

# Die geologischen Verhältnisse beim Vortrieb des Meistertunnels Bad Wildbad/Nordschwarzwald

Von RALF J. PLINNINGER & KUROSCH THURO<sup>1</sup>

Mit 12 Abbildungen und 1 Tabelle

## Kurzfassung

In den Jahren 1994 bis 1996 wurde als Teilortsumfahrung der Kurstadt Bad Wildbad im Schwarzwald der insgesamt 1684 m lange Meistertunnel vorgetrieben. Der Vortrieb durchörterte in seiner gesamten Länge klastische Sedimentfolgen des Perms, die bisher im Untersuchungsgebiet kaum aufgeschlossen waren. Die Dokumentation der angetroffenen geologischen Verhältnisse läßt eine erstmalige, detaillierte Beschreibung der permischen Ablagerungen im Raum Bad Wildbad zu. Es lassen sich überwiegend grobklastische Sedimente (Fanglomerate, Sandsteine, Ton-Schluffsteine) in typischer Rotliegend-Fazies (Oberes Rotliegend, Zechstein) von Sandsteinen der Tigersandstein-Formation (Zechstein) unterscheiden. Ein geringmächtiger, konkretionärer Karneoldolomithorizont mit vereinzelt, porzellanfarbigen Karneolschnüren konnte dabei innerhalb der Rotliegend-Fazies nachgewiesen werden.

## Abstract

In 1994 to 1996 the 1684 m long „Meistertunnel“ was built as a traffic bypass for Bad Wildbad, a health resort located in the Northern Blackforest. Throughout the tunnel's total length the excavation-works encountered mostly unknown clastic Permian sediments. The geological documentation of the situation during the advance work allowed for the first time a detailed description of the local Permian stratigraphic sequence. Clastic sediments (fanglomerates, sandstones, siltstones) of typical „Rotliegend“-appearance (Upper Rotliegend, Zechstein) can be distinguished from sandstones of the „Tigersandstein“-formation (Zechstein). In the „Rotliegend“-sediments layers of calcrete, a so-called „Karneoldolomit“-horizon was revealed, consisting of both dolomite and light yellow coloured „Karneol“ (cryptocrystalline silica).

## 1 Einleitung: Meistertunnel Bad Wildbad

Der Thermalkurort Bad Wildbad im Schwarzwald, der auf eine über 600 Jahre alte Kurtradition zurückblicken kann, liegt im Herzen des Nordschwarzwalds, etwa eine halbe Autostunde S Pforzheim (Baden-Württemberg). Die Enge des rund 300 m tief eingeschnittenen Enztales führt dazu, daß im Ort selbst die Interessen von Individualverkehr und ruhesuchendem Kurgast auf engstem Raum kollidieren. Zur Verbesserung des Kurambientes wurde bereits in den frühen 60er Jahren das Konzept einer immis-sionsverringenden Teilortsumfahrung geboren, für die 1991 die Planfeststellung abgeschlossen werden konnte. Die im September 1994 begonnenen Vortriebsarbeiten für den 1338 m langen Hauptabschnitt in bergmännischer Bauweise konnten schließlich Ende 1996 abgeschlossen werden. Der Anfang Juni 1997 dem Verkehr übergebene, zweispurige „Meistertunnel“ umfährt heute den Kurort in einem insgesamt 1684 m langen S-förmigen Bogen im Westhang des 720 m ü.NN gelegenen „Meisterrückens“ (Abb. 1).

Tab. 1: Wichtige Projektdaten des Meistertunnels in Kurzform.

Übersicht	Meistertunnel/Bad Wildbad
Zweck	Ortsumfahrung der L 350
Länge	1684 m, davon 1338 m bergmännisch
Vortriebsweise	Neue Österreichische Tunnelbauweise, konventioneller Bohr- und Sprengvortrieb
Ausbruchsquerschnitt	Kalotte ca. 45 m <sup>2</sup> , Größter Gesamtquerschnitt (Lüfterkaverne) bis 140 m <sup>2</sup>
Bauzeit (Vortrieb)	September 1994 bis Oktober 1996
Bauherr	Stadt Bad Wildbad (mitfinanziert durch Bund und Land Bad.-Württ.)
Planung	ILF Beratende Ingenieure, München
Bauausführung	Arbeitsgemeinschaft Entlastungstunnel Bad Wildbad: Beton- und Monierbau, Heitkamp, Stetzler Ingenieur- und Tiefbau

<sup>1</sup>Dipl.-Geol. R.J. Plinninger, Dipl.-Geol. Dr. rer. nat. K. Thuro, Lehrstuhl für Allgemeine, Angewandte und Ingenieur-Geologie, Technische Universität München, Lichtenbergstr. 4, 85747 Garching.

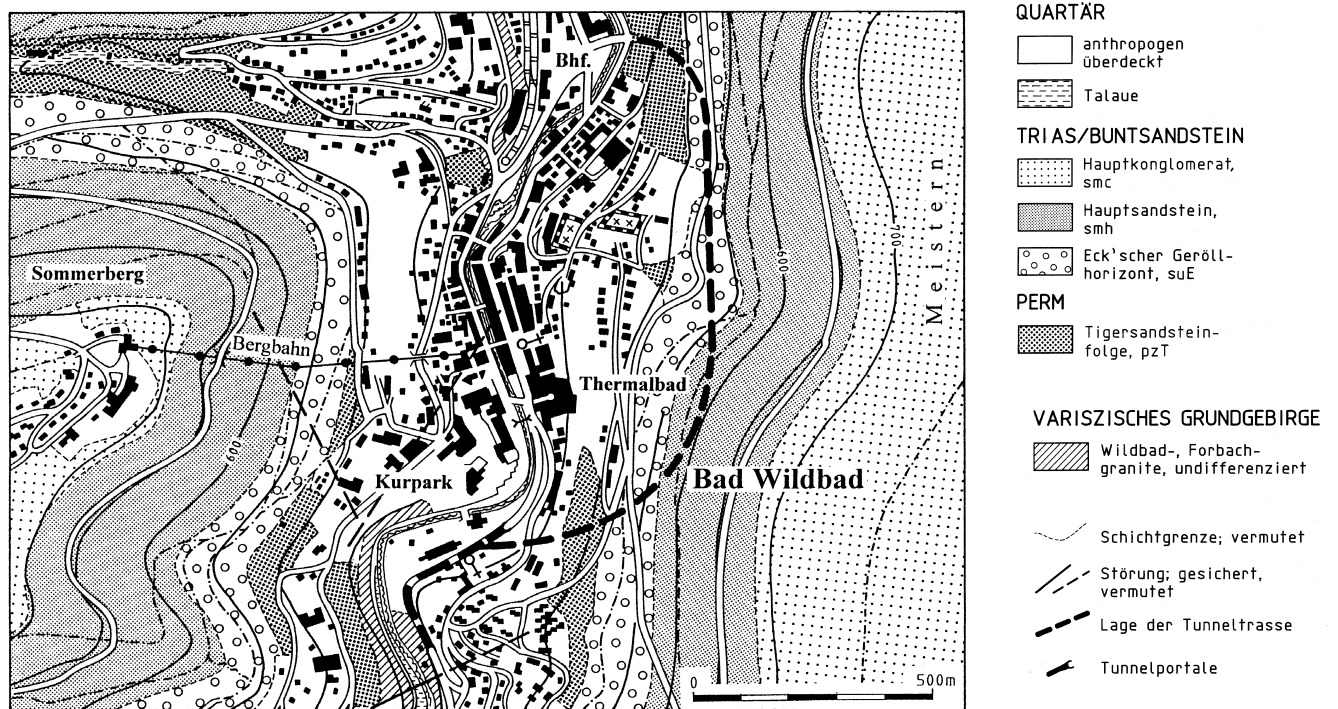


Abb. 1: Geologische Übersichtskarte von Bad Wildbad im Schwarzwald mit der Lage des Meisterntunnels (umgezeichnet nach PLINNINGER 1997).

