

# 3D-Modell Dachstein / Geologische 3D-Modellierung an der Geologischen Bundesanstalt

CLEMENS PORPACZY (1) ARNO KAIMBACHER (1) & MAGDALENA BOTTIG (1)

## Einleitung

Geologische 3D-Modellierung gewinnt an vielen Geologischen Diensten neben der klassischen geologischen Geländekartierung zunehmend an Bedeutung und stellt einen integralen Bestandteil bei der geologischen Landesaufnahme und Informationsweitergabe dar (KESSLER et al., 2009; GLYNN et al., 2011; VAN DER MEULEN et al., 2013; PFLEIDERER & KESSLER, 2015).

Seit etwa 2004 wird an der Geologischen Bundesanstalt im Rahmen verschiedener nationaler sowie internationaler Projektarbeiten geologische 3D-Modellierung angewendet (Projekte: Geomol, Transenergy, Thermtec, Thermalp; GÖTZL et al., 2012, 2015; MAROS et al., 2012; PFLEIDERER et al., 2016). Im Lauf der Jahre sind dadurch eine Reihe z.T. sehr heterogener 3D-Regionalmodelle entstanden, welche zur Bearbeitung angewandter Fragestellungen und als Grundlage für Prozessmodellierungen dienten, um beispielsweise Grundwasserströmungen oder Wärmeverteilungen im Untergrund zu simulieren.

Die Erstellung eines 3D-Modells beginnt mit der Datenerhebung aller vorhandenen Untergrundinformationen für das zu modellierende Gebiet in Form von geologischen Karten, geologischen Profilschnitten, Strukturkarten, Bohrprofilen sowie Untergrunddaten aus geophysikalischen Erkundungsmethoden (Seismische 2D- und 3D-Messungen, Bohrlochgeophysik, Geoelektrik). Alle Daten werden digitalisiert, harmonisiert und anschließend mithilfe des Modellierungsprogramms zusammengefügt, wodurch sich die Konsistenz und Plausibilität der Eingangsdaten überprüfen lässt. Auf Basis dieser Punkt- und Liniendaten werden mittels Interpolationsmethoden triangulierte Flächen von Schichtober- und Unterkanten, tektonischen Störungsflächen oder auch Schichtkörpern berechnet.

Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangslage bezüglich vorhandener Untergrundinformation, können bei bisher von der Geologischen Bundes-

anstalt erstellten 3D-Regionalmodellen des Untergrundes zwei Arten unterschieden werden:

- *Regionalmodelle von Becken- und Talregionen*

In Becken- und Talregionen ist die Datengrundlage von Seicht- und Tiefbohrungen (Sondierungsbohrungen im Rahmen von Bauvorhaben, Explorationstätigkeit der Kohlenwasserstoffindustrie, Tiefbrunnen), Profilen und Strukturkarten meist gut. Zusätzlich ergeben sich im Bereich von Siedlungsgebieten zahlreiche angewandte Fragestellungen. Daher decken die meisten bisher an der Geologischen Bundesanstalt erstellten Modelle die Becken- und Talregionen Österreichs ab.

Bisher durchgeführte Projekte betreffen Geomol (Molassebecken), Transenergy (Wiener Becken, Steirisches Becken, Pannolisches Becken), Transthermal (Lavanttal-Becken, Villach-Karawanken-Becken), Thermalp (Südliches Wiener Becken) und SC-27 (Becken und Talregionen im Land Salzburg), (GÖTZL et al., 2007, 2012, 2016; MAROS et al., 2012; PFLEIDERER et al., 2016).

