

Abhandlungen
der Geologischen Landesuntersuchung
am Bayerischen Oberbergamt
H e f t 10

Geologie der Reichenhaller Solequellen

Von
Eduard Hartmann
Mit 1 Karte und 2 Profiltafeln

Die geologischen Ergebnisse beim Bau
der Bayerischen Zugspitzbahn

Von
Josef Knauer
Mit 5 Abbildungen, 3 Tafeln und 1 Karte

Junge Krustenbewegungen im
Weidener Becken

Von
Adolf Wurm, Würzburg
Mit 1 Tafel

Herausgegeben vom Bayerischen Oberbergamt
M ü n c h e n 1933

Geologie der Reichenhaller Solequellen

Von

Eduard Hartmann

Mit 1 Karte und 2 Profiltafeln

Inhaltsübersicht.

	Seite
Einleitung	3—4
Orographische und hydrologische Übersicht	4
Stratigraphie	4
1. Trias	5—7
a) Berchtesgadener Fazies	5—6
b) Hallstätter Fazies	6—7
2. Kreide	7—8
3. u. 4. Diluvium und Alluvium	8—9
Tektonik	9—13
Entstehung der Reichenhaller Solequellen	13—14
Der Reichenhaller Solequellenbau	14—17
Übersicht der Reichenhaller Solequellen	15
Störungen im Solequellenbau	17—20
Verwertung der Solequellen	20
Zusammenfassung	20—21
Schriftenverzeichnis	22

Einleitung.

Zu den wertvollsten alpinen Kurorten Bayerns gehört das Bad Reichenhall, um das es mit Recht allseits beneidet wird. Eine herrliche Bergwelt umrahmt eine schmucke, saubere, gastliche, moderne Bäderstadt, die trotz der Nähe hochragender Felszinnen durch ein überraschend mildes Klima ausgezeichnet ist und dazu noch in ihren viel zu wenig bekannten, mitten in der Stadt gelegenen, zahlreichen Solequellen einen überaus kostbaren Schatz besitzt. Die Sole derselben wird nicht nur zur Herstellung des rühmlich bekannten bayerischen Siedesalzes verwendet, sondern bildet auch einen wesentlichen Bestandteil der Kurmittel, welchen Reichenhall seinen Weltruf verdankt. Neben ihrer großen wirtschaftlichen Bedeutung besitzen die Solequellen auch eine überaus interessante geologische Umwelt, die aber noch viele lösenswerte Probleme in sich birgt. Daher ist es sehr zu begrüßen, daß die

Generaldirektion der Berg-, Hütten- und Salzwerke A.-G., München, in deren Auftrag der Verfasser eine genaue, geologische Aufnahme der Reichenhaller Solequellen und ihrer Zusammenhänge mit dem Grundwasserstrom der Saalach ausführte, die Erlaubnis gab, die bei diesen Untersuchungen gewonnenen neuen Ergebnisse auch weiteren Kreisen mitzuteilen.

Orographische und hydrologische Übersicht.

Die Grundzüge der Orographie der näheren Umgebung der Reichenhaller Solequellen sind folgende. Östlich von Reichenhall zieht langsam ansteigend bis gegen den Nordwestabfall des Untersberges das Gmainer Plateau empor, welches mit einem NO.—SW. streichenden, über St. Zeno bis zur Reichenhaller Gasfabrik führenden, auffälligen Steilabfall zum Reichenhaller Talkessel abbricht. Dieser endigt im W. an den Felskuppen bei Karlstein und wird im N. von den Südabhängen des Hoch-Staufen begrenzt. Die Südgrenze des Gmainer Plateaus und des Reichenhaller Talkessels bilden hohe, massige Berge, welche durch das NO.—SW. streichende, in der Verlängerung des Steilabfalls liegende, auffällige Saalach-Tal mit dem Saalach-Stausee in zwei Teile zerlegt werden. Der nordwestliche davon, welcher niedrigere Gipfel aufweist, heißt in seiner Gesamtheit der Müllner Berg, der südöstliche hingegen formt die hohen Nordabstürze des Latten-Gebirges mit dem Predigtstuhl und dem Dreisessel-Berg. Die Saalach weicht gleich nach ihrem Eintritt in den Reichenhaller Kessel mit einer Schleife nach NW. aus und durchquert die Mitte des Kessels mit einer, dem oben erwähnten Steilabfall parallel laufenden Richtung. Südlich von Reichenhall, an der Schießstätte, mündet in sie von Osten her der im Latten-Gebirge entspringende Weid-Bach oder Flotters-Bach.

An westlichen Zuflüssen sind zu verzeichnen: der Abfluß des Thum-Sees, der See-Bach, welcher sich nordwestlich am Fuße des Hoch-Staufen mit dem Hammer-Bach zum Hoswasch-Bach vereinigt und N. von St. Zeno in die Saalach einmündet.

Die Solequellen liegen im südlichen Teil von Reichenhall, unterhalb des Schlosses Gruttenstein, hart am oder besser im Steilabfall und zwar im sog. „Quellenbau“, den eine Kirche, ein Maschinenhaus und ein Teil der alten Saline überdeckt. (Siehe Tafel I und 3.)

Stratigraphie.

Die geologische Umrahmung der Solequellen ist aus mannigfachem Gesteinsmaterial zusammengesetzt.

Zu diesem gehören Gesteine: 1. der Trias, 2. der Kreide, 3. und 4. des Diluviums und Alluviums.

1. Die Trias.

Die Trias besteht a) aus dem Haselgebirge, b) den Werfener Schichten, c) dem Reichenhaller Kalk, d) dem Unteren und Oberen Ramsaudolomit, e) dem Unteren und Oberen Hallstätter Dolomit und Kalk, f) den Raibler Schichten, g) dem Dachsteinkalk.

Das Haselgebirge, die Werfener Schichten, der Reichenhaller Kalk, gehören zur Unteren Trias, zur skythischen Stufe; der Untere Ramsaudolomit, die Unteren Hallstätter Kalke und Dolomite zur Mittleren Trias, zur anisichen bzw. ladinischen Stufe; die Raibler Schichten, die Oberen Hallstätter Kalke und Dolomite und der Obere Ramsaudolomit sind karnisch. Ein Teil der Oberen Hallstätter Dolomite und Kalke und der Oberen Ramsaudolomite gehört wahrscheinlich noch ins Norikum.

Die soeben angeführten Gesteinshorizonte bilden zwei ursprünglich dicht nebeneinander abgelagerte Faziesbezirke, die küstenfernere Berchtesgadener und die küstennähere Hallstätter Fazies. Sie entsprechen zugleich auch zwei verschiedenen tektonischen Einheiten, der „Berchtesgadener“ und der „Hallstätter Schubmasse“.

a. Berchtesgadener Fazies.

In ihr treten zu unterst die Werfener Schichten auf. Es sind mächtige, marine, sandige, tonige, meistens grünlich, rotbraun oder violett gefärbte, dünn- oder dickplattige Schichten, welche am Reichenhaller Steilabfall bei St. Zeno, auf dem Gmainer Plateau bei der schönen Aussicht und S. von Kaitl im westlichen Teil des Reichenhaller Kessels aufgeschlossen sind.

Ihr normales Hangende ist der Untere Ramsaudolomit. Die normale Berührungsfläche von Ramsaudolomit und Werfener Schichten ist jedoch in unserem Gebiete nirgends zu sehen, auch auf der Nordseite des Latten-Gebirges, im sog. Pechler-Bruch zwischen Bayrisch-Gmain und Reichenhall nicht, wo liegendes Haselgebirge unter übergeschobenem Ramsaudolomit eintaucht. Der Untere Ramsaudolomit ist grau, bräunlich, kristallin, dicht, hell, dunkel, oft stark breschig und manchmal geschichtet.

Auf ihm kamen, allerdings nicht immer, die fossilführenden oder fossilfreien, küstennah gebildeten „Raibler oder *Cardita*-Schichten“ zum Absatz. Diese umfassen mehrere Meter mächtige, schwarzgraue Kalke und Dolomite, dunkle Mergel, schwarzgraue Letten und grünlich-graue Sandsteinbänke und waren im Druckstollen des Saalach-Kraftwerks sehr gut aufgeschlossen. Auf die Raibler Schichten legt sich der Obere Ramsaudolomit, welcher ganz ähnlich wie der Untere ausgebildet ist, aber oftmals eine viel besser ausgeprägte Bankung aufweist. Das hangendste Glied der Berchtesgadener Fazies ist der meistens gut gebankte, weiße, bräunliche oder durch Eiseninfiltrationen fleisch-

farbene oder rosa gefärbte mächtige Dachsteinkalk, welcher in seiner Mächtigkeit stark vermindert, in der Südwestecke der Karte (Tafel 1) an den östlichen Ausläufern des Müllner-Horns, SW. von der Bürgermeisters-Höhe eine tektonische Mulde, die „Rabenstein-Löchling-Mulde“ bildet.

b. Hallstätter Fazies.

Im Gegensatz zur Berchtesgadener Fazies mit ihren mächtigen Ramsaudolomitbänken und Dachsteinkalkbänken, welche in einem tiefen, sich stetig, aber langsam senkenden Becken, aber in keiner Tiefsee entstanden sind („Tiefe Beckenfazies“) ist die Hallstätter Fazies als eine viel weniger mächtige „Schwellen- oder Barrenfazies“ anzusprechen. Zu dieser Anschauung kommt man unwillkürlich, wenn man den beiden Faziesbezirken gemeinsamen und gesteinskundlich übereinstimmend ausgebildeten Raibler Horizont, welcher in der Berchtesgadener Fazies im Druckstollen des Saalach-Kraftwerkes, in der Hallstätter Fazies in den Schürfgräben 1—3 bei Kirchberg einwandfrei nachgewiesen werden konnte, als Leithorizont verwendet. Dabei fallen besonders schwarze Tonschiefer auf, die in der küstenferneren Berchtesgadener Fazies fossilführend, in der küstennahen Hallstätter Fazies bis jetzt, bei gleicher petrographischer Ausbildung, nur fossilfrei angetroffen wurden und auf der Karte und in den Profilen durch schwarze Farbe besonders deutlich hervorgehoben sind. Von diesem Leithorizont ausgehend, findet man im Liegenden in der Berchtesgadener Fazies einen mächtigen, ziemlich gleichmäßig entwickelten Unteren Ramsaudolomit, mächtige salz- und gipsfreie Werfener Schichten, in der Hallstätter Fazies dagegen wenig mächtige, miteinander vielfach verzahnte und einander rasch ablösende Untere Hallstätter Kalke und Dolomite, darunter einen wenig mächtigen Reichenhaller Kalk, unter diesem Werfener Schichten wie in der Berchtesgadener Fazies, aber wenig mächtig, darunter viele unregelmäßig geformte Salz- oder Gipsbrocken oder stark gestauchte oder ausgewalzte Bänder und Linsen von Salz und Gips führende Werfener Schichten = die „Salzfazies“ der Werfener Schichten. Diese ist durch die tektonischen Vorgänge zu einer Salz-Ton-Bresche zerrieben, welche bei den Bergleuten „Haselgebirge“ heißt und im trockenen Zustande sehr standfest ist. Wenn aber durch eindringendes Wasser ihr Salzgehalt ausgelaugt ist, dann entsteht eine wenig widerstandsfähige, weiche, grünlichgraue, zu Abrutschungen neigende, knetbare, tonige Masse, das „Ausgelaugte“ der Bergleute, welches jedoch noch die Umrisse der kleinen und großen Brocken der zertrümmerten, mit Salz- und Gipslagen früher abwechselnden Werfener Schichten erkennen läßt. Diese scheinen in der Salzfazies dichter, toniger, sandärmer ausgebildet gewesen zu sein, als in der salzfreien und sind von schwärzlicher, grauer, schwarzgrauer und bräunlicher Farbe.

Der Reichenhaller Kalk ist verschieden mächtig, bei Kaitl z. B. nur einige Meter, am Reichenhaller Steilabfall dagegen erreicht er 100 m. Seine Schichtflächen sind oft durch Rost bräunlich gefärbt. Er ist i. a. gut geschichtet und manchmal bänderig ausgebildet. Selten kommen klotzige, ungeschichtete Partien vor. Sehr deutlich ist fast immer eine Klüftung ausgeprägt, welche vorwiegend senkrecht zu den Schichtflächen steht. Durch den Gebirgsdruck ist das Schichtgefüge des Reichenhaller Kalkes besonders in der Nähe von Verwerfungen stark zerstört (siehe Tafel 3). Es haben sich dann Breschen von rauh-wackenartiger Beschaffenheit herausgebildet, deren regellos angeordnete Brocken sehr oft durch die zirkulierenden, kalkauflösenden und wieder-absetzenden Gewässer fest zusammen verkittet sind. Der Reichenhaller Kalk spielt bei den Reichenhaller Solequellen die wichtige Rolle eines natürlichen Steig- und Abkühlungsrohres, während das Haselgebirge die Entstehung von natürlichen, tiefliegenden Sinkwerken ermöglicht.

Über dem Reichenhaller Kalk liegen als Vertreter des Unteren Ramsaudolomites der Berchtesgadener Fazies die petrographisch mit diesem übereinstimmenden Unteren Hallstätter Dolomite, welche hauptsächlich W. von Kirchberg und S. von Kaitl auftreten und durch den Unteren Hallstätter Kalk ersetzt werden können. So kommen z. B. bei Kirchberg im Schurfgraben Nr. 1 harte, dunkelgraue, mit weißen Kalzitadern durchzogene Untere Hallstätter Kalke vor.

Über den schwarzen, bereits erwähnten, fossilereen Raibler Tonschiefern, die in den Schürfen Nr. 2 bei Kirchberg aufgeschlossen wurden, liegen die Oberen Hallstätter Dolomite und Kalke. So ergab Schurf Nr. 4 bräunlichen, rötlichen Dolomit, der in Nr. 5 durch zähen, hellbraunen Kalk mit weißen Kalzitadern und in Nr. 8 durch schwarz-grauen, hornsteinführenden, von weißen Kalzitadern durchzogenen, mit grauen, bänderigen, kieseligen Mergeln abwechselnden Hallstätter Kalk ersetzt wird. Ganz ähnliche, steilstehende Mergelbänder wurden wieder am Steige, welcher W. vom Reichenhaller Elektrizitätswerk zur Reichelklamm emporführt, W. von der „Kirchberger Verwerfung“ (siehe Karte) angetroffen. Durch Schleppung sind sie nach Norden abgebogen und treten in Verbindung mit dichten, grünlich-grauen und blaß-weinroten, oft auch an Lias-Fleckenmergel erinnernden Kalken auf, welche sich, allerdings mehrfach verworfen, bis S. von Kaitl fortsetzen.

2. Die Kreide.

Die Kreide-Sedimente haben zwar keinen direkten Anteil an der Entstehung der Reichenhaller Solequellen, aber sie sind ein für die Erkenntnis ihrer verwickelten Lagerungsverhältnisse überaus wichtiger Schichthorizont.

In der Oberen Kreidezeit kamen auf den von der vorangehenden,

posttriadischen, kretazischen Erosionsperiode verschont gebliebenen, aber bereits mehrfach aneinander verschobenen Teilen der Berchtesgadener und Hallstätter Fazies, also auf Ramsaudolomit, Reichenhaller Kalken, Hallstätter Dolomiten und Kalken und den Dachsteinkalken und wahrscheinlich auch auf den Werfener Schichten, verschieden mächtige und gesteinskundlich stark wechselnde, kretazische Schichten zum Absatz. Zu unterst wurden hauptsächlich buntgefärbte, durch das überflutende Meer erzeugte und angehäuften Geröllagen, die „Gosau-Konglomerate“, abgesetzt, welche überwiegend aus verschiedenen großen und mehr oder weniger stark abgerollten Stücken der liegenden, älteren Triasgesteine zusammengesetzt sind. Auch dichte und spätierte, weiße und bräunliche und graue Kalke kommen vor. Im Hangenden dieser unteren Gosau-Gesteine treten auch harte, dunkelgraue, dichte, etwas an Flysch erinnernde Mergel = die „Oberen Gosau-Schichten“ auf. Solche wurden z. B. im Schurf Nr. 6 bei Kirchberg angefahren. Über den konglomeratischen, kalkigen und mergeligen Gesteinen der Gosau-Kreide wurden ziegelrote, graue und grünliche, schieferige Mergel, die „Nierentaler Mergel“ abgesetzt. Die Mächtigkeit aller Kreidgesteine ist, wie auch die Profile zeigen, entsprechend ihrer unregelmäßigen Auflagerungsfläche sehr verschieden.

3. und 4. Diluvium und Alluvium.

