

Die Geologie des Bözbergtunnels der Nationalstrasse N3

Autor(en): **Hauber, Lukas**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Brugger Neujaersblätter**

Band (Jahr): **104 (1994)**

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-900819>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Geologie des Bözbergtunnels der Nationalstrasse N3

1. *Einleitung*

Der Bözberg stellt einen schon historisch bedeutsamen Passübergang aus dem Fricktal ins Aaretal dar und gehört heute zu den meistbefahrenen Passübergängen im Jura. Trotz seiner relativ bescheidenen Höhe von 559 m ü. M. erweist er sich besonders in Winterzeiten oft als recht tückisch, ist er doch der kalten Bise ungeschützt ausgesetzt. So liegt der Gedanke nahe, nicht nur für die Eisenbahn, sondern auch für das Netz der Nationalstrassen zur Bewältigung dieses Teilstückes eine Tunnellösung zu verwirklichen. Zusammen mit dem Habsburgtunnel schafft der Bözbergtunnel eine rasche und sichere Verbindung nicht allein zwischen dem Fricktal und dem Gebiet von Brugg und Baden, sondern auch zwischen Basel und Zürich und darüber hinaus. Der Bözbergtunnel bildet somit einen wesentlichen Baustein im Rahmen des nationalen und internationalen Verkehrsnetzes. Er entlastet gleichzeitig die Dörfer des Fricktals und den Raum Brugg – Baden von einem nicht abreissenden Durchgangsverkehr (Projektbescrieb siehe E. Beusch und S. Frölich, 1991).

Auch in geologischer Hinsicht gehört der Bözbergtunnel zu den interessanten Objekten: Zusammen mit dem Bözberg-Bahntunnel, dem Hauenstein-Basistunnel und neuerdings dem Mont-Terri-Tunnel (zusammen mit dem Mont-Russelin-Tunnel) der Transjuranne der N6 gehört er zu jenen Bauwerken, welche die Aufschiebungs- oder Überschiebungszone des Faltenjuras auf den vorgelagerten Tafeljura aufgeschlossen und somit der Beobachtung zugänglich gemacht haben. Es handelt sich dabei um eine für die Deutung der Entstehungsgeschichte des Juras grundlegend wichtige Zone, so dass dem Bau des Bözbergtunnels auch aus dieser Optik und nicht allein aus bautechnischer Sicht grosses Interesse zukommt.

Als 1972 die geologischen Vorarbeiten zu einer Prognose für den Bözbergtunnel aufgenommen worden sind, zeigte es sich, dass über das Bözberg-Gebiet noch keine publizierte geologische Detailkarte vorhanden war. Die Arbeiten mussten zuerst einmal mit einer geologischen Kartierung des entsprechenden Gebietes im Massstab 1:5000 begonnen werden. Allerdings gab es damals schon die schöne Darstellung des Profils des 1870/71 erstellten Bahntunnels von C. Moesch (1874), das von A. Amsler (1934) neu interpretiert worden ist, doch stellte sich bald heraus, dass zwischen Bahntunnel und dem Tunnel der N3 Unterschiede in der Geologie bestehen, die zu deuten sich als schwierig erwies, die aber auch anzeigten, dass sich die geologischen Verhältnisse auf engstem Raum ändern können.

Zu den weiteren, für die Arbeiten am Bözberg dienlichen Unterlagen zählen die in den Jahren 1957–60 vom Geologischen Institut der ETH Zürich ausgeführten Diplomarbeiten im Aargauer Jura, die ihren Niederschlag in der Arbeit von F. Gsell (1968) gefunden haben. Sie stellen eine erste detaillierte Geländeaufnahme dieses Gebietes dar und leisteten nützliche Dienste.

Seither hat die Erforschung des östlichen Jura, angeregt durch die Arbeiten der Nagra (u. a. W. H. Müller et al., 1984; C. Sprecher und W. H. Müller, 1986, und P. Diebold, 1986) und durch Untersuchungen über die geothermische Situation dieses Gebietes (H. L. Gorhan und J. C. Griesser, 1988), weitere Impulse erfahren. Eine moderne Zusammenfassung über die Geologie dieses Gebietes enthält die Geologie des Kantons Aargau von W. Wildi (1983).

2. *Geologie*

2.1 Geologische Übersicht

Das Bözberg-Gebiet gehört zum Grenzgebiet von Tafeljura zu Faltenjura. Der Passübergang von Effingen nach Umiken und Brugg selbst liegt zwar ausschliesslich im Tafeljura und gehört damit zu den ganz wenigen bedeutenden Passübergängen im Tafeljura, doch liegt die markante Aufschubung des Faltenjuras nur wenig südlich davon, kenntlich an der markanten Änderung der Landschaftsformen und am Höhenunterschied zwischen Tafelland und Kettenjura.

