Zeitschrift: Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft

Herausgeber: Thurgauische Naturforschende Gesellschaft

Band: 71 (2023)

Artikel: Die DOVE-Forschungsbohrung in Basadingen-Schlattingen : geologische Erkundung einer eiszeitlichen Übertiefung

Autor: Buechi, Marius, W. / Schaller, Sebastian / Anselmetti, Flavio S.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1046356

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 31.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die DOVE-Forschungsbohrung in Basadingen-Schlattingen: Geologische Erkundung einer eiszeitlichen Übertiefung

Marius W. Buechi, Sebastian Schaller & Flavio S. Anselmetti

Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft
14 Seiten • 6 Abbildungen • Frauenfeld 2023

Zusammenfassung
Glaziale Übertiefungen sind tief eingeschnittene, lang gestreckte Rinnen, die durch Erosion an der Sohle von Gletschern entstehen. Aus dem geologischen Untergrund der Alpen sind imposante Übertiefungen bekannt, die im Zuge der wiederholten Gross-Vergletscherungen im Quartär (letzte 2,56 Mio. Jahre) entstanden. Die Sedimentabfolgen, welche die Übertiefungen heute verfüllen, sind wichtige, aber erst wenig erforschte geologische Archive der Vergletscherungsgeschichte und Landschaftsentwicklung. Das Forschungsprojekt *Drilling Overdeepened Alpine Valleys (DOVE)* erkundet glaziale Übertiefungen rund um die Alpen mit geophysikalischen Methoden und Bohrungen. Eine der Bohrstellen befindet sich in der Gemeinde Basadingen-Schlattingen (Kanton Thurgau/Schweiz), wo eine 252 m lange Sedimentabfolge aus einer verfüllten Übertiefung erbohrt wurde. Die noch laufende Auswertung soll zu einem besseren Verständnis der quartären Klima- und Umweltgeschichte des Alpenraums und der Entstehung von Übertiefungen beitragen.

Le forage scientifique DOVE à Basadingen-Schlattingen: Exploration géologique d'un surcreusement glaciaire
Les surcreusements glaciaires sont des chenaux allongés et profondément incisés qui se forment par érosion au fond des glaciers. On connaît d'imposants surcreusements du sous-sol géologique des Alpes, qui se sont formés au cours des grandes glaciations répétées du Quaternaire (dernières 2,56 millions d'années). Les séquences sédimentaires qui comblent aujourd'hui ces surcreusements sont des archives géologiques importantes, mais encore peu étudiées, de l'histoire des glaciations et de l'évolution du paysage. Le projet de recherche Drilling Overdeepened Alpine Valleys (DOVE) *explore les surcreusements glaciaires autour des Alpes à l'aide de méthodes géophysiques et de forages. L'un des sites de forage se trouve dans la commune de Basadingen-Schlattingen (Canton Thurgovie/Suisse), où une séquence de sédiments de 252 m de long a été forée à partir d'une surprofondeur comblée. L'évaluation encore en cours doit contribuer à une meilleure compréhension de l'histoire climatique et environnementale quaternaire de l'espace alpin et de la formation des surcreusements.*

The scientific drilling DOVE in Basadingen-Schlattingen: Geological exploration of a glacial overdeepening
Glacial overdeepenings are deeply incised, elongated channels that are formed by erosion at the sole of glaciers. Impressive overdeepenings are known from the Alps, which result from the repeated extensive glaciations during the Quaternary (last 2,56 million years). The sedimentary sequences that fill the overdeepenings today are important but poorly explored geological archives of glaciation history and landscape evolution. The research project Drilling Overdeepened Alpine Valleys (DOVE) *explores glacial overdeepenings around the Alps using geophysical methods and drilling. One of the drill sites is located in Basadingen-Schlattingen (Canton Thurgau/Switzerland), where a 252 m long sediment sequence was drilled out of a backfilled overdeepening. The still ongoing research will contribute to a better understanding of the Quaternary climate and environmental history of the Alps and the formation of glacial overdeepenings.*

1 Einleitung

Im Rahmen des internationalen Forschungsprojekts *Drilling Overdeepened Alpine Valleys (DOVE)* wurde 2021 eine geologische Forschungsbohrung im Waldgebiet *Muedihaa* im Süden der Gemeinde Basadingen-Schlattingen TG durchgeführt. Die Bohrung hatte zum Ziel, die durch eiszeitliche Gletscher bis in rund 300 m Tiefe eingeschnittene Rinne unter diesem unscheinbaren Waldstück zu erkunden. Solche subglazial entstandenen Rinnen – auch glaziale Übertiefungen genannt – sind charakteristische Elemente im geologischen Untergrund von einst gletscherbedeckten Gebieten. Dazu gehört auch der Thurgau, dessen Gebiet während klimatischer Kaltphasen der letzten 2,56 Millionen Jahre, dem Quartär, vielfach vom mächtigen Vorland-Gletscher bedeckt wurde. Die offensichtlichsten Spuren der Vergletscherungen sind im Thurgau zum Beispiel Moränenwälle, welche einstige Eisränder nachzeichnen, oder grosse Findlinge, die vom mühelosen Transport tonnenschwerer Steinblöcke auf den einstigen Eis-Riesen zeugen. Zur Hauptsache gehen diese Spuren auf die letzte grosse Vergletscherung, der sog. Birrfeld-Eiszeit mit dem Höhepunkt vor ca. 24'000 Jahren, sowie ihrer Rückzugsstadien zurück *(Keller & Krayss 1999, Preusser et al. 2011)*.

Die Spuren der Eiszeit-Gletscher setzen sich jedoch auch im Untergrund fort. Dort gehören insbesondere unter dem Gletscher entstandene Übertiefungen zu den imposantesten Formen der eiszeitlichen Gletscher *(Abbildung 1)*. Da diese subglazialen Formen verborgen sind, werden sie erst mit aufwendigen geologischen Untersuchungen (z. B. Bohrungen) erkennbar. Die Entstehung von Übertiefungen und deren Verfüllung mit Sedimenten geht – im Gegensatz zu vielen Oberflächenformen – meist auf mehrere Eiszeiten zurück. Das Verständnis, wo, wann und durch welche Prozesse diese Übertiefungen durch die Gletscher in den Untergrund erodiert wurden, ist jedoch noch unvollständig und Teil intensiver Forschungstätigkeit. Der Beitrag stellt in einem ersten Teil die glazialen Übertiefungen als verborgene Elemente der eiszeitlichen Landschaft im Alpenvorland vor. In einem zweiten Teil wird dann auf die Forschungsbohrung in Basadingen-Schlattingen eingegangen. Der Beitrag schliesst mit einigen Betrachtungen zur Bedeutung für angewandte geologische Fragestellungen.

