

## **Erdfall Bürserberg (2016): Lokalisierung von Stellen mit potenzieller Dolineneinsturzgefährdung mit seismischen Verfahren**

Walter Frei

*GeoExpert AG, Tannenstrasse 93, CH-8424 Embrach, w.frei@geoexpert.ch*

### **Abstract**

A major sinkhole collapse completely destroyed a three story building in October 2016 at the locality of Matin in the western Austrian Federal State of Vorarlberg. The geologic setting is affected by the typical pre-Alpine tectonic complexity of the Helvetic nappes. The objectives of a hybrid seismic survey commissioned by the local authorities were to map the depth of the limestone bedrock known to be interspersed with gypsum layers. The seismic survey of seven seismic transects with a total length of some 3'100 m also was expected to detect gypsum bodies, which, due to eluviation leaching processes, are feared to pose a potential threat to the stability of the subsurface at prospective building sites.

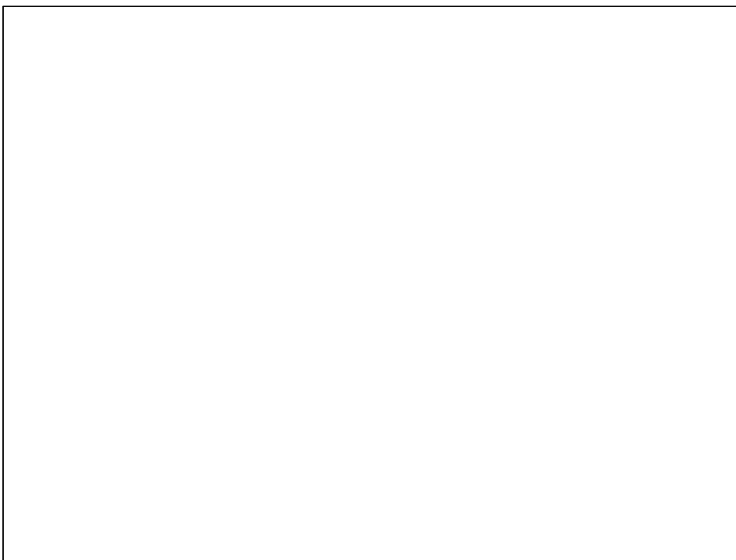
The high resolution refraction tomography and reflection seismic sections reveal structural features typically associated to the sinkhole collapse causing the destruction of the house, but also to possibly on-going gypsum leaching processes at various other locations. Recommendations for pre-emptive geophysical surveys are given for potential real-estate promoters in the area investigated.

### **1. Geologische Situation im Erdfallgebiet**

Im Gebiet der Gemeinde Bürserberg (Vorarlberg) belegen aufgrund der Geländemorphologie mehrere Dolineneinstürze die bekannte Gipsauslaugungsproblematik im Dorfteil Matin (s. Abb. 1).

Ein Erdfall im Oktober 2016 führte zu einem Totalschaden an einem grösseren Wohnhaus (s. Abb. 2), das abgebrochen werden musste.

In einer beim Erdfall durchgeführten 116 m tiefen Sondierbohrung (KB1) wurde ab einer Tiefe von 63 m neben Sand, Kies, Schluff und Ton auch Gips angetroffen.



**Abb. 1:** Untersuchungsgebiet im Dorfteil Matin der Gemeinde Bürserberg

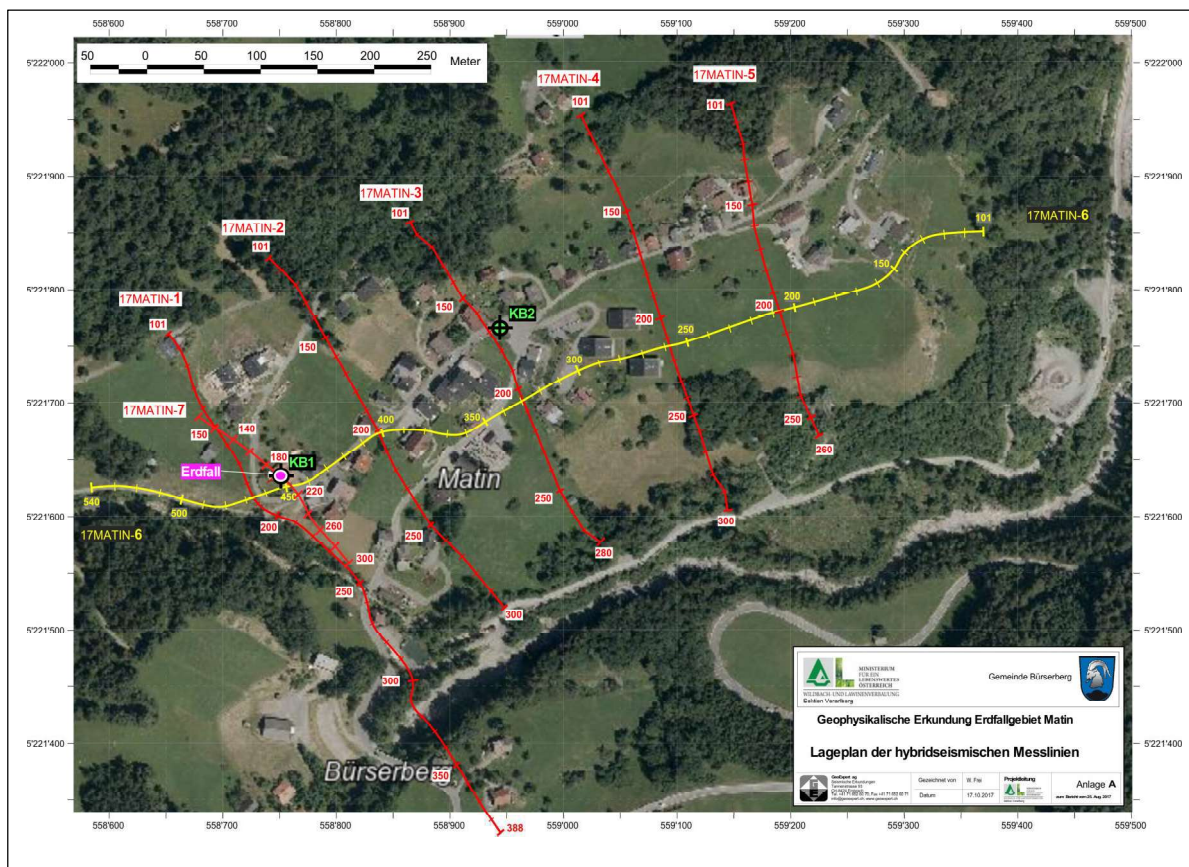


**Abb. 2:** Die Folgen des Erdalles waren Risse in sämtlichen Räumlichkeiten des Hauses, das abgebrochen werden musste.

Im August 2017 gab die Abteilung Wildbach- und Lawinverbauungen des Ministeriums für ein lebenswertes Österreich, Sektion Vorarlberg eine hybridseismische Erkundung in Auftrag. Die Messziele der Untersuchung im Umfang von sieben Messlinien von insgesamt 3'130 m Länge (s. **Abb. 3** Lageplan der seismischen Profile) waren die flächendeckende Bestimmung der Tiefenlage der Felsoberfläche sowie deren Gesteinsbeschaffenheit (Grad der Verwitterung/Auslaugung) und die Kartierung der Strukturen in der unmittelbaren Umgebung des Erdfalls. Nach Möglichkeit sollten auch charakteristische Strukturen identifiziert werden, die auf im Ablauf befindliche Dolinenbildungen, d.h. auf ein Erdfall-Gefährdungspotenzial, hinweisen können.

