

GEODATENMODELLE GRUNDWASSER

HYDROGEOLOGISCHE GRUNDLAGEN DES BUNDES ZU BASISDATENSÄTZEN NACH GeoIG UND GeoIV

Das Geoinformationsgesetz GeoIG definiert Anforderungen für die Erstellung minimaler Datenmodelle zu Geobasisdatensätzen der Schweiz. Für den Bereich Grundwasser liegen diese mittlerweile vollständig vor. Sie dienen der Erfassung, Haltung und Nutzung hydrogeologischer Daten und können beispielsweise als Grundlage für Arbeiten im Zusammenhang mit Grundwasserschutz und Trinkwasserversorgung sowie für Raumdatenkonzepte unterschiedlichen Massstabs herangezogen werden.

*Michael Sinreich, Schweizerische Gesellschaft für Hydrogeologie SGH
Andreas Baumeler, Digikarto, Zürich*

RÉSUMÉ

MODÈLES DE GÉODONNÉES DANS LE DOMAINE DE L'EAU SOUTERRAINE

La loi sur la géoinformation (LGéo) définit les exigences pour la création de modèles minimaux pour les géodonnées de base de la Suisse. Ceux-ci sont désormais disponibles en intégralité pour les eaux souterraines. Ils fixent une structure de données contraignante à l'échelle nationale pour la modélisation d'un sujet spécifique en définissant des objets, leurs propriétés et relations ainsi que la représentation graphique des classes d'objets.

Les modèles minimaux de géodonnées en lien avec les ressources d'eaux souterraines, la protection et l'utilisation des eaux souterraines, les cartes hydrogéologiques et l'observation des eaux souterraines sont présentés. Ils décrivent à chaque fois le noyau commun d'un jeu de géodonnées, qui sert de base à l'optimisation de leur échange et sur lesquels des modèles de données étendus peuvent être établis. Ils permettent une acquisition, un enregistrement et une utilisation uniformes des données hydrogéologiques et peuvent servir de base à des concepts de géodonnées à différentes échelles. Ils contribuent ainsi à l'harmonisation et à la numérisation des bases hydrogéologiques de la Confédération, des cantons et au-delà.

AUSGANGSLAGE

GESETZLICHE ANFORDERUNGEN

Das Bundesgesetz über Geoinformation (GeoIG, SR 510.62) legt auf nationaler Ebene verbindliche Standards für die Modellierung, die Erfassung und den Austausch von Geodaten des Bundes fest, insbesondere von Geobasisdaten des Bundesrechts. Letztere sind in der Verordnung über Geoinformationen (GeoIV, SR 510.620) im Katalog des Anhangs 1 aufgeführt. Minimale Geodatenmodelle (MGDM) beschreiben den gemeinsamen Kern eines oder mehrerer Datenmodelle (Ebene Bund). Sie definieren, welche Informationen einer bestimmten Thematik von den Datenerstellern erhoben und veröffentlicht werden müssen. Auf Basis des MGDM können Daten schweizweit einheitlich ausgetauscht werden. Für die Datenersteller sind MGDM als externes Transfermodell verbindlich. Bei Bedarf können darauf aufbauend auch erweiterte Datenmodelle erstellt werden (Ebene Kanton oder Gemeinde). Es ist freigestellt, dabei in die Datenmodelle zusätzliche Informationen zu integrieren.

ZUSTÄNDIGKEITEN

Die zuständige Fachstelle für die Geobasisdatensätze des Bundes im Bereich der Umwelt ist nach GeoIV das Bundesamt für Um-

Kontakt: michael.sinreich@hydrogeo.ch

welt BAFU. Laut Landesgeologieverordnung (LGeoV, SR 510.624) ist das BAFU zudem die zuständige Fachstelle für die hydrogeologischen Aufgaben der Landesgeologie, u. a. mit dem Auftrag, zu Vorkommen und Beschaffenheit von Grundwassergebieten Daten und Informationen von nationalem Interesse bereitzustellen. Soweit der Vollzug der jeweiligen Bestimmungen bei den Kantonen liegt, wurden Arbeiten zu den MGDM eng zwischen Vertretern des Bundes und der Kantone abgestimmt. Dies erfolgte im Rahmen einer sogenannten Fachinformationsgemeinschaft (FIG). Im vorliegenden Fall ist die subFIG «Grundwasser und Trinkwasserversorgung» zuständig, über welche diverse institutionelle Fachstellen (u. a. KGK, Konferenz der kantonalen Geoinformations- und Katasterstellen, sowie seitens Bund KOGIS, Koordination, Geo-Information und Services) und privatwirtschaftliche Spezialisten eingebunden sind.

DATENMODELLE

Bei Geodaten, auch Raumdaten genannt, handelt es sich um die einheitliche Zusammenstellung von Information zu Objekten mit Verortung in einem räumlichen Referenzsystem. Geometrisch sind dies Punkt-, Linien- oder Flächenobjekte. Die Beschreibung der einzelnen Objekte sowie deren Eigenschaften und Beziehungen zueinander werden durch die Struktur des Datenmodells definiert. Ein Datenmodell ist somit die formale Beschreibung eines Fachthemas. Die genaue Vorgabe der Datenstruktur gewährleistet dabei die Datenkonsistenz.

Im jeweiligen MGDM wird für die visuelle Ausgabe der Daten auch ein Darstellungsmodell (Symbolisierung) vorgegeben. So handelt es sich bei der klassischen Kartenlegende mit der Auflistung von Objektarten und deren Symbolisierung im Grunde um nichts anderes als eine graphische Darstellung eines implizierten Datenmodells.

MGDM werden so gestaltet, dass ein optimaler Datenaustausch zwischen den verschiedenen Stellen möglich wird und dass sie die im Rahmen der Nationalen Geodaten-Infrastruktur (NGDI) angestrebte Datenharmonisierung unterstützen. Die langfristige Kompatibilität wird über die einheitliche Beschreibungssprache Interlis sichergestellt, die für die Schweiz in der GeoIV verankert ist.

KARTENWERKE

Geodaten werden zunächst als digitale Datensätze (Listen, GIS-Datenbank) gehalten. Daraus können in einem späteren Schritt Karten generiert und mitunter als Druckprodukte ausgegeben werden. Somit sind Datenmodelle die Grundlage vieler Kartendarstellungen. In der Hydrogeologie beschreiben sie auf verschiedenste Art und Weise das Vorkommen, die Eigenschaften und Wechselwirkungen von Wasser im Untergrund. Damit unterstützen sie das Verständnis der natürlichen Prozesse und die Planung gesellschaftlich relevanter Massnahmen.

