

Automatisierte Ableitung der Rohstoffqualität von Schwemmfächern, Hangschuttkörpern und Talfüllungen in Österreich

SEBASTIAN PFLEIDERER (1), MARIA HEINRICH (1), IRENA LIPIARSKA (1), JULIA RABEDER (1), HEINZ REITNER (1), BARBARA TRÄXLER (1), THOMAS UNTERSWEIG (1) & INGEBORG WIMMER-FREY (1)

Einleitung

Schwemmfächer, Schuttkegel und Talfüllungen in alpinen Gebieten sind (geologisch gesehen schnell, d.h. in menschlichen Zeiträumen) nachwachsende Lockergesteine, die bedeutende Kies-sand-Lieferanten darstellen und einen wesentlichen Beitrag zur Versorgung mit Baurohstoffen leisten (PFLEIDERER et al., 2012). Allerdings sind nicht alle dieser Lockergesteinsvorkommen gleichermaßen nutzbar. Die Nutzbarkeit hängt von der Qualität des Materials, also von lithologischen Merkmalen wie Korngröße, Kornform, Sortierung, Rundung, Mürbkornanteil und Gesteinszusammensetzung ab. Diese Merkmale wiederum sind stark von der lithologischen Zusammensetzung der Liefergebiete, der Transportweite und der Ablagerungsart (fluviatil oder gravitativ) abhängig.

Im Rahmen des Projektes „Regenerat“ wurden GIS-Routinen entwickelt, die morphologische Kennwerte der Einzugsgebiete anhand eines Höhenmodells sowie Flächenanteile der Ausgangsgesteine anhand von geologischen Karten berechnen (PFLEIDERER et al., 2013; REITNER et al., 2014). Sedimenttrends wurden formuliert, um GIS-Ergebnisse in Materialeigenschaften umzusetzen. Diese Umsetzung wurde mithilfe von Daten aus visuellen und automatisierten sedimentpetrographischen Geröllanalysen an Sedimentproben ausgewählter Lockergesteinsvorkommen kalibriert (PFLEIDERER et al., 2016a). Anschließend wurden die GIS-Routinen für Schwemmfächer und Schuttkegel bundesweit angewendet und die abgeleiteten Materialeigenschaften statistisch abgesichert (PFLEIDERER et al., 2016b).

Laufende Arbeiten konzentrieren sich einerseits auf die Charakterisierung von Bach- und Wildbachsedimenten, andererseits auf die Abschätzung von Volumen und Akkumulationsraten von geologischen Sedimentkörpern und von Geschiebematerial in Talsperren. Die Quantifizierung des regenerativen Anteils erfolgt für Talsperren

anhand von Daten über Räumungsmassen, für aktive Schwemmfächer durch Mehrfach-Überfliegung mittels Drohnen und anschließender photogrammetrischer Auswertung nach episodisch wiederkehrenden Murgängen.

