

## **Tiefgründung bei Sulfatkarst – Bohrpfahlgründung beim Neubau des Erlebnisbades Ehrenberg in Reutte**

Dipl.-Ing. Dr. Jörg Henzinger, Dipl.-Ing. Christoph Henzinger, Dipl.-Ing. Peter Hoffmann  
Geotechnik Henzinger ZT, Grinzens

### **KURZFASSUNG**

Bei der Erkundung des Untergrundes für den Neubau des Erlebnisbades Ehrenberg in Reutte konnten zahlreiche Hohlräume im Gipsgestein aufgeschlossen werden. Erdfalltrichter und dokumentierte Geländeeinbrüche im Umfeld des geplanten Erlebnisbades wiesen auf die Sulfatkarstproblematik im Planungsgebiet hin. Neben Aufschlussbohrungen wurden indirekte Erkundungsmaßnahmen angewandt. Von der Baubehörde wurde gefordert, dass durch die geplanten Baumaßnahmen keine wesentliche Veränderung in den Grundwasserabflussverhältnissen entsteht und Nachbargrundstücke mit ähnlicher Untergrundproblematik durch die Baumaßnahmen nicht beeinträchtigt werden.

Aufgrund der aufgeschlossenen Bodenverhältnisse, der Bedingungen bezüglich des Grundwassers und des durch Pfähle noch erreichbaren Festgesteinuntergrundes konnte zur Erreichung einer ausreichenden Sicherheit gegen unzulässige Setzungen nur eine Bohrpfahlgründung vorgeschlagen werden. Ca. 160 Pfähle mit einer Länge zwischen 5 und 40 m leiten die Lasten des Hochbaues „Erlebnisbad Ehrenberg“ in den Felsuntergrund ab. Die Errichtung der Pfähle in Bodenschichten mit Hohlräumen stellte hohe Anforderungen an die Bohrfirma. Die Herstellung durchgehender Pfähle bis zum Felsuntergrund wurde durch die Anordnung flexibler Schalungen um die Bewehrung und durch das Verfüllen von kleinen Hohlräumen mit Beton gewährleistet.

### **1. ERKUNDUNG**

#### **1.1. Geologische Grundlagen**

Noch im 20. Jahrhundert wurde am sogenannten Sintebichl, südöstlich von Reutte, Gips abgebaut. Im alten Steinbruch sind die Gesteine in einer Mächtigkeit von 20 bis 30 m aufgeschlossen. Neben stark gebänderten Strukturen sind auch massige Bereiche ersichtlich. Ein Blick auf die geologische Karte von Ampferer aus dem Jahr 1914 (Abb. 2) zeigt deutlich, dass im Süden und Osten von Breitenwang und Reutte Gipsvorkommen auftreten. Es ist davon auszugehen, dass diese Vorkommen im Untergrund verbunden sind bzw. weiterführen und durch die Talfüllung des Reuttener Beckens überdeckt sind. Der Gips ist bezüglich Alter der Raiblerformation zuzurechnen und wird in der Schichtabfolge meist von Dolomiten begrenzt.

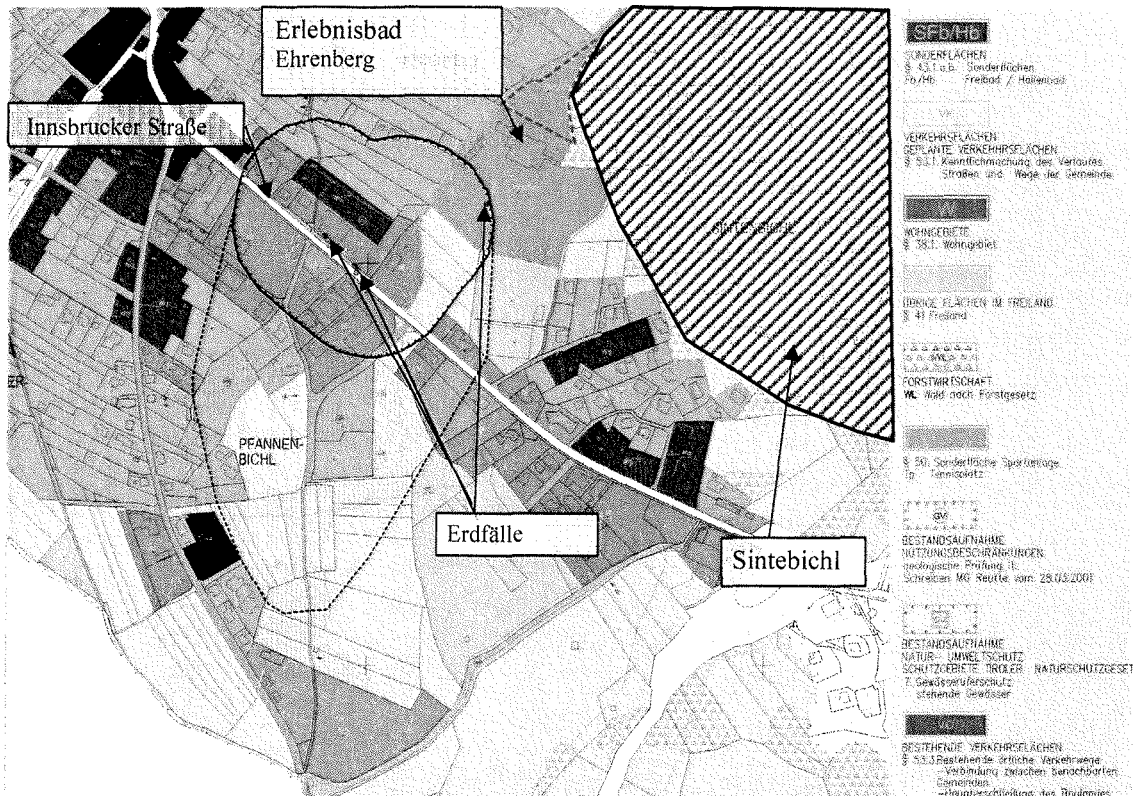


Abb. 1: Kartenausschnitt südöstliches Gemeindegebiet mit vermuteten Hohlraumbildungen im Untergrund (Flächenwidmungsplan); adaptiert