- *Regionalmodelle von Gebirgsregionen*

In Gebirgsregionen beschränkt sich die Datengrundlage für die Untergrundmodellierung – aufgrund kaum vorhandener Bohrungen – meist auf geologische Karten und Profilschnitte. Die Modellierungsgenauigkeit nimmt daher mit zunehmender Tiefe unter Gelände rapide ab. Für die Validierung eines Regionalmodells in Gebirgsregionen ist daher die Zusammenarbeit mit dem/der jeweils kartierenden Geologen/Geologin aufgrund dessen/deren regionalgeologischer Expertise und dreidimensionaler Vorstellungen umso wichtiger.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. [clemens.porpaczy@geologie.ac.at](mailto:clemens.porpaczy@geologie.ac.at)

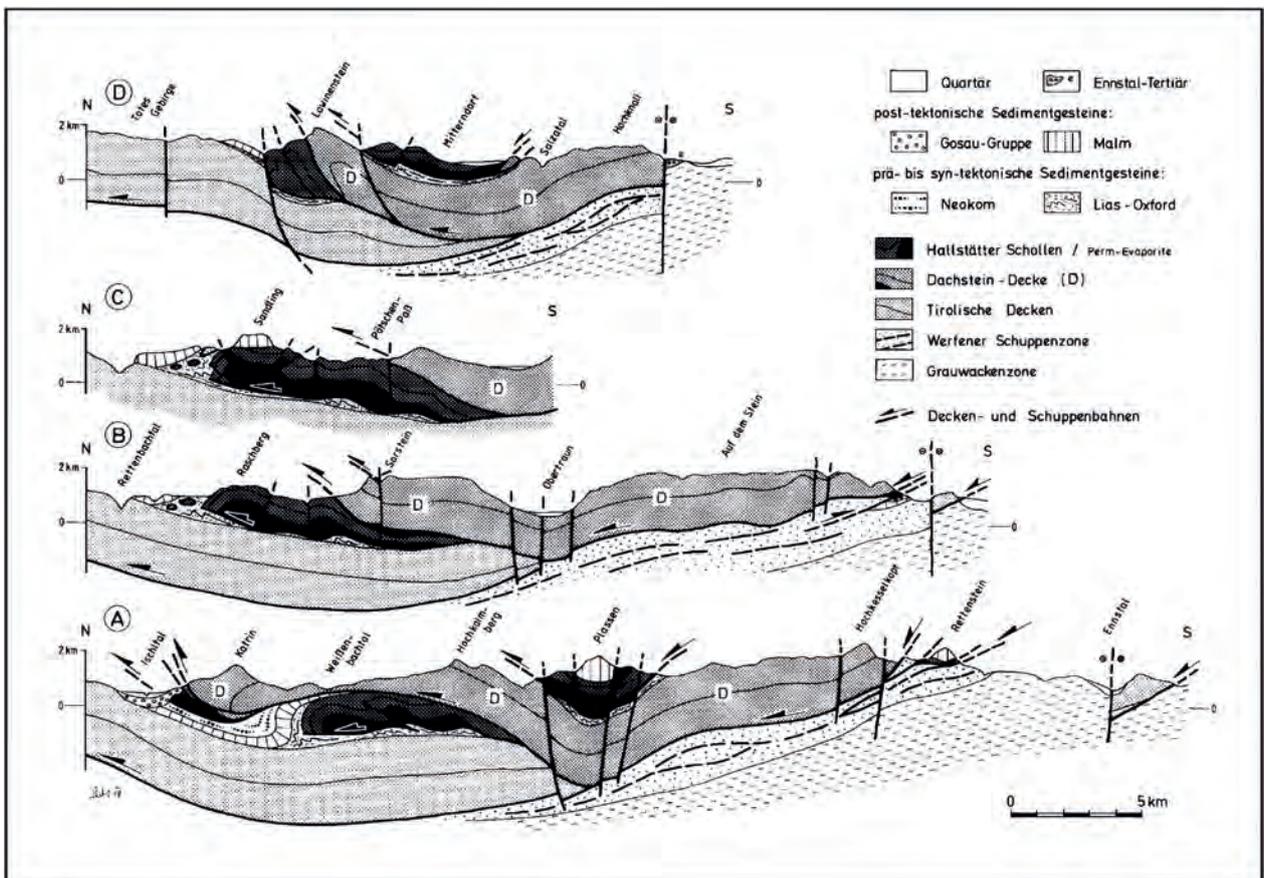
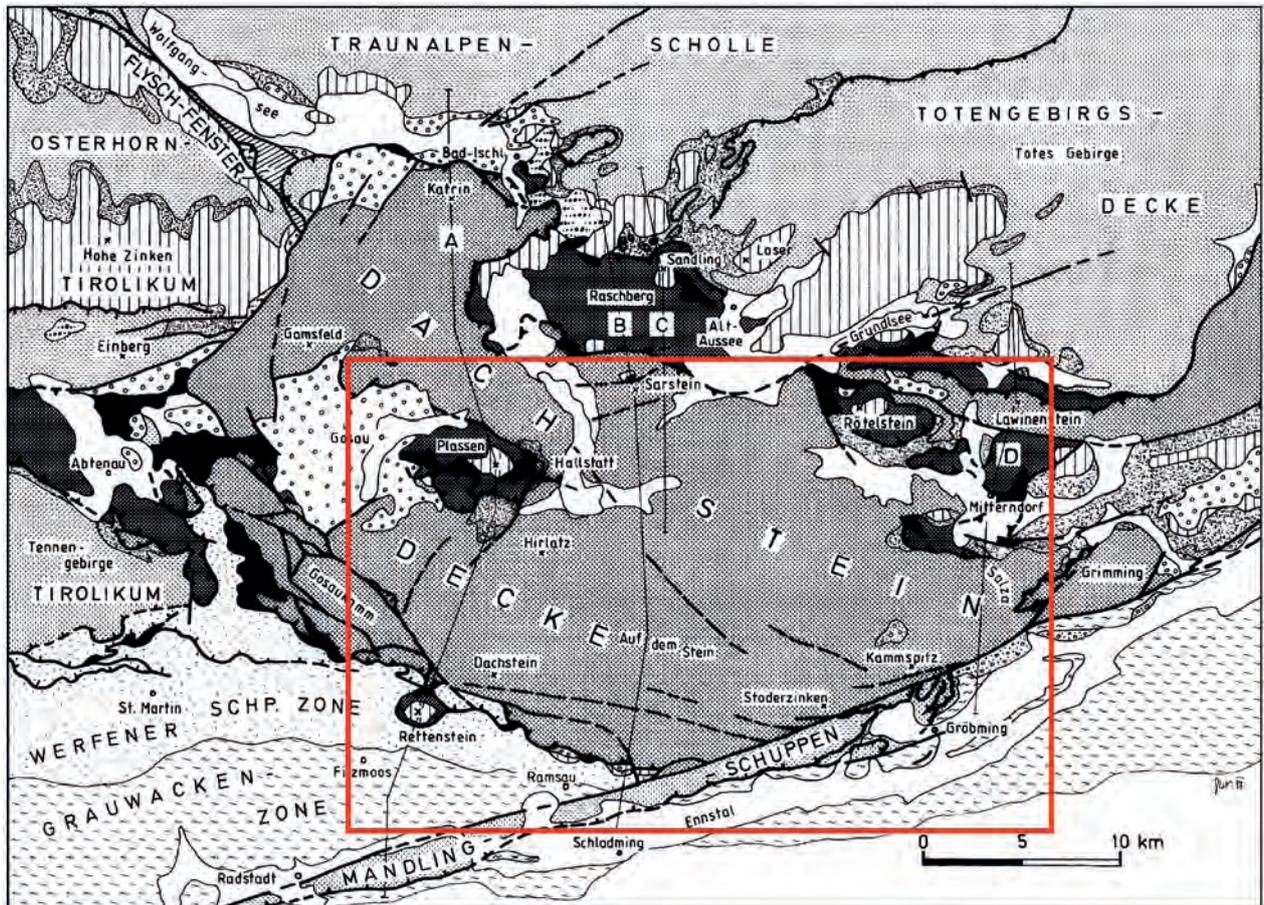


Abb. 1. Übersicht über die Deckeneinheiten im Modellierungsgebiet (rot) nach SCHEIDLER et al. (2001).