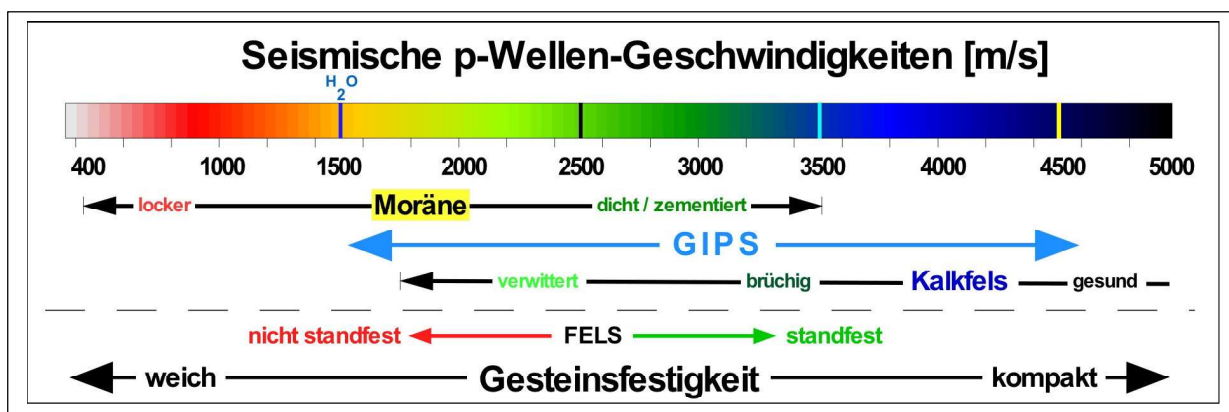
## **2 Zur seismischen Abbildung komplexer Untergrundstrukturen und die Identifizierung lithologischer Schichtgrenzen**

Kompakte und zementierte Quartärablagerungen, wie Grundmoränen älterer Eiszeiten, weisen häufig eine höhere Gesteinsfestigkeit, und somit höhere seismische Geschwindigkeiten auf, als darunter liegender stark verwitterter und tektonisierter Kalkfels. Die lithologische Grenzfläche einer angewitterten Felsoberkante mit Lockergesteinseigenschaften ist deshalb seismisch nur annäherungsweise kartierbar.



**Abb. 3** Lageplan der seismischen Profile mit bezeichneter Stelle des Erdfalls und der Bohrung KB1 sowie der im Anschluss der seismischen Erkundung abgeteufte Bohrung KB2 auf dem Profil 3.

Die Iso-Geschwindigkeits-Konturlinie von **2'500 m/s** kann als Richtwert sowohl für den Verlauf und die Tiefenlage einer stark aufgelockerten Felsoberfläche einerseits und andererseits als auch als dichter gelagerte, verfestigte und standfeste Quartärablagerungen interpretiert werden (s. **Abb. 4**).



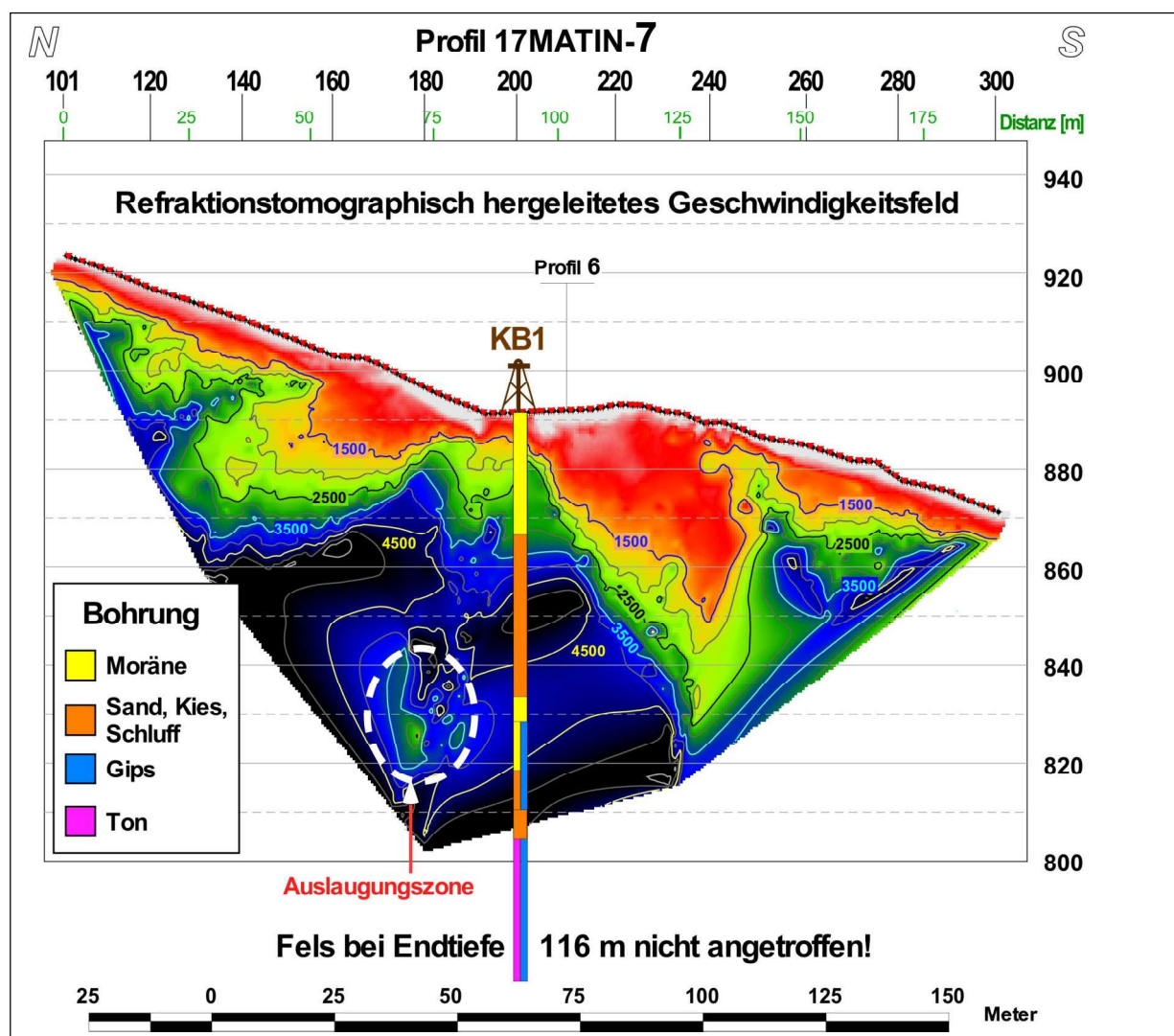
**Abb. 4** Farbkodierung der seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet

Die Werte für die seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten in Gipsformationen betragen je nach Grad der Auslaugung zwischen 1'500 m/s für stark ausgelagtes Gestein und 4'600 m/s für ungestörten Gips.



Gaziale Ablagerungen weisen eine gleichermassen große Bandbreite von Geschwindigkeiten auf. Sie reichen von weniger als 800 m/s für locker gelagerte Kiese und Ton, und bis 3'500 m/s für hart gelagertes und zementiertes Grundmoränenmaterial (s. **Abb. 4**). Wegen der sich gegenseitig überlappenden Bandbreiten der seismischen Geschwindigkeiten verschiedener Lithologien fehlt das seismische Unterscheidungsmerkmal, d.h. der Geschwindigkeitskontrast an Formationsgrenzen, zur Identifizierung der Grenze von Gips sowohl zum Quartär wie auch zum Kalkfels-Wirtgestein.

Eine detailgenaue seismische Abbildung von Gipsablagerungen unter komplexen glazialen Ablagerungsstrukturen, wie auch von Wechsellagerungen im tiefer liegenden Fels des Grundgebirges, ist mit geophysikalischen Verfahren im Lichte des kleinräumig stark tektonisierten Untersuchungsgebiets praktisch unmöglich.

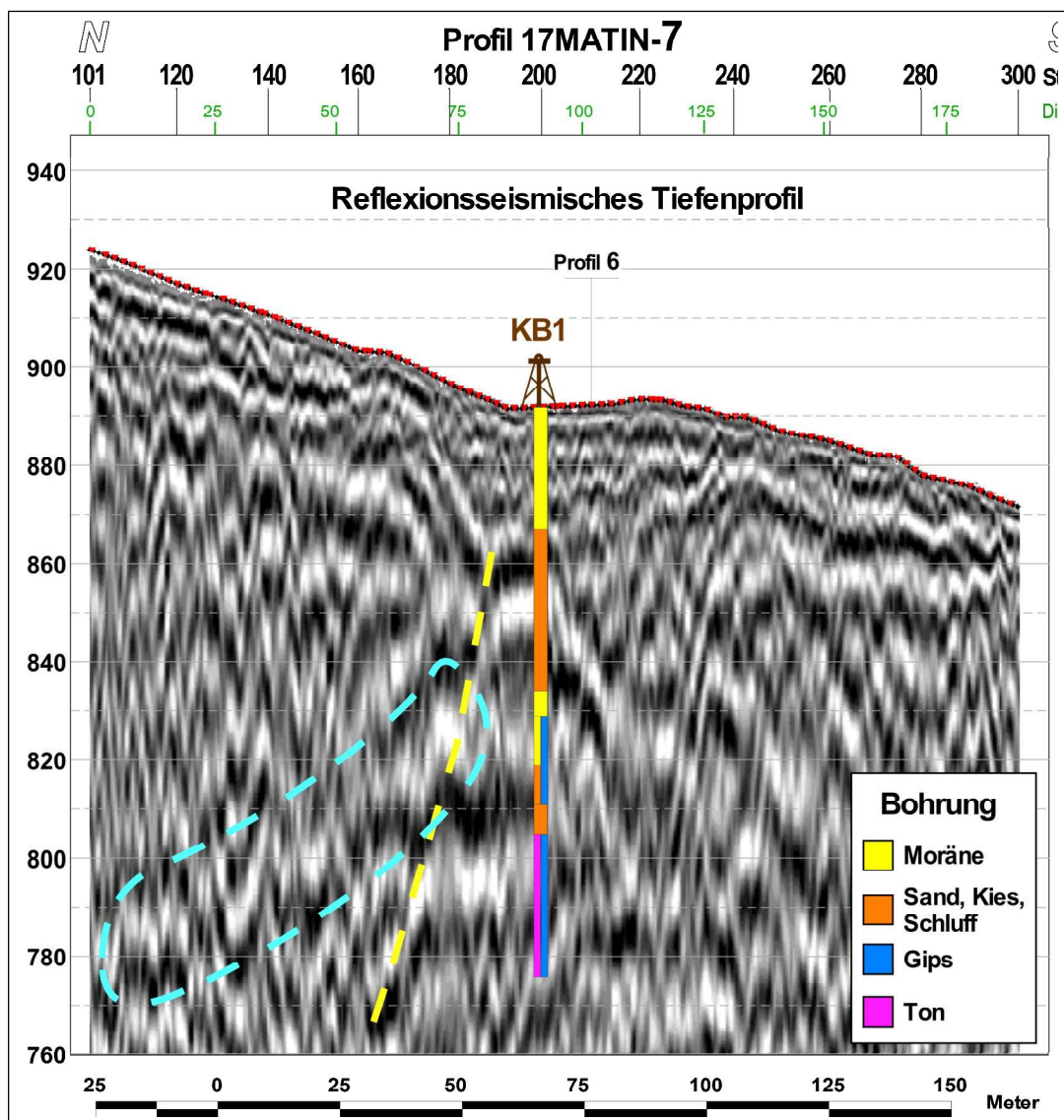


**Abb. 5** Seismisches Geschwindigkeitsfeld vom Profil 17MATIN-7 analytisch, d.h. ohne iterative Modellierung abgeleitet. Wird oft verwendet als Initialmodell für weiterführende iterative Modellierungsverfahren. In Anbetracht der komplexen geologischen Verhältnisse hier sind letztere ungeeignet.

