

GEOPHYSIK

Geophysik im Drautal – Ergebnisse und Erkenntnisse

R. Arndt¹ & R. Bäk²

¹ Geologische Bundesanstalt, 1030 Wien.

² Amt der Kärntner Landesregierung, 9020 Klagenfurt.

Inhalt

1. **Einleitung**
2. **Geophysik**
 - 2.1. Schweremessungen
 - 2.2. Geoelektrik
 - 2.3. Refraktionsseismik
 - 2.4. Reflexionsseismik
 - 2.5. Petrophysikalische Randbedingungen
3. **Vorhandene Arbeiten**
 - 3.1. Lienz
 - 3.2. Oberdrauburg
 - 3.3. Sachsenburg
 - 3.4. Möllbrücke
 - 3.5. Villach
 - 3.6. Ferlach
4. **Aktuelle Kampagnen der GBA**
5. **Reinterpretation der Geophysikalischen Ergebnisse**
6. **Arbeitshypothese**
7. **Ausblick**
8. **Dank**
9. **Literatur**
 - 9.1. Vorhandene Arbeiten Geophysik
 - 9.2. Geologie
 - 9.3. Allgemein
10. **Tabellen**

1. **Einleitung**

Das rezente Drautal liegt im Einfluss wichtiger tektonischer Störungslinien (Drau-Mölltallinie, Periadriatisches Lineament, Gegendtalstörung) und ist deshalb für geologische und für die geophysikalischen Untersuchungen von besonderem Interesse. Publiizierte geophysikalische Arbeiten wurden entweder im Rahmen der geologischen Grundlagenforschung „Grenzlinie Nord-/Südalpen“ angefertigt oder wurden als Unterstützung für hydrogeologische Fragestellung angefertigt. Nicht publizierte Arbeiten von geophysikalischen Kampagnen liegen als firmeninterne Berichte der österreichischen Draukraftwerke vor. In der Neuzeit wurden / werden geophysi-

kalische Kampagnen begleitend zur geothermischen Erschließung und für die Quantifizierung von Tiefengrundwässern in Kärnten durchgeführt.

Die geophysikalischen Berichte wurden in den letzten 30 Jahren erstellt, an denen fast alle aus nationalen und internationalen Publikationen bekannten österreichischen Geophysiker beteiligt waren.

Der hier vorgelegte Beitrag fasst vorhandene geophysikalische Ergebnisse zu den Themen „Grundlagenforschung“ und „Wasser“ aus den Jahren 1972 bis 2003 zusammen. Nach einer kurzen Beschreibung der geophysikalischen Methoden werden im dritten Kapitel die bekannten Einzelarbeiten vorgestellt, wobei die Titelform der Unterkapitel sich an einem übergeordneten, geographischen Begriff orientiert. Die Ansprache der vorliegenden geophysikalischen Erkundungen erfolgt als reine Grundgebirgskartierung. Aus den geophysikalischen Einzelergebnissen wird im achten Kapitel eine Arbeitshypothese über die Entstehung des Drautals – *nur* zwischen dem Lienzer und dem Klagenfurter Becken – synthetisiert. Im neunten Kapitel wird auf die Möglichkeit verwiesen, die bisherige Schwerpunktinterpretation „Grundgebirgsrelief“ auf die Talfüllungen und auf deren Fazies zu erweitern.

2. Geophysik

Alle geophysikalischen Erkundungsarbeiten beruhen auf der Messung petrophysikalischer Größen, die sich meist mit den geologischen Verhältnissen ändern. Darum fanden in den Drautal-Kampagnen die Gravimetrie, Seismik und Geoelektrik ihre erfolgreiche Anwendung. Eine detaillierte Darstellung der Einzelmethoden finden sich im Überblick in HOHL (1980), in deutschsprachigen Standardwerken, z.B. KNÖDEL et al. (1997) und in aktuellen englischsprachigen Büchern, z.B. McDOWELL et al. (2002) oder McCANN et al. (1997).

2.1. Schweremessungen

Die Anwendbarkeit der Gravimetrie beruht darauf, dass Gesteine unterschiedliche Dichten haben. Geologische Großstrukturen – z.B. das Wiener Becken – werden durch eine negative Anomalie von $\approx 60,0$ mGal begleitet, alpine Salzlagerstätten gelten ab $-1,0$ mGal als abbauwürdig. Im Talverlauf des Drautals können Anomalienzüge in der Größenordnung von $-2,0$ bis $-5,0$ mGal nachgewiesen werden. Das gravimetrische Signal wird vom Dichtekontrast bestimmt, wobei für inneralpine Senken mit einem durchschnittlichen Schwerekontrast (Grundgebirge / Sedimentfüllung) von $\approx 0,25$ g cm⁻³ bis $0,40$ g cm⁻³ gerechnet wird.

Der Nachteil der Gravimetrie – als Vertreter einer Potentialmethode – ist die Vieldeutigkeit der Ergebnisse: Ein kleinerer kontrastreicher, oberflächennaher Störkörper kann eine ähnliche Anomalie aufweisen wie eine große, tiefliegende, kontrastarme Signalquelle.

2.2. Geoelektrik

Bei den Widerstandsmethoden wird der Spannungsabfall eines künstlich erzeugten elektrischen Erdfeldes zwischen zwei Strom-Elektroden bestimmt. Der Spannungsabfall wird durch das Ohmsche Gesetz beschrieben. Mit der Vergrößerung des Abstandes der Elektroden wächst die effektive Eindringtiefe – und damit der Aussagebereich. Die geoelektrische Methode ermöglicht Angaben über Schichtlagerung, kann aber auch Schichtdetails und richtungsabhängige Variationen des Widerstandes, z.B. faziell bedingte Anisotropien, auskartieren. Werden in sedimentären Talfüllungen abgrenzbare Schichtpakete mit Widerständen über $200 \Omega\text{m}$ nachgewiesen, werden diese vom Hydrogeologen mit höffigen Grundwasserleitern parallelisiert. Das Grundgebirge wird mit spezifischen Widerständen über $500 \Omega\text{m}$ assoziiert.