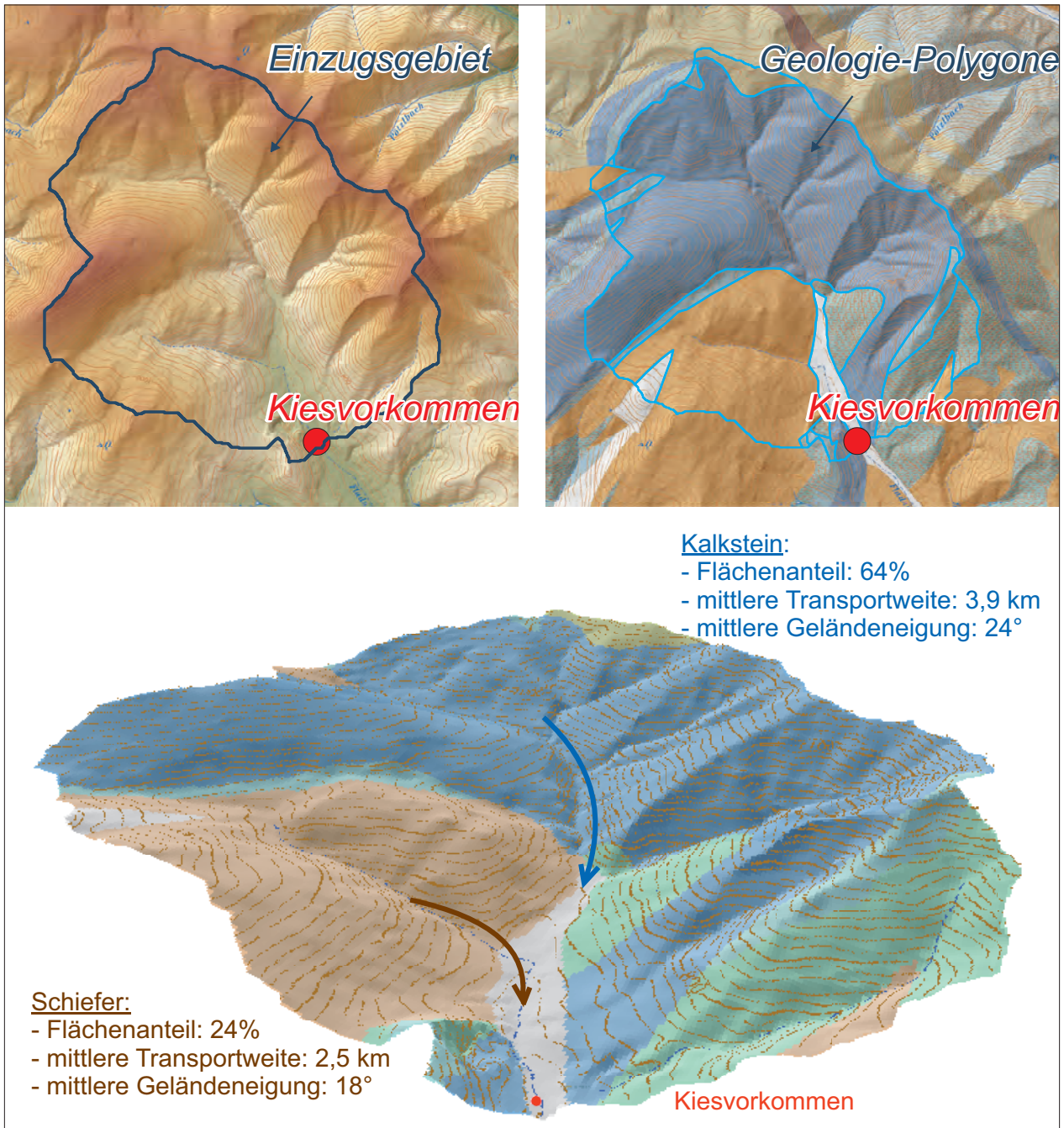
Datengrundlage

Als Basisdaten für die geologische Beschreibung der Liefergebiete dienten die von der Geologischen Bundesanstalt (GBA) publizierten Geologischen Karten 1:50.000, in zweiter Linie die Karten aus dem Datenbestand „Geofast“ (PAVLIK et al., 2015). In den davon nicht abgedeckten Regionen wurden andere digital verfügbare geologische Datengrundlagen verwendet (Kärnten: LETOUZÉ-ZEZULA et al., 2005; Niederösterreich: LIPIARSKI et al., 2012; Oberösterreich: LETOUZÉ-ZEZULA et al., 1999/2000; Salzburg: PESTAL et al., 2005; Steiermark: SCHWENDT, 1998; Vorarlberg: PESTAL et al., 2007). Liefergebiete wurden für Sedimentkörper berechnet, die dem digitalen Geodatenatz der „Digitale(n) Arbeitskarte zur Verbreitung von Lockergesteinen in Österreich“ (HEINRICH et al., 2014) entnommen wurden. Die GIS-Berechnungen der Liefergebietsmorphologie stützten sich auf ein öffentlich zugängliches Höhenmodell (<https://www.data.gv.at>) mit einer Auflösung von 10 x 10 m. Aus einer Geschiebemanagementstudie lagen außerdem die Gesteinszusammensetzungen von Sedimentproben aus 210 Talsperren vor (BERTLE, 2000).