**Vorteile** des analytischen Initialmodells: Besseres Auflösungsvermögen bis in Tiefen von 40 m und grössere Erkundungstiefe

**Nachteile:** Zu hohe Geschwindigkeitswerte in grösseren Tiefen > 40 m.

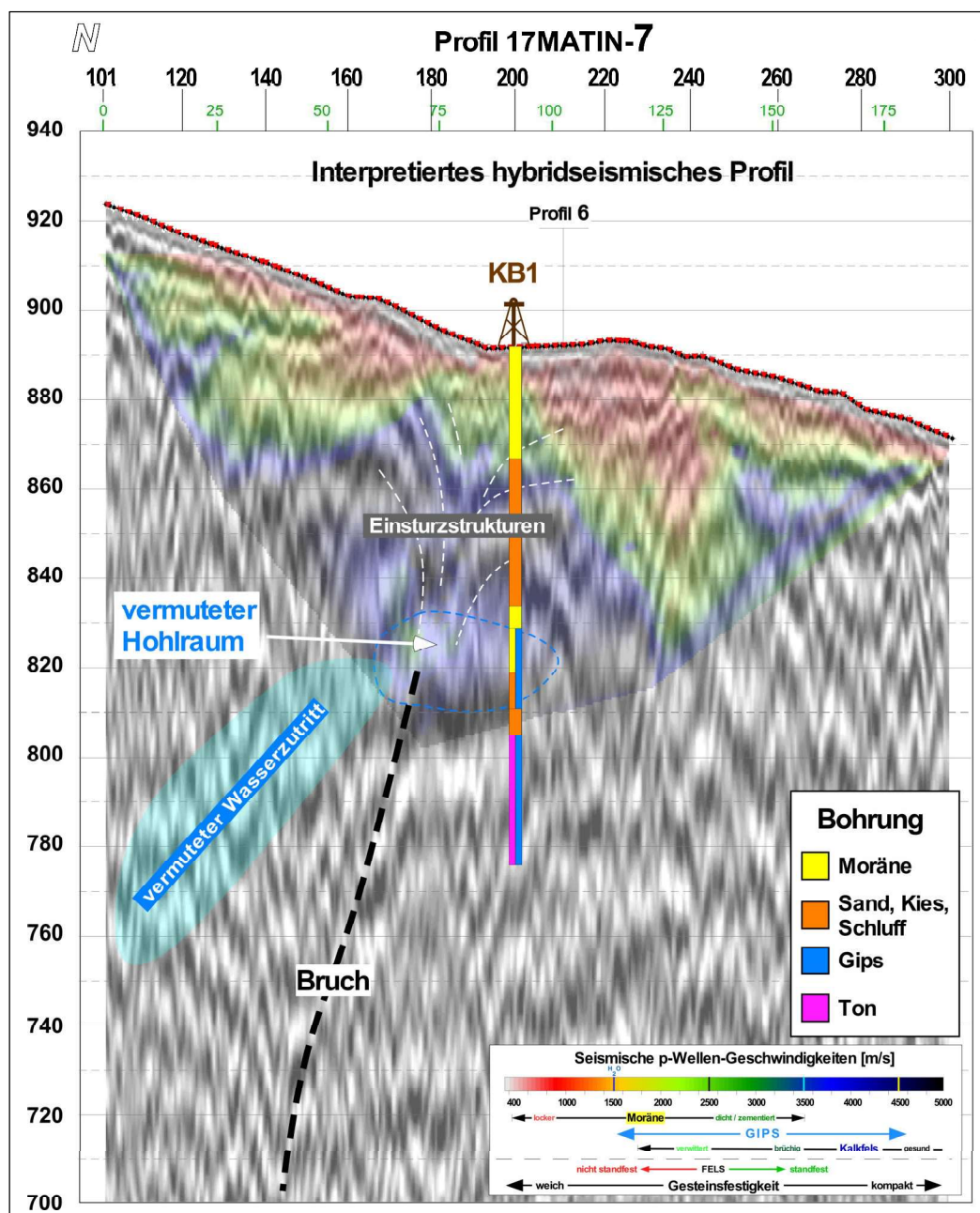
Die komplexe Geologie widerspiegelt sich sowohl im Bohrprofil und im Geschwindigkeitsfeld der **Abb. 5** wie auch in den Strukturen des reflexionsseismischen Profils in **Abb. 6**.



**Abb. 6** Reflexionsseismisches Profil mit Hinweisen auf einen Bruch (gelb markiert) und eine wasserführende Struktur blau umrandeter Bereich.

In **Abb. 7** lassen sich in der hybridseismischen Abbildung die Hinweise, die in Verbindung zum Erdfall stehen, wie folgt zusammenfassen:

- Ein stark aufgelockerter Bereich oder Hohlraum, ist als Geschwindigkeitsanomalie im refraktionstomographischen Geschwindigkeitsfeld der **Abb. 5** erkennbar,
- Hinweise auf tektonisch vorgezeichnete Strukturen, die eine Wasserzufuhr zur Auslaugungszone begünstigen, sind reflexionsseismisch in **Abb. 6** dokumentiert.
- Reflexionsseismische Schlotbildungs- und Einsturzstrukturen oberhalb einer Auslaugungszone.