Ein Vorteil der Geoelektrik liegt in einer schnellen, aufwandsgeringen Durchführbarkeit und einem schnellen Processing der gewonnenen Daten. Der Nachteil von geoelektrischen Methoden liegt in der notwendigen Feldaufstellung, die Eindringtiefe einer geoelektrischen Messung entspricht 15–20% der Auslagenlänge. Bei engen Talgeometrien mit Verkehrswegen parallel zur Talhauptachse lassen sich u.U. deshalb nur kleine geoelektrische Talquerprofile verwirklichen, wobei die gewünschte Explorationstiefe methodisch dann nicht erreicht wird.

2.3. Refraktionsseismik

Bei der Refraktionsseismik werden die an physikalischen Unstetigkeitsstellen gebrochenen mechanischen Grenzwellen beobachtet. Besonders in der Ingenieurgeophysik wird die oberste Grenzfläche des Grundgebirges traditionell mittels Refraktionsseismik kartiert. Diese robuste, preiswerte Methode findet sich deshalb in den ersten Übersichtskartierungen des Drautals wieder. Eine wichtige Bedingung für eine erfolgreiche Refraktionsseismik ist die Zunahme der Schichtgeschwindigkeiten zum Liegenden – eine Bedingung, die selbst bei der Grenzflächenkartierung von kompakter Moräne oder verfestigtem Konglomerat ($v_p = 2000 \text{ m s}^{-1}$ bis 3000 m s^{-1}) auf Grundgebirge ($v_p = 4000 \text{ m s}^{-1}$ bis über 5000 m s^{-1}) erfüllt wird. Im Allgemeinen lassen sich vier bis fünf Schichten mit der Refraktionsseismik unterscheiden. Der Nachteil dieser preiswerten geophysikalischen Methode liegt in einer eingeschränkten Auflösung von Schichtpaketen mit fließenden Geschwindigkeitsänderungen. Für die Auflösung geologischer Internstrukturen müssen die Schichtdicken mindestens einem Zehntel der eingebrachten Wellenlänge des künstlichen Erschütterungssignals entsprechen.

2.4. Reflexionsseismik

In der Reflexionsseismik sind die Grenzen der Schichten mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften Spiegeln vergleichbar, an denen die künstlichen Vibrationswellen zurückgeworfen werden. Somit lassen sich eine größere Anzahl von Schichten Punkt für Punkt abtasten. Das Aussondern der reflektierten Wellen (Nutzsignal) aus einer Unzahl anderer gestreuter, gebeugter, gebrochener und geführter Wellen (Störsignal, Hintergrundrauschen) ist ein komplexes Verfahren. Dieses wird mittels einer aufwendigen Nachbearbeitung, dem sog. Processing, gelöst. Damit geologische Einheiten getrennt wahrgenommen werden können, muss ein Unterschied in der Reflektivität vorliegen. Diese Parameter, in denen Gesteinsgeschwindigkeit und Dichte einfließen, müssen sich um $\approx 15\%$ unterscheiden. Bei den Kartierungen im oberen Drautal mussten z.B. zwölf verschiedene Processing-Schritte nacheinander angewandt werden, um die vorgestellten geologischen Modelle auszuarbeiten. Bei geeigneter Bearbeitung lassen sich nicht nur Geschwindigkeitsverteilungen, sondern auch Amplitudendifferenzen generieren, aus denen weitere In-situ-Information z.B. für die Hydrogeologie ableitbar ist. Trotz aufwendiger Nachbearbeitung kann die Reflexionsseismik nur dann zum gewünschten Ziel führen, wenn die seismischen Horizonte ident mit den lithologischen Grenzen sind.

2.5. Petrophysikalische Randbedingungen

Die Grundaufgabe der Geophysik ist die räumliche Kartierung bestimmbarer Gesteinsparameter (SCHÖN, 1995). Mittels komplexer Verknüpfungsbeziehungen – z.B. durch die gemeinsame Auswertung von Schweremessungen, geoelektrischer Sondierungen und seismischer Profile – schafft die angewandte Geophysik einen Brückenschlag zur geologischen Fragestellung. Die generelle Schwierigkeit für den Geophysiker liegt darin, dass die zu kartierenden geologischen Einheiten Mehrstoffsysteme sind, welche unter wechselnden Bedingungen abgelagert sind. Dadurch entstehen nicht nur makroskopische, sondern auch regionale Inhomogenitäten. Eine solche Varianz der physikalischen Gesteinsparameter spiegelt sich z.B. in den Tabellen T-01 bis T-02.

3. Vorhandene Arbeiten

3.1. Lienz

Im Mai 1990 wurde das Lienzer Becken zwischen Tratte im W und Lengberg im E sowie im N und im S jeweils bis zur Höhenkote 1900 m AN von SCHMID et al. (1990) gravimetrisch vermessen. Das Messgebiet überstrich $\approx 125 \text{ km}^2$. Der laterale Abstand zwischen den einzelnen Schwerestationen betrug 1,0 bis 1,5 km. Mit 170 Messpunkten konnte schließlich ein Kartenausschnitt von $9 \times 14 \text{ km}$ überdeckt werden. Die Vermessung erfolgte mit einem Gravimeter von LaCoste-Romberg, Modell G, was dem damaligen höchsten Stand der Technik entsprach. Der Fehler der Stationsschwere wurde mit kleiner $\pm 0,02 \text{ mGal}$ beschrieben. Als Bezug für die gesamte gravimetrische Kampagne wurde das Niveau bei +635,0 m AN gewählt. Das Erstziel dieser Kampagne war die Bestimmung der Mächtigkeit der quartären Sedimente im Becken. Zusätzlich sollte aber noch eine Vorstellung über interne Beckenstrukturen gewonnen werden. Die Messungen wurden so geplant, dass wesentliche Elemente der Trogstruktur (Steiflanken, Muldenachsen, Randbuchten) mit erfasst wurden. Seitens der Geophysik muss die Messung als hochwertig angesprochen werden.