Methodik

Die GIS-Routinen grenzen ausgehend von einem Kiessandvorkommen (Abbaupunkt oder Fläche eines Sedimentkörpers) das morphologische Einzugsgebiet anhand des digitalen Höhenmodells ab, berechnen die Flächenanteile der darin vorkommenden geologischen Einheiten und liefern morphologische Parameter wie Höhendifferenz, Transportweite und Geländeneigung (Abb. 1).

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. sebastian.pfleiderer@geologie.ac.at



Die Sedimentproben wurden hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung, ihrer lithologischen Zusammensetzung und ihrer kongeometrischen Parameter untersucht. Für die Bestimmung der Korngrößenverteilung wurden die Proben bei 105° C getrocknet und mit Sieben der Maschenweiten 63 mm, 32 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm und 2 mm trocken gesiebt. Die Fraktion < 2 mm wurde mit Sieben der Maschenweiten 1 mm, 500 µm, 250 µm, 125 µm, 63 µm und 32 µm nass gesiebt. Falls der Anteil der Korngrößen < 32 µm einer Probe mehr als 10 Masseprozent betrug, wurde diese Kornfraktion im Sedigraph mittels Röntgenstrahlung nach dem Stoke'schen Gesetz analysiert.

Abb. 1. Berechnung des Liefergebietes eines Kiesvorkommens mithilfe des Höhenmodells (oben links), Verschnitt des Liefergebietes mit der geologischen Karte (oben rechts) sowie mithilfe der GIS-Routinen abgeleitete, morphologische und lithologische Parameter des Liefergebietes (unten) (nach PFLIEDERER ET AL., 2016a).

Für die Gesteinsbestimmung der im Sediment vorkommenden Gerölle wurden visuelle Geröllanalysen durchgeführt. Dazu lagen Referenzproben der wichtigsten im Liefergebiet vorkommenden Festgesteinstypen vor, die im Zuge der Sediment-Probennahme genommen wurden. Die Bestimmung erfolgte spezifisch für die verschie-

denen Korngrößenfraktionen. Bei Fraktionen mit einer Komponentenanzahl von deutlich über 100 Einzelkörnern wurde die Auszählung an mindestens 100 repräsentativ entnommenen Einzelkörnern vorgenommen.

Korngeometrische Parameter wurden automatisch mithilfe eines Petroscope 4D[®] ermittelt. Dieses Gerät analysiert jedes einzelne Geröll per Laserstrahl und optischer Kameras und berechnet die Längen der drei Hauptachsen, Kornvolumen, Kornform und Rundungsgrad. Aufgrund der Kameraauflösung können nur Gerölle einer Größe > 8 mm analysiert werden.

Ergebnisse

Insgesamt wurden bisher 17.660 Lockergesteinsvorkommen, davon 15.259 Schwemmfächer und 2.401 Talfüllungen, mittels GIS-Routinen bearbeitet. Für die Liefergebiete dieser Vorkommen liegen morphologische Parameter (Fläche, Höhendifferenz, Steilheit, Transportweite) und geologische Informationen (Gesteinstypen und deren prozentuale Flächenanteile) vor. Bezüglich der Materialeigenschaften von Lockergesteinen wurden Geröllanalysen an 59 Proben und 26.444 Geröllen (lithologische Zusammensetzung, Korngrößenverteilung, Korngeometrie) aus den tektonischen Großeinheiten Österreichs durchgeführt.

Für die Ableitung von Vorhersagen der Materialeigenschaften der Lockersedimente hinsichtlich ihres lithologischen Spektrums, Feinkornanteils, ihrer Sortierung, ihrem Rundungsgrad und ihrer Kornform wurden die im GIS abgeleiteten Daten mit den Ergebnissen der Geröllanalysen in Beziehung gesetzt.

Hinsichtlich der **lithologischen Zusammensetzung** ergibt sich, dass die Flächenanteile der Festgesteine im Liefergebiet ungefähr dem Litho-Spektrum im Sediment entsprechen, obwohl unterschiedliche Verwitterungsbeständigkeit, Transportweite und -art die Zusammensetzung beeinflussen. Abbildung 2 vergleicht die Flächenanteile der Gesteinsarten in einem Liefergebiet mit den lithologischen Geröllanteilen in der Sedimentprobe. Die Abweichungen der Prozentanteile betragen in diesem Beispiel im Mittel 3 %.