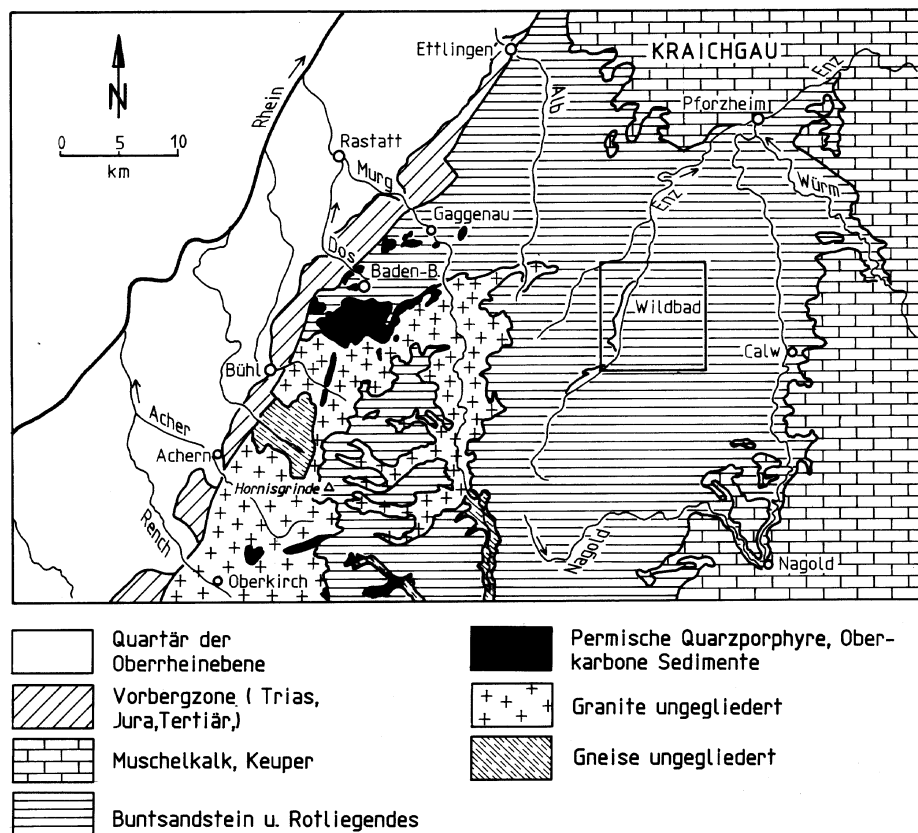


Abb. 2: Geologisch-petrographische Übersichtskarte des nördlichen Schwarzwalds (umgezeichnet nach METZ, 1977, Abb. 3, S. 13).

## 2 Geologisch-geographischer Überblick

Die Übersichtskarte (Abb. 2) veranschaulicht die Lage Bad Wildbads im, geologisch auch als „Buntsandsteinschwarzwald“ bezeichneten, östlichen Teil des Nordschwarzwalds.

Die ursprünglich vermutlich bis zum Malm reichende Schichtfolge wurde im Raum Wildbad seit der Kreide erodiert. Die heute ausgeprägt eben verlaufende Hochfläche der Enz-Nagold-Höhen verdankt ihre Entstehung zum einen der leichten Erodierbarkeit der überwiegend tonig-schluffigen Ablagerungen des Oberen Buntsandsteins (Röt), zum anderen den überaus verwitterungsresistenten Sandsteinen des Hauptkonglomerats (smg) des Mittleren Buntsandsteins. Im Untersuchungsgebiet fehlen die Schichtglieder des Oberen Buntsandsteins aufgrund großräumiger Erosion völlig, während die „wetterfeste Decke“ des meist gut silikatisch zementierten Hauptkonglomerates die Plateaus der Erhebungen bildet. Infolge Rheingraben-Entwicklung weist die Schichtfolge eine NE Neigung von nur wenigen Grad auf.

Die noch vorhandenen Buntsandstein-Sedimente des Schwarzwalds werden gegen E nur noch in den Flußtälern der Nagold (bei Liebenzell) und der Großen Enz (bei Bad Wildbad) bis auf ihr Liegendes „durchnagt“. Dort, wo die meist rot gefärbten Sand- und Ton-Schluffsteine nicht direkt dem Grundgebirge aufliegen, zeigen sich auch ältere - permische - Ablagerungen, das sog. „Rotliegende“. Im Liegenden dieser klastischen Sedimente treten im Untersuchungsgebiet der sudetisch intrudierte Wildbadgranit sowie die asturisch datierten Forbachgranite (DRACH et al. 1974) auf, die beide dem „Nordschwarzwälder Granitmassiv“ zugerechnet werden. Besondere Bedeutung für den Thermalort besitzt der Forbachgranit als Träger der fluoridhaltigen Akrato-Thermen: Ausschließlich aus geöffneten Klüften dieses Zweiglimmergranites strömen den Tiefbohrungen der Kuranlagen heute täglich rd. 1200 m<sup>3</sup> des im Mittel etwa 40 °C warmen Thermalwassers zu.

## 3 Lokale geologische Verhältnisse

Der Meisterntunnel liegt in der gesamten Länge seines bergmännischen Abschnitts in klastischen Sedimenten des Perms (siehe Abb. 3). Die Lage der Tunneltrasse sowie deren Gradienten wurden dabei aufgrund der Voruntersuchungsergebnisse so gewählt, daß ein Anfahren des thermalwasserführenden Grundgebirges im Liegenden verhindert werden konnte: Da die Trasse die engeren Heilquellenschutzgebiete (HQSG II-IV) durchquert, war im Falle eines „Anschneidens“ einer Granitschwelle eine qualitative und quantitative Beeinflussung der Thermen zu befürchten (siehe auch WENDT 1997).

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse stützen sich auf die im Auftrag der ARGE Entlastungstunnel durchgeführte, ingenieurgeologische Tunneldokumentation sowie die im Rahmen einer Diplomarbeit angefertigte geologische Kartierung des weiteren Projektareals im Maßstab 1:10.000 (PLINNINGER 1997)

Bei der Dokumentation der geologischen Verhältnisse konnten aufgrund ihrer unterschiedlichen lithofaziellen und geomechanischen Eigenschaften die folgenden beiden Einheiten unterschieden werden:

Im Liegenden: Gesteine der Rotliegend-Fazies, pzR, die bisher als „*Oberes Rotliegend*“ bezeichnet wurden und jetzt stratigraphisch dem höheren Perm (Oberes Rotliegend (?) und Zechstein) zugeordnet werden. Es handelt sich hierbei um meist ungeschichtete, überwiegend grobklastisch ausgebildete, terrigene Sedimente von fast ausschließlich dunkelroter Farbe.