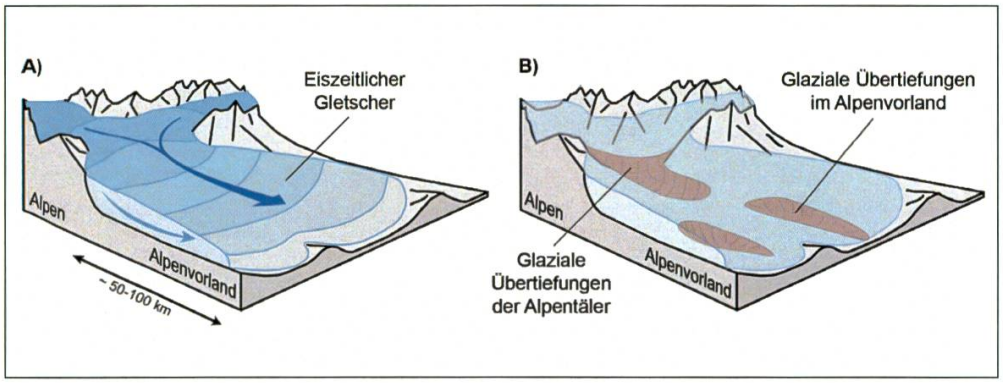

Abbildung 1: A) Schematische Darstellung der Gletscherbedeckung und des generellen Eisflusses während Phasen ausgedehnter Vergletscherungen («Eiszeiten») in den Alpen. B) Glaziale Übertiefungen (rote Bereiche) entstehen unter den eiszeitlichen Gletschern (nach Buechi 2016).

2 Entstehung glazialer Übertiefungen im Alpenvorland

2.1 Form von Übertiefungen

Übertiefungen sind meist lang gezogene, oft leicht geschwungene Rinnen oder Tröge im Untergrund, die durch die eiszeitlichen Gletscher eingeschnitten wurden *(Abbildungen 1* und *2)*. Die Längsachsen der Übertiefungen folgen dabei der generellen Fliessrichtung des Gletschers. Die Basis dieser Übertiefungen – und dies ist eine Schlüsseleigenschaft – liegt tiefer als das vorherrschende Entwässerungsniveau (Vorflut), auf welches sich Oberflächen-Prozesse wie z. B. die Flüsse einstellen. Der Begriff Übertiefung bringt diesen Umstand zum Ausdruck: eine Rinne, die weiter eingetieft ist als aufgrund der Vorflut erwartet werden kann. Talabwärts enden Übertiefungen an einer Gegensteigung.

Einzelformen von Übertiefungen sind sich oft recht ähnlich und können dort besonders gut beobachtet werden, wo sie direkt in die unterliegenden Festgesteine eingeschnitten sind (sog. Fels-Übertiefungen, z. B. *Magrani et al. 2020)*. Komplexere Formen sind aber sehr häufig und entstehen meist durch wiederholte übertiefende Erosion *(Abbildung 2)*. Dabei wird oft beobachtet, dass die Gletscher nur Teile von bestehenden Sedimentfüllungen erodieren und damit also zumindest abschnittsweise keine neue Fels-Übertiefungen ausbilden, sondern als übereinander gestapelte Becken auftreten *(Buechi et al. 2018)*. Formvariationen ergeben sich weiter durch Veränderungen der Erodierbarkeit (z. B. bei lithologischen Wechseln oder Schwächezonen im Untergrund) und Veränderungen in der Fliessdynamik des einstigen Gletschers (z. B. seitliche Eiszuschüsse, Strömungshindernisse).

2.2 Wie entstehen Übertiefungen?

Übertiefungen entstehen dort unter dem Gletscher, wo Erosion und Transport effizient zusammenwirken. Die Übertiefungen des Alpenvorlandes sind dabei an temperierte Bedingungen am Gletscherbett gebunden (z. B. *Evans et al. 2005)*. Temperiert bedeutet dabei, dass die Temperatur des Gletschereises um den Druckschmelzpunkt liegt und demzufolge Eis und Wasser koexistieren können. Als Erosionsprozesse unter den eiszeitlichen Vorlandgletschern kommen dabei die Prozesse der Abrasion (Abschleifen) und des Plucking (Abreissen) infrage. Die Abrasion erfolgt direkt durch das mit Sedimenten beladene Eis der Gletschersole, durch subglaziale Wässer oder Sediment-Wasser-Gemische zwischen Gletschersole und Untergrund. Durch Druckspitzen können die unterliegenden Gesteine manchmal auch hydraulisch aufgebrochen werden (z. B. *Ravier et al. 2014, Gegg et al. 2020)*.

Ohne den Wegtransport des erodierten Materials kommt das Einschneiden in den Untergrund zum Erliegen. Darum sind nicht nur die Erosionsprozesse, sondern auch der Sedimenttransport von zentraler Bedeutung für die Entstehung von glazialen Übertiefungen. Der Transport erfolgt dabei durch subglaziale (an der Gletscherbasis liegend) und englaziale (im Gletscher selber liegend) Tunnel, durch die Sedimente ausgespült werden können. Dieses Hinauf- und Hinausfliessen wird durch das im Gletscher eingespielte hydraulische Potenzial ermöglicht. Weiter können die Sedimente durch Anfrieren und eistektonisches Aufschuppen im Gletscher bei kompres-