Die Medianwerte der Abweichungen betragen für alle Gesteinsarten über sämtliche 59 Proben hinweg insgesamt 4 %, bei Schiefen und Gneisen bis zu 10 %. Die Auswertung der Daten der Geschiebemanagementstudie (BERTLE, 2000) ergibt eine etwas geringere, aber immer noch gute

Übereinstimmung. Die Medianwerte der Abweichungen betragen je nach Gesteinsart 1–6 %, bei Gneisen bis zu 16 %. Dies belegt, dass bei einer geeigneten Gruppierung der zahlreichen kartierten und im Labor bestimmten Gesteinsarten nach rohstoffgeologisch relevanten Kriterien (Genese, Mineralbestand, Verwitterbarkeit) eine Vorhersage für das zu erwartende Litho-Spektrum im Sediment mit einer Genauigkeit von 80–95 % im Mittel erwartet werden kann.

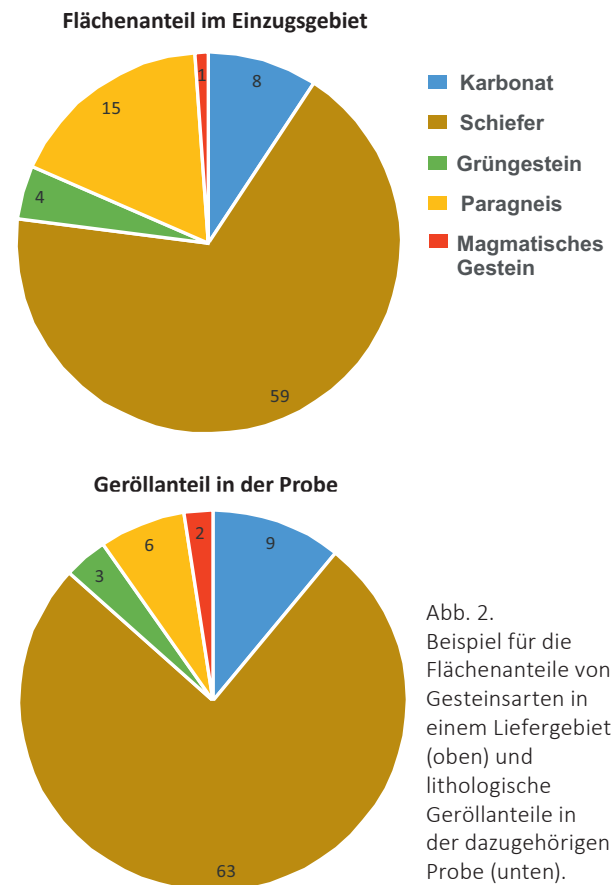


Abb. 2. Beispiel für die Flächenanteile von Gesteinsarten in einem Liefergebiet (oben) und lithologische Geröllanteile in der dazugehörigen Probe (unten).

Hinsichtlich der **Korngrößenverteilung** lassen sich allein anhand der Transportart (fluviatil oder gravitativ) keine eindeutigen Trends erkennen. Sowohl bei Talfüllungen als auch bei Schwemmfächern ergeben sich Streuungen des Feinkornanteils (Kornfraktion < 0,2 mm) zwischen 2 % und 32 %. Dies mag darin begründet sein, dass Schwemmfächer ein Mischprodukt aus fluviatil und gravitativ transportiertem Material darstellen. Eine Auswertung des Einflusses von Lithologie und Transportweite auf den Feinkornanteil steht bisher noch aus.

Als Maß der **Sortierung** zeigen Berechnungen der Ungleichförmigkeitszahl ($U = d_{60}/d_{10}$), dass Proben aus Schwemmfächern generell (d.h. ohne Berücksichtigung von Ausreißern und Extremwer-

ten) schlechter sortiert sind (U: 400–1.300), als Proben aus Talfüllungen (U: 170–520) (Abb. 3). Trenduntersuchungen zeigen außerdem, dass die Sortierung mit zunehmender Transportweite zunimmt. Während Proben aus Schwemmfächern bei geringen Transportdistanzen (2–3 km) extrem schlecht sortiert sind (U = 500), nimmt die Sortierung bei größeren Transportweiten (10–15 km) rapide zu (U = 200). Proben aus Talfüllungen sind bei geringen Transportdistanzen weniger schlecht

sortiert (U = 200), hier ist die Zunahme der Sortierung mit zunehmender Transportdistanz weniger stark ausgeprägt (U = 50 bei 15 km Transportdistanz).