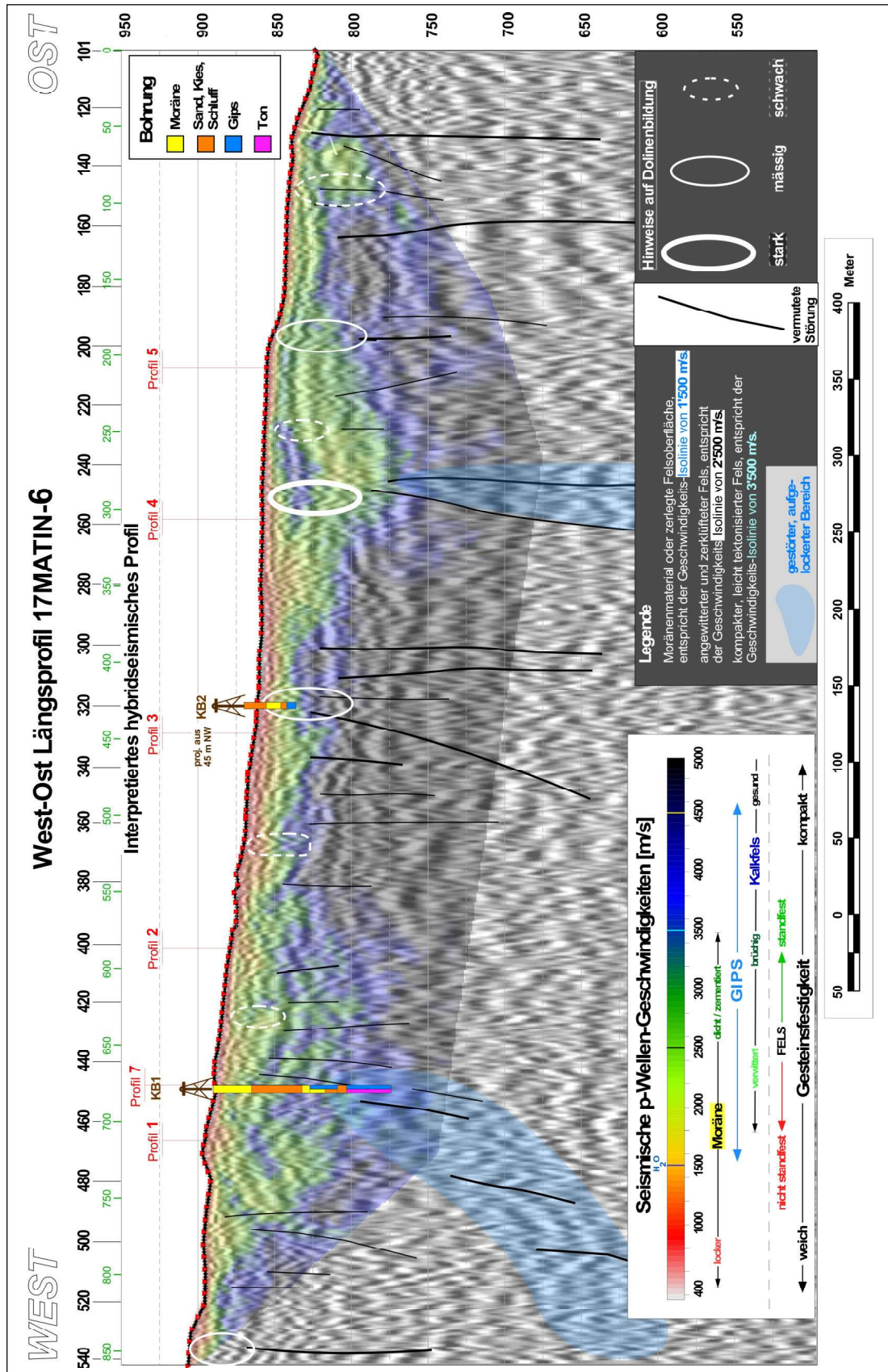


**Abb. 7** Hybridseismisches Profil N° 7 mit Hinweisen auf den Erdfall: a) stark aufgelockerte Zone (**Abb. 5**) und b) postulierte Wasserzutritte via Bruch und durchlässige Formation (**Abb. 6**), sowie Schoteinsturzstrukturen

**Abb. 8** vermittelt entlang des West-Ost Längsprofils 17MATIN-6 den ungefähren Verlauf der Felsoberkante und deren Eintiefungen. Diese sind entweder mit glazialen Ablagerungen oder mit Auslaugungs- oder Verwitterungsprodukten unterschiedlicher Konsistenz gefüllt.

Das Bohrprofil der im Anschluss an die seismische Erkundung abgeteufte Bohrung KB2 nahe dem Schnittpunkt der Profile 17MATIN-6 und 617MATIN-3 ist in den **Abb. 8** und **9** eingetragen. Gipshaltiger Fels wurde in einer Tiefe von 28 m angetroffen.





**Abb. 8** Interpretierter hybridseismischer Längsschnitt mit Bohrprofilen KB1 und KB2 und postulierten Hinweisen auf mögliche Erdfallgefährdungen (weiss markierte Stellen).

