

## **Potenziale aeroradiometrischer Messungen für Fragestellungen im Rahmen der Geologischen Landesaufnahme**

NILS TILCH\*, ALFRED GRUBER\*, EDMUND WINKLER\*, INGRID SCHATTAUER\* & KLAUS MOTSCHKA\*

\* Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. nils.tilch@geologie.ac.at;  
alfred.gruber@geologie.ac.at; edmund.winkler@geologie.ac.at; ingrid.schattauer@geologie.ac.at;  
klaus.motschka@geologie.ac.at

### **1. Einleitung**

Aeroradiometrische Methoden bieten die Möglichkeit, oberflächennahe Gesteinsvorkommen zu identifizieren, räumlich abzugrenzen und zu charakterisieren. Dies liegt darin begründet, dass die Radionuklide, die in den Mineralien der ausstreichenden Festgesteine und ihren Verwitterungsprodukten autochthoner, parautochthoner und allochthoner Genese vorkommen, in unterschiedlichen (unter Umständen gesteinstypischen) Konzentrationen enthalten sind. Daraus ergeben sich für Gebietsbearbeitungen im Rahmen der Geologischen Landesaufnahme äußerst interessante Sachverhalte. Diese können bereits in früheren, aber auch in späteren Bearbeitungsstadien von Manuskriptkarten sowohl den geologischen Kenntnisstand, als auch die strategische Ausrichtung der Feldkartierungen verbessern.

Aufgrund der generell vorhandenen messtechnischen Limitierungen aerogeophysikalischer Methoden können selbstverständlich keine derart detaillierten Informationen erzielt werden, wie sie mittels Geländekartierung möglich sind. Dennoch bieten solche Erkundungsmethoden die Möglichkeit, in recht kurzer Zeit einen Gebietsüberblick zu erhalten. Ferner können Informationen zu jenen Gebietsteilen erhalten werden, die für eine terrestrische Bearbeitung nur schwer bzw. nicht zugänglich sind und/oder mit naturbedingten Risiken für den Bearbeiter (z.B. aufgrund von Steinschlag) verbunden sind.

In diesem Artikel werden exemplarisch Ergebnisse präsentiert und zur Diskussion gestellt, die in den vergangenen Jahren mittels aeroradiometrischer Methoden in verschiedenen Gebieten Österreichs gewonnen wurden. Im Vordergrund stehen hierbei jene Anwendungsziele, die im Zusammenhang mit der Identifizierung und räumlichen Abgrenzung von lithologischen Locker- und Festgesteinsbereichen – und somit unter Umständen auch von geologischen Einheiten – stehen.

### **2. Aeroradiometrische Grundlagen**

Die flächendeckende Befliegung der Untersuchungsgebiete – bisher etwa 20 % des österreichischen Staatsgebietes – erfolgte mit Hubschraubern des Österreichischen Bundesheeres entlang von mehr oder weniger höhengleichen Flugbahnen.

Mittels eines in einem Hubschrauber montierten Gammastrahlenspektrometers (PICO ENVIROTEC GRS410, SLAPANSKY et al., 2017) wird die Gammastrahlung der primordialen bzw. natürlichen Radionuklide (Kalium-40, Thorium- und Uran-Zerfallsreihen) sowie des künstlichen Radionuklids Cäsium-137 (Spaltprodukt aus Kernreaktoren) der obersten 30 cm des Untergrundes gemessen.

Im Zuge der Datenprozessierung (MOTSCHKA, 2007) werden die aufgezeichneten Messwerte, die in Form von Zählraten vorliegen, entsprechend den von der IAEO (Internationale Atomenergie-Organisation) vorgeschlagenen Formeln in Elementgehalte umgerechnet (SLAPANSKY et al., 2017).

Eine Identifizierung und räumliche Abgrenzung von lithologischen Einheiten unterschiedlicher radiometrischer Signatur ist generell vom Auflösungsvermögen des verwendeten geophysikalischen Messverfahrens und der Messkonfiguration (Messpunktlage, Flugbahnabstand) abhängig. Deshalb muss eine zu identifizierende und räumlich abzugrenzende lithologische Einheit eine Mindestgröße bzw. Position aufweisen, die ein noch nutzbares Messsignal erzeugt, welches sich signifikant von den umgebenden Einheiten unterscheidet.

Mittels Aeroradiometrie werden außerdem keine „punktgenauen“ Ergebnisse erhalten: Mit einer konstanten Flughöhe des Messgerätes von 80 m über Grund wird pro Messpunkt eine Fläche mit

einem Radius von etwa 200 m erfasst (90 % der Gesamtstrahlung), wobei der Zentralbereich mit einem Radius von 80 m den wesentlichsten Beitrag zu den Zählraten liefert (50 % der Gesamtstrahlung). Entlang einer Fluglinie wird bei einer durchschnittlichen Fluggeschwindigkeit von 120 km/h über eine Strecke von ca. 35 m integriert (eine Messung pro Sekunde).

