

Prof. Dr.-Ing. Norbert Vogt

Prof. Dr.-Ing. Norbert Vogt Baumbachstraße 7 81245 München

Staatliches Bauamt Weilheim  
Z. Hd. Herrn Dipl.-Ing. Maier  
Münchner Str. 39

82362 Weilheim

Staatliches Bauamt Weilheim				
A	- 5. Sep. 2014			Abt.
H	Anr.	Tsp. Nr.	Anl.	SG
S				

Handwritten: 9/3/14, J. Maier (red), U. (blue)

Ordinarius für Grundbau,  
Bodenmechanik,  
Felsmechanik und  
Tunnelbau an der  
Technischen Universität  
MünchenBaumbachstraße 7  
81245 München  
089 / 289-27 131  
Fax: 289-27 189

vogt@bv.tum.de

München, 26.08.14

## 1. Stellungnahme

11397/E/05 Kramertunnel Garmisch-Partenkirchen (Haupttunnel)

Stellungnahme zur Frage, ob sich nach einer temporären Grundwasserabsenkung im Bergsturzsbereich langfristig die ursprünglichen Grundwasserverhältnisse wieder einstellen

11397/E/05  
Lm/Fb/VoDr.-Ing. habil.  
Jochen FillibeckDurchwahl:  
089 / 289-27142e-mail:  
j.fillibeck@  
bv.tum.deD:\\_Fillibeck\Documents\11397-  
-E-05-GA01.doc**1 Vorgang und Fragestellung**

Beim Auffahren des Erkundungsstollens für den Kramertunnel wurde der Bergsturzsbereich als stark durchlässiges, mit hohem Druck wasserführendes Lockergestein (Bergsturz-Aquifer) angetroffen, in dem ein Spritzbetonvortrieb ohne Grundwasserabsenkung als zu riskant erachtet wurde (siehe unsere 5. Stellungnahme 11397D/026 zum Erkundungsstollen vom 03.11.2011). Im Zuge der weiteren Planung wurde daher beschlossen, das Grundwasser im Bergsturzsbereich temporär abzusenken und anschließend den Haupttunnel und den Erkundungsstollen (= Rettungsstollen) in Spritzbetonbauweise aufzufahren.

Aus dem wasserführenden Bergsturz-Aquifer werden verschiedene gefasste Quellen (Sonnenbichlquelle GAP S082, Hangmoorquellen GAP S070) und Quellhorizonte gespeist (siehe Abb. 1.1).

