

Donnerstag 19. Oktober 2017

14:00-14:30

Neubau Eibseebahn Zugspitze unter extremen geologisch-geotechnischen Bedingungen

Rufus J. Bertle und Heiner Bertle

GEOGNOS Bertle ZT GmbH, Kronengasse 6, 6780 Schruns

1.) Einführung:

Nach jahrzehntelangen Diskussionen zur Erschließung des höchsten Berges Deutschlands wurde in den Jahren 1928 bis 1930 (Zwischenkriegszeit!) die heute noch in Betrieb befindliche Zahnradbahn von Garmisch – Partenkirchen über Grainau, Eibsee und Riffelriß durch die Nordwand der Zugspitze auf das „Zugspitzplatt“ zum damaligen Gletscherrand des Schneeferners und von dort die Luftseilbahn vom Schneeferner zum Zugspitzgipfel neben dem Münchner Haus errichtet. Der ursprüngliche Plan, die Zahnradbahn bis auf den Gipfel der Zugspitze zu führen, musste auf Grund der geologischen Bedingungen fallen gelassen werden. Auf Grund des starken Anstieges der Besucherzahlen nach dem 2. Weltkrieg wurde in den Jahren 1960 bis 1962/1963 von bayerischer Seite die Eibseebahn als direkte Verbindung vom Eibsee zum Zugspitzgipfel errichtet. Auf Grund der örtlichen Verhältnisse und der technischen Erfordernisse konnte bei der Planung dieser Seilbahnanlage KEINE Rücksicht auf die geologischen Verhältnisse genommen werden, sondern waren nur noch Anpassungen hinsichtlich der Gründungstiefen und der Ausführung der Bergstationsfundamente in der Bauausführung möglich (siehe KÖRNER & ULRICH 1965). Die Einfahrten der beiden Spuren in der Bergstation wurden in einem Horizontalabstand von ca. 25 m errichtet, sodass zwischen diesen Einfahrten ein Felspfeiler verbleiben konnte.

Die bis 2017 bestehende Seilbahnanlage überwindet mit einer Fahrbahnlänge von 4.453 m und 2 Stützen einen Höhenunterschied von 1.949 m und ist somit hinsichtlich des überwundenen Höhenunterschiedes in einer Sektion eine „Weltrekordbahn“.

Auf Grund des starken Anstieges der Besucherzahlen und den damit verbundenen Wartezeiten während der fast 54-jährigen Betriebszeit der Eibsee-Seilbahn hat sich die Bayerische Zugspitzbahn entschieden, die bestehende Seilbahn durch eine neue größere und modernere Seilbahn zu ersetzen. Statt der bisher im Einsatz befindlichen 44-Personen-Kabinen sollen nunmehr 120-Personen-Kabinen eingesetzt werden und damit die Förderkapazität der Seilbahnanlage mehr als verdoppelt werden. Die neue und ab Ende 2017 in Betrieb befindliche Seilbahn Zugspitze weist folgende Kenndaten auf