Im Folgenden werden ausschließlich jene Ergebnisse exemplarisch vorgestellt, die mittels der primordialen Radionuklide Kalium-40 und Thorium-232 erzielt wurden. Diese ermöglichten die Identifizierung und räumliche Abgrenzung von lithologischen Festgesteinseinheiten. Zusätzlich ergaben sich sehr interessante Informationen zur räumlich variablen dominanten Korngröße und Korngrößenverteilung (Kalium-40: Substrat-orientierter Parameter) sowie zu den relativen Silikat-/Karbonat-Anteilen und somit zur Lockergesteinsgenese (Thorium-232: Lithologie-orientierter Parameter) der oberflächennahen Lockergesteinsauflage.

### **3. Anwendungspotenziale radiometrischer Daten**

Im Folgenden werden Informations- und Anwendungspotenziale aeroradiometrischer Daten am Beispiel der Befliegungsgebiete „Vilsalptal“ im Außerfern (Bezirk Reutte) und „Schnepfau“ im Bregenzerwald (Bezirk Bregenz) vorgestellt.

#### **3.1. Identifizierung und räumliche Abgrenzung von lithologischen Festgesteinseinheiten**

Am Beispiel der Ergebnisse im Befliegungsgebiet Vilsalptal kann sehr gut das Potenzial aeroradiometrischer Daten hinsichtlich der Identifizierung und der räumlichen Abgrenzung lithologischer Festgesteinseinheiten aufgezeigt werden (Abb. 1): Die Lockergesteinsauflage im Ausstrichbereich des Hauptdolomits ist weitestgehend karbonatisch und vergleichsweise grobkörnig, sodass dort auch überwiegend geringe Werte für die radiometrischen Parameter Kalium-40 und Thorium-232 erhalten wurden. Im Vergleich dazu wurden im Bereich der mergelsteinreichen Kössen-Formation, die den Hauptdolomit überlagert, partiell moderate, im Fall der im Hangenden folgenden Allgäu-Formation mit reichlich Mergelstein- und Tonstein-Einschaltungen verbreitet relativ hohe Werte erreicht (Abb. 1, links).

Anhand von nachträglich durchgeführten Geländeerhebungen hat sich bestätigt, dass die Substrat- und Lithologie-Ansprache der Lockergesteine im Gelände sowie die angewandten Substrat- und Lithologie-Klassifikationen der radiometrischen Werte für Kalium-40 und Thorium-232 im Ausstrichbereich des Hauptdolomits und der Allgäu-Formation recht gut übereinstimmen. Durch solche Validierungen sowie gegebenenfalls durch nachträgliche Kalibrierungen der Klassifikationen der radiometrischen Werte lässt sich in weiterer Folge überprüfen, ob auch mittels aeroradiometrischer Werte eine realistische räumliche Abgrenzung der jeweiligen Formation möglich ist. Nachträgliche Kalibrierungen können durch Abgleich mit aufgeschlossenen Formationen, die anhand der Manuskriptkarte (unveröffentlichte geologische Manuskriptkarte 1:25.000, ÖK 114 Holzgau, Stand 2011) ableitbar sind, erfolgen. In Abbildung 1 (links) ist der in der Manuskriptkarte enthaltene Ausstrichbereich der Allgäu-Formation am Osthang des Kugelhorns (2.126 m) exemplarisch dargestellt. Die aeroradiometrischen Daten weisen auf einen vergleichbaren Formationsausstrich hin. Deutlich erkennbar ist mittels der aeroradiometrischen Daten auch, dass sich unterhalb der aufgeschlossenen Allgäu-Formation Lockergesteine mit vergleichbarer radiometrischer Signatur befinden. Geländeerhebungen haben ergeben, dass es sich hierbei vorwiegend um parautochthone Lockergesteine der hangaufwärts aufgeschlossenen Allgäu-Formation handelt.

Im Fall gut plausibilisierter und/oder validierter aeroradiometrischer Daten ist es darüber hinaus auch möglich, Festgesteinsausbisse zu identifizieren und räumlich abzugrenzen, zu denen vorher keine oder unzulängliche Informationen vorlagen (Abb. 1, rechts).

Solche Beispiele zeigen, dass sich Ausstrichbereiche einzelner Formationen sehr gut mit aeroradiometrischen Daten identifizieren und räumlich abgrenzen lassen, sofern die Ausstrichbereiche hinreichend groß sind und sich die radiometrischen Signaturen des (par)autochthonen Hangschutts benachbarter Festgesteinsausstriche hinreichend voneinander unterscheiden. Aufgrund der messtechnischen Limitierungen ersetzen solche Erkundungsmethoden aber keine geologischen Feldkartierungen.