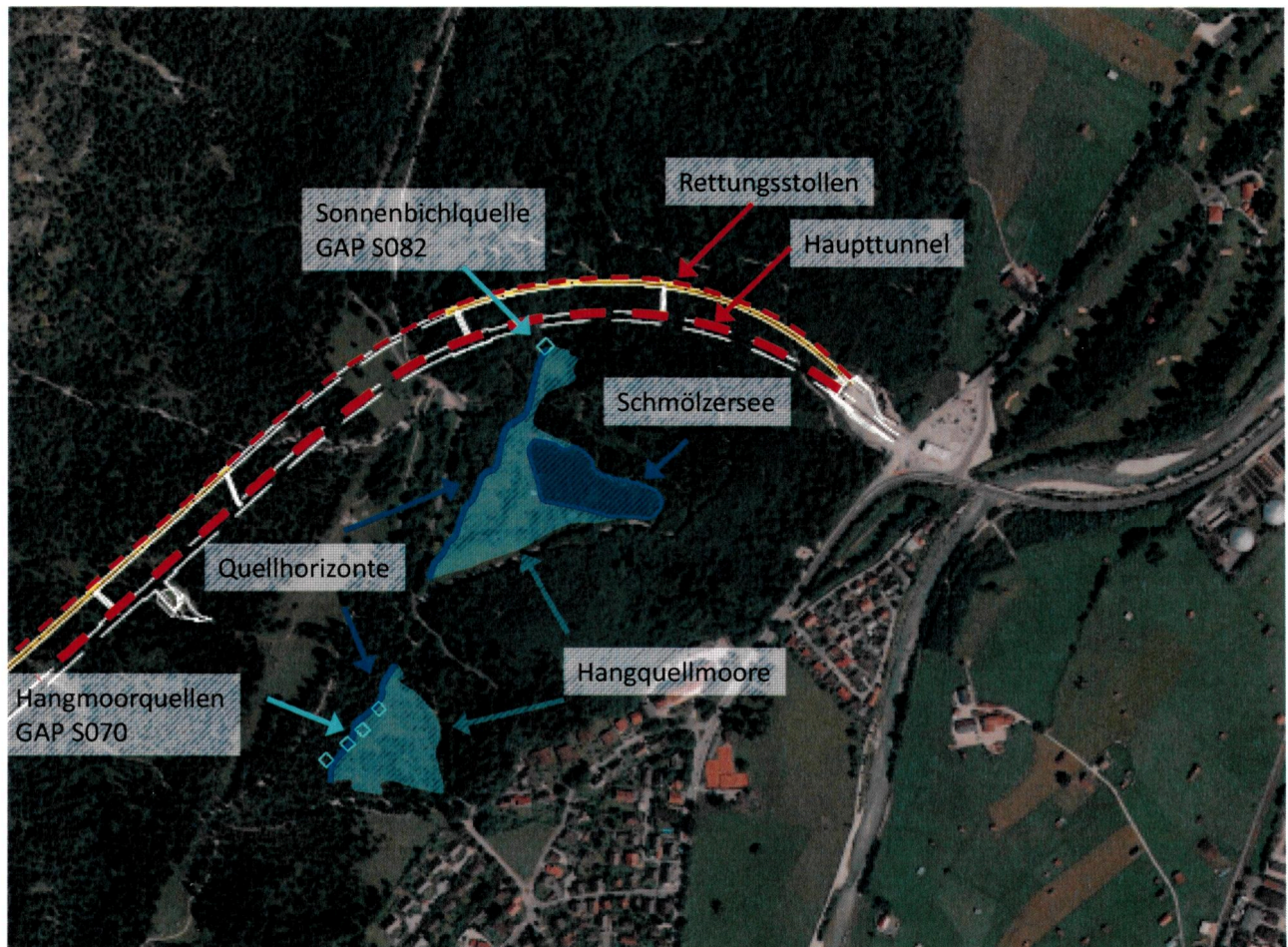


Abb. 1-1: Lage der Quellen und Quellhorizonte

Auf Grundlage eines temporären Absenkversuchs wird nach derzeitiger Planung davon ausgegangen, dass diese Quellen und Quellhorizonte während der Bauzeit sehr wahrscheinlich trocken fallen, nach Beendigung der Wasserhaltung aber wieder anspringen. Eine langfristige Veränderung der Quellschüttung oder der Lage der Quellen und Quellhorizonte wird nicht erwartet. Während der Bauzeit ist eine temporäre Ersatzwasserversorgung aus dem Lahnenwiesgraben zur künstlichen Bewässerung der Hangquellmoorflächen geplant.

Im Zuge von Abstimmungsgesprächen wurde die Frage aufgeworfen, ob – trotz der Erfahrungen aus einem Grundwasserabsenkversuch vom 12.08. bis 22.08.2011, bei dem sich nach Beendigung der Grundwasserabsenkung der ursprüngliche Grundwasserspiegel im Bergsturzgebiet rasch wieder einstellte – auch bei einer langen Bauzeit von 3 bis 4 Jahren und einer temporären Absenkung des Grundwasserspiegels bis auf Tunnelniveau von einer Wiederherstellung der ursprünglichen Grundwasserverhältnisse ausgegangen werden kann.

Vom Staatlichen Bauamt Weilheim wurden wir gebeten, zu dieser Frage Stellung zu nehmen.