Abb. 2: Kartenausschnitt geologische Karte aus dem Jahr 1914 (O. Ampferer); adaptiert

Wie die Erkundungen gezeigt haben, wird das an der Festgesteinsoberfläche ausgelaugte Festgestein durch eine mehrere Meter mächtige Schicht mit toniger, schluffiger Matrix überlagert, in die scharfkantige Dolomit- und Gipskörner eingelagert sind. Diese Schicht wird als Verwitterungsschicht der gipsreichen Raiblerschichten – Hydratation des Anhydrits – gedeutet. Sie weist im Kontakt mit dem Festgestein mit Wasser gefüllte Hohlräume, verstürzte Hohlräume und ausgelaugte, breiige Schlufflagen auf. Das Grundwasser steht in einer Tiefe von ca. 6 bis 8 m unter der Geländeoberfläche an und fließt nach Nordwesten ab. Eine lineare Eintiefung im Gelände weist auf eine unterirdische Entwässerungsrinne hin. Die Leitfähigkeit des Grundwassers wurde mit ca. 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ermittelt.

## 1.2. Sulfatkarsttypen im Raum Reutte

Aus der Geländemorphologie, aber auch aus den direkten und indirekten Bodenaufschlüssen lässt sich ableiten, dass im Siedlungsgebiet südlich und südöstlich von Reutte zwei Erdsenkungstypen auftreten. Bei geringer Überlagerung des Festgesteins (Raiblergipse) und hohem Wasserandrang durch Grund- und Oberflächenwasser ist ein Durchstanzen von Hohlräumen bis zur Geländeoberfläche zu beobachten. An der Geländeoberfläche treten zuerst eng begrenzte Einbruchschlote auf, die zunehmend nachbrechen (Abb. 3).

Der zweite Erdsenkungstyp betrifft die zahlreichen dellenartigen und rinnenförmigen Einsenkungen. Tiefliegende oder kleinvolumige Hohlräume werden durch Auflockerung der Überlagerung und durch Setzung an der Geländeoberfläche verfüllt.

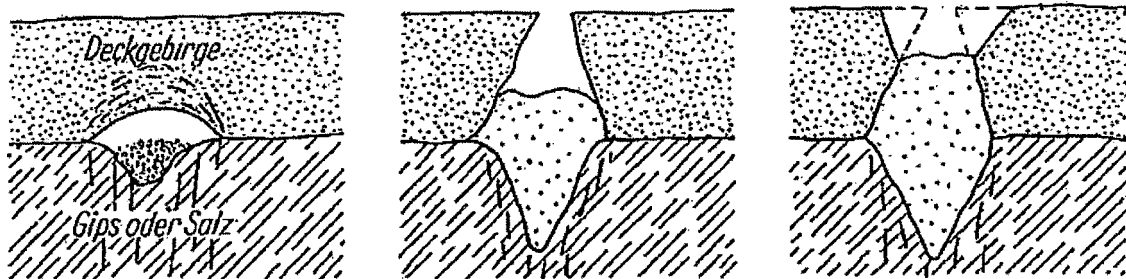


Abb. 3: Entwicklung eines Erdfalles (Schema) [Neumann, 1964]

## 1.3. Erdfallereignisse im Raum Reutte

Probleme mit Erdfällen sowie mit größeren und kleineren Setzungen sind im Siedlungsgebiet südöstlich von Reutte und Breitenwang schon seit langem bekannt. Primär konzentrieren sich die dokumentierten Erdfälle entlang der Innsbruckerstraße. Die Geländeoberfläche beidseitig der Innsbruckerstraße zeigt in einem engen Raster Muldenstrukturen, die auf lang anhaltende Setzungen hinweisen.

Das erste uns bekannte bautechnische Problem ist bei der Tennisanlage am Fuß des Sintebichls aufgetreten. Ein Teil des Gebäudes sackte ab und musste nach der Verfüllung des Hohlraumes mit verstärkten Fundamenten auf verfülltem Hohlraum aufgebaut werden.

Erdfälle entlang der Innsbruckerstraße sind mehrfach aufgetreten. Die Abbildung 4 zeigt das letzte Auftreten eines Erdfalles in der Straße selbst im Jahr 1986. Nachdem das wiederholte Verfüllen des immer wieder neu entstandenen Erdfalltrichters nicht zum erhofften Erfolg

geführt hat (z.B.: April 1986: 18 m<sup>3</sup> Schotter, November 1986: 20 m<sup>3</sup> Beton und Schotter), wurde der Einbruchschlot mit einer Stahlbetonplatte überbrückt.

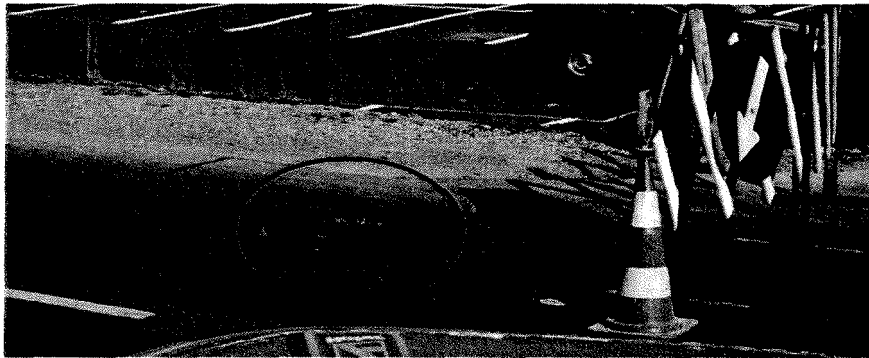


Abb. 4: Erdfall in der Innsbruckerstraße 1986 (Fotos BBA Reutte)

Ein weiterer Einbruch befand sich weiter westlich ebenfalls im Nahbereich der Innsbruckerstraße und betraf ein Lebensmittelgeschäft. Dieser Einbruch hat sich schrittweise bis an die Oberfläche durchgestanzt (Abb. 5).