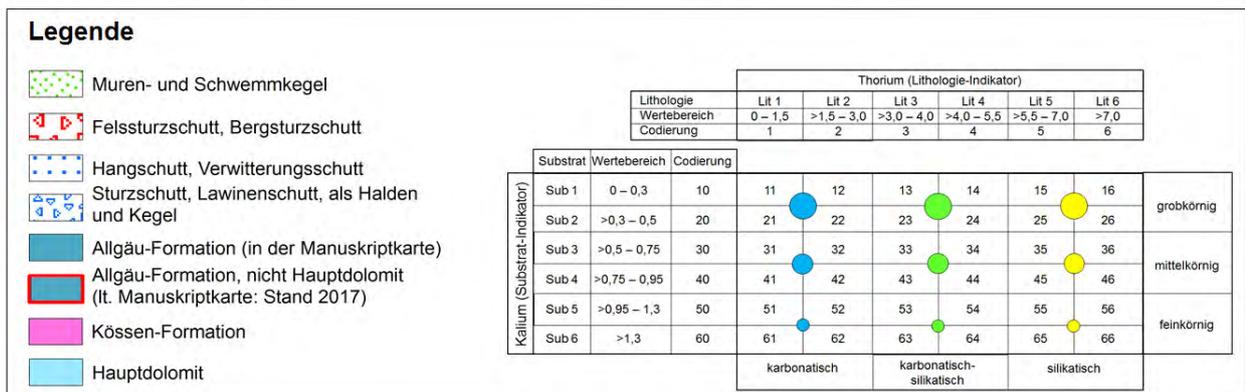
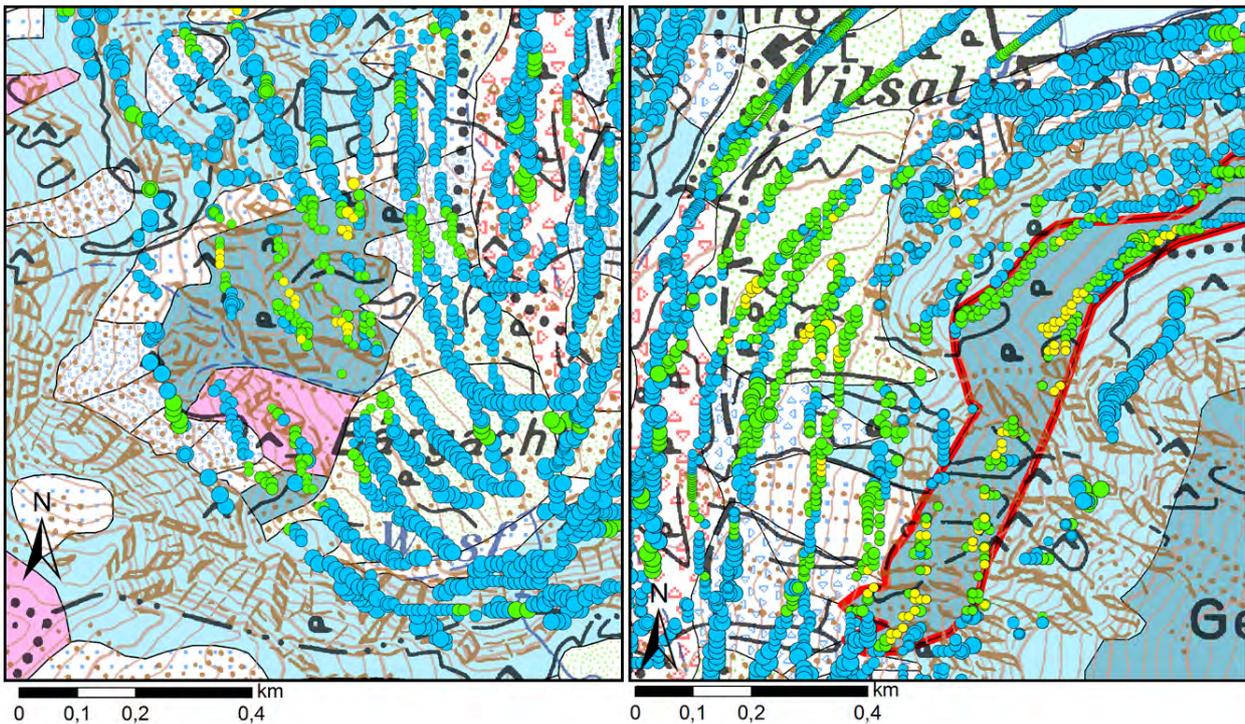


Abb. 1: Ausschnitte der digitalen Manuskriptkarte (unveröffentlichte geologische Manuskriptkarte 1:25.000, ÖK 114 Holzgau, Stand 2011) und die klassifizierten aeroradiometrischen Messwerte für Kalium-40 und Thorium-232 im hinteren Vilsalptal. Am Osthang des Kugelhorns (links) stimmen beide Datengrundlagen hinsichtlich der Identifizierung und räumlichen Abgrenzung der Allgäu-Formation gut überein (Datenkalibrierungsbereich). Am Westhang der Geierköpfe (rechts) wurde mittels der aeroradiometrischen Daten ein Ausstrichbereich der Allgäu-Formation identifiziert, der nicht in der Manuskriptkarte enthalten ist. Darstellungsgrundlagen: Arbeitskarte der ÖK50, © BEV.