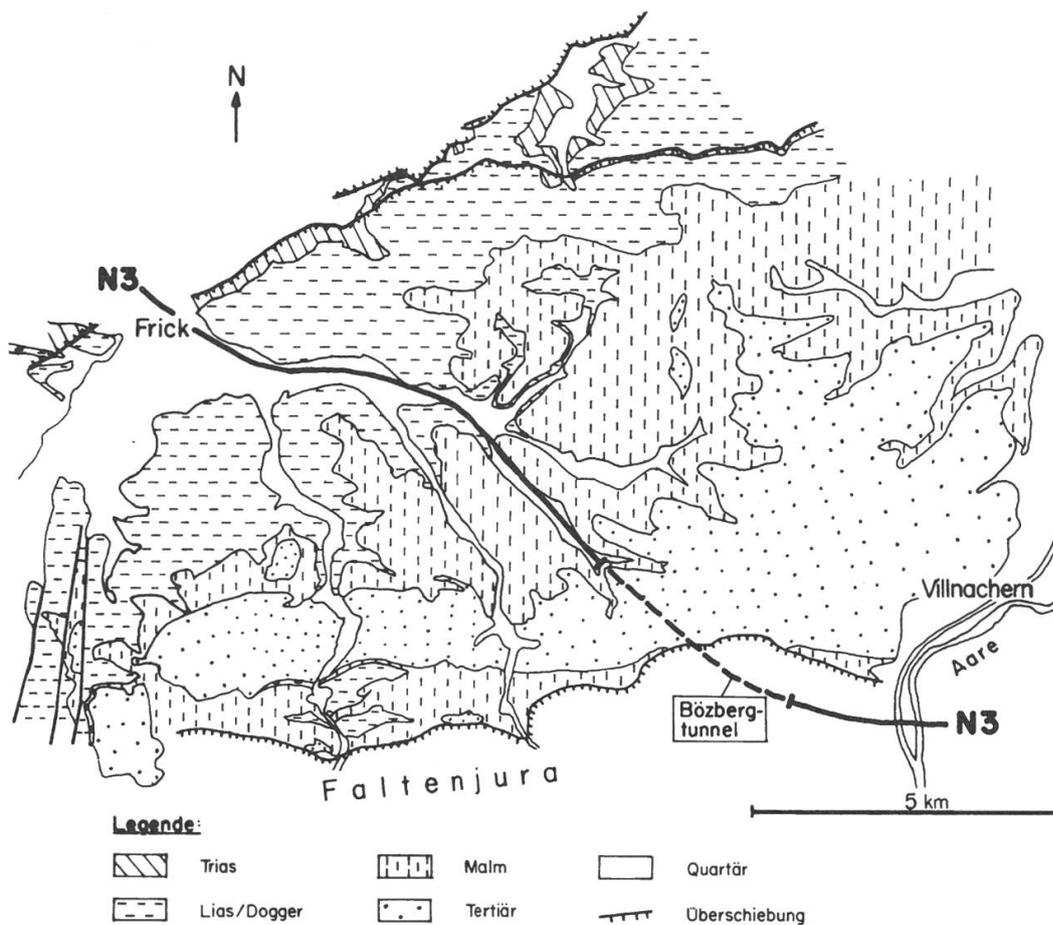


Fig. 1: Geologische Übersicht über das Bözberg-Gebiet

Die Gesteine des Tafeljuras sind Teil der Sedimenthülle von Schwarzwald und Vogesen. Ursprünglich haben sie diese beiden Gebirge vollständig überdeckt. Erst im Gefolge ihrer jungen (tertiären) Heraushebung hat deren Abtrag eingesetzt, woraus die gerade im Fricktal und Bözberg-Gebiet so charakteristisch entwickelte Schichtstufen-Landschaft entstanden ist.

Das *Grundgebirge* von Schwarzwald und Vogesen gehört der variszischen (oder herzynischen) Gebirgsbildung an. Es entstand vor etwa 380–285 Mio. Jahren im jüngeren Paläozoikum (Devon und Karbon). Es besteht vorwiegend aus Gneisen und Graniten mit einigen Vulkaniten und paläozoischen Sedimenten. Als letzte Phase dieser Orogenese (Gebirgsbildung) sind vorwiegend ENE–WSW ausgerichtete Grabensysteme anzusehen, in welchen z. T. ü. 1000 m mächtige Sedimente zur Ablagerung gelangten (Nordschweizer

Permokarbon-Trog, Müller et al., 1984): Es handelt sich um die vorwiegend klastischen (= körnigen, siltig-sandigen bis konglomeratischen) Bildungen des *Permokarbons* (295–250 Mio. Jahre), in welchen in der Tiefbohrung Weiach auch Kohleflöze eingeschaltet sind.

2.2 Die Gesteine im Bözberggebiet

Die im Bözberg-Gebiet verbreiteten Gesteine gehören dem Mesozoikum und der Molasse an. Sie sind auf Fig. 2 zusammenfassend dargestellt.

Während der Festlandzeit in der Unteren Trias (250–245 Mio. Jahre) gelangte als Folge der Erosion des Grundgebirges ein vorwiegend roter Sandstein mit tonigen und konglomeratischen Zwischenlagen zur Ablagerung (*Buntsandstein*). Er ist heute vor allem im Hochrheingebiet zwischen Kaiseraugst und Waldshut aufgeschlossen. Seine Mächtigkeit erreicht östlich von Säckingen lediglich etwa 20 m, westwärts sind es rasch mehr.

Mit Beginn der mittleren Trias (= *Muschelkalk*) (245–230 Mio. Jahre) folgt von N her eine marine Ingression, die zu den Kalken, Dolomiten und Mergeln des *Wellengebirges* Anlass gibt. Auch diese Gesteine sind im Rheintal aufgeschlossen, nicht aber im Bözberg-Gebiet. Der Mittlere Muschelkalk ist durch das Auftreten von Evaporiten (Gesteine, die aus der Verdunstung von Meerwasser entstehen = Gips und Steinsalz) charakterisiert. Es gelangen die sulfatreichen Mergel der *Anhydritgruppe* zur Ablagerung, in die sich das *Salzlager* der Nordschweiz einschleibt. Die Anhydritgruppe spielt für die Entstehung des Faltenjuras eine wesentliche Rolle, wird doch die Sedimenthülle des Grundgebirges auf diesen Evaporiten von S her abgeschert und nach N auf den Tafeljura aufgeschoben. So kommt es, dass im ganzen Faltenjura lediglich Gesteine an die Oberfläche kommen, die über dem Salzlager gelegen haben. Auch im Bözberg-Gebiet finden sich im Faltenjura als älteste Bildungen lediglich gipsführende Mergel der Anhydritgruppe (N der Station Schinznach Dorf, wo früher ein kleiner Gips-Abbau stattgefunden hat). Nach oben schliesst der Muschelkalk mit dem *Hauptmuschelkalk*, gefolgt vom *Trigonodusdolomit*, ab. Diese karbonati-

Geologischer
Zeitabschnitt

Formation
(Lithologie)

