

Die Grenze Untere Süsswassermolasse/Obere Meeresmolasse als Schlüssel zur Tektonik in der Region Bern

Ein Beitrag zur Geologie von Bern? Wie spannend kann das schon sein, dachte sich der Redaktor, selbst Geologe und in der Region seit vielen Jahren tätig. Doch selten hat er sich derart getäuscht, denn die Geologie in und um Bern ist bei weitem belebter als man es sich gemeinhin vorstellt. Im Untergrund verstecken sich bisher unbekannte Bruchzonen, und diese erkennt man bloss durch die hartnäckige Verfolgung der Grenzfläche zwischen der Unteren Süsswassermolasse und der Oberen Meeresmolasse. Die Begründung, warum die neuen Erkenntnisse sogar von politischer Tragweite sein könnten, findet sich im folgenden Text fast so gut versteckt wie die Brüche im Untergrund von Bern.

Autor
Christian
Isenschmid

Während vierzehn Jahren hat der Schreibende für die hydrogeologische Dokumentationsstelle des Kantons Bern Untersuchungsberichte und Bohrprofile erfasst und archiviert. Für die Einordnung in den Archivbestand müssen die eingehenden Daten auf Plausibilität und Verträglichkeit mit den gegenwärtig herrschenden Vorstellungen zum geologischen Untergrund geprüft werden. Aus dieser Eingangsprüfung von Bohrprofilen entstand mit wachsender Überzeugung der Eindruck, dass die Schichtgrenze zwischen Unterer Süsswassermolasse und Oberer

Meeresmolasse in der Region Bern einen erstklassigen Leithorizont darstellt, dessen Aussagekraft bislang nur ungenügend ausgeschöpft worden ist. Die Pensionierung eröffnete dem Autor die Gelegenheit, seine Beobachtungen und Vorstellungen zu diesem Thema aufzubereiten.

Zuerst werden die Kriterien zur Unterscheidung von Unterer Süsswassermolasse (USM) und Oberer Meeresmolasse (OMM) behandelt, welche in Bern als Fels auftreten (deren Ablagerungsbedingungen sind in *Abb. 2* und *3* sowie in den dazugehörigen Textblöcken erläutert). Anschliessend werden aus der heutigen Lage und Orien-

tierung ihrer Schichtgrenze Rückschlüsse gezogen auf die tektonische Deformation, welche das mittelländische Molassebecken in unserer Region erfahren hat. Schliesslich wird noch auf die Bedeutung der Molasse als Grundwasserleiter und Quellhorizont hingewiesen.

Die Molasse und ihre stratigraphische Gliederung

Mit Molasse bezeichnet man in der Geologie den Verwitterungsschutt, der bei der Gebirgsbildung aus den werdenden Alpen ins Vorland verfrachtet und dort abgelagert wurde. Schon früh haben Geologen in der Gesteinsabfolge der Molasse zwei zyklische Wechsel von marinen zu festländischen Ablagerungen erkannt. Davon sind in der Region Bern nur zwei Phasen – die

festländische Untere Süsswassermolasse (USM) und die darauffolgende Obere Meeresmolasse (OMM) – zu finden. Die älteste Molasseformation, die Untere Meeresmolasse (UMM) würde man im Untergrund von Bern vergeblich suchen, weil dieser Meerestrog noch eng an den Alpenrand anschloss und nicht bis in unsere Gegend reichte. Ebenso fehlt im Raum Bern die jüngste Formation, die Obere Süsswassermolasse (OSM), die zwar abgelagert aber später wieder erodiert wurde; die OSM ist im bernischen Mittelland nur im Emmental und in der voralpinen Hügelizele des Schwarzenburgerlandes sowie in Muldenlagen in der Umgebung von Biel erhalten geblieben (Abb. 1).

Eine Abhandlung über den Felsuntergrund der Region Bern kann sich demnach mit einem einfachen zwei-Schichten-

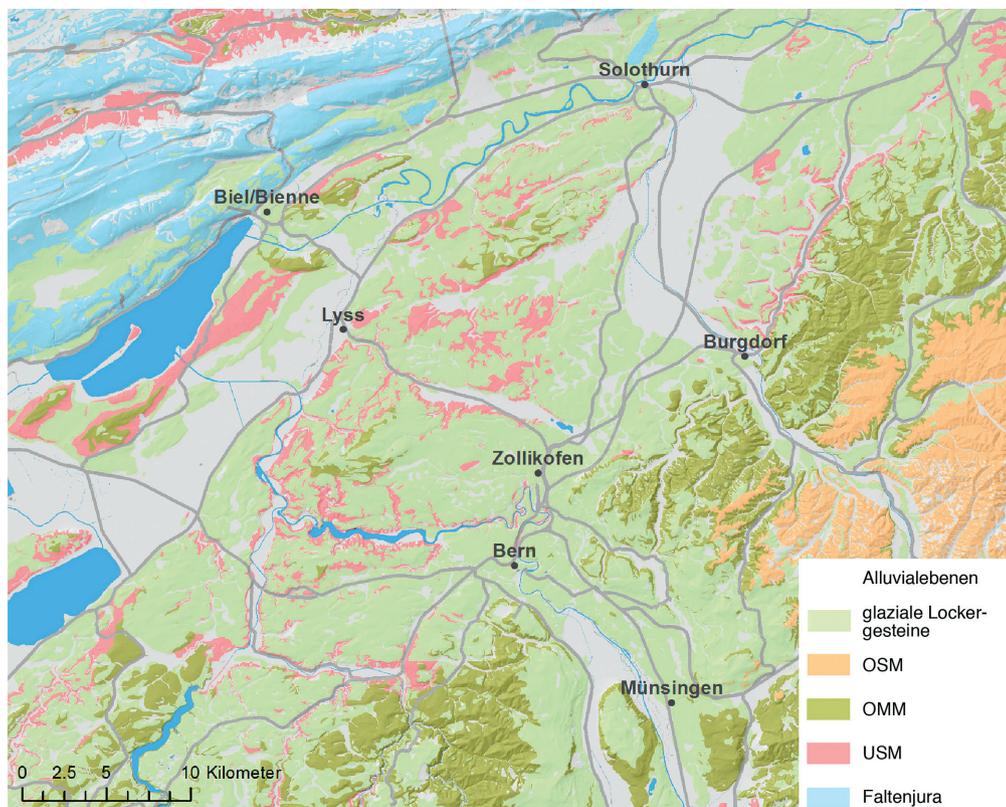
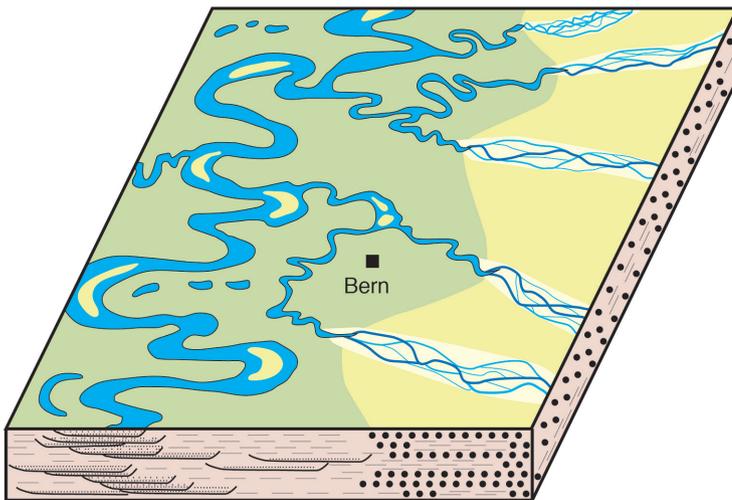


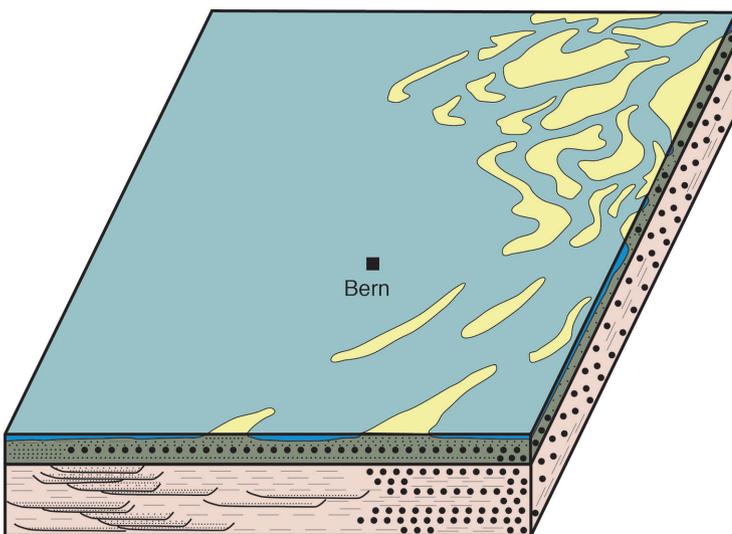
Abb. 1: Übersichtskarte zur Verbreitung der Molasse im bernischen Mittelland. Ursprünglich hat der Schichtverband der Molasse, bestehend aus USM, OMM und OSM, das ganze Alpenvorland bedeckt, ist aber später durch Hebung und Abtragung reduziert worden. Der Erosionsrand der OMM verläuft von Thörishaus über Bern und Burgdorf; NW davon kommt die OMM nur noch in isolierten Erosionsrelikten vor. (Kartengrundlage Bundesamt für Landestopographie swisstopo)



Ablagerungsraum der Unteren Süsswassermolasse

Die Ablagerungen der Unteren Süsswassermolasse setzten vor ca. 30 Mio. Jahren ein und hielten über 10 Mio. Jahre an. Diese lange Periode hat in der Region Bern eine über 2000 m dicke Schicht hinterlassen, in welcher sich ein gleich bleibendes Ablagerungsmilieu manifestiert, weil die Sedimentanlieferung aus dem alpinen Hinterland mit der Absenkung der Randsenke im Vorland Schritt gehalten hat. Im bernischen Mittelland wurden die vorwiegend aus Sand und Schlamm bestehenden Sedimente durch breit verzweigte und mäandrierende Flüsse verteilt. Dazwischen muss man sich sumpfige, bei gelegentlichen Hochwassern überflutete Ebenen mit Tümpeln vorstellen (*Abb. 2*). Die Schüttungsrichtung dieses Flusssystemes weist gegen Osten zu den Mündungsdeltas in das Meer, das sich vom Wiener Becken gegen Niederbayern erstreckte. Aus den gelegentlichen Fossilfunden in der USM kann auf ein subtropisch-warmes Klima geschlossen werden.

Abb. 2: Ablagerungsraum der Unteren Süsswassermolasse im Querschnitt des heutigen Berner Mittellandes; Blickrichtung längs des Molassebeckens in der Hauptentwässerungsrichtung gegen Osten. Die Flusslandschaft im Zentrum des Beckens wird am Südrand von Schuttfächern aus Abtragungsschutt der Alpen gesäumt.



Ablagerungsraum der Oberen Meeresmolasse

Es ist nicht genau zu ergründen, was die Meeresüberflutung vor rund 20 Mio. Jahren ausgelöst hat. Es ist nach wie vor ungeklärt, ob die Absenkungsrate des Untergrundes die Sedimentanlieferung überholt hatte, ob die Sedimentfracht aus dem alpinen Liefergebiet zurückging und welche Rolle den Meeresspiegelschwankungen zukommt. Fossilien und Sedimentstrukturen der OMM belegen unzweifelhaft ein marines Milieu, wenn auch nur von flachmarinem Charakter. Weiterhin wurde aus den Alpen das ganze Korngrössenspektrum von Geröllen über Sand zum schlammigen Ton angeliefert, aber nun sorgten an Stelle der Flüsse kräftige Gezeitenströmungen für die Verteilung der Sedimente über das Molassebecken, denn es hatte sich vor dem Alpenbogen eine durchgehende Meeresstrasse gebildet, welche das Schwarze Meer mit dem Mittelmeer verband. Die Nordküste lag innerhalb des heutigen Juragebirges, das erst später aufgefaltet wurde. Der Alpenrand bildete die Südküste und ragte mit dem grossen Schuttfächer eines Urstroms, der Napfschüttung, in das Molassemeer hinein. Die altersäquivalenten Schichten der marinen OMM bestehen dort aus groben Geröllschüttungen (jetzt Nagelfluhgesteinen). Daneben kann man sich die Paläogeographie der Region Bern als ausgedehnte Bucht vorstellen, wo vor allem Sande und Mergel abgelagert wurden (*Abb. 3*).

Abb. 3: Ablagerungsraum der Oberen Meeresmolasse. Die Transgression hat eine Verbindung vom Mittelmeer zum Schwarzen Meer geschaffen. Die Gezeitenströmungen verlagern und verteilen Sand und Schlick und in Küstennähe auch Gerölle aus dem alpinen Hinterland. Die wichtigste Sedimentquelle ist die Napfschüttung.

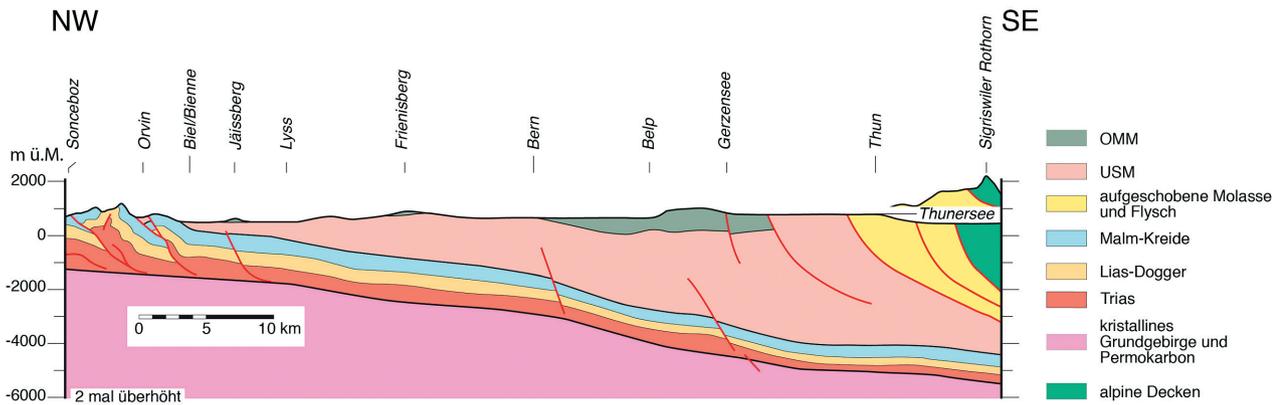
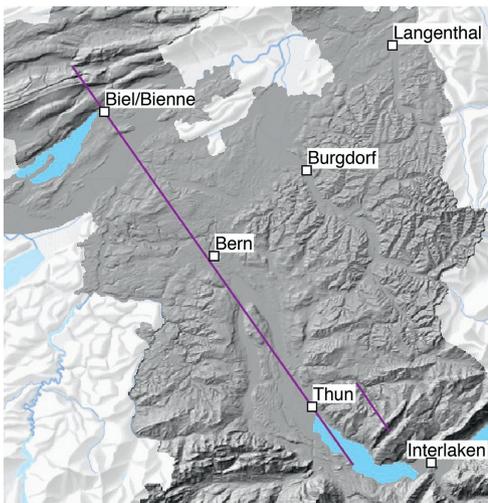


Abb. 4: Tektonisches Übersichtsprofil vom Berner Jura zum Thunersee (zweifach überhöht). Abscherung und Verschiebung der Sedimentbedeckung über dem Grundgebirgssockel haben auch die Molasse erfasst. Der Sedimentstapel im Mittelland wurde dabei weit weniger deformiert als in den Faltenzügen des Juras oder in der Schuppenzone des Alpenrandes.