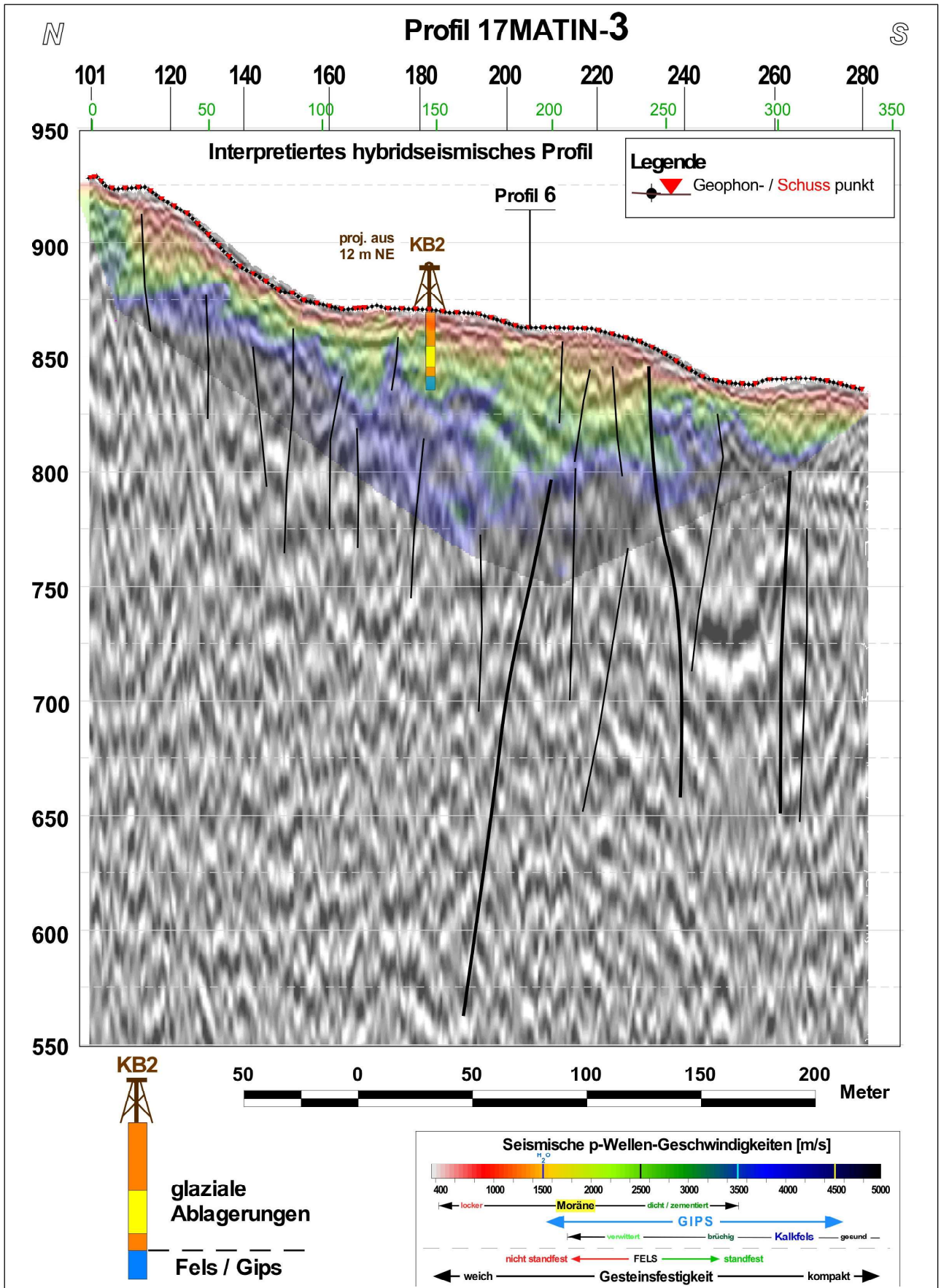
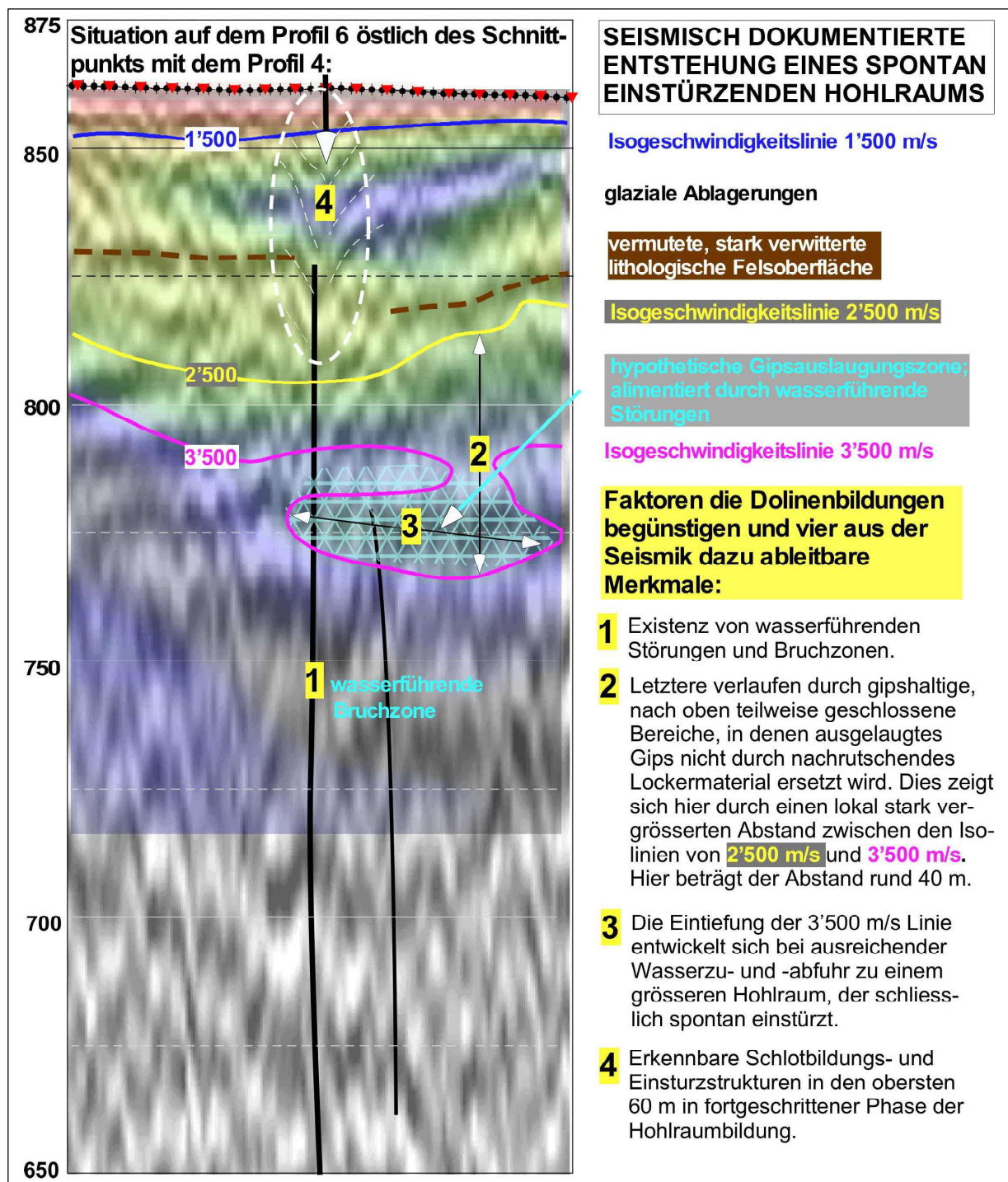


Abb. 9 Mit der Bohrung KB2 erbohrte Felstiefe bei 28 m auf dem Profil 3. Die seismische Ausbreitungsgeschwindigkeit des Felsgesteins am Bohrstandort beträgt hier ca. 3'000 m/s.