1. Stratigraphisch-lithologisches Schema der Gesteine am
Bözberg

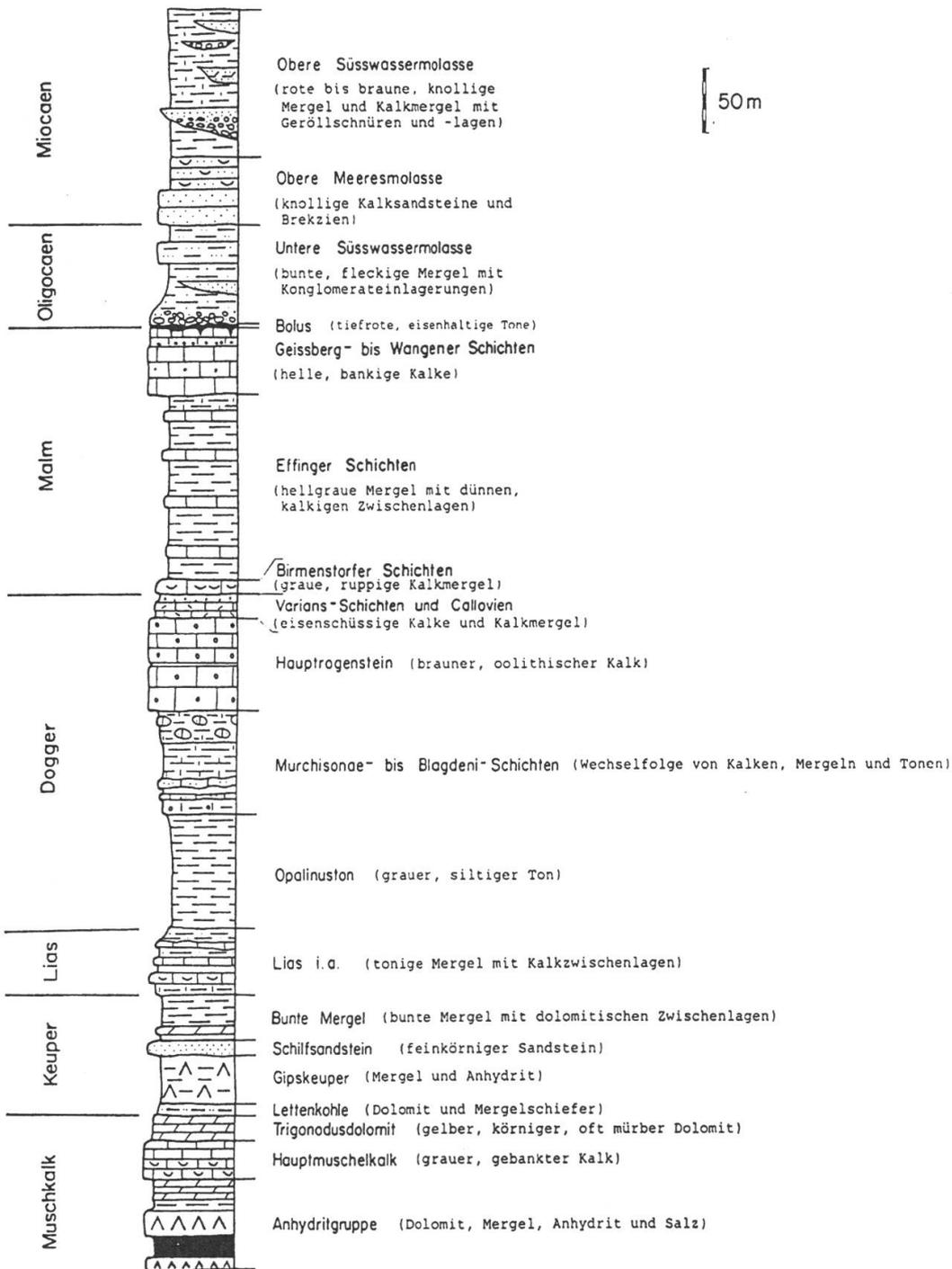


Fig. 2: Die Gesteinsfolge im Bözberg-Gebiet (aus Hauber 1991)

sche Serie deutet darauf hin, dass jetzt wieder ein normal salzhaltiges, gut durchlüftetes Meerwasser vorhanden war, in welchem die grauen, gebankten bis plattigen Kalke und die beigen Dolomite des Oberen Muschelkalkes entstehen konnten.

Mit der oberen Serie der Trias (= *Keuper*, 230–215 Mio. Jahre) nimmt die Salinität des Meerwassers aber nochmals zu. Direkt über den Mergeln und Dolomitbänken der nur geringmächtigen *Lettenkohle* folgt der mächtige *Gipskeuper*, der aus grauen bis rötlichen Mergeln mit Gips (oder Anhydrit = wasserfreier Gips) besteht und Mächtigkeiten bis über 100 m erreichen kann. Der gesamte Keuper weist einen vorwiegend mergeligen Charakter auf, lediglich unterbrochen durch den in seinen Mächtigkeiten stark schwankenden *Schilfsandstein*, einem siltigen, glimmerhaltigen, Pflanzenresten führenden Sandstein, und dem *Gansinger Dolomit*, einem plattigen, oft mergeligen Dolomit, der eine Unterteilung der oberen Mergelserie in *Untere* und *Obere Bunte Mergel* erlaubt. Bei den Ablagerungen des Keupers handelt es sich um Gesteine, die in einem sehr flachen, küstennahen Meer, ähnlich einem heutigen Wattenmeer, entstehen.

An der Wende von Keuper zu Lias (= unt. Jura) kommt es zu Schichtlücken oder zu Residualbildungen (*Rhät*-Sandstein, Verwitterungslehme), die auf einen kurzfristigen Rückzug des Meeres hindeuten. Mit dem *Lias* (215–190 Mio. Jahre) sind nun aber vollmarine Verhältnisse vorhanden, die zur Ablagerung von Kalken, siltigen Mergeln und Tonen führen. Die dunkle Farbe der Gesteine (grau) sowie der leichte Bitumengehalt deutet aber auf eine ungenügende Durchlüftung des Meerwassers hin. Die Mächtigkeiten der Lias-Ablagerungen reichen im Bözberg-Gebiet bis über 30 m.

Erst mit dem *Dogger*, dem mittleren Jura (190–160 Mio. Jahre), nimmt die Mächtigkeit der Gesteine wieder zu: So erreicht der folgende *Opalinuston* in der Tiefbohrung von Riniken (Müller et al., 1984) eine Mächtigkeit von 134 m. Es handelt sich um einen grauen, siltigen, mergeligen Ton, der abschnittsweise sandige Einlagerungen oder kalkige Mergel enthält. Der Opalinuston ist im Juragebirge für seine zahlreichen Rutschungen bekannt. Es schliessen die hier 50–75 m mächtigen Bildungen des sog. «*Unteren Doggers*» an, welcher die nach Ammoniten benannten Murchisonae- bis Blagdeni-Schichten umfasst. Sie besteht aus einer variablen Wechselfolge

von grauen, tonigen oder sandigen Mergeln bis zu eisenschüssigen, rostig verwitternden Kalken, die teilweise schlecht gebankt sind. Der obere Teil des Doggers ist nun weitgehend kalkig. Er wird als *Hauptrogenstein* bezeichnet, weil es sich um eine oolithische Bildung handelt, d. h., in einem warmen, flachen, gut durchlüfteten und durchströmten Meer haben sich um feinste Fossiltrümmer oder Sandkörnchen Kalkhäutchen ausgeschieden, die dem Gestein ein körniges Aussehen geben, das früher vom Volksmund als versteinerter Fischrogen gedeutet worden ist. Der Hauptrogenstein enthält Spuren von Eisen, so dass er gelblich bis bräunlich anwittert. Er bildet über dem Oberen Muschelkalk die nächst höhere Steilstufe des Tafeljuras, die oft durch ihre Felswände in Erscheinung tritt, so im Tiersteinberg bei Frick. Das Hauptverbreitungsgebiet des Hauptrogensteins liegt im westlichen Jura, nach Osten geht er in Mergel über (= Parkinsoni-Schichten). Die Grenze zwischen diesen beiden Ausbildungen (= Fazies) bildet die Aare zwischen Brugg und Koblenz. Über dem Hauptrogenstein schliesst eine geringmächtige Folge von eisenschüssigen, fossilreichen Mergelkalken und Mergeln (= *Varians-Schichten* und *Callovien*) den Dogger ab.

Die obere Serie des Juras (= *Malm*, 160–145 Mio. Jahre) greift transgressiv über die Gesteine des Doggers, d. h. es besteht eine Schichtlücke, die im Bözberg-Gebiet den oberen Teil des Callovien und den basalen Teil des Oxfordien umfasst. Dies deutet einen vorübergehenden Rückzug des Meeres und damit fehlende Ablagerungen an. Das Oxfordien (= unt. *Malm*) setzt mit den nur etwa 3 m mächtigen, fossilreichen *Birmenstorfer Schichten* ein, die aus hellgrauen, mergeligen Kalken bestehen und durch ihre Schwämme und Ammoniten charakterisiert werden. Die folgenden hellgrauen *Effinger Schichten* erreichen hingegen Mächtigkeiten von mehr als 200 m und sind durch eine Wechsellagerung von Mergeln mit feinsplattigen Kalken gekennzeichnet. Der Kalkgehalt ist recht variabel, nimmt aber generell von unten nach oben zu. Die Effinger Schichten werden allgemein als mittleres Oxfordien betrachtet. Das obere Oxfordien wird durch eine Folge von hellen, bankigen bis massigen, weissen bis gelblichen Kalken aufgebaut, die allgemein als *Malmkalke* zusammengefasst werden und im Bözberg-Gebiet rund 50 bis 80 m mächtig sind. Sie bilden die dritte markante Steilstufe im Tafeljura (z. B. Geissberg bei Villigen).