Ergebnis: Um die theoretischen Schwerewerte des Anfangsmodells mit den gewonnenen Feldwerten anpassen zu können, musste ein spezifisch leichter Modellkörper im Bereich der Beckensohle modelliert werden. Ein solcher Körper wird als tektonisierte / myolisierte Zone angesprochen. Die maximale Quartärmächtigkeit beträgt nach einer zwei-dimensionalen Modellrechnung 380–520 m, bei einem wahrscheinlichsten Wert von 400 m unter Bezugsniveau. Die Autoren postulieren somit das Grundgebirgsniveau bei +273 m AN. Die angegebenen Tiefenangaben wurden mit einem Fehlerbalken von $\pm 15 \text{ m}$ ausgestattet.

3.2. Oberdrauburg

Die für das Drautal umfassendste geophysikalische Studie zur Modellierung des Taluntergrundes wurde vom Einzelauteur BRÜCKL (1999, 2001) vorgelegt. Das Untersuchungsgebiet umfasste das obere Drautal im Gebiet Oberdrauburg (jeweils 3,5 km flussaufwärts bzw. 8 km flussabwärts). Für die Studie wurden über 4000 Profilmeter 2D-Reflexionsseismik und 1150 gravimetrische Vorwärtspunkte (!) eingemessen. Der Fehler der gravimetrischen Daten wurde bei einem Höhenfehler von 0,02 m mit maximal $\pm 30 \mu\text{Gal}$ ausgewiesen. Entlang ausgewählter seismischer Profile wurde zur Eingrenzung der petrophysikalischen Parameter eine zusätzliche geoelektrische Untersuchung (insgesamt ca. 2000 m mit einem Elektrodenabstand von 12,0 m) vorgenommen. Die für die Modellierung eingesetzten petrophysikalischen Parameter sind als Tabelle T-02, entnommen aus nämlichem Endbericht, beigefügt.

Ergebnis: Im eigentlichen Becken von Oberdrauburg sind Grundgebirgsschwellen nachgewiesen worden, die sich bis 300 m unter GOK (entsprechend +400 m AN) aufwölben. Ausgehend vom seismischen und gravimetrischen Befund – hier: vom Liegenden zum Hangenden – wurde ein 4-Schichtfall generalisiert: Auf einer alten Talfüllung liegen Seetone auf, welche von jüngeren Deckenschottern überdeckt werden. Die jungen Deckenschotter sind teilweise durch rezente Schwemmfächer überdeckt. Als Endergebnis wurde eine maximale Tiefe des Grundgebirges bei 700 m unter GOK (entsprechend -100 m AN) postuliert.

3.3. Sachsenburg

In den Jahren 1988 bis 1992 wurden zur Aufhellung der hydrogeologischen Situation flussaufwärts von Sachsenburg (Ortschaften Kleblach, Lind, Lein, Steinfeld, Obergottesfeld) seismische und geoelektrische Vermessungen durchgeführt (JANSCHKEK, 1989, 1992; WEBER et al., 1987, 1989; SCHMÖLLER, 1988, 1990). Eine weitere Verwertung fanden die geophysikalischen Erkenntnisse in einem Schlussbericht von cf. NACHTNEBEL (1990).

Die von JANSCHKEK (1989) durchgeführten Vier-Punkt-Sondierungen wurden mit Einspeisungsspannung bis 360 Volt, einem Eintrittsstrom von ca. 30 mA, in Wenner-Konfiguration ausgeführt. Der maximale Elektrodenabstand betrug 133 m bzw. 300 m. Die Auswertung erfolgte – dem damaligen Stand der Wissenschaft folgend – mittels Modellkurven. Die Interpretation generalisierte den Untergrund als 1- bis 5-Schichtmodelle. Im Bereich Kleblach (ca. 7,0 km flussauf von Sachsenburg) liegen grundwasserhöfliche Kiese direkt unter der Verwitterungsschicht. Im Bereich Obergottesfeld (ca. 3,5 km flussauf von Sachsenburg) sind nämliche Kiese 60 m bis 100 m unter GOK angetroffen worden. Als erstes Ergebnis wurde festgehalten, dass das nördliche Drautal für eine Grundwassergewinnung nicht höflich genug ist. In der ersten geoelektrischen Kampagne wurde das Grundgebirge nicht erreicht. Vom selben Autor wurde 1992 eine zweite geoelektrische Kampagne implementiert. Dabei wurden mit 57 Tiefensondierungen vom Typus Schlumberger 2070 Profilmeter überdeckt. Dabei konnten die Erstergebnisse bestätigt werden. Die Schichtansprache der nachgewiesenen Widerstände ist im Anhang als Tabelle T-03 beigefügt. JANSCHKEK (1992) folgert, dass nur ein Teil der Talfüllung aufgrund der elektrischen Widerstände für die Grundwasserführung in Betracht kommt und detailliert ein Bildungsmodell für das Drautal: „... Man könnte zur Vorstellung gelangen, dass eine vorzeitliche Drau das mit niederohmigem (weitgehend undurchlässigem) Material ausgefüllte Drautal teilweise erodiert hat. Zu diesem Zeitpunkt könnte das Drautal so ausgesehen haben, wie das Lesachtal heute vorliegt. In der weiteren Folge wurde diese Tiefenrinne vorwiegend mit Kiesen, in Staulagen aber auch teilweise mit Feinsedimenten aufgefüllt. Diese Aussage bezieht sich etwa auf die obersten 50 bis 100 m. Es wäre aber vorstellbar, dass sich solche Vorgänge in der Vorgeschichte des Drautals öfter wiederholt haben und daher in der tiefen Talfüllung weitere so verschüttete Flussläufe vorhanden sind. ...“

Die ergänzenden seismischen Messungen von WEBER et al. (1987, 1989) und SCHMÖLLER et al. (1988, 1990) konnten ein abgerundetes Bild bezüglich der Teufenlage des kristallinen Untergrundes im oberen Drautal (zwischen Steinfeld und Sachsenburg) entwerfen. Die größten Teufen des kristallinen Reflektors wurden im Raum Lind (ca. 6,0 km stromauf von Sachsenburg) mit etwa 400 m unter GOK und im Steinfeld (ca. 14,2 km stromauf von Sachsenburg) mit ca. 500 m unter GOK kartiert. In Sachsenburg, leicht südlich der Bahnhofstabelle, wies die erste Refraktionsseismik, ausgeführt auf einem Talquerprofil, den kristallinen Refraktor in 120 m unter GOK nach. Der ermittelte Verlauf der Kristallinoberkante zeigt eine nach E abteufende Asymmetrie. Somit ergibt sich für die tiefste Grundgebirgslage ? westlich von Steinfeld etwa +150 m AN. Die nachgewiesene Grundgebirgsschwelle, W von Sachsenburg gelegen, wölbt sich bis auf 150 m unter GOK auf – somit ist die Hochlage des Kristallins bei +480 m AN anzusetzen.