Bisher durchgeführte Projekte betreffen Thermtec (Tauernfenster) und Hallstatt-Dachstein (Dachsteinregion) (GÖTZL et al., 2015).

Regionalmodelle decken bisher 20–30 % der österreichischen Landesfläche ab, wobei der Detaillierungsgrad je nach Fragestellung und Datengrundlage variiert.

### Geologisches 3D-Modell Hallstatt-Dachstein

Das Dachsteinmassiv ist geologisch und hydrogeologisch sehr gut erforscht. Dominierendes Element dieses Gebirgszuges ist eine etwa 2.000 m mächtige, nordgeneigte Karbonatplattform aus Dachsteinkalk und Wettersteindolomit der Mittel- bis Obertrias, die über Wasser stauenden Quarziten, Sand- und Tonsteinen der Werfener Schichten sowie Phylliten und Schieferen der Grauwackenzone liegt (Abb. 1). Aufgrund der starken Verkarstung findet die Entwässerung des Dachsteinmassivs vorwiegend unterirdisch statt. Die Neigung der Plattform führt zu einer überwiegend nordgerichteten Entwässerung des Niederschlagswassers, welches in großen Karstquellen am Nordrand des Dachsteins zutage tritt (BAUER, 1989; SCHEIDLEDER et al., 2001). Eine Besonderheit im geologischen Bau der Hallstatt-Dachsteinregion stellen die westlich des Hallstätter Sees gelegenen Hallstätter Schollen dar, die aus vorwiegend permischen Evaporiten des Haselgebirges bestehen und im Jura auf die Plattform überschoben wurden (Abb. 1).

Das geologische 3D-Modell der Hallstatt-Dachsteinregion erstreckt sich über eine Fläche von ca. 930 km<sup>2</sup> und fällt in seiner Ausdehnung mit der geologischen Karte der Dachsteinregion 1:50.000 zusammen (MANDL, 1998). Es umfasst das Ennstal

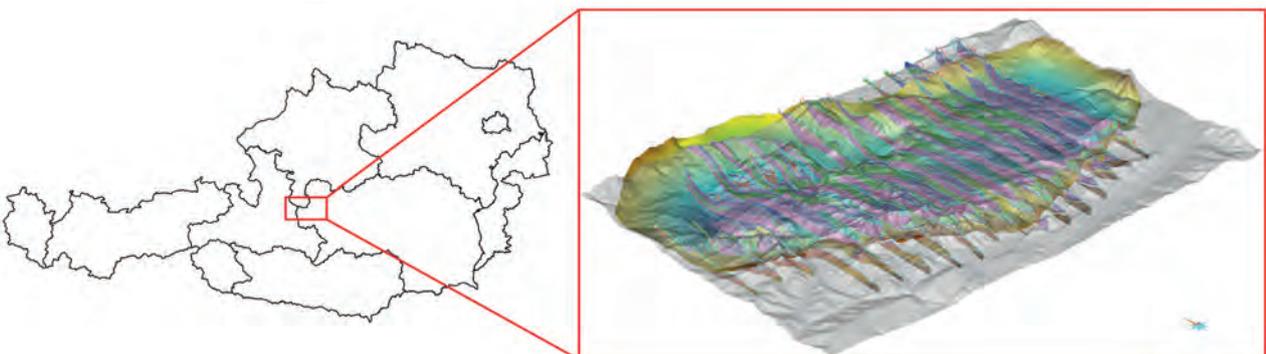
im Süden, Bad Aussee im Norden, Bad Mitterndorf im Osten sowie das Gebiet um den Vorderen Gosausee im Westen (Abb. 2).