Zu den ältesten diluvialen Absetzungen unseres Gebietes gehören die „Älteren Saalach-Schotter“. Man trifft sie längs des Reichenhaller Steilabfalls bei St. Zeno, S. von Gruttenstein und in geringerer Ausdehnung bei Kibling am Stollenmundloch an. Sie sind fluvioglazialen Ursprungs, aus zentralalpinen und kalkalpinen, abgerollten Gesteinstücken verschiedener Größe zusammengesetzt, manchmal etwas geschichtet und enthalten wasserdurchlässige, kalkig-sandige Einlagerungen, welche sich hauptsächlich in den unteren Horizonten einstellen. Je nachdem die Schotter bei ihrer Ablagerung eine ebene oder unebene Bodenunterlage vorfanden, liegen sie horizontal oder geneigt. Eine stark geneigte Lagerung besitzen sie z. B. am Nordrande des Auswaschungsbeckens S. von Gruttenstein, wo sie dem zerklüfteten Reichenhaller Kalk auflagern (siehe Tafel 2, Profil 5 und 6 und Tafel 3, Profil 8). Hier treten auch kleine, diluviale, wahrscheinlich auf Absenkungen im liegenden Gebirge zurückzuführende, NW.—SO. streichende Verwerfungen auf, welche O. M. REIS zuerst feststellte. Sie zerstückeln die Schotterbänke und befähigen sie, ebenso wie die sandigen Einlagerungen, viel Grundwasser aufzunehmen und weiterzuleiten.

Auf den Älteren Saalach-Schottern, von denen man annehmen muß, daß sie einst das Saalach-Tal zwischen Kirchberger Bahnhof und Kibling ganz ausgefüllt haben, sind die Moränen und Moränenreste aus-

gebreitet. Sie ließen sich auf dem Gmainer Plateau, ferner N. und S. von Kaitl, am Reichenhaller Steilabfall und W. vom Kurhaus Kirchberg feststellen, sind aber auf der Karte nicht eigens zur Ausscheidung gelangt. Die Moränen waren natürlich früher im Saalach-Tal unterhalb des Stausees ebenfalls in reichlicherem Maße vorhanden, sind aber der späteren Flußerosion fast ganz zum Opfer gefallen und haben den Jüngeren, unverfestigten Saalach-Schottern Platz gemacht. Diese haben sich aus dem, wie ein Sammelkanal wirkenden Saalach-Trogtal unterhalb Kibling ergießend, flach fächerförmig über die zu einer Ebene aberdierten Trias-Gesteine im Reichenhaller Becken bis an den Fuß des Reichenhaller Steilabfalls ausgebreitet. Die ausfüllende Tätigkeit der Saalach wurde durch den Weid-Bach, den Sammler des von den Nordabhängen des Latten-Gebirges abstammenden Schuttes und durch den See-Bach kräftig unterstützt.

Die Älteren und Jüngeren Saalach-Schotter erregen unser besonderes Interesse, da sie den Saalach-Grundwasserstrom beherbergen, welcher die Reichenhaller Solequellen teilweise sehr stark beeinflusst.

Infolge des Mangels an natürlichen Aufschlüssen und um die Tektonik der Reichenhaller Solequellen und des Reichenhaller Kessels deutlich hervortreten zu lassen, wurde die geologische Karte (Tafel 1) als sog. abgedeckte geologische Karte gegeben. Sie stellt demnach die geologischen Verhältnisse dar, als ob das Diluvium und Alluvium fast gar nicht zur Entwicklung gekommen oder durch Erosion schon fast ganz entfernt worden wäre. Jedoch sind in vielen Fällen bei den Trias- und Kreide-Gesteinen die Grenzen der natürlichen Aufschlüsse naturgetreu wiedergegeben.

Tektonik.

Vor der Entstehung der Schubmassen gab es zwei aneinander grenzende Absatzgebiete von gleichalteriger Trias, die küstenferne Berchtesgadener Beckenfazies und die küstennähere Hallstätter Schwellenfazies. In der Oberen Kreide-Zeit setzte im Bereiche beider Sedimentationszonen eine starke Schollenbildung und -bewegung mit nachfolgender, kräftiger, aber räumlich beschränkter Erosion ein. Diese reichte im Hallstätter Bezirk, wo die Schichtserien schon von Beginn an weniger mächtig waren, auf ältere, tiefere Horizonte hinab, als im mächtigeren Berchtesgadener Faziesgebiet. Teilweise ergriff sie sogar die Werfener Schichten und das Haselgebirge.

Während dieser lange dauernden Erosionsperiode wurden breite, steilumränderte, mit Buchtungen versehene Talkessel geschaffen, die örtlich zunächst mit Kreide-Gesteinen und später an vielen Stellen auch noch mit Tertiär-Gesteinen ausgefüllt wurden. Nach dem Absatz der Tertiär-Gesteine, welche in dem auf der Karte dargestellten Gebietsteil

nicht zur Entwicklung kamen oder schon ganz wegerodiert wurden, wurde der in Berchtesgadener Fazies entwickelte Gebirgsteil samt seiner Kreide-Bedeckung, also die „Berchtesgadener Schubmasse“ auf das aus Hallstätter Gesteinen und deren Kreide- und Tertiär-Bedeckung bestehende Vorland, welches selbst wieder Schubmasse = Hallstätter Schubmasse ist, geschoben. Dabei legten sich die wenig widerstandsfähigen Teile der Hallstätter Zone, entsprechend dem bogenförmigen, nach Süden geöffneten Schubrand der Berchtesgadener Schubmasse, in mehrere SO.—NW. und W.—O. streichende, manchmal längs kleiner, örtlicher Überschiebungsflächen durchgerissene Sättel und zugehörige Mulden.

Außerdem traten viele Verwerfungen und Zerrspalten auf. Südlich der Fischzuchtanstalt im westlichen Teil des Reichenhaller Kessels läuft in SW.—NO.-Richtung eine sehr bedeutende Störungslinie, welche den Muschelkalk und Wettersteinkalk der sog. „bayerischen oder tirolischen Unterlage“ von der Hallstätter Schubmasse trennt. Durch ost-westlich wirkende Gebirgskräfte wurde die Hallstätter und Berchtesgadener Schubmasse gleichzeitig auch noch stark in meridionaler Richtung zusammengepreßt. Dabei entstanden neue, flache Sättel, Mulden und Flexuren mit nord-südlich oder nahezu nord-südlich streichender Achse und jüngere Brüche, welche die älteren NO.—SW.-streichenden verschieben (siehe Tafel 1).

Es ergibt sich also die nachstehende Zusammenstellung der Hauptformen des tektonischen Baues, welche auf die mit der Entstehung der Solequellen innig verknüpfte Wasserführung der Gesteine einen großen Einfluß ausüben:

- a) Sättel und Mulden in der Berchtesgadener Schubmasse,
 - b) Sättel und Mulden in der Hallstätter Zone,
 - c) Verwerfungen in der Berchtesgadener Schubmasse,
 - d) Verwerfungen und Lokalüberschiebungen in der Hallstätter Zone.
- a) Sättel und Mulden in der Berchtesgadener Schubmasse.

Der durch mehrere Querverwerfungen — z. B. SW. von Bayrisch-Gmain, S. und W. von Kirchberg — zerstückelte Nordrand der Berchtesgadener Schubmasse tritt im Gelände sehr deutlich hervor. Er bildet die augenfällige Grenze zwischen den steil aufragenden Felsmassen des Müllnerhorn-Zuges und des Latten-Gebirges einerseits und dem Reichenhaller Becken und dem Gmainer Plateau andererseits. Die starken Süßwasserquellen SW. von Bayrisch-Gmain beim Brunnenbauer und bei Kirchberg („Kirchberg-Quelle“) beweisen, daß schon die oberen Teile des Schubrandes eine wasserreiche Begrenzungsfläche bilden. Wir dürfen daher mit Recht annehmen, daß in der Tiefe diese so stark wasserführend ist, daß das für die dauernde Speisung von natürlichen

Sinkwerken erforderliche Süßwasser aus den Dolomiten in das Haselgebirge der Hallstätter Zone übertreten kann. Mit diesem Schubrand ziemlich gleichgerichtet verlaufen in der SW.-Ecke des Kartenblattes die mehrfach zerstückelte Rabenstein—Löchling-Mulde mit Dachsteinkalk und Gosaukreide-Schichten im Kerne und der Jettenberg—Kirchberg-Sattel, welcher im Druckstollen des Saalach-Kraftwerkes einen flexurartigen Charakter annimmt und ebenfalls stark gestört ist.

Der Umstand, daß S. von Kirchberg hauptsächlich ein nordnord-westliches oder ein nordwestliches, flaches Einfallen der Ramsaudolomite und der *Cardita*-Schichten herrscht (siehe Tafel 2, Profil 1, 2, 3), daß ferner S. von Bayrisch-Gmain beim Brunnenbauer im Ramsaudolomit der Berchtesgadener Schubmasse sich bereits ein nordöstliches, flaches Einfallen einstellt und daß außerdem die Schichten an der Rotofen-Spitze, vor allem der Dachsteinkalk SW. von Hallthurm, ein östliches Einfallen besitzen, zwingt uns, zwischen dem Saalach-See und dem östlich davon gelegenen Flotters-Bach oder Weid-Bach ein etwa N.—S.-streichendes, ziemlich flaches, auf der Tafel 1 angedeutetes Gewölbe mit flach nördlich eintauchender Achse anzunehmen, an das sich östlich eine Mulde anschließt, welche für diesen Teil der Berchtesgadener Schubmasse die vadosen Wässer ansammelt.

b) Sättel und Mulden in der Hallstätter Zone.

In der Hallstätter Zone haben wir, im Süden beginnend, den O.—W. streichenden Salzsattel I oder den „Pechler Sattel“. Im Pechler Bruch ist ein Teil seines Kernes aufgeschlossen, der als stark zusammengestauchtes und zerriebenes Haselgebirge mit abgebauten Gipseinlagerungen entwickelt ist. Die Achse des Pechler Sattels taucht sowohl nach Osten als auch nach Westen. Damit hängt zusammen, daß am Wasserschloß des Saalach-Kraftwerkes und in den Schürfen bei Kirchberg und S. von Bayrisch-Gmain längs des Nordrandes der Berchtesgadener Schubmasse das Haselgebirge allmählich bis zur Auskeilung abnimmt.

Nördlich des Salzsattels I liegt der im Reichenhaller Kessel kuppelförmig entwickelte Salzsattel II oder der „Kaitl—Reichenhall—Gmain-Sattel“. Sein Kern ist im Westen durch die Gipsvorkommen N. von Kaitl angedeutet, während die Werfener Schichten im Hangenden des Haselgebirges W. vom Brunnhaus Kaitl und NW. vom Schulhaus Kaitl, ferner in Reichenhall in der Rosen-Gasse und im Anwesen des Herrn Baumeisters Ziegler NNW. vom Schloß Gruttenstein, entblößt sind oder waren. Sein weicher, leicht verwitterbarer, aus Haselgebirge und sandigen Werfener Schichten bestehender Kern mag wohl die Bildung der auffälligen Ebene des Reichenhaller Kessels zwischen Kaitl und Reichenhall mit verursacht haben. Auch er taucht sowohl nach Westen als auch nach Osten ein. Wie weit sich allerdings unter dem

Alluvium das Haselgebirge nach Osten erstreckt, ist noch unbekannt. Einen großen Teil des Gmainer Plateaus nimmt unter der Moränenbedeckung der kuppelförmige, im allgemeinen NW.—SO. streichende Salzsattel III oder der „St. Zeno—Schaffelpoint-Sattel“ ein. Zur Südwest- und Westflanke dieses Sattels gehören außerhalb der beigegebenen Karte die Werfener Schichten bei St. Zeno, zur Nordostflanke die mit Werfener Schichten abwechselnden, eisenreichen, steil nordöstlich einfallenden Reichenhaller Kalkbänder auf dem Wege vom salinarischen Steinbruch zum Klosterhof, ferner auch der auf österreichischem Boden sich befindliche Gipsbruch bei Leopoldstal. Sehr wahrscheinlich sind alle drei Salzsättel viel verwickelter gebaut, als es in den Profilen zum Ausdruck kommt. Man muß jedenfalls mit dem Auftreten mehrerer Sekundärsättel und -mulden rechnen.

In der Muldenzone zwischen dem Sattel I und II treten, vom Reichenhaller Kalk gebildet, der durchrissene Reichenhaller Sekundärsattel mit den Solequellen und die zugehörige Reichenhaller Sekundärmulde auf. Bei allen Sätteln und Mulden der sog. Hallstätter Zone ist noch darauf hinzuweisen, daß die Mächtigkeit ihrer Trias-, Kreide- und Tertiär-Gesteine nicht nur aus stratigraphischen, sondern auch aus tektonischen Gründen sehr stark wechselt.

c) und d) Verwerfungen in der Berchtesgadener Schubmasse und Verwerfungen und Lokalüberschiebungen in der Hallstätter Zone.

Die Verwerfungen der Berchtesgadener und der Hallstätter Schubmasse lassen sich in zwei Gruppen einteilen. Die eine davon, die ältere, kann man auf die Kräfte zurückführen, welche die Berchtesgadener Schubmasse in nordnordöstlicher und nordnordwestlicher Richtung vorgeschoben haben. Sie tragen den Charakter von kleinen, örtlichen Überschiebungen und von Zerrspalten. Diese Überschiebungen verlaufen ungefähr mit dem Schichtstreichen, die Zerrspalten nahezu querschlägig. Die zweite Gruppe ist jüngerer Datums und hängt mit in ost-westlicher Richtung einsetzenden, starken Schubkräften zusammen. Sie umfaßt Störungen, welche die älteren Verwerfungen durchkreuzen.

Sehr wahrscheinlich hat sich außerdem die Berchtesgadener Schubmasse infolge der ost-westlich wirkenden Kräfte teilweise auch noch als Ganzes etwas nach Westen hin verschoben, so daß Teile von Verwerfungen der ersten Gruppe, die ursprünglich die Berchtesgadener Schubmasse und die Hallstätter Zone zusammenhängend durchzogen, heute räumlich voneinander getrennt liegen. Man vergleiche auf der Karte z. B. die „Reichenhaller Verwerfung“ = II, ihre Parallelsprünge I und III und die „Kirchberger Verwerfungszone“, deren südliche, in der Berchtesgadener Schubmasse gelegene Fortsetzungen längs des Schubrandes nach Westen vorgerückt erscheinen.

Auch die nördliche Fortsetzung der Reichenhaller Verwerfung, jenseits des vom Reichenhaller Marienheim über Bayrisch-Gmain verlaufenden, streichenden Bruches, zeigt eine O.—W.-Verschiebung an. Die Reichenhaller Kalke und die Werfener Schichten weisen längs der Reichenhaller Verwerfung noch eine NO.—SW. streichende, flexurartige Verbiegung mit nordöstlich eintauchender Achse auf, so daß in ihnen ein NO.—SW. verlaufendes Generalstreichen vorgetäuscht wird. Wichtig für das Verständnis des Reichenhaller Quellenbaues ist noch eine S-förmige streichende Stauchung der Schichten O. von der Reichenhaller Verwerfung (siehe Tafel 3). Diese selbst ist im Gelände durch viele deutliche, horizontale Rutschstreifen des zerriebenen Reichenhaller Kalkes unterhalb des Wachtturmes am Gruttenstein hinter dem Salinengebäude kennbar gemacht.

Entstehung der Reichenhaller Solequellen.

Eine ausgezeichnete Darstellung der Entstehung der gesättigten Reichenhaller Solequellen hat G. GILLITZER (1914) gegeben. Er führt sie auf natürliche Sinkwerke im Haselgebirge der Hallstätter Zone zurück, die in einer Teufe von rd. 300—400 m unter dem Quellenaustritt zu suchen sind und den nötigen, unter Druck stehenden Süßwasserzufluß hauptsächlich aus den mächtigen Dolomitmassen der Berchtesgadener Schubmasse aus dem Latten-Gebirge empfangen. Diese Dolomite und die Hallstätter Zone sind selbst wieder auf die nach unten hin wasserabschließenden, mergeligen Neokom-Schichten der bayerischen oder tirolischen Fazies und Unterlage geschoben. Durch das Einsinken der schweren Berchtesgadener Schubmasse längs der plastischen angrenzenden Haselgebirgsmassen ist eine günstige Lage für den Übertritt der süßen, im übergeschobenen Ramsaudolomit der Berchtesgadener Schubmasse sich ansammelnden Wässer geschaffen.

Wenn nun auch bezüglich der Berührungsfläche zwischen der Berchtesgadener Schubmasse und der Hallstätter Zone hier eine andere Auffassung vertreten wird, nämlich die, daß sie, wie die guten Aufschlüsse im Pechler Bruch und am benachbarten Müllner Berg, die früher im Sockel der Talsperre bei Kibling nachgewiesene Salzquelle und die Profile der Tafel 2 anzeigen, keiner senkrecht stehenden Absinkungsfläche, sondern einer verwickelt gebauten Überschiebungsfläche entspricht, so wird doch der GILLITZER'schen Darstellung der Entstehung der Reichenhaller Solequellen in natürlichen Sinkwerken, aber nur soweit es die gesättigten Quellen betrifft, beigegeben.