3.4. Möllbrücke

Von WALACH (1975) wurde ein refraktionsseismisches Talquerprofil ungefähr 1,0 km SE von Möllbrücke mit einer Gesamtlänge von ca. 1,5 km gemessen. Die Ergebnisse wurden später von HEINZ (†) & WALACH (1979) gemeinsam publiziert. Aber nur im nördlichen Teil des Profils kann das Grundgebirge bis zu einer Teufe von ca. 100 m unter GOK (entsprechend

+470 m AN) verfolgt werden. Zum südlichen Talrand hin taucht das Grundgebirge in weit größere Tiefe ab. Die von JOCHUM et al. (2004) durchgeführten Bodenmessungen (Goelektrik, Transientenelektromagnetik) wurden zwar mit einer maximalen Explorationstiefe von 200 m angelegt, verfehlten aber an der S Talflanke ebenfalls das Grundgebirge.

3.5. Villach

Im Bereich des Villacher Beckens liegen drei Berichte vor: WEBER et al. (1989b,c) mit einer reflexionsseismischen Kampagne und SCHMÖLLER et al. (1991) sowie MEURERS et al. (1992), jeweils mit einer kombinierten Gravimetrie / Reflexionsseismik (24 Kanal-Anlage). Die beiden neueren Kampagnen bestechen durch eine hohe methodische Qualität. Ziel der Messung war 1. die Schätzung der sedimentären Beckenfüllung und 2. ein Nachweis einer strukturierten Grundgebirgsoberfläche.

MEURERS et al. (1992) legten das Bezugsniveau für die Restfeldansprache bei +400 m AN fest und generalisieren dann die geologische Realsituation zu einem geophysikalischen Zweischichtfall – Grundgebirge mit aufliegender neogener Beckenfüllung. Der Dichtekontrast wurde mit -250 kg m^{-3} angenommen. Mittels eines von GRANSER (1987) vorgestellten Inversionsalgorithmus konnte ein Tiefenmaximum östlich des Stadtgebietes von Villach nachgewiesen werden. Die Tiefe wurde mit 800 m unter Bezugsniveau herausmodelliert. Die langgestreckte, NW–SE-verlaufende Depression verflacht am Rand auf 200 bis 300 m unter Bezugsniveau. Im Raum von St. Jakob an der Drau (20,0 km NW von Villach) wurde ein weiteres Tiefenminimum mit 500 m (entsprechend -100 m AN) unter dem Bezugsniveau beschrieben. Durch Variationen des Eingangsparameters „Dichtekontrast“ auf -350 kg m^{-3} und schließlich auf -450 kg m^{-3} verringert sich die Teilbeckenteufe schließlich auf 710 m unter Bezugsniveau. Durch eine aus der mitgeführten Seismik ermittelten Tiefenfunktion der Dichte wird zusätzlich ein Modell mit einem Dichtekontrast von $-0,550 \text{ g cm}^{-3}$ vorgestellt. Dieses Modell zeigt eine maximale Tieferestreckung des Teilbeckens auf 500 m unter Bezugsniveau.

Aus der Gravimetrie würde sich somit eine Tiefenlage (je nach verwendeter Korrekturdichte) des Grundgebirges bei -100 AN bis -385 m AN ergeben.

Die ersten beiden reflexionsseismischen Vermessungen, MEURERS et al. (1992) und WEBER et al. (1989c), identifizieren unabhängig voneinander einen söhlichen Reflektor bei 600 msec. Dieser wird von WEBER et al. (1989c) mit einer Tiefenlage von 700 m unter GOK parallelisiert; das würde -200 m AN entsprechen.

SCHMÖLLER et al. (1991) setzt für die Reflexionsseismik bereits eine 48-kanalige Apparatur im Industriestandard (Sercel® 338) ein und kann bei 24-facher Überdeckung detaillierte Reflektoren im Untergrund bis 1000 m unter GOK auflösen. Die Geophysiker identifizieren im Villacher Becken einen jüngeren Sedimentationszyklus mit Mächtigkeiten zwischen 200 m und 500 m. Aus dem Schwerebild wird auf einen tiefen Haupttrog zwischen Gail und Drau gefolgert. Als Schlussfolgerung ergibt sich weiters, dass das Villacher Becken ein Einbruchsbecken sein muss, wobei die Randbrüche bzw. Randbruchsysteme wesentlichen Anteil an den steilen Flanken im W und NE haben dürften. Aus dem seismischen Befund wird im Liegenden ein älterer Sedimentationszyklus interpretiert, der bis zu 1000 m unter GOK reichen könnte – dies würde einer Tiefenlage von -500 m AN entsprechen.