### 3.2. Identifizierung und räumliche Abgrenzung von Lockergesteinsarten

Für verschiedene anwendungsorientierte Fragestellungen sind gebietsweite und flächendetaillierte Substrat-Konzeptkarten eine wichtige Datenbasis, da in Abhängigkeit von der Substratart bzw. Substratklasse hydro(geo)logische und geotechnische Substrateigenschaften abgeleitet werden können (z.B. hydraulische Durchlässigkeit, Winkel der inneren Reibung). Diese können in weiterer Folge als Parameterkarten in Modellrechnungen einfließen (TILCH et al., 2011).

#### Erstellung von Substrat-Konzeptkarten

In den vergangenen 15 Jahren wurde seitens der Geologischen Bundesanstalt (GBA) eine Methode entwickelt, mittels derer anhand von allgemein verfügbaren Geodaten (u.a. geologische Karte, Geländemodell) eine heuristische (wissensbasierte) Ableitung von Substrat-Konzeptkarten hinsichtlich der Beschaffenheit der Lockergesteinsauflage (par)autochthoner Genese möglich ist. Dies erfolgte vor dem Hintergrund, dass für verschiedene anwendungsorientierte Fragestellungen flächendeckende Daten zur Lockergesteinsauflage benötigt wurden, aber mittels vorhandener allgemein verfügbarer Daten und Karten diesbezüglich nur partielle und oder lithofazielle Informationen (geologische Karte, Bodenkarte) vorlagen. Im Verlauf der Jahre wurde

die seitens der GBA entwickelte Methode aufgrund unterschiedlicher Fragestellungen in Gebieten verschiedener Beschaffenheit und Landschaftsgenese fortwährend getestet und weiterentwickelt (u.a. TILCH et al., 2008, 2011).

Zunächst erfolgte die Ableitung solcher Substrat-Konzeptkarten unter Berücksichtigung der für ein Gebiet jeweils vorhandenen genauesten geologischen Karte. Zwecks Unterscheidung von im Feld kartierten Lockergesteinskarten werden solche Karten als „Konzeptkarten“ bezeichnet. Die Anwendung dieser Methode ist auf jene Gebiete beschränkt, in denen Lockergesteine allochthoner Genese (z.B. fluviatile Sedimente, Löss, Moräne) nicht oder nur sehr untergeordnet vorkommen.

Im weiteren Verlauf der Methodenentwicklung wurden auch aeroradiometrische Daten einbezogen, da diese unabhängig von der Lockergesteinsgenese flächendeckende und mehr oder weniger flächendetaillierte Informationen zur Beschaffenheit der Lockergesteinsauflage liefern.