Errichtung 2015 - 2017: 120 Personen je Kabine

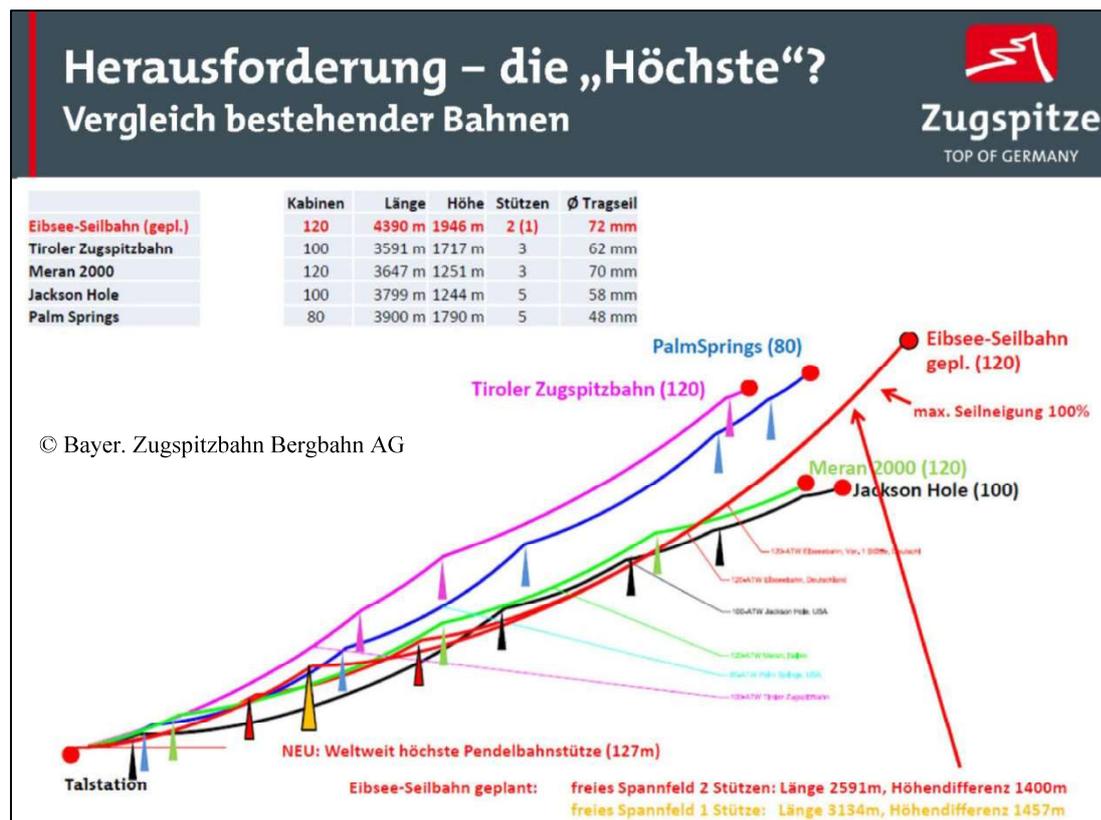
Gesamtlänge: 4.466,90 m

Höhenunterschied: 1.945,25 m (! – größter Höhenunterschied in einer Sektion weltweit)

Fahrgeschwindigkeit: 10,6 m/s = 36 km/h

Spurweite durchgehend: ca. 10 bis 14 m

Eine Stahlfachwerkstütze mit 127 m Höhe (derzeit höchste Stahlfachwerkstütze für Pendelbahnen in der Welt)



Die Errichtung der neuen Bergstation erfolgte unter Aufrechterhaltung des Bahnbetriebes auf der bestehenden Seilbahnanlage in den Jahren 2015 bis 2016, die Errichtung der Gesamtanlage in den Jahren 2015 bis 2017.

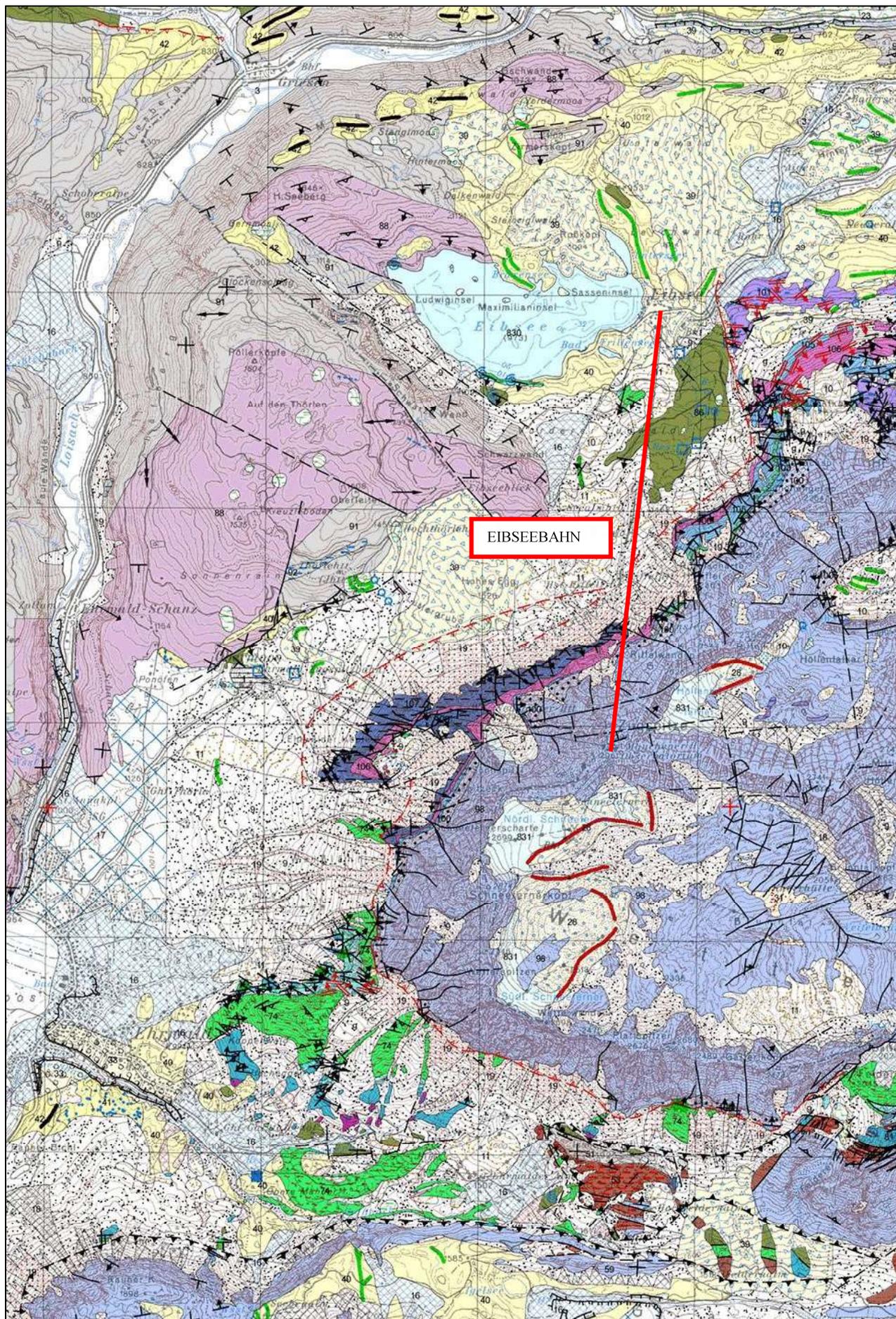
2.) Geologische Übersicht:

Das Zugspitz-Massiv ist gem. TOLLMANN Teil der Lechtaldecke der Nördlichen Kalkalpen und ist als Teilscholle der Lermooser Synklinale der Lechtaldecke aufgeschoben. Betrachtet man – ohne Berücksichtigung der lokalen geologischen Verhältnisse weiter im Osten – das Zugspitzmassiv im Profil Eibsee – Ehrwalder Alm alleine, so wäre auch eine Zuordnung zur Inntaldecke (Tirolikum) möglich.

Auf Grund des Schuppen- bzw. Deckenbaues sind daher im Bereich der Talstation der neuen Eibseebahn jüngere Gesteine zu erwarten als an der Bergstation. Der Festgesteinsuntergrund im Bereich der Talstation wird von Tonschiefern und Mergeln der Kössen-Formation gebildet, die im Fußbereich der Nordwand der Zugspitze von der normal aufrechten Schichtfolge „Alpiner Muschelkalk“ – Wettersteinkalk überlagert wird.

Von der Talstation bis zum Fuß der Nordwand der Zugspitze ist der Felsuntergrund großflächig von Lockergesteinen verdeckt. Es handelt sich hier insbesondere um locker gelagerten holozänen Hangschutt unmittelbar an den Felswandfuß anschließend und um Ablagerungen des „Eibsee-Bergsturzes“ und spätglaziale Moräne.

Der Eibseebergsturz entstammt der Zugspitz-Nordwand unmittelbar unterhalb der bestehenden und neuen Bergstation und weist ein geschätztes Bergsturzvolumen von ca. 300 Mio. m³ auf und ist ca. 3.700 a v.h. abgegangen (JERZ & von POSCHINGER 1995).



Der Gipfelbereich der Zugspitze befindet sich nahe 3.000 m ü.M., ist von Gletschern umgeben und befindet sich daher im Permafrostbereich. Permafrost wurde auch beim Bau der Eibseebahn 1960 und bei den Tunnelbauten für die Verlegung der Zahnradbahn am „Platt“ angetroffen.

3.) Geologische Verhältnisse bei der neuen Seilbahnanlage:

Die hervorragende geologische Dokumentation und Baubegleitung der Eibseebahn beim Bau 1960 bis 1962 durch Hr. Dr. Roland ULRICH in Verbindung mit den seit ca. 2007 ausgeführten Permafrostmessungen in 2 Bohrlöchern am Zugspitzgipfel durch das Bayerische Landesamt für Umwelt bildete zusammen mit der eigenen geologisch-geotechnischen Erkundung und Gefügebildung die Grundlage für die geologisch-geotechnische Beurteilung der neuen Seilbahnanlage.

In der Planungsphase für die neue Seilbahnanlage wurden die vorhandenen Literatur- und Bauunterlagen ausgewertet und durch je ein bis zwei Schurfschlitze im Bereich der neuen Talstation sowie der Stütze 1 ergänzt. In der Nord- und Südwand wurden im Seil hängend ergänzende Gefügebildungen ausgeführt. Zusammenfassend wurde festgehalten, dass die Gründung der Talstation und der Stütze 1 im Lockermaterial erfolgen wird, während in der Bergstation auf Grund der Gefügebildung umfangreiche Ankerungen zur Gewährleistung der Stabilität der neuen und bestehenden Seilbahnanlage erforderlich werden.

3.1) Talstation und Stütze 1

Im Zuge der Bauausführung wurde im Bereich der **Talstation** überraschenderweise stellenweise die Unterlagerung der Felssturzmasse freigelegt. Das Felssturzmaterial aus Wettersteinkalk (gemischtkörniges Kies mit zahlreichen Steinen und Blöcken) wird durch eine grau-ockerfarbene stark bindig-lehmige Moräne mit zahlreichen Holzeinlagerungen (Baumstämme bis 70 cm Durchmesser) unterlagert. Diese Baumstämme wurden auf ca. 3.150 a v. h. (cal.) datiert und sind damit jünger als die bisher bekannten C-14-alter. Die feinkörnige Moräne weist geringe Scherfestigkeit auf, allerdings ist die Gleitsicherheit der Talstation auf Grund der großen Masse trotzdem mit großer Sicherheit gegeben.