Diese Schichten nahmen bis etwa Baustation 200 m den gesamten Querschnitt des Tunnels ein und wanderten dann aus dem Kalottenquerschnitt heraus. Sie verlassen den Querschnitt jedoch nie gänzlich.

Im Hangenden: Gesteine der Tigersandstein-Formation, pzT, früher als „*Unterer Buntsandstein*“ bezeichnet. Diese intern deutlich feingeschichteten, grauen und hellroten Sandsteine sind zeitlich ebenfalls ins Perm (Zechstein) zu stellen.

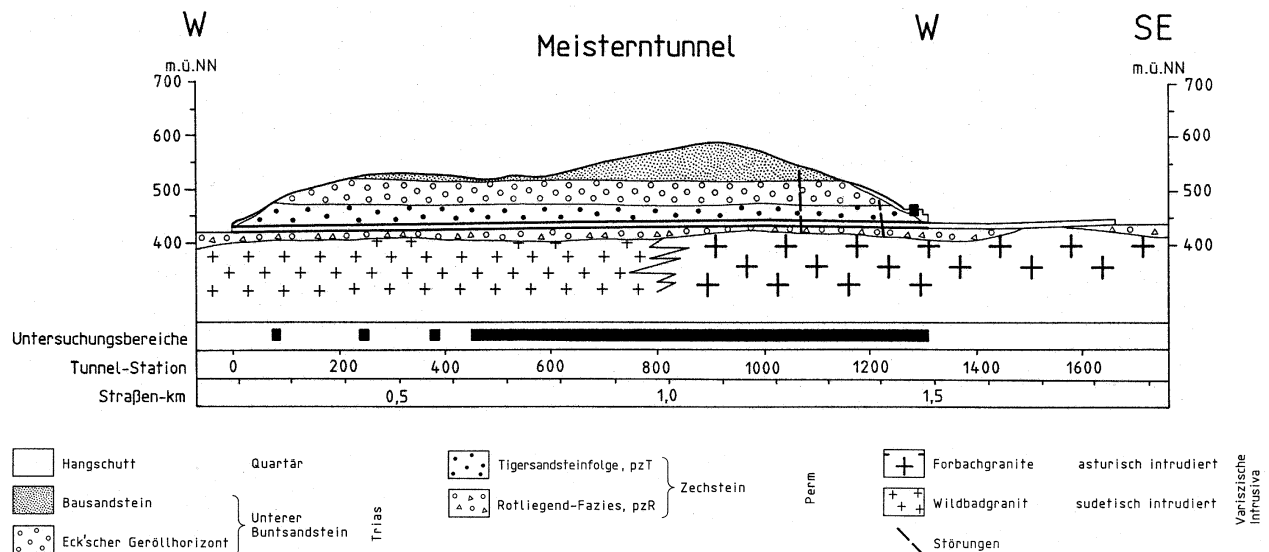


Abb. 3: Schematisches Gesamtprofil zur geologischen und bautechnischen Situation des Meisterntunnels.

### 3.1 Perm in Rotliegend-Fazies

#### 3.1.1 Mächtigkeit

Die Sedimente in Rotliegend-Fazies treten diskordant über den variszischen Graniten auf. Die Erosionsfläche im Liegenden der Sedimente repräsentiert dabei eine Erosionsphase von fast 20 Mio. Jahren, in denen metamorphes Nebengestein und Intrusiva von vermutlich mehreren km Mächtigkeit der Abtragung zum Opfer fielen. Obertägige Kartielergebnisse und Bohrungen weisen auf ein ausgeprägtes, kleinräumiges Relief mit z.T. nur wenige 100 m messenden Senken und Schwellen hin (siehe Abb. 3). Die Mächtigkeit der Rotliegend-Fazies schwankt infolgedessen erheblich, von 0 m über Schwellen bis maximal etwa 25 m in Senkenbereichen.

#### 3.1.2 Gesteinsausbildung

Da die zumeist tonig-schluffig gebundenen Sedimente im Untersuchungsgebiet an der Oberfläche nur sehr selten aufgeschlossen sind, boten erst die Vortriebsarbeiten untertage einen Einblick in die Abfolge permischer Sedimente. Zur Verdeutlichung dient die schematisierte Schichtsäule in Abb. 4. Anhand dieser Schichtsäule lassen sich lithofaziell fünf Horizonte unterscheiden, die im Folgenden vom Liegenden zum Hangenden als pzR<sub>1</sub> bis pzR<sub>5</sub> bezeichnet werden.

pzR<sub>1</sub>-“Basisfanglomerate“: Grobkörnige, meist dunkelrot-violett gefärbte Fanglomerate. Als Komponenten finden sich v.a. eckige bis kantengerundete Granitbruchstücke überwiegend wohl lokaler Herkunft (Wildbad- und Forbachgranit-Bruchstücke) bis über 3 cm Durchmesser. In Bohrungen und an der Oberfläche gefundene Komponenten zeigen, daß an der Basis auch Bruchstücke bis 10 cm Durchmesser keine Seltenheit darstellen. Das Bindemittel der überwiegend matrixgestützten Gesteine ist tonig-schluffig-sandig. Beobachtungen im Rasterelektronenmikroskop (REM) weisen auf ein insgesamt lockeres Gefüge mit hohem Porenanteil hin. Lagenweise angereicherte Grobklasten und sandig-kiesige Lagen zeichnen in den schichtfugenfreien Fanglomeraten die ursprüngliche Schichtung nach. Vereinzelt treten grünlich verfärbte Bereiche und Partien mit weißem, karbonatischem Bindemittel auf. Die Basisfanglomerate können Mächtigkeiten von knapp 10 m erreichen.

pzR<sub>2</sub>-„Karneoldolomithorizont“: Hierbei handelt es sich um kompakte, hellgraue Dolomitkonkretionen, die knollig-schlierige und lagige Aggregate bilden. Eine solche Lage konnte beispielsweise bei ihrer Freilegung im Sohlbereich des Tunnels zwischen Baustation 550 m und 600 m über dutzende Meter verfolgt werden. Der Karneoldolomithorizont trat während des Vortriebes in Verbindung mit den hellgrau bis weiß gefärbten, mürben Grobsandsteinen des pzR<sub>3</sub> („weißer Grobsandsteinhorizont“) auf. Vergesellschaftet mit den sehr festen Dolomitkonkretionen sind auch porzellanfarbige, mm-dünne Schlieren aus kryptokristallinen Quarz („Karneol“).