3.6. Ferlach

Nördlich vom Ferlacher Stausee liegt der Höhenzug des Plöschenberg / Sattnitz. Dieser Höhenzug wurde erstmals mittels Refraktionsseismik und Goelektrik von GANGL (1974) auskartiert. Aufgabe dieser Kampagne war die Verfolgung der Kristallinoberkante bis zum N Draufer. Das Profil wurde – mit Unterbrechungen – vom E-Ufer des Rauschele Sees über den Plöschenberg, dann östlich an der Ortschaft Preliebl vorbei bis zur Drau geführt. Die Gesteins-

geschwindigkeit des Altkristallins wurde mit $v_p \approx 5800 \text{ m s}^{-1}$ erkannt. Geschwindigkeiten zwischen $v_p \approx 3000 \text{ m s}^{-1}$ und $v_p \approx 4000 \text{ m s}^{-1}$ wurden als Sattnitz-Konglomerate angesprochen. Dieser Geschwindigkeitsunterschied lässt eine genaue Verfolgung der Kristallinoberkante zu. Das Altkristallin wird vom Norden kommend als horizontal verlaufend interpretiert. Ein Abbruch zur Tiefe hin wird erst südlich des Plöschberges beobachtet; STEINHAUSER et al. (1980) schlossen später eine gravimetrische Überblickskartierung an.

Ungefähr 2,0 km E der von GANGL (1974) durchgeführten Refraktionsseismik wurden von FREUDENTHALER & KOSTIAL (2003) im Auftrag des Amtes der Kärntner Landesregierung im Rahmen der Bund/Bundesländerkooperation, mitfinanziert durch das BMBWK, weitere geophysikalische Messungen (Gravimetrie, Seismik) durchgeführt. Das längste Profil verläuft zwischen den Ortschaften Lambichl im Norden und Wegscheide im Süden. Das Ergebnis spricht im Nordteil des Messgebietes von einem kristallinen Untergrund, der an Störungen bis zur Oberfläche hochgeschleppt wurde. Im Süden des Messgebietes, d.h. ca. 1,3 km nördlich der Strommitte, kann aus der Reflexionsseismik ein als Grundgebirgsoberkante identifizierten Reflektor bei +200 m AN erkannt werden.

4. Aktuelle Kampagnen der GBA

Die Geologische Bundesanstalt führte in den Jahren 2003 (zwischen Dellach im Drautal im W und Spittal an der Drau im E) und 2004 (zwischen Spittal an der Drau im E und Villach im W) zwei vollständige, aerogeophysikalische Flächenvermessungen durch. Im Rahmen der Kalibrierung dieser Daten wurden 2003, 2004 und 2005 begleitende Bodenkampagnen in Sachsenburg, Möllbrücke und Spittal (Geelektrik, Transientenelektromagnetik) durchgeführt. Eine Auswertung der Daten – Quartärgeologie und der Gefahrenprävention (Massenbewegungen) – erfolgt bis Mai 2006. Die implementierten Messprogramme leisten keinen nennenswerten Beitrag zur vorgetragenen Diskussion der Grundgebirgslage.

5. Reinterpretation der Geophysikalischen Ergebnisse

Die vorhandenen Endberichte der Geophysik erlauben eine weiterführende Interpretation über die vorgestellten Ergebnisse hinaus: Für das Verständnis des Drautals ist nicht nur die Tiefe des Kristallins wichtig, sondern auch die der Seetonbedeckungen, die im unteren Drautal teilweise bis dicht an die Geländeoberfläche reichen. Im Modell werden die Ergebnisse der vorgestellten geophysikalischen Berichte unter Berücksichtigung der Daten zu den Seetonoberkanten reinterpretiert:

Lienz (SCHMID et al., 1990)

Um das reale Schwerebild stimmig zu gestalten, wird in der Endmodellierung von den Autoren in der Trogmitte eine Zone mit geringerer Dichte vorgeschlagen. Diese Zone wird durch Mylonitisierung erklärt. Als Modellparameter wird dabei ein Dichteunterschied von -200 kg m^{-3} zum Umliegenden angenommen. Dieser Bereich wäre u.U. auch als Seetonfüllung zu deuten. Die Hangendfläche dieser angenommenen Seetonfüllung würde dann bei +600 m AN liegen.

Oberdrauburg (BRÜCKL, 2001)

In den Schweresektionen wurde die Seetonoberkante bei +580 m AN ausgewiesen.

Sachsenburg (JANSCHKE, 1989, 1992)

Eine Korrelation des Internaufbaus aus den vorgestellten geoelektrischen Tiefensondierungen wurde vom Autor als erwartungsgemäß schwierig beurteilt. Widerstandsvariationen wurden als Faziesänderungen innerhalb eines Schichtgliedes angesprochen. Für eine Seetonoberkante findet sich kein eindeutiger Hinweis.

Möllbrücke (HEINZ & WALACH, 1979)

Die vorgestellte Auswertung bei der Refraktionsseismik erkennt die Oberkante der Seetone in der Talmitte bei ca. +480 m AN.

Villach (DOMBERGER et al., 2003)

Aus den vorliegenden geophysikalischen Arbeiten lässt sich kein Hinweis für die eindeutige Ansprache einer Seetonoberkante entnehmen. Die Tiefbohrung BI / 1981, mit Kopfpunkt bei Villach Warmbad Kote +520 m AN und einer Endteufe von 277 m unter GOK, kommt zur Gänze in triadischen Gesteinen zu liegen. Daraus ergibt sich kein Hinweis auf ein durchhörtes Quartär. In der Zusammenfassung zur Hydrologie Kärntens (cf. DOMBERGER et al., 2003), findet sich ein Verweis auf KAHLER (1983): „... Die teilweise Ausräumung durch die Gletschererosion während der Eiszeit bedingt auch eine mächtigere Talfüllung mit eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Moränen, Kiesen und Seeablagerungen. Diese Quartärsedimente sind über 100 m mächtig ...“ – eine Seetonoberkante innerhalb der ersten 100 m wird angenommen – dies würde +400 m AN entsprechen.

Ferlach (FREUDENTHALER & KOSTIAL, 2003)

Die seismische Signatur in den Seismogrammen lässt am südlichen Profilende einen Reflektor bei +450 m und 400 m AN erkennen; dieser könnte als Seetonoberkante angesprochen werden.