Zu diesem Zweck wurden in der Schweiz in den letzten Jahrzehnten mehrere Datensätze in unterschiedlichen Massstabebereichen erstellt [1–8] (Fig. 1):

- Hydrogeologische Karte der Schweiz: Grundwasservorkommen 1:500 000 (Bund: schweizweite Erfassung)
- Hydrogeologische Karte der Schweiz: Vulnerabilität der Grundwasservorkommen 1:500 000 (Bund: schweizweite Erfassung)
- Grundwasserkörper der Schweiz 1:500 000 (Bund: schweizweite Abdeckung)

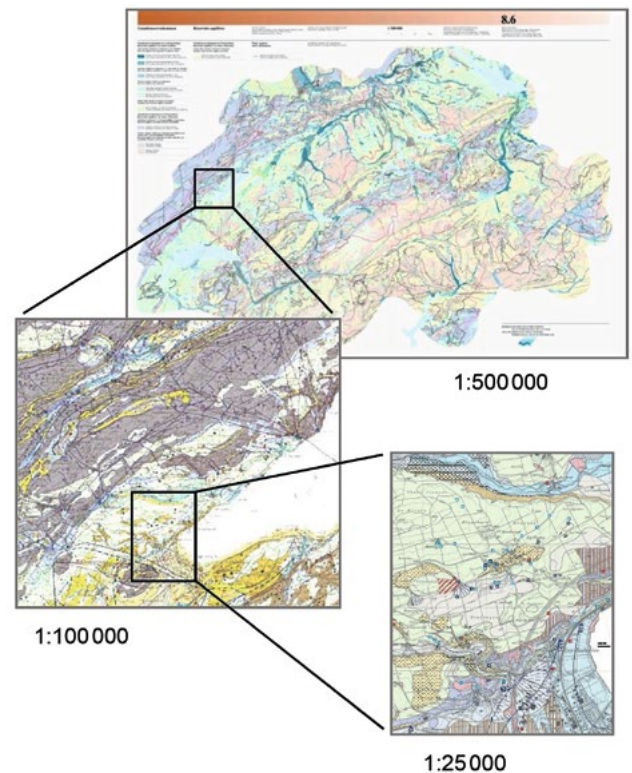


Fig. 1 Drei hydrogeologische Kartenwerke unterschiedlichen Massstabs und mit entsprechend angepasstem Objektinhalt [3, 7, 8]. Jede Karte hat einen eigenen Gültigkeitsbereich und richtet sich an spezifische Nutzer.

DEFINITIONEN

Datenmodell

Formale Beschreibung der Daten eines Fachbereiches über die Definition von Objekten samt deren Eigenschaften und Beziehungen untereinander.

Minimales Datenmodell

Gemeinsamer Mindestumfang eines Datenmodells, dessen Satz von Daten individuell erweitert werden kann.

Darstellungsmodell

Symbolisierung für die visuelle Ausgabe der Daten basierend auf der Klassierung einer oder mehrerer ausgewählter Eigenschaften der Objekte.

Geodatenmodell

Datenmodell zur strukturiertem Auflistung von Geodaten, d. h. von Objekten in einem räumlichen Referenzsystem (Koordinaten).

Minimale Geodatenmodelle (MGDM)

Datenmodelle zu den Geobasisdatensätzen der Schweiz. MGDM definieren, welche Informationen einer bestimmten Thematik in welchem Format veröffentlicht werden müssen. Sie ermöglichen einen optimalen Datenaustausch und unterstützen die angestrebte Datenharmonisierung.

- Hydrogeologische Karte 1:100 000 (Bund: Erfassung Mittelland, Jura, Voralpen)
- Gewässerschutzkarten 1:25 000 (Kantone: Erfassung Kantonsgebiet; Bund: schweizweite Vereinheitlichung)
- Hydrogeologischer Atlas 1:25 000 (Bund: Machbarkeitsstudie)
- Grundwasserkarten 1:5000 (Kantone: Erfassung Kantonsgebiet)

MINIMALE GEODATENMODELLE

ÜBERBLICK

Grundlage für die Erstellung der MGDM ist die Einstufung als Geobasisdaten gemäss Katalog-Einträgen der GeoIV (siehe auch <https://geobasisdaten.ch>). Die dort aufgeführten Identifikatoren liefern den Bezug zu konkreten Rechtsquellen, hier insbesondere zur Fachgesetzgebung gemäss Gewässerschutzgesetz (GSchG, SR 814.20), Gewässerschutzverordnung (GSchV, SR 814.201) und Verordnung über die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in schweren Mangellagen (VTM, SR 531.32). Den Identifikatoren sind meist reale Datensätze hinterlegt; diese werden mit einer Unternummerierung in der GeoIV

aufgeführt (z. B. technischer Datensatz 139.1 Grundwasservorkommen). Einzelne MGDM können über die Identifikatoren miteinander in Beziehung stehen.

Die Figuren 2 und 3 verdeutlichen die generelle Strukturierung von Geodatenmodellen in Objektklassen und deren klassierte Eigenschaften am Beispiel zweier MGDM. Das jeweilige MGDM legt die spezifischen Objektklassen und Attribute fest, und inwieweit diese erforderlich oder optional zu erheben sind.

Die Erstellung von MGDM und entsprechender Modelldokumentationen für die definierten Geobasisdatensätze im Themenbereich Grundwasser ist vorerst abgeschlossen. Überarbeitungen erfolgen allenfalls aufgrund neuer technischer oder Informationsbedürfnisse sowie im Falle einer Revision von Rechtsgrundlagen. Im Folgenden werden die MGDM – thematisch zusammengefasst und mit entsprechendem Identifikator (ID) – jeweils inhaltlich kurz beschrieben.

GRUNDWASSERRESSOURCE

Grundwasser ist in der Schweiz nahezu überall vorhanden und mit einem Gesamtvolumen von etwa 150 km³ die

grösste Wasserressource des Landes [9]. Über 80% des schweizerischen Trinkwassers stammt aus Grundwasser, etwa je hälftig aus Quelfassungen und aus Pumpbrunnen. Grundwasservorkommen können auf unterschiedliche Weise charakterisiert und dargestellt werden (Grundwasserleitertyp, Durchlässigkeit des Aquifers, Ergiebigkeit, Volumen etc.). Wichtige Eingangsparameter sind die natürliche und künstliche Neubildung oder – auch als Element des präventiven Grundwasserschutzes – die Anfälligkeit gegenüber Schadstoffeintrag (Vulnerabilität) [10]. Eine Bilanzierung der natürlichen Austritte sowie der Entnahme an Grundwasserfassungen ist die Grundlage einer nachhaltigen Nutzung für Trink- und Brauchwasser [11].

Grundwasservorkommen (ID 139.1)

Das MGDM beschreibt die Grundwasservorkommen in Locker- und Festgesteinen (Fig. 2). Die Flächenobjekte zeigen deren räumliche Ausdehnung als diskretes, kartographisches Abbild. Das Modell enthält für Lockergestein auch Tiefeninformationen mit Angaben zur Grundwassermächtigkeit oder zum Stockwerksbau. Weitere Objektklassen sind Isohypsen zur Beschreibung der Fliessverhältnisse, das Vorhandensein von Deckschichten oder der Verlauf von Quellhorizonten (siehe auch Fig. 6). In der Modellierung werden die Vorkommen in Festgesteinen optional berücksichtigt.

Grundwasseraustritte, -fassungen, -anreicherungsanlagen (ID 141.1)

Das MGDM beschreibt die gefassten und ungefassten Quellen, Grundwasserbrunnen, linien- und flächenhafte Grundwasseraustritte sowie Grundwasseranreicherungsanlagen (Fig. 3). Es ist vorrangig auf Nutzungsaspekte ausgelegt, sodass bei einzelnen Objekten spezifische Angaben zur Art der Fassung und zur Verwendung des gefassten Wassers erfolgen (Trinkwasser, Brauchwasser etc.). Quellabflüsse oder Pumpratzen sind jedoch nicht Teil des Modells. Es ist so gestaltet, dass sich daraus direkt die kartographischen Repräsentationen zur Erzeugung der Gewässerschutzkarte und der Grundwasserkarte sowie des Wasserversorgungsatlas ableiten lassen.