## 2 Unterlagen

- [U1] Erkundungsstollen Kramertunnel, Hydrogeologische Situation Nordvortrieb im Bereich des Bergsturzmaterials, ILF Beratende Ingenieure, 18.08.2011
- [U2] Verlegung B23 Garmisch-Partenkirchen bis Bundesgrenze, Kramertunnel: Geologisch-Hydrogeologischer Ergänzungsbericht, ILF Beratende Ingenieure vom 21.08.2014
- [U3] Verlegung B23 Garmisch-Partenkirchen bis Bundesgrenze, Kramertunnel: Geologischer Bericht, ILF Beratende Ingenieure vom 14.08.2007

## 3 Beschreibung der Geologie und Hydrogeologie im Bergsturzgebiet

Die nachfolgende Beschreibung der geologisch hydrogeologischen Verhältnisse im Bergsturzgebiet beruht auf den Erkenntnissen aus den Baugrunduntersuchungen [U2], [U3], den von uns hierzu ausgeführten Laboruntersuchungen sowie den Informationen, die wir im Zuge unserer Begleitung der Baumaßnahmen zum Erkundungsstollen erhalten und selbst gewonnen haben. Hierzu zählen insbesondere auch die Erkenntnisse aus dem Absenkungsversuch während des Baus des Erkundungsstollens (siehe Abschnitt 4).

Nach den vorliegenden Informationen ist der Bereich geprägt durch ein Bergsturzereignis. Anschaulich vereinfacht sind Gesteinsmassen aus dem Kramer-Massiv zu Tale gestürzt und in dem sogenannten Bergsturzgebiet östlich des Kramer-Massivs zum Liegen gekommen. Dieser Bereich wies vermutlich aus früherer Zeit schon oberflächlich eine Wannenstruktur auf (s. Abb. 3.1). Das Bergsturzmaterial wurde im Laufe der Zeit von Murschutt überlagert.

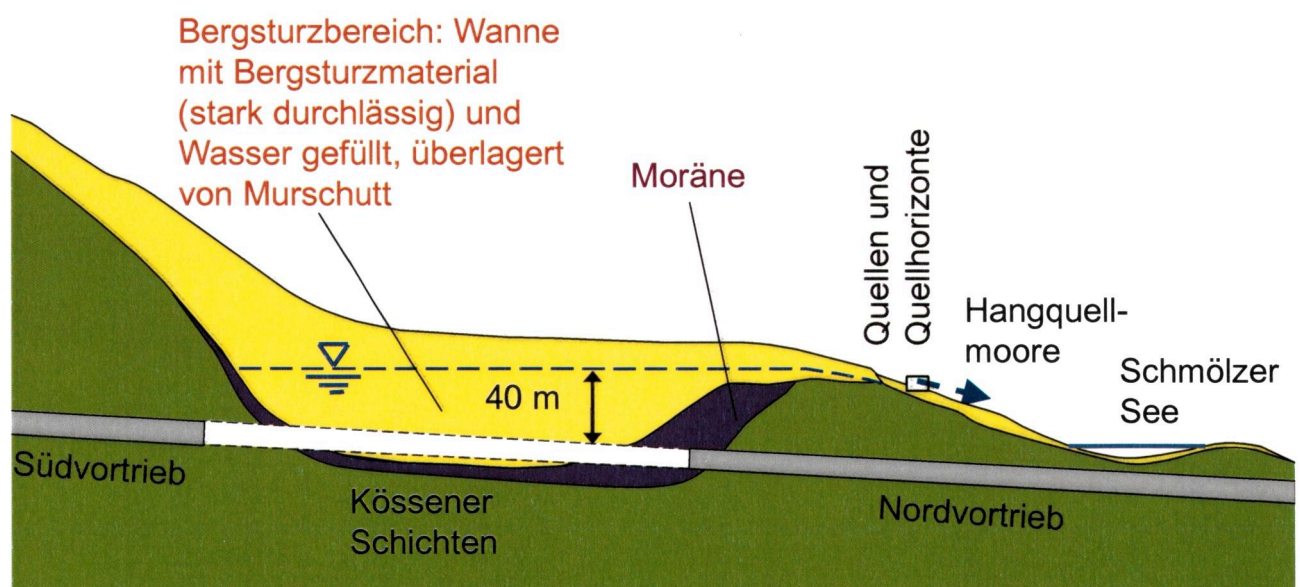


Abb. 3-1: schematische Skizze der Situation im Bergsturzgebiet

Das unter dem so abgelagerten Bergsturzmaterial anstehende Gebirge besteht aus Grundmoräne und Kössener Schichten. Wie die verschiedenen Aufschlubsbohrungen zeigen, sind diese Schichten weitgehend wasserundurchlässig. Es handelt sich bei der Grundmoräne bzw. den Kössener Schichten um kiesige Ton-Schluff-Gemische mit eingelagerten Blöcken und Steinen bzw. um Kalk-

Mergel-Wechselfolgen, Mergel und teilweise Schiefertone. Sie bilden die praktisch wasserdichte Basis der Wanne, in die das Bergsturzmateriale eingelagert wurde.