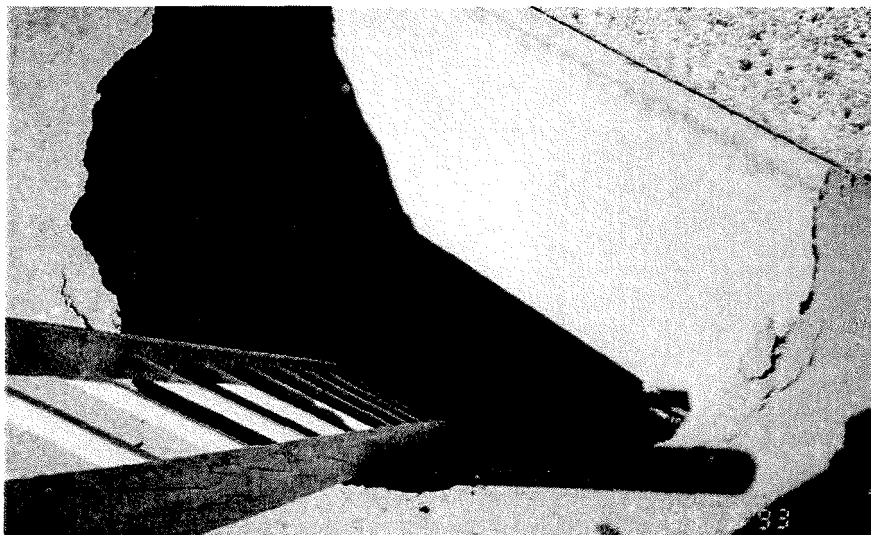


Abb. 5: Erdfall beim Lebensmitteldiskonter 1993 (Fotos DI Wietek, Sistrans)

Dokumentiert ist dieser Vorgang durch das mehrmalige, zum Auslösezeitpunkt nicht erklärbare Ansprechen der auf Erschütterung reagierenden Alarmlage. 1993 erreichte der Schlot die Geländeoberfläche, große Schäden am Objekt sind nicht entstanden. Die Sanierung erfolgte mit Beton und Kies. Zum nachträglichen Verfüllen einer auch in Zukunft auftretenden, nicht auszuschließenden Hohlraumbildung wurde ein Verfüllrohr bis zur Sohle des sichtbaren Erdfalltrichters geführt.

Auch auf dem Areal des geplanten neuen Schwimmbades, in der Tiefenlinie der im Gelände sichtbaren Rinne, ist eine Doline mit einem Durchmesser von ca. 4 m ausgebildet. Dieser Erdfall wurde in den letzten Jahren immer wieder mit Schüttmaterial verfüllt. In einem Zeitraum von 4 Jahren ist mit der Neubildung der Bodeneinsenkung bei diesem Erdfall zu rechnen. Abb. 6 zeigt den immer wiederkehrenden Trichter an der Geländeoberfläche.

Das alte, inzwischen abgerissene Freischwimmbad unmittelbar nordöstlich dieses Trichters wies vor dem Abbruch in der Mitte der längeren Schwimmbadseite einen großen klaffenden Riss auf. Die Ursache dieses Risses konnte nicht genau geklärt werden. Neben einer unzureichenden Bewehrung des Schwimmbades sind Setzungen infolge Karstbildung im Untergrund die wahrscheinliche Ursache.

Abschließend kann zu den dokumentierten Erdfallereignissen im Siedlungsgebiet von Reutte und Breitenwang festgestellt werden, dass bis heute keine Schäden an Personen bekannt sind. Auch die Schäden an Bauwerken halten sich, obwohl sich zahlreiche Gebäude im Bereich der Zone mit Erdfallrisiko befinden, in engen Grenzen.



Abb. 6: Erdfall auf dem Areal des geplanten Freischwimmbades

## **1.4. Erkundungsprogramm, Bodenverhältnisse**

### **1.4.1. Baugrunderkundungsprogramm**

Im Jahr 2008 und 2009 wurde unser Büro durch die Gemeinde Reutte beauftragt, für das geplante neue Schwimmbad Ehrenberg mit Hallenbad und Außenanlage die Bodenerkundungen durchzuführen und ein Gründungskonzept auszuarbeiten. Der Rohbau der Hallenbadanlage ist inzwischen fertig gestellt. Als wesentliche Herausforderung ist zu erwähnen, dass moderne Schwimmbecken mit den allseitig angeordneten Überlaufkanten als setzungsempfindlich einzustufen sind und schon bei einer geringen Schiefstellung die Gebrauchstauglichkeit der Becken nicht mehr gegeben ist.

Das Erkundungsprogramm für das gesamte Areal wurde schrittweise dem wachsenden Kenntnisstand angepasst und verdichtet. In einem ersten Schritt erfolgte die Erschließung des Untergrundes mit einer ersten Serie von Erkundungsbohrungen und Schürfgruben. Zusätzlich wurden diese Aufschlüsse durch geophysikalische Untersuchungen ergänzt.

In diesem Zusammenhang ist auf das Verständnis des Bauherrn hinzuweisen, der erkannt hat, dass bei den gegebenen ungünstigen Bodenverhältnissen nur die umfangreiche Erkundung des Untergrundes mit direkten und indirekten Erkundungsmethoden die vorhandenen Unsicherheiten weitgehend ausschließen kann. Bereits sehr früh wurde eine Pfahlgründung bis zum Festgestein diskutiert. Bei Ausschluss des hohen Setzungsrisikos, welches durch eine Flachgründung entsteht, und der geforderten sehr geringen Beeinträchtigung des Grundwassers durch die Baumaßnahme war dieses Gründungssystem naheliegend.

Das Hallenbad und das Freischwimmbad auf Pfählen zu gründen, bedeutet für den Bauherrn, die Gemeinde Reutte, eine hohe finanzielle Belastung. Aus diesem Grund war es verständlich, dass der Bauherr vor der endgültigen Festlegung auf eine Pfahlgründung einen weiteren Erkundungsversuch unternahm, um die Hohlräume im Untergrund genau lokalisieren zu können.

Dr. Seren von der ZAMG wurde mit weiteren indirekten Erkundungen beauftragt. Insgesamt standen vor der Festlegung der Gründung 13 Aufschlussbohrungen, refraktions- und reflektionsseismische Untersuchungen, Georadaruntersuchungen und geoelektrische Erkundungen zur Verfügung. Zur Verifizierung der Felsoberfläche kamen örtlich auch Imlochhammerbohrungen zur Anwendung.