GRUNDWASSERSCHUTZ UND -NUTZUNG

Die Fachgesetzgebung im Bereich Grund- und Trinkwasser ist in zahlreichen Voll-

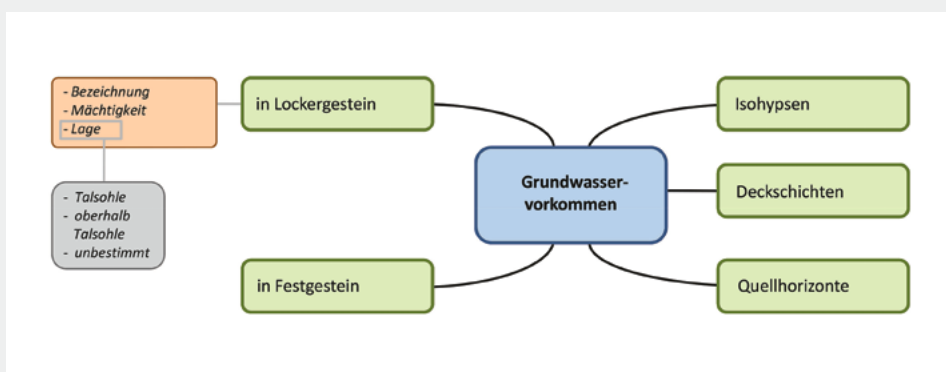


Fig. 2 Beziehung von Objekten und deren Eigenschaften am Beispiel des MGDM 139.1. Datenmodell (blau), Objektklassen (grün) sowie beispielhaft für die Objektklasse «Grundwasservorkommen in Lockergestein» Auflistung der Attribute (orange) mit entsprechender Klassierung (grau) für das Attribut «Lage».

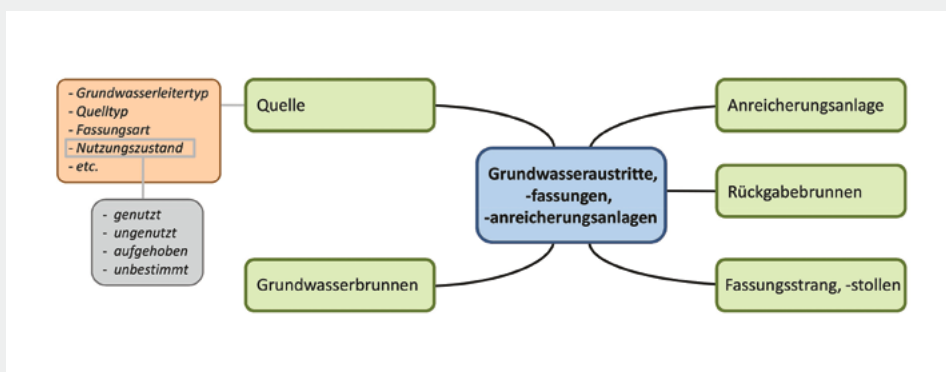


Fig. 3 Struktur des MGDM 141.1 mit Objektklassen, Auflistung von (teils optionalen) Attributen für die Objektklasse «Quelle» und Klassierung für das Attribut «Nutzungszustand».

zugshilfen konkretisiert. Stellvertretend für die verschiedenen Praxishilfen zum planerischen Grundwasserschutz sei hier die «Wegleitung Grundwasserschutz» [12] erwähnt.

Grundwasserschutzzonen, -areale und
Gewässerschutzbereiche (ID 131, 132, 130)

Beim diesem Modell handelt es sich im Sinne des GeoIG um ein rein konzeptionelles Datenmodell. Es beschreibt aus fachlicher Sicht und insbesondere aus Sicht des Bundes die Elemente des planerischen Gewässerschutzes, deren Struktur und deren Beziehungen untereinander. Dies gilt insbesondere für die Grundwasserschutzzonen (S1, S2, S_n, S3, S_m), den Gewässerschutzbereich (A_u) sowie den Zuströmbereich (Z_u). Das MGDm gibt vor, wie die Daten bereitzustellen und auszutauschen sind, um dem GeoIG und letztlich der Fachgesetzgebung zu entsprechen.

Die Wegleitung Grundwasserschutz deckt alle im Modell vorkommenden Elemente ab und beschreibt deren Ziel und Zweck. Ausserdem erläutert sie detailliert, welche rechtliche Bedeutung die Elemente des planerischen Gewässerschutzes haben und führt entsprechende Methoden auf [12].

Inventar Trinkwasserversorgung in schweren Mangellagen (ID 66.1)

Das MGDm beschreibt vereinfacht alle Objekte, welche zur Erstellung der digitalen Karten gemäss VTM benötigt werden. Dies sind sowohl Wasserfassungen, die in der normalen Lage der Trinkwasserversorgung dienen, als auch solche, die bei einer schweren Mangellage genutzt würden und damit Teil einer entsprechenden Planung sind. Ungefasste, aber zur Trinkwassernutzung geeignete Quellen sind ebenfalls im Modell enthalten. Es lehnt sich dabei stark an das MGDm 141.1 (siehe Fig. 3) an und übernimmt dessen Definitionen. Zusätzlich sind aber auch Objektklassen für Oberflächengewässerfassungen sowie für die Fassungsinfrastruktur abgebildet.

HYDROGEOLOGISCHE KARTEN

Einzelne der bereits vorgängig genannten Kartenwerke sind als Geobasisdatensätze definiert. Diese Geodaten geben einen Überblick zur hydrogeologischen Situation und decken, abhängig vom Massstab, die ganze Schweiz oder grosse Teile davon ab. Sie bilden eine wichtige Grundlage zum Verständnis der Grundwasservorkommen auf nationaler und regionaler Ebene

und dienen damit als übergeordnetes Planungsinstrument für Bund, Kantone sowie private Geologie- und Ingenieurbüros.

In der GeoIV sind verschiedene Geobasisdaten nur als Rasterdatensätze ausgewiesen. Die äquivalenten attributierten Vektordaten, die es zu einigen der aufgeführten Werke gibt, sind dort nicht aufgeführt. Rasterkarten können in GIS-Systemen zwar raumbezogen dargestellt werden, sie enthalten aber keine maschinell auslesbaren Attribute und haben damit eine geringere Informationstiefe als digitale Vektordaten. Beim Umgang mit Bild- und Grafikerasterdaten wird nicht das einzelne Bildelement (Pixel) als Objekteinheit betrachtet. Die Datenmodellierung erfolgt über das ganze Rasterbild oder Bildkacheln. Die Visualisierung gestaltet sich nach Vorgaben der Legende. Genauere Informationen sind den jeweiligen Kartenwerken und Begleitdokumentationen zu entnehmen ([3, 4] sowie z.B. [7]).