Baumstämme im Bereich der Talstation

Die Gründung der **Stütze 1** mit ihren vier Stützenfüßen erfolgte wie erwartet vollflächig in gemischtkörniger Felssturzmasse ohne besondere geotechnische Maßnahmen (Schwergewichtsfundamente).

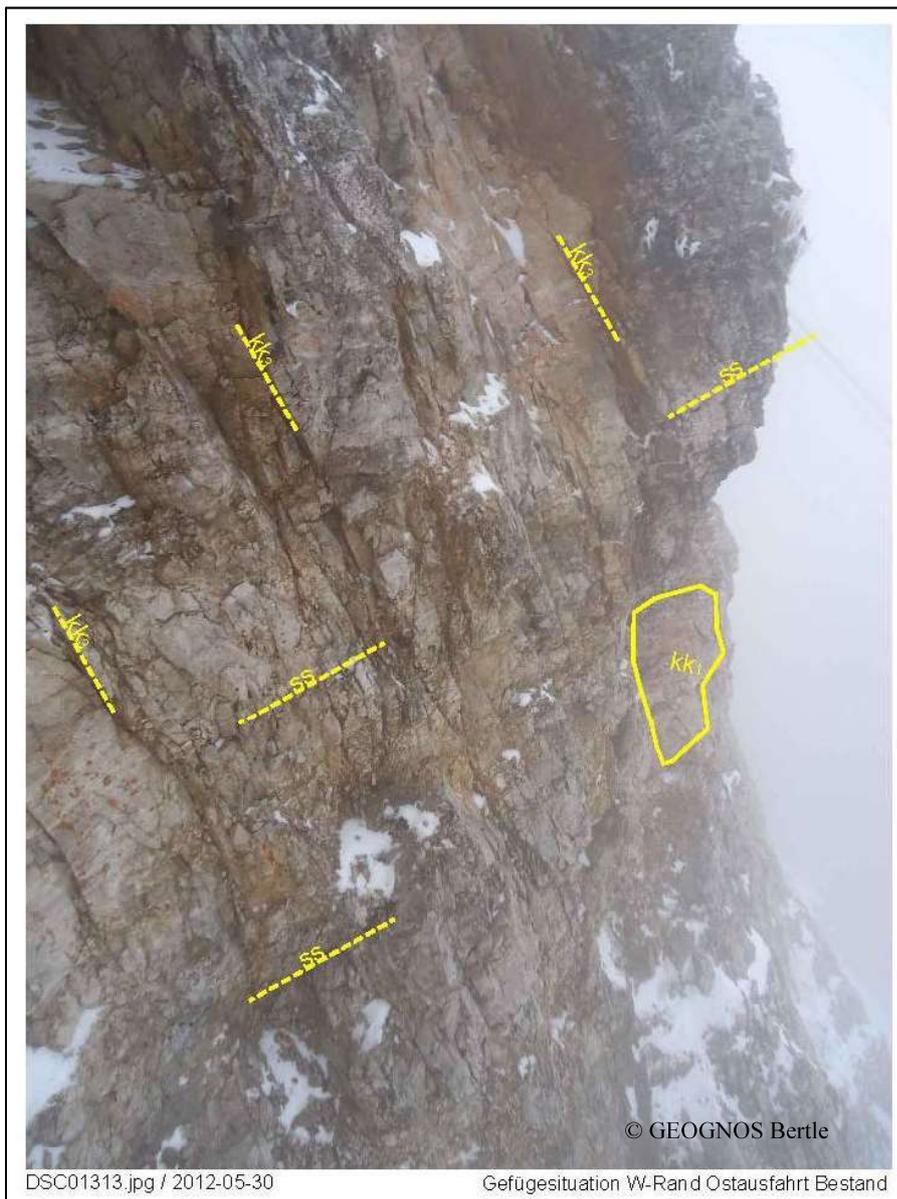


Aufstandsfläche Fundament Stütze 1

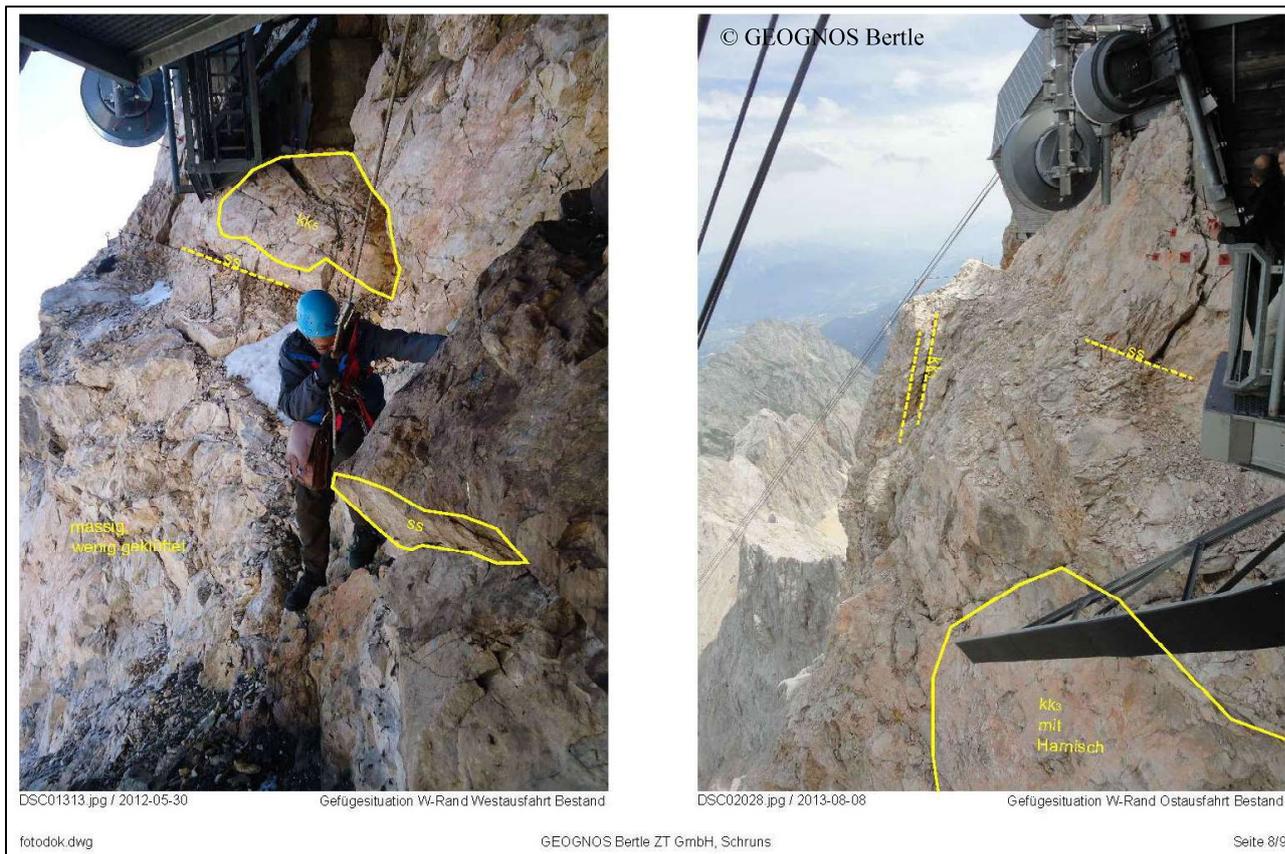
3.2. Bergstation

Genauere Untersuchungen des Gipfelbereiches erfolgten seit den 1920-er Jahren (KNAUER, KÖRNER & ULRICH, bei denen unter anderem die intensive Zerlegung des Gesteins (Reibungsbreccien) im Bereich von Großstörungen erkannt wurde. In diesen Reibungsbreccien ist Eis enthalten, sodass schon frühzeitig Kenntnis von Permafrost erlangt wurde.

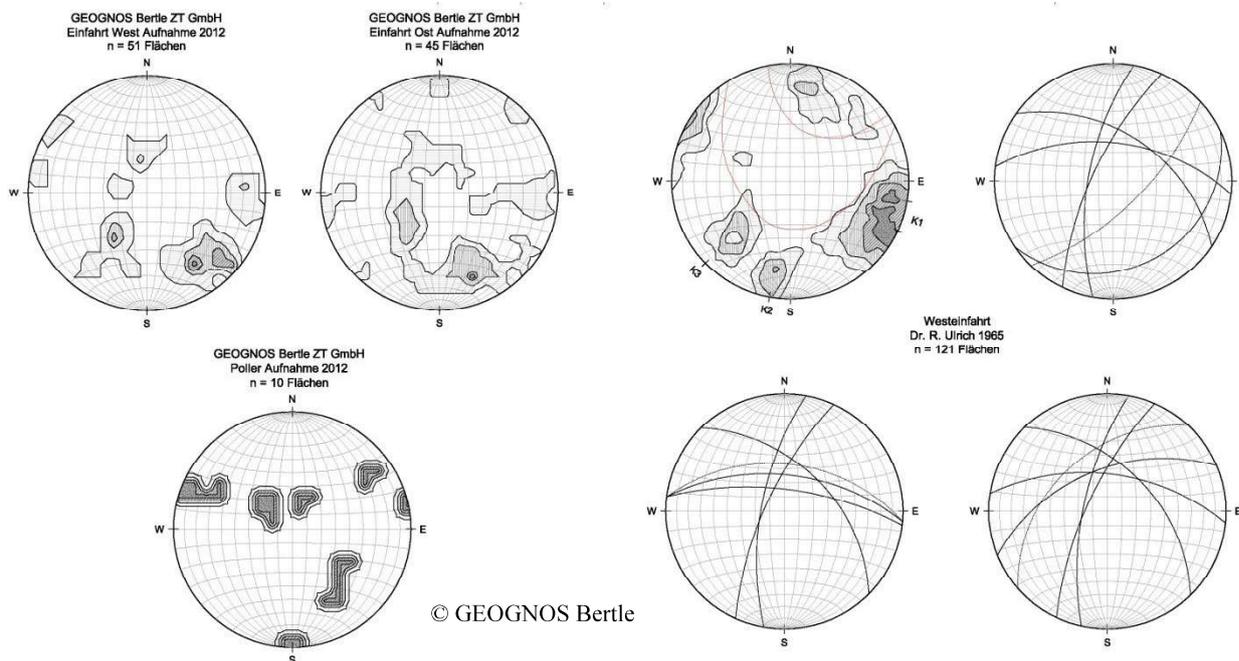
Dominierende Gefügeelemente der Wettersteinformation sind die Sedimentäre Schichtung, die +/- flach bis mittelsteil gegen S bis SE einfällt und die dem Faltenbau zuordenbaren Klüfte.