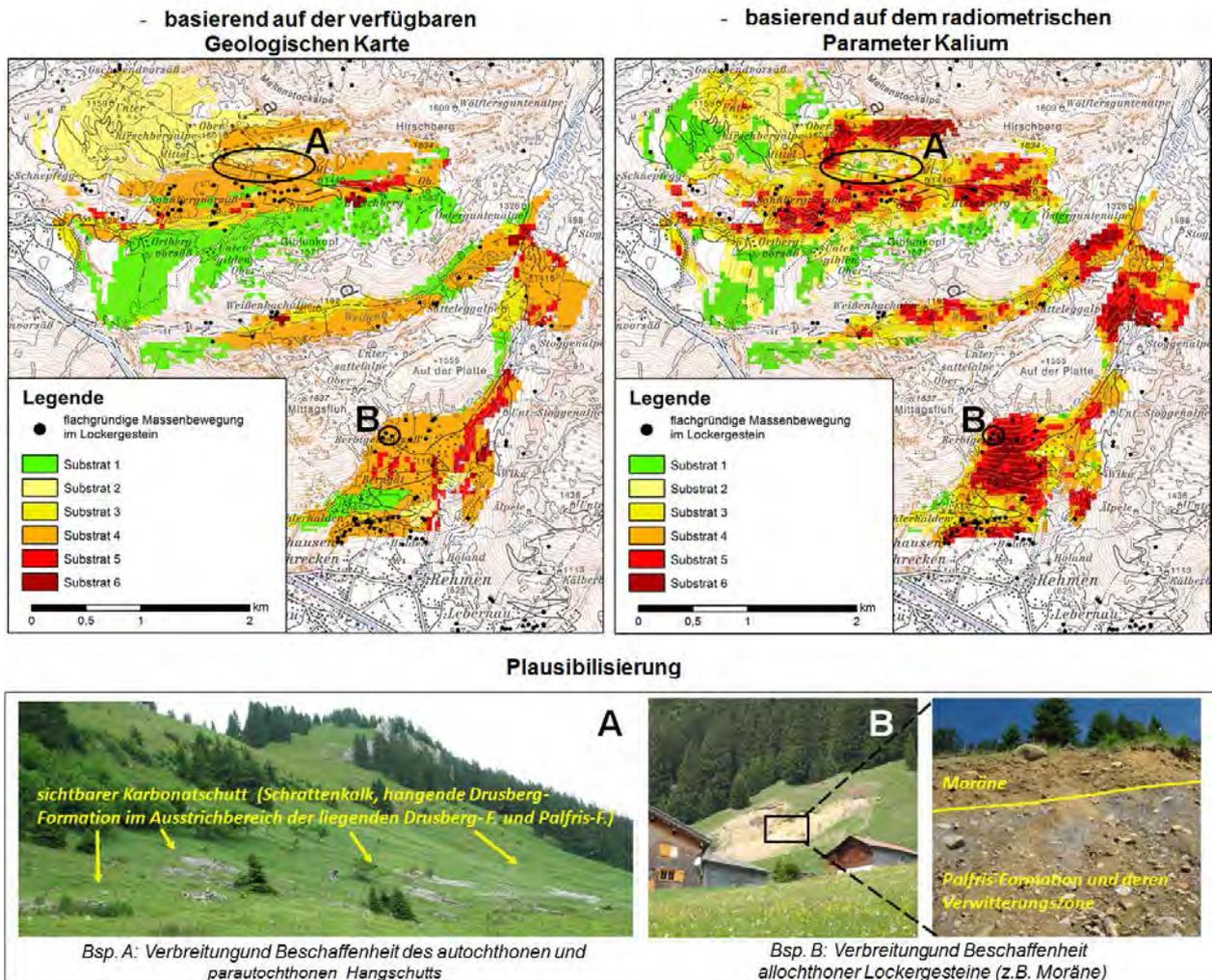


Abb. 2: Substrat-Konzeptkarten des Untersuchungsgebietes Schnepfau, basierend auf der verfügbaren geologischen Karte, Blatt 112 Bezau (MOSER, 2010) im Maßstab 1:50.000 (oben links) und dem radiometrischen Parameter Kalium-40 (oben rechts) sowie deren Plausibilisierung mittels Geländebefunden in den Teilbereichen A und B. Erläuterung der Substratklassen: 1: skelettgestützt, +/- matrixfrei; 2: skelettgestützt, schluffige Matrix; 3: skelettgestützt, Matrix: schluffiger Sand; 4: matrixgestützt, sandiger Schluff; 5: matrixgestützt, Schluff bis toniger Schluff; 6: matrixgestützt, schluffiger Ton bis Ton. Darstellungsgrundlagen: Arbeitskarte der ÖK50, © BEV.

Eine Plausibilisierung und/oder Kalibrierung der abgeleiteten Substratklassen der Substrat-Konzeptkarten – unabhängig davon, welche Basisdaten verwendet wurden – erfolgt anhand von Geländeinformationen und Geländedaten (TILCH et al., 2018). Sind diese nicht verfügbar, handelt es sich um eine nicht-plausibilisierte bzw. nicht-validierte Substrat-Konzeptkarte. Während auf Basis der geologischen Karte (Abb. 2, links) direkt eine gebietsweite und flächendetaillierte,

rasterbasierte Substrat-Konzeptkarte abgeleitet werden kann, ist auf Basis der aeroradiometrischen Daten (Punktdaten) eine Dateninterpolation unter Verwendung geeigneter Algorithmen erforderlich (Abb. 2, rechts).

### **Substrat-Konzeptkarten am Beispiel des Gebietes „Schnepfau“ im Bregenzerwald**

Für das Untersuchungsgebiet wurden basierend auf der verfügbaren geologischen Karte (Blatt 112 Bezau; MOSER, 2010) und den Daten des aeroradiometrischen Parameters Kalium-40 gebietsweite und flächendifferenzierte, rasterbasierte Substrat-Konzeptkarten erstellt (Abb. 2). Mittels beider Karten werden Bereiche unterschiedlicher Lockergesteinsarten mit unterschiedlichen geotechnischen und hydrologischen Eigenschaften und Kennwerten flächendeckend identifiziert und räumlich abgegrenzt. Dies erfolgte auch für die im Gebiet weit verbreiteten, aber in der geologischen Karte nicht detailliert ausgewiesenen

- parautochthonen Hangsedimente (Bsp. A) und
- allochthonen Fernmoränen (Bsp. B).