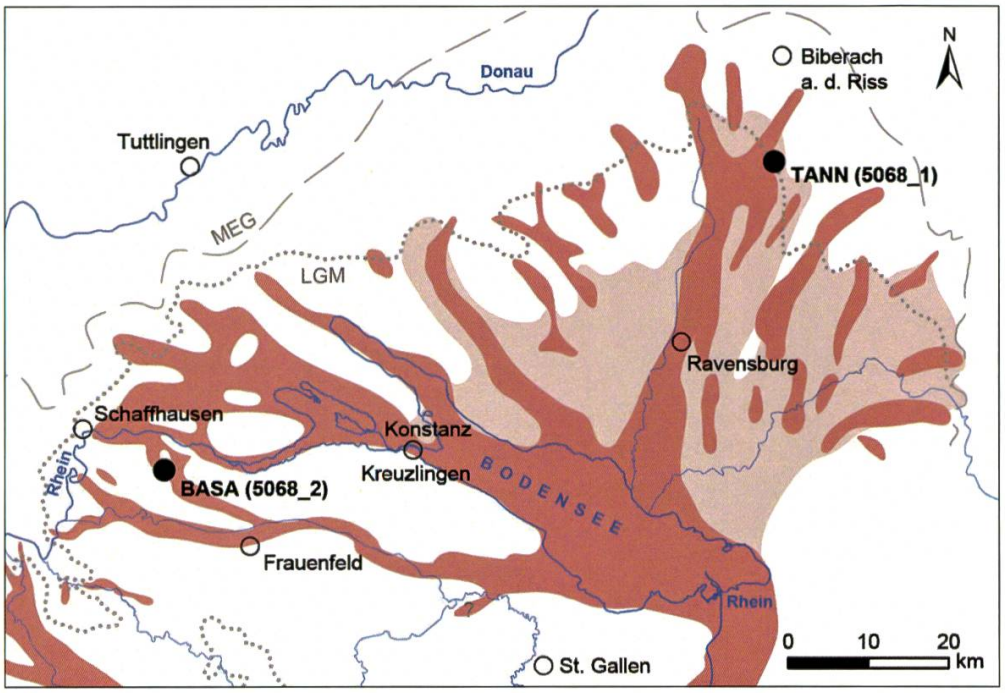

Abbildung 2: Der Bodenseeraum ist von einem am Alpenrheintal ausfächernden Netzwerk von glazialen Übertiefungen (rot) durchzogen. Die Übertiefungen haben sich durch wiederholte Vorland-Vergletscherungen gebildet (rekonstruierte Ausdehnungen für das LGM [maximale Gletscherausdehnung während des letzten glazialen Zyklus] und das MEG [maximale Gletscherausdehnungen im Quartär] sind dargestellt). Weite Bereiche dieser Übertiefungen sind mit Sediment verfüllt. Insbesondere der Bodensee hat sich jedoch seit der letzten Vergletscherung noch nicht vollständig mit Sediment aufgefüllt. Die DOVE-Forschungsbohrungen bei Basadingen-Schlattingen BASA (ICDP site 5068_2) und im Tannwald-Becken TANN (ICDP site 5068_1) haben mehrphasige Talfüllungen im externen Bereich des Fächers erkundet. Der hellrote Bereich markiert die glaziale Amphitheater-Landschaft in Baden-Württemberg. Vereinfacht nach Ellwanger et al. (2011), Pietsch & Jordan (2014) und Graf (2009).

sivem Fliessen vom Gletscherbett weg transportiert werden. Das Gletscherbett ist dabei nicht als eine homogene Fläche, sondern als ein Mosaik aus Gletscherbett-Zonen mit lokal unterschiedlichen Eigenschaften anzusehen *(Menzies 1989)*. Ausserdem dürfte sich dieses Mosaik vermutlich ständig ändern (tägliche, jahreszeitliche und längere Zeitskalen, z. B. *Swift et al. 2005)*. Weiter treten selbstverstärkende Mechanismen auf, indem z. B. subglaziale Wässer zu den Übertiefungen hingezogen werden.

Neben diesen subglazialen Bedingungen spielen für die Ausbildung von glazialen Übertiefungen auch die geologischen Randbedingungen eine wichtige Rolle. Die vorgezeichneten Talverläufe steuern den Eisfluss und damit meist auch die generelle Richtung der Tiefenerosion der Gletscher. Die Lithologien und tektonisch-bedingten Schwächezonen dürften sich insbesondere über die Erodierbarkeit auswirken (z. B. *Dürst-Stucki & Schlunegger 2013, Gegg et al. 2019)*. Im Bodensee-Raum scheinen sich tektonische Grossmuster teilweise im Verlauf von Übertiefungen zu zeigen (z. B. *Hantke et al. 2003, Fabbri et al. 2021),* jedoch zeigen viele Vorland-Übertiefungen häufig geschwungene Verläufe und Auffächerungsmuster, die sich nicht oder nur abschnittweise mit den Verläufen von gesicherten tektonischen Strukturen decken *(Abbildung 2)*.

2.3 Übertiefungen werden geologische Archive

Die Erosion in den Übertiefungen stoppt mit dem Rückzug und Zerfall des Vorlandgletschers gegen Ende einer Kaltzeit. Ziehen sich die Gletscher über den Bereich der Übertiefung zurück, wird eine übertiefte Senke freigegeben, in welcher sich lang gestreckte, fjord-ähnliche Seen bilden. Gestaut werden diese Seen an der talabwärtigen Gegensteigung der Übertiefung sowie an den Eisrand-Sedimenten, welche die Täler verbauen (z. B. Endmoränenwälle und mächtige Ablagerungen von Schmelzwasser-Flüssen). In der Frühphase liegen dabei Teile der Gletscherzunge noch im See, später bricht diese Verbindung ab. Diese gerade entstandenen Seen werden im Verlauf des Gletscherrückzugs häufig verfüllt. Lockersedimente werden beim Gletscherrückzug in grosser Menge freigesetzt, welche via Flüsse und Deltas in die übertieften Senken transportiert werden und diese dann rasch auffüllen können. Viele dieser Seen sind deswegen – geologisch gesprochen – von kurzer Dauer und dürften nur ein paar Hundert bis wenige Tausend Jahre Bestand haben. Sind die Übertiefungen gross genug, können die Seen darin aber länger bestehen, ohne vollständig aufgefüllt zu werden. Ausserdem sinken die Ablagerungsraten generell im Verlauf der Nacheiszeit, wenn die glaziale Aktivität im Einzugsgebiet deutlich abnimmt (z. B. *Hinderer 2001*). Seen in Übertiefungen können deswegen manchmal auch länger weiterbestehen, z. B. bis in die nachfolgende Warmzeit (Interglazial). Diese Seen sind uns aus der aktuellen Warmzeit – dem Holozän – bestens bekannt: Die meisten Alpenrandseen rund um die Alpen sind solche unvollständig verfüllten Reste grosser Übertiefungen. Zu ihnen zählt auch der Bodensee *(vgl. Abbildung 2)*. Vollständig verfüllte Übertiefungen sind dahingegen in der Landschaft wenig sichtbar. Dank geologischer Hilfsmittel wie Bohrungen und geophysikalischen Methoden kann aber gezeigt werden, dass z. B. auch unter grossen Teilen des Thurtals, im nordöstlichen Kantonsgebiet, und an vielen weiteren Stellen solche verborgenen Übertiefungen bestehen. Nicht immer folgen die Übertiefungen dabei den heute sichtbaren Talverläufen.