Wir hätten uns demnach vorzustellen, daß die am Predigtstuhl-Massiv niedergehenden Regen- und die Schmelzwässer hauptsächlich in den Muldenregionen des stark zerklüfteten Ramsaudolomites sich sammeln und bei der nordwärts bestehenden Neigung der Schichten bis zur

Überschiebungsfläche vordringen und sich dort anreichern. Von hier aus erreichen sie, immer artesisch gespannt, die salzreichen Kernzonen des Sattels I und II. Der Sattel III empfängt wahrscheinlich einen großen Teil seiner Speisewässer von der Untersbergmasse her. Eine wichtige Rolle bei der Verbreitung und Weiterleitung von Süß- und Salzwasser spielt der Reichenhaller Kalk. Dieser steckt nicht in Schollen zerstückelt und immer südfallend im Haselgebirge, wie GILLITZER annimmt, sondern er bildet, wie aus seinem verschiedenen Einfallen und seiner verschiedenen Mächtigkeit geschlossen werden muß, Sättel und Mulden, von denen uns am meisten der durchgerissene Reichenhaller Sekundärsattel und die dazu gehörige Mulde interessiert, da an seine Südflanke alle uns bisher bekannt gewordenen Reichenhaller Solequellen gebunden sind. Zugleich vertritt der Reichenhaller Kalk für die wärmeren, artesisch gespannten, konzentrierten Solen das natürliche Steig- und Abkühlungsrohr, bei dessen Fehlen sehr wahrscheinlich die Sole in den Quellenbauen nicht bis an die Oberfläche gelangen könnte. Das immer wieder bestätigte Gesetz, wonach in salzwasserführenden Faltenzügen eine durch die Schwerkraft bedingte Anreicherung desselben in den Muldenregionen stattfindet, hat auch hier Geltung, denn der „Reichenhaller Sattel“ und die „Reichenhaller Mulde“ liegen in der großen Muldenregion zwischen dem Salzsattel I und II, deren Achsen im Gmainer Plateau gegen Hallthurm langsam emporsteigen und dadurch den Salz- und Süßwässern ein nach dem Reichenhaller Steilabfall, dem Quellaustritt hin, d. h. nordwestlich gerichtetes Gefälle vorschreiben.

Aus dem Grundriß und den Profilen der Tafel 3 ist ersichtlich, daß sich zwischen der Zone der am tiefsten liegenden, bis zu 13° C. warmen, von den natürlichen Sinkwerken gelieferten gesättigten Sole und der von den Tagewässern der Hallstätter Zone gespeisten, oberen Süßwasserzone, eine sog. Mischzone stärkerer und schwächerer Konzentration mit mittlerer Temperatur einschiebt. Es sind also an der Entstehung der Reichenhaller Solequellen nicht nur die artesisch gespannten, hauptsächlich aus dem Latten-Gebirge der Berchtesgadener Schubmasse abstammenden Grundwässer, sondern auch noch die Grundwässer, die vadosen Wässer, der Hallstätter Zone beteiligt.

Der Reichenhaller Solequellenbau.

Die Tafel 3 und die Tabelle auf Seite 15 geben eine Übersicht für den sog. Reichenhaller Solequellenbau in der alten Saline. Die Tabelle enthält Angaben für die Verwendung, die Temperatur, den Prozentgehalt, die Schüttung und die Ausflußhöhe der Reichenhaller Solequellen. Dabei ist zu bemerken, daß das von den jetzigen und den alten Bergleuten gebrauchte Maß = 1 Röhr = 20 m³ im Tag entspricht.

Übersicht der Reichenhaller Solequellen.

A. Im Quellenbau.

	Verwendung	Höhe über N. N.	Tempe- ratur (C°)	Prozent- gehalt	Schüttung in Röhrln
1. <i>Edel-Quelle</i>	siedewürdig	{ 458,5 459,0	12,0	22—25	<i>früher 2,0 jetzt 0,2—1,0</i>
2. Plattenfluß	zeitweise siedewürdig	457,81	9,5—10	15—24	1,0
3. Gutes Stockröhrl	gradierfähig	458,16	10	6,0	0,75
4. Schlechtes Stockröhrl	gradierfähig	459,24	10	5,5	24,00
5. Alte } 6. Neue } Mitterkette (Gute Schacht-Quelle)		457,71	9,5	6,0	1,75
7. Kläusel-Quelle	gradierfähig	458,98	10	4,0	12,0
8. Joseph-Quelle		461,10	10		} nicht meßbar
9. Törring-Quelle			10	1,5	
10. Sauerriesel			10	1,5	
11. Quellen links		} 461,17	10	1,5	
12. Quellen rechts			10	1,5	
13. Klamm-Quelle	gradierfähig	461,12	10	4,5	4,5
14. „Saure Stollenwässer“	gradierfähig	461,762	10	4,5	8,0
15. (IX) Höhlen-Quelle	} Stau-Quellen, teilweise von IX und künstlich gespeist	460,749	10,5	0,72	} nicht meßbar
16. (VIII) „			10		
17. (VI) „		462,99	10		
18. (III a) „		465,04			
19. (III) „		464,55			
20. (II b) „		463,323			
21. (II a) „		463,23			
22. (I) „		465,62			
23. (VII) „		462,87	10		
24. (IV) „		462,72	10		
25. Ludwigs-Quelle					
26. <i>Karl-Theodor-Quelle</i>	bei geleertem Schacht siede- würdig	456,654	13,0	22—24	4,5
	bei gefülltem Schacht *)	461,76	11,5	3,22	
27. } <i>Kaiser Karolus-Quellen</i> 28. }	Nr. 27 Trink- Quelle	463	9,5—10,4	0,5—0,76	0,5—1,0

B. Außerhalb des Quellenbaues.

Beim Bau der Saalach-Talsperre soll im Caisson 3 bei Kibling eine Salzquelle angefahren worden sein, für welche nähere Angaben nicht zu erhalten waren.

*) Bei langem Stillstand des Schöpfwerkes wird der obere Teil des Schachtes durch Mischsole eingenommen.

Infolge teilweiser Verbauung der Stollen und Schächte, auf deren Teufendifferenzen übrigens sehr zu achten ist, läßt sich kein vollständiges Bild von den Solequellzügen gewinnen, die sich hauptsächlich nach den streichenden und querschlägigen Störungen und den diese begleitenden Zerreibungs-Zonen richten. Aber mit Hilfe der Aufschlüsse über Tage und derjenigen in der sog. „Höhle“, einer dem Fremdenbesuch zugänglichen, künstlich erweiterten Grotte, ferner im Versuchsstollen hinter dem Karl-Theodor-Monument und mit Hilfe von kleinen Handbohrungen auf der unverbauten Sohle des Graben-Baches ließen sich doch der Verlauf und die Grenzen des Reichenhaller Sattels und der Reichenhaller Mulde, ferner der wichtigsten Sole-Quellenzüge im Reichenhaller Kalk, nämlich des Edelquellen- und des Karl-Theodor-Quellenzuges und der Zone der Mischsole festlegen. Auch die Stauchung der Schichten in der Nähe der Reichenhaller Verwerfung ist deutlich wahrzunehmen. Diese selbst ist nicht als eine einzelne, scharf begrenzte Trennungsfläche zu denken, sondern entspricht einer ziemlich breiten Zerrüttungszone, deren Parallelklüfte, zu denen unter anderem auch das Kluftsystem I gehört, nach Osten und Westen hin an Zahl und Stärke wahrscheinlich abnehmen werden.

Ohne weiteres ist auch zu ersehen, daß die orographisch am höchsten liegenden, schwachprozentigen Stauquellen der Höhle in der Mischzone schwächerer Konzentration, die tieferen Höhlenquellen, die sauren Stollenwässer, die Klamm-Quelle, das schlechte und gute Stockröhr, in der Mischzone stärkerer Konzentration liegen, während die sehr tief liegende Karl-Theodor-Quelle mit 22—24 % Salzgehalt und die höher liegende 22—25 % ige Edel-Quelle der Zone mit konzentrierter Sole angehören.

Die Edel-Quelle, von welcher ein naturgetreues Modell im Deutschen Museum in München aufgestellt ist, liegt direkt auf der Reichenhaller Verwerfung, dicht neben der sehr gleichmäßig und stets gleichprozentig, aber schwachgrädig (4 %!) fließenden, von der Mischzone gespeisten Kläusel-Quelle.

Der Teil der Zone konzentrierter Sole, welcher die Edel-Quelle speist, liegt orographisch auffällig hoch. Er wird bei normalen Grundwasserverhältnissen, wie später näher auszuführen ist, durch den Überdruck des auf der Reichenhaller Verwerfungszone eindringenden Saalach-Grundwasserstromes in die Mischsole hinein und hoch gepreßt.

Setzt man im Schacht der Karl-Theodor-Quelle das Schöpfwerk längere Zeit still, dann füllt sich allmählich der rund um den Schacht durch das Auspumpen verursachte Absenkungstrichter oben wieder mit kälterem, nach unten hin immer konzentrierter und wärmer werdender Mischsole (siehe Profil 9, Tafel 3).

Der Verlauf der Solezonen nach Westen hin gegen den oberfläch-

lich mit Saalach-Schottern ausgefüllten Teil des Reichenhaller Beckens macht den oberflächlichen Gefällsknick des Reichenhaller Steilabfalls mit (siehe Tafel 3). Diese Annahme ergibt sich aus der tiefen Lage der Mischzone schwächerer Konzentration im „Törring-Schacht“, auch Hauptschacht genannt, welcher als Sammelpunkt für die Solegewinnung Dienste tut. Da die Solezonen auch nach Norden und Süden rasch abfallen, können wir von einem kuppelförmigen Auftreten der Solezonen im Bereiche des durchgerissenen Reichenhaller Sattels, der Reichenhaller Mulde und Verwerfung sprechen (siehe Tafel 3, Grundriß und Profil 8 und 9).

Ob die Westseite dieser Kuppel an die Schotter des Reichenhaller Beckens Sole abgibt, ist nach den Befunden im Versuchsschachte im Leitner'schen Anwesen wenig wahrscheinlich zu achten.

In der richtigen Erkenntnis, daß die Hauptmenge des Süßwassers, welche vor allem die höchsten, in Ausbeutung stehenden Teile der Solekuppel bedroht, aus den älteren und jüngeren Saalach-Schottern stammt, die W. und S. vom Gruttenstein dem zerklüfteten, wasserdurchlässigen Reichenhaller Kalk auflagern und ihr Wasser aus der Saalach beziehen, haben die Alten im Quellenbau zum Schutze der Solequellen einen Stollen, den „Grabenbach-Ursprung“ bis fast an die Auflagerungsfläche der Schotter vorgetrieben. Die Fortsetzung dieses Entwässerungskanals = der „Graben-Bach“ verläuft, auch heute, nach mehreren Jahrhunderten noch völlig intakt, unter der Stadt Reichenhall, an der Firste und an den Stößen in Mauerung gesetzt, im allgemeinen in nord-südlicher Richtung, zuerst noch eine kleine Strecke im Reichenhaller Kalk, später ganz in den Saalach-Schottern. Er erreicht nach rd. 2000 m das Tageslicht und mündet dann in den Unterlauf der Saalach.

Störungen im Solequellenbau.

Die Störungen beschränken sich auf Änderungen der Temperatur, des Prozentgehaltes, der Schüttung und der Ausflußhöhe. Teils hängen sie mit Naturereignissen zusammen und betreffen dann alle Quellen gleichzeitig, teils berühren sie auffälligerweise nur eine bestimmte Gruppe der Quellen und sind dann auf künstliche, technische Eingriffe zurückzuführen. Die letztgenannte Art der Störungen ist deswegen so bemerkenswert, weil durch sie geologische Zusammenhänge aufgedeckt wurden, von deren Anwesenheit man früher nichts wußte.

Die Durchsicht der alten Quellenakten ergab, daß immer, wenn starke und anhaltende Regenfälle oder Schneeschmelzen im Latten-Gebirge auftraten, die Schüttung, der Prozentgehalt und die Steighöhe aller Quellen sich etwas verbesserten, während umgekehrt starke, lang andauernde Schneefälle und lange Zeit herrschende, trockene Witterung, wie sie z. B. im Juli und August 1884 und im September 1908

bis Februar 1909 auftrat, einen allgemein ungünstigen Einfluß ausübten. Diese nützlichen oder schädlichen meteorologischen Einflüsse sind auch heute noch bemerkbar und stehen mit einer Annahme der Bildung der Quellen in natürlichen Sinkwerken im besten Einklang. Diese Sinkwerke erhalten eben, je nach der Menge der Niederschläge einmal mehr, einmal weniger Speisewässer, deren hydrostatischer Druck ebenfalls schwanken muß. Aber bei den soeben beschriebenen Änderungen handelt es sich niemals um dauernde Erscheinungen.

Neben diesen allgemeinen, immer wieder feststellbaren, aber nur vorübergehenden Schwankungen treten bei der Edel-Quelle, der Klamm-Quelle, den sauren Stollenwässern, dem Plattenfluß, bei der Höhlen-Quelle 15 (IX) und beim „Grabenbach-Ursprung“ Erscheinungen auf, welche man auf einen innigen Zusammenhang zwischen dem Grundwasserstrom der Saalach einerseits und der im Saalachtal sich fortsetzenden Reichenhaller Verwerfungszone = II andererseits zurückführen muß. So ging, seitdem dem Saalachtal und damit der Reichenhaller Verwerfungszone unterhalb des Stausees das Grundwasser teilweise fast gänzlich entzogen wurde, die hochprozentige Schüttung der Edel-Quelle, die vorher durchschnittlich zwei Röhrl betrug, bis auf 0,2 Röhrl zurück. Nur bei längerem Hochwasser der Saalach erreichte sie vorübergehend noch ein Röhrl. Ferner verringerte sich ebenso wie beim Plattenfluß der Prozentgehalt im Gegensatz zur Karl-Theodor-Quelle, deren Schüttung und Prozentgehalt, abgesehen von der allgemeinen Beeinflussung durch die Niederschläge, gleich blieb. Die starke Abnahme des Prozentgehaltes der Edel-Quelle war zudem von einer auffälligen Zunahme ihrer Schüttung begleitet, die nur durch eine Höherstellung der verschiebbaren, kupfernen Austrittsröhre zurückgehalten werden konnte. Ferner ging die Schüttung der Klamm-Quelle, der sauren Stollenwässer, des Grabenbach-Ursprungs zurück oder diese Quellen versiegten ganz. Außerdem zeigte die Höhlen-Quelle 15 (IX) durch das Aufstoßen von Luftblasen Unruhe in der Mischzone an. Demnach wurden nicht nur die direkt auf der „Reichenhaller Verwerfung“ sitzende Edel-Quelle, sondern auch Solequellen seitwärts dieser Störungszone in Mitleidenschaft gezogen, jedoch nur solche, die zu der die Edel-Quelle überlagernden Mischzone gehören. Beim Grabenbach-Ursprung beruht der gänzliche oder teilweise Süßwasserverlust auf dem Ausfall des unterirdischen Süßwasserstromes längs der Reichenhaller Verwerfungszone. Hervorzuheben ist noch, daß das Versiegen oder Nachlassen der oben genannten Gruppe der Sole- oder Süßwasserquellen auch dann eintrat, wenn im Saalachtal zwar vieles, aber sehr schlammiges Wasser floß. Wenn jedoch mit reichlichem, in dem als Klärbecken wirkenden Saalach-See vom Schlamm gereinigtem Wasser nachgespült wurde, trat sofort eine Besserung der Schüttung und des Prozentgehaltes der Sole der geschwächten Solequellen, vor

allem der Edel-Quelle ein. Aber niemals kehrte der gute Zustand, wie er früher bestand, zurück. Es ist also heute eine dauernde Schädigung der Edel-Quelle festzustellen, die wahrscheinlich auf Zirkulationsstörungen im natürlichen Sinkwerksbetriebe zurückzuführen ist, welche unter anderem auch durch eine Schlammansammlung im Reichenhaller Kalk eingeleitet sein können.