Die Interpretation der stratigrafisch-lithofaziellen Festgesteins- und Lockergesteinseinheiten der geologischen Karte in Bereiche vergleichbarer/unterschiedlicher Substratklassen (Abb. 2, Karte links oben) führt zu relativ großflächigen lithologischen Homogenbereichen. Hingegen können mittels Kalium-40 auch kleinräumige lithologische Heterogenitäten der Lockergesteinsauflage wesentlich realistischer erfasst werden (Abb. 2, Karte rechts oben). So kann beispielsweise die räumlich variabel beschaffene Lockergesteinsauflage, welche partiell durch größeren parautochthonen Sturzschutt der darüber liegenden Felsschrofen geprägt oder durchsetzt ist, besser erfasst werden (Abb. 2, Teilbereich A). Ebenso können allochthone Lockergesteinskörper gut identifiziert und räumlich abgegrenzt werden, wenn diese im Vergleich zu den (par)autochthonen Lockergesteinen durch eine signifikante Materialanomalie gekennzeichnet sind. Voraussetzung hierfür ist, dass die Materialanomalie Relevanz für die radiometrischen Parameter Kalium-40 und Thorium-232 hat. Jedenfalls lassen sich so im Untersuchungsgebiet die Moränenbereiche vielerorts räumlich gut abgrenzen, da diese zahlreiche allochthone glimmerreiche Sandsteingeschiebe enthalten (Abb. 2, Teilbereich B), was sich zusätzlich auch in deutlich erhöhten Thoriumwerten äußert.

## **4. Weiterführende Anwendungspotenziale**

Basierend auf den aus aeroradiometrischen Daten generierten Substrat-Konzeptkarten ergeben sich folgende weiterführende Anwendungspotenziale:

- Auf der Basis von nicht interpolierten aeroradiometrischen Daten (Punktdaten) lassen sich unter Umständen Indizien zur flachgründigen Beschaffenheit von Lockergesteinsvorkommen (z.B. Schwemm- und Schuttkegel) für baurohstoffgeologische Fragestellungen ableiten. So hat sich beispielsweise im Fall des Untersuchungsgebietes Vilsalptal ergeben, dass die dort zahlreich vorhandenen Lockergesteinsvorkommen unterschiedlicher autochthoner und parautochthoner Genese aufgrund ihrer unterschiedlich beschaffenen Liefergebiete und Umlagerungsprozesse recht unterschiedliche radiometrische Signaturen hervorrufen (Abb. 3). Auf Basis der im Feld plausibilisierten und gut validierten Klassifikation der radiometrischen Messwerte in Substrat-Klassen – und in weiterer Folge in Substratgruppen-Klassen – war es möglich, die in lithofazieller Hinsicht kartierten und in der Manuskriptkarte dargestellten Lockergesteinsvorkommen recht gut hinsichtlich der dominierenden Lithologie und Substrate zu kategorisieren (Abb. 4)
- In dem die Substrat-Klassen zu Substrat-Gruppen vergleichbarer/unterschiedlicher geotechnischer Eigenschaften zusammengefasst werden, wird eine Geologie-orientierte Grunddispositionskarte erhalten, die als Parameterkarte im Rahmen der Modellierung von Dispositionskarten (= Gefahrenhinweiskarten) für flachgründige gravitative Massenbewegungen im Lockergestein (Lockergesteinsrutschungen/-Gleitungen, Hangmuren) verwendet werden kann. Im Fall des Untersuchungsgebietes Schnepfau hat sich ergeben, dass dadurch realitätsnähere Dispositionskarten erstellbar sind (TILCH et al., 2018).