3 Das Forschungsprojekt DOVE und die Forschungsbohrung in Basadingen-Schlattingen

3.1 Das DOVE-Projekt

Übertiefungen bieten einen grossen, noch weitgehend ungeborgenen «Schatz» an geologischen Informationen. Ab 2012 hat sich deswegen ein internationales Team von rund 30 Forschenden aus verschiedenen Fachrichtungen im Forschungsprojekt *Drilling Overdeepened Alpine Valleys,* kurz DOVE, organisiert. Das DOVE-Projekt verfolgt dabei das Hauptziel, mithilfe der geologischen Archive in Übertiefungen die Klima- und Umweltgeschichte sowie die Vergletscherungen und die Landschaftsentwicklung alpenumgreifend während der letzten rund 0,5 bis 1 Million Jahre zu rekonstruieren. Zur Erreichung dieser Ziele verfolgt das DOVE-Projekt einen Ansatz, bei dem rund um die Alpen verteilt an den geeignetsten Standorten geophysikalische Messungen, Forschungsbohrungen und weitere geologische Untersuchungen durchgeführt und später zu einer Gesamtsicht integriert werden *(Abbildung 3)*. Das grosse wissenschaftliche Potenzial dieses Ansatzes von DOVE führte dann zur Förderung des DOVE-Projekts durch das *International Continental Scientific Drilling Project*

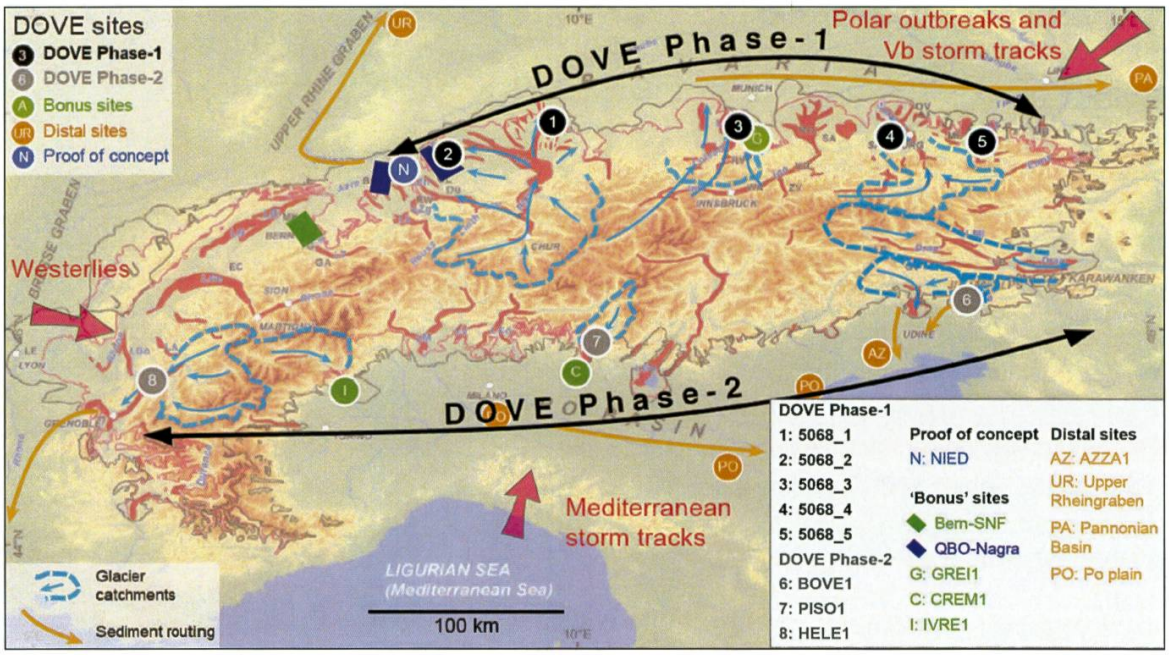

Abbildung 3: Übersichtskarte des ICDP-DOVE Projekts mit den DOVE-Phase-1-Bohrungen (schwarz), den geplanten DOVE-Phase-2-Bohrungen (grau), den Nagra-Quartärbohrungen (11 Bohrungen innerhalb des blauen Rechtecks), einem SNF-finanzierten Forschungsprojekt zu Übertiefungen im Raum Bern (innerhalb des grünen Rechtecks) und weiteren 'bonus sites', welche zusätzlich verfügbare Bohrungen (grüne Punkte) markieren. Im Hintergrund sind (nach Preusser et al. 2010) die maximale Gletscherausdehnung während des letzten glazialen Zyklus (LGM, rote Linie) und während des gesamten Quartärs (MEG, schwarze Linie) sowie das Vorkommen der wichtigsten Übertiefungen (rote Flächen) zu sehen. Die roten Pfeile markieren die wichtigsten atmosphärischen Transportpfade für Luftfeuchtigkeit. Weiter sind die ungefähren Gletscher-Einzugsgebiete der Bohrstellen (blau gestrichelt) und die generellen Eisflussrichtungen (blaue Pfeile) dargestellt. Orange Kreise weisen auf die alpenfernen kontinentalen Becken hin, die im Abstrom der untersuchten Gebiete liegen und kontinuierlichere, aber nur indirekte Archive der alpinen Vergletscherung enthalten (aus Anselmetti et al. 2022).

(ICDP; www.icdp-online.org), welches weltweit Forschungsbohrungen finanziell und logistisch unterstützt.