Verlauf der Profilsuren von Abb. 4

Modell begnügen. Die Grenze zwischen den beiden Molasseeinheiten verläuft diagonal durch die Agglomeration Bern und in grösserem Massstab betrachtet von Thörishaus nach Burgdorf und Madiswil im Oberaargau. Dieser Grenzverlauf entspricht dem heutigen Erosionsrand. Nordwestlich davon ist die OMM weitgehend abgetragen worden und es sind bloss noch isolierte Erosionsrelikte, beispielsweise auf dem Frienisberg, dem Bucheggberg und den Hügelzügen im Seeland erhalten geblieben (Abb. 1 und 4). Südöstlich des Erosionsrandes ist das zwei-Schichten-Modell noch intakt: die OMM überlagert die älteren Sedimente der USM.

Die Schichtlagerung zeigt ein generell alpenwärts gerichtetes Einfallen mit kleinen Neigungswinkeln.

Der vorliegende Beitrag fokussiert räumlich auf den Geländestreifen entlang dem Erosionsrand der OMM und innerhalb der gesamten Schichtabfolge auf den Abschnitt, welcher die Grenze USM/OMM enthält.

Querschnitt durch das Molassebecken

Die ursprünglich flach abgelagerten Molasseschichten gerieten in Schiefelage, als die fortschreitende alpine Gebirgsbildung zur Hebung des Vorlands und Auffaltung des Juragebirges führte (Abb. 4). Das Molassebecken wurde zwischen Juragebirge und Alpenrand eingeklemt; im Jura wurde die Molasse in die Faltung einbezogen (z.B. Mulde von Orvin) und am Alpenrand in Schuppen zerlegt und übereinander gestapelt. Im dazwischenliegenden Block des Mittellandes ist sie durch die Deformation weniger stark mitgenommen worden. Die Schichten sind alpenwärts gekippt und in schwache Falten gelegt, die vermutlich auf Verwerfungen im Sockel zurückgehen (KELLER 2012).

Die Abgrenzung von Unterer Süsswassermolasse und Oberer Meeresmolasse

In der Pionierphase der Geologie, im späten 19. und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, wurde zur Bestimmung des

Ablagerungsmilieus und der stratigraphischen Zuordnung den Versteinerungen, grosses Gewicht beigemessen, die bezeichnenderweise damals von den Geologen auch «Petrefakten» genannt wurden. In der ausgesprochen fossilarmen Molasse fielen den Geologen die reicheren Vorkommen

Die Grenzziehung USM/OMM ist in der Region Bern auf den Leithorizont der Scherlinagelfluh ausgerichtet.

in hie und da auftretenden Muschelsandsteinbänken und Geröllhorizonten auf. Sie haben diese Horizonte deshalb im Gelände verfolgt und auskartiert und schliesslich die Vorkommen zu korrelieren versucht. So wurden regional gültige Leithorizonte postuliert und damit die Molasseabfolge gegliedert.

Das Konzept der Leithorizonte wurde jedoch mit der Zeit unübersichtlich und die Benennung der Leithorizonte durch neue Namen verwirrend. Eine modern ausgerichtete Geologengeneration wandte sich in den 1970er Jahren den Sedimentstrukturen zu und gewann aus Sedimentologie und Sequenzstratigraphie neue Argumente zur Unterscheidung von marinen und festländischen Ablagerungen (ALLEN ET AL. 1985; KELLER 1989) Mit der neuen Sichtweise konnten die Aufschlüsse unbeeinflusst vom Schema der Leithorizonte interpretiert und zugeordnet werden. Der Nachteil der sedimentologischen Betrachtungsweise liegt darin, dass sie auf gute Aufschlussverhältnisse angewiesen ist, was in der Praxis, etwa bei einer Erdsondenbohrung, oft nicht erfüllt ist.

In jüngerer Zeit haben Korrelationsversuche wieder an Bedeutung gewonnen (GRUNER 2001; STRUNK & MATTER 2002; JOST ET AL. 2016) und es kommt die 3D-Modellierung

zur Anwendung, womit räumliche Zusammenhänge besser visualisiert werden können (GEOMOL 2017).

Der Leithorizont «Scherli-Nagelfluh»

Die Grenzziehung USM/OMM ist in der Region Bern auf den Leithorizont der Scherli-Nagelfluh ausgerichtet, einen auffallenden Geröllhorizont im sonst sandigen Abschnitt der OMM. Er ist im Bacheinschnitt des Scherligrabens bei Niederscherli abgeschlossen und bis an den Fuss einer Steilstufe mit Wasserfall in der unteren OMM gut zugänglich. Die folgende Zusammenstellung von Beschreibungen der Scherli-Nagelfluh aus der Feder von drei verschiedenen Geologen beweist ihre Tauglichkeit als Kartierhorizont im Feld. Zum besseren Verständnis der Zitate muss noch vorausgeschickt werden, dass Aquitanien und Burdigalien die ehemals gebräuchlichen Bezeichnungen für den oberen Abschnitt der USM, respektive den unteren Abschnitt der OMM waren. Heute werden in der Region Bern für diese Abschnitte die Begriffe Gümnenen-Formation (USM) und Sense-Formation (untere OMM) verwendet.

Das älteste Zitat stammt von GERBER (1925), der schreibt, «dass im schluchtartigen Graben unterhalb Niederscherli die harten Sandsteine mit den eingestreuten Geröllen die Übergangsschichten Burdigalien-Aquitaniens darstellen, während an der Sense südlich Thörishaus die Konglomerate der Hundsfluh und des Kohlholzes diese wichtige Grenze markieren».

Ausführlicher ist die Beschreibung von RUTSCH (1933), der den Namen «Scherli-Nagelfluh» eingeführt hat und sich seinerseits bereits auf Gerber bezieht: «Die Basis des unteren Teiles [des Burdigalien] wird durch einen Nagelfluhhorizont gebildet, der als «Scherli-Nagelfluh» bezeichnet sei. Das polygene, an Quarziten reiche Konglomerat zeigt auffällige Mächtigkeitsschwankungen. Der Horizont kann auf längere Strecken nur durch einzelne Geröllschnüre angedeutet sein, um stellenweise auf mehrere Meter anzuschwellen. Ausser Pflanzenhäcksel auf den Schichtflächen der sandigen Partien fehlen Fossilien. ... Ich betrachte dieses Konglomerat als

Grenzhorizont Aquitanien-Burdigalien, da stratigraphisch höher keine bunten Mergel mehr vorhanden sind, wohl aber sehr bald stark glaukonitische¹ Sandsteine einsetzen. Am benachbarten Mengistorfberg wird die direkte Fortsetzung der Scherli-Nagelfluh von Ed. Gerber (1925) ebenfalls als Grenze Aquitanien-Burdigalien aufgefasst. Auch im Berner Stadtgebiet (Beundenfeld) und am Nordfuss des Grauholzes scheinen Gerölllagen diese Grenze zu charakterisieren. Der Horizont ist auch am Westufer der Sense feststellbar und dürfte sich im Gebiet des Blattes Neuenegg ebenfalls als Leithorizont bewähren.»

Jahrzehnte später hat ISLER (2005) für das geologische Atlasblatt Bern die Molasse kartiert und seine Kriterien für die Grenzziehung im Erläuterungsheft so formuliert: «Wo Basisbildungen fehlen, wird die Grenze mit dem Aussetzen der in den Gümme-Schichten [i.e. USM] häufigen bunten Mergelinschaltungen bzw. dem Einsetzen von Glaukonit führenden Sandsteinen festgelegt».

Als gemeinschaftlicher Nenner der verschiedenen Autorenansichten lässt sich festhalten, dass die Ablösung der bunten Mergel der USM durch die glaukonitischen Sandsteine der OMM das zuverlässigste Merkmal für die Grenzziehung ist und dass der Schichtabschnitt, in welchem sich dieser Wechsel vollzieht, vielerorts mit quarzreichen Geröllschüttungen einhergeht, die jedoch selten direkt an der Basis der OMM auftreten, sondern einige Meter darüber, innerhalb der glaukonitischen Sandsteine, als Geröllschnüre oder Konglomeratbänke auffallen. Die buntscheckig gefärbten USM-Mergel vereinigen ziegel- und weinrote, daneben auch blaugrüne und gelbliche Farbtöne. Die Buntfärbung bleibt selbst in stark verwitterten und bröcklig zerfallenden Mergeln und bei schlechten Aufschlussverhältnissen erkennbar.

Eine weitere Konstante der Schichtgrenze USM/OMM liegt darin, dass die

marinen Ablagerungsbedingungen mit einem scharfen Wechsel einsetzen. In den untersten Abschnitten der OMM sind zwar auch Anzeichen für seichte und teilweise brackische Verhältnisse vorhanden, aber die bunten Mergel – für den Geologen Anzeiger von Verlandung und Bodenbildung – verschwinden aus den Profilen. Es scheint, dass die Transgression des OMM-Meeres grossflächig und mehr oder weniger gleichzeitig erfolgt ist. Erosive Kontakte zwischen USM und OMM, die unter guten Aufschlussbedingungen zu beobachten sind, können auf Wellenschlag und Gezeitenströmungen zurückgeführt werden. Es ist allerdings auch nicht auszuschliessen, dass die USM ein schwaches Relief ausgebildet hatte, auf dem die OMM-Sedimente winkeldiskordant auflagen.



Die Verbreitung der Scherli-Nagelfluh

Selten kann der Kontakt zwischen USM und OMM im Gelände oder einer Baugrube direkt beobachtet werden. Zur Überbrückung können in aufschlusslosen Gebieten Bohrungen herangezogen werden, sofern die Bohrprofile verlässliche Aussagen zur stratigraphischen Zugehörigkeit machen. Das ist insbesondere bei älteren Bohrungen oft nicht der Fall, wenn die Felsstrecke bloss als «Molassefels» oder «Sandstein» bezeichnet wird. Manchmal erlauben zusätzliche Adjektive wie «bunt», «grünlichgrau» oder «grobkörnig mit Geröll» dennoch eine Zuweisung, trotz rudimentärer

¹ Glaukonit ist ein flaschengrünes Mineral, das bei der Aushärtung der Sandsteine aus marinem Porenwasser ausgefällt wird. Es ist unter der Lupe in den Sandsteinen als Zwickelfüllungen zwischen Sandkörnern oder in körniger Form zu erkennen und verleiht der OMM die charakteristische grünliche Färbung.

**Abb. 5: Bohrprofil
der destruktiven
Bohrung für die
Erdwärmesonde
Schwarzenburg-
strasse 287, Köniz.
Schichtgrenze
USM/OMM 84 Meter
unter Terrain.**

Tiefe	Ver- rohrung	Profil	Lithologie	geologische Beschreibung
0	575		Kies, Sand, siltig, braun, grau, bunt, alpine Gerölle, z.T. angerundet, oben wenig org. Beimengungen	Quartär: Moräne und Schotter
10			10.0	
16.0			Kies, schwach siltig, sandig, beige, grau, bunt, alpine Gerölle, an- bis gerundet	
18.0			Sand, schwach siltig, braungrau, v.a. Mittel- und Grobsand	
20			Kies, schwach siltig, sandig, grau, bunt, alpine Gerölle, an- bis gerundet	Obere Meeres- molasse (OMM)
30	550		32.0	
38.0			Sandstein, Konglomerat/Nagelfluh, schwach siltig, grau, bunt, schwarz, meist lose, (Verwitterte Molasse)	
40			Konglomerat/Nagelfluh, siltig, schwach sandig, bunt, schwarz, alpine Gerölle (Feinanteile z.T. ausgewaschen)	
50	525		54.0	
58.0			Siltstein, tonig, feinsandig, grau, grau-grün, weich, in Lagen stark feinsandig bis siltiger Feinsandstein	
60			Konglomerat/Nagelfluh, schwach siltig, schwach sandig, dunkelgrau, bunt, schwarz, viel Quarz, vereinzelt Grobsandsteinbänke (Basiskonglomerat der OMM)	
68.0			Sandstein, siltig, mittelkörnig, dunkelgrau, grau-grün, weich, mit dünnen Nagelfluhbänken	
70			76.0	
76.0			Sandstein, schwach siltig, mittelkörnig, dunkelgrau, grau-grün, hart, vereinzelt feine Mergellagen	
80	500		84.0	Untere Süsswasser- molasse (USM)
90			Siltstein, tonig, feinsandig, beige-oliv, grau-grün, weich, in Lagen stark feinsandig bis siltiger Feinsandstein	
96.0			96.0	
100	475		Sandstein, schwach siltig, mittelkörnig, grau-grün, hart, Quarz und Glimmer, in Lagen mergelig, dunkelgrau, bordeaux	
110			112.0	
112.0			Sandstein, siltig, mittelkörnig, beige-oliv, grau, grau-grün, weich, viel Feinglimmer	
120			138.0	
130	450		Sandstein, schwach siltig, mittel- und grobkörnig, dunkelgrau, grau-grün, hart, mit Mergellagen beige-oliv, gelb, vereinz. türkis Flecken	
140			170.0	
140			Sandstein, schwach siltig, grobkörnig, braungrau, hart, Quarz und Glimmer	
150	425		178.0	
160			Siltstein, tonig, mergelig, feinsandig, beige-oliv, dunkelbraun, weich, in Lagen stark mergelig bis sandiger Mergel	
170			194.0	
170			Sandstein, schwach siltig, mittelkörnig, dunkelgrau, grau-grün, hart, Quarz und Glimmer	
180	400		208.0	
180				
190				
200				

Beschreibung der Gesteine. Die Anzahl geeigneter Bohrungen hat seit den 1990er Jahren dank Erdwärmesonden stark zugenommen. Weil bei Erdsondenbohrungen Bohrtiefen gegen 250 Meter üblich geworden sind und die Grenzfläche USM/OMM generell mit 2° bis 10° alpenwärts geneigt ist, bestehen in einem etwa zweieinhalb Kilometer breiten Streifen hinter dem Erosionsrand der OMM gute Chancen, die Grenze USM/OMM im Bohrprofil anzutreffen. Nachteilig ist allerdings, dass Erdsonden-

bohrungen im destruktiven Bohrverfahren erstellt werden und die Schichtgrenzen in diesem Fall schwieriger zu erkennen sind als bei einer Kernbohrung.