In dieses Modell wurden sämtliche verfügbaren Untergrunddaten eingebunden. Es dient in erster Linie zur Visualisierung des Untergrundes der UNESCO Kulturlandschaft Hallstatt-Dachstein-Salzkammergut. Die modellierten Schichtflächen können jedoch für eine weiterführende hydrogeologische oder geothermische Prozessmodellierung herangezogen werden. Darüber hinaus kann das Modell bei Bedarf mit neu generierten Daten und im Hinblick auf geänderte Fragestellungen adaptiert werden. Folgende Datensätze wurden bisher für die Modellierung berücksichtigt:

- *Geologische Karten:*  
Geologische Karte der Dachsteinregion 1:50.000 (MANDL, 1998), GK 96 Bad Ischl 1:50.000 (SCHÄFFER, 1982), GK 127 Schladming 1:50.000 (MANDL & MATURA, 1995).
- *Geologische Profilschnitte:*  
17 Profile von MANDL (1998), 2 Profile von MANDL et al. (2014), 5 Profile von MANDL et al. (2012), 8 Profile von SCHEIDLEDER et al. (2001), 1 Profil von SCHMID et al. (2003).
- *Bohrprofile:*  
1 Bohrung von SCHMID et al. (2003), 8 Bohrungen von MANDL et al. (2012).
- *Höhlenpläne:*  
Vermessungen der Dachstein-Mammuthöhle und Dachstein-Gletscherhöhlen (zur Verfügung gestellt von Lukas Plan, Naturhistorisches Museum Wien).
- *Grubenpläne:*  
Grubenplan Salzbergwerk Hallstatt (zur Verfügung gestellt von Gerd Hofer, Salinen Austria AG, Ebensee).

Abb. 2.

Links: Flächenausdehnung des Modells der Hallstatt-Dachsteinregion (rotes Rechteck). Rechts: Screenshot des Modells (Blickrichtung Südwest).



### 3D-Modelle als Erweiterung geologischer 2D-Darstellungen

Geologische 3D-Modelle stellen eine Erweiterung der klassischen zweidimensionalen geologischen Karte dar. Konzeptuelle Vorstellungen des dreidimensionalen Aufbaus des Untergrundes, die bei der Projektion geologischer Informationen auf zweidimensionale Darstellungsebenen (Karten, Profilschnitte) verloren gehen, können durch ein 3D-Modell zur Gänze beschrieben werden. Dadurch bleibt geologisches Wissen erhalten und Modellvorstellungen können überprüft werden. Darüber hinaus sind in drei Dimensionen weit größere Datenmengen visualisierbar als bei einer 2D-Darstellung. Bei fortschreitender geologischer Erkundungstätigkeit des Untergrundes und einer stetig wachsenden Menge an Daten können 3D-Modelle einen unerlässlichen Beitrag leisten, um die Fülle an Information zu verarbeiten. Überdies können neben der Visualisierung von geologischen Strukturen Informationen über den Untergrund anhand von virtuellen Profilschnitten und Bohrungsprofilen aus dem Modell abgefragt werden, die für angewandte Fragestellungen sehr hilfreich sind. Da der Untergrund durch den Menschen in vielfältiger Weise genutzt wird (Erdöl- und Erdgas-Produktion, Erdwärmennutzung, Grundwasserversorgung, Rohstoffgewinnung, CO<sub>2</sub>-Speicherung, Lagerung von atomaren und chemischen Abfällen) und in Zukunft mit verstärkten und auch konkurrierenden Nutzungsansprüchen zu rechnen ist, können 3D-Modelle auch einen wichtigen Beitrag als Planungsgrundlage und Entscheidungshilfe leisten (VAN DER MEULEN et al., 2013; PFLEIDERER et al., 2016).