Mit DOVE sollen nun in Übertiefungen die geologisch reichhaltigsten Abfolgen der Alpen erforscht werden. Einerseits geht es um die Frage, wie Übertiefungen entstehen. Im vorangehenden Kapitel wurde dargestellt, dass die Entstehung von Übertiefungen an bestimmte, aber nicht abschliessend verstandene Gletscherbett-Bedingungen geknüpft ist. Das geologische Erkunden von Übertiefungen kann damit helfen, ein besseres Verständnis der subglazialen Prozesse und Bedingungen zu gewinnen. Das Vorkommen, die Geometrie oder die Sedimente, die im Gletscherkontakt gebildet wurden, liefern wichtige Informationen über die Prozesse am Gletscherbett. Andererseits sind Übertiefungen, bzw. die darin eingefüllten Sedimente, wichtige geologische Archive für die Rekonstruktion vergangener Vergletscherungen und Umweltbedingungen. Die oben erwähnte Eiszeit (Birrfeld Eiszeit) ist lediglich die letzte von mehreren regelmässig wiederkehrenden Vergletscherungen, während derer die Gletscher aus den Alpen bis weit ins Mittelland vorstiessen. In den letzten 1 Million Jahren haben solche Eiszeiten rund alle 100'000 Jahre stattgefunden, wobei nicht genau bekannt ist, wie sich diese Eiszeiten in Bezug auf Gletscherausdehung und Ablauf unterschieden haben. Die Sedimente in den Übertiefungen zeugen vom Kommen und Gehen der Gletscher und den sich verändernden Klima-

und Umweltbedingungen. Diese Sediment-Archive sind dabei vollständiger als etwa die Landschaftsformen an der Oberfläche; diese werden bei wiederholter Vergletscherung durch die sie überfahrenden Gletscher leicht umgestaltet und verwischt. Aus den in den Übertiefungen erhaltenen Sedimenten hingegen können Geologinnen und Geologen die einstigen Ablagerungsbedingungen der Abfolge multipler Eiszeiten und, mit etwas Unschärfe, das Alter der Vergletscherungsspuren herausfinden.

Die DOVE-Bohrungen sind dabei in Nord-Süd- und West-Ost-Transekten über den gesamten Alpenraum angeordnet *(vgl. Abbildung 3)*. Diese Auslage bietet die Möglichkeit, die unterschiedliche Entwicklung der Teilgebiete besser zu verstehen. Unterschiede in Ausdehnung und zeitlicher Entwicklung der Vergletscherungen dürften dabei insbesondere auf die je nach Alpenregion unterschiedlichen klimatischen und topografischen Verhältnisse zurückgehen. Mit der Anlage in Transekten kann also verstanden werden, wie sich die global beobachteten Klimaveränderungen zwischen Kalt- und Warmzeiten in einem panalpinen Rahmen regional ausgewirkt haben.

3.2 Die Forschungsbohrung in Basadingen-Schlattingen

In der Projektierungsphase wurde eine grosse Zahl möglicher Übertiefungen hinsichtlich ihrer Eignung als DOVE-Bohrstandorte verglichen. Daraus wurde für Phase 1 dann eine Auswahl gemäss *Abbildung 3* getroffen. Die Wahl zugunsten einer Bohrung in die Basadingen-Rinne ging dabei auf eine günstige Kombination von bestehendem Kenntnisstand und wissenschaftlichem Potenzial hinsichtlich des DOVE-Gesamtkonzepts einher. Die ursprüngliche Entdeckung der tiefen verborgenen Talung ist ein Nebenprodukt der Explorationstätigkeit der Schweizerischen Erdöl AG (SEAG). In den frühen 1980er-Jahren wurde eine ungekernte Spülbohrung für geophysikalische Messungen durchgeführt, mit der eine grosse Rinnentiefe (Endteufe der Bohrung auf 208 m Tiefe in Lockersedimenten) nachgewiesen werden konnte. Die erbohrten und weggespülten Sedimente der Füllung wurden aber nur summarisch dokumentiert *(Müller 2010)*. Die Erkundung der regionalen Grundwasser-Verhältnisse durch die Kantone Zürich und Thurgau lieferten seither weitere wichtige Erkenntnisse zum Vorkommen eiszeitlicher Sedimente zwischen Thur und Rhein. Der heutige Kenntnisstand ist insbesondere in *Graf (2009)* und *Müller (2010)* dargestellt. Parallel führt die Nagra seit ca. 2018 vertiefte quartärgeologische Untersuchungen im unteren Thurtal und in benachbarten Gebieten durch, die den zu erwartenden Forschungsresultaten aus Basadingen-Schlattingen zusätzlichen Kontext verleihen.

Im September 2019 wurden für DOVE zwei Linien Reflexionsseismik über die Basadingen-Übertiefung gemessen. In dieser Seismik *(Abbildung 4)* konnte nun erstmals die Trogform und eine mögliche interne Gliederung der Sedimentfüllung beobachtet werden *(Brandt 2020)*. Auf dieser Grundlage wurde dann ein Bohrpunkt bestimmt, an dem die geologischen Ansprüche innerhalb des gegebenen technischen und finanziellen Rahmens am besten erfüllt werden konnten. Nach einer Bewilligungs- und Ausschreibungsphase wurde die geologische Forschungsbohrung zwischen Sommer und Herbst 2021 durchgeführt *(Abbildung 5)*.