Nach den obigen Ausführungen muß man bei der Darstellung der Entstehung der Reichenhaller Solequellen drei Grundwasserströme berücksichtigen: 1. Die Grundwässer der Berchtesgadener Schubmasse, welche, wie bereits GILLITZER darstellte, die unterirdischen, natürlichen Sinkwerke mit artesisch gespanntem Süßwasser versorgen und den Soleauftrieb verursachen; 2. Die Grundwässer der Hallstätter Schubmasse, jener Gebirgszone, die von der Berchtesgadener Schubmasse durch eine Überschiebungsfläche getrennt ist und das salzführende „Haselgebirge“ enthält. Diese Grundwässer, welche der Zone der Süßwässer entsprechen, lagern sich auf der unter artesischem Druck stehenden, von unten heraufdringenden, gesättigten Sole der Sinkwerke und liefern durch Vermengung die Mischzone stärkerer und schwächerer Konzentration; 3. Eine große Rolle spielt noch das Grundwasser des Saalachbettes unterhalb des Saalach-Stausees. Dieses übt oder übte längs der Reichenhaller Störungszone einen nicht unerheblichen Druck auf die konzentrierte Sole und die Mischzone der Edel-Quelle aus, der sich aus dem Höhenunterschied zwischen Saalachbett und dem Austritt der Edel-Quelle auf mindestens 1,5 Atmosphären berechnen läßt. Außerdem speist es die süßen Quellen des Grabenbach-Ursprungs. Wenn nun diesem wichtigen Saalach-Grundwasserstrom durch Ableitung der Saalach oder durch Verschlammung des Saalachbettes unterhalb des neuen Wehres das Wasser ganz oder teilweise, sei es für kurze oder für eine lange Zeit, entzogen wird, dann verschwindet jedesmal der auf der Reichenhaller Verwerfungszone sich fortpflanzende hydrostatische Überdruck, welcher die konzentrierte Sole des „Edelquellen-Solezuges“ in die gemischte Zone hochtreibt. Die untere Grenze der gemischten Zone senkt sich und aus dem auf gleicher Höhe gehaltenen Quellenmundloch strömt infolgedessen reichliche, aber minderwertige Mischsole aus. Zugleich verringern sich die süßen Quellen des Grabenbach-Ursprungs, da die sie speisende Reichenhaller Verwerfungszone wasserleer oder wasserarm wird. Nun wird auch die wichtige Rolle deutlich, welche die jüngeren, unverfestigten und die älteren, verfestigten, aber von wasserdurchlässigen sandigen Lagen und vielen Verwerfungsklüften durchzogenen Saalach-Schotter spielen. Sie können, wenn ihre Klüfte und Hohlräume nicht verstopft sind, das Saalachwasser aufnehmen und es bis an ihre Berührungsfläche mit dem Reichenhaller Kalk weiterleiten. Dessen zahlreiche Verwerfungsklüfte besorgen dann die Weiterleitung des Wassers. Die „Karl-Theodor-Quelle“ wird, da sie sich bereits sehr

weit O. von der Reichenhaller Verwerfungszone befindet, vom Saalach-Grundwasserstrom nicht mehr beeinflusst und bewahrt deshalb während der Grundwasserstromschwankungen ihre gleichmäßige Schüttung und Konzentration. Nur muß man aus den oberen Teilen ihres Förder-schachtes die sich bei einem längeren Stillstand des Schöpfwerkes all-mählich einstellende Mischzone zuerst wegpumpen, um ins Niveau der unvermengten, konzentrierten Sole zu gelangen, deren oberster Rand infolge des ständigen Fehlens des Staudruckes des Saalach-Grund-wasserstromes immer tiefer lag, als bei der Edel-Quelle (siehe Profil Nr. 9, Tafel 3).

Verwertung der Solequellen.

Von den in der Tabelle Seite 15 angeführten Solequellen sind jetzt die Edel-Quelle (1) und der Plattenfluß (2) nur zeitweise, die Karl-Theodor-Quelle (26) immer siedewürdig, das gute Stockröhr (3), das schlechte Stockröhr (4), die Kläusel-Quelle (7), die Klamm-Quelle (13), die Sauren Stollenwässer (14) gradierfähig und die beiden „Kaiser Karolus-Quellen“ Nr. 27 und 28, von denen aber nur Nr. 27 ausgebeutet wird, Trink-Quellen. Die siedewürdigen Quellen werden teils zu Salz in der großen, neuen, modernst eingerichteten Saline in Reichenhall versotten, teils zur Herstellung von Solebädern, Gurgelsalz und zur Inhalation verwendet. Die gradierfähigen Solen werden teilweise in den Kurpark zur Speisung des Gradierhauses gepumpt, während die eine der beiden Kaiser Karolus-Quellen aus dem Quellenbau zu Trinkzwecken in die Höhle und in die große Wandelhalle übergeleitet wird. Die beiden Kaiser Karolus-Quellen sind vorzüglich reine, kalte, isotonische, schwach radioaktive Kochsalzquellen und in ihrer chemischen Zusammensetzung den Quellen von Nauheim und Wiesbaden gleich. Sie enthalten Chlornatrium, Chlorkalium, Magnesiumsulfat, Kalziumsulfat, Kalziumkarbonat, Kieselsäure, Eisenoxyd, Tonerde, Phosphorsäure, Brom, Borsäure und in Spuren Salpetersäure.

Zusammenfassung.

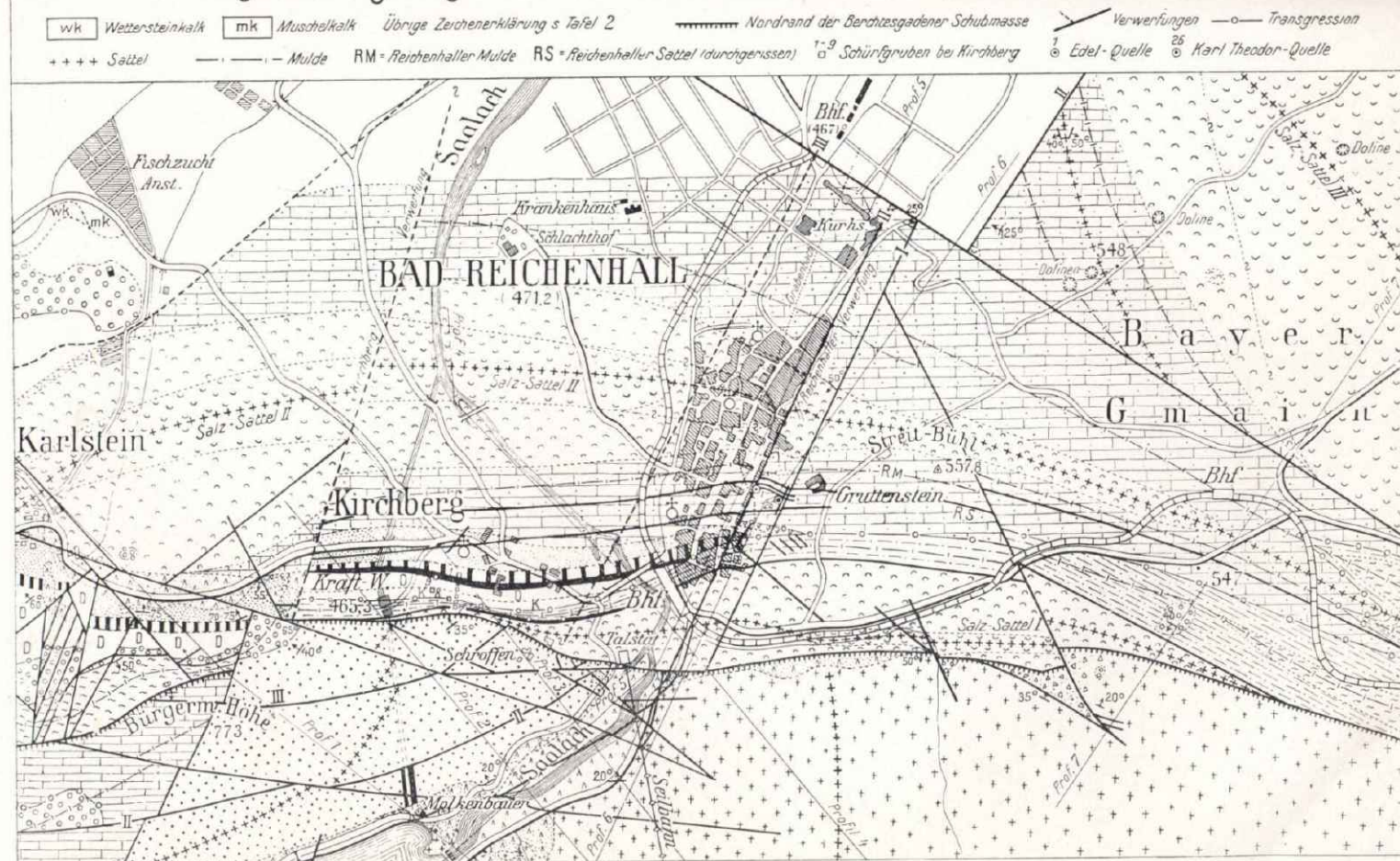
Die Reichenhaller Solequellen verdanken ihre Entstehung natürlichen Sinkwerken in dem Salzgebirg = „Haselgebirge“ der küstennahgebildeten Hallstätter Schubmasse. Auf diese ist die küstenfernere „Berchtesgadener Schubmasse“ mit mächtigen, wasserreichen Dolomitmassen und Kalkmassen geschoben. Die Süßwässer dieser Dolomite und Kalke treten angereichert in der Tiefe in die Hallstätter Zone über. Sie stehen unter hohem Druck und steigen, nachdem sie sich in der Hallstätter Zone in gesättigte Sole umgewandelt haben, in dem, einen durchgerissenen Sattel = Reichenhaller Sattel bildenden Reichenhaller Kalk der Hallstätter Zone hoch und bilden die hochprozentige, in Schüt-

tung und Gehalt gleichbleibende „Karl-Theodor“ und die nunmehr stark verminderte „Edel-Quelle“. Die Sole dieser beiden Quellen wird teils zu Salz versotten, teils zu Bädern, Inhalationen und zum Gurgeln, also zu den berühmten Reichenhaller Kurmitteln verwendet. Die vadosen, süßen Wasser der Hallstätter Zone vermischen sich mit der aufsteigenden, konzentrierten Sole und erzeugen die zahlreichen, mitunter sehr reichlich strömenden, aber weniger wertvollen Quellen der Mischzone, von denen einige im Kurgarten für das Gradierhaus, andere in der Kurhalle zu Trinkkuren, andere zur Anfertigung von Mineralwässern benützt werden. Der Druck des Saalach-Grundwasserstromes unterhalb des Saalach-Stausees gelangte früher immer längs der Reichenhaller Verwerfung bis zur Edel-Quelle, einem natürlichen Austrittspunkt des Edelquellen-Solezuges und hob diese hoch, ihre Schüttung beträchtlich vermehrend. Leider ist dieser wichtige Aufstau durch künstlichen Grundwasserentzug verloren gegangen, so daß die Edel-Quelle dauernd stark geschädigt ist. Dieser Schaden hat jedoch auch eine nutzbringende Seite aufzuweisen. Er mahnt eindringlich, bei allen wasserwirtschaftlichen Unternehmungen und bei Grunduntersuchungen im näheren und fernerem Umkreis der Reichenhaller Solequellen den Schutz der Süßwasserzufuhr- und -abfuhrkanäle, der Soleabfuhrkanäle und der Quellenherde nicht zu vernachlässigen und streng darüber zu wachen, daß diese seltene, kostbare Gabe der Berge keinen weiteren Schaden erleidet, sondern dem Lande und den heilungsuchenden Kranken möglichst lange noch unberührt erhalten bleibt.

Schriftenverzeichnis.

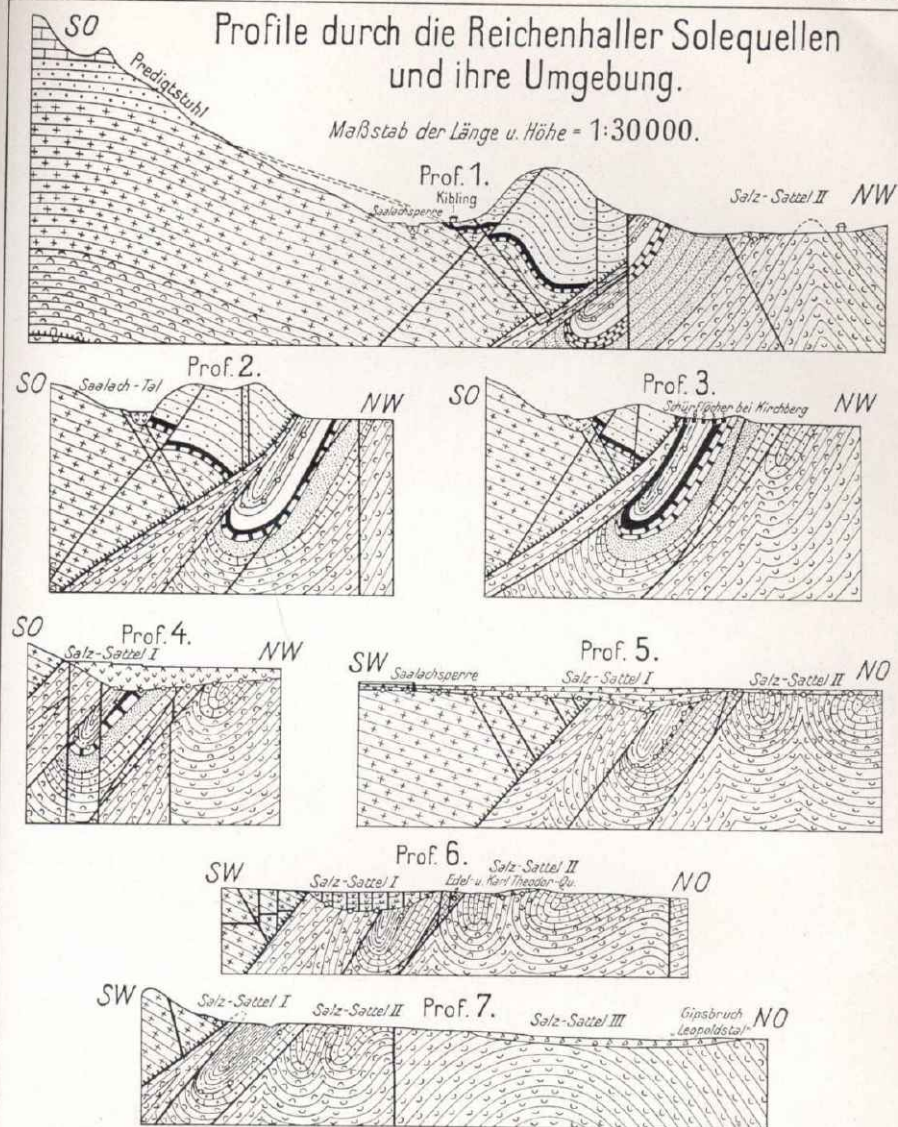
- AMPFERER, O.: Über den Westrand der Berchtesgadener Decke. — Jb. Geol. Bd.-A., Wien 1927.
- BODEN, K.: Geologisches Wanderbuch für die bayerischen Alpen. Stuttgart 1930.
- BÖSE, E.: Die Berchtesgadener Trias. — Z. deutsch. geol. Ges., 50, Berlin 1898.
— Die Faziesbezirke der Trias. — Z. deutsch. geol. Ges., 50, Berlin 1898.
- ERHARD, W.: Der Staufen. Geologische Aufnahme der Berge zwischen Reichenhall und Inzell. — Wiss. Veröffentl. d. D. u. Oe. A.-V., Innsbruck 1931.
- FLURL, M.: Beschreibung der Gebirge Bayerns und der oberen Pfalz, München 1792.
- FUGGER, E.: Das Salzburger Vorland. — Jb. k. k. Geol. Reichsanst., Wien 1899.
- GILLITZER, G.: Der geologische Aufbau des Reiteralpgebietes im Berchtesgadenerland. — Geogn. Jh., 25, München 1912.
— Geologie der alpinen Salzlager im Berchtesgadener Gebiet mit besonderer Berücksichtigung der Reichenhaller Solequellen. — Z. f. prakt. Geol., 22, Halle 1914.
- GÜMBEL, C. W.: Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges, Gotha 1861.
— Neue Fundstellen von Gosauer und Vilserkalk bei Reichenhall. — Sitzber. d. bayer. Akad. d. Wiss., München 1866.
— Geognostische Karte des Königreichs Bayern 1:100 000, Blatt Berchtesgaden.
- HAHN, F. F.: Grundzüge des Baues der Kalkalpen zwischen Inn und Ems. — Mitt. Geol. Ges. Wien, 6, Wien 1913.
- HAUG, E.: Les nappes de charriage des Alpes calcaires septentrionales. — Bull. Soc. Geol. de France. Sér. IV, 6, Paris 1906.
- KNAUER, J.: Geologischer Überblick über die Alpen zwischen Tegernsee und Gmunden am Traunsee und das bayerisch-österreichische Tertiärhügelland in M. SCHUSTER's Abriß der Geologie von Bayern r. d. Rh., Abteilung I, München 1929.
- KOBER, L.: Bau und Entstehung der Alpen, Berlin 1925.
- KOHLER, E.: Über die sogenannten Steinsalzzüge des Salzstockes von Berchtesgaden. — Geogn. Jh., 16, München 1903.
- KRAUSS, H.: Geologische Aufnahme des Gebietes zwischen Reichenhall und Melleck. — Geogn. Jh., 26, München 1913.
- KÜHNEL, J.: Geologie des Berchtesgadener Salzberges. — N. J. f. Min., B.-Bd. 61, Abt. B., Stuttgart 1929.
- LEBLING, CL.: Geologische Beschreibung des Lattengebirges im Berchtesgadener Land. — Geogn. Jh., 24, München 1911.
- LEUCHS, K.: Geologie von Bayern. II. Bayerische Alpen. — Handb. d. Geologie und Bodenschätze Deutschlands, Berlin 1927.
- MAYER, F.: Geologisch-mineralogische Studien aus dem Berchtesgadener Land. — Geogn. Jh., 25, München 1912.
- PENCK u. BRÜCKNER: Die Alpen im Eiszeitalter, Leipzig 1909.
- REIS, O. M.: Erläuterungen zur geol. Karte der Vorderalpenzone zwischen Bergen und Teisendorf. — Geogn. Jh., 33/34, München 1920—1921.
- SCHLOSSER, M.: Die Eocänfauna der bayerischen Alpen. II. Teil Obereocän. — Abh. d. bayer. Akad. d. Wiss., München 1925.
- SPENGLER, E.: Salzburger Alpen u. d. Salzkammergut. — Sammlg. geol. Führer, 26, Berlin 1924.