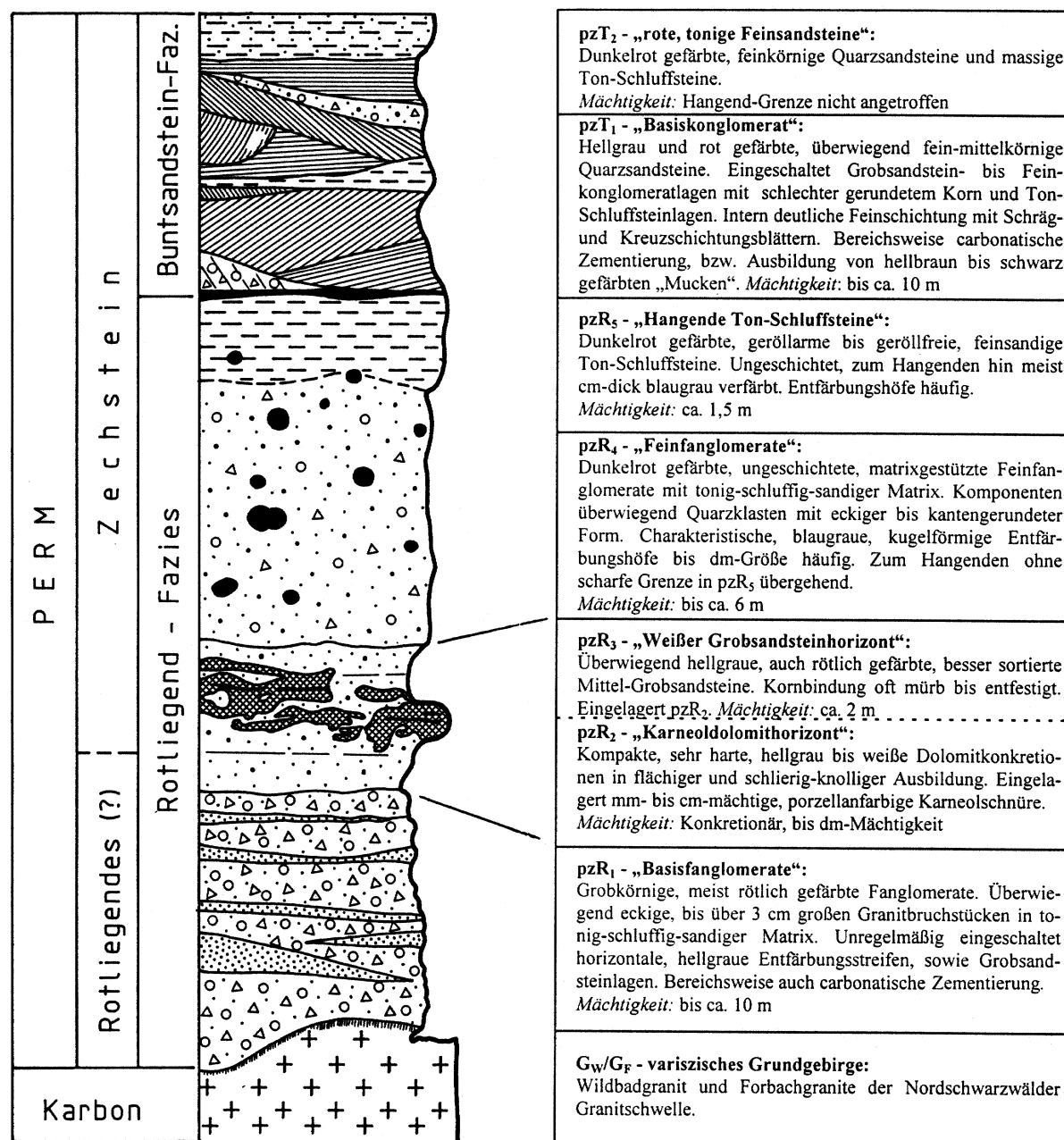


Abb. 4: Zusammengesetzte, schematische Schichtsäule der Gesteinsabfolge während des Meisterntunnel-Vortriebs.

Wie REM-Aufnahmen (siehe Abb. 5) zeigen, ist die carbonatische Zementation dabei in den Konkretionen nahezu vollständig. Im Zuge der geologischen Beweissicherung durchgeführte felsmechanische Untersuchungen wiesen Gesteinsdruckfestigkeiten von bis zu 150 MPa nach. Der pzR<sub>3</sub> erreicht mit eingelagertem Karneoldolomithorizont eine Mächtigkeit von bis etwa 2 m, wobei die - bereichsweise auch auskeilenden - Dolomitlagen selbst mehrere dm mächtig werden können. Der Nachweis eines dolomitisch und silikatisch ausgebildeten Karneoldolomithorizontes im Raum Bad Wildbad stellt bis heute eines der nördlichsten Vorkommen im Schwarzwald dar.

Die Genese dieser Konkretionen als fossile Caliche-Krusten („alte Landoberfläche“) ist eng mit den semiariden Umweltbedingungen verknüpft, die im Untersuchungsgebiet zur Zechsteinzeit geherrscht haben müssen. Nach Untersuchungen von RÖPER (1980) im Mittelschwarzwald darf davon ausgegangen werden, daß sich durch ein Zusammenspiel von Lösungen verschiedenster Herkunft zunächst calcitische Krusten an der permischen Landoberfläche bildeten. Als Lieferanten für die benötigten Ionen können dabei sowohl azsendente (in Verwitterungsprozessen mineralisierte Lösungen und hydrogencarbonathaltige Bodenwässer) als auch deszendente Lösungen (wie mineralisierte Niederschläge, carbonathaltiger Staub oder Nebel) in Betracht gezogen werden (Abb. 6). Vermutlich frühdiagenetisch erfolgte dann eine Dolomitisierung der Kalkkrusten sowie die Bildung der Karneole durch lokale Ausfällung gelöster Kieselsäure. RÖPER vertrat 1980 aufgrund klimatologischer Schlußfolgerungen die Meinung, daß die Karneolhorizonte an der Perm/Buntsandstein-Grenze terrestrische Äquivalente zur marinen Zechstein-Entwicklung sind - eine Auffassung, die heute angesichts der Befunde von Gamma-Strahlungsmessungen und magnetochronographischen Methoden gesichert scheint (GEYER & GWINNER 1986, S. 61; WALTER 1994, S. 364). Diese eindeutige, zeitliche Zuordnung gibt dazu Anlaß, in vorliegender Arbeit die Schichtglieder pzR<sub>2</sub>-pzR<sub>5</sub> stratigraphisch dem Zechstein zuzurechnen. Für die Basisfinglomerate pzR<sub>1</sub> kann ein Rotliegendanteil weder sicher nachgewiesen, noch ausgeschlossen werden.

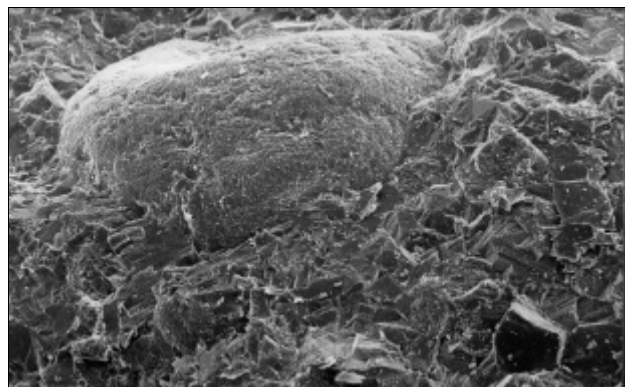


Abb. 5: Karneol-Dolomit, pzR<sub>2</sub>. REM-Aufnahme einer dolomitischen Konkretion mit äußerst dichtem Gefügeverband aus überwiegend Dolomit, Tonen bzw. Glimmer und wenigen eingebetteten, großen Quarzsandkörnern (Bildmitte). Untere Bildkante 1,6 mm.