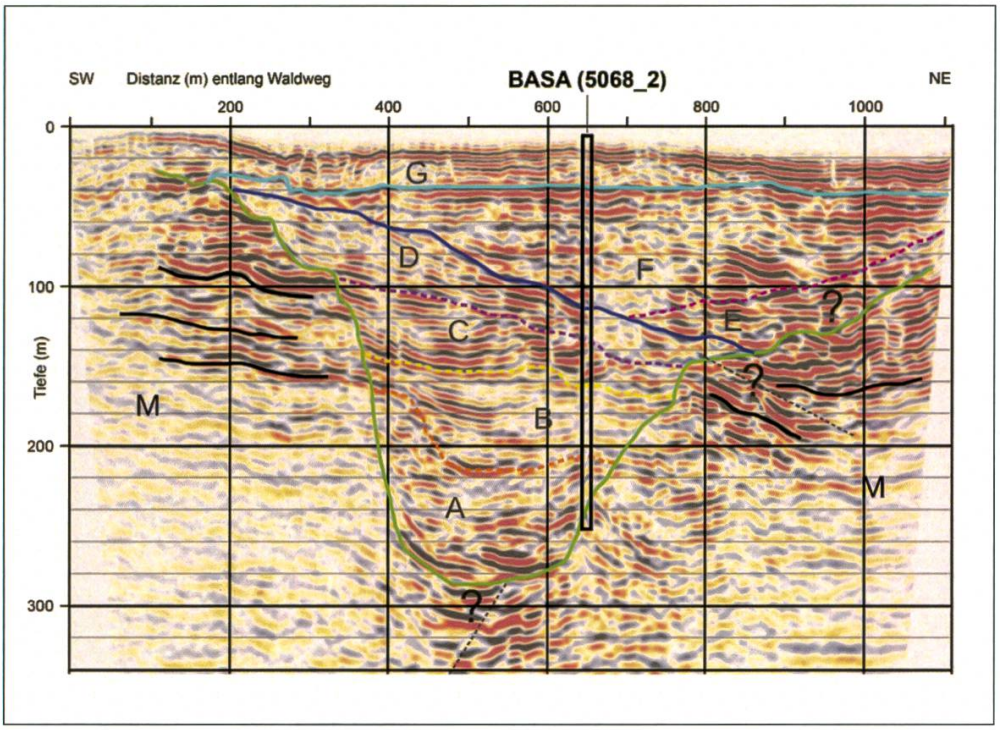

Abbildung 4: Seismisches Profil über den Bohrpunkt der Forschungsbohrung in Basadingen-Schlattingen (ICDP site 5068_2). Die grüne Linie markiert die vermutete Basis der Übertiefung über den Gesteinen der Molasse (M). Die Füllung der Übertiefung ist in mehrere seismisch unterscheidebare Sedimentpakete (A bis G) gegliedert. Die Kombination von Seismik und Bohrkernen erlaubt eine detaillierte Interpretation der Füllung der Übertiefung.

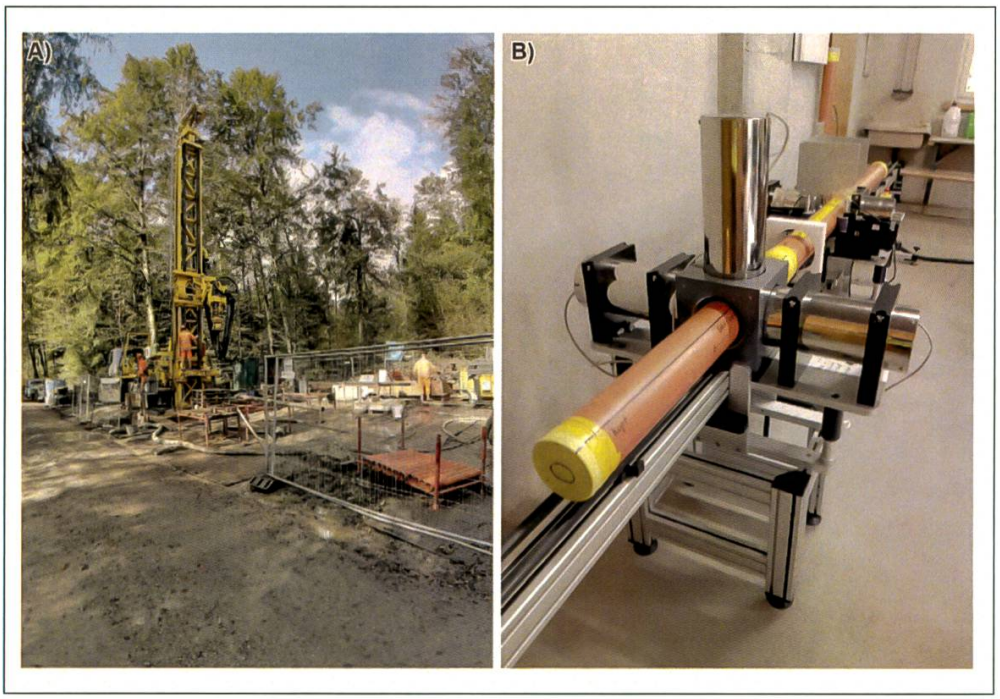

Abbildung 5 A): Der Bohrplatz im Wald bei Muedihaa mit dem Bohrgerät (gelb). B): Die Bohrkerne werden in Plastik-Linern (1 m lange orange Rohre) gebohrt und durchfahren nach dem Bohren eine Messbank zur Bestimmung von P-Wellengeschwindigkeit, magnetischer Suszeptibilität und Dichte. Die erbohrten Sedimente werden erst später im Labor sichtbar, wenn die Liner aufgeschnitten werden. Foto: Sebastian Schaller.