Gefüge in der Nordwand



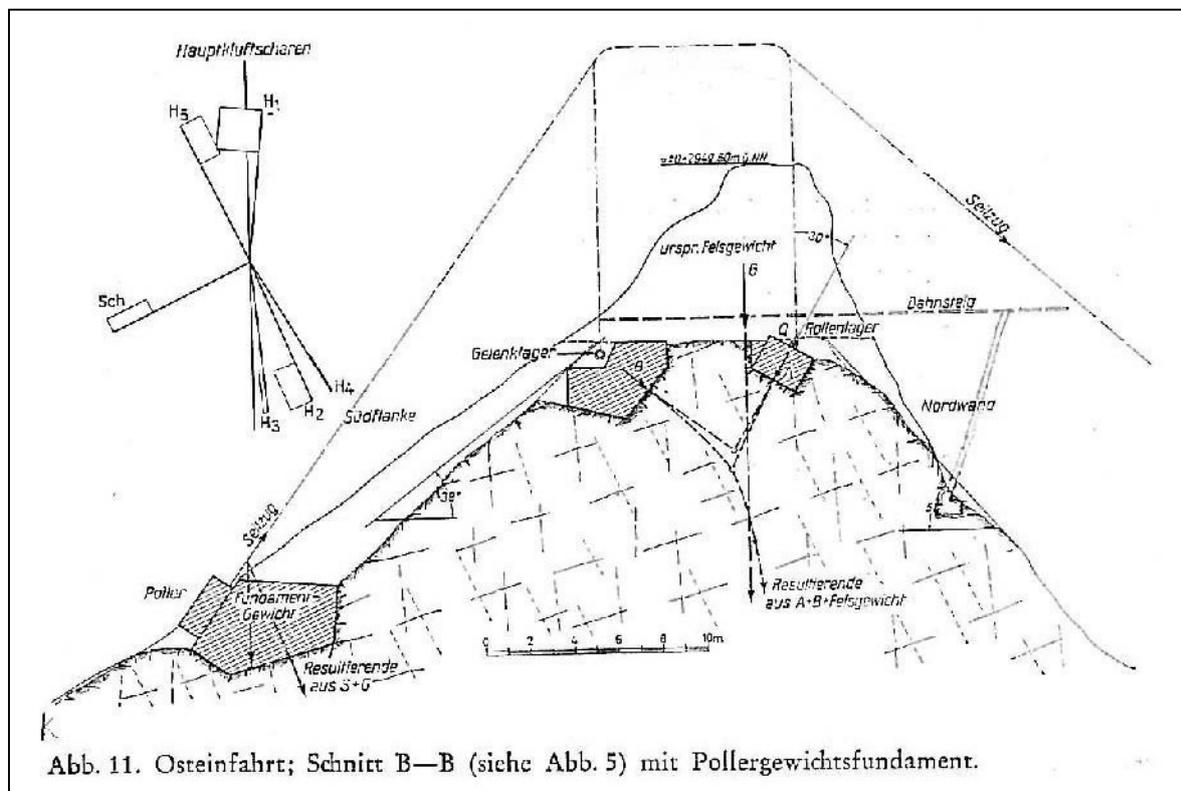
Gefüge(aufnahme) in der Nordwand



Lagenkugeldarstellung des Gefüges im Bereich der Westeinfahrt

Schon die früheren Bearbeiter, insbesondere auch Hr. Dr. ULRICH erkannten, dass jene Klüfte, die in der unterhalb der Bergstation liegenden Ausbruchsnische des Eibsee-Bergsturzes in der Nordwand der Zugspitze ausstreichen, als stabilitätsmäßig entscheidend beachtet werden müssen. Der Lasteintrag aus

der Seilbahn in das Gebirge muss so erfolgen, dass diese Klüfte auf Grund der zusätzlichen Last nicht durchscheren. Dieses Konzept ist im u.a. Profilschnitt von Hr. Dr. Ulrich dargestellt. Die aus der Seilbahn resultierenden Kräfte beim Abspannpoller müssen über Reibung und Anker in das Gebirge eingeleitet werden. Die Ankerung muss auf das Gefüge Rücksicht nehmen:



ULRICH, R. (1965 – Geol. Bavarica)

Die ergänzenden geologische Aufnahmen (Gefüge) mit Abseilen in die Nordwand bestätigen die früheren Aufnahmen und Beurteilungen vollumfänglich.

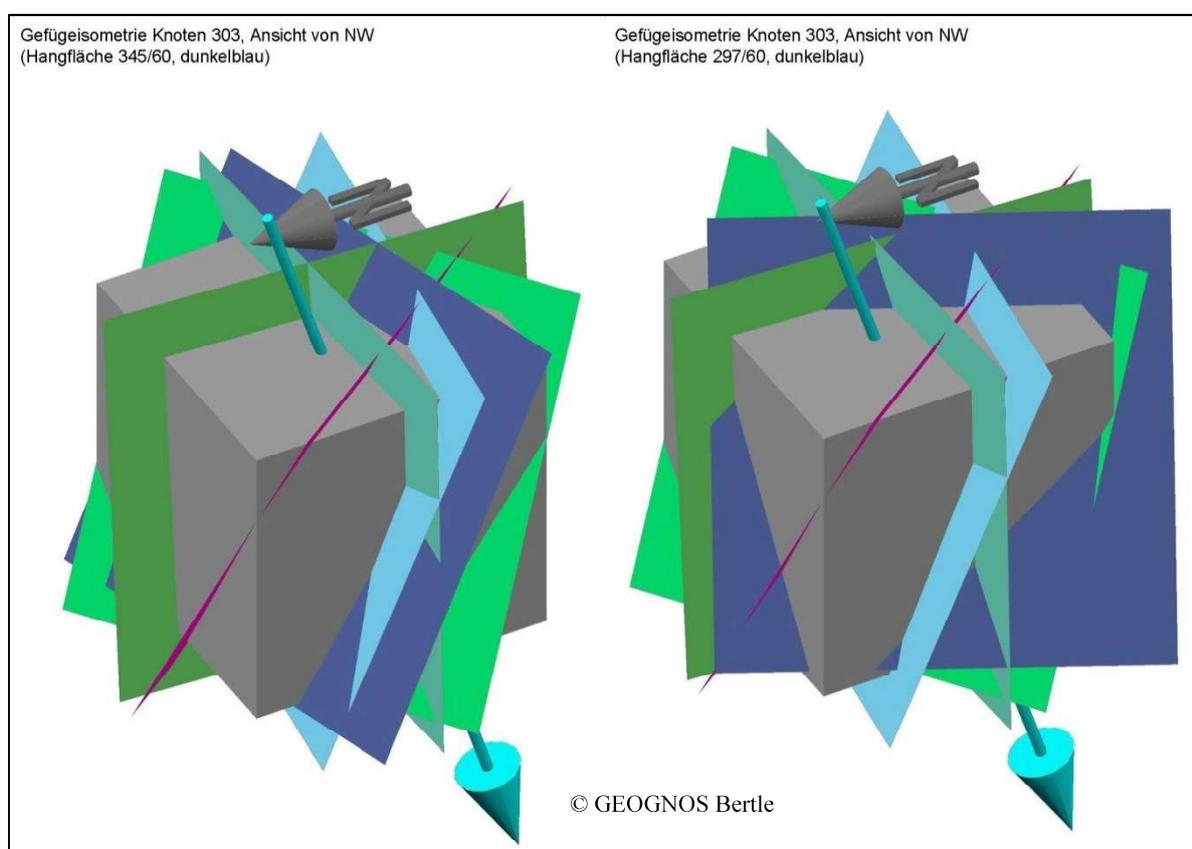
Temperaturmessungen in 2 Forschungsbohrungen wenig östlich unterhalb der in Ausführung befindlichen Bergstation zeigen ein geringes jahreszeitliches Auftauen auf der Nordseite (ca. 2m Tiefe). Auf der Südseite ist das Gebirge tief hinein (> 10 m) aufgetaut und gefriert bzw. taut jahreszeitlich nur oberflächennah. Seit Beginn dieser Temperaturmessungen sind keine Änderungen der Auftaugrenzen des anzjährig gefrorenen Gratkernes eingetreten.