Die aus der Seismik, Geoelektrik und Gravimetrie hergeleiteten Schichtparameter (Kristallinoberkante, Seetonoberkante) wurden in Bezug zum Höhenmodell gesetzt und sind – alle bezogen auf Bezugshöhe Adria Null – in Abbildung A-01 dargestellt. Für das Kristallin wurden jeweils der Tiefpunkt aber auch die Hochpunkte der nachgewiesenen Grundgebirgsschwellen (Gebiet Oberdrauburg und Sachsenburg) eingetragen. Für eine Diskussion des Paläoreliefs (strichlierte Linie) wurden Tiefpunkte mit den beiden Hochpunkten der Gebirgsschwellen verbunden. Hierbei zeigt sich, dass im Talabschnitt zwischen Lienzer- und Villacher Becken lokal extreme Tieflagen des Grundgebirgsreliefs gegeben sind. Das Villacher Becken ist mit seiner Beckentiefe von ≈ 800 m unter GOK (cf. Gravimetrie MEURERS et al. [1992]) der tiefste Punkt im gesamten Grundgebirgsrelief der Drau. Stromab von Villach steigt das Grundgebirge wieder auf zur Oberfläche. Die Reliefübertiefungen im Bereich Sachsenburg und Oberdrauburg müssen als sehr lokale, „kurzwellige“ Erosionserscheinungen verstanden werden.

Entlang des gesamten Flussverlaufs lassen sich die Seetone in einer Tiefe von ≈ 100 m unterhalb der Geländeoberkante verfolgen.

6. Arbeitshypothese

Aus dem geophysikalischen Befund heraus soll folgende Arbeitshypothese für die spätere Genese des Drautals zur Diskussion gestellt werden:

Der Gail-Gletscher, wesentlich potenter in der Wasserführung als seine Nachbargletscher, hat den Abfluss der Ur-Drau blockiert. Entlang der aufgestauten Ur-Drau wurden zuerst die lokalen Kleinstbecken (die ähnlich einer Perlenkette aneinandergereiht, aber durch Schwellen räumlich voneinander getrennt sind) gefüllt. Die Schotterkörper in den lokalen Vertiefungen des Grundgebirges wurden zur Gänze von Zuflüssen der Drau angelegt. Später bildete sich entlang der Draufurche ein Ruhigwasserbereich mit einer Sedimentation von Seetonen aus. In die weichen Seetone hat sich die mäandrierende Ur-Drau bis zu 40 m tiefe Rinnen erodiert. Später sind die Rinnen schließlich mit rezemem Schotter überdeckt worden.

Im Bereich Klagenfurt & Lavanttal / Gmünd ragt das Kristallin teilweise bis an die Oberfläche auf. Deshalb kann in diesem Abschnitt kein übertieftes Tal erwartet werden. Ähnliche Verhältnisse könnten im nördlichen Teil des Stadtgebietes Villach vorliegen: Beim Kraftwerksbau wurde der Fels bereits in wenigen Metern Tiefe angetroffen.

7. Ausblick

Bereits WEBER et al. (1987) postulierten für eine operative Geophysik in den Alpentälern: „Erfahrungsgemäß ist es bei inneralpinen Tälern, die eine große Übertiefung aufweisen, nicht einfach, mittels Geophysik ein detailliertes Bild über die Untergrundverhältnisse zu erhalten ...“. Geoelektrische Messungen – methodisch bedingt – können die notwendige Eindringtiefe für eine Grundgebirgskartierung nicht erreichen. Selbige Aussage gilt für die Refraktionsseismik – auch hier greifen methodische Einschränkungen und es werden nur ungenügende Explorationsstiefen erreicht. Darum kann nur die Reflexionsseismik bzw. die Hybrid-Seismik (cf. FREI & KELLER, 2000), einen weiteren sinnvollen Beitrag zum Genesebild der Drau liefern. Damit wird eine Empfehlung von SCHMÖLLER et al. (1991) wiederholt.

Die vorliegenden Berichte wurden nur im Akzent einer Grundgebirgsansprache bearbeitet. Die Detailkartierung im Bereich Sachsenburg enthält wertvolle Hinweise auf Zusammensetzung quartärer Talfüllungen.

Der zukünftige Bearbeitungsschwerpunkt sollte die Auswertung der Daten betreffend die quartäre Talfüllung sein, wobei Bohrergebnisse aus Kraftwerksbau, Straßenbau und Bahnbau mit den geophysikalischen Modell vernetzt werden bzw. in Bereichen mit Kenntnislücken durch weiterführende geophysikalische Erkundungsprogramme das Raummodell verbessert wird. Dieses Raummodell sollte die Möglichkeit bieten, die Frage abzuklären, wo Tiefenwässer im Drautal zu erwarten sind.

8. Dank

Daten aus dem elektronischen Bohrarchiv und fachliche Impulse während mannigfaltiger Diskussionen wurden von Herrn Mag. rer. nat. Rudolf BERKA geliefert. Frau Mag.a rer. nat. Birgit JOCHUM leitete alle bodengeophysikalischen Geländearbeiten im Drautal. Die Archivarbeiten wurden von der Geophysikerin Mag.a rer. nat. Ulrike EBERHART unterstützt.

Die Autoren möchten sich bei den genannten Mitarbeitern der Geologischen Bundesanstalt Wien aufrichtig bedanken.