Nach der Ablagerung der Malmkalke zieht sich das Jurameer zurück. Es setzt eine Festlandsperiode ein, die durch eine intensive Verwitterung der Landoberfläche gekennzeichnet ist. Zurück bleiben lediglich die schlecht verwitterbaren Rückstände der aberodierten Bildungen, die hier aus den tiefroten Bolustonen und dem Bohnerz des *Eozän* (40–50 Mio. Jahre) bestehen. Der Boluston dringt auf Karstschloten und auf offenen Klüften tief in die Malmkalke ein, so dass diese an manchen Stellen rötlich verfärbt sind.

Erst in der Zeit der *Molasse*-Bildungen (etwa 35–15 Mio. Jahre) kommt es erneut zu Ablagerungen im Bözberg-Gebiet, die heute praktisch nur noch in der Umgebung von Linn und Gallenkirch erhalten sind, sonst aber durch die junge Erosion schon weitgehend entfernt worden sind. Es handelt sich unten um die nur geringmächtigen Mergel der *Unteren Süsswassermolasse* (Oligozän), die aus ruppigen, kalkigen Mergeln von rötlicher, bräunlicher oder gelblicher Farbe mit Linsen von Sanden und Konglomeraten bestehen. Nach Norden keilen sie auf dem Plateau von Linn aus. Darüber folgen einige Meter von grünlichgrauen, glimmerhaltigen Sandsteinen mit Austern und Haifischzähnen der *Oberen Meeresmolasse* (Miozän), die nordwärts ebenfals auskeilen und damit anzeigen, dass dieses Gebiet den Nordrand des damaligen Molassemeeres bildete. Die Schüttung dieser Sande erfolgte von S, den Alpen, her. Grössere Mächtigkeiten erreicht erst die *Obere Süsswassermolasse* (Miozän). Erneut sind es rötliche bis bräunliche Mergel, die gegen oben verbreitet glimmerhaltige Sande enthalten, die heute teilweise abgebaut werden (Iberg SE Station Effingen). In diese Mergel sind verbreitet Konglomerate (Juranagelfluh) eingelagert, die anzeigen, dass zu dieser Zeit Flüsse von N her in das Molassebecken einmündeten, welche ihre Geröllfracht aus dem Sedimentmantel des Schwarzwaldes bezogen, der sich im Miozän verstärkt herausgehoben hat.

Auch *quartäre Bildungen* sind im Bözberg-Gebiet zu verzeichnen, so vor allem Gehängeschutt und Verwitterungslehme, aber auch Moränen aus der Zeit der grössten Vergletscherung (Riss-Eiszeit, ca. 180 000–125 000 Jahre zurück). Sie sind auf der Anhöhe von Linn und Gallenkirch verbreitet, finden sich aber auch an zahlreichen anderen Stellen und sind kenntlich an ihrem alpinen Geröllbestand. Die Endmoränen der Riss-Vereisung finden sich im Hochrheintal bei Möhlin.

2.3 Tektonik

Die Tektonik beschreibt die Lagerungsverhältnisse der Gesteine. Das Bözberg-Gebiet ist, wie erwähnt, dadurch gekennzeichnet, dass es zum Tafeljura gehört und direkt vor der Aufschiebungsfront des Faltenjuras liegt.

Der *Tafeljura* weist eine ruhige Lagerung auf, die Gesteine steigen sanft nach N zum Schwarzwald an. Kleine, meist NNE-SSW-orientierte Verwerfungen versetzen die Gesteine im Meterbereich gegeneinander. Solche Zonen sind durch eine verstärkte Zerklüftung des Gesteins, vor allem der Kalke, gekennzeichnet. Die Bäche, hier die Sissle, haben sich in diese Tafel eingeschnitten und durch die Erosion die Schichtstufen herausmodelliert. An Gesteinen sind im Tafeljura des Bözberg-Gebietes vor allem die Effinger Schichten und die Malmkalke vertreten, auf den Plateaus überlagert von den tertiären Molassebildungen. Der Südrand ist durch die Aufschiebungszone des Faltenjuras gestaucht und teilweise aufgebogen (siehe Profil Bözbergtunnel, Faltafel Fig. 3).

Der *Faltenjura* ist im jüngsten Tertiär (etwa vor 12–5 Mio. Jahren) als Sedimentdecke über den Evaporiten der Mittleren Trias abgeschert und gefaltet worden und befindet sich heute noch in leichtem Aufsteigen (Müller et al., 1984). Die Schubrichtung kam von S, von den Alpen, her. Entlang einer Zone, die von der Lägern westwärts bis in das Mont Terri-Gebiet südlich der Ajoie und nach Frankreich hinein reicht, ist der Faltenjura auf den Tafeljura aufgeschoben worden. Die Ursache zu dieser Linie ist in W-E-gerichteten Störungen im tieferen Untergrund zu sehen, welche als reaktivierte Sockelsprünge die Stauchung der Sedimente gestört und Anlass zu den Aufschiebungen gegeben haben. Solche Störungen waren durch die Anlage der Permokarbon-Gräben vorgegeben, wobei der Südrand des Nordschweizer Permokarbon-Troges etwa mit der Aufschiebungszone zusammenfallen könnte.

Da die Abscherung auf den Evaporiten der Anhydritgruppe (Mittlerer Muschelkalk) erfolgt ist, treten im Faltenjura keine älteren Gesteine auf als der Mittlere Muschelkalk. Dies trifft auch für den Bözbergtunnel zu, wo der Muschelkalk direkt nördlich des Portales Schinznach Dorf durchfahren worden ist (Fig. 3). Zwischen dieser Hauptaufschiebung des Muschelkalkes und dem Tafeljura

findet sich ein kompliziert aufgebauter Sedimentstapel aus Dogger und Malm, der oberflächlich den Linnerberg aufbaut, also die höchsten Anhöhen des Faltenjuras im Bözberg-Gebiet bildet. Er ist seiner Herkunft her nördlich der Hauptaufschiebung einzuordnen und stellt Schichtpakete dar, die auf höheren geologischen Niveaus abgeschert worden sind (Keupermergel und Opalinuston). Sie sind heute in sich intensiv verschuppt, besitzen meist keine Wurzel mehr und lassen sich in ihrer seitlichen Erstreckung oft nur wenig weit verfolgen; auch in ihrer Breite bestehen erhebliche Unterschiede.

Der Faltenjura setzt sich somit im Tunnelabschnitt aus zwei Bereichen zusammen: aus einer aus mehreren Schuppen bestehenden Muschelkalk-Zone, die sich vom Tunnel her ostwärts durch das Aaretal in den Habsburg-Tunnel fortsetzt, und aus der die Therme von Schinznach Bad ihr Wasser bezieht, und aus der auf den Tafeljura aufgeschobenen, hier wurzellosen Vorfaltenzone mit Gesteinen von Dogger und Malm (Opalinuston – Effinger Schichten). Jede dieser Zonen hat das ihr eigene Gesteinsinventar und ihre spezifischen Lagerungsverhältnisse.