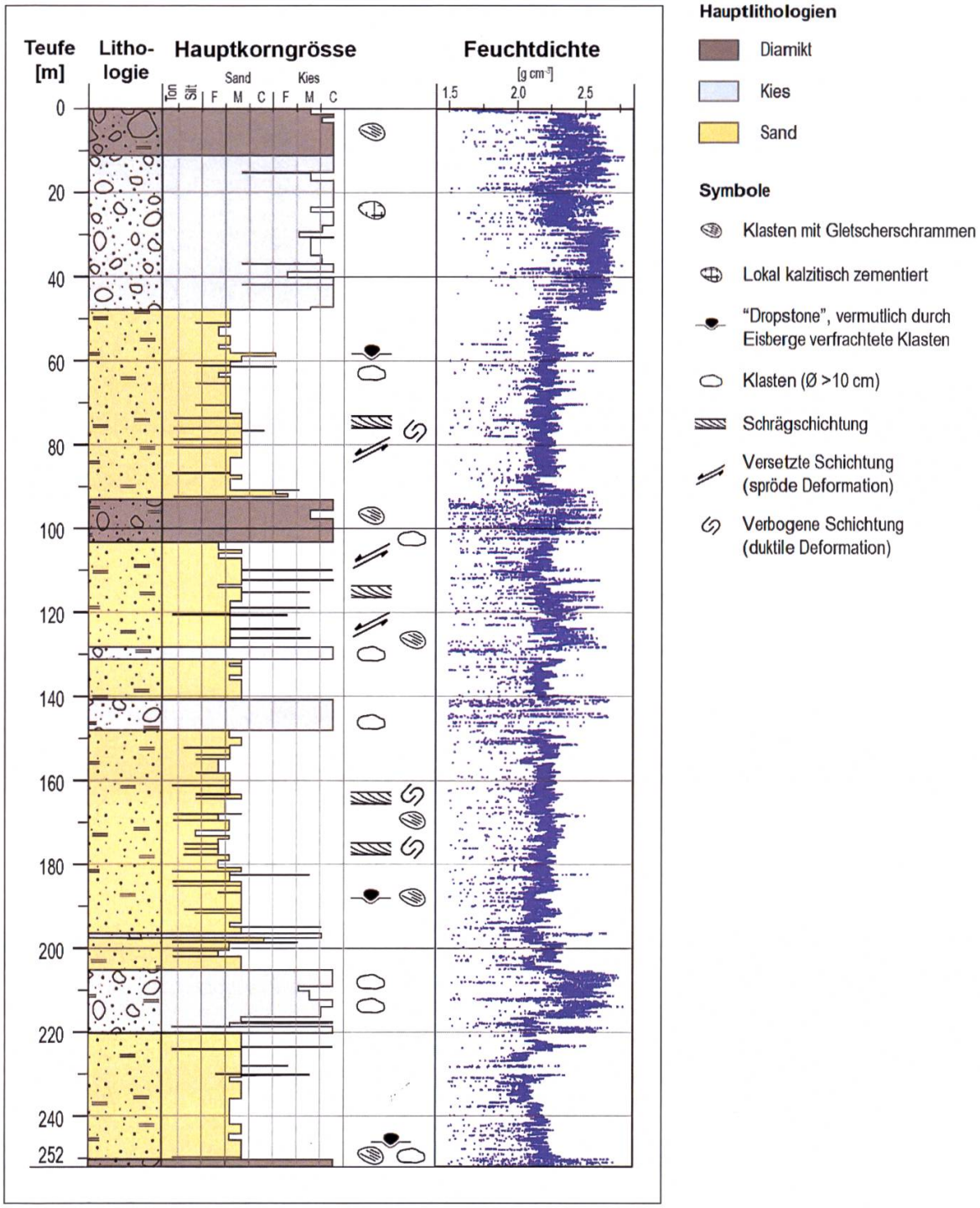

Abbildung 6: Erbohrte Sedimentabfolge, vereinfacht nach Schaller et al. (eingereicht).

3.3 Erbohrte Abfolge und vorläufige Interpretation

Die erbohrte Talfüllung aus der Basadingen-Übertiefung ist in *Abbildung 6* zusammen mit einer ersten Interpretation dargestellt *(Schaller et al., eingereicht)*. Die Bohrung hat die Übertiefung bis in den basalen Teil bei 252 m Tiefe in meist hervorragender Kernqualität erschlossen. Einzig der Übergang zu den anstehenden Festgesteinen der Molasse konnte aufgrund grosser bohrtechnischer Schwierigkeiten knapp nicht erreicht werden.

Die erbohrte Abfolge kann grob zweigeteilt werden: Im unteren Teil zwischen 252 und 48 m Tiefe besteht die Talfüllung aus Sand, der von Kies- und Diamikt-Lagen in grössere Pakete gegliedert ist. Zwischen rund 90 und 148 m Tiefe nimmt die Dominanz der Sande ab und es konnte eine Wechsellagerung mit Kiesen im Meter- bis Dezimeter-Bereich beobachtet werden. Die mächtigen, sandigen Lagen dieses unteren Teils der Talfüllung werden als Sedimente interpretiert, welche mit reichlich Strömung auf einem Seeboden abgelagert wurden. Dieser ehemalige, zeitweise mindestens 200 m tiefe See dürfte die Übertiefung erfüllt und sich über mehrere Kilometer erstreckt haben. Während der Ablagerung der erbohrten Sedimente könnte die damalige Gletscherzunge noch im See gelegen haben. Die diamiktischen bis kiesigen Zwischenlagen repräsentieren vermutlich Strömungsereignisse und Schlammströme, die eine engere Verbindung zum Gletscher, möglicherweise auch einen wiederholten direkten Gletscherkontakt bezeugen. Die Wechsellagerungen von Sand und besser sortiertem Kies könnten Schüttungen eines Deltas in den See darstellen. Im oberen Teil der Bohrungen zwischen 48 und 11 m Tiefe folgen Schotter und oberhalb von 11 m mehrheitlich Diamikte. Die Schotter sind als Flussablagerungen zu interpretieren. Die obersten Diamikte werden als Gletscherablagerungen der letzten, allenfalls auch älterer Vergletscherungen interpretiert, welche die Basadingen-Übertiefung nur überfahren, aber nicht ausgeräumt haben.

Diese erste Interpretation wird nun durch weitergehende Untersuchungen geprüft, mit der Seismik verknüpft und verfeinert. Ausserdem laufen aufwendige Versuche zur Altersbestimmung der Sedimente. Daraus kann dann eine detaillierte Vergletscherungs- und Landschaftsgeschichte im lokalen und – durch das Zusammenführen mit den weiteren Erkenntnissen aus dem DOVE-Projekt – im gesamten alpinen Raum rekonstruiert werden.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Prägung des Thurgauer Untergrundes durch die eiszeitlichen Vorgänge birgt eine enge Verbindung zwischen Eiszeiten-Geologie und unserer heutigen Lebenswelt. Die Erforschung der glazialen Übertiefungen kann für einige angewandte Herausforderungen wichtige Grundlagen schaffen. So spielen glaziale Übertiefungen beispielsweise insbesondere bei der Nutzung des flachen bis mitteltiefen Untergrundes, d. h. bis in einige 100 m Tiefe, eine wichtige Rolle. In diesem Tiefenbereich kann sich das Vorkommen einer glazialen Übertiefung mit der Nutzung des Untergrundes für Grundwasser, geothermische Energie, mineralische Rohstoffe und als Baugrund überschneiden. Es ist zu erwarten, dass die Nutzungsansprüche – politisch und gesellschaftlich gewollt – an diesen Untergrundbereich auch in Zukunft zunehmen (z. B. Förderung der Geothermie als erneuerbare Energie oder neues Logistiksystem Cargo Sous Terrain). Von Bedeutung sind glaziale Übertiefungen schliesslich auch für die Planung eines geologischen Tiefenlagers für radioaktive Abfälle. Der Anspruch an ein geologisches Tiefenlager ist, dass radioaktive Abfälle für die kommenden 1 Million Jahre eingeschlossen bleiben. In diesem – für menschliche Begriffe schwer vorstellbaren – Zeitraum muss auch mit neuerlichen Vergletscherungen und der Entstehung neuer Übertiefungen in der Nordschweiz gerechnet werden. Um zu verstehen wie, wo, und

wann sich zukünftige Vergletscherungen und Übertiefungen ereignen, ist die Rekonstruktion vergangener Vergletscherungen eine essenzielle Grundlage. Basierend auf diesen geologischen Beobachtungen zur Vergangenheit können mögliche Szenarien für die Zukunft entwickelt werden. Diese Szenarien tragen dann – neben vielen weiteren Aspekten – zur Standortwahl und Planung eines geologischen Tiefenlagers bei.

Das ICDP-DOVE-Projekt steht noch am Anfang der wissenschaftlichen Auswertung, aber die ausgezeichneten Bohrresultate der Forschungsbohrung in Basadingen-Schlattingen und an den weiteren Standorten stimmen für den weiteren Projektverlauf und die daraus zu erwartenden Erkenntnisse zuversichtlich.