Die neue Bergstation wurde zwischen den beiden Fahrbahnen des Bestandes errichtet. Die Lasten sind wesentlich größer (ca. 3 bis 4-mal so groß als beim Bestand) bzw. müssen bis zu 20.000 kN je Fahrbahn in das Gebirge übertragen werden.

Auf Grund des Gefüges wurden die Einbindetiefen von GEOGNOS Bertle ZT GmbH festgelegt. Lasten müssen bergseits der kritischen Klüfte mit gefüge-angepasster Krafrichtung in das Gebirge eingeleitet werden. Es wurde ein möglichst kleinvolumiger und gefügeschonender Sprengabtrag mit

Erschütterungsmessung an maßgeblichen Überwachungspunkten (Bestandsbergstation, Münchener Haus) vorgeschrieben und durchgeführt.

Die Planung für die Bewilligung der Seilbahnanlage wurde in statischer Hinsicht von DI Alfred BRUNNSTEINER (Natters), in geologisch-geotechnischer Hinsicht von GEOGNOS Bertle ZT GmbH ausgeführt. Die Planung lehnt sich an die Konstruktion aus 1960 an. Die Ausführungsplanung in statischer Hinsicht erfolgte nach Vergabe der Seilbahnkonstruktion an DOPPELMAYR / Garaventa durch BAUCON ZT GmbH, die geologisch-geotechnische Planung wiederum durch GEOGNOS Bertle ZT GmbH. Gegenüber der Bewilligung musste die Station in statischer Sicht aus verschiedenen Gründen (z.B. Brandschutz) völlig umgeplant werden, während die geologisch-geotechnischen Vorgaben hinsichtlich der stabilitätsentscheidenden Klüfte unverändert blieben:



Gefügeisometrien in Auflagerpunkten auf der Nordseite

Das ausgeführte Konzept von BAUCON ZT GmbH sieht 2 Pollerschächte auf der Nordseite des Gipfelgrates vor, die über vorgespannte „Druckriegel“ auf die Südseite hin gesichert werden. An den Pollerschächten werden die Tragseile der neuen Seilbahn befestigt, ebenso die Stahlkonstruktion der neuen Bergstation inkl. neuem Restaurant. Diese Lasten werden über die Druckriegel auf die Südseite des Gipfelgrates abgeleitet und über einen „A-Bock“ in das Gebirge eingeleitet.

Das ausgeführte Konzept der beiden Pollerschächte auf der Nordseite des Gipfelgrates erforderte wesentlich tiefer reichende Baugrubenaushübe (wegen der kritischen Klüfte) und damit verbunden wesentlich umfangreichere Sprengabträge und Baugrubensicherungen als bei der Bestandsbahn.

Baufotos SÜDSEITE



Beginn 2015



Litzenanker Zugfundament

Baufotos NORDSEITE:



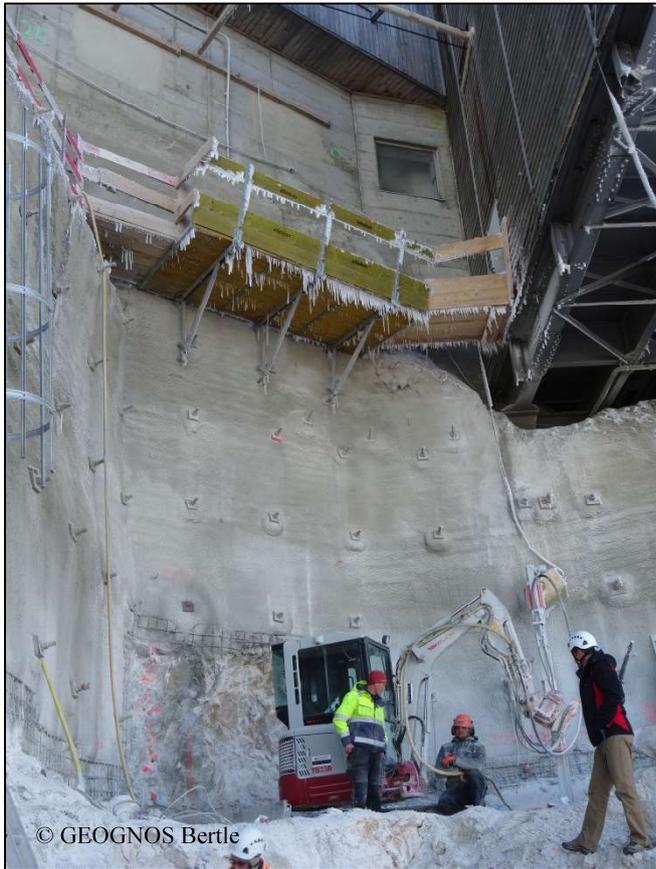
Baustelle Bergstation Nordseite



Kranfundament Nord



Abtrag Poller WEST



Baugrube Poller West



Offene Kluft Baugrube Poller WEST



Aufstandsfläche Poller OST, Kluft mit Permafrosteis



Bergstation in Ausführung (Nordseite)