Der **Rundungsgrad**, der visuell lediglich in Klassen unterschieden werden kann (sehr eckig, eckig, subangular, subgerundet, gerundet, gut gerundet; POWERS, 1953), wird durch den Einsatz des Petroscope 4D® zahlenmäßig erfasst. Dadurch werden quantitative Vergleiche möglich. Die Ergebnisse belegen, dass der Rundungsgrad hauptsächlich durch die Gesteinsart und weniger durch die Transportart oder die Transportdistanz bestimmt ist. Dies trifft zumindest auf die untersuchten Lockergesteinsvorkommen zu, die durchweg kurze Transportdistanzen (≤ 16 km) aufweisen. Gerölle aus Quarzit, Granit, Orthogneis und Quarzsandstein sind durchschnittlich eckiger ausgebildet als Gerölle aus Kalkstein, Dolomit, Marmor oder Kalksandstein. Kantengerundet sind am häufigsten Gerölle aus Mergel, Tonstein, Glimmerschiefer und Paragneis. Vor allem bei größeren Kornfraktionen (> 16 mm) lässt sich außerdem eine Zunahme der Rundung der Komponenten mit zunehmender Transportdistanz beobachten.

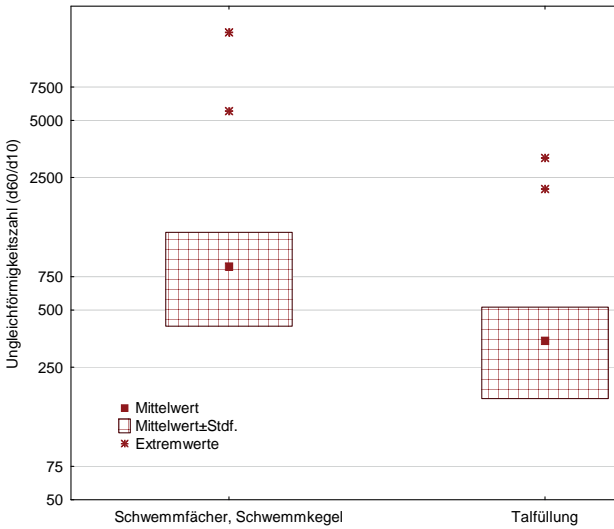


Abb. 3. Vergleich der Ungleichförmigkeitszahlen für Proben aus Schwemmfächern/Schwemmkegeln (n = 35) und aus Talfüllungen (n = 21).