Hydrogeologische Karte der Schweiz 1 : 500 000:

Grundwasservorkommen (ID 46.6) und Vulnerabilität der Grundwasservorkommen (ID 46.7)

Die hydrogeologischen Verhältnisse der Schweiz werden durch den Datensatz «Grundwasservorkommen» abgebildet. Es ist die einzige landesweite Datengrundlage, die das Grundwasser flächenhaft und in einheitlicher Klassierung, nämlich gemäss der Ergiebigkeit der Grundwasserleiter im Locker- und Festgestein, beschreibt [3]. Auf ihr fussen verschiedene Darstellungen und Auswertungen (z.B. [5, 9]) sowie insbesondere der komplementäre Datensatz «Vulnerabilität der Grundwasservorkommen» [4]. Beide Datensätze wurden zunächst als gedruckte Kartenblätter des «Hydrologischen Atlas der Schweiz» (HADES) publiziert. Später wurden die digitalen Daten als eigenständiges Produkt herausgegeben. Diese sind als «Hydrogeologische Karten der Schweiz» Teil des Datensatzes «GeoKarten 500» der swisstopo, einer Sammlung geologischer, tektonischer, hydrogeologischer, geophysikalischer und paläoglazilogischer Übersichtskarten der Schweiz im Massstab 1 : 500 000. Für diese Karten wurde zwar kein eigenes MGDm erstellt, es gilt aber das entsprechende Datenmodell «Geologie» [13].

Hydrogeologische Karte der Schweiz 1 : 100 000 (ID 135.5)

Die «Hydrogeologische Karte 1 : 100 000» beschreibt im regionalen Massstab das Auftreten und die Fliessverhältnisse des

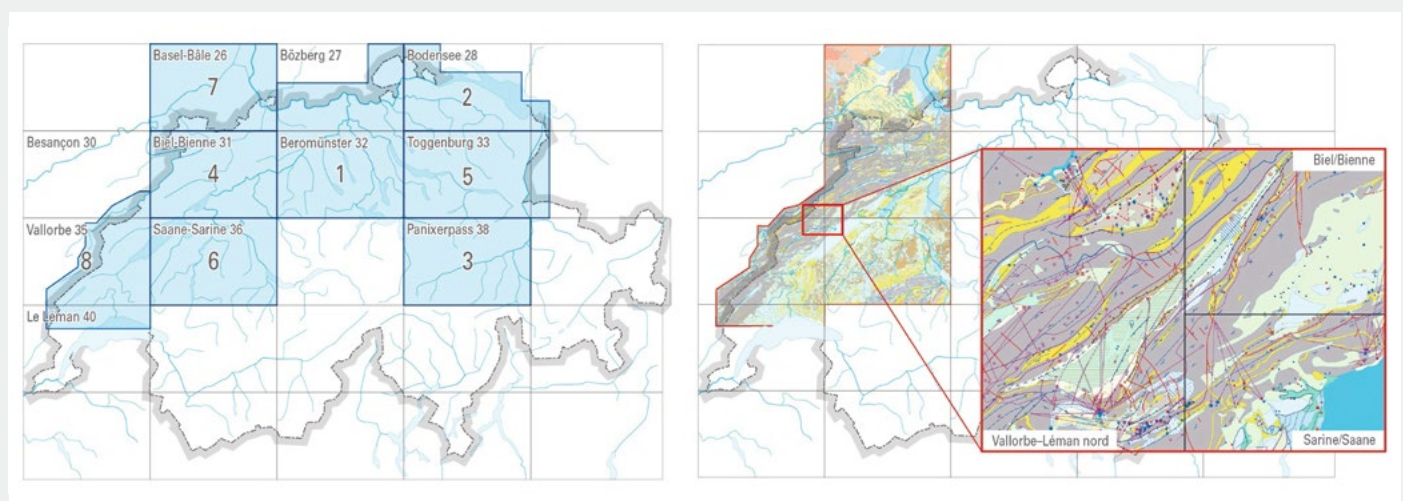


Fig. 4 Links: Übersicht aller bisher publizierten Kartenblätter der Hydrogeologischen Karte 1 : 100 000. Rechts: Blattschnittfrei digitalisierter Vektordatensatz Nordwest-Schweiz, erstellt aus den vier Blättern Vallorbe-Léman nord, Sarine/Saane, Biel/Bienne und Basel/Bâle.

Grundwassers [7]. Dargestellt sind sowohl hydrologische Objekte wie auch eine hydrogeologische Charakterisierung des Untergrunds. Die flächendeckende Klassierung der Gesteine erfolgt nach geologisch-lithologischen Kriterien und nach der Gesteinsdurchlässigkeit. Ergänzt werden diese Daten durch die Erfassung der Grundwasserleiter und hydrogeologischer Punkt- und Linienelemente (z.B. Quellen). Grundlage sind detaillierte hydrologische und hydrogeologische Datensätze (z.B. kantonale Gewässerschutz- und Grundwasserkarten), die vereinheitlicht und generalisiert wurden. Die derzeitige Abdeckung des im MGDM beschriebenen Rasterdatensatzes umfasst acht Kartenblätter, die den Jura und das Mittelland zwischen Genfersee und Bodensee sowie Teile der Voralpen abbilden (Fig. 4 links).

Neben den Rasterkarten sind einige Blätter auch als attributierte Vektordaten vorhanden (Nordwest-Schweiz; Fig. 4 rechts). Die Informationen der einzelnen Blätter wurden dabei auf Grundlage eines zusätzlichen Datenmodells in einem geometrisch blattschnittfreien und inhaltlich harmonisierten Vektordatensatz zusammengeführt. Für diesen Datensatz gibt es ein Datenmodell, aber noch kein MGDM; dieses wäre angebracht, sobald durch Integration weiterer Kartenblätter etwa die Abdeckung des Mittellandes erreicht wird.

GRUNDWASSERMONITORING

Mit der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA wird ein landesweiter Überblick über den Zustand und die Entwicklung der Grundwasserressourcen der Schweiz gewonnen [14]. Die MGDM zum Thema Grundwassermonitoring haben eine identische Grundstruktur zur Abbildung der entsprechenden Messnetze: Erhebung der Grundwasser-Quantität, der Grundwasser-Qualität sowie der Wasserisotope im Wasserkreislauf.

Diese Grundstruktur definiert jeweils die Objektklassen «Messnetz», «Werteerhebung» und «Messstation» (Fig. 5). Die Objektklasse «Messstation» berücksichtigt insbesondere die Kriterien «Messstellentyp», «Grundwasserleitertyp», «Hauptbodennutzung im Einzugsgebiet» und «Naturraum». Konkrete Messwerte und Auswertungen sind nicht Teil der MGDM.

Messnetz zur Erhebung der Grundwasser-Quantität (ID 135.1)

Das MGDM beschreibt das NAQUA-Modul QUANT, das Zustand und Entwicklung der Grundwasser-Quantität auf Landesebene erfasst. Das Messnetz besteht aus 100 Messstellen in für die Schweiz typischen Grundwasservorkommen. Dabei wird zur einen Hälfte auf Messstellen des Bundes und zur anderen Hälfte auf Messstellen der Kantone zurückgegriffen. Die Werteerhebung nimmt in erster

Linie Bezug auf die Grundwasserstände (Pumpbrunnen und Piezometer) und die Quellabflüsse. Entsprechend werden bei der Objektklasse «Messstation» auch für die Grundwasser-Quantität spezifische Informationen abgebildet, wie etwa das Grundwasserregime [16] oder die Anbindung an Fliessgewässer.