Abgedeckte geologische Karte der Reichenhaller Solequellen 1:20000.



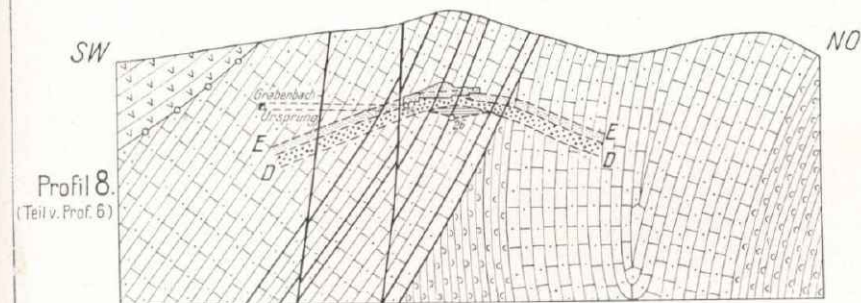
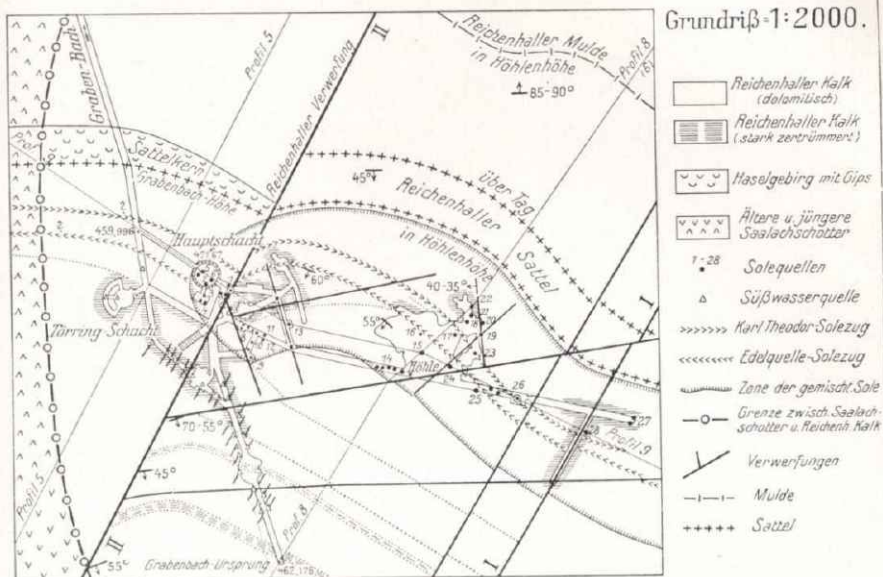
Profile durch die Reichenhaller Solequellen und ihre Umgebung.

Maßstab der Länge u. Höhe = 1:30 000.

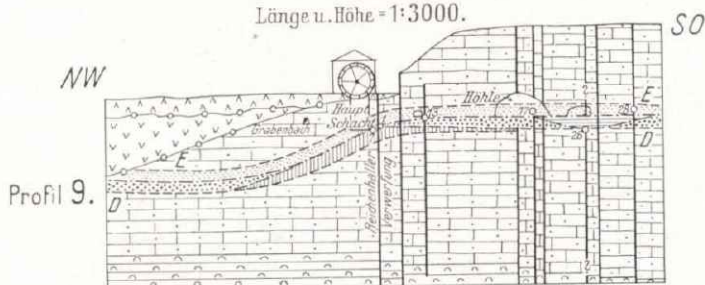


	Berchtesgadener Fazies	Hallstätter Fazies			
Untere Trias	wenig „Haselgebirge“-Salz-Fazies der Werfener Schichten	viel „Haselgebirge“ in d. wichtig. Salzlagern v. Reichenhall u. Berchtesgad.	Unt. Gosau-Sch. (flieg. Kongl. u. Kalk)	Obere Kreide	Verwerf.
	Werfener Schichten (Sandst., sand. Tonsch., Tonschiefer)	wenig mächtige oder keine Werfener Schichten	Ob. Gosau-Sch. Mergel, auch in Flysch-fazies		
Mittl. u. Obere Trias	Unt. Ramsau-Dolomit	Unt. Hallstätter Kalk und Dolomite	Ältere verfestigte Saalach-Schotter	Diluvium	Überschieb.
	Tone, Tonschiefer, „Cardita“ = Kalk, Dolomite, Flablier-Sch.	Tone, Tonschiefer, „Cardita“ = Kalk, Dolomite, Flablier-Sch.	Moränen		
	Ob. Ramsau-Dolomit	Ob. Hallstätter Kalk und Dolomite	Jüngere unverfest. Saalach-Schotter und Sande	Alluvium	Transgression
	Dachstein-Kalk		Gehängeschutt.		

Grundriß=1:2000.



Länge u. Höhe = 1:3000.



- 
 Durch den Saaladgrundwasserstrom in die Mischzone hochgepresste konzentrierte Sole

 Mischzone schwächerer Konzentration

 Mischzone stärkerer Konzentration

-  Durch Pumpen verursachtes Verschwinden der Mischzone
 D---D Grenze der konzentrierten Sole
 F---F Grenze der Süßwasserzone

Die geologischen Ergebnisse beim Bau der Bayerischen Zugspitzbahn

Von
Josef Knauer

Mit 5 Abbildungen, 3 Tafeln und 1 Karte

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	23—25
I. Allgemeine geologische Verhältnisse	25—27
II. Die durch den Bahnbau geschaffenen geologischen Auf- schlüsse	27—35
1. Die Talstrecke von Garmisch bis Grainau	27—31
2. Die offene Zahnradstrecke von Bahnhof Grainau bis Haltestelle Riffelriß	31—32
3. Die Tunnelstrecke von Haltestelle Riffelriß bis Bahn- hof Schneefernerhaus	32—35
III. Strecken mangelnder Festigkeit im Zugspitz-Tunnel	35—41
1. Druck-Strecken	35—39
2. Trümmerzonen, offene Klüfte und Wasserführung in ihnen	39—41
IV. Die Gebirgsstörungen im Bereiche des Zugspitz-Tunnels	41—49
1. Richtung und Ausmaß der Verwerfungen; ihre Zuge- hörigkeit zu bestimmten tektonischen Phasen	42—45
2. Tiefgreifende Verwitterung in den Störungszonen	45—46
3. Faltungen und örtliche Überschiebungen	46—47
4. Rückschlüsse aus den Tunnel-Beobachtungen auf die allgemeine Tektonik des Wettersteingebirges	47—48
5. Einfluß der Verwerfungen auf die Formgestaltung des Wettersteingebirges	48—49
Zusammenfassung	49—50
Schriftenverzeichnis	50

Einleitung.

Seitdem der Gedanke einer Bergbahn auf den höchsten Berg des Deutschen Reiches aus dem Bereich der Wünsche und Gespräche in den Sehbereich praktischer Ausführung gerückt war, sind beinahe zwei Jahrzehnte über Erwägungen und Planung vergangen, bevor der Bau einer bayerischen Bergbahn auf die Zugspitze in den Jahren 1928—1930 zur Wirklichkeit wurde.

Die Tatsache, daß die 18,6 km lange Bahn von Garmisch bis in das unwirtliche und größtenteils unzugängliche Felsgebirge hinauf führen sollte, machte von Anbeginn der Planung an die Verlegung der oberen Bahnstrecke in einen Tunnel zur Voraussetzung. Die Bahnanlage zer-

fällt nach dem endgültig zur Ausführung gekommenen Plan in vier Abschnitte (siehe Kartenskizze Abb. 1 unten), nämlich: 1. in die als Reibungsbahn geführte Talstrecke von Garmisch (707,4 m ü. d. M.) bis Grainau (750 m ü. d. M.), 2. in die offene Strecke der Zahnradbahn von Grainau bis Haltestelle Riffelriß (1650 m ü. d. M.), 3. in die Tunnelstrecke der Zahnradbahn von Haltestelle Riffelriß bis Bahnhof Schneeferner-Haus (2650 m) und 4. in die Gipfelstrecke vom Bahnhof Schneeferner-Haus bis zum Gipfel der Zugspitze (2963 m ü. d. M.), welche als Seilschwebbahn geführt ist. Letztere war ursprünglich als Standseilbahn in einer Tunnelstrecke geplant gewesen. Vor Inangriffnahme dieser Strecke wurde jedoch wegen der zu erwarten gewesenen wenig günstigen Gesteinsverhältnisse der Plan einer unterirdischen Bahn fallen gelassen und an deren Stelle eine Seilschwebbahn errichtet.

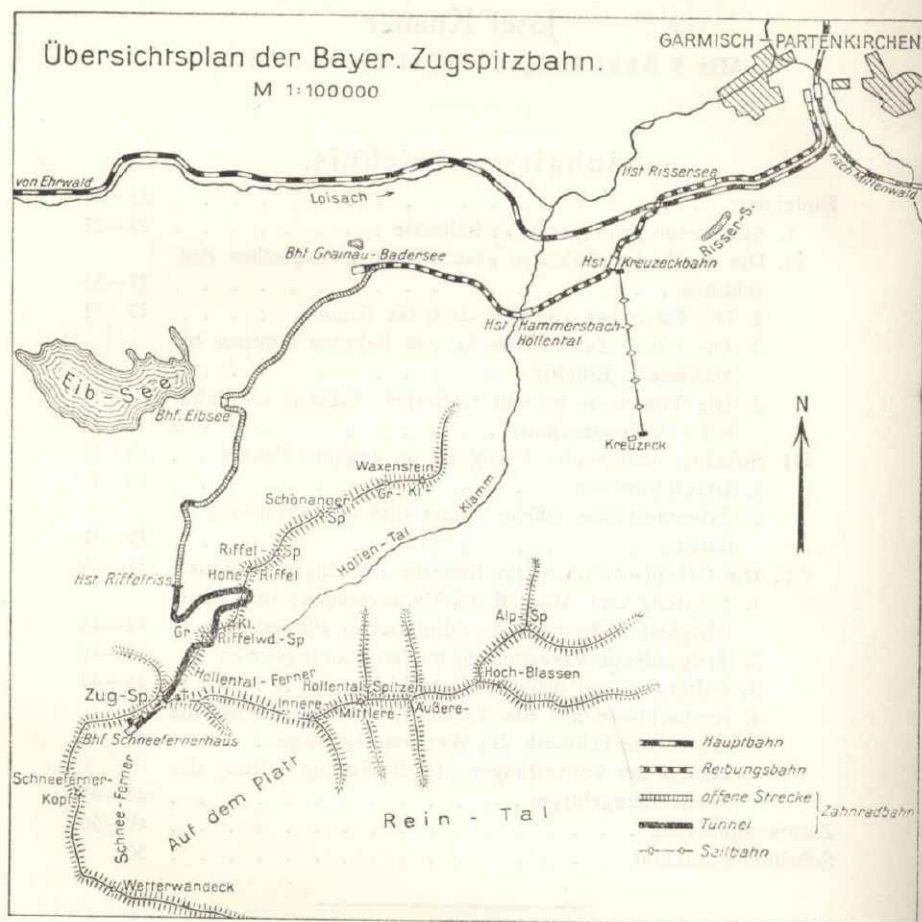


Abb. 1
Übersichtsplan der Bayer. Zugspitzbahn.

Grainau bis Haltestelle Riffelriß (1650 m ü. d. M.), 3. in die Tunnelstrecke der Zahnradbahn von Haltestelle Riffelriß bis Bahnhof Schneeferner-Haus (2650 m) und 4. in die Gipfelstrecke vom Bahnhof Schneeferner-Haus bis zum Gipfel der Zugspitze (2963 m ü. d. M.), welche als Seilschwebbahn geführt ist. Letztere war ursprünglich als Standseilbahn in einer Tunnelstrecke geplant gewesen. Vor Inangriffnahme dieser Strecke wurde jedoch wegen der zu erwarten gewesenen wenig günstigen Gesteinsverhältnisse der Plan einer unterirdischen Bahn fallen gelassen und an deren Stelle eine Seilschwebbahn errichtet.

Natürlich waren in erster Linie von dem großen Tunnel des dritten Streckenabschnittes wichtige Ergebnisse geologischer und technisch-geologischer Natur zu erwarten, da der Tunnel in 4,446 km Länge die Hochgebirgsregion des Wettersteingebirges durchhören sollte. Allerdings setzte das Mundloch des Tunnels erst über der noch zu besprechenden großen Wetterstein-Überschiebungsfläche an, so daß letztere leider nicht mehr durch den Tunnel aufgeschlossen wurde. Außer dem Tunnel wurden aber auch auf der offenen Bahnstrecke verschiedene wichtige geologische Aufschlüsse geschaffen.

Verfasser hatte Gelegenheit an etwa 30 Arbeitstagen während des Baues und nach Vollendung der Bahn in der Zeit von Anfang August 1929 bis Anfang November 1932 Untersuchungen auf der offenen Strecke und im Tunnel anzustellen. Direktion und Bauleitung zeigten dabei größtes Entgegenkommen durch Gewährung voller Freizügigkeit im Betreten der Baustellen und jegliche Unterstützung durch Erlaubnis zur Benützung der Hilfsseilbahnen und Einquartierung im Baulager Riffelriß, wofür hiemit geziemender Dank ausgesprochen sei. Trotz der zur Verfügung gestandenen Zeit mußte natürlich bei den ständigen und raschen Baufortschritten im Tunnel und bei der gewöhnlich alsbald erfolgenden Auskleidung des Stollens gerade an denjenigen Stellen, welche von stärkeren Störungen durchzogen waren und deshalb geologisches Interesse geboten hätten, manch wichtiger Aufschluß der Beobachtung entgehen. Außerdem entgingen leider dem Verfasser die in den ersten zehn Monaten geschaffenen vorübergehenden Aufschlüsse, da im elften Baumonats erstmals eine geologische Begutachtung angefordert wurde.

Bevor auf die Darstellung der Untersuchungsergebnisse näher eingegangen werden kann, sollen zunächst die allgemeinen geologischen Verhältnisse des Gebietes kurz erläutert werden.

Die Direktion der Bayerischen Zugspitzbahn förderte in entgegenkommendster Weise die Ausarbeitung vorliegender Abhandlung durch gütigst gewährte erschöpfende Auskünfte, Überlassung von Kartenmaterial, Plänen und Photographien, wofür Verfasser hiemit wärmstens danken möchte.

I. Allgemeine geologische Verhältnisse.

Das Wettersteingebirge fand seine erste eingehende stratigraphische und tektonische Bearbeitung durch die geologische Spezialkartierung im Maßstab 1:25 000 von O. M. REIS und F. W. PFAFF (REIS-PFAFF, 1910). Die übrigen in der Zusammenstellung am Schlusse der Abhandlung aufgeführten Arbeiten über das Wettersteingebirge befaßten sich hauptsächlich mit den Problemen der Tektonik des Wettersteingebirges.