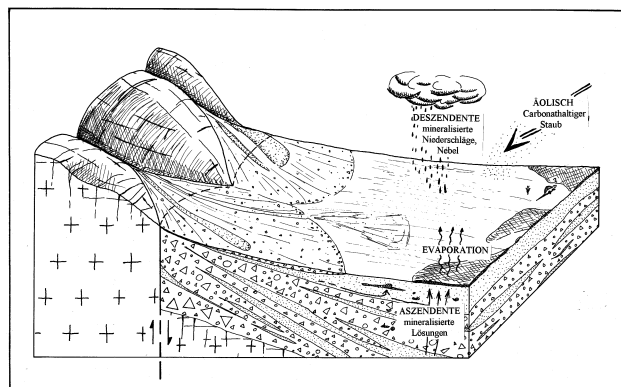


Abb. 6: Schematisches Blockbild zur Genese der Karneoldolomitkonkretionen. Dargestellt sind die ionenliefernden azsendenten und deszendenten Faktoren zur Zeit des Perm (Modell nach RÖPER 1980).

pzR<sub>4</sub>-“Feinfanglomerate“: Bei diesen massigen, tonig-schluffig-sandig gebundenen Fanglomeraten treten Grobklasten im Größenbereich bis ca. 10 mm auf. Die matrixgestützten Gesteine besitzen dabei einen erheblichen Ton-Schluff-Anteil von i.d.R. 35-40 vol% (ermittelt in Dünnschliff-Modalanalysen). Eine lagenweise Anreicherung der sich überwiegend aus Quarz, untergeordnet auch aus Feldspatgeröllen zusammensetzenden Klasten zeichnet stellenweise die ursprüngliche Schichtung nach. Die Mächtigkeit der kräftig dunkelrot gefärbten Feinfanglomerate kann bis über 6 m reichen. Charakteristisch für dieses Schichtglied sind zahlreiche, bis dm-große Entfärbungshöfe: Kreisrunde, blaugrau bis grünlich gefärbte Höfe um mm-große, schwarze Keime herum (Abb. 7 und 9). TXRF-Analysen dieser Keime weisen darauf hin, daß hier vor allem Uran und Arsen, aber auch Vanadium, Kupfer und Nickel angereichert sind. Diese Verbindungen scheinen in der näheren Umgebung eine Reduktion des rotfärbenden Hämatits bewirkt zu haben, die zu den beobachteten Farbänderungen führten. Entfärbungshöfe, die denen des Untersuchungsgebietes in Form, Färbung und Auftreten entsprechen, sind im Perm und Buntsandstein des germanischen Faziesraumes jedoch keine Seltenheit (u.a. MEMPEL 1960).

pzR<sub>5</sub>-“Hangende Ton-Schluff-Steine“: Mit unscharfer Grenze gehen die Feinfanglomerate schließlich in die massigen Ton-Schluff-Steine des pzR<sub>5</sub> über, in denen schließlich keine größeren Klasten mehr zu erkennen sind. Entfärbungshöfe, wie im pzR<sub>4</sub> sind weniger häufig, jedoch durchgängig

während des Vortriebes angetroffen worden (Abb. 9). Die tief dunkelrot gefärbten Gesteine besitzen ein extrem dichtes Gefüge (Abb. 8) und entsprechend hohe Gesteinsdruckfestigkeiten, die über 65 MPa erreichen können. Die Hangenden Ton-Schluff-Steine bilden mit einer maximalen Mächtigkeit von etwa 1,5 m den Abschluß der Rotliegend-Fazies. Über ihnen folgen - meist mit lithologisch scharfem Schnitt - die Sandsteine der Tigersandsteinfolge (pzT). Ein mehrere cm-mächtiges Band blaugrau verfärbten Ton-Schluff-Steins zeichnet diesen Wechsel oft nach, wobei vermutlich aus den wasserweigeren Sandsteinen der Tigersandstein-Formation stammende, reduzierende Bergwässer diese Verfärbung hervorrufen (siehe auch Ortsbrustaufnahme Baustation 462,5 m, Abb. 9).

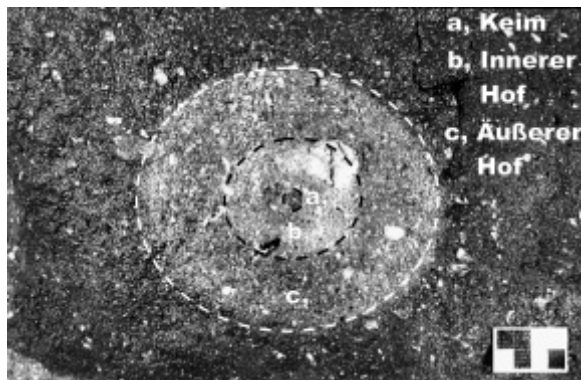


Abb. 7: Entfärbungshof in Feinanglomeraten des pzR<sub>4</sub>: Deutlich erkennbar sind der schwarze „Keim“ im Zentrum der Verfärbung sowie der mehrere cm messende, kreisrunde „Saum“. Größenmaßstab: 2 cm.

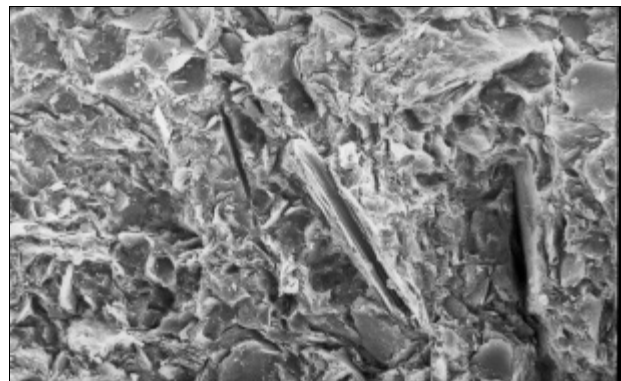


Abb. 8: Hangende Ton-Schluff-Steine, pzR<sub>5</sub>. REM-Aufnahme des extrem dichten, ausschließlich aus Tonmineralen aufgebauten Gesteins. Untere Bildkante 0,3 mm.