#### 1.4.2. Kernbohrungen, Bodenverhältnisse

Fünf Kernbohrungen der insgesamt 13 Bohrungen haben Hohlräume mit unterschiedlicher Mächtigkeit und in unterschiedlicher Tiefe erkundet. Die Abbildung 7 zeigt im Lageplan das Areal des Erlebnisbades Ehrenberg mit den Aufschlussbohrungen.

Wie im Punkt 1.1 bereits erwähnt, ist der Anhydrit/Gips bzw. Dolomit durch die Talfüllung überdeckt. Oberflächennah wurden sandige Kiese in einer Mächtigkeit von 2 bis über 15 m aufgeschlossen. Es handelt sich um schwer differenzierbare Sedimentgesteine wie umgelagerte Moräne, Murschutt und sandige Flussablagerungen. Örtlich im Nordwesten des Hallenschwimmbades sind Stillwassersedimente, Schluffe mit weicher Konsistenz, linsenförmig eingelagert. Über dem Festgestein liegt die bereits angeführte Schicht mit schluffiger Matrix, welche verwittertes Festgestein darstellt. Eingebettet in diese Schicht sind kantige Kieskörner aus Dolomit und Gips bzw. Anhydrit. Diese Schicht ist mehrere Meter mächtig und bedeckt den gesamten Sockel des Sinteichs. In dieser Schicht bzw. in der Kontaktfläche zum Festgestein wurden die durch die Bohrungen aufgeschlossenen Hohlräume erkundet. Örtlich lassen sich die Hohlräume der vermuteten Abflusssrinne des Grundwassers, aufgeschlossen durch die Bohrungen KB5, KB6, Doline und KB8, zuordnen. Die Hohlräume weisen eine Mächtigkeit von wenigen Dezimetern (KB8) bis mehrere Meter (KB5, KB6) auf. In den erkundeten Hohlräumen im Nahbereich der Doline wurde gering gespanntes Wasser (einige Meter) angetroffen, aus den Grundwasserpegeln konnte eine Grundwasserstromrichtung nach Nordwesten bzw. parallel zur Innsbruckerstraße abgeleitet werden.

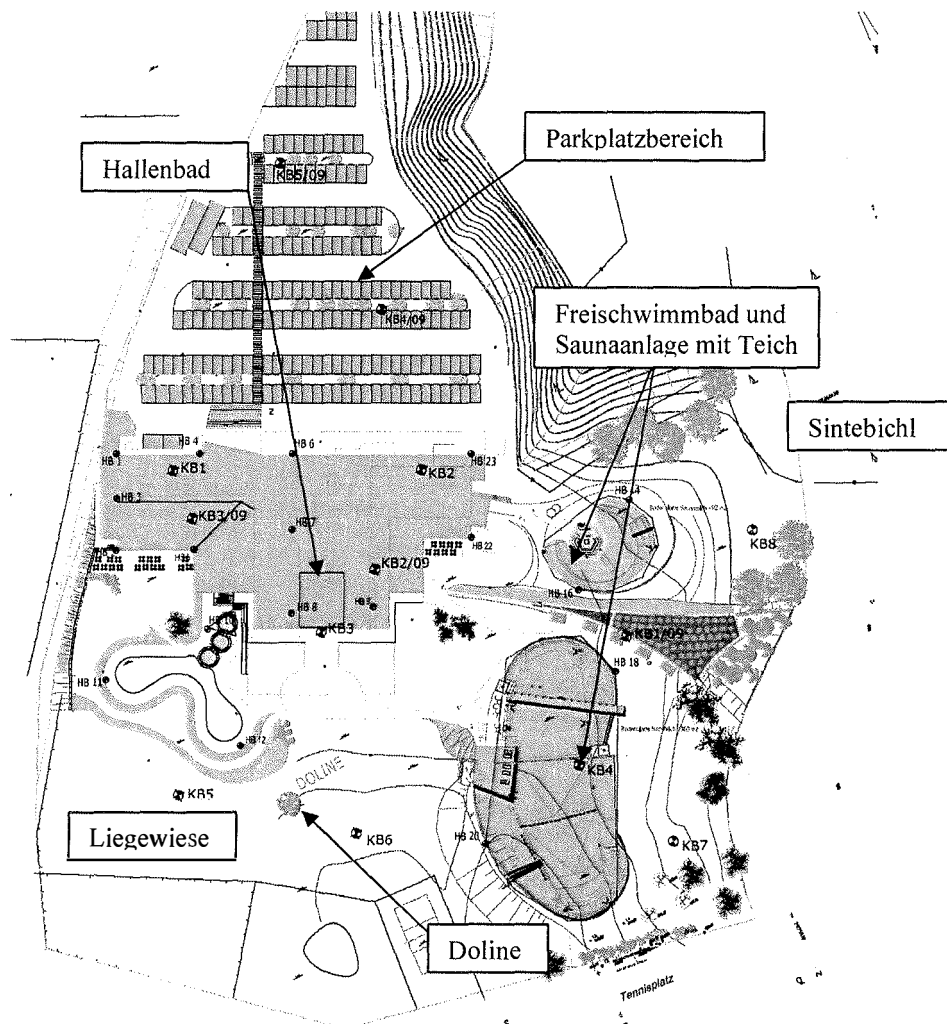


Abb. 7: Ausschnitt Lageplan (Plangrundlage „E007 LP01“ Architekturbüro Walch, 2009)

#### 1.4.3. Seismik

Insgesamt wurden durch die ZAMG sieben seismische Profile ausgewertet. In der Abbildung 8 sind die Seismikprofile, die Georadarprofile und die geoelektrischen Profile eingezeichnet. Die Auswertung der Profile ergab ein räumliches Bild der Festgesteinsoberfläche mit einer ausgeprägten Felsrinne. Durch die Hammerbohrungen und die Pfahlbohrungen konnte dieses Relief weitgehend bestätigt werden. Die genaue Kenntnis der Felsoberfläche war bei Pfahllängen bis ca. 40 m notwendig, um die Herstellbarkeit (Länge der Kellystange) genau beschreiben zu können. Eine Erkundung von Hohlräumen oder örtlich stark aufgelockerten Zonen war durch dieses Verfahren nicht möglich.