Messnetze zur Erhebung der Grundwasser-Qualität (ID 133.2, 133.5, 134.3)

Die Grundwasser-Qualität wird in den beiden NAQUA-Modulen TREND und SPEZ erhoben. Das Messnetz TREND (ID 133.2) umfasst 50 detailliert charakterisierte Messstellen in Grundwasservorkommen, die für die Schweiz typisch sind. Das Messnetz SPEZ (ID 133.5) umfasst etwa 500 über die ganze Schweiz verteilte Messstellen und wird enger Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen betrieben. «Weitere Erhebungen» (ID 134.3) zur Grundwasser-Qualität, etwa an kantonalen Messnetzen, können ebenfalls mit diesem MGDM modelliert werden. Auch hier beinhaltet die Werteerhebung Metadaten zur Beschreibung der Messungen, vor allem Angaben zur Beprobung und zu den erhobenen Parametergruppen (allgemeine Parametergruppen: z.B. Hauptinhaltsstoffe, Nährstoffe, Spurenstoffe organisch; detaillierte Parametergruppen: z.B. Pflanzenschutzmittel, VOC, Schwermetalle, Mikroorganismen). Die Geodaten ermöglichen somit einen raschen Überblick, wo und in welchem Umfang in der Schweiz Erhebungen zur Grundwasser-Qualität durchgeführt werden.

Messnetz zur Erhebung der Wasserisotope (ID 133.1)

Das MGDM liefert die Struktur zur Abbildung des Bundesmessnetzes zur Erhebung von Wasserisotopen im Wasserkreislauf (NAQUA-Modul ISOT). Dementsprechend werden die Probenahmestellen als Messstationen für Niederschlag, Fliessgewässer und Grundwasser inklusive Zusatzinformationen zur Werteerhebung (z.B. Parametergruppe, Beprobung) abgebildet.

NUTZEN UND UMSETZUNG

MEHRWERT

Die MGDM haben einen grossen Nutzen für die Inwertsetzung der Daten. Sie fördern deren allgemeine Verwendung durch:

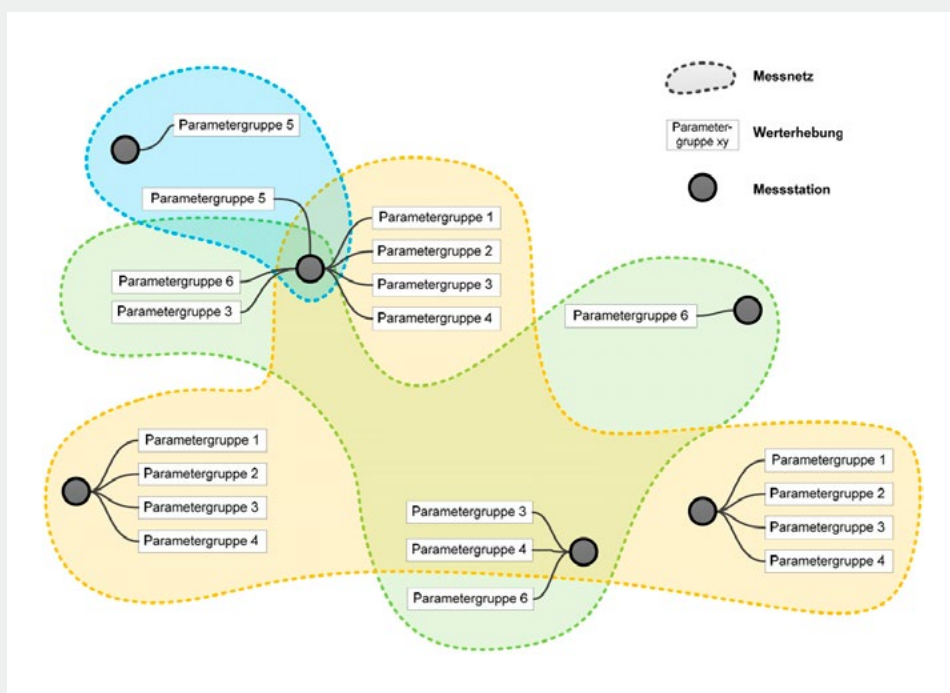


Fig. 5 Zusammenhang zwischen den Objektklassen «Messnetz», «Werteerhebung» und «Messstation» für die MGDM zum Grundwassermonitoring. (Quelle: [15])

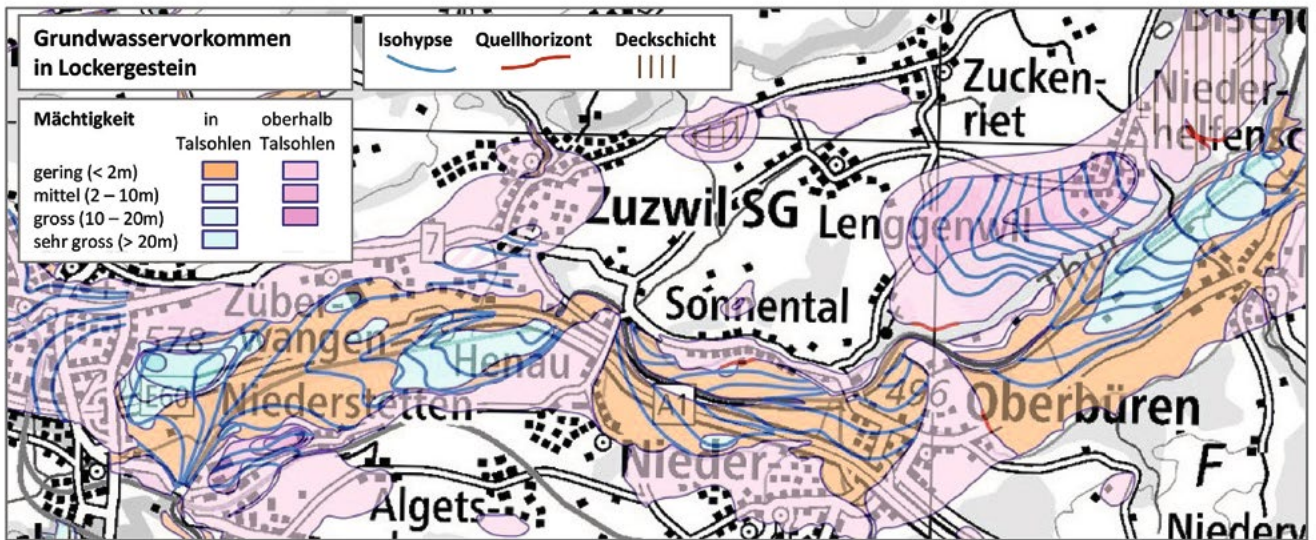


Fig. 6 Visualisierung des MGDM 139.1 für den Kanton SG im verbindlichen Darstellungsmodell des Bundes (Quelle: www.geodienste.ch > Grundwasservorkommen). Abgebildet sind Grundwasservorkommen in Lockergestein in und oberhalb Talsohlen entlang eines Teilabschnitts der Thur. Im Darstellungsmodell des kantonalen Geoportals wird zudem eine Einteilung in unterschiedlich tiefe Vorkommen vorgenommen.

- landesweit einheitliche Vorgaben zur Modellierung eines Themas mit Definition der Objekte, deren Eigenschaften und Beziehungen sowie der visuellen Darstellung der Objektklassen;
- verbindliche Vorgaben für alle Datenersteller, welche Informationen bei einem Thema mindestens zu erheben sind und auf welche Art diese digital abgelegt werden;
- Vorgabe von Austauschformat und Kriterien zur Prüfung der Datenkonsistenz auf Seiten der Erheber und Nutzer (Interlis);
- Möglichkeit der einfachen, individuellen Erweiterbarkeit der Daten durch die Erheber oder Nutzer;
- Grundlage zur einfachen Diskussion zwischen den Fachstellen durch einheitliche Klassierung der Objekte.