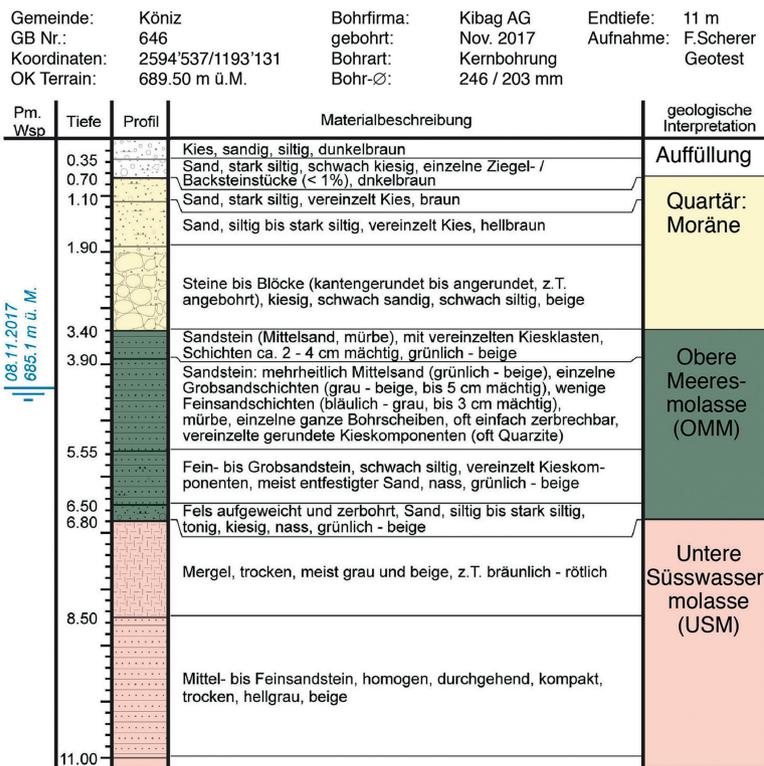
Mit erhöhter Aufmerksamkeit sind die weiter oben vorgestellten Erkennungsmerkmale der Scherli-Nagelfluh auch bei Erdsondenbohrungen festzustellen. Das entscheidende Merkmal, der Wechsel von glaukonitischen Sandsteinen zu bunten Mergeln, ist wesentlich leichter zu identifizieren, wenn die Cuttings gewaschen unter

das Binokular gelegt werden². Dieser Mehraufwand ist gerade im Grenzbereich USM/ OMM zu empfehlen.

Wie sich die Schichtgrenze USM/ OMM im Bohrprofil präsentiert, wird anhand von zwei repräsentativen Profilen von je einer destruktiven Bohrung und einer Kernbohrung vorgestellt (Abb. 5 und 6).

Bei der Erdsonde an der Schwarzenburgstrasse 287 in Köniz wurde die Grenze USM/ OMM in 84 Meter Tiefe unter Terrain angetroffen. Der rund 20 Meter höher liegende Konglomerathorizont (Bohrtiefe 58 bis 68 Meter) wird als Äquivalent der Scherli-Nagelfluh («Basiskonglomerat der OMM») angesehen. Weitere dünne Nagelfluhbänke werden im darunterliegenden Horizont (Bohrtiefe 68 bis 76 Meter) beschrieben, eingebettet in grau-grüne (glaukonitische) Sandsteine. Die für die USM charakteristischen, bordeauxroten Mergel sind erstmals in dem Horizont erwähnt, der 12 Meter unter der Schichtgrenze USM/ OMM beginnt.

Eine repräsentative Kernbohrung ist nur 1.3 km NW des Typusprofils der Scherli-Nagelfluh in Oberried in der Gemeinde Köniz für eine geplante Grundwasserfassung ausgeführt worden. Wie unter dem Vergrößerungsglas zeigt die 7,6 Meter lange Felsstrecke (bei einer Bohrtiefe von 11 Meter) den relevanten Ausschnitt mit dem Kontakt USM/ OMM (Abb. 6). Die untersten 4.2 Meter des Bohrkerns enthalten die beiden vorherrschenden Lithologien der USM: homogene, grau-beige Mittel- bis Feinsandsteine einerseits und andererseits Mergel von zum Teil bräunlich-rötlicher Farbe. Die darüber liegenden 3.4 Meter der Felsstrecke weisen die typischen Merkmale der OMM auf: Die Korngrösse wird mit Mittel- bis Grobsand angegeben, die Farbe ist grünlich-beige, die Schichtung im Bohrkern an feinsandigen Zwischenlagen und am Zerfall in Scheiben erkennbar. Die Scherli-Nagelfluh kündigt sich mit Geröllen an (im Profil als Kieskomponenten und



Kiesklasten bezeichnet), die nicht dicht gepackt sondern gleich wie im Scherligraben eingestreut erscheinen.

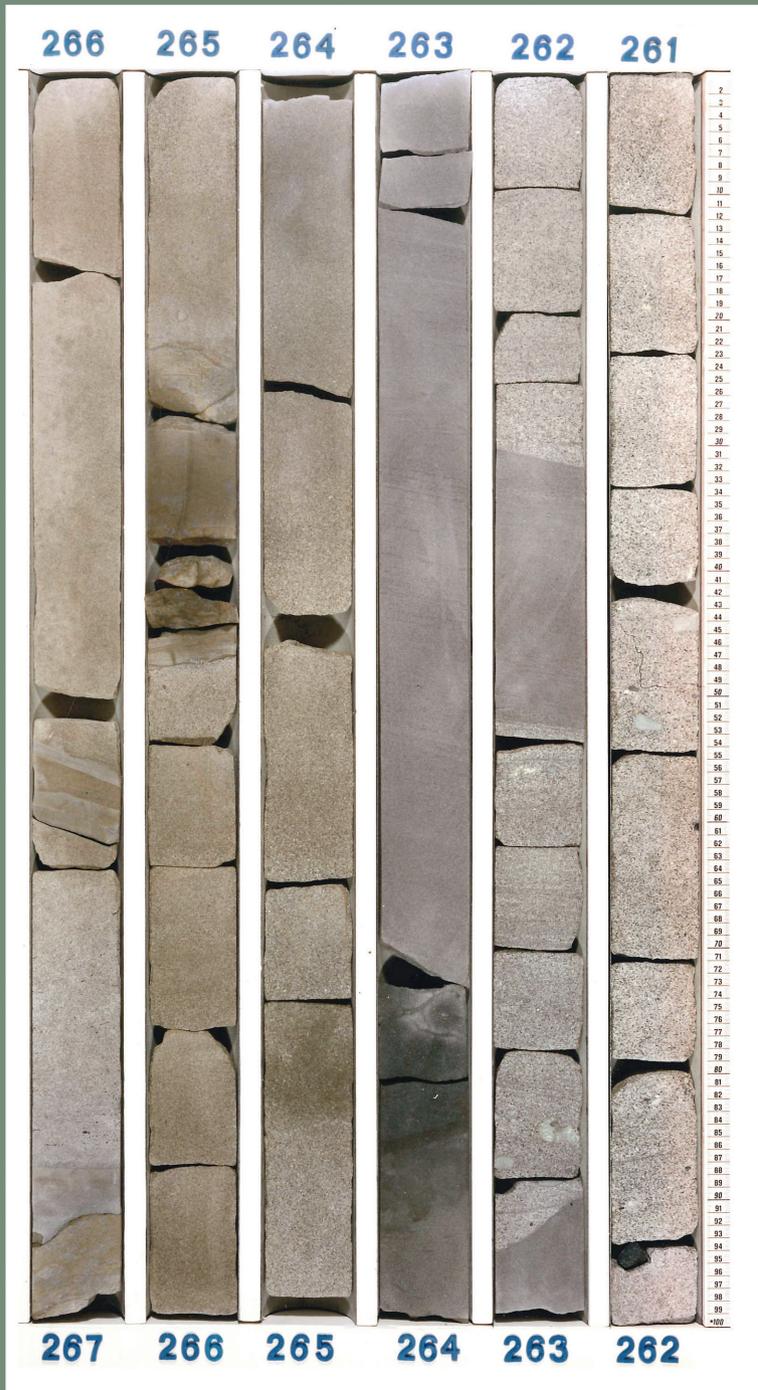
Ein weiteres illustratives Beispiel von einem Bohrkern, der die Grenze USM/ OMM enthält, stammt aus der Kernbohrung von 1986 für die Wassererschliessung der ehemaligen Brauerei Gurten in Wabern. Von der 270.5 Meter tiefen und vollständig gekerntem Bohrung liegt am Institut für Geologie der Universität Bern eine Fotodokumentation vor. Ein besonders geröllreicher Abschnitt in 221 bis 226 Meter Tiefe wird mit der Scherli-Nagelfluh korreliert. Darunter folgen erneut über 40 Meter glaukonitische Sandsteine mit einzelnen Gerölllagen. Der entscheidende Abschnitt ist in Abbildung 7 abgebildet: In 267 Meter Tiefe vollzieht sich ein abrupter Wechsel zu bunten Mergeln, die über die restlichen 3.5 Meter bis zur Endteufe der Bohrung anhalten. Alle drei repräsentativen Profile zur Gren-

Abb. 6: Bohrprofil der Rotationskernbohrung für eine geplante Grundwasserfassung in Oberried, Gemeinde Köniz. Schichtgrenze USM/ OMM 6.8 Meter unter Terrain.

² Ein Anschauungsbeispiel für das Aussehen von USM- und OMM-Cuttings liefert das Profil zur Erdsonde Wiesenstrasse 20, Bern im Geoportal des Kantons Bern: In der Geoportalkarte «Geologische Grundlagendaten» oder «Felsrelief» die Identifikationsnummer der Bohrung (601/201.220) als Suchbegriff für Sondierung eingeben und das hinterlegte Bohrprofil aufrufen.



Untere Süsswassermolasse
(USM)



Obere Meeresmolasse
(OMM)

Abb. 7: Kernbohrung für die Erschliessung von Brauwasser
(FB 1, 1986), Abschnitt bei Bohrtiefe 261-270 Meter. Brauerei Gurten,
Wabern, Gemeinde Köniz. Schichtgrenze USM/OMM bei 267 Meter.

ze USM/OMM stammen aus der Gemeinde Köniz, aber die Verhältnisse lassen sich auf die ganze Region Bern übertragen, einschliesslich Bolligen und Ittigen. Wie die Grenze USM/OMM in anderen Regionen des Berner Mittellandes aussieht, schildern die nachstehenden kurzen Ausblicke.

Region Frienisberg

Bei Innerberg sind über drei Dutzend Erdsondenbohrungen ausgeführt worden, aber die Korrelation der Profile anhand der lithologischen Beschreibungen bereitet Mühe. Die Mergel der USM sind weniger bunt, vielmehr grau und sandig, und Gerölllagen in der OMM werden nur in vereinzelten Bohrprofilen erwähnt.

Am östlichen Ende des Frienisbergs wird die Basis der OMM hingegen von einem geröllreichen Grobsandstein markiert (GERBER 1912), der schon im Mittelalter in einem kleinen, heute leider verfüllten Steinbruch im Wald bei Saurenhorn abgebaut wurde. Noch gut zugänglich ist dieser

Horizont in einem Steinbruch für Mühlsteine bei Schnottwil im solothurnischen Bucheggberg. Andere kleine Steinbrüche in OMM-Kuppen auf dem Bucheggberg sind hingegen leider auch zugeschüttet worden.

Seeland

Auf den Hügelzügen des Seelands (Jolimont, Feiberg, Jäissberg, Dotzigenberg) sitzen OMM-Vorkommen (Abb. 4), die sich mit der Basiskonglomeratbank des Brütteler Muschelsandsteins (auch als Unterer Muschelsandstein bezeichnet) deutlich von den unterliegenden Buntmergeln und Sandsteinen der USM abheben. Ein Referenzprofil für eine Erdsonde der Region Biel, das die ganze OMM umfasst und im Brütteler Muschelsandstein endet, ist an der Waldeckstrasse in Brügg (Geoportal Kanton Bern, Sondierung Nr. 586/219.140) zu finden.

In der Schichtlagerung der Molasse macht sich in Biel schon die lebhaftere Tektonik des anschliessenden Faltenjuras bemerkbar.

Bohrverfahren

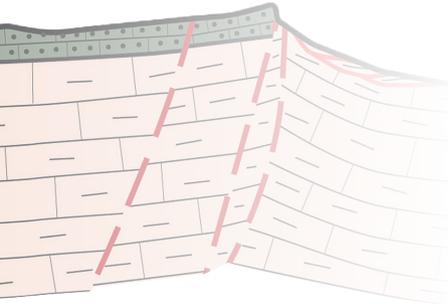
Mit Rammkern- oder Rotationskernbohrungen wird dem Boden im trockenen oder nassen Bohrverfahren eine möglichst zusammenhängende, säulenförmige Probe entnommen und für die Profilaufnahme durch den Geologen in Kisten ausgelegt (Abb. 7). Kernverluste sind möglich wegen kohäsionslosem Bohrgut oder durch Ausspülung im nassen Bohrverfahren. Die ursprüngliche Schichtabfolge bleibt bei der Kernbohrung erhalten und Schichtgrenzen können auf einige Zentimeter genau angegeben werden. An Proben einer Kernbohrung können im Feld oder Labor Materialeigenschaften ermittelt und den entsprechenden Schichten zugeordnet werden, was die Kernbohrung zum Bohrverfahren der ersten Wahl macht. Allerdings sind Kernbohrungen relativ zeitaufwändig und teuer.

Destruktive Bohrungen sind schneller und billiger, haben aber den Nachteil, dass das Bohrwerkzeug das Gestein zertrümmert und aus den kleinteiligen Gesteinsfragmenten nicht mehr viel über Schichtformen und Gefüge zu erraten ist. Die etwa fingernagelgrossen Gesteinstrümmer (Cuttings, deutsch: Bohrklein) werden mit Druckluft (Luft-Imlochhammerbohrung) oder Spülflüssigkeit (Spülbohrung) an die Oberfläche gefördert, wo der Bohrmeister in regelmässigen Abständen (in der Regel nach zwei Metern Bohrfortschritt) eine repräsentative Probe zur Seite stellt und mit der Tiefenangabe beschriftet. Nach Beendigung der Bohrung erstellt ein Geologe anhand dieser Proben ein fortlaufendes Profil.