Neben der Seismik wurden durch die ZAMG weitere Profile mittels Georadar und Geoelektrik untersucht. Ergebnis der Auswertung durch Dr. Seren war unter anderem die dreidimensionale Darstellung vermuteter Hohlräume bzw. stark ausgedünnter Bodenzonen im Untergrund. In der Abbildung 8 ist das Ergebnis der geophysikalischen Untersuchungen mit der Darstellung der möglichen Hohlräume im Lageplan dokumentiert.

#### 1.4.4. Georadar, Geoelektrik

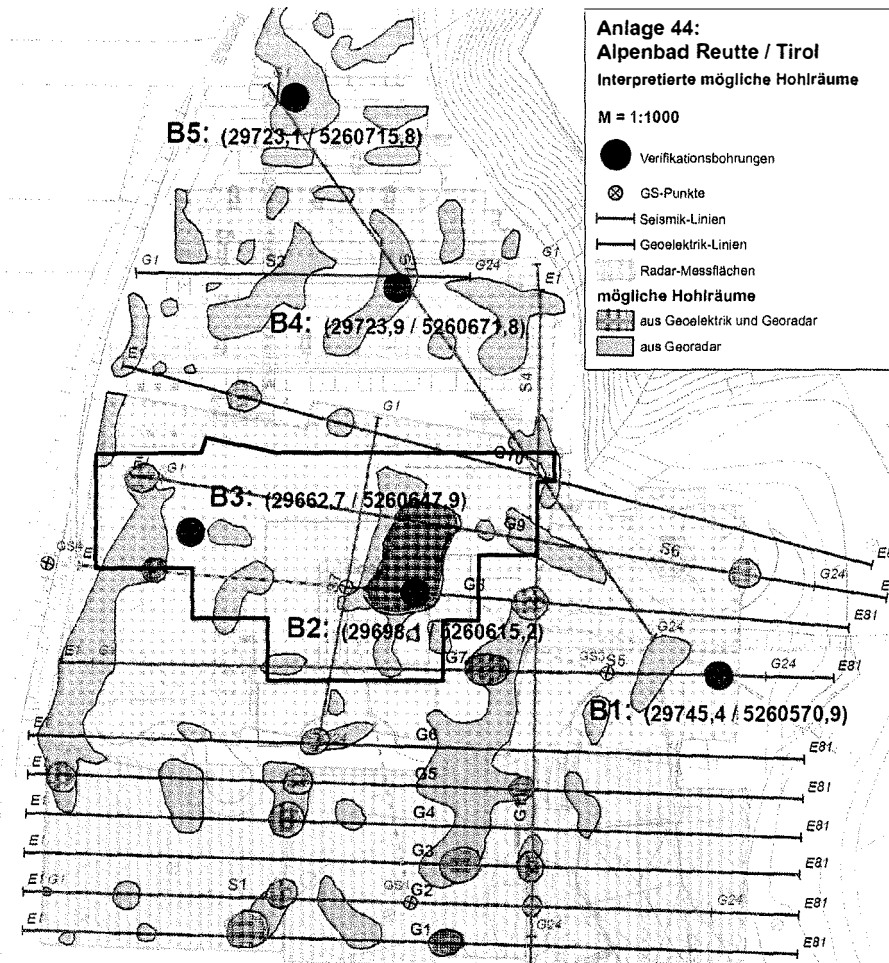


Abb. 8: Erkundungsprofile und prognostizierte Hohlräume; adaptiert aus ZAMG [Seren, 2009]

#### 1.5. Vermutete Hohlräume, Gründungsentscheidung

Die Zusammenschau aller Bodenerkundungen ergab, dass in ausgedehnten Bereichen des Areals, auf dem das Hallenbad und Teile des Freischwimmbades errichtet werden sollten, Hohlräume im Untergrund und stark durch Lösungsprozesse ausgedünnte und nachgebrochene sowie wieder verfüllte Hohlräume erwartet werden mussten.

Die Erkundungsergebnisse ließen für das setzungsempfindliche Hallenbad mit mehreren Bädern aus unserer Sicht keine Flachgründung zu. Die bereits vorgeschlagene Tiefgründung mittels Pfählen bis zum Fels wurde Anfang 2010 für den Hallenbadkomplex ausgeführt.

## 2. AUSFÜHRUNG HALLENBADKOMPLEX

### 2.1. Pfahlherstellung

Die Abbildung 9 rechts zeigt im Lageplan die Sohlplatte mit den auf die Lasten abgestimmten Pfählen. Die Ermittlung der zulässigen Pfahllast erfolgte über den aufnehmbaren

Spitzendruck im Fels bei einer Einbindung in den Fels von mindestens 1 m. Ein zulässiger Spitzendruck von  $3 \text{ MN/m}^2$  wurde als Bemessungswert gewählt.

Die Ausschreibungs- und Angebotsphase bei den schwer zu beschreibenden Leistungen war spannend. Fragen der Hohlraumerkennung, Hohlraumüberbrückung, Einbindung in den Fels, Anordnung von Bewehrungsstrümpfen und Verfüllung von Hohlräumen mussten in den Verhandlungen genau geklärt werden. Zu beachten war zudem die Gefahr des Abreißens der Frischebetonsäule bzw. des angesteiften Betons im Zusammenhang mit der Konsolidierung weicher Bodenzonen um den Pfahl. Bei bis 40 m langen Pfählen entstand ein hoher Frischbetondruck auf die Mantelfläche. Eine Prüfung aller Pfähle war unerlässlich.

Insgesamt wurden 24 Pfähle mit einem Durchmesser von 62 cm und 136 Pfähle mit einem Durchmesser von 88 cm hergestellt. Die Pfahlbohrung erfolgte mittels Kellygreifer.