Aufgrund dieser Entwicklungen werden 3D-Darstellungen und Anwendungen neben den klassischen geologischen Karten und Profilschnitten als Mittel zur geologischen Informationsweitergabe zunehmend an Bedeutung gewinnen (GLYNN et al., 2011; PFLEIDERER & KESSLER, 2015).

#### Web 3D-Viewer der Geologischen Bundesanstalt

Um geologische 3D-Modelle für Fachkollegen sowie der interessierten Öffentlichkeit, unabhängig von softwarespezifischen Lösungen, zugänglich machen zu können, wurde an der Geologischen Bundesanstalt auf Basis von WebGL und Open Source Softwarebibliotheken die Webapplikation „3D-Geology“ entwickelt (<https://gisgba.geologie.ac.at/3dviewer>). Dabei handelt es sich um einen webbasierten 3D-Viewer, welcher die interaktive Betrachtung von 3D-Modellen über einen Webbrowser ermöglicht (Abb. 3).

Die einfache Bedienbarkeit sowie der Verzicht auf Plug-Ins standen bei der Konzeptphase dieser Applikation im Vordergrund, um einen möglichst großen Nutzerkreis anzusprechen. Die modulare Systemarchitektur ermöglicht es zudem, rasch auf Verbesserungsvorschläge zu reagieren und die Software entsprechend adaptieren zu können. Mithilfe von Abfragefunktionen können virtuelle Bohrprofile an jedem Punkt des dargestellten Modells generiert werden. Die Darstellung von Nord–Süd- und Ost–West-Profilschnitten lässt sich intuitiv mithilfe eines 3D-Slicers bewerkstelligen. Bei der Entwicklung wurde mittels responsive web-design darauf geachtet, dass der 3D-Viewer auch über mobile Endgeräte wie Smartphones und Tab-

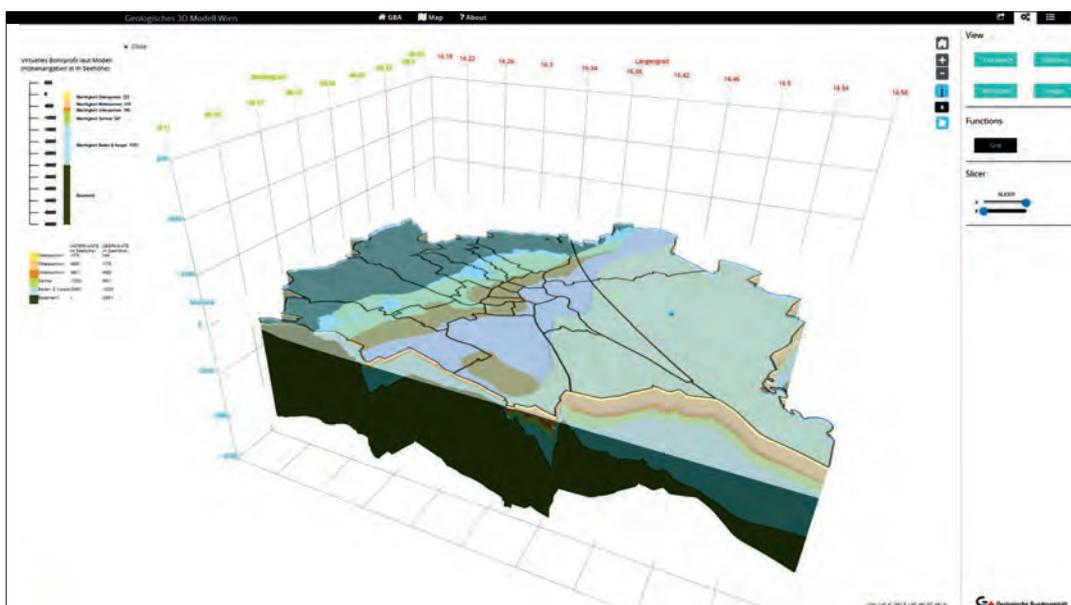


Abb. 3. Screenshot der Webapplikation „3D-Geology“ mit einem geologischen Untergrundmodell von Wien (Blickrichtung Südost).