Die Modellierung von Geodaten ist stark geprägt von der Zielsetzung. Raumdaten und entsprechende Datenmodelle werden meist für eine bestimmte Nutzung und in Bezug auf bestimmte Nutzergruppen erstellt (z.B. Planung, Fachbüros, Verwaltung, politische Prozesse). Daraus ergeben sich unterschiedliche Aspekte der Umsetzung.

IMPLEMENTIERUNG

In erster Linie machen die MGDM Vorgaben für die Vorhaltung und den Austausch von Geodaten im Rahmen der Fachgesetzgebung. Die Ausgabe und Visualisierung

der erforderlichen Daten erfolgt auf den kantonalen Geoportalen (Stand Umsetzung siehe: www.geodienste.ch).

Figur 6 zeigt einen Ausschnitt der Implementierung des MGDM 139.1 im entsprechenden Darstellungsmodell. Umgesetzt

sind die Grundwasservorkommen in Lockergestein inklusive der Objektklassen Isohypsen (bei Mittelwasserstand), undurchlässige Deckschichten und Quellhorizonte (siehe auch Fig. 2). Die Visualisierung der Daten erfolgt über

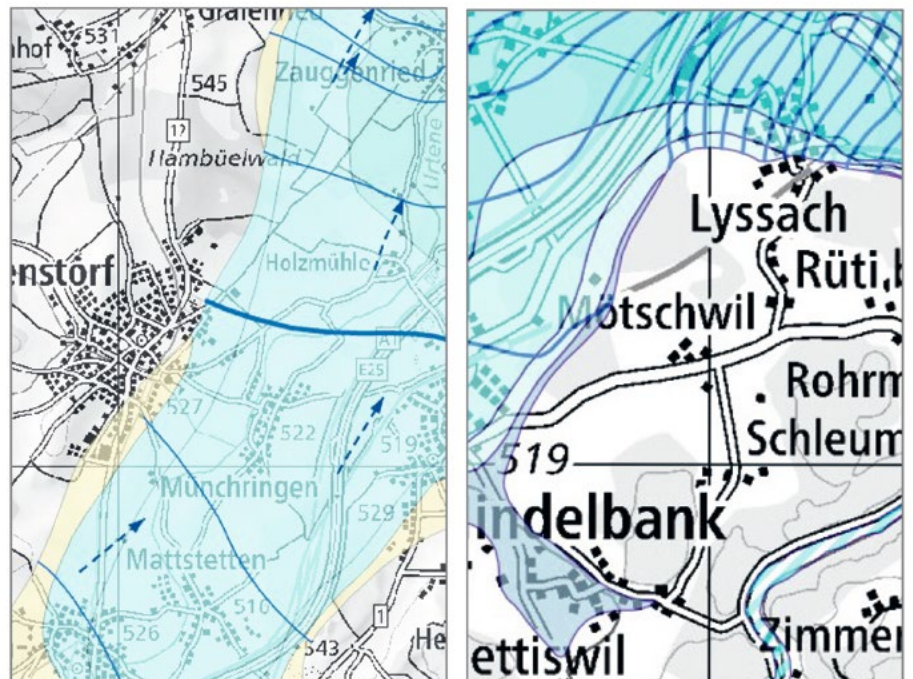


Fig. 7 Vergleichender Ausschnitt von kantonalem Darstellungsmodell (links; Quelle: www.agi.dij.be.ch > Geoportal > Grundwasservorkommen in Lockergestein) und Bundesdarstellung gemäss MGDM 139.1 (rechts; Quelle: www.geodienste.ch > Grundwasservorkommen) im Kanton BE. Bei unterschiedlicher Klassierung ergibt sich dennoch ein kohärentes Bild. Das Kantonsmodell ist um das zusätzliche Element der Grundwasserflussrichtung erweitert.

die Klassierung «Lage» (in Talsohlen und oberhalb Talsohlen) sowie «Mächtigkeit» des Vorkommens.

Die Darstellungsmodelle der Kantone weichen oft von den bundesweit gültigen MGDM ab, auch da sie häufig mit zusätz-

lichen Informationen angereichert sind. In *Figur 7* sind die Grundwasservorkommen in beiden Formen beispielhaft gegenübergestellt. Auch bei der Darstellung von Quellen und Fassungen ist in Kantonsmodellen oft eine deutlich höhe-

re Differenzierung umgesetzt, als etwa im MGDM 141.1 gefordert. Daneben soll zukünftig die optionale Objektklasse der Vorkommen in Festgesteinen (inklusive spezieller Erhebungsformen für Karstquifere [17]) vermehrt integriert werden. Bei der Umsetzung der MGDM zum Grundwassermonitoring (*Fig. 8*) kann die Darstellung der verschiedenen Messnetze für die Planung von Monitoringprogrammen sowie die Abklärung von Synergiepotenzialen einen Mehrwert bieten. Dies ist insbesondere der Fall in Verbindung mit Informationen zur Hydrogeologie und zur Landnutzung. Dabei können die Messstationen etwa auch mit Objekten aus anderen Datenmodellen, insbesondere dem MGDM 141.1, in direkte Beziehung gesetzt werden (gemäss *Fig. 9*) oder einen Verweis auf eine zugrundeliegende Bohrung [18] enthalten.

VERKNÜPFUNG

Durch technische, inhaltliche oder räumliche Verknüpfung können Objekte und Informationen unterschiedlicher Herkunft miteinander in Verbindung gesetzt werden. Wie in *Figur 9* aufgezeigt, kann dies über die Lage (Koordinaten) geschehen oder auch thematisch über die Zuordnung zu Identifikatoren, Objektklassen und Themenbereichen. In der realen Anwendung wird diese Eigenschaft genutzt, um z. B. massstabsübergreifende Modelle zu bauen. Durch die Erstellung eines hierarchischen Klassierungssystems und der einheitlichen Klassierung der Objekte können Daten verschiedener Aufnahmesstabe in einem gemeinsamen System zusammengeführt und genutzt werden. So ergibt sich etwa die Möglichkeit, die räumlichen und thematischen Zusammenhänge von der Ressource bis zur Nutzung abzubilden. Das System wird dabei mit Informationen erweitert, die über rein hydrogeologische Aspekte hinausgehen, z. B. Modellierung der Wasserversorgung im Hinblick auf einen Sollzustand zwischen Dargebot und Bedarf im Rahmen der strategischen Planung. Auch können Aspekte des Zuströmbereichs einer Fassung bis hin zum Einzugsgebietsmanagement integriert werden.

Eine weitergehende Betrachtung wäre die Modellierung des Wasserkreislaufs bzw. der Grundwasserbilanz, indem u. a. verknüpft werden: Netz Oberflächengewässer, Grundwasservorkommen, Ein- und Austrittstellen bzw. Entnahmenstellen von Wasser, ober- und unterirdische Was-



Fig. 8 Messstationen zur Erhebung der Grundwasser-Quantität (Visualisierung «Werteehebung») und Grundwasser-Qualität (Visualisierung «Messnetz») gemäss Darstellungsmodell Bund. Eines der dargestellten Objekte ist – analog *Fig. 5* – als Messstation mehreren Messnetzen zugeordnet (MGDM 133.2, 133.5, 134.3). Gleichzeitig kann es über die räumliche Position an das MGDM 141.1 (Grundwasserbrunnen) sowie das MGDM 66.1 (Fassungsbrunnen) angebunden sein (siehe auch *Fig. 9*).