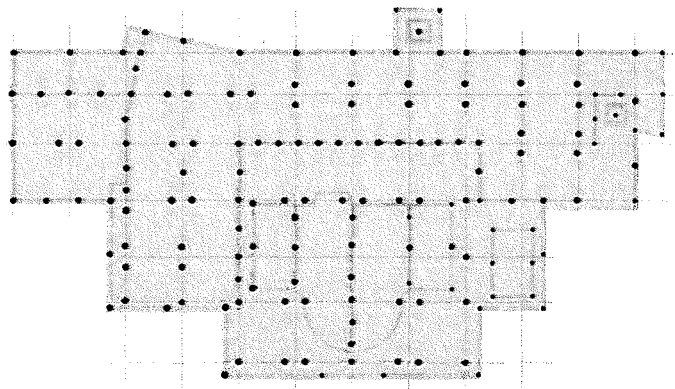
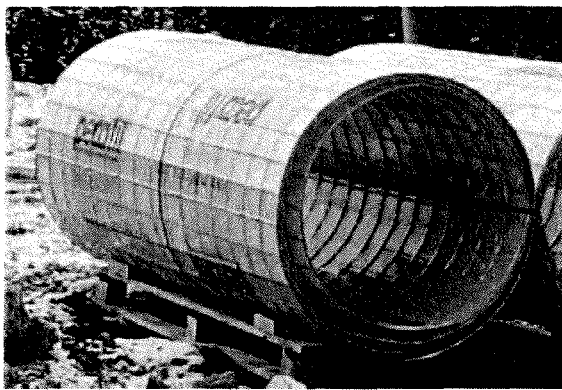


Abb. 9: Bewehrungsummantelung und Gründungsplatte mit Pfählen (DI Nessler, 2009)

Die Firma Matthias Strobel GmbH & Co KG, Pfullendorf – Deutschland, führte die Bohrpfahlarbeiten mit zwei Geräten, einer Liebherr LRB 255 und einer Bauer BG 28, vom Jänner 2010 bis April 2010 durch. Entscheidende Probleme bei der Pfahlherstellung entstanden nicht. 13 Pfähle wurden mit Strümpfen aus Kunststoff und Baustahlgitter um den Bewehrungskorb, wie in Abbildung 9 links dargestellt, ausgeführt. Die Anordnung der Kunststoffstrümpfe um die Bewehrungskörbe ergab große bautechnische Probleme.

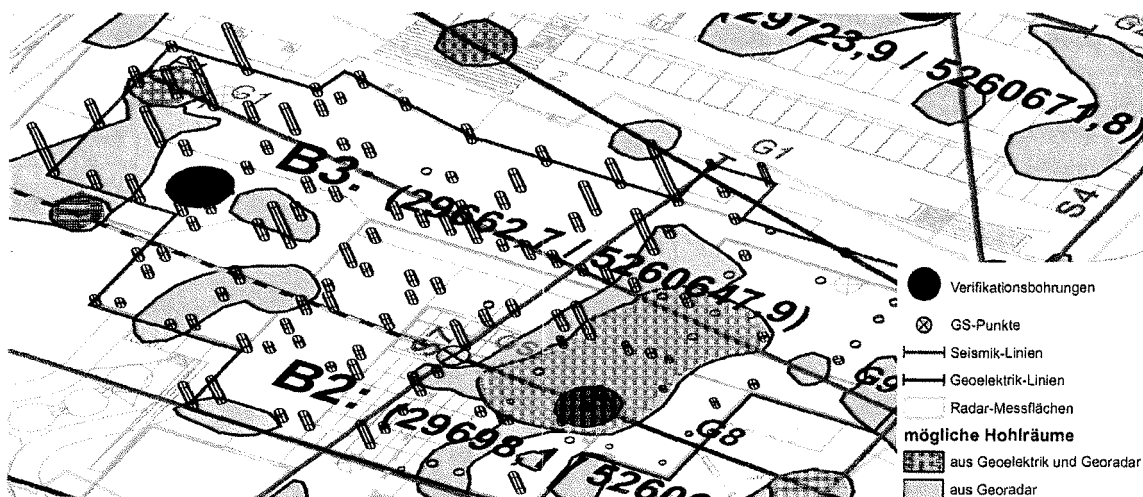


Abb. 10: Vermutete Hohlräume und tatsächlicher Mehrverbrauch an Beton

Der über den planmäßigen Mehrverbrauch von 10% des Pfahlvolumens hinausgehende Betonmehrverbrauch hielt sich mit gesamt ca. 400 m<sup>3</sup>, das sind ca. 14% des Gesamtverbrauches, im erwarteten Rahmen. Bei 34 Pfählen wurde ein Mehrverbrauch von 3 bis 8 m<sup>3</sup>, bei 8 Pfählen ein Mehrverbrauch von 8 m<sup>3</sup> bis 15 m<sup>3</sup> dokumentiert.

Die Abbildung 10 zeigt eine Gegenüberstellung der im Lageplan dargestellten prognostizierten Hohlräume und dem tatsächlichen Mehrverbrauch an Pfahlbeton.

## **2.2. Pfahlprüfung**

Die Messung der Pfahlintegrität erfolgte im April und Mai 2010 durch die Seibersdorf Labor GmbH bei allen Bohrpfählen mittels „Low-Strain-Integritätsprüfung“. Die Überprüfung ergab für alle Pfähle mit einer Ausnahme entsprechende Werte für Länge und Durchmesser. Bei der einzigen Ausnahme lag die Ursache in einem nachträglich aufgetragenen Pfahlkopfbeton mit schlechtem Verbund.

## **3. GRÜNDUNGSMASSNAHMEN BEI ERDFÄLLEN, DISKUSSION**

### **3.1. Bodenerkundung**

Die Landesgeologie Tirol erfasste für das Siedlungsgebiet bzw. im Bauerwartungsland in Tirol in den Jahren 2008 bis 2010 die bekannten und durch geologische Karten dokumentierten Gebiete mit Erdfallerscheinungen. Ergebnis dieser Kartierung sind ausgewiesene Flächen in den Flächenwidmungsplänen mit der besonderen Gefahrenzone möglicher Erdfälle (Abb. 1). Vor einer Widmung als Bauland bzw. im Zuge des Bauverfahrens sind in den ausgewiesenen Flächen direkte Bodenaufschlüsse (Kernbohrungen) bis ins Festgestein bzw. zumindest bis in eine Tiefe von ca. 40 m durchzuführen. Grundwasserspiegelmessungen, die Ermittlung der Leitfähigkeit des Grundwassers und chemische Grundwasseruntersuchungen ergänzen die geforderten Bodenuntersuchungen. Aufgabe dieser Untersuchungen ist die Darstellung und Bewertung des Risikos bei einer Bebauung sowie die Auswahl einer geeigneten Gründung.