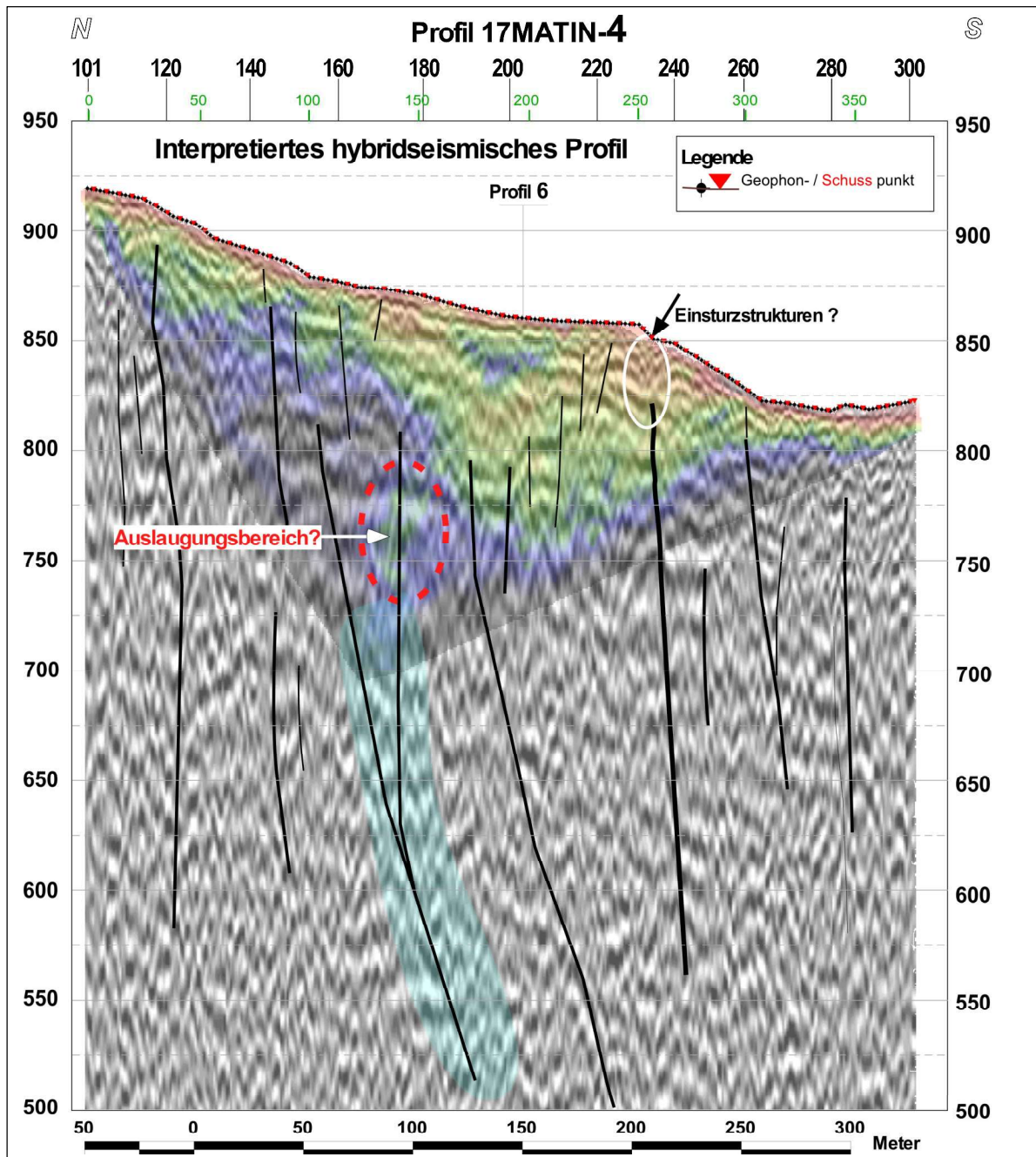
### 3 Seismisch dokumentierbare Faktoren sich bildender Hohlräume durch Gipsauslaugung



**Abb. 10** Graphische Zusammenfassung der hybridseismischen Merkmale, die auf Auslaugungsprozesse mit nachfolgender Dolinenbildung hinweisen. Die hier abgebildete Musterdarstellung entspricht der vergrößert dargestellten Situation bei Station 250 auf dem Profil 6 der **Abb. 8**

Die in **Abb. 10** oben dargestellten vier seismischen Merkmale sind in ihrer Gesamtheit als **Warnungshinweis** auf eine Erdfallgefährdung auf dem Längsprofil N° 6 bei der Station 250 zu verstehen. Die gleichen Merkmale sind auch beim spontan erfolgten Erdfallereignis, wie in den **Abb. 5 bis 7**

beschrieben, zu beobachten. Zu beachten ist, dass auf dem **Profil 3** der **Abb. 9** praktisch keines dieser Merkmale vorhanden ist, obwohl in der Bohrung KB2 gipshaltiger Fels angetroffen wurde. Eine spontane grössere Einsturzgefährdung ist bei hier an der Felsoberfläche vorhandenen Gipsvorkommen deshalb nicht zu erwarten. Bei Gipsauslaugungsprozessen an der Felsoberfläche bilden sich keine Hohlräume, weil ausgelaugter und weggeschwemmter Gips laufend durch sich setzende glaziale Ablagerungen ersetzt wird. An der Erdoberfläche ist höchstens mit langsam ablaufenden Setzungserscheinungen und nicht mit größeren spontan **aufretenden** Erdfällen zu rechnen.