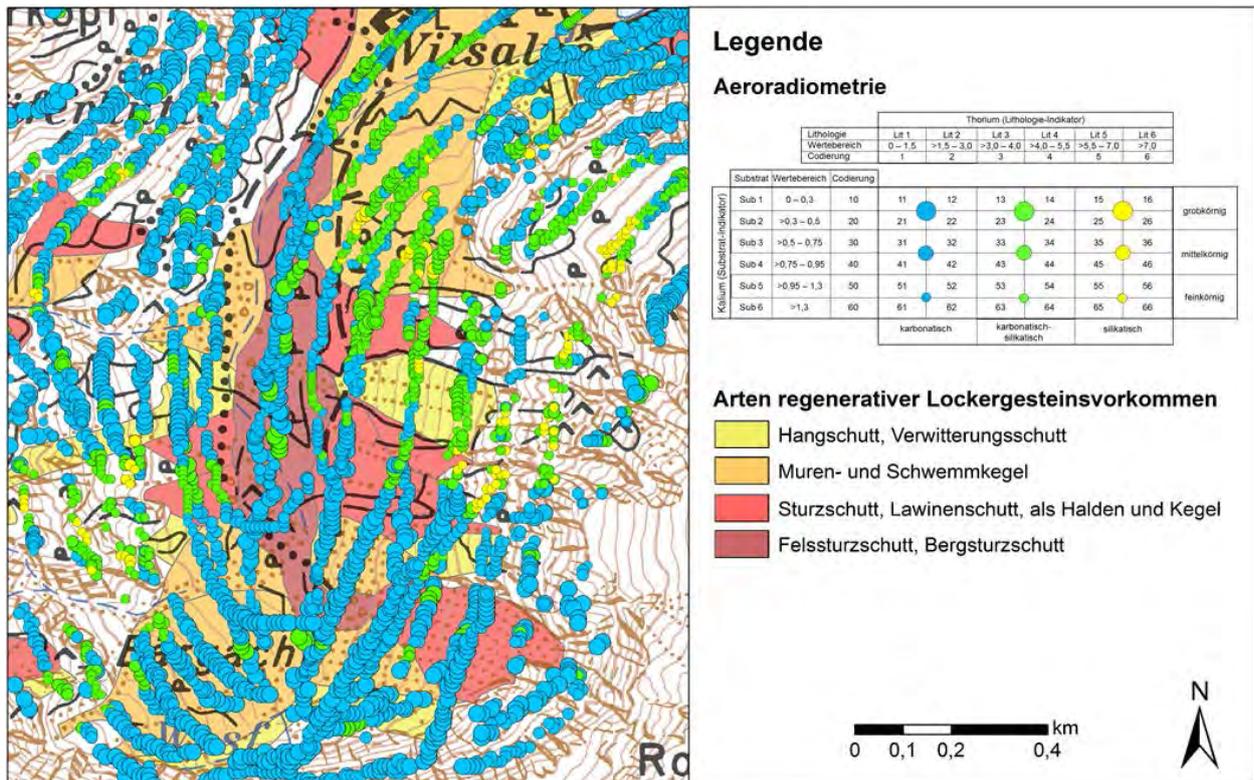


Abb. 3: Ausschnitt der digitalen Manuskriptkarte (Stand 2017) des hinteren Vilsalptales mit Informationen zu den Lockergesteinsvorkommen unterschiedlicher autochthoner und parautochthoner Genese sowie die zu Lithologie- und Substrat-Klassen/-Gruppen klassifizierten aeroradiometrischen Messwerte für Kalium-40 und Thorium-232. Darstellungsgrundlagen: Arbeitskarte der ÖK50, © BEV.