Das eigentliche Zugspitzmassiv, der westliche Teil des Wettersteingebirges ist in seinen höheren Teilen aus Schichten der anisichen und

ladinischen Stufe der Trias-Formation, nämlich aus Muschelkalk, Partnachschichten und Wettersteinkalk aufgebaut. Die genannten Schichten sind zu einer großen, O.—W. streichenden flachen Mulde zusammengebogen, deren Achse sich gegen ONO. mählich senkt. Bemerkenswert ist, daß die normal zwischen Muschelkalk und Wettersteinkalk liegenden Partnachschichten nur im nordöstlichen Randgebiet des Zugspitzmassivs, nämlich am Nordfuß des Waxensteinkammes, ausgebildet und verbreitet sind, während sie westlich der Zuggasse (SO. vom Eibsee) fehlen und hier der Wettersteinkalk sich aus dem Muschelkalk ohne Zwischenschalten von Partnachschichten entwickelt. Allem Anscheine nach beschränkt sich das Verbreitungsgebiet der Partnachschichten auf den nördlichen bzw. nordöstlichen Teil des Wettersteingebirges und geht über eine gewisse südliche und westliche Grenze nicht hinaus, wie schon O. M. REIS (1910) auf S. 67 der Erläuterungen betont hat. An ein tektonisches Ausfallen durch den sogleich zu besprechenden Überschiebungsvorgang ist nicht zu denken.

Das Liegende des im N., W. und S. in mächtigen Felswänden abstürzenden Hochgebirgsteiles des Zugspitzmassivs wird nicht, wie man erwarten sollte, von den Schichten der skythischen Stufe (Buntsandstein), sondern von Schichten der jüngeren Trias (Hauptdolomit, Plattenkalk und Rhät), sowie der Jura-Formation (Lias und Oberjura) und der Kreide-Formation (Neokom) gebildet, welche vom Zugspitzmassiv durch eine Überschiebung überwältigt wurden. Diese Überschiebung ist am NW., W.- und SW.-Rand des Massivs durch die Auflagerung von Muschelkalkschichten über Jura- und Kreideschichten einwandfrei erwiesen, worüber sich alle am Schlusse genannten Forscher einig sind. Dagegen gehen die Meinungen auseinander vor allem über die Größe, Ausdehnung und Begrenzung der Überschiebungsdecke, über die Richtung der Überschiebung (O.—W.- oder S.—N.-Schub?) und über das Ausmaß der Überschiebung.

Über die tektonische Stellung des Zugspitzmassivs bzw. des Wettersteingebirges zu den umgebenden Gebirgsgliedern sind die Meinungen ebenfalls geteilt. O. M. REIS und mit ihm O. AMPFERER, K. C. VON LOESCH, H. MYLIUS und K. LEUCHS betrachten — kurz gesagt — das Wettersteingebirge als eine selbständige Scholle, welche durch O.—W.-Bewegung und auf nach W. ansteigender Überschiebungsfläche auf die jungen Schichten der Lermooser Mulde überschoben wurde. Das Ausmaß der Überschiebung wird als verhältnismäßig klein angesehen, da die unzweifelhafte Überschiebungsfläche des westlichen Stirnrandes an der S.-Seite des Wettersteingebirges in eine steil in die Tiefe setzende Bewegungsbahn umlenkt. Und andererseits scheint das Wettersteingebirge an der Nordseite in mehr oder weniger ungestörtem stratigraphischem Verband mit dem nördlichen Vorlande zu stehen. Trotz dieser Tatsachen bestehen keine unmittelbaren Beziehungen zur Mieminger Scholle, die als eigene

freischwebende Überschiebungsdecke und zur Inntaldecke gehörend angesehen wird.

Demgegenüber vertritt O. SCHLAGINTWEIT die Anschauung, daß die Wetterstein-Scholle mit der Mieminger Scholle eine zusammengehörige Überschiebungsdecke bildet und daß beide gemeinsam von S. her auf die jungen Gesteine der den Untergrund aufbauenden Lechtal-Decke aufgeschoben seien. Die am Südrande des Wettersteingebirges eingekeilte Zone junger Schichten seien als tektonisches Fenster zu betrachten, welches durch spätere Erosion geöffnet wurde. Nach dieser Auffassung schwimmt also das Zugspitzmassiv als ortsfremde Masse auf den überwältigten Schichten der Lermooser Mulde und findet ihre normale südliche Fortsetzung in den Mieminger Bergen.

Auch M. RICHTER hat sich die Ansicht O. SCHLAGINTWEIT's zu eigen gemacht. Da aber die Verhältnisse am Nordrande des Wettersteingebirges für einen normalen stratigraphischen Verband mit dem Vorlande sprechen und daher der Auffassung des Wettersteingebirges als freischwebender Schubdecke Schwierigkeiten bereiten, suchte M. RICHTER einen Ausweg in Form einer Vergrößerung der Inntal-Decke. Nach ihm gehört auch noch der Kramerstock zur (Wetterstein-) Inntal-Decke, deren Nordgrenze demnach erst am nördlichen Rande des Kramermassivs zu suchen wäre.

II. Die durch den Bahnbau geschaffenen geologischen Aufschlüsse.

Im folgenden sollen die Beobachtungen mitgeteilt werden, die an den durch den Bahnbau geschaffenen Aufschlüssen gesammelt werden konnten.

1. **Die Talstrecke von Garmisch bis Grainau.** Der erste Aufschluß findet sich am Westende des Katzensteins, wo die Zugspitzbahn nach Überqueren der Staatsbahnlinie die Raibler Schichten in einem kleinen Tunnel und einigen Einschnitten durchfährt. Am O.-Mund des Katzenstein-Tunnels sind die Raibler Kalke in einer Mächtigkeit von etwa 15 m angeschnitten worden. Die unteren 6 m bestehen aus meist masigen, undeutlich geschichteten hellen, bräunlichen, splitterig brechenden Kalksteinen. Darüber folgen ausgeprägt dünn geschichtete, grau-blaue, bräunlich anwitternde mergelige Kalke von etwa 2 m Mächtigkeit (siehe Tafel 1, Fig. 1). Im Hangenden folgen wieder etwa 6—7 m masigere Kalke. Die Schichten fallen flach geneigt gegen SSO. ein. Die mergeligen Zwischenschichten sind teils infolge ihrer geringen Widerstandsfähigkeit, teils infolge Zerrüttung durch Verwerfungen einem raschen Zerfall durch Verwitterung zugänglich, weshalb hier Schutzbauten zur Sicherung des Bahnbetriebes gegen herabstürzendes Gestein sich als notwendig erwiesen. Auf Fig. 1 ist eine ungefähr N.-S. strei-

chende, steil gegen W. einfallende Verwerfung sichtbar, an welcher der westliche Flügel um etwa 1 m abgesunken ist, was an der Versetzung der dünn geschichteten Kalke deutlich zu erkennen ist. Am östlichen Tunnelmund war eine 20° — 25° (NO.) streichende Blattverwerfung mit schwach gegen SSW. geneigten Rutschstreifen sichtbar aufgeschlossen. Im Tunnel selbst in der Nähe des westlichen Ausganges konnte am First eine Schichtfläche beobachtet werden, welche mit Rutschstreifen in O.—W.-Richtung bedeckt war. Außerdem konnten hier noch zahlreiche Blattverwerfungen mit 120° (SO.) Streichen festgestellt werden, deren Rutschstreifen schwach gegen SO. gerichtet waren. Da, wie erwähnt, die Raibler Schichten flach gegen SSO. einfallen, tauchen am Westausgang des Katzenstein-Tunnels im Liegenden der früher erwähnten massigen Raibler Kalke wieder dünn schichtige Kalke von bräunlichgrauer Farbe auf. Infolge der starken tektonischen Zertrümmerung des Gesteins mußte der Tunnel fast ganz ausgekleidet werden. Etwa 30 m W. vom Westausgang des Tunnels ist das Gestein von einer Anzahl von Störungen durchsetzt, welche durchschnittlich, 100° (O.) streichen und steil gegen S. einfallen; die Rutschstreifen sind mit etwa 10° gegen O. geneigt.

Im nächsten Einschnitt der Bahnlinie, wo diese in die südliche Richtung einschwenkt, sind Raibler Rauhwacken und Mergelschiefer in einer Mächtigkeit von rund 20 m aufgeschlossen. Die Schichten streichen im allgemeinen O.—W. und fallen mit 60° — 70° gegen S. ein. Die Schichtenfolge stellt sich vom Liegenden zum Hangenden folgendermaßen dar:

- 9,0 m rauhwackige, dünn schichtige Dolomite mit Einschaltung von einzelnen 0,1—0,2 m mächtigen Mergelschieferbänken,
- 0,4 m gequälte Mergel,
- 1,3 m Rauhwacke,
- ^^^^ Verwerfung (steil stehend) mit eingeklemmten blätterigen Mergelfetzen,
- 3,5 m Rauhwacke bzw. Dolomitbank mit meist guter Dünn schichtung,
- 0,2 m Mergelschiefer,
- 1,0 m Rauhwacke,
- 0,3 m Mergelschiefer mit Dolomitbänkchen,
- 1,2 m Rauhwackenbank,
- 1,1 m gelbbraunliche und graue schieferige Mergel mit Stauchung und Kleinfaltung,
- 0,55 m Rauhwacke mit undeutlicher Schichtung,
- 2,0 m bräunlichgraue schieferige Mergel, welche im Hangenden in knollige, rauhwackige Mergel übergehen.

Die Raibler Schichten bauen in dem bis zu 3,5 m tiefen Eisenbahneinschnitt die unteren 2 m der Böschung auf; darüber ist lettige Grundmoräne mit zahlreichen geschrammten kalkalpinen und kristallinen Geschieben der Zentralalpen gebreitet (siehe Tafel 1, Fig. 2). Die Grundmoräne bedeckt hier und in der südlich anschließenden feuchten Senke, welche die Bahn durchfährt, das ganze Gelände in wechselnder Mächtigkeit und bildet die Ursache für die eigenartige Erscheinung

der sogen. „Buckelwiesen“. Neben dem Bahndamm ist im Ablaufgraben die Moräne überall gut sichtbar aufgeschlossen; in ihr liegen verschiedene größere geschrammte Gesteinsblöcke.

Nach Überschreiten der feuchten Senke wendet sich die Bahnlinie wieder in SW.-Richtung und schneidet dabei den Hang ein wenig an. Dabei ist zunächst bis etwa 40 m vor Beginn der nächsten Kurve nur Grundmoräne sichtbar; dann tauchen unter ihr auf etwa 20 m Erstreckung bräunliche, z. T. luckige und breschige dolomitische Kalke auf. Nun beschreibt die Bahnlinie N. der Haltestelle Kreuzeckbahn eine Kurve gegen S. und schneidet dabei in den eigentlichen Westausläufer des Katzensteins ein. Am Beginn des Einschnittes stehen noch rauhwackige Kalke an, die aber allmählich in Rauhwacken übergehen. Die Lagerung der Schichten ist unregelmäßig, doch scheinen die Schichten ungefähr N.—S. zu streichen und mehr oder weniger steil gegen O. einzufallen. Am S.-Ende des Einschnittes, unweit der Haltestelle Kreuzeckbahn, ist die Oberfläche der Rauhwacke vom eiszeitlichen Gletscher geschliffen worden. Der Gletscherschliff, der zum größten Teil noch von Moräne überdeckt ist, wurde an einer Stelle durch den Bahnbau von der überlagernden Moräne befreit und zeigt noch deutliche Schrammen, welche in Richtung 50° — 60° (NO.) verlaufen.

Zwischen der Haltestelle Kreuzeckbahn und der Brücke über die Degern-Lahne ist im Ablaufgraben neben der Bahn dunkles, braunschwärzliches, z. T. sandiges Schiefermaterial sichtbar, welches dem alluvialen Schuttkegel des Degern-Lahn-Baches angehört und aus einem Gemenge von Raibler- und Partnachschiefern besteht, welche letztere beide im Einzugsgebiet der Degern-Lahne anstehen.

Die Bahnlinie wendet sich nun in ungefähr WSW.-Richtung gegen Hammersbach und überschreitet dabei den flachen Schuttkegel, der vom Hammers-Bach hier in den Talgrund vorgeschoben wurde. Es sind unregelmäßig geschichtete, feinere und gröbere Schotter, wie in den Ablaufgräben und in einer flachen Schottergrube neben der Bahn ersichtlich ist. Die Gerölle bestehen ausschließlich aus Muschelkalk und Wettersteinkalk. Der Talgrund besteht also hier nicht, wie die geologische Karte von O. M. REIS und F. W. PFAFF angibt, aus „Niederterrasse“, sondern aus einem alluvialen Schuttkegel, der über spät-diluvialen bzw. altalluvialen Talschottern ausgebreitet ist. Die Bezeichnung „Niederterrasse“ in der geologischen Karte ist insofern nicht ganz glücklich gewählt, als man unter dem Begriff Niederterrasse die fluvioglazialen Ablagerungen während der Hauptphasen der Würmeiszeit zu verstehen gewohnt ist. Die Talschotter im Loisach-Tal bei Garmisch wurden aber erst abgelagert, als das Eis der diluvialen Vergletscherung sich bereits weit in die Hochregionen zurückgezogen hatte, also in spätdiluvialer bzw. altalluvialer Zeit.

Unweit W. der Haltestelle Hammersbach überschreitet die Bahn

den Hammers-Bach und verläuft in WNW.-Richtung über den westlichen Teil des flachen Schuttkegels, um dann in die ebenso malerisch-kuppige wie unübersichtliche Landschaft bei Grainau einzutreten. Die zahlreichen, teils vereinzelt, teils zu Hügelreihen zusammengeschlossenen bewaldeten Kuppen, die aus dem nahezu ebenen Talboden aufragen, sind die Reste großer Bergstürze, die von den Wänden des Wettersteingebirges herabgekommen waren. Durch den Bahnbau wurden hier bemerkenswerte Aufschlüsse geschaffen, welche einen ziemlich eindeutigen Schluß auf das Alter der Bergstürze zulassen. F. W. PFAFF (in FELS 1914, S. 392) glaubte auf Grund der wallförmigen Schuttanhäufung an der N.- und O.-Seite des Eibseebeckens schließen zu dürfen, daß der Absturz der Felsmassen in die ausgehende Eiszeit gefallen sei, als das wahrscheinlich tektonisch angelegte Eibseebecken (O. M. REIS 1910) noch von einem diluvialen Eisrest erfüllt war, über welchen hinweg nun die Hauptmasse des Schuttes auf die N.- und O.-Seite des heutigen Sees gelangte. Wahrscheinlich lagen aber nicht nur im Eibseebecken, sondern auch im östlich anschließenden Talgrund noch Toteisreste; dafür sprechen vor allem die zwischen den Schutthügeln tief eingesenkten, heute allerdings meist aufgefüllten unregelmäßigen Hohlformen im Gemeindebezirk Grainau (Bader-See!), ferner die bis O. von Schmölz vorgeschobenen Schutthügel aus Bergsturzmateriel. Letztere glitten möglicherweise beim Sturzvorgang über die Eisreste bis dorthin. Die beim Bahnbau geschaffenen Aufschlüsse zeigten vor allem in Übereinstimmung mit den übrigen Aufschlüssen im Bergsturzgebiet, daß der Bergsturzscht zum größten Teil aus wirr gelagerten Blöcken und Trümmern von Wettersteinkalk, untermischt mit Muschelkalk, besteht (siehe Tafel II, Fig. 3). Gelegentlich finden sich Schollen von Partnachschiefern. Die Gesteinsblöcke zeigen sämtlich die Spuren des gewaltsamen Sturzvorganges in Form von Schlagmarken und Abschürfungen, die sich von den Schrammen glazial bearbeiteter Geschiebe sehr gut unterscheiden. Der Schutt ist von feinstem Gesteinsmehl durchsetzt, welches beim Sturzvorgang durch die Reibung der Gesteinsstücke aneinander entstand. Bemerkenswert ist, daß im Bergsturzscht kein kristallines Gerölle der Zentralalpen sich fand und daß auch auf den Bergsturzmassen jegliche Moränenbedeckung fehlt, so daß also eine eiszeitliche Entstehung völlig ausgeschlossen ist. Dagegen sprechen die Aufschlüsse, welche durch die Grundaushubungen im Bahnhofsgelände Grainau während des Baues geschaffen wurden, dafür, daß die oben angeführte Auffassung F. W. PFAFF's zu Recht bestehen dürfte. Es zeigte sich, daß der Untergrund des Talbodens zwischen den Schutthügeln aus dunkelgrauem oder bräunlichem Bänderschlick besteht, der hier anscheinend in einem von Eisresten gestauten See abgelagert wurde. Dieser Bänderschlick ist aber nicht ungestört abgelagert, sondern seine tieferen Schichten sind unregelmäßig und mit Bergsturzscht wirr vermengt, z. T. in letzteren

eingewickelt. Die oberen Lagen des Bänderschlicks dagegen greifen, wie man in dem Einschnitt am westlichen Ende des Bahnhofgeländes sehen konnte, z. T. ungestört über den Bergsturzschtutt hinweg, sind also offensichtlich erst nach dem Bergsturz abgelagert worden. Dieser obere etwa 2 m mächtige Bänderschlick ist von hellgelbbrauner Farbe; in ihn schalten sich weiter west- bzw. aufwärts lettige feine Schotterlagen, insbesondere an der südlichen Bahnhof-Böschung, ein, welche die altalluviale Schotterüberdeckung einleiten, als durch das Abschmelzen der Toteisreste nach dem Bergsturz die gestauten Wasser abgeflossen waren. Die Aufschlüsse beim Bahnhof Grainau gestatten also mit ziemlicher Sicherheit den Schluß, daß der Vorgang der Bergstürze an das Ende der Würmeiszeit zu setzen ist, als noch Reste des diluvialen Gletschers im Tale lagen.