3. *Hydrogeologie*

Die Hydrogeologie beschreibt die Grundwasserverhältnisse und den Wasserkreislauf innerhalb der Gesteine. Für den Jura ist wesentlich, dass durchlässige und schlecht bis undurchlässige Gesteine wechsellagern. Zu den durchlässigen Schichten gehören Kalke und Dolomite, die durch ihre Bankungsfugen, Klüfte und Brüche sowie durch eine mögliche Verkarstung über eine gewisse Wasserwegsamkeit verfügen. Als undurchlässig gelten vor allem Mergel und Tone, wobei hier Keupermergel, Opalinuston und teilweise auch die Effinger Schichten die Rolle von Wasserstauern bilden. Sie bilden im Gelände Quellhorizonte.

Das Felsgrundwasser wird hier vor allem durch versickernde Niederschläge gespiesen. Es zirkuliert in Richtung Vorflut, d. h. die Täler bilden die Ablaufrinnen auch für das Grundwasser. Im Raum Schinznach Dorf – Effingen sind dies in erster Linie das Aaretal und das Tal der Sissle mit ihren Zuflüssen. Die Zirkulation ist somit ei-

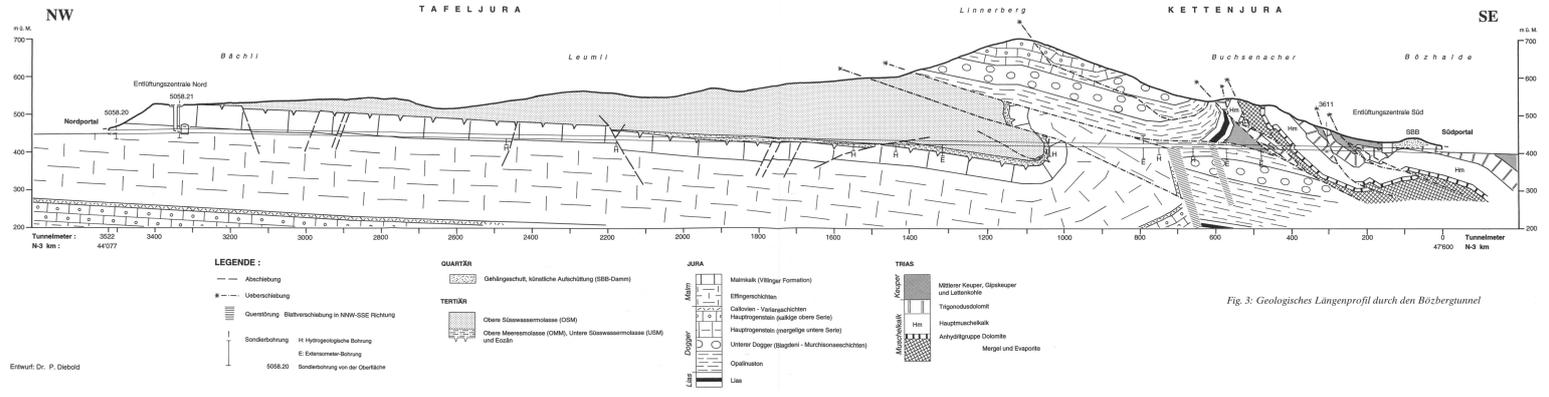


Fig. 3: Geologisches Längsprofil durch den Bözbergstunnel

Entwurf: Dr. P. Diebold

nerseits durch die Lage dieser Drainagen und anderseits durch die Lagerungsverhältnisse der Gesteine bestimmt.

Unter den durchlässigen Gesteinen steht der Obere Muschelkalk (Hauptmuschelkalk und Trigonodusdolomit) an erster Stelle. Hier ist ein verbreiteter Karst zu erwarten. Diese Zone wird direkt vom Südportal aus angefahren und in mehreren Schuppen durchquert. Die Sondierungen haben gezeigt, dass aus dem Tälchen bei der Station Schinznach Dorf ein Felsgrundwasserspiegel bergwärts ansteigt. Dieser weist in Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen einen erheblichen Schwankungsbereich auf, z. T. bis über 15 m. Die in dieser Zone abgeteufte Sondierbohrungen haben gezeigt, dass eine Verkarstung vorliegt, doch haben Pumpversuche eher niedrige Durchlässigkeiten angetroffen. Chemische Analysen ergaben, dass es sich um Sulfatwässer handelt, wie sie auch aus dem Bahntunnel bekannt sind und aus dieser Zone zu erwarten sind. Ihr geologisches Alter ist als jung (rezent) zu bezeichnen.

Da der Hauptrogenstein gemäss geologischer Prognose nicht angetroffen werden sollte, sind die Felsgrundwasser-Verhältnisse in dieser Formation nicht weiter abgeklärt worden. Hingegen musste der Malmkalk des Tafeljuras als bedeutender Grundwasserträger eingestuft werden, denn auch hier ist grundsätzlich mit einer Verkarstung zu rechnen. Der Karst kann allerdings durch das Eindringen von Molassemergeln und durch junge Verwitterungslehme wieder verfüllt werden, so dass seine Wasserwegsamkeit lokal erheblich erniedrigt sein kann. Tatsächlich haben die abgeteufte Sondierbohrungen kaum Wasserverluste aufgezeigt, also auf kompaktes und wenig durchlässiges Gestein hingewiesen. Es war deshalb nicht möglich, Pumpversuche durchzuführen und Wasser zu Analysezwecken zu gewinnen. Da hier der Tunnel nahe dem obersten Lauf der Sissle und zum Sagenmühletälchen gelegen ist, die beide bis in die Effinger Schichten hineinreichen, musste davon ausgegangen werden, dass das Wasser in diese Tälchen abfließt, so dass mit jungen, chemisch wenig differenzierten Wässern zu rechnen war.

In den Talböden, vor allem im Bereich des Südportales bei Schinznach Dorf, ist Schotter-Grundwasser vorhanden. Die hydrogeologischen Untersuchungen haben gezeigt, dass das Felsgrundwasser direkt in das Schotter-Grundwasser Richtung Aaretal überläuft, ohne dass es – abgesehen von einigen wenigen Quellen – an

der Oberfläche austritt. Soweit *Quellen* im Bözberg-Gebiet vorhanden sind, handelt es sich durchwegs um Quellen mit lokalem, oberflächennahem Einzugsgebiet; einzig aus der Muschelkalk-Schuppenzone treten Quellen aus, die möglicherweise direkt mit dessen Karstsystem in Verbindung stehen.

Schliesslich sei darauf hingewiesen, dass in unmittelbarer Nähe des Bözberg-Nationalstrassentunnels in Form des Bahntunnels eine tiefliegende Drainage vorhanden ist, die das Gebirge entwässert, insbesondere auch die Muschelkalk-Schuppenzone. Der hufeisenförmige Bahntunnel ist offen und erlaubt dem Wasser, ungehindert auszufließen.