### 3.1.3 Verhalten im Gebirgsverband

Die ungeschichteten Gesteine der Rotliegend-Fazies traten im Gebirge zumeist ungeklüftet auf, was besonders in Hinblick auf den Schutz des Thermalwassers im darunterliegenden Grundgebirge von Vorteil war. Das Gebirgsverhalten war über weite Bereiche als „stark nachbrüchig“ bis „gebräch“ (RABCEWICZ et al. erweitert durch SPAUN; in: SPAUN 1986) zu klassifizieren. Abschnitte, in denen ausgeprägte Kluftflächen erkennbar waren, beschränkten sich auf wenige, meist eng begrenzte Bereiche („Störungszonen“). Diese, in Hinblick auf Thermalquellenschutz und Hohlraumstabilität überaus günstigen Verhältnisse hatten jedoch auch nachteilige Auswirkung - auf die Gebirgslösung: Aufgrund des geringen Durchtrennungsgrades des Gebirges und hoher Gesteinsdruckfestigkeiten (u.a. im Karneoldolomithorizont, s.o.) sank die Vortriebsleistung der für den Tunnelvortrieb vorgesehenen Teilschnittmaschine so weit ab, daß schließlich auf einen konventionellen Bohr- und Sprengvortrieb umgestellt werden mußte (THURO & PLINNINGER 1998a, 1998b).

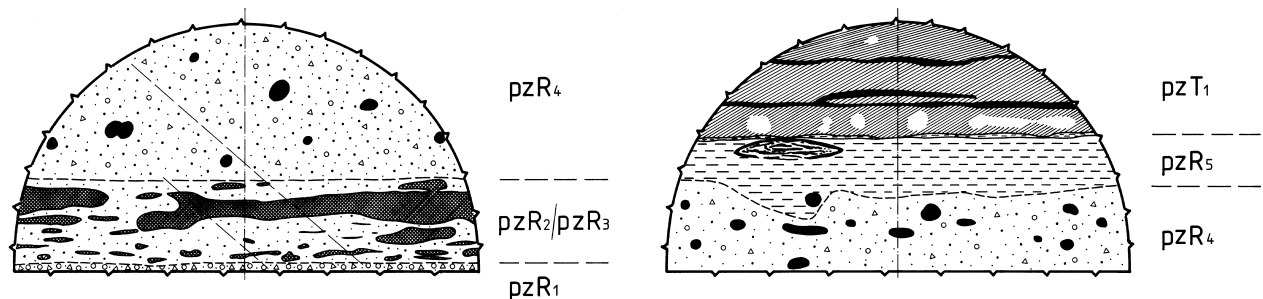


Abb. 9: Ortsbrustaufnahmen aus dem Kalottenvortrieb. Links Baustation 87,0 m. Die nahezu ungeklüftete Ortsbrust liegt zur Gänze in Schichten der Rotliegend-Fazies und zeigt die Horizonte pzR<sub>1</sub> bis pzR<sub>4</sub>. Rechts Baustation 462,5 m, jeweils zur Hälfte in Feinanglomeraten und Ton-Schluffsteinen der Rotliegend-Fazies (pzR<sub>4</sub>, pzR<sub>5</sub>) und Sandsteinen der Tigersandsteinfolge, pzT<sub>1</sub>. Beachtenswert auch die Entfärbungshöfe, die links als schwarze Bereiche, rechts auch durch Unterbrechung der Feinschichtung dargestellt sind. Die Höhe der Kalotte entspricht etwa 5,5 m (nach Aufnahmen ARGE Entlastungstunnel, 14.11.94 und 3.3.95).

## 3.2 Perm der Tigersandstein-Formation

### 3.2.1 Vorbemerkungen zur stratigraphischen Stellung

Mit den Beschlüssen der NATIONALEN SUBKOMMISSION PERM/TRIAS (1993) wird die Perm/Trias-Grenze im Nordschwarzwald an der Basis des Mittleren Buntsandsteins (der bisherigen, von ECK 1875 eingeführten Gliederung) gezogen. Die bis dahin als „Unterer Buntsandstein“ bezeichnete Einheit (Tigersandsteinfolge) wird seitdem also dem Perm (Zechstein) und nicht mehr der Trias zugerechnet.

### 3.2.2 Mächtigkeit

Die Maximalmächtigkeit der gesamten Tigersandstein-Formation beträgt im Untersuchungsgebiet etwa 50 m. Während des Tunnelvortriebes wurden Gesteine dieser Einheit auf einer Strecke von etwa 1100 m Länge durchfahren, wobei jedoch aufgrund des schleifenden Anschnitts lediglich eine maximale Mächtigkeit von 8 Metern aufgeschlossen wurde.

### 3.2.3 Gesteinsausbildung

Bereits seit den 60er Jahren (s.a. EISSELE 1966) wurde für den Nordschwarzwald eine Dreiteilung der bisher als Einheit betrachteten Tigersandstein-Formation eingeführt. Nach LEIBER (1971: S. 466) handelt es sich bei den drei Untergliedern (ursprünglich  $su_1$ ,  $su_2$ ,  $su_3$  im Folgenden als  $pzT_1$ ,  $pzT_2$ ,  $pzT_3$  bezeichnet) um nahezu zeitgleich sedimentierte Gesteine unterschiedlicher Genese, die sich faziell vertreten können. LEIBERs Profilaufnahmen und sedimentpetrographische Untersuchungen im Mittleren Schwarzwald zeigen, daß die Mächtigkeit des  $pzT_3$  („Tigersandsteinfazies“) von NW nach SE stark abnimmt, während die Sedimente des  $pzT_2$  („rote, tonige Feinsandsteine“ EISSELES = „Bröckelschieferfazies“ LEIBERs) und  $pzT_1$  („Basiskonglomerat“) im selben Maße an Mächtigkeit gewinnen.

Das Basiskonglomerat,  $pzT_1$  der Tigersandsteinfolge setzt - wie bereits eingangs erwähnt - im untersuchten Gebiet mit einem lithologisch scharfen Schnitt über den bereits beschriebenen Sedimenten ein. Es handelt sich vorwiegend um hellgraue, bereichsweise sogar hellgrünliche, auch hellrot gefärbte, meist fein- bis mittelkörnige Quarzsandsteine. Die Kornrundung ist durchweg schlecht. An der Basis sind im Untersuchungsgebiet häufig „Grobschüttungslagen“ eingeschaltet, deren Farbe, Kornrundung und Zusammensetzung auf eine Herkunft aus bereits abgelagerten Sedimenten der Rotliegend-Fazies hinweist. Offensichtlich handelt es sich hierbei um „Rotliegend-“ Material, das in der näheren Umgebung exponiert war, von den Gewässern erodiert und dann resedimentiert wurde. Jede dieser Lagen unterscheidet sich durch interne Feinschichtung jedoch deutlich von den ungeschichteten Ablagerungen der Rotliegend-Fazies selbst. Die Häufigkeit dieser Lagen nimmt zum Hangenden rasch ab. Entfärbungshöfe, deren Färbung denen der Rotliegend-Fazies entspricht, konnten in allen Gesteinen der Tigersandsteinfolge beobachtet werden (Abb. 9, 10). Das gesamte Basiskonglomerat erreicht im Untersuchungsgebiet eine Mächtigkeit von maximal 10 m.