Damit das Bohrloch im Lockergestein (z.B. Schotter, Moränenkies, Hangschuttablagerungen) nicht zusammenfällt, sind sowohl destruktive als auch gekernte Bohrungen auf den Schutzmantel einer temporären Verrohrung angewiesen, die vor dem Abräumen der Bohrstelle wieder ausgebaut wird. Im festen Fels hingegen ist die Bohrlochwand in der Regel so stabil, dass auf die temporäre Verrohrung verzichtet werden kann. Dadurch kann es aber bei destruktiven Bohrungen vorkommen, dass die Cuttings mit Nachfall aus höhergelegenen Bohrlochabschnitten vermischt und Schichtgrenzen verwischt werden.

Region Schwarzenburg

In der Ortschaft Schwarzenburg geben zahlreiche Erdsondenbohrungen Einblick in den Untergrund. Zur Unterscheidung von USM und OMM können die gleichen lithologischen Kriterien wie in der Region Bern angewandt werden, denn auch hier ist ein scharfer Wechsel von bunten Mergeln zu grobkörnigen, glaukonitischen Sandsteinen zu beobachten.



Region Burgdorf

In der Region Burgdorf bietet die Unterscheidung von USM und OMM grössere Schwierigkeiten als im Raum Bern. Die Nähe des Schüttungszentrums des Napfdeltas (vgl. *Abb. 3*) manifestiert sich in der Lithologie der USM durch grössere Anteile von Sandsteinen und Konglomeraten. Mit den Grenzziehungskriterien, die für die gedruckten geologischen Karten beachtet wurden, ist die USM/OMM-Grenze mehrere Zehnermeter zu hoch angesetzt worden und ist revisionsbedürftig. Deshalb stösst man auf «USM»-Aufschlüsse (z.B. in Wynigen, Verzweigung Sonnhalde-/Neumattweg), die mit dem Auge des Sedimentologen betrachtet klare Indizien für marine Gezeitensedimente aufweisen. Noch schwieriger wird es, USM und OMM in Bohrproben auseinanderzuhalten.

Schichtlagerung und Tektonik

Die Grenzfläche USM/OMM ist nach den vorangegangenen Ausführungen ein deutlich erkennbarer Leithorizont. Damit kann nicht nur die Schichtfolge gegliedert werden, die Form der Grenzfläche liefert auch ein Abbild für die tektonischen Deformationen, welche unsere Region nach dem Vorstoss des OMM-Meeres noch erfahren hat. Die Grenzfläche USM/OMM, die damals dem Meeresniveau entsprach, befindet sich heute auf dem Frienisberg auf ca. 800 m ü. M.; im Berner Breitenrain-

quartier (Terrainkoten ca. 550–560 m ü. M.) trifft man sie oberflächennah bei Leitungsgrabungen und in Baugruben³ an, während sie in der 3.5 Kilometer weiter südlich gelegenen Bohrung für die Gurtenbrauerei erst in 269 Meter Bohrtiefe bzw. 304 m ü. M. erscheint (*Abb. 7*). Diese auf den ersten Blick beträchtlichen Höhendifferenzen vertragen sich indessen gut mit dem Bild des leicht verbogenen und alpenwärts geneigten Schichtstapels (*Abb. 4*) mit weniger als 10° Neigungswinkel. Für ISLER (2005) gehört das Gebiet um Bern denn auch gänzlich zur schwach gefalteten mittelländischen Molasse und hat keine erkennbaren tektonischen Auffälligkeiten vorzuweisen. Im Erläuterungsheft zum geologischen Atlasblatt Bern hat er der Tektonik nur ein kurzes Kapitel eingeräumt, worin er schreibt: «Verwerfungen wurden keine mit Sicherheit nachgewiesen, da die Aufschlussverhältnisse dürftig sind und zudem eindeutige Korrelationshorizonte fehlen.» Im Gegensatz dazu beurteilt der vorliegende Beitrag die Ausgangslage weit aus optimistischer: Die Grenze USM/OMM gibt einen verlässlichen Korrelationshorizont ab und die dürftigen Aufschlussverhältnisse können durch die Berücksichtigung von Bohrdaten überbrückt werden. Damit steht die Frage wieder zur Diskussion, ob nicht doch Verwerfungen nachweisbar seien.

Ein früher Verfechter einer lebhafteren Tektonik war GERBER (1924, 1925), der die Frage aufwarf «Lassen sich aus den Molasseprofilen diluviale Krustenbewegungen nachweisen?». Indem er Leithorizonte im Gelände verfolgte und daraus die Schichtlagerung bestimmte, kam er zu zwei bemerkenswerten Aussagen, die durch die hier geschilderten Beobachtungen zumindest in ihrer Tendenz bekräftigt werden. Einerseits postulierte er eine flexurartige⁴ Versteilung mit Fallwinkeln von 5°–10°, die er mit Messungen östlich von Ostermundi-

³ z.B. In der Baugrube für die Migros-Filiale am Breitenrainplatz im Sommer 2017; Schichtfallen 6°–10° gegen 145°–150°SE

⁴ Unter Flexur wird in der Geologie eine S-förmige Verbiegung von Schichten verstanden. Wenn die Deformation den Schichtverband stärker beansprucht, reisst der Zusammenhalt und aus der Flexur entsteht spröde Bruchtektonik mit einem sprunghaften Versatz.



Abb. 8: Der Blick in die S-Ecke des aufgelassenen Steinbruchs an der Lediflue zeigt die Schichtneigung gegen W. Zur Lokalität des Steinbruchs siehe Fallzeichen «5° †» in Abb. 9. Die Sandsteine in der vertikalen, mehrere Meter hohen Abbauwand sind im unteren Teil gebändert und im obersten Viertel trog- und linsenförmig geschichtet, was als Übergang vom wellendominierten Strand zu Gezeitenablagerungen eines Wattenmeers gedeutet werden kann. Der Kontakt zur unterliegenden USM ist im Steinbruch nicht aufgeschlossen.

gen, an der Moserstrasse im Breitenrain, an der Engehalde und im Sulgenbachstollen (auf der Achse Marzili-Bahnhofplatz-Bollwerk) belegt, und andererseits eine Einmündung: «Das Gebiet Bern – Gümligen liegt sozusagen in einer Depression, gegen welche die Molasseschichten von Südwest, Norden und Nordost einfallen».

Gerber stiess mit seiner Vorstellung auf den Widerspruch von NUSSBAUM (1925). In seiner Replik liess dieser die flexurartige Verbiegung, die Gerber vorgebracht hatte, im Südschenkel einer breiten Antiklinale aufgehen, die Nussbaum nördlich von Bern ausgemacht hatte. Er untermauerte seine Ansicht mit Feldbeobachtungen, namentlich aus Bacheinschnitten bei Wohlen. Seither wird diese Struktur Wohlen-Antiklinale genannt. Nussbaum gab ihr mit den folgenden Worten Gestalt: «Wir haben demnach nördlich Bern eine in SW-NE-Richtung verlaufende Linie mit SE-Fällen und weiter nördlich eine zweite gleichgerichtete Linie mit NW-Fällen der Molasseschichten, zwischen denen offenbar der Scheitel einer breiten Antiklinale liegt. Dieser dürfte

demnach in der Richtung Frauenkappelen-Zollikofen-Urtenen anzunehmen sein.»

Die Wohlen-Antiklinale findet sich auf der von Nussbaum vorgegebenen Achsenspur in den Publikationen verschiedener Autoren (z.B. ISLER 2005, SOMMARUGA ET AL. 2016, GEOMOL 2017) wieder. Daneben verzeichnen sie noch eine zweite antiklinale Aufwölbung, die von Aarberg nach Niederried verläuft und als (Fendringen-)Niederried-Antiklinale bezeichnet wird. Diese verläuft strikt von SSW nach NNE, in einer Richtung, welcher sich die Wohlen-Antiklinale erst nach der Überquerung des Wohlensees angleicht.

Mit einer neuen Beobachtung wird im folgenden Abschnitt der Wohlen-Antiklinale eine Fortsetzung gegen SW zugeordnet und zugleich spröde Bruchtektonik als neues Baustilelement in der Molasse im Raum Bern eingeführt.

Die Lediflue bei Rosshäusern

Die Lediflue ist eine markante Geländestufe, die das Hochplateau begrenzt, welches die Kulminationspunkte der Gemeinde

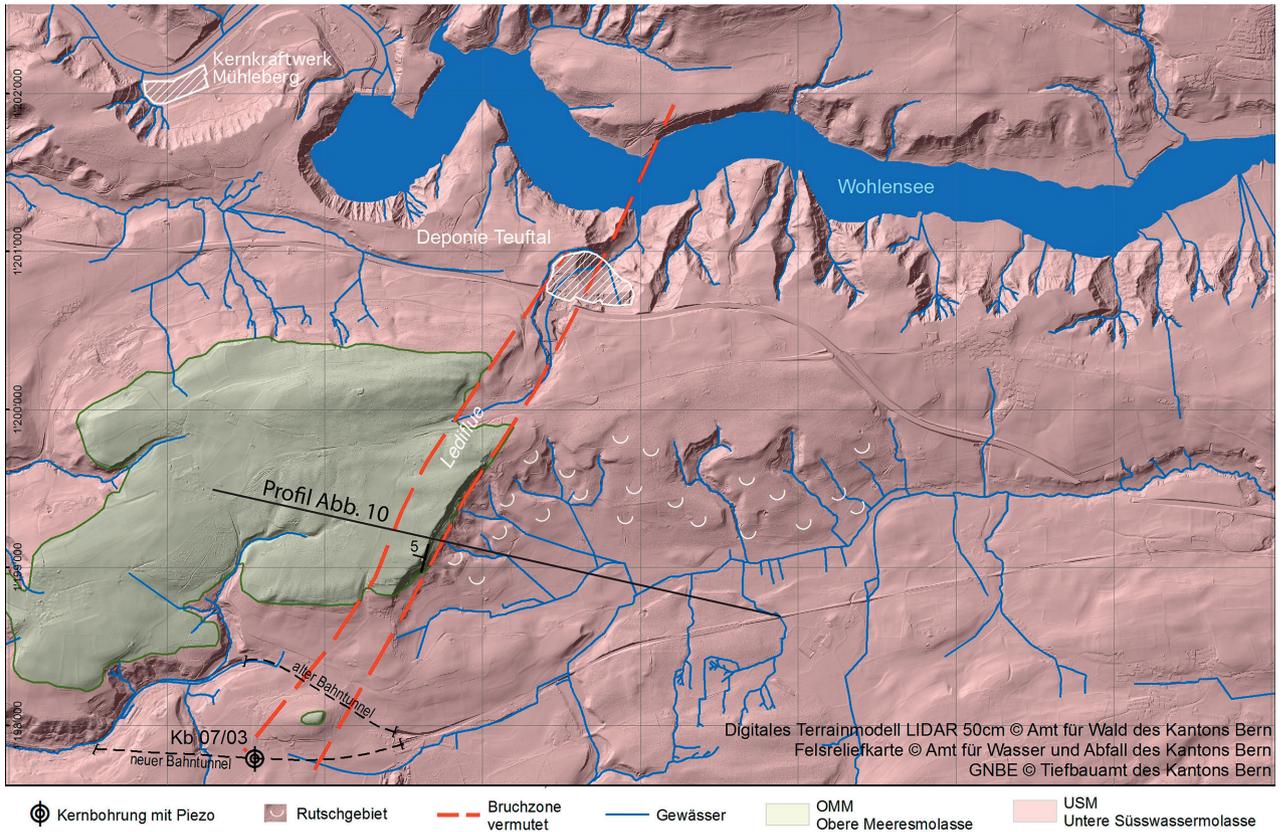
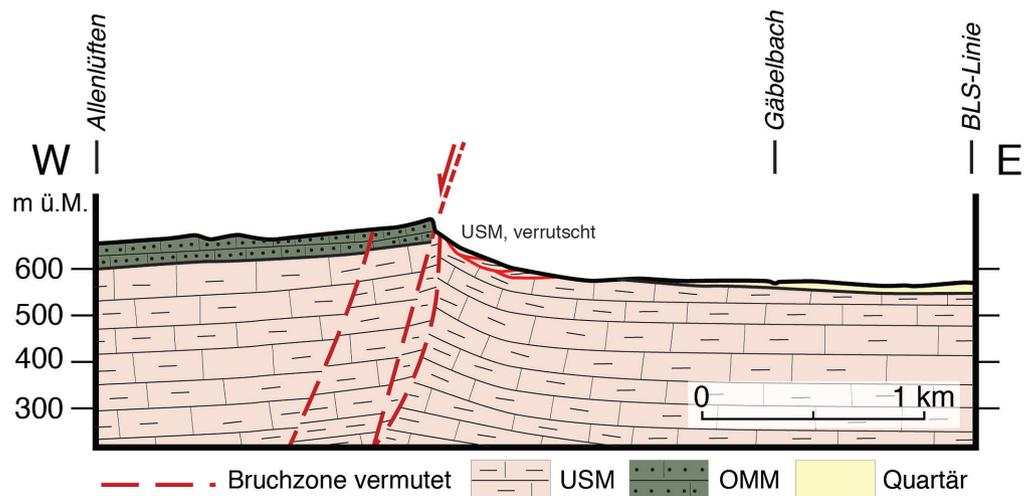


Abb. 9: Lediflue bei Rosshäusern, Gemeinde Mühleberg. Geländemodell mit Verbreitung der stratigraphischen Molasseeinheiten USM und OMM. Bei der Lediflue streben die Rutschungen in der USM in die entgegengesetzte Richtung zum Schichtfallen der OMM. Diese Scheitelsituation wird als Fortsetzung der gegen SW abdrehenden Wohlens-Antiklinale verstanden (vgl. Abb. 11).

Abb. 10: Querprofil durch die Lediflue (zweifach überhöht). In tektonischem Kontakt stossen gegenseitig geneigte USM und OMM aufeinander. In der Sandstein/Mergel-Wechselagerung der USM hat die Schiefstellung Rutschungen ausgelöst.



Mühleberg vom Ortsteil Buech bis Heggidorf versammelt. Der Felsuntergrund besteht hier aus einem isolierten OMM-Vorkommen zwischen Wohlensee, Saane und Sense. Einen guten Einblick in die OMM, die mit 3°–5° nach WSW einfällt, ermöglicht ein aufgelassener Steinbruch im Süden der Lediflue (Abb. 8), wo im 18./19. Jahrhundert Baustein gewonnen wurde (BURKHALTER 2016). Der Fuss der Geländestufe auf der östlichen Seite der Lediflue ist bewaldet, und Aufschlüsse sind schwer zu finden. Gemäss dem geologischen Atlasblatt Bern wird der Felsuntergrund hier von der USM eingenommen. Die zugehörigen Fallzeichen geben auf kleinem Raum uneinheitliche Ausrichtungen und Neigungen bis 12° an, was zusammen mit der unruhigen Topographie und dem Gewässernetz auf ausgedehnte Rutschungen schliessen lässt. Die Stauchwülste der Rutschmassen bestimmen den Verlauf der zum Gäbelbach abfliessenden Bäche (Abb. 9). Auslöser dieser Geländebewegungen dürfte die Schiefstellung der USM sein, aber in entgegengesetzter Richtung zur OMM. Das scheidelförmig auseinanderstrebende Schichtfallen an der Lediflue ist mit einem tektonischen Bruchkontakt von OMM und USM zu erklären (Abb. 10).