9. Literatur

9.1. Vorhandene Arbeiten Geophysik

- BRÜCKL, E. (1999): Geophysikalische Untersuchungen zur Hydrologie des oberen Drautals (Kärnten). – Zwischenbericht, Projekt KA 39/98, Institut für Geodäsie und Geophysik, TU-Wien, 1–10, 1 Abb.
- BRÜCKL, E. (2001): Geophysikalische Untersuchungen zur Hydrologie des oberen Drautals (Kärnten). – Endbericht, Projekt KA 39/98, Institut für Geodäsie und Geophysik, TU-Wien, 1–21, zahlr. Abb.
- DOMBERGER, G., POLTNIG, W. & STROBL, E. (2003): Erschließungspotential von Tiefengrundwasser in Kärnten. – Hydrogeologische Bewertung, Institut für Wasserressourcen-Management, Hydrogeologie und Geophysik, Joanneum, 1–25, zahlr. Beil., Graz.
- FREUDENTHALER, A. & KOSTIAL, D. (2003): Geophysikalische Untersuchungen Maria Rainer Senke, Technischer Bericht P5.315.06151.02.01, Verbundplan, Salzburg. – In: POLTNIG, W. (2003): Hydrogeologische Untersuchung der Sattnitzberge. Abschnitt Maria Rainer Senke (Einzugsgebiet Brunnenanlage Straschitz). KA 41/01, Zwischenbericht 2003, Joanneum Research, PR-MKH 14, 1–46, zahlr. Abb., Graz.
- GANGL, G. (1974): Bericht über refraktionsseismische Messungen (Plöschenberg – Drautal, Südkärnten) im Jahre 1973. – Der Karinthiner, 70, 79–86.
- HEINZ, H. & WALACH, G. (1979): Ergebnisse refraktionsseismischer Messungen im Gebiet des Lurnfeldes (Drautal, Oberkärnten). – Verh. Geol. B.-A., 2, 77–83.
- JANSCHKEK, H. (1989): Geoelektrische Tiefensondierungen / Oberes Drautal – Projekt KA-24C/F-88, Geoelektrische Tiefensondierung Linien Obergottesfeld & Kleblach I. – Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg, II/IV, Ferlach.
- JANSCHKEK, H. (1992): Geoelektrische Tiefensondierungen / Oberes Drautal. – Endbericht, Projekt KA-24C / F 91, Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg, IV/IV, Leoben.
- JOCHUM, B., RÖMER, A.G., ARNDT, R. & SUPER, R. (2004): Bodengeophysikalische Messung zur Unterstützung geologischer Kartierarbeiten sowie von hydrogeologisch- und rohstoffrelevanten Projekten. – Endbericht ÜLG 35, 1–129, Geol. B.-A., Wien
- MEURERS, B., ARIC, K., BRÜCKL, E. & STEINHAUSER, P. (1992): Geophysikalische Untersuchungen im Villacher Becken. – Geophysikalischer Forschungsbericht, 30, Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien, 1–36.
- SCHMID, C., POSCH, E. & WALACH, G. (1990): Gravimetrische Messungen im Lienzer Becken. – Endbericht, Joanneum, 1–7, 5 Beil., Leoben.
- SCHMÖLLER, R., SCHMID, C. & HARTMANN, G. (1988): Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg (Oberes Drautal). – Endbericht zum Projekt KA-24C, 9 S., 18 Abb., Joanneum, I/IV, Leoben.
- SCHMÖLLER, R., SCHMID, C. & HARTMANN, G. (1990): Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg (Oberes Drautal). – Endbericht zum Projekt KA-24C, 9 S., 18 Abb., Joanneum, III/IV, Leoben.
- SCHMÖLLER, R., WALACH, G., SCHMID, C., HEPBERGER, M., HARTMANN, G. & MORAWETZ, R. (1991): Geophysikalische Erkundung der tektonischen Verhältnisse des Baus des westlichen Villacher Beckens als Basis für die Suche nach Tiefengrundwässern. – Endbericht zum Projekt KA-36 F/89, Joanneum, Leoben.
- STEINHAUSER, P., SEIBERL, W., ZYCH, D. & RUESS, D. (1980): Bestimmung des Bouguer-Schwerefeldes der Karawanken und der Sattnitz. – Mitt. d. österr. Geologischen Gesellschaft, 71/72, 299–306, Wien.
- WALACH, G. (1975): Bericht über refraktionsseismische Messungen im Grundwassergebiet Lurnfeld. – Institut für Erdölgeologie & Angewandte Geophysik, Montanuniversität Leoben.
- WEBER, F., SCHMID, C. & HARTMANN, G. (1987): Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg (Oberes Drautal). – Endbericht zum Projekt KA-24C, Joanneum, Leoben.
- WEBER, F., SCHMID, C., MAYER, G., FRÜHWIRT, R. & HARTMANN, G. (1989a): Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg (Oberes Drautal). – Endbericht zum Projekt KA-24C/F89, Joanneum, II/IV, Leoben.

WEBER, F., SCHMID, C., MAYER, G., FRÜHWIRT, R. & HARTMANN, G. (1989c): Geophysikalische Erkundung der tektonischen Verhältnisse des Baus des westlichen Villacher Beckens als Basis für die Suche nach Tiefengrundwässern. – Endbericht Abstract [Kurzdarstellung vom 29.09.1989], Projekt KA-36 F/88, Geschäftszahl 30.262/2-23/88 [an das], Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung, Joanneum, Leoben.

WEBER, F., SCHMID, C., MAYER, G., FRÜHWIRT, R. & HARTMANN, G. (1989b): Geophysikalische Erkundung der tektonischen Verhältnisse des Baus des westlichen Villacher Beckens als Basis für die Suche nach Tiefengrundwässern. – Endbericht zum Projekt KA-36 F/88, Joanneum, I–II, Leoben.

9.2. Geologie

KAHLER, F. (1983): Beobachtungen und Probleme im Thermalgebiet von Warmbad Villach. – Neues aus Altvillach, Jahrbuch des Stadtmuseums, 20, 159–213, Villach.

NACHTNEBEL, H.P. (1993): Modellstudie Grundwasserhaushalt westlich Sachsenburg / Oberes Drautal. – Datenband, Universität für Bodenkultur, I–9, ca. 200 S. Datenmaterial, zahlr. Karten, Wien.

9.3. Allgemein

FREI, W. & KELLER, L. (2000): Hybride Seismik – eine verbesserte Methode zur Verwertung des Aussagepotentials seismischer Daten. – Bull. angew. Geol., 5/2, 229–236, Zürich.

GRANSER, H. (1987): Nonlinear Inversion of Gravity Data Using the Schmidt-Lichtenstein Approach Application of Three-Dimensional Interactive Modelling in Gravity and Magnetism. – Geophysics, 53, 1096–1108, Tulsa.

HOHL, R. (1980): Die Entwicklungsgeschichte der Erde. – Brockhaus Nachschlagewerk Geologie, I–704, Leipzig

KNÖDEL, K., KRUMMEL, H. & LANGE, G. (1997): Geophysik. – Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, 3, Springer, I–1063, Berlin.