Zum Hangenden hin gewinnen allmählich meist dunkel- und hellrot gefärbte Feinsandstein- und Tonschluffsteinlagen an Bedeutung. Es handelt sich hierbei wohl um den unscharfen Übergang zu den „roten tonigen Feinsandsteinen“,  $pzT_2$ . In diesen feinkörnigen Sedimenten ist oft eine Anreicherung von Muskovitplättchen an den Schichtflächen der Feinschichtung zu beobachten. Teilweise kaolinisierte Feldspatklasten sind weniger häufig. Fossile Trockenrisse konnten sowohl im Abdruck als auch auf Schichtflächen nachgewiesen werden. Vor allem der  $pzT_2$  zeigt in weiten Bereichen überaus deutliche bioturbate Texturen: In den Sandstein-Tonschluffstein-Wechselfolgen sind auf den Oberflächen der verwitterungsresistenteren Sandsteine zahlreiche, deutlich ausgebildete Spurenfossilien (vermutlich Invertebraten-Wühlspuren) erhalten geblieben. Es handelt sich dabei um im Durchmesser meist nur wenige mm messende, senkrecht und schichtparallel angelegte, schlauchförmige Gänge und größere, bis zu knapp 40 mm breite Gänge mit deutlichen, sichelförmigen Stopfstrukturen (Abb. 10, 11).

Im Tunnelvortrieb nicht mehr angetroffen wurde der als „weißer, karbonatischer Grobsandstein“,  $pzT_3$  (die „Tigersandstein-Fazies“ im eigentlichen Sinne, LEIBER 1971) bezeichnete Abschnitt.

Dieses in Oberflächenaufschlüssen nachgewiesene Schichtglied besteht aus überwiegend hellgrau-weißen, feingeschichteten Fein - Mittelsandsteinen. Weinrote und grün gefärbte Ton-Schlufflagen sind zwischen die Sandsteine eingeschaltet.

In den Gesteinen der Tigersandstein-Folge ist sowohl kieseliges als auch tonig-ferritisches Bindemittel zu beobachten, kleinräumige carbonatische Zementierung ist weit verbreitet. Als „Mucken“ werden meist mm-große Flecken bezeichnet, die sich an der Erdoberfläche durch mürbe Kornbindung und bräunlich-schwarze Färbung auszeichnen. Untersuchungen an Sandsteinen des pzT<sub>1</sub> und pzT<sub>2</sub> aus dem Wildbader Vortrieb bestätigen die Auffassung, daß die Flecken durch Oxidierung und teilweise Weglösung der hier vorhandenen Carbonate entstehen (u.a. METZ 1977: S. 36; REGELMANN 1934: S. 50). Solche Bereiche kleinräumiger carbonatischer Zementation können Durchmesser bis etwa 10 mm erreichen. Vor allem die bei der Verwitterung entstehenden Oxide und Hydroxide der Fe- und Mn-haltigen Carbonate sind für die bräunlich-schwarzen Verfärbungen verantwortlich. Durch die Umwandlung und Weglösung des Zements bei fortschreitender Verwitterung nimmt die Kornbindung stark ab, so daß in Oberflächenaufschlüssen oft nur noch dunkelbraune Hohlformen beobachtbar sind. Die „Mucken“ führten auch zur - nicht ganz stimmigen - Bezeichnung „Tigersandstein“, die bereits von QUENSTEDT (1843) eingeführt wurde.

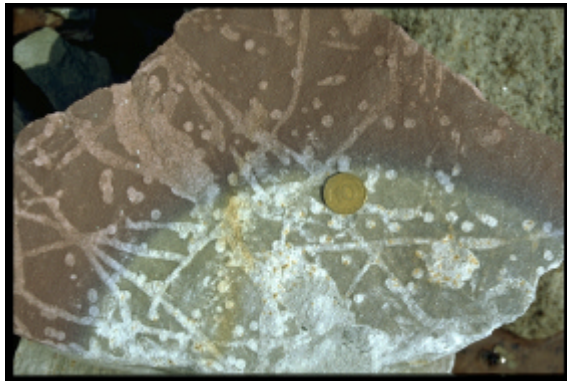


Abb.10: Schlauchförmige Grabgänge auf einer Sandstein-Schichtfläche eines pzT<sub>2</sub>-Haufwerksblocks aus dem Meisterntunnel-Vortrieb. Die Fläche ist - zusammen mit den Spurenfossilien - durch einen angeschnittenen Entfärbungshof zur Hälfte hellgrau verfärbt worden. Größenmaßstab: 10 Pf-Münze.



Abb. 11: Knapp 30 mm breiter, schichtflächenparalleler Grabgang mit deutlich ausgebildeten, sichelförmigen Stopfstrukturen auf pzT<sub>2</sub>-Haufwerksblock aus dem Meisterntunnel-Vortrieb. Größenmaßstab: 10 Pf-Münze.

### 3.2.4 Verhalten im Gebirgsverband

Obwohl in der Tigersandstein-Formation des Untersuchungsgebietes mehrere obertägige Aufschlüsse existieren, zeigte der Vortrieb, daß das Aussehen und Verhalten der Sandsteine sich untertage oftmals deutlich von den obertägigen Beobachtungen unterschied: In Oberflächenaufschlüssen zeigen die Gesteine der Tigersandsteinfolge generell eine regelmäßige, überwiegend mittelständige Klüftung. Auch klaffende Klüfte sind keine Seltenheit. Das während des Vortriebs angetroffene Gebirge war dagegen über weite Strecken als „kompakt“ (Klassifizierung nach IAEG, in PRINZ 1991) mit Kluftabständen von > 2,0 m zu klassifizieren. Die wenigen Bereiche besserer Durchtrennung beschränkten sich auf meist wenige dekameter-breite Abschnitte, in denen zudem oft Flächen ein- und derselben Orientierung stark dominierten. Dies führte dazu, daß das Gebirgsverhalten über weite Bereiche als „stark nachbrüchig“ bis „gebräch“ (RABCEWICZ, et al. erweitert durch SPAUN; in: SPAUN 1986) zu klassifizieren war. Die unterschiedliche Intensität der ober- und untertägigen Durchtrennung des Schichtverbandes legt den Schluß nahe, daß die tektonisch angelegte Klüftung zwar generell (auch untertage) vorhanden ist, jedoch die deutliche Zergliederung nur übertage - wahrscheinlich durch Erweiterung und Öffnung der Klüfte infolge von Entspannungs-, Auflockerungs- und Kriechvorgängen - sichtbar wird. Ebenfalls deutliche Unterschiede zeigten sich in karbonatisch zementierten Partien der Sandsteinfolge: Eine charakteristische Sprengelung mit „Mucken“ war vor allem entlang von Klüften zu beobachten, während in

intakten Bereichen nur spätig glitzernde Bruchflächen auf das karbonatische Bindemittel hinwiesen. Zahlreiche dieser „frisch“ im Vortrieb entnommenen Proben verfärbten sich an der Luft innerhalb von wenigen Monaten gelblich-bräunlich.