Indizien für Bruchtektonik können auch aus den beiden Eisenbahntunnels der BLS-Linie Bern-Neuenburg abgeleitet werden. Sowohl der alte wie auch der neue, 2018 in Betrieb genommene Bahntunnel verlaufen in dem gegen das Saanetal geneigten Westflügel der Störung. Die für die Tunnelprojektierung abgeteufte Bohrung Kb 07/03 (Geoportal Kanton Bern, Sondierung Nr. 587/197.10) musste nach starkem Spülungsverlust in 35.5 Meter Tiefe abgebrochen und neu angesetzt werden (GEOTEST 2009). Beim späteren Tunnelausbruch kam es dann ca. 180 Meter ab Ostportal zu einem Felsabbruch, was zusätzliche Erkundungsbohrungen und eine Änderung und Verzögerung des Bauprogramms erzwang. In den Medienmitteilungen der Bauleitung wird der Vorfall auf eine geologische Störzone zurückgeführt.

In NE-Richtung ist eine Verlängerung der Lediflue-Störung unter der Deponie Teuftal

bis auf die rechtsufrige Seite des Wohlensees aufgrund der Geländeformen zu vermuten. Damit gelangt man in das Gebiet der Wohlen-Antiklinale. Abbildung 11 illustriert die Vorstellung über den Zusammenhang zwischen der Achse der Wohlen-Antiklinale und der Lediflue-Störung: Durch die Verbiegung der Wohlen-Antiklinale und eine damit verbundene Einengung im Scheitel geht aus der flachen Aufwölbung eine Zone mit verstärkter Deformation hervor, die schliesslich in spröde Bruchtektonik mündet.

Die Ausrichtung der Lediflue korrespondiert mit SSW-NNE verlaufenden tektonischen Linien im benachbarten Kanton Freiburg, die dort zunehmend enger geschart auftreten und als Freiburger Störung (*structure de Fribourg*) bezeichnet werden. Diese ist eine beidseitig von Bruchzonen begrenzte, etwas eingesunkene Grabenstruktur, die vermutlich bis in den

In NE-Richtung ist eine Verlängerung der Lediflue-Störung unter der Deponie Teuftal bis auf die rechtsufrige Seite des Wohlensees aufgrund der Geländeformen zu vermuten.

Grundgebirgssockel hinunter reicht und vom Alpenrand quer durch das Mittelland bis in den Jura verfolgt werden kann. Der Ostrand dieser Störungszone (*zone de Fribourg*) ist als Flexur ausgebildet, die sich in Verwerfungen und Abschiebungen akzentuiert und mit seismischer Aktivität auffällt. Die Freiburger Störung wurde am Geologischen Institut der Universität Freiburg u.a. für das Projekt GeoMol intensiver untersucht (IBELE 2011; SOMMARUGA ET AL. 2016). Das angrenzende bernische Gebiet wurde in diesem Rahmen leider nur am Rand behandelt, was der Grund sein könnte, dass die Lediflue in Kartendarstellungen zur Freiburger Störung nicht als tektonische Struktur ausgewiesen wird. Dementsprechend fehlt die Lediflue als tektonisches Lineament auch in jenen Publikationen, welche die Freiburger Störung

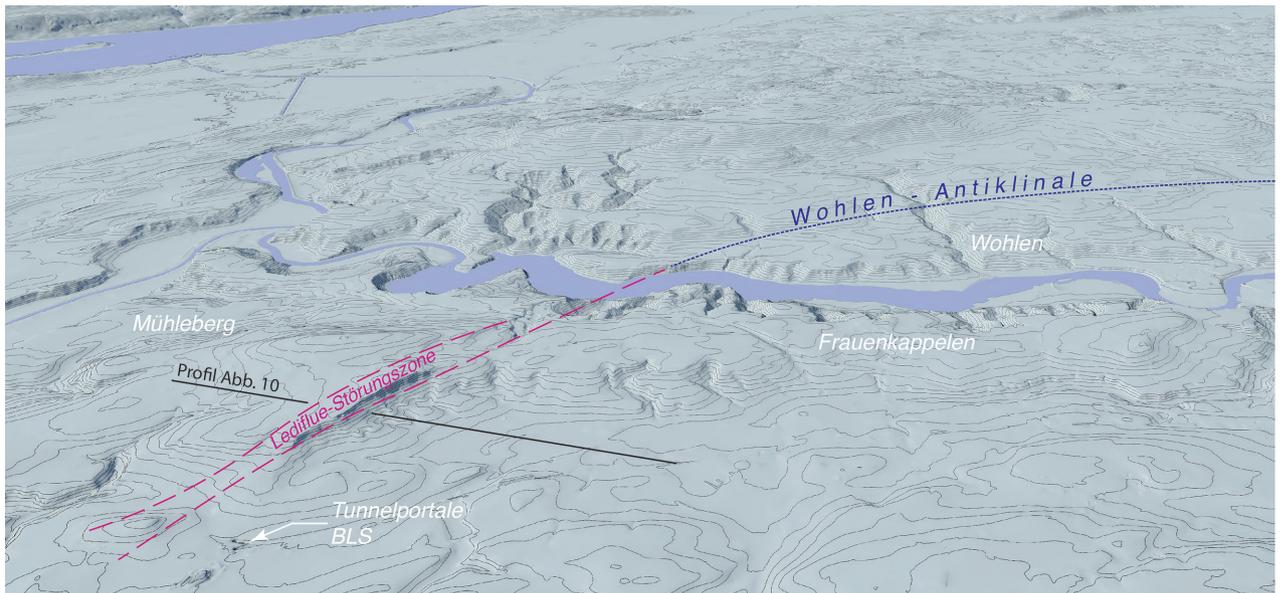


Abb. 11: Lediflue bei Rosshäusern, Gemeinde Mühleberg. Das Geländemodell in Vogelschauerspektive zeigt die Verbiegung der Achse der Wohlen-Antiklinale, woraus der Scheitelbruch an der Lediflue hervorgeht. (Abbildungsgrundlage Bundesamt für Landestopographie swisstopo).

aufgreifen. Darunter befindet sich zum Beispiel der Sicherheitsbericht für den Ersatz des Kernkraftwerks Mühleberg (RESUN 2008). Weil die Verfasser ihr Augenmerk auf Anzeichen für rezente Bewegungen gerichtet haben, fällt die Standortbeurteilung günstig aus («stabile geologische Formationen, seismisch ruhige Zone») und aus der Auswertung des hochauflösenden digitalen LIDAR-Höhenmodells (vgl. Abb. 9) folgern sie: «Auch mit diesen hochauflösenden Daten sind aber bis anhin keine tektonischen Strukturen, wie oberflächliche Stufen und Verstellungen, identifiziert worden, die auf aktive Brüche deuten würden. ... Im Gebiet von Mühleberg gibt es – vom geologischen Standpunkt aus – keine Hinweise auf bedeutende neotektonische Strukturen». Es bleibt unklar, ob in diesem Bericht die Lediflue als ererbte, neotektonisch irrelevante Struktur oder als Geländeform ohne tektonischen Hintergrund angesehen wird.

Vergeblich hat der Schreibende daneben versucht, Einsicht in die Standortabklärung für die Errichtung der Deponie Teufal zu erhalten. Ebenso erfolglos waren die Bemühungen, den geologisch-geotechnischen Schlussbericht zum neuen Eisenbahntunnel bei Rosshäusern zu konsultie-

ren, um zu erfahren, in welchen Kontext die dort angetroffene geologische Störzone eingeordnet wird.

Schichtlagerung im Stadtgebiet

Während sich die Interpretation der Schichtlagerung bei der Lediflue stark auf Geländeformen abstützen kann, ist das im dicht bebauten Berner Stadtgebiet nicht mehr möglich. Zudem ist der Molassefels an den meisten Orten unter ausgedehnter Quartärbedeckung verborgen und die Aufschlüsse sind an einer Hand abzuzählen: nur am Gurten, bei der Dalmazibrücke, beim Klösterliplatz, beim Autobahneinschnitt im Galgenfeld und beidseits der Aare von der Lorraine an abwärts ist der Fels aufgeschlossen. Wer nun wissen möchte, wie diese Aufschlüsse zusammenhängen, sucht in den bislang publizierten Schriften zur lokalen Geologie vergeblich nach einer abgedeckten (d.h. von der Quartärbedeckung entblösten) Felsoberflächenkarte, woraus die flächige Verbreitung der beiden Molasseformationen USM und OMM in der Stadt Bern und der Grenzverlauf hervorginge. Den ersten Versuch einer derartigen Darstellung unternahm Daniel Ernst mit seiner Masterarbeit «Die

USM/OMM Grenze im Raum Bern» (ERNST 2012), die am Institut für Geologie der Universität Bern mit enger Begleitung durch die hydrogeologische Dokumentationsstelle entstanden ist. Seine Arbeit hat das Terrain für den vorliegenden Beitrag geebnet und aufgezeigt, dass der Weg über eine räumliche Datenanalyse mittels Geographischem Informationssystem (GIS) führen muss und dass eine kritische Aufbereitung der zugrunde liegenden Bohrprofile unerlässlich ist.

In einem Gebiet, das vom Breitenrain bis ins Kirchenfeld und an den Rand von Ostermundigen reicht, wurde mit Hilfe von 21 Punktdaten aus Bohrungen (davon 15 Erdwärmesonden, vgl. Tabelle im Anhang) eine 3-dimensionale Oberfläche der Grenze USM/OMM modelliert und als Isohypsenkarte dargestellt (*Abb. 12*).

Aus dem Verlauf der Isohypsen ergibt sich eine Schichtneigung von 8° bis 10° gegen SE. Zur Plausibilitätsprüfung war es naheliegend, diese Fläche mit dem Relief der Felsoberfläche zu verschneiden und den daraus hervorgehenden Erosionsrand der OMM mit Bohrdaten zu verifizieren. Das Resultat war überraschend und vorerst ernüchternd. Gemäss dieser Flächenverschneidung hätte das OMM-Vorkommen die obere Altstadt und dazu den Bahnhof und die Grosse Schanze eingeschlossen. Stattdessen belegen alle Bohrungen, die bislang in diesem Gebiet bis auf den Fels abgeteuft worden sind, einzig die USM. In der unteren Altstadt stehen die Fundamente auf lehmiger Grundmoräne. Es mangelt an Anhaltspunkten zum Felsuntergrund und zur Stratigraphie bis zur Nydegg, wo wieder die OMM auftritt. Einzig die Erwähnung von ISLER (2005), dass an der Junkerngasse 37 «kurzzeitig mergelige USM aufgeschlossen war», konnte für die Überprüfung unseiner Konstruktion herangezogen werden. Wenn man diesen nicht genauer belegten Aufschluss (im Strassenraum? Im Keller?) als glaubhaft ansehen will, dehnt sich das Phänomen, dass anstelle der OMM die USM an die Oberfläche drängt, vom Bahnhofgebiet bis in die untere Altstadt aus. Weil aber am Fuss der Altstadt, auf dem topographisch tieferen Niveau des Mattequartiers

bis zum Dalmazi und Marzili, Bohrungen auf OMM-Fels gestossen sind, würde eine OMM-freie Altstadt ein steiles Aufbiegen des Schichtstapels auf engem Raum verlangen. Eine derartige Deformation wurde in der Stadt Bern trotz reger Bautätigkeit und mannigfacher Berichterstattung zum Baugrund bisher noch nicht beschrieben – bis auf den Fingerzeig bei GERBER (1925), der den «Eindruck eines flexurartigen Absinkens» der OMM hatte. Danach hat nur noch ERNST (2012) die Idee einer Flexurzone ins Feld geführt, weil er feststellte, dass das Schichtfallen östlich der Aare deutlich

Um die Lagerungsverhältnisse von USM und OMM zu erklären, muss deshalb auch im Stadtgebiet spröde Bruchtektonik angenommen werden.

steiler ist als zwischen Köniz und Niederwangen. Gegen eine Flexur spricht jedoch, dass in den Kernbohrungen vom Marzili bis Bärengraben nur sehr flache, fast horizontale Schichtneigungen notiert wurden. Um die Lagerungsverhältnisse von USM und OMM zu erklären, muss deshalb auch im Stadtgebiet spröde Bruchtektonik angenommen werden.