5 Dank

Die Forschungsbohrung in Basadingen-Schlattingen konnte nur dank des grossen Wohlwollens vieler Institutionen und Personen durchgeführt werden. Grosser Dank gebührt insbesondere der Bürgergemeinde Basadingen-Schlattingen, der Jagdgesellschaft Hegi Belzhalden, den Anwohnerinnen und Anwohnern, den involvierten Stellen der Gemeinde Basadingen-Schlattingen und dem Kanton Thurgau. Die Forschungsbohrung wurde finanziell unterstützt durch das *International Continental Scientific Drilling Program (ICDP),* das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) und die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra).

6 Literatur

- *Anselmetti F. S., Bavec M., Crouzet C., Fiebig M., Gabriel G., Preusser F., Ravazzi C. & DOVE scientific team, 2022:* Drilling Overdeepened Alpine Valleys (ICDP-DOVE): Quantifying the age, extent and environmental impact of Alpine glaciations. – Scientific Drilling, 31, 51–70.
- *Brandt A.-C., 2020:* Erkundung des alpinen, glazial-übertieften Basadingen-Beckens mithilfe von P-Wellen-Seismik. – Bachelor-Arbeit, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 68 pp.
- *Buechi M. W., 2016:* Overdeepened glacial basins as archives for the Quaternary landscape evolution of the Alps. – PhD thesis, Universität Bern.
- *Buechi M. W., Graf H. R., Haldimann P., Lowick S. E. & Anselmetti F. S., 2018:* Multiple Quaternary erosion and infill cycles in overdeepened basins of the northern Alpine foreland. – Swiss Journal of Geosciences 111, 133–167.
- *Dürst-Stucki M. & Schlunegger F., 2013:* Identification of erosional mechanisms during past glaciations based on a bedrock surface model of the central European Alps. – Earth and Planetary Science Letters 384, 57–70.
- *Ellwanger D., Wielandt-Schuster U., Franz M. & Simon, T., 2011:* The Quaternary of the southwest German Alpine Foreland (Bodensee-Oberschwaben, Baden-Württemberg, Southwest Germany). – Quaternary Science Journal 60, 306–328.
- *Evans D. J. A., 2005:* Ice-marginal terrestrial landsystems: Active Temperate Glacier margins. – In: «Glacial Landsystems», Evans D. J. A., 2005 (Hrsg.), Hodder Arnold, 12–43.

- *Fabbri S., Affentranger C., Krastel S., Lindhorst K., Wessels M., Madritsch H., Allenbach R., Herwegh M., Heuberger S., Wielandt-Schuster U., Pomella H., Schwestermann, T. & Anselmetti F.,* 2021: Active Faulting in Lake Constance (Austria, Germany, Switzerland) Unraveled by Multi-Vintage Reflection Seismic Data. - Frontiers in Earth Science 9, 674.
- *Gegg L., Buechi M. W., Ebert A., Deplazes G., Madritsch H. & Anselmetti F. S., 2020:* Brecciation of glacially overridden palaeokarst (Lower Aare Valley, northern Switzerland): result of subglacial water-pressure peaks? - Boreas 49, 813-827.
- *Gegg L., Deplazes G., Keller L., Madritsch H., Spillmann T., Anselmetti F. S. & Buechi M. W., 2020:* 3D morphology of a glacially overdeepened trough controlled by underlying bedrock geology. - Geomorphology 394, 107950.
- *Graf H. R., 2009:* Stratigraphie von Mittel- und Spätpleistozän in der Nordschweiz. Beiträge zur Geologischen Karte der Schweiz (N.F.) 168. - Landesgeologie, swisstopo, Wabern.
- *Hantke R., Müller E. R., Scheidegger A. E. & Wiesmann A., 2003:* Der Molasse-Schuttfächer des Ottenberg und der Lauf der Thur seit dem jüngeren Tertiär. - Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 59, 85-111.
- *Hinderer M., 2001:* Late Quaternary denudation of the Alps, valley and lake fillings and modern river loads. - Geodinamica Acta 14, 231-263.
- *Keller K. & Krayss E., 1999:* Quartär und Landschaftsgeschichte. - Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 55, 39-67.
- *Magrani F., Valla P. G., Gribenski N. & Serra E., 2020:* Glacial overdeepenings in the Swiss Alps and foreland: Spatial distribution and morphometrics. - Quaternary Science Reviews 243, 106483.
- *Menzies J., 1989:* Subglacial hydraulic conditions and their possible impact upon subglacial bed formation. - Sedimentary Geology 62, 125-150.
- *Müller E., 2010:* Schottersysteme zwischen dem Thurtal und Schaffhausen. - Bericht zuhanden des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates ENSI, Nr. 8600-3.
- *Pietsch J. & Jordan P., 2014:* Digitales Höhenmodell Basis Quartär der Nordschweiz - Version 2014 und ausgewählte Auswertungen. - Nagra Arbeitsbericht NAB 14-02.
- *Preusser F., Graf H. R., Keller O., Krayss E. & Schlüchter C., 2011:* Quaternary glaciation history of northern Switzerland. - E & G-Quaternary Science Journal 60, 282-305.
- *Ravier E., Buoncristiani J.-F., Guiraud M., Menzies J., Clerc S., Goupy B. & Portier E., 2014:* Porewater pressure control on subglacial soft sediment remobilization and tunnel valley formation: a case study from the Alnif Tunnel Valley (Morocco) depositional mechanisms and provenance. - Sedimentary Geology 304, 71-95.
- Schaller, S., Buechi, M. W., Schuster, B., Anselmetti, F. S. (eingereicht): Drilling into the Basadingen Trough: a 252-m-long drill core from a glacial overdeepened valley in northwestern Switzerland. Scientific Drilling. - Eingereichte Publikation.
- *Swift D. A., Nienow P. W. & Hoey T. B., 2005:* Basal sediment evacuation by subglacial meltwater: suspended sediment transport from Haut Glacier d'Arolla, Switzerland. - Earth Surface Processes and Landforms 30, 867-883.

Adresse der Autoren:
M. W. Buechi
marius.buechi@geo.unibe.ch
S. Schaller
sebastian.schaller@geo.unibe.ch
F. S. Anselmetti
flavio.anselmetti@geo.unibe.ch

Institut für Geologie und Oeschger-Zentrum für Klimaforschung
Universität Bern
Baltzerstrasse 1+3
3012 Bern