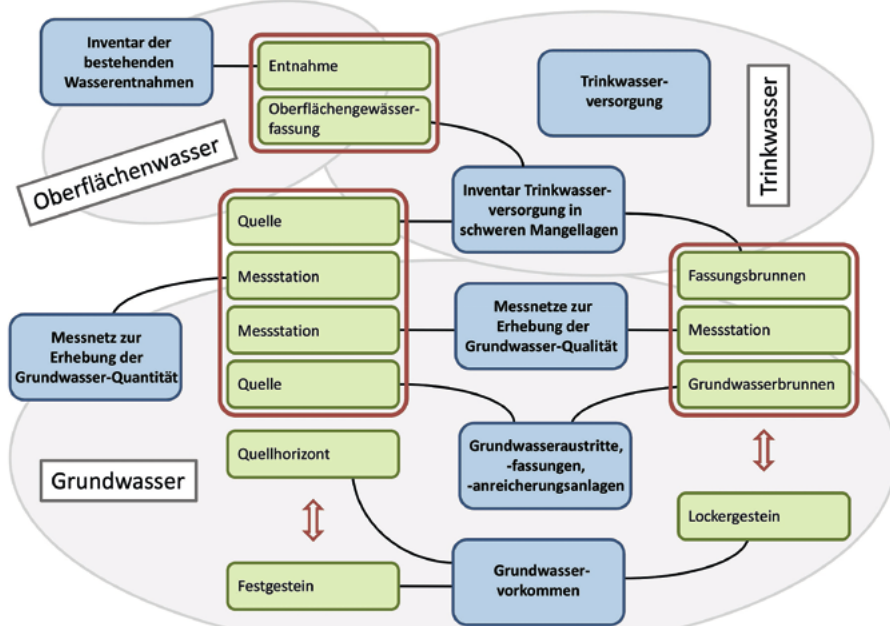


Fig. 9 Beispielhafter Überblick möglicher thematischer und technischer Verknüpfungen verschiedener MGDM zum Thema Grundwasser sowie benachbarter Wasserthemenbereiche. Einzelne Datenmodelle (blau) können über gemeinsame Attribute oder Objektklassen (grün) zueinander in Beziehung gesetzt werden. Bei gleicher räumlicher Position ist eine unmittelbare Verknüpfung über die Koordinaten oder die Objekteigenschaften, z. B. «Bezeichnung», möglich (rote Umrahmungen). Auf diese Weise können auch Punkt- oder Linienobjekte (z. B. Quelle, Brunnen, Quellhorizont) einem Flächenobjekt (z. B. Grundwasservorkommen in Lockergestein) zugeordnet werden (rote Pfeile). Hier kann ebenso die Verknüpfung mit den Datenmodellen digitaler hydrogeologischer Karten und deren Objekten ansetzen.

serscheiden sowie die unterirdischen hydraulischen Verbindungen.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Zusammenführung verschiedener Fachthemen, z.B. von Hydrologie und Geologie. Indem geologische Daten nach den fachlichen Kriterien der Hydrologie klassiert werden, lassen sich beide Fachrichtungen in der Modellierung von Grundwasservorkommen vereinigen (siehe Projekt GeoQuat [19]).

RAUMDATENKONZEPT

Jeder Geodatenatz bzw. jede hydrogeologische Karte bildet ein in sich geschlossenes Thema ab. Die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen themenverwandten Datensätzen können dabei nur

schwer erfasst werden, qualitative oder quantitative Auswertungen sind oft nur indirekt oder nicht durchführbar. Für eine erweiterte Nutzung wurden – basierend auf Überlegungen zur digitalen Hydrogeologischen Karte 1:100 000 (siehe Fig. 4) – Konzepte erarbeitet, die eine Verknüpfung von Themen sowie ihrer Geometrien und Attribute beschreiben. In einer solchen Raumdatenstruktur könnten themenbezogene Datensätze verschiedener Massstabsbereiche in einem übergeordneten, massstabslosen System zusammengeführt werden und stünden dann für verschiedene Auswertungen zur Verfügung. Damit könnten etwa landesweite Übersichtsinformationen in direkten Bezug zu den lokalen-regionalen

Daten gestellt werden. Ein einfaches Beispiel wäre die direkte Verknüpfung der Grundwasseraustrittsorte mit Angaben zum Abfluss, Messwerten, Ergiebigkeit, Schutzstatus oder auch Einzugsgebiet.

FAZIT

Grundwasser ist ein wichtiger einheimischer Rohstoff, aus dem über 80% des Trinkwassers der Schweiz gewonnen werden. Entsprechend ist es eine Notwendigkeit, dass diese Ressource in ausreichender Menge und in guter Qualität zur Verfügung steht. Geodaten stellen in diesem Zusammenhang eine wichtige Grundlage zu deren Charakterisierung, Schutz und Nutzung dar.

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

Modelle und Dokumentation

Die Modelldokumentationen aller aufgeführten MGDM des BAFU sind frei verfügbar unter www.bafu.admin.ch > Geodatenmodelle > Wasser. Zudem sind die Modelle im Interlis-Format unter <https://models.geo.admin.ch> > BAFU einsehbar.

MGDM und Geobasisdaten

Im Katalog der Geobasisdaten-Website (<https://geobasisdaten.ch>) sind die Geodaten, die auf einem Recht setzenden Erlass des Bundes, eines Kantons oder einer Gemeinde beruhen, zusammengestellt. Einen Überblick der MGDM zum Thema Grundwasser sowie der darin abgebildeten Geobasisdaten gibt *Tabelle 1*.

Geodatenmodell	Version	Identifikator (ID) Technischer Datensatz	Fachstelle
MGDM Grundwasservorkommen	2.0 (2024)	139 Grundwasservorkommen 139.1 Grundwasservorkommen	Bund (BAFU), Kantone
MGDM Grundwasseraustritte, -fassungen, -anreicherungsanlagen	2.0 (2024)	141 Grundwasseraustritte, -fassungen und -anreicherungsanlagen 141.1 Grundwasseraustritte, -fassungen und -anreicherungsanlagen	Bund (BAFU), Kantone
MGDM Planerischer Gewässerschutz – Grundwasserschutzzonen, -areale und Gewässerschutzbereiche	1.2 (2023)	131 Grundwasserschutzzonen 132 Grundwasserschutzareale 130 Gewässerschutzbereiche	Bund (BAFU), Kantone
MGDM Inventar Trinkwasserversorgung in schweren Mangellagen	2.0 (2024)	66 Inventar Trinkwasserversorgung in Notlagen 66.1 Inventar Trinkwasserversorgung in schweren Mangellagen	Bund (BAFU), Kantone
Datenmodell Geologie	3.0 (2017)	46 Geologisches Kartenwerk 46.6 Hydrogeologische Karte der Schweiz: Grundwasservorkommen 1:500 000 46.7 Hydrogeologische Karte der Schweiz: Vulnerabilität der Grundwasservorkommen 1:500 000	Bund (swisstopo)
MGDM Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:100 000	1.0 (2023)	135 Hydrologische Verhältnisse (Erhebungen von gesamtschweizerischem Interesse) 135.5 Hydrogeologische Karte 1:100 000	Bund (BAFU)
MGDM Nationales Messnetz zur Erhebung der Grundwasser-Quantität	1.0 (2019)	135 Hydrologische Verhältnisse (Erhebungen von gesamtschweizerischem Interesse) 135.1 Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA (Modul QUANT, Grundwasser-Quantität)	Bund (BAFU)
MGDM Messnetze zur Erhebung der Grundwasser-Qualität	1.0 (2018)	133 Wasserqualität (Erhebungen von gesamtschweizerischem Interesse) 133.2 Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA (Modul TREND, Grundwasser-Qualität) 133.5 Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA (Modul SPEZ, Grundwasser-Qualität) 134 Wasserqualität (weitere Erhebungen) 134.3 Teil Grundwasser	Bund (BAFU), Kantone
MGDM Nationales Messnetz zur Erhebung der Wasserisotope	1.0 (2018)	133 Wasserqualität (Erhebungen von gesamtschweizerischem Interesse) 133.1 Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA (Modul ISOT, Isotope im Wasserkreislauf)	Bund (BAFU)