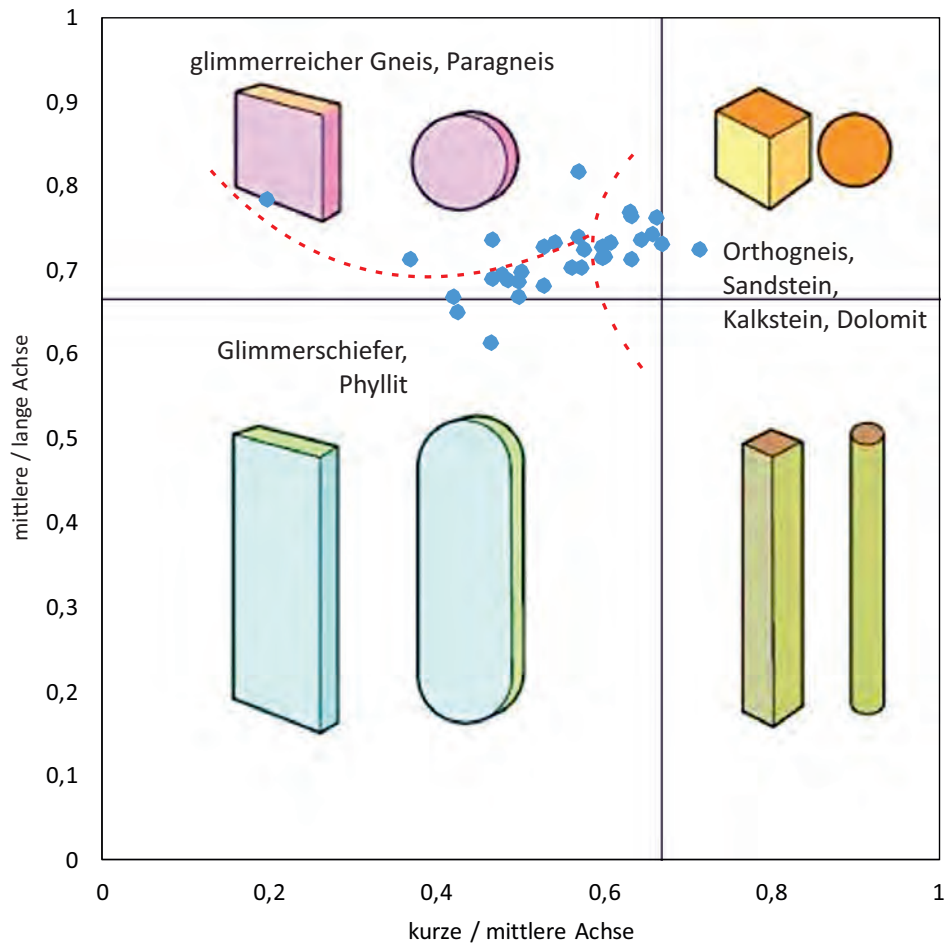


Abb. 4. Kornformen von Geröllen unterschiedlicher Gesteinsarten.

Auch die **Kornform** wird traditionell in Klassen eingeteilt (diskförmig, würfelig, plattig, stängelig; ZINGG, 1935), während die mittels Petroscope abgeleiteten Längen der drei Hauptachsen jedes einzelnen Gerölls eine quantitative Bestimmung erlauben. Wie beim Rundungsgrad ist die Gesteinsart für die Kornform der Gerölle ausschlaggebend. Abbildung 4 zeigt eine Differenzierung der Kornformen je nach Gesteinsart, die mit der herkömmlichen Klasseneinteilung nicht möglich wäre.

Die Erkenntnis, dass Gerölle aus weichen Gesteinsarten eher gerundet sind, Glimmerschiefer und Paragneise eher zur Ausbildung plattig/diskförmiger Gerölle neigen oder Sortierung und Rundungsgrad mit der Transportweite zunehmen, ist nicht überraschend und stellt keinen neuen Informationsgewinn dar. Der Wert der hier vorgestellten Ergebnisse liegt vielmehr darin, dass diese Zusammenhänge durch den Einsatz des Petrosopes 4D® erstmals quantifiziert werden und eine Berechnung von Trends zur Vorhersage von Materialeigenschaften und dadurch auch die Abschätzung der rohstoffgeologischen Nutzbarkeit von Lockergesteinen ermöglichen.