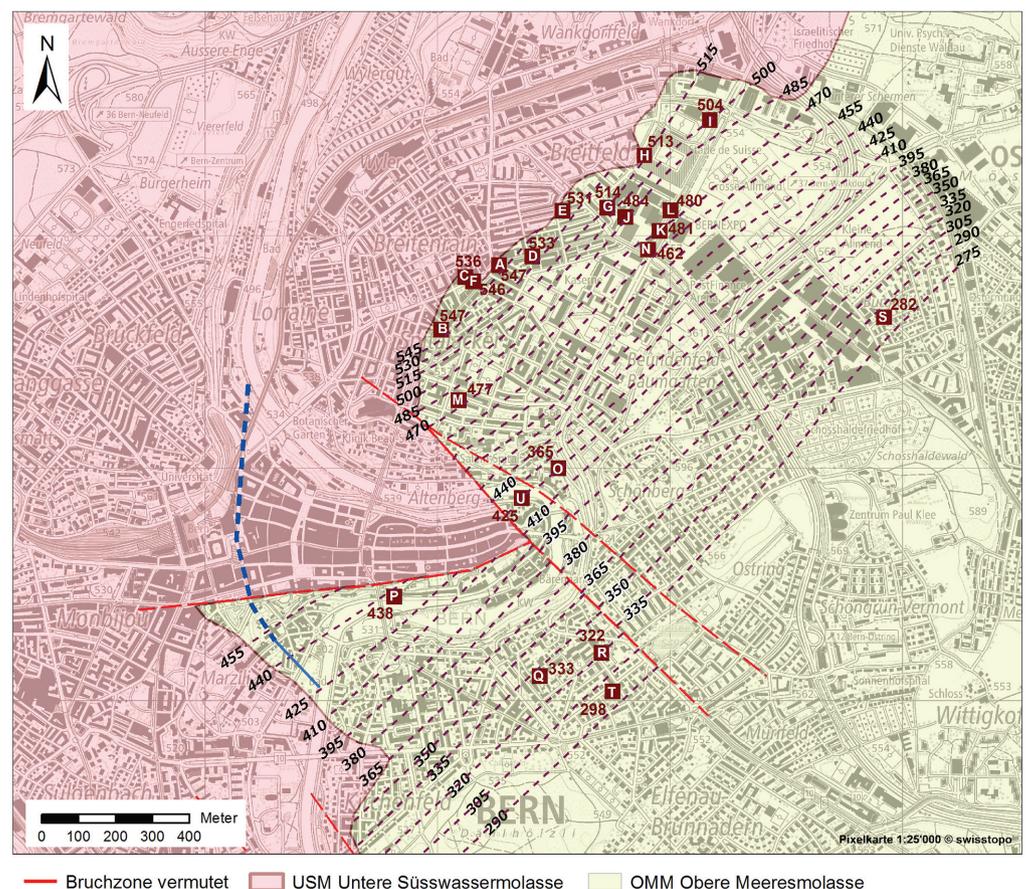
Eine Schlüsselstelle für die Eingabelung einer Verwerfung befindet sich zwischen Bahnhof und Marzilibad. Der 1922/26 erstellte Sulgenbachstollen führt auf der Achse Marzili-Bahnhofplatz-Bollwerk-Schützenmatte zum Aareufer in der vorderen Engehalde. Der Verlauf des Stollens ist mit einer blauen, gestrichelten Linie angegeben (*Abb. 12*). Er hat auf der ganzen Länge seiner Felsstrecke die Molasse in der für die USM typischen Wechsellaagerung von Sandsteinen und bunten Mergeln angetroffen. Die Felsüberdeckung des Sulgenbachstollens reicht unter dem Bahnhofplatz fast bis auf Strassenniveau. Als der Vortrieb des Stollens die Felsstrecke verliess, ereignete sich ein starker Schlamm- und Wassereinbruch. «Der im

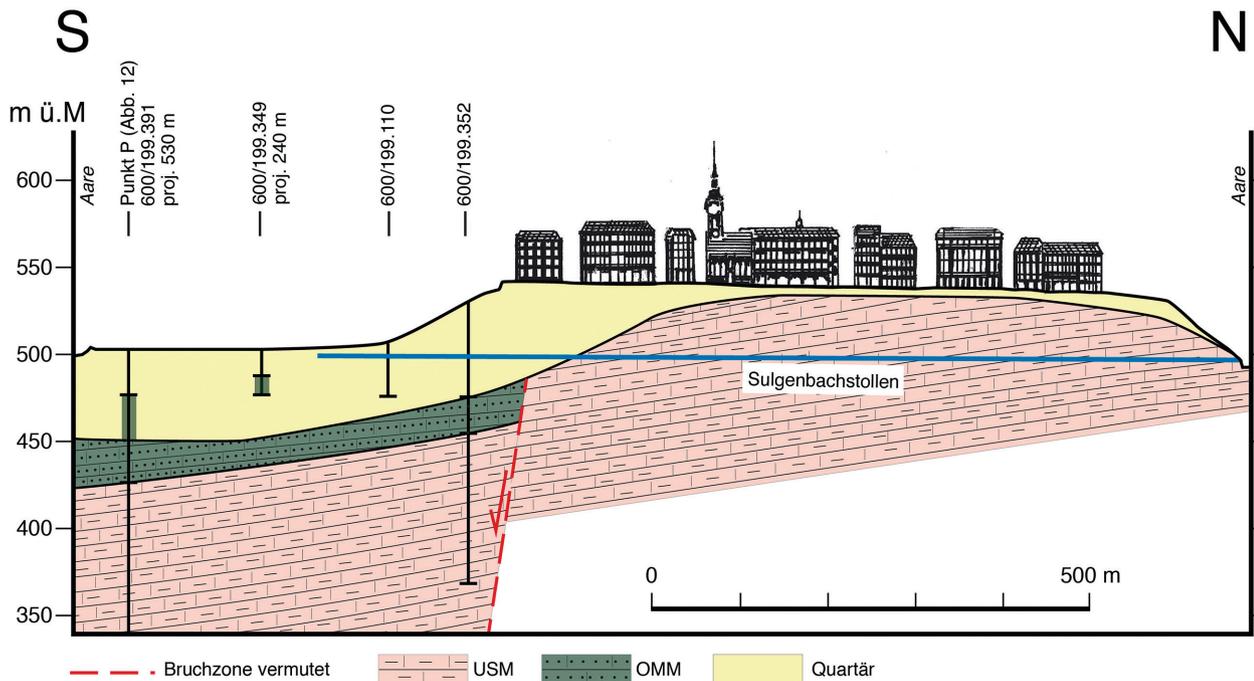
Gebirge entstandene Hohlraum pflanzte sich als Tagbruch in die Christoffelgasse fort, wo vor dem Gebäude der Schweiz. Volksbank [Christoffelgasse 6] ein Trichter von ca. 6 Meter Durchmesser und 8 Meter Tiefe entstand» (WIESMANN 1926). Die Bauingenieure mussten ihr ganzes Können anbieten, um mit den damaligen technischen Mitteln den Stollen dennoch fertigzustellen. Zur Orientierung sind im Profil (Abb. 13) von der Bebauung der oberen Altstadt die Häusergevierte östlich des Stollentrasses schematisch dargestellt. Auf die rückwärtige Verlängerung des Stollens bis zum Aareufer beim Marzilbad (ausgezogene blaue Linie in Abb. 12) sind in Abbildung 13 vier neuere, repräsentative Bohrprofile vom Hang unterhalb der Kleinen Schanze und vom Marzili hineinprojiziert. Als Projektionswinkel wird ein Schichtstreichen von 45° angenommen, «denn die Schichten im Sulgenbachstollen streichen N 43°–48° E

und fallen 7°48'–9°22' SE, was Herr Ing. Alder vom Tiefbauamt der Stadt Bern mit bemerkenswerter Genauigkeit feststellen konnte» (GERBER, 1925). Ein Blick auf das geologische Längsprofil (Abb. 13) macht klar, dass eine kontinuierliche Fortsetzung des OMM-Vorkommens mit dem Befund des Sulgenbachstollens unvereinbar ist und dass dazwischen zwingend eine Störung angenommen werden muss. Die gleiche Überlegung gilt für einen Querschnitt, welcher den USM-Aufschluss an der Junkerngasse mit Bohrungen im Mattequartier verbinden würde. Die Störungslinie dürfte somit vermutlich am Südrand der Altstadtbebauung verlaufen (Abb. 12). Die Sprunghöhe kann mit mindestens hundert Meter veranschlagt werden, weil die OMM auf der Grossen Schanze und am Falkenplatz fehlt (Felsoberfläche 550–560 m ü. M.).

Eine weitere Verwerfung ist im Gebiet Kursaal-Altenberg anzunehmen. Bei einem

Abb. 12: Verbreitung der stratigraphischen Molasseeinheiten USM und OMM mit Isohypsen und erbohrten Koten der Grenzfläche USM/OMM in der Stadt Bern (Buchstabenindizes vgl. Anhang 1). Blaue Linie: Profils spur des Längsprofils Abb. 13; unterbrochene Linie für Sulgenbachstollen, ausgezogene Linie für Profilverlängerung bis Aare Marzili.





fortlaufenden Streichen über die Aare hinweg würde sonst die OMM im Felsbuckel der Grossen Schanze wieder in Erscheinung treten. Dieser besteht aber ganz aus USM. Ein konkreter Hinweis auf Bruchtektonik fand sich einzig in der Erdsondenbohrung am Gryphenhübelweg 28 im Kirchenfeldquartier (*Punkt Q in Abb. 12*). Als sie auf der Endteufe 225 Meter (333 m ü.M.) noch knapp die bunten Mergel der USM erreichte, wurde eine «grössere offene Kluft im Fels angefahren» (Geoportal Kanton Bern, Sondierung Nr. 601/199.190). Die Ausrichtung dieser Spalte ist unbekannt und deshalb in Abbildung 12 nicht als Störung verzeichnet. Am ehesten ist eine Verlängerung dieser Kluft in Richtung des als «Wyslochrinne» bekannten und von eiszeitlichen Ablagerungen maskierten Einschnittes in die Felsoberfläche unter dem Egelsee anzunehmen.

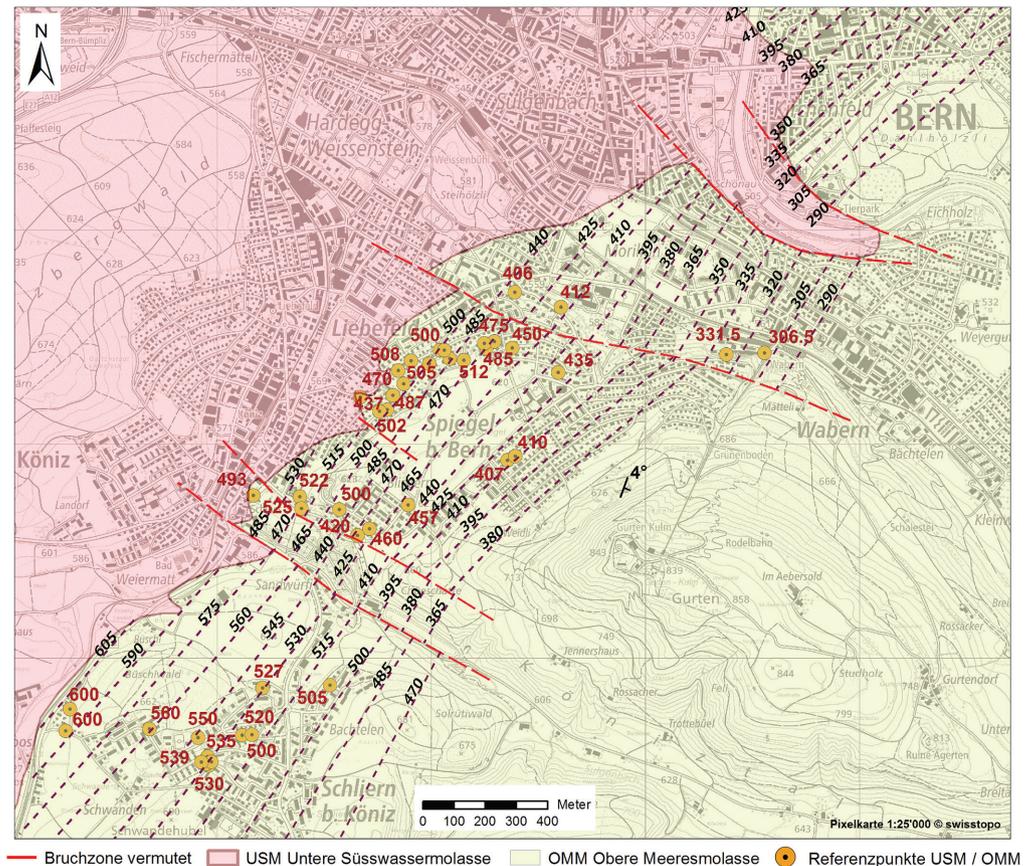
Abbildung 14 setzt die Darstellung des Referenzhorizontes an der Grenze USM/OMM westlich der Aare fort und überspringt damit eine stark übertiefte, alte Erosionsrinne, die im Untergrund vom Dälhölzli über das Marzili Richtung Hinterkappelen führt. In dieser Einkerbung mit einer über 200 Meter mächtigen Füllung

aus Lockergesteinen sind die Angaben zum Felsuntergrund zu spärlich, um eine Aussage über den Verlauf der Grenzfläche machen zu können. Da die Isohypsen des Referenzhorizonts beidseits des Marzilitrogs wegen evidentem Höhenversatz und einer Richtungsänderung im Streichen nicht aufeinanderpassen, muss hier im Untergrund eine grössere Störung verlaufen.

Der modellierte Referenzhorizont (*Abb. 14*) kann sich auf über dreissig Punktdaten stützen. Der am weitesten östlich gelegene Punkt ist zugleich der zuverlässigste: die Kernbohrung bei der ehemaligen Gurtenbrauerei (*siehe Abb. 7*). Alle anderen Referenzpunkte entstammen Erdsondenbohrungen, die in diesem Gebiet zahlreich sind, aber dennoch kein strikt kohärentes Bild ergeben. Die Schichtneigung dreht allmählich gegen E ab, zugleich steigt die Grenzfläche bis auf 600 m ü.M. am Erosionsrand der OMM westlich von Schliern. Dieser Anstieg und das Eindrehen gegen E sind in der Konstruktion der Grenzfläche nur mit der Annahme von Verwerfungen zu bewältigen, welche die fächerförmig aufgestellte Fläche in treppenstufenartige Segmente gliedern (*Abb. 15*). Für das Köniztal wird ein schmales, tiefer einge-

Abb. 13: Geologisches Profil Marzili – Engehalde entlang dem Sulgenbachstollen (zweifach überhöht). Profilspur vgl. Abbildung 12. Die erbohrten Koten der Schichtgrenze USM/OMM im Marzili und die Absenz der OMM in der oberen Altstadt (und Grossen Schanze – vorderen Länggasse) lassen auf eine Verwerfung schliessen.

Abb. 14: Verbreitung der stratigraphischen Molasseeinheiten USM und OMM mit Isohypsen und erbohrten Koten der Grenzfläche USM/OMM in der Gemeinde Köniz. Die Ebene der Schichtgrenze steigt gegen W an und dreht gleichzeitig tendenziell gegen E ab; dieser Anstieg wird durch treppenartigen Versatz an Verwerfungen ermöglicht.



senktes Segment angenommen, womit das Erdsondenreferenzprofil von der Schwarzenburgstrasse 287 (Abb. 5), wo die Grenze USM/OMM auf 493 m ü.M. liegt, auch untergebracht werden kann.

Die Abbildungen 12 und 14 geben eine Orientierungshilfe zur voraussichtlichen Tiefe der Grenze USM/OMM in geplanten Bohrungen. Allerdings ist nicht zu übersehen, dass die Schichtlagerung auf dem Referenzhorizont mit dem Aufschluss an der Oberfläche nicht deckungsgleich ist⁵. Diese Diskrepanz hat ihre Ursache wohl teilweise in der schmalen Datengrundlage für die konstruierte Referenzfläche. Daneben

sind zwei weitere Erklärungsansätze für die scheinbar gegeneinander verdrehten Schichtflächen denkbar:

- Innerhalb des OMM-Schichtpakets kommt es in mergeligen Abschnitten wie in einem Biertellerstapel zu internen Gleitungen, was die Differenz in der Streichrichtung erklären könnte.
- Oder die Grenzfläche USM/OMM ist winkeldiskordant statt schichtkonform, was bedeutet dass die Transgression des OMM-Meeres nicht auf einer eingeebneten Fläche vordrang, sondern ein Relief überflutete und demzufolge streng genommen nicht zeitgleich erfolgte.