Das Bergsturzmateriale besteht dagegen überwiegend aus einem Sand-Kies-Gemisch mit eingelagerten Steinen und Blöcken. Es handelt sich um den Fels, der sich im Zuge des Bergsturzeignisses entfestigt hat bzw. zerkleinert wurde und nun überwiegend als Lockergestein vorliegt. Dementsprechend ist die Durchlässigkeit des Bergsturzmateriale vergleichsweise sehr groß. Die Murschuttablagerungen werden von weitgestuften Kiesen mit Stein- und Blockeinlagerungen gebildet. Untergeordnet treten feinkörnige Zwischenlagen auf.

Die sehr großen Durchlässigkeitsunterschiede zwischen dem Bergsturzmateriale und der Grundmoräne bzw. den Kössener Schichten sind durch die Erfahrungen aus dem Bau des Erkundungstollens eindeutig belegt. So sind beim Vortrieb des Erkundungstollens, der vom Nord- und Südportal jeweils bis kurz vor den Bergsturzgebiet geführt wurde, in den Kössener Schichten und in der Grundmoräne keine nennenswerten bzw. gar keine Wasserzutritte zum Tunnel aufgetreten. Demgegenüber strömte dem Erkundungstollens allein aus den 6 Entwässerungsbohrungen, die für den Absenkversuch in den Bergsturzgebiet vorgetrieben wurden (siehe Abschnitt 4), eine Wassermenge zwischen ca. 85 l/s und 105 l/s zu.

In der beschriebenen Wanne sammelt sich Wasser (aus Niederschlag oberhalb der Wanne, ggf. mit Zuflüssen aus benachbarten Bereichen). Dabei wirkt das Bergsturzmateriale wie ein Schwamm, der das Wasser aufnehmen und auch entsprechend wieder abgeben kann, wobei sich dieser "Schwamm" jedoch praktisch nicht verformt.

Die gefüllte Wanne besitzt im Südosten einen Überlauf, d.h. der Wannenrand ist dort vergleichsweise niedrig, so dass dort das Wasser aus der Wanne ab einem gewissen Grundwasserstand über den Rand fließt. Dies ist der Grund, weshalb im Bereich der gefassten Quellen (Sonnenbichlquelle GAP S082, Hangmoorquellen GAP S070) und Quellhorizonte Wasser austritt.

#### **4 Ergebnisse des Absenkversuchs im Bergsturzgebiet**

Zur Prüfung der Entwässerbarkeit des Bergsturz-Grundwasserleiters wurde ein Absenkversuch aus dem Erkundungstollens heraus durchgeführt. Hierzu wurden ab dem 10.08.2011 insgesamt 6 Entwässerungsbohrungen erstellt.

Die Bohrungen wurden im Doppelkopfbohrverfahren (Spülbohrung) in der Moräne sowie im Drehschlagbohrverfahren (Verdrängungsbohrung) niedergebracht. Durch aufwändige Zusatzmaßnahmen wurde sichergestellt, dass der Ringraum entlang der Moräne abgedichtet ist, so dass die Tunnelschale bzw. die Ortbrüst nicht durch Wasserüberdruck zusätzlich belastet wird. Aufgrund von Schwierigkeiten beim Bohren im Bergsturzmateriale, welches sich als heterogenes, stark durchlässiges Lockergestein darstellte, konnten die Entwässerungsbohrungen zum Teil nur wenige Meter in den Bergsturz hinein vorgetrieben werden. Die erreichten Filterstrecken betragen zwischen ca. 3,5 m und 19,5 m. Trotz der damit geringen Filterfläche konnten nach Inbetriebnahme der 6 Entwässerungsbohrungen insgesamt zwischen ca. 85 l/s und 105 l/s gefördert werden.