lets bedient werden kann und die Steuerung über Touchscreen möglich ist. Die Webapplikation ist über die Homepage der Geologischen Bundesanstalt abrufbar. Derzeit kann ein geologisches Untergrundmodell des Wiener Stadtgebietes über den 3D-Viewer interaktiv erkundet werden. In Zukunft sollen weitere 3D-Modelle, welche im Rahmen von Projektarbeiten entstanden sind (siehe Einleitung), dargestellt werden.

## Literatur

- BAUER, F. (1989): Die unterirdischen Abflussverhältnisse im Dachsteingebiet und ihre Bedeutung für den Karstwasserschutz. – Report, Umweltbundesamt-89-28, 74 S., Wien.
- GLYNN, P., JACOBSEN, L., PHELPS, G., BAWDEN, G., GRAUCH, V., ORNDORFF, R., WINSTON, R., FIENEN, M., CROSS, V. & BRATTON, J. (2011): 3D/4D Modelling, Visualization and Information Frameworks: Current U.S. Geological Survey Practice and Needs. – In: RUSSELL, H.A.J., BERG, R.C. & THORLEIFSON, L.H. (Eds.): Three-Dimensional Geological Mapping: Workshop Extended Abstracts, Minneapolis, Minnesota, October 8, 2011, Geological Survey of Canada, Open File 6998, 80, Ottawa. DOI: <https://dx.doi.org/10.4095/289609>
- GÖTZL, G., POLTNIK, W., DOMBERGER, G. & LIPIARSKI, P. (2007): Projekt TRANSTHERMAL. Geothermie der Ostalpen – Erfassung und zusammenfassende Darstellung des geothermischen Potenzials in Datenbanken, in einem Geothermieatlas und in GIS-basierten Kartenwerken im Bereich von Kärnten, Steiermark und Slowenien. – Nationaler Abschlussbericht für Österreich, Johanneum Research und Geologische Bundesanstalt, 156 S., Wien–Graz–Klagenfurt.
- GÖTZL, G., BOTTIG, M., HOYER, S., JANDA, C., ZEKIRI, F. & SCHUBERT, G. (2012): Projekt NA-72 / Thermalp-NÖ. Die Nutzbarmachung geothermischer Grundlagenforschung für das Land Niederösterreich (Thermalwassermodell Hochscholle südliches Wiener Becken). – Endbericht im Auftrag des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung, 191 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- GÖTZL, G., BOTTIG, M., HOYER, S., FUCHSLUGER, M. & ROCKENSCHAUB, M. (2015): THERMTEC. Thermisch-tektonische Modellierung orogener Prozesse in den Ostalpen am Beispiel von Modellregionen – Tauernfenster (Brenner, Lungau / Pongau) und Mur-Mürzfurche / südliches Wiener Becken. – Zusammenfassender Endbericht im Auftrag der ÖAW, 163 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- GÖTZL, G., PFLEIDERER, S., FUCHSLUGER, M., BOTTIG, M. & LIPIARSKI, P. (2016): Projekt SC-27. Pilotstudie „Informativinitiative Oberflächennahe Geothermie für das Land Salzburg (IIOG-S)“. – Endbericht im Auftrag der Salzburger Landesregierung, 66 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- KESSLER, H., MATHERS, S.J. & SOBISCH, H.G. (2009): The capture and dissemination of integrated 3D geospatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology. – *Computers & Geosciences*, **35**, 1311–1321, Amsterdam.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2008.04.005>