2. Die offene Zahnradstrecke vom Bahnhof Grainau bis Haltestelle Riffelriß. Die Bahnlinie biegt W. des Bahnhofs Grainau in das von der Ortschaft Grainau zu P. 842,4 (an der Eibseestraße) hinaufziehende Trockental ein, das im N. vom Hinter-Bühl begrenzt wird. Die Bahnlinie verläuft am Fuße desselben und läßt an verschiedenen Einschnitten erkennen, daß die tieferen Partien des südöstlichen Teiles des Hinter-Bühls aus lettiger Grundmoräne mit geschrammten Geschieben kalkalpinen Herkunft bestehen. In ihr finden sich nur selten kristallinische Geschiebe der Zentralalpen. Im Hangenden der Moräne folgt Bergsturzschtutt, der ungefähr bei dem neben der Bahnlinie stehenden Heustadel die Moräne sichtbar überlagert. Es liegt auch hier der Beweis vor, daß die Bergstürze nicht während der Eiszeit vor sich gegangen sein können, sondern frühestens während des Ausklanges der Würmeiszeit. Von dieser Stelle ab ist an den Bahneinschnitten des Hinter-Bühls nur mehr Bergsturzschtutt aufgeschlossen, von dem auch die Fig. 3 herrührt.

Die Zahnradbahn wendet sich vom Hinter-Bühl in SW.-Richtung und überschreitet das Trockental, um in den Rohrbach-Graben einzutreten und in diesem aufwärts zum Bahnhof Eibsee zu gelangen. Dieser Graben sowohl als auch das vorher erwähnte Trockental sind von alt- und jungalluvialen Schutt erfüllt, nicht — wie in der geologischen Karte von O. M. REIS und F. W. PFAFF angegeben — von „Niederterrasse“. Die wenigen Aufschlüsse, welche die Bahnstrecke hier bot, zeigten das Anstehen von lettigem kalkalpinem Schotter (ohne kristalline Geschiebe!), der den im Einzugsgebiet des Rohr-Baches bzw. der Zuggasse anstehenden Formationsgliedern entspricht. Außerdem sind diese Gräben in die als spätglazial erkannten Bergsturzmassen eingesenkt, woraus ohne weiteres ihre spätglaziale bzw. altalluviale Anlage ersichtlich ist.

Unweit SW. von P. 965 tritt die Bahn aus dem Rohrbach-Graben heraus und wendet sich ungefähr in W.-Richtung zum Bahnhof Eibsee, der wieder in Bergsturzschtutt angelegt ist. Von hier steigt die Bahn in SO.-Richtung zunächst noch in Bergsturzschtutt an, tritt aber bei

„Am Wasserbühl“ in das Gebiet der Kössener Schichten (Rhät) der obersten Trias ein, welche dem überfahrenen Untergrund des Wettersteingebirges angehören. Es sind versteinungsreiche Schiefertone, Mergel und Kalke von grauer oder blaugrauer Farbe, welche gelbbraun verwittern. Der schichtenweise sehr reiche Tongehalt dieser Gesteine ist die Ursache für ihre Wasserundurchlässigkeit und die daraus folgende Durchfeuchtung des Geländes beim „Zugmösl“ und in dessen Umgebung. Im Ablaufgraben neben der Bahnlinie wurden Stücke von Korallenrasen mit *Thecosmilia clathrata*, ferner Mergelkalke mit der Leitversteinung *Avicula contorta* und einer schlecht erhaltenen Schale von *Choristoceras* sp. gefunden. Die Kössener Schichten halten bis zum Zugmösl an und sind von da ab aufwärts von Gehänge- bzw. Bergsturzschutt überdeckt. Eine hervortretende Rippe des Schuttstromes wird etwas unterhalb P. 1469 mittels eines kurzen Tunnels durchörtert, dessen Bau einige Schwierigkeiten bereitete, da der in Böschungslagerung befindliche Blockschutt druckhaft war.

Unweit unterhalb P. 1469 befand sich während des Bahnbaues der Endpunkt einer kleinen Schotterzufuhrbahn, welche in SO.-Richtung zu Schuttaufschlüssen führte. Durch diese Rollbahn wurden in etwa 1425 bis 1430 m Höhe ü. d. M. graue, dünnsschichtige, mit Tonmergellagen wechsellagernde Kalke und graue bis gelbbraune Tonmergel auf etwa 10 m Erstreckung an der bergseitigen Böschung aufgeschlossen. Die Kalke sind spitzwinkelig verfaltet und zeigen $\downarrow 50^\circ - 60^\circ / 140^\circ$ (SO.). Die Tonmergel sind z. T. außerordentlich gequält und verfaltet, was ohne Zweifel auf den Überschiebungsvorgang zurückzuführen ist. Die Überschiebungsfläche ist leider infolge der Schuttüberdeckung nicht sichtbar aufgeschlossen, kann aber in nicht allzu weitem Abstände im Hangenden vermutet werden, da unweit SO. von dieser Stelle der Muschelkalk noch bis zur 1500 m Höhenschicht herab sichtbar aufgeschlossen, dann aber von Schutt verdeckt ist. Die genannten Tonmergel und Kalke gehören wahrscheinlich den Kössener Schichten (Rhät) an. Eine genaue Bestimmung war nicht möglich, da in den stark zerstörten Schichten keine brauchbaren Versteinerungen gefunden wurden.

Nach Durchschreiten des kleinen Tunnels im Blockschutt wendet sich die Bahnlinie scharf nach SSW. und strebt steil ansteigend zur Haltestelle Riffelriß empor, wobei in den z. T. tiefen Einschnitten nur Blockschutt angeschnitten wurde, ohne daß das Liegende erschürft worden wäre.

3. Die Tunnelstrecke von Haltestelle Riffelriß bis Bahnhof Schneeferner-Haus. Bei der Haltestelle Riffelriß befindet sich der Eingang des 4,446 km langen Tunnels, der in mehrfachen Windungen durch das Massiv der Riffelwandspitze und der Zugspitze zum Schneeferner-Haus auf dem Platt hinaufführt. Der Tunnel ist gänzlich in der Überschiebungsmasse gelegen und durchquert, abgesehen von der Strecke

im Gehängeschutt der ersten 235 m, zuerst die Schichten des Muschelkalks, welche bis km 1,295 anhalten, dann beginnt der Wettersteinkalk, welcher bis zum Endpunkt des Bahnhofs Schneeferner-Haus das herrschende Gestein ist (siehe die Trasse auf Taf. III).

Der Vortrieb des Stollens im festen Fels konnte durchgeführt werden, ohne daß große und unerwartete, in der Art der Gesteinschichten begründete Schwierigkeiten aufgetreten wären. Dagegen durchörterte der Tunnel verschiedene Strecken z. T. stark druckhaften Gebirges. Außerdem machte sich eine von der Bauleitung nicht erwartete starke tektonische Zertrümmerung des Gesteins unangenehm bemerkbar, auf welche Erscheinungen später noch näher eingegangen werden soll.

Im folgenden sollen zunächst die stratigraphischen Beobachtungen mitgeteilt und nur nebenbei die Lagerung der Schichten berührt werden.

Der Tunnel tritt, wie schon erwähnt, nicht sogleich in das anstehende Gebirge ein, sondern durchfährt bis km 0,235 den am Fuße der Steilwände aufgehäuften Gehängeschutt. Letzterer ist in seiner Korngröße ziemlich gleichmäßig, größere Blöcke waren nur einzeln eingeschaltet; lehmige Verunreinigungen waren nur gering. Bei km 0,235 beginnen die Schichten des Muschelkalks mit dickbankigen dunklen Kalksteinen, welche bis km 0,555 anhalten und $\downarrow 30^{\circ}-35^{\circ}/110^{\circ}$ (SO.) zeigen. Bei km 0,275 zeigten sich Einschaltungen von graubraunen Crinoidenkalken, bei km 0,795 traten helle eiförmige Kieselknollen von 10—15 cm Durchmesser im Gestein auf, von denen merkwürdigerweise einzelne zermürbt waren, während die übrigen beim Anschlagen mit dem Hammer Funken gaben. Diese kieselsäurehaltigen Konkretionen treten auch an der äußeren Felswand zwischen Fensterstollen 0 und I zutage. Hier ist ein etwa 1 m mächtiges Felsband sichtbar, das zahlreiche etwa kopfgroße, mit braunem Verwitterungslehm erfüllte Löcher aufweist. Diese entsprechen den im Tunnel beobachteten Kieselkonkretionen. Bei km 0,805 finden sich hellgraue, bis 1,2 m mächtige Muschelkalkbänke, welche folgende Lagerung zeigen: $\downarrow 20^{\circ}/70^{\circ}$ (NO.). Diese gehen etwas unterhalb km 0,830 in knollig ausgebildete und bei km 0,838 in spätige Kalke über. Bis km 0,845 ist der Muschelkalk deutlich geschichtet; dann verwischt sich die Schichtung auf größere Strecken unter dem Einfluß tektonischer Zertrümmerung, welche hier stark zum Ausdruck kommt. Die hier durchstreichenden zahlreichen Störungsflächen sind mit rotem Lehmesteg überzogen, so daß hier rote Gesteinsfarbe vorgetäuscht wird. Erst von km 0,992 an tritt wieder Schichtung des Gesteins hervor. Bei km 1,050 sind dünnsschichtige dunkelgraue Hornsteinkalke mit welligen Schichtflächen von dickbankigeren helleren Kalkschichten überlagert, was auf Rechnung einer kleinen Teilüberschiebung zu setzen ist, da die Überlagerungsfläche die Schichtflächen in spitzem Winkel schneidet. Diese Erscheinung läßt erkennen, daß die Schichtenfolge im Bereiche des Muschelkalks nicht lückenlos und folgerichtig erhalten, sondern

durch Stauchungen, Verwerfungen und kleinere Teilüberschiebungen gestört ist. Bei km 1,060 zeigen die hier hellbraun gefärbten Muschelkalkschichten $\downarrow 10^0-15^0/20^0-30^0$ (NO.). Bei km 1,100 sind in die dünnbankigen, von Kalkspatadern durchsetzten, schwärzlichen knolligen Muschelkalkschichten zwei grüne, von Kalkbänkchen durchsetzte Ton- schichten eingeschaltet, welche sich in NO.-Richtung auf 6—7 m Ent- fernung von insgesamt 1,1 m auf 0,4 m Mächtigkeit verschwächen, wo- bei die erwähnten Kalkbänkchen auskeilen. Die rasche Mächtigkeits- abnahme ist sicher nicht ursprünglich, sondern auf Rechnung der tek- tonischen Vorgänge zu setzen. Die Tonbänke waren nach dem Stollen- Ausbruch wenig beständig und zerfielen zu Brei, so daß die Stelle als- bald ausgemauert werden mußte. Bei km 1,180 beginnen sich in die bisher schwärzlichen Kalke Bänke von hellerer bräunlichgrauer Farbe und von 10—15 cm Mächtigkeit einzuschalten, die von km 1,200 an nach oben immer häufiger werden. Zwischen km 1,220—1,230 findet sich eine 2,5 m mächtige hellere Bank, welche von schwärzlichen Mergel- kalken unter- und überlagert ist. Von km 1,230 an herrschen wieder bräunlichgraue Kalke. Oberhalb km 1,240 schalten sich in diese wieder einige bis 0,3 m mächtige schwärzliche Mergel und eine grüne Tonbank ein. Die bisher ziemlich regelmäßig mit etwa $25^0/30^0$ (NO.) einfallenden Schichten sind zwischen km 1,240 und 1,245 ziemlich gestaucht. Bei km 1,248 schiebt sich eine intensiv grüne Schieferschicht mit roten Ein- lagerungen an der Basis ein. Zwischen km 1,260 und 1,264 wechsellagern dunklere tonige dünn- und mittel- mächtige Kalke mit helleren festere- n bräunlichen dickbankigeren Kalken. Die Schichten zeigen hier: $\downarrow 15^0/55^0$ (NO.) und stoßen im Hangenden an einer flach (etwa 30^0) gegen NW. einfallenden Verwerfung bzw. Überschiebung an hellerem ungeschichtetem bzw. zer- klüftetem Kalkstein ab. Bei km 1,278 sind an der NW.-Ulme zwei etwa 0,1 m mächtige tonige Schieferlagen sichtbar, welche sich in NO.-Richtung auf kurze Entfernung verschwächen. Auch dieses Auskeilen ist sicher auf tektonische Einwirkung zurückzuführen, was auch daraus zu schließen ist, daß die obere Schicht gestaucht und putzenförmig zusammen- geschoben ist. Die im vorstehenden erwähnten verschiedenen tonigen Einlagerungen können in gewissem Sinne als einzelne Schichtausläufer der weiter NO. so mächtig anschwellenden Partnachschiefer angesehen werden. Bei km 1,290 sind die Schichtflächen der dünn- und mittel- mächtigen (Schichtmächtigkeit nur einige Zentimeter) dunklen Kalke mit rotem tonigem Lehm überzogen. Die Schichten zeigen hier: $\downarrow 50^0/40^0$ (NO.). Bei km 1,295 stoßen dünn- und mittel- mächtige graubraune Kalke, welche noch dem Muschelkalk angehören, mittels einer 115^0 (SO.) streichenden Ver- werfung an hellem Wettersteinkalk ab. Hier ist die petrographische Grenze zwischen Muschelkalk und Wettersteinkalk anzunehmen, die allerdings nicht normal, sondern tektonisch bedingt ist. Die eigent- liche stratigraphische Grenze zwischen anisischer Stufe (Muschelkalk)

und ladinischer Stufe (Wettersteinkalk) dürfte etwas höher zu legen sein, kann aber wegen Mangels an brauchbaren Versteinerungen nicht festgelegt werden.

Von km 1,295 an liegt der Tunnel im petrographisch einförmigen, dagegen streckenweise tektonisch stark beanspruchten hellgrauen Wettersteinkalk, der im ganzen Verlauf des Tunnels bis zum Bahnhof Schneeferner-Haus massig entwickelt ist und keine Schichtung erkennen läßt. Nur im Bahnhofgelände befindet sich eine einzige Stelle, an welcher Schichtung festgestellt werden konnte und folgende Lagerung zeigte: $\downarrow 25^{\circ}/175^{\circ} - 180^{\circ}$ (S.). Versteinerungen wurden im ganzen Verlaufe des Tunnels in der Wettersteinkalkstrecke nicht angetroffen.

An verschiedenen Stellen fanden sich im Wettersteinkalk zahlreiche Putzen und Nester von weißem Calzit. Es waren folgende Punkte: bei km 1,380; von km 1,500 bis 1,575; von km 1,736 bis 1,751; bei km 2,010; 2,173; 2,685; 3,095 und 3,100. Die Größe der Putzen kann bis zu ungefähr 1 m im Querschnitt erreichen. Ihre äußere Umgrenzung ist entweder unregelmäßig gekrümmt geformt, was auf ursprünglich vorhandene Hohlräume im Kalkriff und ihre Ausfüllung während der Diagenese schließen läßt, oder sie sind spießbeckig begrenzt, in welchem Falle sie als durch tektonische Vorgänge aufgerissene Hohlräume anzusehen sind. Solche spießbeckige Nester fanden sich besonders zwischen km 1,736 und 1,751, ferner bei km 2,173 und km 3,095.

III. Strecken mangelnder Festigkeit im Zugspitz-Tunnel.

Die Erwartungen, welche die Bauleitung über die Standfestigkeit des Gesteins im Tunnel im allgemeinen und über einen glatten Verlauf des Vortriebs des Zugspitz-Tunnels im besonderen gehegt haben mag, haben sich nicht restlos erfüllt. Ein dem Baubeginn vorausgehendes geologisches Gutachten hätte über diese Punkte wahrscheinlich etwas berichtend einwirken können.

Beim Vortrieb des Tunnels waren mehrere stark druckhafte Strecken zu überwinden, deren eine (unter der Riffelreisse) sich wahrscheinlich durch eine geringe Verschiebung der Trasse hätte ganz vermeiden oder wenigstens auf eine kleinere Strecke hätte beschränken lassen. Ferner entbehrten zahlreiche Strecken im Tunnel der erwünschten Standfestigkeit, was eine umfangreiche Ausmauerung notwendig machte. Im folgenden soll auf diese Erscheinungen näher eingegangen werden.