Auffallend war, dass sich die Schüttmengen der einzelnen Entwässerungsbohrungen trotz der unterschiedlichen Filterfläche nicht wesentlich unterscheiden, woraus geschlossen werden kann, dass bei den vorhandenen Wasserdrücken die Schüttmenge durch den vorhandenen Innendurchmesser des Filterrohrs und nicht durch die Durchlässigkeit des Bergsturzmaterials begrenzt ist. Dies bedeutet also, dass das Schüttungspotential basierend auf der Durchlässigkeit des Bergsturzmaterials größer ist als die Förderfähigkeit der Brunnen. Bei der Wasserableitung konnten keine Suffosions- oder Erosionserscheinungen festgestellt werden, das geförderte Wasser war augenscheinlich klar und auch im Absetzbecken setzte sich kein Feinkorn ab.

Nach einer vom 12.08. bis 22.08.2011 dauernden Förderung vom Tunnel aus wurde in den nahe der Entnahmestelle liegenden Grundwassermessstellen GAP13/07, GAP15/07, GAP16/07 und GAP17/07 eine Absenkung zwischen ca. 5,2 m und 7,2 m erzielt, wobei die Absenkgeschwindigkeit der einzelnen Grundwassermessstellen über die Absenkdauer relativ einheitlich war. Nach Beendigung der Grundwasserentnahme stieg der Grundwasserspiegel wieder an und hatte bereits etwa 2 bis 3 Wochen später einen Stand erreicht, wie er außerhalb niederschlagsreicher Perioden in der Regel auftritt.

Während des Absenkversuchs ist gemäß [U2] die Sonnenbichlquelle (GAP S082) trockengefallen und die Schüttung der Hangmoorquellen (GAP S070) um maximal ca. 50 % bis 90 % zurückgegangen (vergleiche auch Abb. 3-1). Nach Beendigung der Probeabsenkung haben sich die ursprünglichen Quellschüttungen innerhalb von ca. 2 Wochen wieder eingestellt.

Die mit dem Absenkversuch erhaltenen Informationen bestätigen das in Abschnitt 3 beschriebene geologische-hydrogeologische Modell vollumfänglich.

## **5 Stellungnahme zur Frage, ob sich nach einer temporären Grundwasserabsenkung im Bergsturzgebiet langfristig die ursprünglichen Grundwasserverhältnisse wieder einstellen**

Nachfolgend wird der Frage nachgegangen, ob sich nach einer temporären Grundwasserabsenkung im Bergsturzgebiet langfristig die ursprünglichen Grundwasserverhältnisse wieder einstellen. Damit ist die zweite Frage verbunden, ob sich die Durchströmbarkeit (= Durchlässigkeit) des Bergsturzmaterials und des überlagernden Murschutts im Zuge der Bautätigkeiten bzw. der Grundwasserabsenkung ändert:

Zur zweiten Frage lässt sich zunächst aussagen, dass sich die Durchströmbarkeit des Bergsturzmaterials und des überlagernden Murschutts nur ändern würde, wenn sich die einzelnen Schichten zueinander verschieben oder wenn sich die Lagerungsdichte bzw. die Korngrößenverteilung und damit die Porenräume der Bodenschichten ändern würden. Dies wird aus folgenden Gründen nicht der Fall sein: Einerseits kann die beim Vortrieb entstehende, sehr flach und kontinuierlich verlaufende Setzungsmulde mit maximalen Setzungen von grob ca. 3 bis 4 cm nicht zu Schichtverschiebungen führen, die Auswirkungen auf die Durchlässigkeit der Bodenschichten besitzen. Weiterhin bewirkt eine Grundwasserabsenkung keine relevante Änderung der Lagerungsdichte und der Korngrößenverteilung. Daher kann begründet und sicher davon ausgegangen werden, dass sich die Durchströmbarkeit des Bergsturzmaterials und des überlagernden Murschutts nicht verändern wird.

