Formationsbegriffe, die in der ÜGL dann noch fehlen, müssen ergänzt und mit den Begriffen der

hinzugekommenen Generallegenden verknüpft werden. Mit der Koordination der Weiterentwicklung der ÜGL und Erarbeitung der Grundlagen für die kartographische Umsetzung wurde die AG Geologie beauftragt.

In der Vergangenheit wurde bei der Neukonzeption der LithoLex-Anwendung der Wunsch geäußert, die in LithoLex vorhandenen Formationen in einer Kartenanwendung sichtbar zu machen. Eine Anbindung von LithoLex an den ConSent-Viewer wäre mit wenig Aufwand leistbar, da es sich um ein standardisiertes Vokabular handelt, das mit den Kartendaten übereinstimmt.

Im AK 3D erarbeiten zurzeit Mitglieder der SGD die GIS-Attribute für Störungsdaten in Deutschland, um diese dann deutschlandweit zusammenzuführen. Ähnlich wie im GeoERA-Projekt HIKE durch die GBA Wien können diese Informationen in die PoolParty-Instanz bei der BGR eingelesen, die GIS-Attribute der Verwerfungen um die Links zum Störungsthesaurus ergänzt und über die ConSent-Kartenanwendung zusammen mit den geologischen Einheiten visualisiert werden. Umgekehrt kann durch Auswahl eines Eintrages im Störungsthesaurus auch die Lage der Störung zugleich mit der Geologie im Viewer angezeigt werden.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ist die Anzeige von Bohrungen in der Kartenanwendung – beispielsweise mittels Filterung auf gesuchte geologische Begriffe – vor dem Hintergrund der großmaßstäbigen geologischen Karte, indem die bei den Ländern vorhandenen WFS-Dienste zu den nach BoreholeML transformierten Bohrungsinformationen abgefragt werden.

Die BGR plant außerdem den Aufbau eines Rohstoffthesaurus für Deutschland, der in PoolParty eingepflegt werden soll. Dabei sind ebenfalls Synergieeffekte mit der gegenwärtigen Kartenanwendung denkbar, wenn Verknüpfungen der Rohstoffbegriffe mit den geologischen Einheiten vorgenommen werden.

7. Literatur

7.1. Veröffentlichungen

Huot-Vézina, G., Boivin, R., Smirnov, A. & Paradis S. J. 2012. *GeoScaler: Generalization tool (with a supplementary user guide in French)*. Geological Survey of Canada, Open File 6231, 2nd Edition.

Menning, M. 2018. *Die Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2016 (STD 2016). The Stratigraphic Table of Germany 2016 (STG 2016)*. - Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 169, 2, 105-128. <https://doi.org/10.1127/zdgg/2018/0161>

Schuff, J. 2019. *Verfahren zur automatisierten Generalisierung flächenhafter Geofachdaten*. Von <http://unigis.sbg.ac.at/files/Masterthesen/Full/104640.pdf> zuletzt am 16.11.2022 abgerufen

7.2. Webseiten

BGR (2022). *ConSent-Kartenanwendung*.

Webanwendung: <https://consent.bgr.de>

DSK (2021). *Lithostratigraphisches Lexikon (LithoLex)*.

Von <http://www.stratigraphie.de/LithoLex/index.html> zuletzt am 16.11.2022 abgerufen,

Webanwendung: <https://litholex.bgr.de>

DublinCore (2020). *DCMI Metadata Terms*.

Von <https://www.dublincore.org/specifications/dublin-core/dcmi-terms> zuletzt am 16.11.2022 abgerufen

International Commission on Stratigraphy (2020). *International Chronostratigraphic Chart*.

Von <https://stratigraphy.org/timescale/> zuletzt am 16.11.2022 abgerufen

OneGeology (2022): *OneGeology: Providing geoscience Data globally*.
Von Webseite <https://onegeology.org/> zuletzt am 16.11.2022 abgerufen,
Kartenanwendung: <https://portal.onegeology.org/OnegeologyGlobal>

Tim Berners-Lee (2015). *5 * Offene Daten*.
Von <https://5stardata.info/de/> zuletzt am 16.11.2022 abgerufen

W3C (2009). *SKOS Simple Knowledge Organization System Primer*.
Von <https://www.w3.org/TR/skos-primer/> zuletzt am 16.11.2022 abgerufen

W3C (2015). *Semantic Web*.
Von <https://www.w3.org/standards/semanticweb> zuletzt am 16.11.2022 abgerufen

W3C (2017). *Data on the Web Best Practices*.
Von <https://www.w3.org/TR/dwbp> zuletzt am 16.11.2022 abgerufen