Tab. 1 Übersicht der Geodatenmodelle und Modelldokumentationen zum Thema Grundwasser sowie der zugrundeliegenden Geobasisdaten.

DANK

Michael Sinreich, vormals Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Hydrologie, dankt den Mitgliedern der subFIG «Grundwasser und Trinkwasserversorgung» für ihre Expertise und Unterstützung bei der Erstellung der MGDm ebenso wie den damaligen BAFU-Kollegen Urs Helg (Abteilung Wasser, Co-Leitung subFIG) und Dominik Angst (Sektion Digitales, Umsetzung GeolG) für die amtsinterne Zusammenarbeit.

Die aufgeführten MGDm beschreiben die in der GeolV genannten Geobasisdatensätze zum Thema Grundwasser. Einige Modelle beziehen sich direkt auf den Vollzug, andere dienen der Dokumentation von Basisinformationen. Sie definieren eine schweizweit verbindliche Datenstruktur für die vorgegebenen Fachthemen, enthalten aber keine konkreten Messungen oder Wertangaben. Bildlich gesprochen sind sie das Gefäss, in dem Daten einheitlich erfasst, strukturiert, dargestellt und weitergegeben werden können.

Einheitliche Datenmodelle erleichtern somit insgesamt die Erfassung, Darstellung und Nutzung von Geodaten. Bei den MGDm handelt es sich explizit um «minimale» Geodatenmodelle, die bewusst schlank gehalten sind. So gibt es neben den erforderlichen eine Reihe rein optionaler Attribute. Dadurch unterliegt die Anwendung der MGDm nur wenigen Einschränkungen. Gleichzeitig können sie je nach Bedarf erweitert werden, wodurch sich die Flexibilität noch erhöht.

Es eröffnet sich ein breites Einsatzfeld, das – auch im Zusammenhang mit anderen sich daran orientierenden Themenge-

bieten, wie Trinkwassergewinnung oder Oberflächengewässer – einer integralen Bewirtschaftung der Wasserressourcen Vorschub leistet. Perspektiven für die weitere Anwendung ergeben sich neben den Vollzungsaufgaben und entsprechenden Geoportalen etwa auch bei Wasserversorgungen oder der Wissenschaft. Die MGDm leisten damit einen Beitrag im Zusammenhang von Vereinheitlichung und Digitalisierung hydrogeologischer Grundlagen auf Stufe Bund und Kantone sowie darüber hinaus.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Schürch, M. et al. (2007): *Hydrogeological mapping in Switzerland*. *Hydrogeology Journal* 15: 799–808
- [2] Sinreich, M.; Kozel, R. (2013): *Hydrogeologische Karten der Schweiz 1:500 000*. *Geologie Schweiz – das Wissen aus dem Untergrund*, swisstopo: 72–73
- [3] Bitterli, T. et al. (2004): *Hydrogeologische Karte der Schweiz 1 : 500 000, Blatt 8.6 Grundwasservorkommen*. *Hydrologischer Atlas der Schweiz HADES*. Bundesamt für Umwelt, Bern
- [4] Philipp, R. et al. (2007): *Hydrogeologische Karte der Schweiz 1 : 500 000, Blatt 8.7 Vulnerabilität der Grundwasservorkommen*. *Hydrologischer Atlas der Schweiz HADES*. Bundesamt für Umwelt, Bern
- [5] Sinreich, M. et al. (2023): *Grundwasserkörper der Schweiz – Erhebungskonzept und Anwendungsbereiche*. *Aqua & Gas* 6/2023: 44–52
- [6] Sinreich, M., Helg, U. (2016): *Neue Daten zum Schweizer Grundwasser*. *GeoPanorama* 3/2016: 19–22
- [7] Pasquier, F. et al. (2006): *Hydrogeologische Karte der Schweiz 1 : 100 000, Blatt 8: Vallorbe-Léman nord*. *Schweizerische Geotechnische Kommission SGTK*
- [8] Jäckli AG (2009): *Machbarkeitsstudie Hydrogeologischer Atlas 1 : 25 000*. *Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU*
- [9] Sinreich, M. et al. (2012): *Grundwasserressourcen der Schweiz – Abschätzung von Kennwerten*. *Aqua & Gas* 9/2012: 16–28
- [10] Sinreich, M. et al. (2009): *Konzept der Vulnerabilität im Grundwasserschutz – Anwendung auf die Verhältnisse der Schweiz*. *Gas Wasser Abwasser, gwa* 2/2009: 109–117
- [11] Sinreich, M. et al. (2024): *Anfälligkeit genutzter Grundwasservorkommen gegenüber Trockenheit – Konzept, Anwendung und Modellierung*. *Aqua & Gas* 9/2024: 20–28
- [12] BUWAL (2004): *Wegleitung Grundwasserschutz. Vollzug Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern*, 141 S.
- [13] swisstopo (2017): *Datenmodell Geologie – Beschreibung im UML-Format und Objektkatalog, Version 3.0*. Bundesamt für Landestopografie, Wabern, 115 S.
- [14] BAFU (2019): *Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016*. Bundesamt für Umwelt, Bern. *Umwelt-Zustand Nr. 1901*, 138 S.
- [15] BAFU (2018): *Messnetze zur Erhebung der Grundwasser-Qualität – Identifikator 133.2, 133.5, 134.3*. *Geobasisdaten des Umweltrechts, Modelldokumentation*. Bundesamt für Umwelt, Bern, 49 S.
- [16] Schürch, M. et al. (2010): *Typisierung von Grundwasserregimen in der Schweiz – Konzept und Fallbeispiele*. *Gas Wasser Abwasser, gwa* 11/2010: 955–965
- [17] Malard, A. et al. (2014): *Praxisorientierter Ansatz zur kartographischen Darstellung von Karst-Grundwasserressourcen*. *Grundwasser* 19: 237–249
- [18] swisstopo (2014): *Datenmodell Bohrdaten – Beschreibung des Kernmodells mit Objektkatalog und UML-Modell, Version 2.0*. Bundesamt für Landestopografie, Wabern
- [19] Volken, S. et al. (2016): *GeoQuat: Developing a system for the sustainable management, 3D modelling and application of quaternary deposit data*. *Swiss Bulletin für angewandte Geologie* 21/1: 3–16