McCANN, D.M., EDDLESTON, M., FENNING, P.J. & REEVES, G.M. [Hrsg.], 1997): Modern Geophysics in Engineering Geology. – Geological Society Engineering Geology Special Publication, 12, I–441

McDOWELL, P.W., BARKER, R.D., BUTCHER, A.P., CULSHAW, M.G., JACKSON, P.D., MCCANN, D.M., SKIPP, B.O., MATTHEWS, S.L. & ARTHUR, J.C.R. (2002): Geophysics in engineering investigations. – Ciria C2562, Geological Society Engineering Geology, Special Publication, 19, I–252, London.

SCHÖN, H.J. (1995): Physical Properties Of Rocks. – Handbook of Geophysical Exploration / Seismic Exploration, 18, Pergamon-Elsevier, I–583, Oxford.

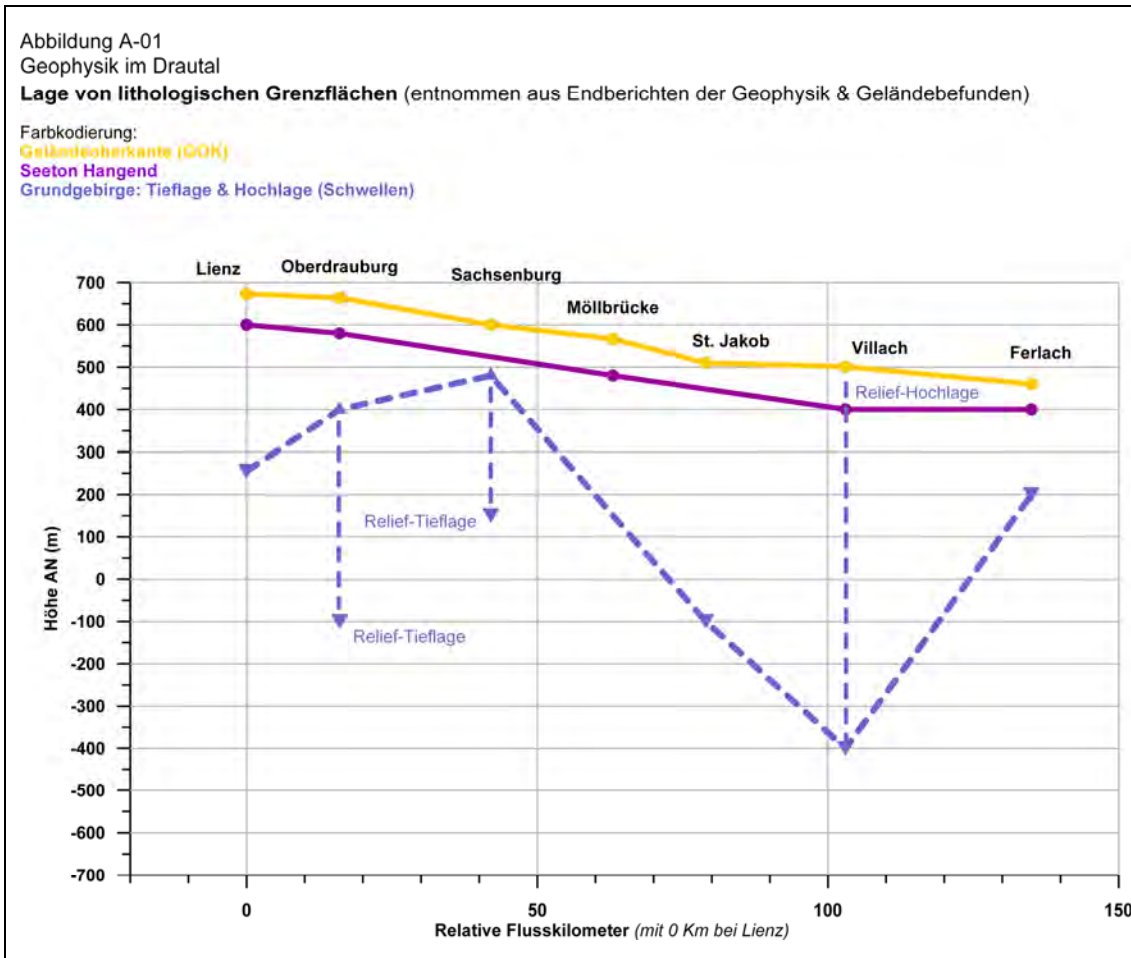


Abb. I: Geophysik im Drautal: Lage von lithologischen Grenzflächen

10. Tabellen

Tabelle T-01: Schichtenmodell Drautal
Seismische Geschwindigkeiten nach WEBER et al. (1989a)

Geologische Ansprache	v_p (m s ⁻¹)
Oberflächen-Verwitterung	586 ± 200
Übergangsschicht	1220 ± 350
Übergang zu Grundwassersedimenten	1620 ± 100
Sandige, schluffige Wechsellagerungen	1925 ± 117
Kristalliner Untergrund	4800 ± 400

Tabelle T-02: Schichtenmodell Drautal
Verschiedene geophysikalische Vermessungen nach BRÜCKL (2001)

Geologische Ansprache	v_p (m s ⁻¹)	σ (Ω m)	Dichte (kg m ⁻³)
Lockergestein über Grundwasser	500–1000	>1000	1800
Deckschotter unter Grundwasser	1800–2100	200–500	2130
Schwemmfächer unter Grundwasser	2300–2700	200–700	2300
Seeton	1750	<150	1900–2050
Alte Talfüllung	2500–2600		2240–2370
Felsuntergrund	4000		2670

Tabelle T-03: Schichtenmodell Drautal
Geoelektrische Vermessung nach JANSCHKEK (1992)

Geologische Ansprache	v_p (m s ⁻¹)	σ (Ω m)
Verwitterungsschicht		120 ± 9
Trockene Kiese, Sande		800 ± 300
Kiese, Sande, teilweise wasserführend		245 ± 85
Ton, Schluff		80 ± 14
Moräne		115 ± 20
Untere, grundwasserführende Kiese		270 ± 47
Fels- / Dichter Untergrund		500