4. *Tunnel-Prognose*

Eine erste geologische Tunnel-Prognose ist im Jahre 1972 abgegeben worden. Sie ist in der Folge mehrfach überarbeitet worden (Änderungen in der Linienführung, weitere Sondierbohrungen) und hat ihre endgültige Form im Jahre 1987 erhalten. Diese ist in der Arbeit von E. Beusch und S. Frölich (1991) abgebildet. Sie beschreibt die zu erwartenden Gesteine, ihre Lagerungsverhältnisse und unterscheidet klar zwischen Tafeljura und Faltenjura mit seiner Vorfaltenzone. Als schwierig erwies sich die Beurteilung des tieferen Aufbaues der Vorfaltenzone mit ihrem Kontakt zum Tafeljura, während der Tafeljura und die Muschelkalk-Schuppenzone keine besonderen Probleme boten. Es musste insbesondere auf die Verkarstung des Muschelkalkes und der damit einhergehenden Verwitterung hingewiesen werden.

Die Gesteine sind in Bezug auf ihre geotechnischen Eigenschaften beschrieben worden. Hierfür sind aus zahlreichen Sondierbohrungen Gesteinsproben entnommen und in den Laboratorien der ETH Zürich untersucht worden. Im Vordergrund des Interesses standen nach den Erfahrungen im Belchentunnel der N2 und im Hauenstein-Basistunnel folgende Themen:

1. *Druckfestigkeiten* der Gesteine: Sie reichen bei den Kalken als den harten Gesteinen bis zu 1500 kg/cm^2 . Diese Angabe ist wesentlich für die Wahl der Vortriebsgeräte.

2. *Quellfähigkeit der tonigen Gesteine:* Gewisse Tonminerale erweisen sich als quellfähig, weil sie in der Lage sind, Wasser in ihr Schichtgitter aufzunehmen. Dies führt zu Drücken, die auf das eingebaute Tunnelgewölbe einwirken. Dieses muss den auftretenden Quelldrücken standhalten. Die Untersuchungen haben im Opalinuston Quelldrücke bis zu 32 kg/cm^2 nachgewiesen, doch gab es Hinweise, dass sie auch darüber hinaus reichen können.

3. Auftreten von *Gips und Anhydrit:* Gips ($= \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) und Anhydrit ($= \text{CaSO}_4$) sind in den Gesteinen des Keupers und in der Anhydritgruppe verbreitet. Die Wässer aus diesen Gesteinen gelten ihres Sulfatgehaltes wegen als betonaggressiv. Dazu kommt, dass die Umwandlung von Anhydrit zu Gips, die bei Wasserzutritt erfolgt, eine erhebliche Volumenzunahme bedeutet, die sich wiederum als Quelldruck bemerkbar macht und erhebliches Ausmass annehmen kann. Bekannt sind Quelldrücke, die bis $> 40 \text{ kg/cm}^2$ reichen. Gipskeuper ist aus dem Portalbereich des Bahntunnels bei Schinznach Dorf bekannt, ebenso wurde Gips aus der Anhydritgruppe im Bözberg-Gebiet abgebaut. Es sind deshalb zahlreiche Sondierbohrungen zur Erfassung der Verbreitung dieser sulfathaltigen Formationen abgetieft worden, doch konnte auf der Achse des Nationalstrassentunnels keines dieser Gesteine nachgewiesen werden!

Einen weiteren Bestandteil der Prognose bildeten Aussagen über den zu erwartenden *Wasseranfall* während des Tunnelbaues. Hierzu sind folgende Faktoren berücksichtigt worden:

- a) Drainagewirkung des Bahntunnels, der die von Westen her zufließenden Wässer im wesentlichen zurückhält.
- b) Vorflutwirkung des Aaretals in das Bözberg-Gebiet.
- c) Abschätzung des verbleibenden Einzugsgebietes für den Nationalstrassentunnel, wobei davon auszugehen war, dass er einen gewissen Anteil der Bahntunnel-Wässer übernehmen würde, da er etwas tiefer liegt als der Bahntunnel.
- d) Berücksichtigung der trotz der Verkarstung anhand von Pumpversuchen bestimmten eher bescheidenen Durchlässigkeit des Oberen Muschelkalkes (k -Werte $2,85 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ bis $1,26 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$).

e) Abschätzen des Versickerungs-Anteiles aus dem Niederschlagswasser.

Hieraus ist die Grösse des zu erwartenden Wasseranfalles auf 50–200 l/min. prognostiziert worden mit dem Hinweis, dass während der Initialphase diese Grössenordnung auch überschritten werden könne, nämlich dann, wenn sich grössere Karsttaschen in den Tunnel entleeren könnten. Die Wasserzuflüsse sind in erster Linie aus der Muschelkalk-Schuppenzone zu erwarten, in bescheidenerem Mass auch aus den Malmkalken des Tafeljuras. In den übrigen Strecken dürften die Wasserzutritte klein bleiben und sich auf einzelne Überschiebungs- oder Bruchstrukturen beschränken. Im weiteren kann erwartet werden, dass der Wasserzufluss unmittelbar auf das Niederschlagsgeschehen reagiert.

Zu grösseren Diskussionen geführt hat die Frage, ob der Bau des Bözbergtunnels die *Therme von Bad Schinznach* beeinträchtigen könne, dies sowohl in quantitativer oder auch in qualitativer Hinsicht. In geologischer Hinsicht ist die Muschelkalk-Schuppenzone des Bözbergtunnels als Teil des Einzugsgebietes der Therme Bad Schinznach anzusehen. In hydrogeologischer Hinsicht zeigt sich allerdings, dass das Karstwasser im Muschelkalk auf Tunnelniveau rezentes Wasser ist, das direkt in das Grundwasser des Aaretals abfließt, während das Tiefenwasser im Muschelkalk auch auf der linken Aaretal-Seite (Bohrung bei der Wisstrotte) ein Tritium-Alter von >30 Jahren aufweist und mineralisiert ist. Es weist gegenüber dem Aaretal-Grundwasserspiegel einen leicht erhöhten hydrostatischen Druck auf. Hieraus wurde folgende Beurteilung abgeleitet: Eine Gefährdung der Therme Bad Schinznach kann nicht völlig ausgeschlossen werden, doch ist das Risiko als verhältnismässig gering einzustufen. Es könnte eher im qualitativen als im quantitativen Bereich liegen. Dies führte zur Entscheidung, auf einen Sprengvortrieb in der Muschelkalk-Schuppenzone zu verzichten, damit durch Erschütterungen nicht zusätzliche Wasserwegsamkeiten geschaffen würden, und den Tunnel in diesem Bereich vollständig abzudichten, so dass sich nach dem Bau die ehemaligen Spiegelverhältnisse wieder einstellen können und gleichzeitig eine Verunreinigung im Tunnel selbst keine Möglichkeit hat, in das Felsgrundwasser einzudringen. Dies führte schliesslich dazu, dass für den Tunnelvortrieb eine

Tunnelbohrmaschine (TBM) mit Tübbingeinbau gewählt wurde, weil dies als die schonendste Vortriebsart gilt und gleichzeitig auch einen raschen Schutz des Gesteins erlaubt.