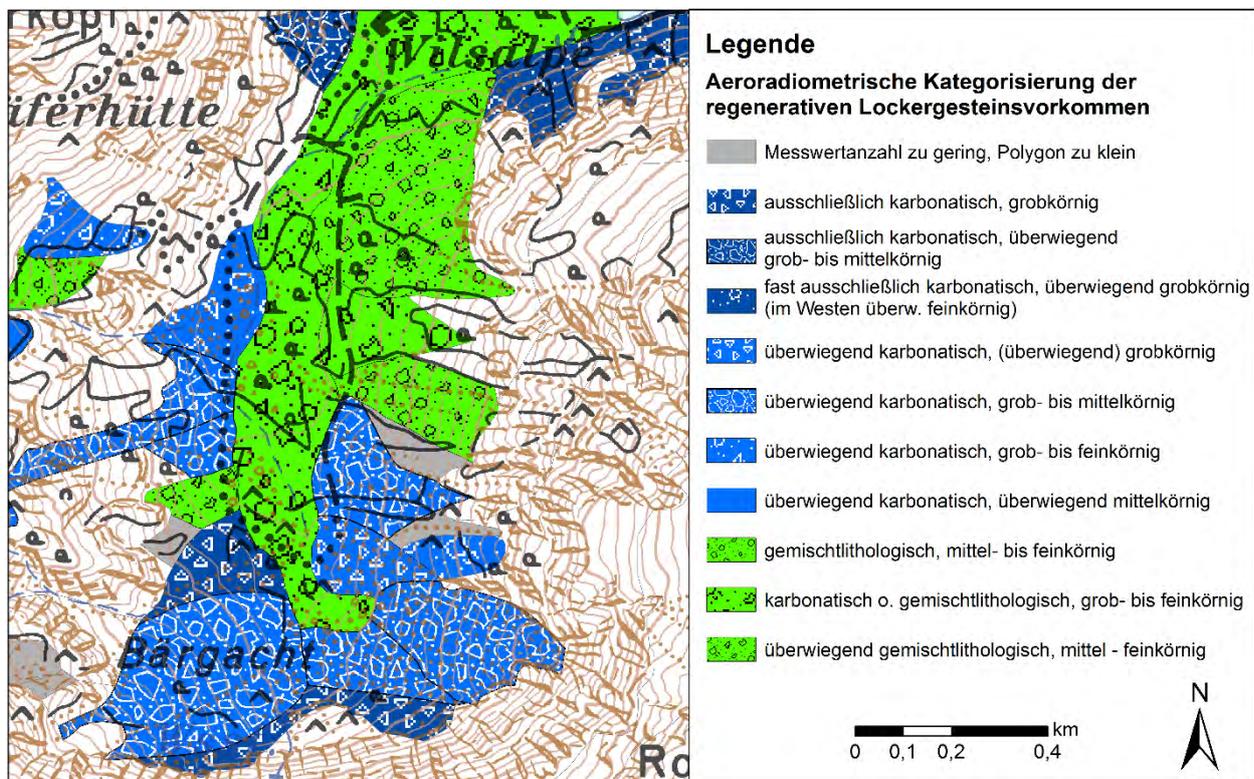


Abb. 4: Polygone der Lockergesteinsvorkommen unterschiedlicher autochthoner und parautochthoner Genese der digitalen Manuskriptkarte (Stand 2017) des hinteren Vilsalptales, kategorisiert auf Basis der erhaltenen Werte für Kalium-40 und Thorium-232 (vgl. Abb. 3). Darstellungsgrundlagen: Arbeitskarte der ÖK50, © BEV.

## 5. Schlussfolgerungen

Über die beschriebenen Fallstudien hinausgehend hat sich am Beispiel weiterer Befliegungsgebiete bestätigt, dass sich bei entsprechender Auswertung und Interpretation der aeroradiometrischen Daten Anwendungspotenziale ergeben, die eine effiziente geologische Landesaufnahme sinnvoll unterstützen können. Dies liegt insbesondere in den ableitbaren Indizien und Informationen zur Existenz und oberflächennahen Verbreitung lithologischer Fest- und Lockergesteinseinheiten sowie in der räumlich variablen Beschaffenheit der oberflächennahen Lockergesteinsauflage begründet. Insbesondere im Zuge früherer Bearbeitungsstadien im Rahmen von Kartierungsprojekten – aber auch später – können durch eine zielführende, sachdienliche Datenauswertung und Dateninterpretation wertvolle Zusatzinformationen gewonnen werden, die zu einem vollständigeren geologischen Kenntnistand und Verständnis beitragen.

Aufgrund der vielversprechenden bisherigen Ergebnisse sollen zukünftig vor gleichem Hintergrund weitere Untersuchungen in anderen Befliegungsgebieten durchgeführt werden.

## Literatur

- MOSER, M. (2010): Geofast – Provisorische Geologische Karte 1:50.000 nach einem Manuskript von W. Zacher, Blatt 112 Bezau. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MOTSCHKA, K. (2007): Gammastrahlenspektroskopie in Österreich. – In: HOFMANN, T. & SCHÖNLAUB, H.-P. (Eds.): Geo-Atlas Österreich – Die Vielfalt des geologischen Untergrundes, 102–103, Wien.
- SLAPANSKY, P., MOTSCHKA, K., BIEBER, G., AHL, A., WINKLER, E., SCHATTAUER, I. & PAPP, E. (2017): Aero-geophysikalische Vermessung im Bereich Wörgl (Tirol). – Endbericht, ÜLG-20/12c & 13c, ÜLG-28/14b & 15b, Geologische Bundesanstalt, Wien. [https://www.geologie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/dokumente/pdf/projekte\\_wiener\\_zeitung/2017/UELG\\_20\\_28\\_2012\\_2015.pdf](https://www.geologie.ac.at/fileadmin/user_upload/dokumente/pdf/projekte_wiener_zeitung/2017/UELG_20_28_2012_2015.pdf)
- TILCH, N., MELZNER, S., JANDA, C. & KOÇIU, A. (2008): GIS-basierte Raumgliederungs- und Regionalisierungsverfahren zur Erstellung von Substrat-Konzeptkarten und Prozessgrunddispositionskarten. – Unveröffentlichter Endbericht (Teil 3) des Projektes Naturgefahrenmanagement BUWELA – Bucklige Welt-Wechseland, 115 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- TILCH, N., SCHWARZ, L., HAGEN, K., AUST, G., FROMM, R., HERZBERGER, E., KLEBINDER, K., PERZL, F., PROSKE, H., BAUER, C., KORNBERGER, B., KLEB, U., PISTOTNIK, G. & HAIDEN, T. (2011): Modelling of Landslide Susceptibility and affected Areas – Process-specific Validation of Databases, Methods and Results for the Communities of Gasen and Haslau (AdaptSlide). – Endbericht des Projektes ADAPTSIDE im Rahmen des EU-Projektes ADAPTALP, 20 S., Wien–Graz–Innsbruck. [http://bfw.ac.at/050/pdf/ASlide\\_Endbericht\\_fin\\_201110119.pdf](http://bfw.ac.at/050/pdf/ASlide_Endbericht_fin_201110119.pdf)
- TILCH, N., SCHWARZ, L., KOÇIU, A., WINKLER, E. & MOTSCHKA, K. (2018): Potentiale aero-geophysikalischer Daten hinsichtlich der Modellierung von realitätsnäheren Dispositionskarten für flachgründige Massenbewegungen – eine Fallstudie im Bregenzerwald (Vorarlberg, Österreich). – Tagungsband zum 20. Geoforum Umhausen, 240–245, Niederthai. <http://www.geoforum-umhausen.at>