Grundsätzlich ist zur Erkundung von Hohlräumen durch Subrosion festzustellen, dass primär das Studium des Geländes und die Auswertung von Luftbildern und Schummerungskarten zielführend erscheinen. Offene oder im Lauf der Zeit natürlich oder künstlich verfüllte Dolinen reihen sich meist entlang einer Hangkante oder einer Einsenkung auf. Sie sind durch Wasserwegigkeiten im Untergrund, an der Oberfläche oder durch geologische Inhomogenitäten verursacht.

Wie die zahlreichen Erkundungen im Vorfeld der Planung und Errichtung des Erlebnisbades Ehrenberg gezeigt haben, können geophysikalische Untersuchungen mittels Geoelektrik, Seismik, Georadar ergänzende Aufschlüsse bieten. Eindeutige Ergebnisse bezüglich Größe und Lage eines oder mehrerer Hohlräume sind nicht erzielbar. Zielführend ist die Kombination geophysikalischer Messmethoden mit Aufschlussbohrungen. Zur

grundsätzlichen Erkundung des Lockergesteins, des Festgesteins und der Grundwasserverhältnisse bezüglich Mineralisierung des Grundwassers und des Porenwasserdruckes sind Aufschlussbohrungen unverzichtbar. Nur die Bohrungen geben Hohlräume eindeutig wieder.

### **3.2. Gründungsmaßnahmen**

Schäden an Gebäuden infolge Subrosionserscheinungen sind vielfach bekannt. Zwischen dem plötzlichen Einbruch großer Hohlräume mit Trichtern über 30 m und langsamen Setzungen (1 bis 2 cm im Jahr) infolge tief liegender Erosion und Auslaugung sind alle Variationen der Erdsenkung denkbar. Wie bereits festgestellt, entstehen bei Sulfatkarst vielfach dolinenförmige Erdsenkungen mit einem Durchmesser von mehreren Metern bei seicht liegenden Hohlräumen bzw. gering überdeckten Gipslagen. Die zweite Form der Erdsenkungen sind über lange Zeit andauernde Setzungen der Geländeoberfläche. Grundsätzlich gilt, dass dolinenförmige Einbrüche erst entstehen, wenn die Auflockerung der Hohlraumüberlagerung durch das Nachbrechen der Hohlraumdecke nicht ausreicht, um den Hohlraum zusammen mit stetig anwachsenden Oberflächensetzungen zu verfüllen. Die Verformung der Geländeoberfläche bei Subrosion hängt damit wesentlich von der Hohlraumgröße, der Form der Auslaugung und der Überlagerungshöhe des Hohlraumes ab. Wesentlich bei der Auswahl der Gründung ist natürlich auch die Setzungsempfindlichkeit eines Bauwerkes. Weiters ist zu klären, ob durch eine nachträgliche Hebung des Gebäudes die Gebrauchstauglichkeit im geplanten Benützungszeitraum erhalten werden kann.

Grundsätzlich sind bei Erdfällen aufgrund von Karsterscheinungen sogenannte „harte“ und „nachgiebige“ Gründungsmaßnahmen möglich. Der Begriff „harte Lösungen“ bezieht sich dabei auf die Überbrückung oder dauerhafte Beseitigung der Hohlräume (Verfüllung). Der Begriff „nachgiebige Lösungen“ betrifft die Möglichkeit, eine Konstruktion so zu entwerfen und auszuführen, dass sie die resultierenden Einwirkungen aus Sackungen übersteht bzw. nachjustiert werden kann [Vogt, 1996].

Die Entscheidung, ob eine harte oder nachgiebige Lösung zur Anwendung kommen soll, hängt von mehreren Faktoren ab. Die Rahmenbedingungen werden dabei von der Art der Karstproblematik, also von der Entstehungsgeschwindigkeit von Hohlräumen vorgegeben. Es ist also zu unterscheiden, ob es sich um eine langsam ablaufende Karbonatsubrosion oder um Chlorid- oder Sulfatauslaugung handelt. Wie die Erfahrungen im Raum Reutte zeigen, ist bei den bereits bekannten Erdfällen örtlich durchaus mit mehrfacher Neubildung in einem Intervall von mehreren Jahren zu rechnen.

Ein wesentlicher Faktor, welcher das Einsturzrisiko erhöht, ist stark fließendes Grundwasser oder versickerndes Oberflächenwasser. Hohlraumbildung beruht auf Auslaugung durch frische Wasserzufuhr. Regenwasser, also nicht mineralisiertes Süßwasser, vermag 2,5 g/l Gips zu lösen. Das bedeutet, dass die Versickerung von Oberflächenwasser in Bauwerksnähe bei Gefahr einer Sulfaterosion möglichst vermieden werden soll.

### 3.2.1. Nachgiebige Gründungen

Unter nachgiebigen Gründungen können einerseits Plattengründungen, Kellergeschoße aus steifen Stahlbetonkästen, aber auch geotextilbewehrten Bodenkörpern mit einer Mächtigkeit von 1 bis 3 m verstanden werden. Besonders bei tiefliegenden und nicht sehr mächtigen Hohlräumen ist beim Einsturz von Hohlräumen überwiegend mit einer Muldenbildung bzw. mit einer fortlaufenden Setzung an der Geländeoberfläche zu rechnen. Bei setzungsunempfindlichen Bauwerken oder Bauwerken, welche im Zeitraum ihrer Lebenserwartung durch hydraulische Pressen wieder gerade gestellt werden können, sind nachgiebige Gründungen durchaus geeignet bzw. wirtschaftlich. Pfahlgründungen über 25 m sind nur in Sonderfällen finanzierbar.