5. Befund

Der Durchschlag der Weströhre erfolgte am 5. September 1991, jener der Weströhre am 3. Juni 1993. Für das bergmännische Auffahren einer Tunnelröhre von 3522,5 m Länge (Weströhre), resp. 3579 m (Oströhre), wurden also je knapp 1¹/₂ Jahre benötigt. Die geologische Aufnahme der beiden Tunnelröhren erwies sich als recht anspruchsvolle Aufgabe, denn die TBM erlaubte keine direkte Beobachtung des Gesteins. An der Ortsbrust behinderte das Schneidrad den Zugang zum Gestein und der Tübbing-Einbau (vorfabrizierte Betonelemente) innerhalb des Vortriebsschildes verkleidete das Gestein unmittelbar hinter der Stollenbrust. Der Geologe war somit auf die Analyse des Ausbruchsmaterials auf dem Förderband der TBM und auf einzelne Durchblicke durch ein Fenster im Schneidrad der TBM angewiesen. Dies verhinderte vor allem eine direkte Kontrolle der Lagerungsverhältnisse des Gesteins und erlaubte auch nicht, Wasseraustrittsstellen aus dem Gestein zu orten.

Das geologische Profil des Befundes ist auf Fig. 3 enthalten. Es ist durch Herrn Dr. P. Diebold, Herznach, entworfen worden, der den Vortrieb der Weströhre geologisch aufgenommen hat und gleichzeitig die geologische Kartierung des Bözberg-Gebietes für den Geologischen Atlas der Schweiz 1 : 25 000 (Herausgeber: Landeshydrologie und -geologie, 3003 Bern) besorgte. Dies ermöglichte ihm, den Tunnelbefund in ein Gesamtkonzept der Geologie in diesem Raum einzuarbeiten.

Wie vergleichen sich nun Prognose und Befund:

1. In den generellen Zügen stimmen Tunnelprognose und -befund überein. Markante geologische Unterschiede bestehen vorab im Grenzbereich der schwierig zu deutenden Vorfaltenzone und deren Aufschiebung auf den Tafeljura. Sie rühren daher, dass in den Sondierbohrungen graue, tonige Mergel als Opalinu-

ston interpretiert worden sind, die sich z. T. als Effinger Schichten erwiesen. Dies bedeutet, dass der Tafeljura-Südrand stärker aufgebogen ist, als ursprünglich angenommen. In bautechnischer Hinsicht hat sich diese Tatsache nicht bemerkbar gemacht.

2. Im weiteren scheint die Vorfaltenzone auf Tunnelniveau aus zwei übereinander liegenden Einheiten zu bestehen: Oben eine überschobene Dogger-Lias-Keuper-Schuppe, mit der Hauptaufschiebung als südliche Begrenzung; die Schichten in dieser Schuppe weisen eine synklinale Lagerung auf. Darunter folgt eine liegende Synklinale mit Unterem Dogger als Kern und umhüllt von Opalinuston. Die Abgrenzung dieser Schuppe gegen den aufgebogenen Tafeljurasüdrand ist an keiner Stelle der Beobachtung zugänglich und wurde auf Fig. 3 als Bruchzone gedeutet, doch sind auch andere Möglichkeiten denkbar. Es ist zu bedenken, dass der Tunnel diese Strukturen sehr schiefwinklig kreuzt.

3. Im Laufe des Vortriebes wurden doch einzelne isolierte Pakete von gipsführenden Keupermergeln in unmittelbarer Nachbarschaft der Hauptaufschiebung angetroffen. Da aber das Sulfat stets in der Form von Gips vorliegt, stellt dieser Gipskeuper kein zusätzliches Quellpotential dar. Auch einzelne Muschelkalk-Schuppen weisen in ihrem hangenden Teil Keupermergel auf, doch sind diese durchwegs frei von Sulfaten. Ebenso ist keine sulfathaltige Anhydritgruppe angefahren worden, wohl aber deren oberste, dolomitische Teile.

4. Die geotechnischen Aspekte der Gesteine sind, soweit bearbeitet, zutreffend beschrieben worden. Der Tunnel konnte in dieser Hinsicht ohne Probleme erstellt werden. Hingegen ist erwartet worden, dass die Malmkalke stärker verkarstet wären als tatsächlich angetroffen. Dies erklärt vielleicht den relativ geringen Wasseranfall aus dieser Zone.

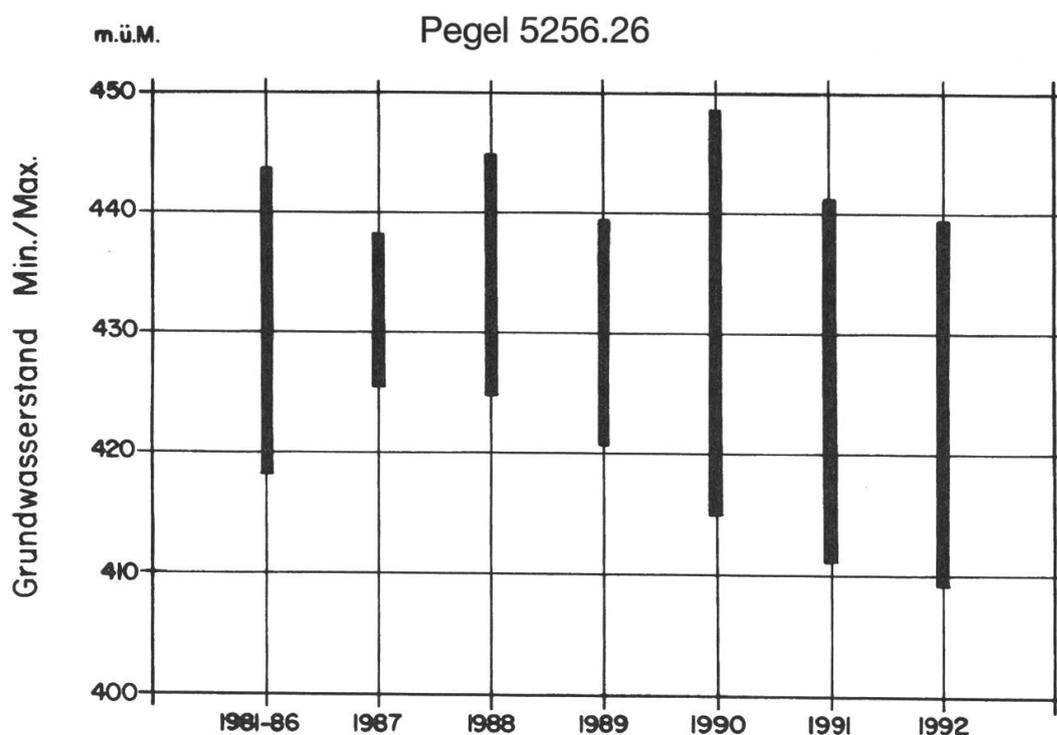
5. Zu den grössten Problemen gab das Felsgrundwasser Anlass: Im Laufe der Bauarbeiten zeichneten sich in verschiedenen Zonen des Tunnels, in der Vorfaltenzone wie im Tafeljura, Eindringstellen von Wasser an den Tübbing-Fugen ab. Es handelte sich dabei stets um bescheidene Zuflussraten, die je nach Witterung sogar austrockneten und dabei weissliche bis rostige Beläge hinterliessen. Analysen dieser Beläge ergaben, dass es sich um

Calcium- und Magnesiumsulfat sowie um Natriumchlorid handelt. Die Wasseranalysen konnten Gehalte bis in den Gramm-Bereich nachweisen. Damit war die hohe Aggressivität dieser Wässer auf Beton (Sulfat) und auf die Armierungseisen der Tübinge (Chlorid) nachgewiesen. Isotopenanalysen zeigten ferner, dass es sich um geologisch alte Wässer handelt; wo die Konzentrationen geringer sind, liegen Mischwässer mit Zufluss von versickernden Niederschlagswässern vor, wie es vor allem im Tafeljura der Fall ist. Da nach bisherigem Kenntnisstand in diesen Zonen nicht mit derartigen Wässern gerechnet worden war, drängten sich Massnahmen technischer Art zur Sicherung der Tunnelgewölbe auf, die ursprünglich nicht eingeplant waren.