⁵ Ein solcher Vergleich wurde für das Segment vom Spiegelquartier angestellt: Für Schichtmessungen exzellente Voraussetzungen bietet der Steinbruch am Gurten (Koordinaten 2599900/1196800; 700 m ü.M.; LABHART & ZEHNDER 2018), wo Sandsteine der OMM abgebaut werden. Der Abbau der Sandsteinbänke erfolgt entlang von Mergelfugen, wodurch die Schichtflächen gut zugänglich sind, was ein zuverlässiges Einmessen des Schichtfallens ermöglicht. Der Fallwinkel im Steinbruch Gurten beträgt 4° gegen 110°ESE, Abb. 14). Aus den Isohypsen auf der 330 Meter tiefer liegenden Grenzfläche USM/OMM ergibt sich hingegen ein doppelt so grosser Fallwinkel gegen 130°SE.

Eine winkeldiskordante Auflagerung der OMM ist im Profil von Abbildung 13 als Anschauungsbeispiel illustriert, beruht jedoch nicht auf realen Beobachtungen.

Der grössere tektonische Rahmen

Um dem Titel dieses Beitrags gerecht zu werden, müssen die lokalen Beobachtungen aus den voranstehenden Abschnitten mit dem grösseren tektonischen Rahmen verknüpft werden. Diesem Vorhaben stehen auf den ersten Blick die ganz unterschiedlichen Ausrichtungen der Verwerfungen an der Lediflue (SW-NE) und im Felsuntergrund der Stadt Bern (SE-NW) im Weg. Gleichwohl kann ein gemeinsamer Auslöser angenommen werden: Das Grundmuster für die tektonische Deformation im Raum Bern scheint die SSW-NNE gerichtete Freiburger Störung vorzugeben. Ihre steilstehenden Bruchzonen wirken wie Gleitschienen für horizontale Verschiebungen, welche der östlich gelegenen Partie einen Vorschub gegen NNE verleihen. Die Verbiegung der Wohlen-Antiklinale passt in dieses Bewegungsmuster. Weniger offensichtlich ist es für das Stadtgebiet, wo die angenommenen Bruchzonen in stumpfem Winkel zur Freiburger Störung stehen. Dennoch können sie als untergeordnete Strukturen der generellen Deformation angesehen werden, die für den Materialausgleich innerhalb des

verzerrten und zerscherten Gürtels der Störungszone sorgen, wie das im rechten Teil der tektonischen Skizze angegeben ist (Abb. 15). Der linke Teil dieser Figur fasst die Grenzfläche USM/OMM (Abb. 12 und 14) in einer plastisch-räumlichen Darstellung zusammen, die an das Zitat von GERBER (1925) zurückdenken lässt: «Das Gebiet Bern – Gümligen liegt sozusagen in einer Depression, gegen welche die Molasseschichten von Südwest, Norden und Nordost einfallen».

Aussagen zum Verlauf der Störungen in der Tiefe und zu ihrer Bewegungsrichtung (seitliche Verschiebung mit Dehnung oder Stauchung? Rotation?) sind mit unseren Grundlagen kaum möglich, ebenso wenig wie Aussagen, wann diese Störungen angelegt wurden und aktiv waren. Dazu wären reflexionsseismische Untersuchungen nötig, welche die obersten 3000 bis 4000 Meter der Erdkruste durchleuchten könnten. Derartige Untersuchungen sind zwar in den 1970er Jahren für die Öl- und Gasexploration im Mittelland durchgeführt worden, das Gitternetz der seismischen Linien ist im Raum Bern leider nur weitmaschig und die aufgezeichneten Signale sind von minderer Qualität (MOCK & HERWEGH 2017). Als in jüngerer Zeit die Erschliessung der tiefen Geothermie zum Thema wurde, erkundeten andere grosse Schweizer Städte (Basel, Zürich, St.Gallen, Freiburg, Genf)

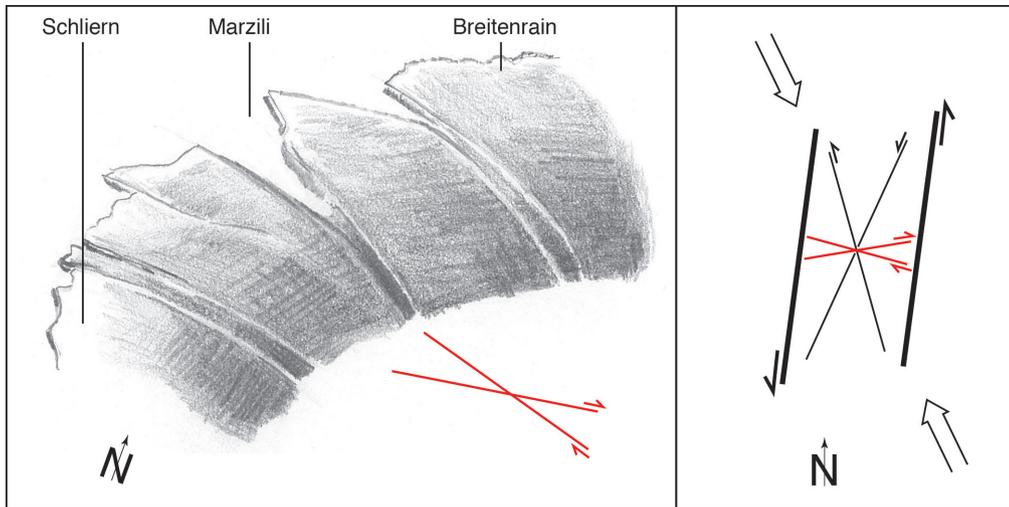


Abb. 15: Skizze zur Tektonik. Auf der linken Seite eine plastische Illustration der von Bruchzonen zerteilten Grenzfläche USM/OMM aus den Abb. 12 und 14; auf der rechten Seite werden die Verwerfungen im Raum Bern als untergeordnete Bewegungsbahnen der Freiburger Störung (linksseitige Horizontalverschiebung) gedeutet.

mit neuen seismischen Kampagnen ihren Untergrund und liessen teilweise schon Erkundungsbohrungen in städtischem Gebiet abteufen. Im Gegensatz dazu begnügte man sich in Bern damit, die früheren Erkundungen als Potenzialstudie aufzubereiten (ARGE GEOTHERMIE ESPACE BERN 2010). Für gezielte Untersuchungen mit den modernen Mitteln der 3-D-Seismik oder einer Tiefbohrung haben weder die politischen Behörden noch die Energiewirtschaft die Initiative ergriffen. Im Rahmen des Projektes GeoMol (2017) hat sich im Kanton Bern nur die Universität engagiert (MOCK & HERWEGH 2017); deren Publikation präsentiert zusammen mit dem Schlussbericht GeoMol den aktualisierten Wissensstand.

Die Molasse als Felsgrundwasseraquifer

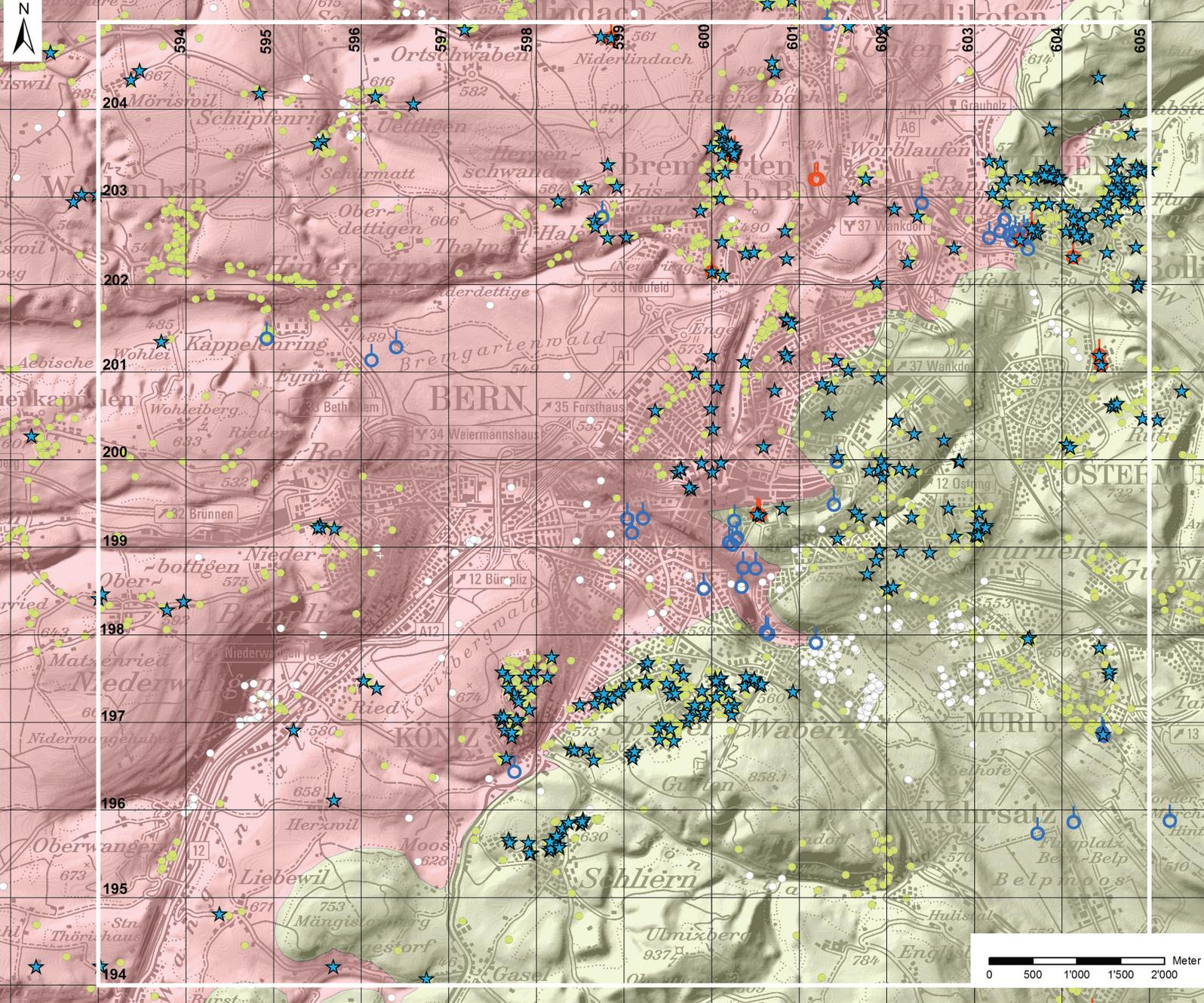
Auch in hydrogeologischer Beziehung ist der Grenzhorizont USM/OMM von besonderer Wichtigkeit, denn er übernimmt die Rolle eines wichtigen Quellhorizonts. Die Mergel der USM wirken als Stauer (undurchlässige Schicht) und die Sandsteine der basalen OMM als Grundwasserleiter (Aquifer), was im Bohrprofil der Abbildung 6 exemplarisch verwirklicht ist. Die Gesteinseigenschaften der untersten OMM und die flächige Ausdehnung ergeben günstige Voraussetzungen für den Felsgrundwasserleiter (KELLER 1992). Wasserfassungen sind teilweise direkt im Fels mittels Fassungsstollen angelegt oder in der Lockergesteinsdecke, in welche das Felsgrundwasser exfiltriert. Der Schichtkontakt zwischen USM und OMM wird deshalb oft gesäumt von Quellfassungen, was in aufschlussarmen Gebieten Anhaltspunkte für die Kartierung der Grenze liefert. Die Schüttungen der Quellfassungen sind ausreichend für lokale Wasserversorgungsgemeinschaften (zum Beispiel auf dem Frienisberg), für kleine Einzelhof- und Gruppenversorgungen und landwirtschaftliche Bewässerungsanlagen.

Die Wasserführung in der Molasse beschränkt sich indessen nicht nur auf die untersten Abschnitte der OMM über den stauenden Mergeln der USM, sondern es

können auch in anderen Schichtabschnitten teilweise beträchtliche Wassermengen angetroffen werden. In Profilbeschreibungen und Begleitberichten zu Erdwärmesondenbohrungen trifft man auf Aussagen wie «bei 140 m besonders starke Wasserzutritte», «im Felsuntergrund wurden andauernd und vor allem bei 182 m massive Wasseraustritte festgestellt», «von 40 m bis zur Endteufe bei 260 m leicht gespannte, starke Wasserzutritte», «stärkere Wasserzutritte unterhalb von 60 m, zur Tiefe noch zunehmend», «mit zunehmender Tiefe vermehrt Wasserzutritte. Ab rund 110 m Bohrlochteufe sind diese gleich bleibend hoch», «wurden ab einer Tiefe von 210 m erhebliche Mengen von Wasser angetroffen». Die Aufzählung könnte noch beliebig verlängert werden.

Eine Auswertung für ein 132 Quadratmeter grosses Gebiet mit Eckpunkten bei Kehrsatz, Thörishaus, Möriswil und dem Grauholz lieferte 330 Bohrungen, die «starke», «kräftige», «viele» oder zumindest «mittelstarke» Wasserzutritte aus dem Molassefels erwähnen (Abb. 16). Starke Zuflüsse aus Lockergesteinen wurden für diese Auswertung weggelassen. Es ist wohl noch mit einer Dunkelziffer von weiteren 10 bis 20 Prozent zu rechnen, weil Beobachtungen über Wasserzutritte nicht immer zuverlässig im Bohrrapport oder dem Bohrprofil vermerkt werden. Das Verbreitungsmuster ist ferner stark beeinflusst durch die Realisierungsmöglichkeiten für Erdsonden, die auf Bauzonen beschränkt und durch Erdsondenverbotszonen weiter eingeeengt sind. Und von Muri, Wabern und Niederwangen fehlen Resultate, weil der Felsuntergrund dort so tief liegt, dass er von Erdsondenbohrungen nicht mehr erreicht wird.

Der Blick auf die Abbildung bestätigt die Erwartung, dass das Felsgrundwasser eher an die OMM gebunden ist. Aber auch im Verbreitungsgebiet der USM sind noch zahlreiche Bohrungen mit kräftiger Wasserführung im Fels zu finden; auffallend sind da die Häufungen im Liebefeld und bei Bremgarten, während in Wohlen und Kehrsatz bei ähnlich grosser Erdsondendichte entsprechende Beobachtungen viel weniger genannt werden.