- MANDL, G.W. (1998): Geologische Karte der Dachsteinregion 1:50.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MANDL, G.W. & MATURA, A. (1995): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 127 Schladming. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MANDL, G.W., VAN HUSEN, D. & LOBITZER, H. (2012): Erläuterungen zu Blatt 96 Bad Ischl. – 215 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MANDL, G.W., HEJL, E. & VAN HUSEN, D. (2014): Erläuterungen zu Blatt 127 Schladming. – 191 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MAROS, G. (Hrsg.), ALBERT, G., BARCZIKAYNÉ SZEILER, R., FODOR, L., GYALOG, L., JOCHA-EDELÉNYI, E., KERCSMÁR, Z., MAGYARI, Á., MAIGUT, V., NÁDOR, A., OROSZ, L., PALOTÁS, K., SELMECZI, I., UHRIN, A., VIKOR, Z., ATZENHOFER, B., BERKA, R., BOTTIG, M., BRÜSTLE, A., HÖRFARTER, C., SCHUBERT, G., WEILBOLD, J., BARÁTH, I., FORDINÁL, K., KRONOME, B., MAGLAY, J., NAGY, A., JELEN, B., LAPANJE, A., RIFELJ, H., RIŽNAR, I. & TRAJANOVA, M. (2012): Summary Report of geological models, TRANSENERGY – Transboundary Geothermal Energy Resources of Slovenia, Austria, Hungary and Slovakia, 189 S., Vienna.
- PFLEIDERER, S. & KESSLER, H. (2015): EU-wide survey on 3D modelling activities at Geological Survey Organisation. – EGS Newsletter. <http://egsnews.eurogeosurveys.org/?p=269> (abgerufen am: 11.03.2017).
- PFLEIDERER, S. (Hrsg.), GÖTZL, G., BOTTIG, M., BRÜSTLE, A.K., PORPACZY, C., SCHREILECHNER, M., EICHKITZ, C., JUD, M., SACHSENHOFER, R., ZOSEDER, K., CASPER, S., GOLDBRUNNER, J., KRIEGL, C., KOLMER, C. & DIEPOLDER, G.W. (2016): GeoMol – Geologische Modellierung des österreichischen Molassebeckens und Anwendungen in der Hydrogeologie und Geothermie im Grenzgebiet von Oberösterreich und Bayern. – Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, **70**, 88 S., Wien.
- SCHÄFFER, G. (1982): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 96 Bad Ischl. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHEIDLEDER, A., BOROVIČENY, F., GRAF, W., HOFMANN, T., MANDL, G.W., SCHUBERT, G., STICHLER, W., TRIMBORN, P. & KRÁLIK, M. (2001): Pilotprojekt „Karstwasser Dachstein“, Band 2: Karsthydrologie und Kontaminationsrisiko von Quellen. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **21**, 155 S., Wien.
- SCHMID, C., MANDL, G.W. & WESSELY, G. (2003): Thermalwasserbohrung Bad Mitterndorf TH 1. Ein Kalkalpiner Tiefenaufschluss im Steirischen Salzkammergut. – In: WEIDINGER, J.T., LOBITZER, H. & SPITZBART, I. (Hrsg.): Beiträge zur Geologie des Salzkammerguts. – Gmündner Geo-Studien, **2**, 255–264, Gmunden (Erkudok-Institut am Kammerhofmuseum).
- VAN DER MEULEN, M.J., DOORNENBAL, J.C., GUNNINK, J.L., STAFLEU, J., SCHOKKER, J., VERNES, R.W., VAN GEER, F.C., VAN GESSEL, S.F., VAN HETEREN, S., VAN LEEUWEN, R.J.W., BAKKER, M.A.J., BOGAARD, P.J.F., BUSSCHERS, F.S., GRIFFIOEN, J., GRUIJTERS, S.H.L.L., KIDEN, P., SCHROOT, B.M., SIMMELINK, H.J., VAN BERKEL, W.O., VAN DER KROGT, R.A.A., WESTERHOFF, W.E. & VAN DAALLEN, T.M. (2013): 3D geology in a 2D country: perspectives for geological surveying in the Netherlands. – *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw*, **92-4**, 217–241, Den Haag.