### 3.3 Kluftorientierung

Die während des Vortriebs und der Oberflächenkartierung gemessenen Kluftrichtungen sind in nachstehender Abb. 12 dargestellt. Die Daten stammen dabei aus dem gesamten, im Projektareal anzutreffenden Deckgebirge und umfassen neben dem pzR und pzT auch den Unteren und Mittleren Buntsandstein. Deutlich erkennbar wird ein orthogonales Kluftsystem mit ESE und NNE streichenden, steilstehenden Hauptkluftscharen. Die Anlage des Kluftsystems ist vor allem als Ergebnis der Vorgänge der Rheingrabenentstehung zu interpretieren, die ja auch zur Anhebung und Verstellung der Schichtenfolge geführt haben. Dabei wird heute davon ausgegangen, daß von der Kreide bis ins Oberoligozän ein nach NNE gerichtete Druckspannungsfeld herrscht (ILLIES & FUCHS 1974).

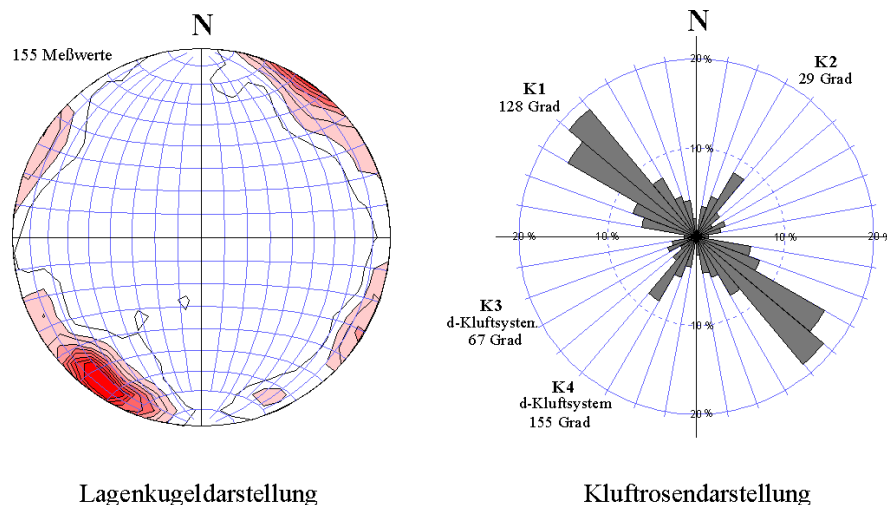


Abb. 12: Lagenkugeldarstellung (Polpunktprojektion von 155 Meßwerten im Schmidt'schen Netz, untere Halbkugel, Dichteverteilung nach Schmidt) und Kluftrosendarstellung (Referenzkreis 10%) der Klufttrichtungen im Deckgebirge des Projektareals (pzR, pzT, su, sm).

### 4 Dank

Prof. Dr. G. Spaun und Dr. J. Müller (beide Lehrstuhl für Allgemeine, Angewandte und Ingenieur-Geologie, TU München) sowie den bauausführenden Firmen sei für ihre Unterstützung gedankt. Prof. Dr. M. Schuster (Lehrstuhl für Anorganische und Analytische Chemie, TU München) danken wir für die Durchführung der TXRF-Analysen. Wir bedanken uns bei der Stadtverwaltung Bad Wildbad für die Erlaubnis zur Publikation der vorliegenden Ergebnisse.

### 5 Schriften

- DRACH, V.V., LIPPOLT, H.J. & BREWER, M.S.: Rb-Sr-Altersbestimmungen an Graniten des Nordschwarzwaldes.- N. Jb. Miner. Abh., **123**, 38-62, Stuttgart 1974.
- EISSELE, K.: Zur Gliederung des nordschwarzwälder Buntsandsteins.- Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. **48**, 143-158, Stuttgart 1966.
- GEYER, O.F. & GWINNER, M.P.: Geologie von Baden-Württemberg, 3. Aufl., 472 S., 254 Abb., 26 Tab., Stuttgart (Schweizerbart) 1986.
- ILLIES, H. & FUCHS, K. (Hrsg.): Approaches to Taphrogenesis.- 460 S., Stuttgart (Schweizerbart) 1974.
- LEIBER, J.: Zur Gliederung des „Tigersandsteins“ (Unterer Buntsandstein, Trias) im Schwarzwald.- N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **30**, 461-467, Stuttgart 1971.
- MEMPEL, G.: Neue Funde von Uran-Vanadium-Kernen mit Entfärbungshöfen.- Geol. Rdsch., **49**, 263-276, Stuttgart 1960.

- METZ, R.: Mineralogisch-landeskundliche Wanderungen im Nordschwarzwald.- 632 S., 393 Abb., 1 Beil., Lahr/Schwarzwald (Schauenburg) 1977.
- PLINNINGER, R.J.: Meisterntunnel Bad Wildbad/Schwarzwald: Regionalgeologische und ingenieurgeologische Erkenntnisse im Zuge der Auffahrung des Innerstädtischen Entlastungstunnels. - 130 S., 69 Abb., 30 Tab., 4 Beil.; Dipl.Arb. und Dipl.Kart. TU München (unveröff.), München 1997.
- PRINZ, H.: Abriß der Ingenieurgeologie.- 466 S., Stuttgart (Enke) 1991.
- QUENSTEDT, F.A.: Die Flözgebirge Württembergs. Mit besonderer Rücksicht auf den Jura.- Tübingen (Laupp) 1843.
- REGELMANN, K.: Erläuterungen zu Blatt 7217 Wildbad.- unveränderte Ausg. I. Auflage 1913, 150 S., Stuttgart (Landesvermessungsamt Baden-Württemberg) 1934.
- RÖPER, H.-P.: Zur Petrographie und Genese des Karneoldolomithorizontes (Grenze Rotliegendes/Buntsandstein) im Gebiet des Mittleren Schwarzwaldes.- unveröff. Inaug.-Diss. Rupr.-Karl- Univ. Heidelberg, 288 S., Heidelberg 1980.
- SPAUN, G.: Geologische Gesichtspunkte bei der Klassifizierung des Gebirges.- In: WICHTER, L.: Tunnelbau.- Reihe Kontakt & Studium, Bauwesen, **184**, 1-13, Sindelfingen 1986.
- SUBKOMMISSION PERM/TRIAS: Beschlüsse zur Festlegung der lithostratigraphischen Grenzen Zechstein/Buntsandstein/Muschelkalk und zu Neubenennungen im Unteren Buntsandstein in der Bundesrepublik Deutschland.- Z. angew. Geol., **39**, 20-22, Berlin (Akademie) 1993.
- THURO, K. & PLINNINGER, R.J.: Geotechnische Auswirkungen klastischer Sedimentgesteine auf den Tunnelvortrieb.- Tagber. 11. Nat. Tag. Ing.-Geol. Würzburg 1997, 298-312, Essen (Glückauf) 1998a.
- THURO, K. & PLINNINGER, R.J.: Geological limits in roadheader excavation - four case studies.- Proc. 8<sup>th</sup> IAEG Congress Vancouver 1998, 10 S., Rotterdam (Balkema) 1998b (in Druck).
- WALTER, R.: Geologie von Mitteleuropa.- 364 S., 151 Abb., Stuttgart (Schweizerbart) 1994.
- WENDT, O.: Hydrogeologie - Heilquellenschutz.- STADT BAD WILDBAD (1997): Meistern-Tunnel: Chronik-Dokumentation-Perspektiven 1994-1997, Bad Wildbad (Hrsg. Stadtverwaltung Bad Wildbad) 1997.