Hinsichtlich der Frage nach der Reversibilität der Grundwasserverhältnisse ist nach derzeitiger Planung davon auszugehen, dass zum Lückenschluss des Rettungsstollens und zum Vortrieb des Haupttunnels das Grundwasser in der in Abschnitt 3 beschriebenen Bergsturzwanne temporär abgesenkt wird (Bauzeit inkl. Vorlaufzeit für Absenkung grob ca. 2,5 Jahre). Wie sich auch schon beim Absenkversuch (Abschnitt 4) zeigte, wird in dieser Zeit kein Wasser mehr über den Rand der Bergsturzwanne überlaufen. Daher ist davon auszugehen, dass die Quellen und Quellhorizonte, die sich entlang des „Wannenrandes“ erstrecken, zumindest weitgehend versiegen werden, wenn der Bergsturzaquifer entwässert wird. Damit würden ohne Ersatzwasserversorgung auch die unter den Quellen und Quellhorizonten befindlichen Hangquellmoore nicht mehr mit Quellwasser versorgt werden. Nach dem Ende der Wasserhaltung wird sich die Wanne – gemäß den Berechnungen des Planers – innerhalb von ca. 15 Monaten wieder füllen.

Da die Quellen und Quellhorizonte an die geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse im Untergrund gebunden sind und sich durch die Vortriebe weder die Lage noch die Durchströmbarkeit der Bodenschichten ändert, besteht aus geotechnischer Sicht kein Grund zu der Annahme, dass sich die Quellen und Quellhorizonte in andere Bereiche verlagern. Randbedingung hierbei ist, dass der Tunnel so erstellt wird, dass ein Abfluss entlang des Tunnels verhindert wird. Dies ist vorgesehen und erfahrungsgemäß bautechnisch sicher möglich.

Das beschriebene Verhalten deckt sich auch mit den Erkenntnissen aus dem Absenkversuch. Anhaltspunkte, dass die Erkenntnisse aus dem temporären Absenkversuch während des Baus des Erkundungsstollens nicht auf die Situation beim Vortrieb im Bergsturzgebiet übertragbar sind, sehen wir nicht, da die wasserführenden Schichten durch den Vortrieb im Bergsturzgebiet weder verlagert noch abgedichtet werden.

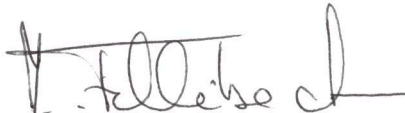
## **6 Zusammenfassung**

Mit vorliegender Stellungnahme wurde der Frage nachgegangen, ob sich nach einer temporären Grundwasserabsenkung im Bergsturzgebiet langfristig die ursprünglichen Grundwasserverhältnisse wieder einstellen werden. Hierzu wurde anhand der vorliegenden geologisch - hydrogeologischen Informationen ein Baugrundmodell erläutert: Der Bergsturzgebiet ist durch eine nach unten durch Grundmoräne und Kössener Schichten abgedichtete Wanne charakterisiert, in die durchlässiges Bergsturzmateriel eingelagert ist. Diese mit Wasser gefüllte Wanne besitzt im Südosten einen Überlauf, d.h. der Wannenrand ist dort vergleichsweise niedrig, so dass dort das Wasser aus der Wanne ab einem gewissen Grundwasserstand über den Wannenrand fließt, welches dann im Bereich der gefassten Quellen (Sonnenbichlquelle GAP S082, Hangmoorquellen GAP S070) und Quellhorizonte austritt.

Durch den Absenkversuch anlässlich des Baus des Erkundungsstollens zeigte sich, dass die Quellen versiegen, wenn der Grundwasserspiegel unter die Höhe des Überlaufs abgesenkt wird. Mit dem Wiederanstieg des Grundwassers sind allerdings die Quellen auch wieder angesprungen.

Da sich die geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse durch die Vortriebe im Bergsturzgebiet sowie die nunmehr geplante längere Absenkdauer nicht in einem praktisch relevantem Maße ändern werden, besteht aus geotechnischer Sicht kein Grund zu der Annahme, dass die Quellwassertritte versiegen oder sich verlagern werden. Vielmehr ist mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit damit zu rechnen, dass mit der Grundwasserabsenkung die Quellen trocken fallen und sie nach den Wasserhaltungsmaßnahmen und nach Abschluss der Tunnelbauarbeiten einschließlich der Abdichtung des Tunnels gegen das Gebirge wieder anspringen werden.

  
Prof. Dr.-Ing. Norbert Vogt

  
Mitarbeiter