Literatur

- BERTLE, H. (2000): Geschiebepflichtungskonzept für die Räumung der Geschiebesperren der Wildbach- und Lawinnenverbauung sowie der Bundeswasserbauverwaltung. – Studie im Auftrag des Amtes der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung VIII Wasserwirtschaftliches Planungsorgan, Schruns.
- HEINRICH, M., UNTERSWEIG, T., LIPIARSKI, P., GRÖSEL, K., KREUSS, O., LIPIARSKA, I., MOSHAMMER, B., MOSTLER, H., POSCH-TRÖZMÜLLER, G. & RABEDER, J. (2014): Digitale Arbeitskarte zur Verbreitung von Lockergesteinen in Österreich 1:50.000 unter Verwendung publizierter und unpublizierter geologischer Karten. – Projekt Bundesweite Vorsorge Lockergesteine, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- LETOUZÉ-ZEZULA, G., KOÇIU, A., LIPIARSKI, P., PFLEIDERER, S. & REITNER, H. (1999/2000): Massenrohstoffsicherung OÖ und Beiträge zur Baurohstoff-Vorsorge in OÖ. – Endbericht, Projekte O-C-010/95 und O-C-010a/1997, 87 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- LETOUZÉ-ZEZULA, G., ATZENHOFER, B., BERKA, R., HEINRICH, M., HELLERSCHMIDT-ALBER, J., LIPIARSKA, I., LIPIARSKI, P., MOSHAMMER, B., POLTNIG, W., POSCH-TRÖZMÜLLER, G., SCHUSTER, R. & UNTERSWEIG, T. (2005): GIS-Generierung einer geologischen Arbeitskarte von Kärnten als Basis weiterführender rohstoff- und angewandt-geologischer Bearbeitungen – Digitale geologische Karte Kärnten. – Endbericht, Projekt K-C-025/04, 29 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- LIPIARSKI, P., UNTERSWEIG, T., LIPIARSKA, I. & HEINRICH, M. (2012): Angewandt-geologische digitale Arbeitskarte Niederösterreich (AngedAN). – Bericht, Projekt AngedAN, 51 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PAVLIK, W., KREUSS, O., MOSER, M., BAYER, I. & KRENMAYR, H.G. (2015): Geofast – Zusammenstellung ausgewählter Archivunterlagen der Geologischen Bundesanstalt 1:50.000, Bearbeitungsstand 2015, Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PESTAL, G., HEJL, E., EGGER, H., VAN HUSEN, D., LINNER, M., MANDL, G.W., REITNER, J., RUPP, C. & SCHUSTER, R. (2005): Geologische Karte von Salzburg 1:200.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PESTAL, G., OBERHAUSER, R., BERTLE, H. & BERTLE, R. (2007): Geologische Karte von Vorarlberg 1:100.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PFLEIDERER, S., REITNER, H., HEINRICH, M. & UNTERSWEIG, T. (2012): Kiessande. – In: WEBER, L. (Hrsg.): Der Österreichische Rohstoffplan. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, **26**, 99–145, Wien.
- PFLEIDERER, S., HEINRICH, M., RABEDER, J., REITNER, H. & UNTERSWEIG, T. (2013): Automated evaluation of renewable aggregate resources. – In: JONSSON, E. (Ed.): Mineral Deposit Research for a High-Tech World. – Proceedings of the 12th Biennial SGA Meeting, Society for Geology Applied to Mineral Deposits, **4**, 1822–1824, Uppsala.
- PFLEIDERER, S., HEINRICH, M., RABEDER, J., REITNER, H., UNTERSWEIG, T. & WIMMER-FREY, I. (2016a): Application of a new method for rapid quality assessment of renewable aggregate resources in alpine regions. – Geological Society of London, Special Publications, 416, 71–78, London.
- PFLEIDERER, S., HEINRICH, M., LIPIARSKA, I., RABEDER, J., REITNER, H., TRÄXLER, B., UNTERSWEIG, T. & WIMMER-FREY, I. (2016b): Computergestützte lithologische Charakterisierung von regenerativen Lockergesteinsvorkommen (Schwemmfächer, Schuttkegel, Talfüllungen) in Österreich hinsichtlich ihrer Qualität und Nutzbarkeit als Baurohstoffe. – Endbericht, Projekt ÜLG-065/2013-2015, 62 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- POWERS, M.C. (1953): A new roundness scale for sedimentary particles. – Journal of Sedimentary Petrology, **23/2**, 117–119, Tulsa.
- REITNER, H., PFLEIDERER, S., HEINRICH, M., LIPIARSKA, I., LIPIARSKI, P., RABEDER, J., UNTERSWEIG, T. & WIMMER-FREY, I. (2014): Geoprocessing tool Regenerat: Characterization of mineral resource quality of renewable sediment deposits. – In: PARDO-IGUQUIZA, E., GUARDIOLA-ALBERT, C., HEREDIA, J., MORENOMERINO, L., DURAN, J.J. & VARGAS-GUZMAN, J.A. (Eds.): Mathematics of Planet Earth. – Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Association for Mathematical Geosciences. – Lecture Notes in Earth System Sciences, **XXXVI**, 315–318, Heidelberg.
- SCHWENDT, A. (1998): Die digitale geologische Karte der Steiermark. – Mitteilungen des Referats für Geologie und Paläontologie am Landesmuseum Joanneum, Sonderheft 2, 325–328, Graz.
- ZINGG, T. (1935): Beiträge zur Schotteranalyse. – Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, **15**, 39–140, Zürich.