Zu beachten ist, dass nachgiebige Gründungen ein Restrisiko bezüglich ungleicher Setzungen aufweisen, welches der Bauherr zu tragen bereit sein muss, bzw. es muss geklärt sein, dass nachträgliche Hebungs- und Verfüllmaßnahmen Teil des Baugrundrisikos darstellen. Ein plötzliches Auftreten von dolinenartigen Einbrüchen im Siedlungsgebiet bzw. bei Infrastrukturbauten muss durch Erkundungsmaßnahmen oder durch Überwachung weitgehend ausgeschlossen werden können. In solchen Fällen ist auch der Ausschluss einer Bebauung zu diskutieren.

### 3.2.2. Harte Gründungsmaßnahmen

Sind Erdfallerscheinungen im Gebrauchszeitraum wahrscheinlich, bzw. handelt es sich um setzungsempfindliche Bauwerke, ist die Gründung mittels Bohrpfählen bis zum Festgestein durchaus sinnvoll und bei Einbeziehung aller möglichen Nachfolgekosten durchaus wirtschaftlich. Bedingung ist allerdings, dass das Festgestein in wirtschaftlich erreichbarer Tiefe ansteht. Bei einer ausreichenden Einbindung des Pfahles in den Fels von 1 bis 2 m ist im Zeitraum der Nutzungsdauer nicht mit einem Abtrag des Felswiderlagers unter dem Pfahl zu rechnen.

### 3.2.3. Hohlraumverfüllung mittels Injektionen oder Fließmörtel, harte Gründungsmaßnahme

Diese Maßnahme kann nur in Sonderfällen empfohlen werden. Einerseits gilt, dass der Injektionserfolg nur bei vollflächiger Verfüllung der Hohlräume einen nachhaltigen Erfolg gewährleistet. Andererseits bedeutet dies, dass mit großen Verfüllmengen zu rechnen ist und schwer nachvollzogen werden kann, wohin das Injektionsgut abfließt. Der entscheidende Nachteil dieser Maßnahme ist allerdings, dass durch Injektionsmaßnahmen bestehende Wasserwegigkeiten verschlossen werden und neue entstehen. Änderungen im Grundwasserstrom können dadurch Nachbargrundstücke beeinträchtigen.

### 3.2.4. Diskussion der vorgeschlagenen Gründung beim geplanten Freischwimmbad bzw. der Liegewiese

Die Gründung des Freischwimmbades ist derzeit ebenfalls auf Pfählen angedacht. Bei der derzeit geplanten Lage des Freischwimmbades (Abb. 7) ist mit Pfahllängen zwischen 10 bis

15 m zu rechnen. Aufgrund der Fläche des Freischwimmbades mit ca. 2000 m<sup>2</sup> ist bei einem angedachten Pfahlraster von 5 m x 5 m von ca. 90 Pfählen auszugehen. Die Lastverteilung wäre durch eine Stahlbetonplatte von ca. 50 cm Stärke zu erreichen. Es ist abzuwägen, ob bei einseitigen Setzungen das großflächige Schwimmbad mit einfachen kostengünstigen Lösungen gebrauchstauglich erhalten werden kann. Eine Alternative zur vorgeschlagenen Pfahl-Plattengründung besteht in der Gründung des Schwimmbades auf einer Stahlbetonplatte mit möglichst duktilem Verformungsverhalten. Die Abdichtung des Bades selbst müsste mit einer mechanisch festen Folie, wie sie im Speicherbau verwendet wird, erfolgen. Es ist durch die Konstruktion des Beckens zu gewährleisten, dass einseitig auftretende Setzungen durch die Erhöhung des Beckenrandes und Anpassung der Abdichtung ausgeglichen werden können.

Der Untergrund der geplanten Liegewiese, bereits früher als solche genutzt, zeigt mächtige Hohlräume, die durch die Bohrungen aufgeschlossen wurden. Auch die aktive Doline (Abb. 6) befindet sich in diesem Bereich. Festgestellt werden kann, dass ein Personenschaden durch den plötzlichen Einbruch eines Hohlraumes mit Ausbildung eines Erdfalltrichters an der Oberfläche äußerst unwahrscheinlich ist. Natürlich kann durch eine Bewehrung mittels Geogittern ein einbruchgefährdeter Bereich abgedeckt und überbrückt werden. Alternativ dazu ist es auch möglich, Flächen mit erhöhter Erdfallgefährdung abzugrenzen und von einer Benützung auszuschließen.

#### **4. SCHLUSSFOLGERUNG**

Aufgrund der Erfahrungen im direkten Umfeld des geplanten und nun im Bau befindlichen Hallenbades Ehrenberg in Reutte, der Baugrunderkundung und der Setzungsempfindlichkeit des Bauwerkes wurde von unserer Seite die Gründung des Hallenbades mittels Bohrpfählen empfohlen. Bei den inzwischen fertig gestellten Bohrpfahlarbeiten für das Hallenbad konnten mehrere Hohlräume zwischen 8 und 15 m<sup>3</sup> angetroffen werden. Die durch die Geophysik erkundeten „vermuteten“ Hohlräume stellten sich im Zuge der Ausführung der Bohrpfähle als mit weichem bis breiigem Boden verfüllte Hohlräume dar. Es handelt sich dabei um geogen verfüllte Erdfallschloten und um nachgebrochene Karsthöhlen. Der Betonmehrverbrauch im Ausmaß von 400 m<sup>3</sup> weist auf die heterogene Zusammensetzung des Untergrundes hin. Die Pfahlarbeiten konnten ohne große Probleme ausgeführt werden.

Die Gründungsauswahl und das Abwägen der Risiken stellt bei der gegebenen Karstproblematik eine außergewöhnliche Herausforderung an den Bauherrn, die Planer und an die begutachtenden Amtssachverständigen der Gemeinde dar.

#### **LITERATUR**

- Neumann R. (1964): *Geologie für Bauingenieure*. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, München  
Seren S. (2009): *Geophysikalische Untersuchungen der Parzelle 1928 (Alpenbad) Reutte/Tirol*. Gutachten zum Projekt, Wien  
Vogt N. (1996): *Bauen auf einstürzenden Hohlräumen: Nachgeben oder hart bleiben?* Vorträge der Baugrunderkundung 1996 in Berlin, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.