- ★ starker Zutritt Felsgrundwasser
- Arteser aus Fels
- Arteser aus Lockergestein
- destruktive Bohrung, Fels erreicht
- destruktive Bohrung, Fels nicht erreicht
- USM Untere Süsswassermolasse
- OMM Obere Meeresmolasse

Abb. 16: Verbreitung der stratigraphischen Molasseeinheiten USM und OMM in der Region Bern und Bohrstandorte vor dem topographischen Hintergrund der Felsreliefkarte (Felssockel ohne Lockergesteinsüberdeckung). Weisser Rahmen: Auswertungsperimeter für Bohrungen mit starken Wasseraustritten aus dem Molassefels; diese korrelieren bevorzugt mit der OMM und die artesischen Wasseraustritte mit den erosiven Einschnitten des Worblen- und Aaretals.

Voraussetzung für eine grössere Wasserdurchlässigkeit ist eine erhöhte Porosität. Sie kann auf eine unvollständige primäre Zementation der Sandsteine oder nachträgliche Lösungsprozesse zurückgehen. Noch stärkere Wasserzutritte sind aus klüftigen Partien im Gefolge von Verwitterung oder tektonischer Zerrüttung möglich. Die Erwartung, dass sich aus der starken Wasserführung Hinweise auf den Verlauf von

tektonischen Bruchzonen ergeben würden, hat sich jedoch nicht erfüllt. Das von Zufälligkeit bestimmte Verbreitungsmuster der Erdwärmesondenbohrungen und die auf Freiwilligkeit beruhenden Erfassungsmeldungen sind zu lückenhaft für eine zuverlässige Kartierung von besonders wasserreichen Arealen. Aus den zahlreichen Hinweisen auf starke Wasserführung im Molassefels ist zu vermuten, dass im

Tabelle 1: Probe vom 30.03.1987 aus dem Filterbrunnen FB 1, Brauerei Gurten, Wabern. Analyse durch Versuchsstation Schweizerischer Brauereien.

Gesamthärte	frz°	19.9
Karbonathärte	frz°	23.0
Chlorid	mg/l	<2
Sulfat	mg/l	5
Nitrat	mg/l	0.15
Oxidierbarkeit	mg/l	1.1
Nitrit	mg/l	0.05
Ammonium	mg/l	<0.005
Eisen	mg/l	<0.01
Mangan	mg/l	0.013
Leitfähigkeit	µS/cm bei 20°	390
pH-Wert	bei 20°	7.6
Calcium	mg/l	37
Magnesium	mg/l	26
Fluorid	mg/l	0.10
Natrium	mg/l	15
Kalium	mg/l	1.5
Silizium [als H ₂ SiO ₄]	mg/l	27
Lithium	mg/l	<0.01
Strontium	mg/l	1.6
Aluminium	mg/l	0.012
Hydrogenkarbonat	mg/l	277
Hydrogenphosphat	mg/l	<0.1
Schwefelwasserstoff	mg/l	0
Kohlendioxid	mg/l	14
Keimzahl	in 1 ml	51
Coli-Bakterien	in 100 ml	0
Enterokokken	in 100 ml	0

Felsuntergrund ein grösseres Wasservorkommen schlummert, dessen Rolle für die Grundwasserbilanzierung und Ressourcenbewirtschaftung bisher nicht gebührend berücksichtigt worden ist. BURGER (2016) hat die Anstrengungen zu Nutzung

und Schutz von Tiefengrundwasser beleuchtet und festgestellt, dass die Kenntnisse über Chemismus und Fliessverhalten rudimentär geblieben sind und eine Priorisierung der Nutzungsmöglichkeiten versäumt wurde: «Das Tiefengrundwasser stellt eine grosse, jedoch noch wenig bekannte Ressource dar, sowohl für die Trinkwasserbeschaffung als auch für die Landwirtschaft. Mittelfristig sollten geeignete Tiefengrundwässer für Trinkwasserzwecke sowie für die Landwirtschaft identifiziert werden». Dass aus dem Felsgrundwasserleiter der OMM ein qualitativ einwandfreies Wasser gewonnen werden kann, zeigt die chemische Analyse an einer Wasserprobe aus dem Filterbrunnen FB1 für die Brauerei Gurten (*Tabelle 1*). Auch betreffend der Ergiebigkeit war der OMM-Grundwasserleiter in diesem Beispiel befriedigend: Aus den beiden Brunnen der Brauerei Gurten konnten 150 l/min gepumpt werden und der Grundwasserspiegel stabilisierte sich bei Parallelbetrieb der beiden Pumpen auf 90 bis 100 Meter unter Terrain.

Alle Grundlagenberichte für Schutz und Bewirtschaftung der Grundwasser des Kantons Bern befassen sich nur mit Grundwasservorkommen in Lockergesteinen und betrachten den Fels durchgehend als Stauhorizont. Diese Abgrenzung ist wohl unrealistisch; es ist vielmehr von einem Austausch zwischen Felsgrundwasser und Lockergesteinsaquifer auszugehen.

Aufschlussreich in dieser Beziehung ist das Worblental, wo die gegen SE abtauchende OMM im Gebiet Papiermühle in der Gemeinde Ittigen von der Talrinne angeschnitten wird. Da sind auf relativ engem Raum zwischen Papiermühle und Bolligen bisher drei Arteser⁶ im Molassefels und elf Arteser in der Lockergesteinsfüllung des Worblentals angebohrt worden. Offensichtlich erfolgen hier Übertritte aus dem Felsaquifer der OMM, der über dem Stauer der USM besonders ergiebig ist, in die Lockergesteine, die im Worblental sehr he-

⁶ In einem artesischen Grundwasservorkommen liegt das hydraulische Druckniveau über Terrainhöhe, weshalb das Wasser bis an die Erdoberfläche und darüber hinaus aufsteigt, wenn die stauenden Deckschichten durchbohrt werden.

terogen aus Schotterlinsen zwischen Verlandungssedimenten aufgebaut sind. Das OMM-Felsgrundwasser wird aus dem höher gelegenen, bewaldeten Grauholz und in geringerem Mass wohl auch vom Plateau der Allmend und vom Wankdorf her alimentiert, was den artesischen Druck erklärt.

Eine ähnliche Korrespondenz zwischen einer Erosionsrinne im Felsgrundwasser-aquifer der OMM und dem Auftreten von Artesern kann in Bern zwischen Dälhölzli und Mattenhof erkannt werden (*Abb. 16*). Weitere hydraulische Verbindungen zwischen Fels- und Lockergesteinsgrundwasser sind in den Erosionseinschnitten des Sensetals, Emmentals und Langetentals zu vermuten.

Verdankungen

Bei Esther Schönthal, Geomatikerin im Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, bedanke ich mich für die Erstellung von Illustrationen. Martin Glück von Stump Bohrtechnik, Solothurn, übernahm freundlicherweise die Korrektur des Abschnitts zu den Bohrverfahren und Stephane Quillet von der Feldschlösschen-Gruppe lieferte Angaben zu den Fassungen der Brauerei Gurten. Samuel Mock vom Institut für Geologie der Universität Bern hat mit digitaler Datenanalyse und sachdienlichen Hinweisen geholfen und Prof. Fritz Schlunegger das Manuskript begutachtet und mit Ergänzungen abgerundet.

Christian Isenschmid



Christian Isenschmid studierte an der Universität Bern Geologie und promovierte dort 1983. Nach der Mitarbeit bei der Kernaufnahme von Nagra-Bohrungen arbeitete er in einem hydrogeologischen Gutachtenbüro in Liestal (Basel-Landschaft). Er absolvierte darauf in Biel ein Nachdiplomstudium in Lufthygiene und befasste sich bei einem Ingenieurbüro in Bern mit Störfallvorsorge. In einer verkürzten Steinhauerlehre machte er Erfahrungen mit der handwerklichen Steinbearbeitung und kehrte hernach wieder zur Geologie zurück. Im längsten Abschnitt seines Berufslebens, bis zur Pensionierung im Jahr 2018, betreute er in der kantonalen Verwaltung die hydrogeologische Dokumentationsstelle des Kantons Bern.

Literaturverzeichnis

- ALLEN P.A., MANGE M., MATTER A., HOMEWOOD P. (1985) Dynamic paleogeography of the open Burdigalian seaway, Swiss Molasse Basin. *Eclogae geol. Helv.* 78/2, 351–381
- ARGE GEOTHERMIE ESPACE BERN (2010) Grundlagenstudie Tiefengeothermie Espace Bern. Auftraggeber: ewb Energie Wasser Bern
- BURGER H. (2016) Nutzung und Schutz von Tiefengrundwasser im Spannungsfeld von Chancen, Risiken, Konflikten und regulatorischen Anforderungen. *Swiss Bull. angew. Geol.*, Vol. 21/1, 69–90
- BURKHALTER A. (2016) 1000 Jahre Mühleberg 1016 – 2016. Eine Zeitreise durch die Geschichte der Gemeinde Mühleberg. Hrsg. Gemeindeverwaltung Mühleberg
- ERNST D. (2012) Die USM/OMM-Grenze im Raum Bern. Masterarbeit, Institut für Geologie, Universität Bern.
- GEOMOL (2017) Geologisches 3D-Modell des Schweizer Molassebeckens. Bundesamt für Landestopografie.
- GEOTEST (2009) Doppelspurausbau Rosshäusern-Mauss. Auflageprojekt 2009. Tunnel, geologisch-geotechnischer Bericht (07180.7). Unpublizierter Bericht.
- GERBER E. (1912) Jensberg und Brüttelen, zwei Ausgangspunkte für die Molasse-Stratigraphie des bernischen Mittellandes. *Eclogae geol. Helv.* 12/4
- GERBER E. (1924) Über die Schiefstellung der Molasse in der näheren und weiteren Umgebung von Bern. *Mitteilungen natf. Ges. Bern*, XXII–XXIII
- GERBER E. (1925) Über die Molasse im Amtsbezirk Bern oder: Lassen sich aus den Molasseprofilen diluviale Krustenbewegungen nachweisen? *Mitteilungen natf. Ges. Bern* 38–58
- GERBER M.E. (1982) Geologie des Berner Sandsteins. Das Burdigalien zwischen Sense und Langete, Kanton Bern. Dissertation, Institut für Geologie, Universität Bern.
- GRUNER U. (2001) Erläuterungen Geologischer Atlas der Schweiz 1167 Worb (Atlasblatt 104)
- ISLER A. (2005) Erläuterungen Geologischer Atlas der Schweiz 1166 Bern (Atlasblatt 100)
- IBELE T. (2011) Tectonics of the Western Swiss Molasse Basin during Cenozoic Times. *GeoFocus Vol.* 27
- JOST J., KEMPF O., KÄLIN D. (2016) Stratigraphy and paleoecology of the Upper Marine Molasse (OMM) of the central Swiss Plateau. *Swiss J. Geosc.* 109/2, 149–196
- KELLER B. (1989) Fazies und Stratigraphie der Oberen Meeresmolasse (Unteres Miozän) zwischen Napf und Bodensee. Dissertation, Institut für Geologie, Universität Bern.
- KELLER B. (1992) Hydrogeologie des schweizerischen Molasse-Beckens: Aktueller Wissensstand und weiterführende Betrachtungen. *Eclogae geol. Helv.* 85/3, 611–651
- KELLER B. (2012) Facies of Molasse based on a section across the central part of the Swiss Plateau. *Swiss Bull. angew. Geol.* 17/2, 3–19
- LABHART T., ZEHNDER K. (2018) Steine Berns. Haupt, Bern
- MOCK S. HERWEGH M. (2017) Tectonics of the central Swiss Molasse Basin: Post Miocene transition to incipient thick-skinned tectonics? *Tectonics*, 36, 1699–1723
- NUSSBAUM F. (1925) Über den Nachweis einer Molasse-Antiklinale nördlich von Bern. *Mitteilungen natf. Ges. Bern* (1924) XXVI–XXVIII
- RESUN (2008) Sicherheitsbericht, Rahmenbewilligungsgesuch Ersatz Kernkraftwerk Mühleberg
- RUTSCH R.F. (1933) Beiträge zur Geologie der Umgebung von Bern. *Beitr. geol. Karte Schweiz N.F.* 66
- SOMMARUGA A., GRUBER M., MOSAR J. (2016) Synthèse des données géologiques utiles pour la construction d'un modèle du sous-sol du Canton de Fribourg. *GeoFocus*, Vol. 39
- STRUNCK P., MATTER A. (2002) Depositional evolution of the western Swiss Molasse. *Eclogae geol. Helv.* 95/2, 197–222
- WIESMANN E. (1926) Der Bau des Sulgenbachstollens in Bern. Sonderdruck aus «Hoch- und Tiefbau», Organ des Schweizerischen Baumeisterverbandes

Anhang 1

Index	Kennnummer	Name	OK Terrain	Dach USM
A	601/200.117	KB1, Kanalisation Militärstrasse; SC+P (BE 546A)	557.9	547
B	601/200.132	RB 3/P/12, Kanalisation Moserstrasse; (Gt. 31.4190.008)	559.7	547
C	601/200.63	RB 2, Breitenrainstrasse 10, Bern; Balzari Blaser Schudel	557	536
D	601/200.144	EWS Rütlistrasse 5, Bern; M&P	557	533
E	601/201.220	EWS Wiesenstrasse 20, Bern; K+H (7821)	555	531
F	601/200.107	RB 2-09, Migros Breitenrain; CSD (BE 7102)	559	546
G	601/201.200	EWS, Sempachstrasse 6+8, Bern; B-I-G	556	514
H	601/201.140	RB 2-00, Stadion Wankdorf Bern; CSD (BE 6039)	553.82	513
I	602/201.596	B 2, Kathodenschutzbohrung, Wankdorf Geotest (1316035.2)	554	504
J	601/201.249	EWS 1.5, Verwaltungszentrum Guisanplatz, Bern; CSD	556	484
K	601/201.250	EWS 7.5, Verwaltungszentrum Guisanplatz, Bern; CSD	557	481
L	601/201.251	EWS 9.9, Verwaltungszentrum Guisanplatz, Bern; CSD	556	480
M	601/200.100	EWS Kindergarten Spitalacker 3; K+H	561	477
N	601/200.96	EWS Guisanplatz 1, Bern; B-I-G	558	462
O	601/199.199	EWS Lerberstrasse 7, Bern; B-I-G	525	365
P	600/199.391	EWS Aarstrasse 62, Bern; B-I-G	502	438
Q	601/199.190	EWS Gryphenhübeliweg 28, Bern; Weiss	555	333
R	601/199.168	EWS Seminarstrasse 1, Bern; M&P	553	322
S	602/200.649	EWS Burgdorfholzstrasse 41, Bern; Baustofflabor	520	282
T	601/199.170	EWS Ensingerstrasse 20, Bern; B-I-G	554	298
U	601/199.156	EWS Langmauerweg 6, Bern; Geotest	500	ca. 425

Anhang 1: Referenzpunkte für die Konstruktion der Isohypsen auf der Grenzfläche USM/OMM (Abb. 12).

RB und KB: (Rotations-)Kernbohrung; EWS: destruktive Erdwärmesondenbohrung.