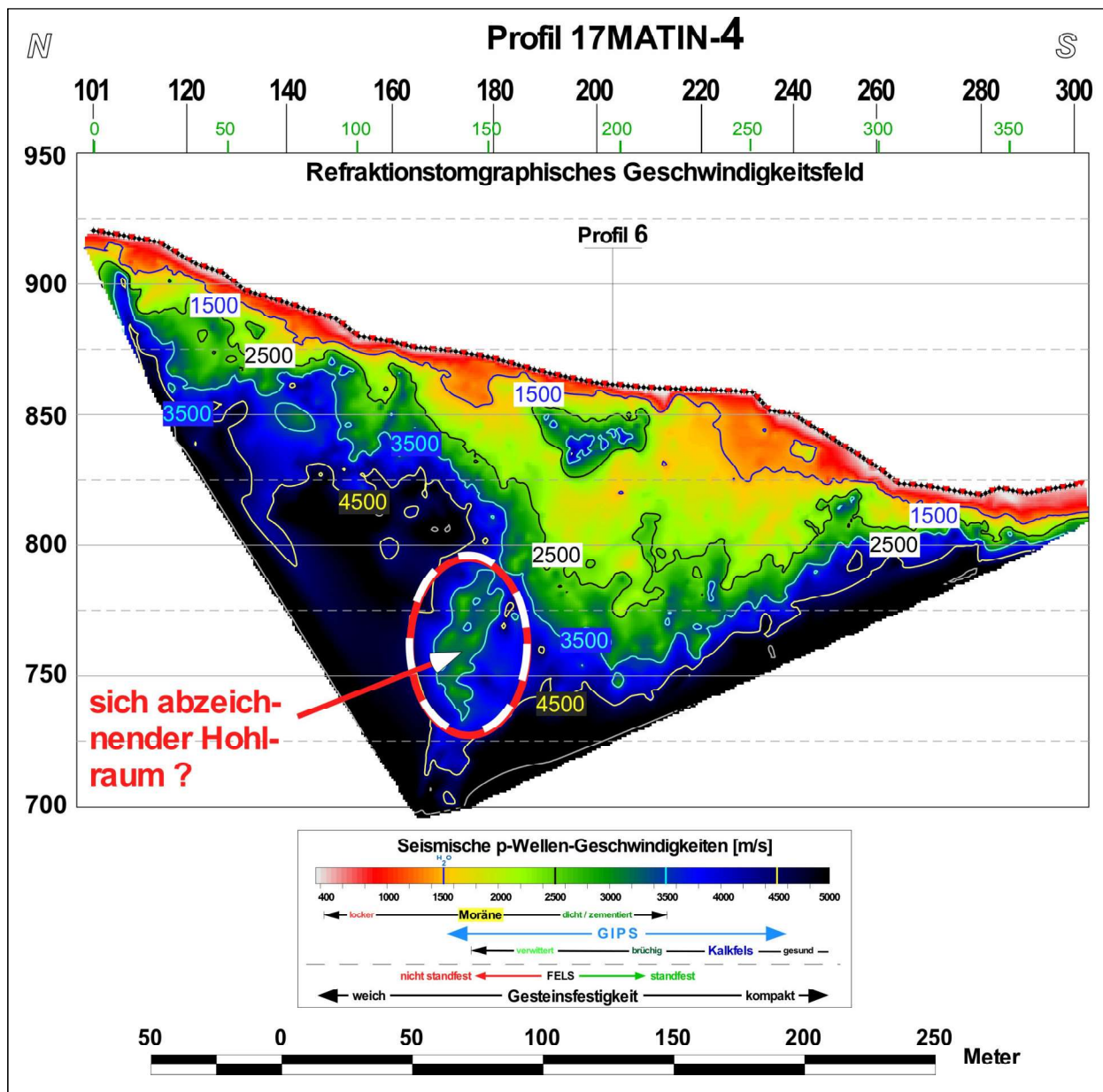


**Abb. 11** Geschwindigkeitsanomalie mit postuliertem Wasserzutritt und oberflächennahe kleinräumige Setzungsstrukturen oberhalb eines steil einfallenden Bruchs auf dem Profil 4.



Die Voraussetzung zur Bildung ausreichend grosser Hohlräume für einen Erdfall ist somit nur in konsolidiertem gipshaltigem Felsgestein mit anfänglich tragfähiger Decke möglich. Diese verliert mit fortschreitender Auslaugung ihre Tragfähigkeit bis es zum spontanen Einsturz kommt.

Der Bestimmung des Verlaufs der 3'500 m/s Isolinie kommt die massgebende Bedeutung zu, dass sie solche isolierten Auslaugungsbereiche aufzuzeigen vermag (s. **Abb. 5, 10 und 12**).

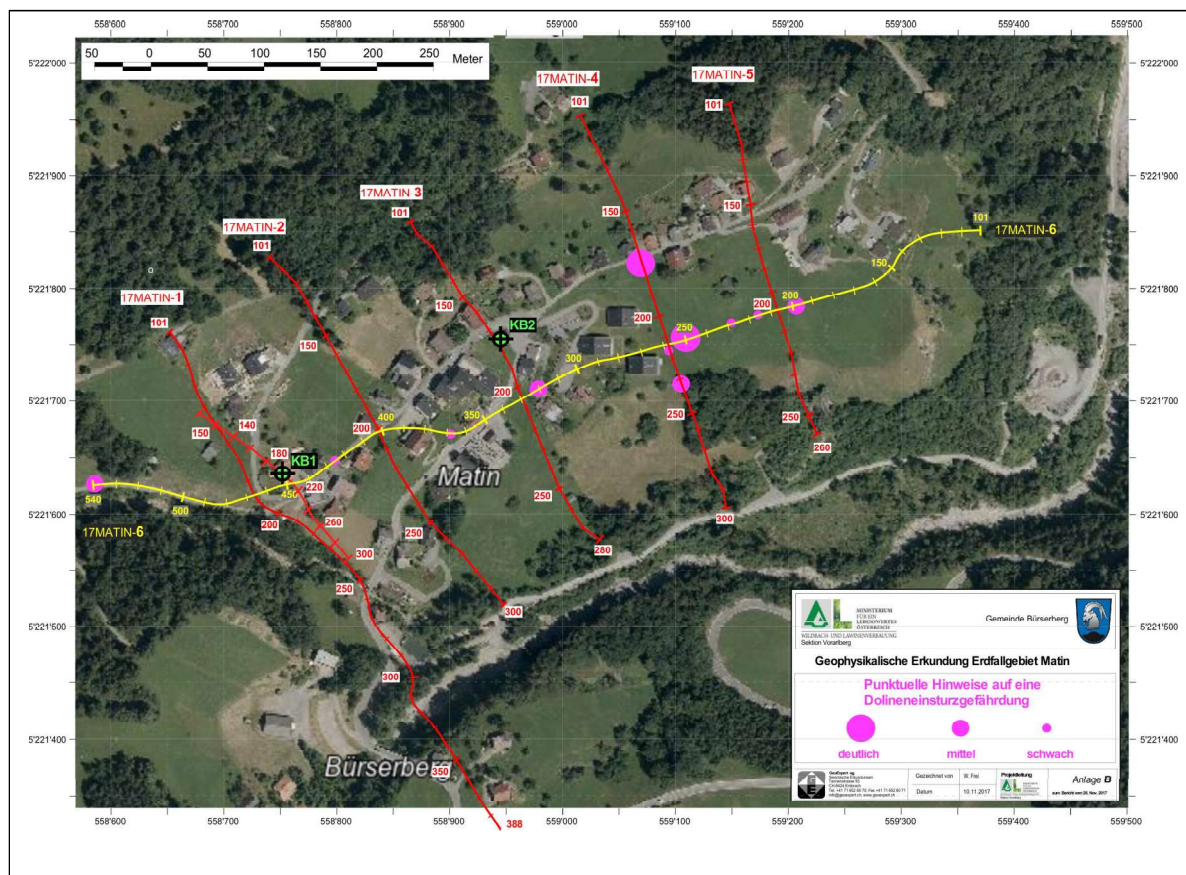


**Abb. 12** Bildung der Schwächezone auf dem Profil 4 mit einer vertikalen Ausdehnung von mehr als 50 m.



## 4 Sinopsis einer flächendeckenden Einschätzung der Erdfallgefährdung

In **Abb. 13** unten sind neben dem erfolgten Erdfall auf dem Profil 7 zwei Stellen zu beachten, an denen deutliche Hinweise auf eine Erdfallgefährdung vorhanden sind. Die eine befindet sich auf dem Längsprofil 6 in **Abb. 8** und andererseits die auf dem Profil 4 in den **Abb. 11** und **12** dargestellten Situationen.



**Abb. 13** Lokalisationen mit unterschiedlich starken Merkmalen einer Erdfallgefährdung.

Es ist methodisch bedingt, dass wie oben illustriert, solche deutlichen Hinweise auf aktive Auslaugungsbereiche seismisch leider nur dann erfasst werden, wenn diese sich in unmittelbarer Nähe zu einem seismischen Profil befinden.

Bei Bauvorhaben im Gebiet Matin empfiehlt sich deshalb eine vorgängige hybridseismische Erkundung der Untergrundstrukturen mit mindestens zwei sich innerhalb der Bauparzelle möglichst rechtwinklig schneidenden Seismikprofilen durchzuführen.

Die Kosten für eine solch flächige hochauflösende hybridseismische Erkundung mit vier Messlinien bei einer Parzelle von 50 m x 50 m sind wesentlich geringer als für eine 50 m tiefe Erkundungsbohrung, die lediglich punktuelle Information über den Aufbau des Untergrunds liefert.