Von Interesse ist die geologische Deutung dieses Phänomens, der insoweit auch eine praktische Bedeutung zukommt, da es zu überlegen galt, ob diese Zuflüsse anhalten würden oder versiegen könnten. Im Vordergrund stehen heute zwei Möglichkeiten: Aufsteigen von stark mineralisierten Tiefenwässern aus dem Bereich von Permokarbon bis Grundgebirge entlang von Störungen, welche den Nordschweizer Permokarbon-Trog begleiten, und durch die Aufschiebungszone von Falten- auf Tafeljura. Hierfür sprechen der Chemismus und die Tatsache, dass das Aaretal im Raum Schinznach Bad zu einer Zone mit erhöhten geothermischen Gradienten gehört, die auf aus der Tiefe aufsteigende Wässer hinweisen (siehe auch P. Diebold, 1986). Die andere Möglichkeit bestünde darin, dass das Gestein aus der Umgebung der Tunnelröhre Poren- und Haftwasser abgibt, das sich infolge der hohen Verweilzeit bereits stark mineralisiert hat. Dieses Wasser würde wahrscheinlich im Laufe der Zeit versiegen, sobald die Spannungsumlagerungen im Gebirge als Folge des Tunnelbaues abgeklungen sind. Die Fliesswege sind in beiden Fällen recht diffus im Gestein verteilt, da es sich fast durchwegs um schlecht durchlässige, mergelige Gesteine handelt. Untersuchungen haben gezeigt, dass es nicht möglich ist, grössere Mengen dieser Wässer zu fassen. Als Arbeitshypothese ist vom Aufsteigen warmer Tiefenwässer ausgegangen worden, weil die regionale Situation für eine solche Möglichkeit spricht.

6. Als einzige Strecke mit grösserem Wasserzufluss erwies sich erwartungsgemäss die Muschelkalk-Schuppenzone. Fig. 4 stellt die Abflussverhältnisse in Abhängigkeit von Zeit und Vortrieb dar. Ebenso sind die Wasserzuflüsse aus dem Bahntunnel berücksichtigt. Es zeigt sich, dass der Wasseranfall im prognostizierten Bereich liegt und bei starken Niederschlagsperioden auch über 300 l/min. ansteigen konnte. Der Einfluss auf die Wasserführung aus dem Bahntunnel ist deutlich sichtbar: Während die Tunneldrainage normalerweise zwischen 50–150 l/min. lag, fliessen heute weniger als 50 l/min. aus und die Schwankungen sind geringer geworden, so dass von einer Abnahme um rund 50 % gesprochen werden kann. Von Interesse wird die weitere Entwicklung sein, weil ja die wasserführende Muschelkalk-Strecke in beiden Nationalstrassenröhren abgedichtet wird. Hiernach sollten sich annähernd die früheren Verhältnisse wieder einstellen.

Fig. 5: Felsgrundwasserspiegel-Schwankungen in der Muschelkalk-Schuppenzone neben dem Tunnel (Oströhre) von 1981–1992



7. Quellen im Bözberg-Gebiet sind vom Tunnelbau nicht betroffen worden. Die Messungen des Felsgrundwasserspiegels in der Muschelkalk-Schuppenzone haben allerdings eine gewisse Erniedrigung des Felsgrundwasserspiegels nachgewiesen. Auf Fig. 5 sind die Spiegelschwankungen der Jahre 1981–92 dargestellt. Es handelt sich um eine Messstelle neben der Oströhre am Waldrand N des Bahndammes bei der Station Schinznach Dorf. Auch hier ist natürlich von Interesse, wie der Wasserspiegel nach der Abdichtung der beiden Tunnelröhren sich weiter verhalten wird.

6. Schlussbemerkung

Die geologische Begleitung des Baues des Bözbergtunnels der N3 hat sich als anspruchsvolle, geologisch aber höchst interessante Aufgabe erwiesen. Sie führte dazu, dass die Kenntnisse des Grenzgebietes Tafel- zu Faltenjura sich verbessert haben, die es sicher noch in einen allgemeineren Rahmen zu stellen gilt. Ebenso hat sie aufgezeigt, dass dem Verständnis der tieferen Wasserzirkulation grosse Bedeutung zukommt.

7. Literatur

- Amsler, A.* (1934): Geologischer Führer der Schweiz, Strecke Frick – Brugg – Baden, Fasc. IV, p. 267–272 – Wepf & Cie, Basel
- Beusch, E. und Frölich, S.* (1991): Die Nationalstrasse N3 und ihre Tunnelbauten im Bezirk Brugg. – Brugger Neujahrsblätter, 101, p. 14–165
- Diebold, P.* (1986): Erdwissenschaftliche Untersuchungen der Nagra in der Nordschweiz; Strömungsverhältnisse und Beschaffenheit der Tiefengrundwässer. – Mitt. Aarg. Naturf. Ges., 31, p. 11–52
- Gorhan, H. L. und Griesser, J. C.* (1988): Geothermische Prospektion im Raume Schinznach Bad – Baden. – Beitr. Geol. Schweiz, Geotech. Ser., 76, 73
- Gsell, F.* (1968): Geologie des Falten- und Tafeljura zwischen Aare und Wittnau und Beobachtungen zur Tektonik des Ostjura zwischen dem Unteren Hauenstein im W und der Aare im E. – Inaug.-Diss. Univ. Zürich, 138 S.
- Hauber, L.* (1991): Geologie des Bözbergtunnels. – SIA-Dokumentation D 074, p. 15–22
- Moesch, C.* (1874): Der südliche Aargauer-Jura und seine Umgebung. – Beitr. Geol. Karte Schweiz, 10, 131 + 95 S.

- Müller, W. H.; Huber, M.; Isler, A. und Kleboth, P.* (1984): Erläuterungen zur «Geologischen Karte der zentralen Nordschweiz 1 : 100 000». – Nagra Tech. Ber., 234 S.
- Sprecher, C. und Müller, W. H.* (1986): Geophysikalisches Untersuchungsprogramm Nordschweiz: Reflexionsseismik 82. – Nagra Tech. Ber., 84–15, 168 S.
- Wildi, W.* (1983): Erdgeschichte und Landschaften im Kanton Aargau. – Sauerländer, Aarau, 147 S.

Dank

Es liegt mir daran, dem Kanton Aargau und insbesondere den Herren Kantonsingenieur A. Erne sowie Herrn E. Beusch herzlich dafür zu danken, dass sie jederzeit den geologischen Belangen Interesse entgegen gebracht haben. Der Dank gilt aber auch der Bauleitung, dem Ingenieurbureau Gähler + Partner AG, Baden, mit den Herren A. Arnold und M. Brugger, mit denen viele technische Aspekte einvernehmlich diskutiert werden konnten.