1. Druck-Strecken. Druckhaftes Gebirge trat während des Vortriebes des Tunnels an folgenden Stellen auf: Vom Tunnelmund bis km 0,245, dann von km 1,108 bis km 1,138 (bei Fenster 1), ferner von km 1,380 bis km 1,447 (Riffelriß) und schließlich von km 2,075 bis 2,089. Die erstgenannte Strecke vom Tunnelmund bis km 0,245 verläuft zunächst bis km 0,235 im Blockschutt, welcher in Form von Schutthalen den Fuß

der Steilwände umsäumt. Bei km 0,235 beginnt das anstehende Gebirge in Gestalt von Muschelkalkschichten, welche sich bis km 0,245 als druckhaft erwiesen. Augenscheinlich ist die Mächtigkeit der Firste hier noch so gering, daß der Druck der überlagernden Blockschuttmassen sich hier noch auswirken konnte. Diese Strecke mußte deshalb sogleich nach dem Vortrieb mit Gewölbebeton ausgemauert werden. In der anschließenden Strecke bis km 0,255 zeigte sich im letzten Jahre (1932) die Firste stark brüchig, weshalb auch diese Strecke ausgewölbt werden mußte. Die Druckhaftigkeit hier ist ohne Zweifel in der Hauptsache auf Rechnung des überlagernden Blockschuttes zu setzen.

Die Strecke von km 1,108 bis 1,138 liegt in Muschelkalkschichten beim ehemaligen Fensterstollen I. Der Tunnel ist hier nahe an die Außenfläche der Bergwand gerückt, um während des Baues die Anlage des Fensterstollens zu ermöglichen. Die Druckhaftigkeit der dünngeschichteten Kalke scheint hier wohl darauf zurückzuführen zu sein, daß die Schichten ziemlich zerrüttet sind. Eine Anzahl von Verwerfungen begünstigt die Ablösung von vorspringenden Sockelpartien vom Gebirgskörper, wobei die bereits durch Faltungs- und Überschiebungsvorgänge zertrümmerten Muschelkalkschichten aufgelockert und druckhaft werden. Die Druckhaftigkeit führte hier zu einem Verbruch des Stollens während des Vortriebs.

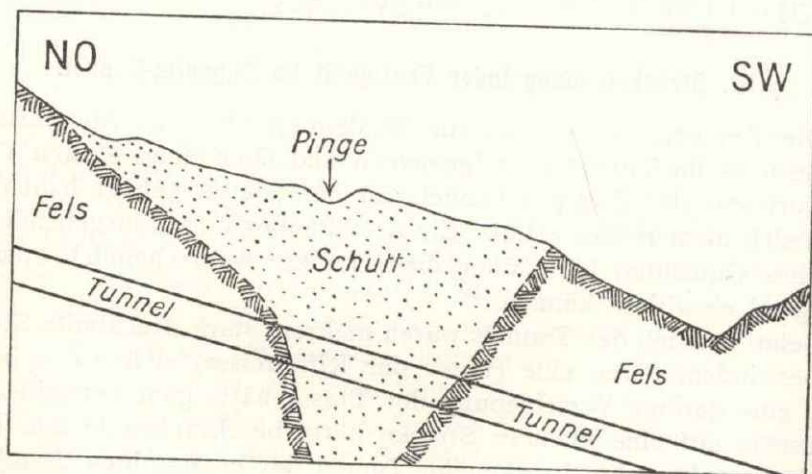


Abb. 2

Druckstrecke in der Riffelriß

Die Druckstrecke von km 1,380 bis 1,447 liegt bis km 1,416 im gewachsenen Fels, von km 1,416 bis 1,447 liegt sie im Gehängeschutt der Riffelriß. Hier gelangte nämlich der Tunnel unbeabsichtigterweise aus dem Felsgelände in die Schutthalde und durchquerte sie in einer Erstreckung von 31 m. An dieser Stelle streicht eine in NNO.-Richtung

(ungefähr 10^0) verlaufende Störungszone durch, welche tief ausgewittert ist, und welche Rinne viel weiter in den Gebirgskörper eingreift, als bei der Planung des Tunnels angenommen wurde. Auf Abb. 2 auf S. 36 ist ein Querschnitt durch die Felsrinne der Riffelriß gezeigt. Die Felsrinne wurde nach ihrer Auswitterung im Laufe der Zeit allmählich von dem anwachsenden Schuttkegel der Riffelreiße angefüllt und verdeckt. Das Material in der Schutthalde war im allgemeinen ziemlich gleichmäßig gesondert, wie es in solchen Schuttanhäufungen der Fall zu sein pflegt, im unteren Teil etwas gröber, nach oben zu etwas feiner werdend. In ihm war nur ein einzelner größerer Felsblock eingebettet. Die Strecke konnte nur mit Getriebezimmerung bewältigt werden. Trotzdem erfolgte während des Vortriebes ein Firsteinbruch, der zur Bildung einer Pinge (Verbruch-Trichters) auf der Oberfläche der Schutthalde führte. Das abwärts anschließende Stück des Tunnels von km 1,380 bis zum Beginn der Schuttstrecke (km 1,416) war ebenfalls druckhaftes Gebirge, obwohl es im gewachsenen Fels lag. Das Gebirge war hier durch zahlreiche Verwerfungen zerstückelt und sehr brüchig. Es handelt sich dabei um die schon erwähnte Zerrüttungszone an der Riffelriß, welche in einer Breite von ungefähr 65—70 m das Gebirge durchzieht. Auch die genannte Strecke im Fels mußte wegen Druckhaftigkeit beim Vortrieb verzimmert werden. Die ganze Druckstrecke wurde beim Ausbau in eisenarmiertem Gewölbebeton (in der eigentlichen Schuttstrecke mit Sohlengewölbe) ausgeführt.

Von besonderem Interesse ist die Druckstrecke im Tunnel zwischen km 2,075 und 2,089. Hier wurde nämlich überraschenderweise an der SO.-Ulme, also am bergseitigen Seitenstoß, eine Schuttmasse angefahren, welche nicht als Trümmerbresche einer Verwerfungszone, sondern als Schuttfüllung einer Höhle angesehen werden muß. Während die weiter unten zu besprechenden zahlreichen tektonischen Zertrümmerungs-zonen des Stollens mit Gesteinstrümmern aller Größen angefüllt und vielfach mit Lehm durchsetzt sind, bestand der hier angetroffene Schutt aus gleichmäßigen eckigen Gesteinsstücken von 1—5 cm Korngröße. Der Schutt war etwas lehmig und sehr feucht; er konnte zum Betonieren verwendet werden, nachdem die lehmigen Verunreinigungen durch Waschen beseitigt wurden. Die gleichmäßige Korngröße schließt das Vorliegen einer tektonischen Trümmerbresche vollständig aus; dagegen spricht sie für die Natur einer Schutthalde, die aber nicht an der Außenseite des Gebirges angelagert sein kann, da sie im Innern des Gebirges an der bergseitigen Ulme angefahren wurde, sondern als Schuttanfüllung einer einstmals hier vorhandenen großen Höhle angesehen werden muß. Die Anlage dieser Höhle ist ohne Zweifel mit mehreren hier durchstreichenden Verwerfungen in Beziehung zu bringen, da die NO.-Begrenzungswand des Schuttraumes in SO.—NW.-Richtung (ungefähr 125^0 — 130^0) streicht, die SW.-Begrenzung in SSO.—NNW.-Richtung

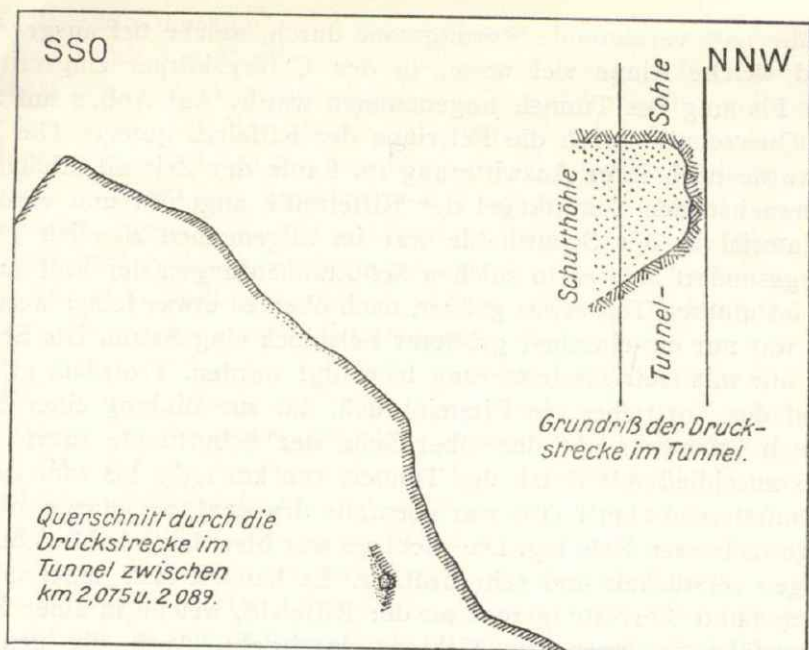


Abb. 3

Druckstrecke im Tunnel bei km 2,075—2,089.

(ungefähr 160°) verläuft. Die NW.-Felsbegrenzung des Raumes lag noch innerhalb des Stollens und war eine unregelmäßig gekrümmte Fläche; sie ist wahrscheinlich nicht durch eine Verwerfungsfläche bedingt, sondern als durch Lösungsvorgänge entstandene Höhlenwand anzusehen. Dagegen sind die NO.- und SW.-Begrenzungen wahrscheinlich als Verwerfungsflächen zu deuten, welche ehemals eine Trümmerzone einschlossen. Letztere wurde anscheinend entweder infolge starker Wasserzirkulation durch Auflösung entfernt oder aber es bestand im unteren Teil eine offene Verbindung mit der Außenwelt, durch welche die Trümmerfüllung teils durch Lösung, teils durch mechanische Ausräumung entfernt wurde. Bemerkenswert ist, daß die Höhle an der Stelle liegt, wo vermutlich auch diejenige Störungszone durchstreicht, welche für die Entstehung der Riffelriß verantwortlich zu machen ist. Ob ein unmittelbarer Zusammenhang mit der tief in das Gebirge eindringenden Rinne der Riffelriß besteht, ist nicht sicher festzustellen, aber möglich und wahrscheinlich. Es spricht alles dafür, daß die Entstehung dieser Höhle mit dem Zusammentreffen dieser verschiedenen Verwerfungen in Beziehung zu setzen ist. Später muß durch Öffnung eines Zugangsweges von oben her Gehängeschutt in die Höhle eingeführt und dadurch diese allmählich zugefüllt worden sein. Es wäre möglich, daß die Schuttfüllung der Höhle mit einem oberhalb am Berghange befindlichen Schuttbelag, welcher im Profil in Abb. 3 durch Punktierung angedeutet ist,

in Verbindung steht. Auf Abb. 3 ist ein Grundriß in der Ebene der Tunnelsohle und ein Querschnitt durch die Druckstrecke dargestellt. Diese Strecke mußte wegen des sehr großen Druckes mit Getriebezimmerung durchfahren werden, wobei Eisenlehrgerüste Anwendung fanden. Die Betonwölbung wurde mit sehr starken Eiseneinlagen ausgeführt.

2. Trümmerzonen, offene Klüfte und Wasserführung in ihnen.

Außer den im vorstehenden näher beschriebenen Strecken druckhaften Gebirges wurden im Zugspitztunnel verschiedene Stellen mit stark brüchigem Gebirge durchörtert, welche da auftraten, wo die später zu besprechenden Verwerfungen die Tunnelachse berühren. Solche Strecken, welche bereits beim Vortrieb wegen starker Nachbrüchigkeit ausgezimmert werden mußten, waren folgende: km 0,469—0,485; km 1,108—1,138; km 2,286—2,304; km 2,382—2,400; km 2,720—2,779 und km 3,330—3,366. Dabei wurden kleinere Einbauten bei der Aufzählung unberücksichtigt gelassen. Dazu gesellen sich noch zahlreiche Trümmerzonen, welche zunächst ohne Verzimmerung durchörtert werden konnten, aber wegen auftretender Brüchigkeit beim Vollaussbruch sogleich ebenfalls ausgemauert werden mußten. Die Ausmauerungsarbeiten sind auch jetzt noch nicht beendet und werden voraussichtlich noch einige Zeit beanspruchen.

Von besonderer Wichtigkeit ist die eigenartige Erscheinung, daß an verschiedenen Trümmerzonen im Zugspitztunnel die Brüchigkeit des Gesteins sich nicht dadurch äußert, daß Firsteinbrüche erfolgen, sondern daß von den Ulmen her Einbrüche von Trümmergestein stattfinden. Diese Erscheinung läßt sich folgendermaßen erklären: Wenn an Stellen, wo Trümmerzonen den Tunnel in spitzem Winkel schneiden oder ihm parallel verlaufen, die Firste aus festem Fels, eine Ulme dagegen aus Trümmergestein besteht, dann kann letzteres sich abblättern und in den Tunnel hereinbrechen, besonders wenn das Breschgestein von zahlreichen parallelen Verwerfungsclüften durchschwärmt ist, wie es sehr oft der Fall zu sein pflegt. Solche Stellen erfordern die Errichtung einseitiger Stützmauern an den Ulmen, ohne daß die ganze Strecke voll ausgemauert werden müßte. Beispiele für derartige Vornahmen finden sich bei km 0,337—0,345; km 0,855; km 1,213—1,218; km 1,300; längere Strecken bei km 1,500, 1,800 und 1,900; bei km 2,312—2,352; km 2,444; km 2,636 und km 2,779—2,800.

Schließlich sollen hier noch verschiedene klaffende Spalten und Hohlräume Erwähnung finden, welche beim Vortrieb im Tunnel angetroffen wurden. Wenn auch einzelne dieser Hohlräume schon als ursprüngliche Lücken im Gesteinsgefüge des Kalkrißs bei dessen Entstehung angelegt wurden, so sind die meisten von ihnen vermutlich doch als nachträgliche Bildungen anzusprechen, die ihre Entstehung auf die Zertrümmerung des Gesteins längs der Gebirgsstörungen zurückführen lassen. Soweit es sich um schlauchförmige Hohlräume handelt, dürften es wohl reine

geologische Orgeln oder Naturschächte usw. sein, die durch die Lösungsvorgänge beim Versickern des Wassers längs Spalten entstanden sind, wobei auch Verwitterungsvorgänge mit eine Rolle gespielt haben. Die übrigen Hohlräume aber dürften als klaffende Spalten betrachtet werden. Zu ihrer Entstehung haben sowohl Lösungs- und Verwitterungsvorgänge als auch mechanische Ausräumung durch das durchziehende Wasser zusammengewirkt. Die ausgedehnteste Kluft wurde bei km 3,163 angefahren. Sie streicht ungefähr in O.—W.-Richtung und fällt steil, nahezu senkrecht gegen S. ein. An der Stelle, wo der Tunnel sie in annähernd rechtem Winkel mittels einer Brücke überquerte, hatte sie eine Breite von 6—7 m; bergwärts verbreiterte sie sich zunächst noch auf etwa 10 m lichter Weite, um sich dann wieder stark zu verengern. Sie konnte etwa 40—50 m in wagrechter Richtung bergwärts verfolgt werden. Am Ende zeigte sich starke Vereisung in Form von Eisstalaktiten. Talseitig (an der W.-Ulme) ging die Kluft ins Freie und bildet den tiefen Einriß in der östlichen Umrahmung des Bayerischen Schneekares, der sich vom Grunde des Kares bis auf die Höhe des Gebirgskammes der Großen Riffelwandspitze durch die Steilwand hinaufzieht und auch auf der beigegebenen Karte durch das Einspringen der Höhenschichtenlinien zu erkennen ist. Die Kluft bot einen willkommenen Ablagerungsplatz für das Stollenausbruchsmaterial, von welchem etwa 3350 m³ eingeschüttet wurden.

Die übrigen offenen Klüfte im Tunnel waren weniger bedeutend. Die wichtigsten von ihnen sollen im folgenden kurz besprochen werden. Bei km 0,450 war an einer 80° (O.—W.) streichenden Verwerfung eine 0,50—0,80 m breite Spalte aufgeschlossen, welche annähernd senkrecht zur Tunnelachse verlief. In ihr war Luftzug bemerkbar, die Wasserführung war von Niederschlägen abhängig. Bei km 0,487 wurde eine etwa 1,0—1,5 m breite klaffende Spalte angetroffen, welche an einer 35° bis 40° (NO.) verlaufenden Verwerfung lag. In der Nähe von km 0,990 war auf der SO.-Ulme eine geologische Orgel von 0,30—0,50 m elliptischem Durchmesser vorhanden, welche ziemlich senkrecht in die Höhe führte und von gelbbraunem Lehm erfüllt war. Bei km 1,000 war eine lehm-erfüllte Spalte, deren Größe und Richtung nicht gemessen wurde. Bemerkenswert ist hier, daß die Lehmfüllung sehr rein und ohne Gesteinsbruchstücke war, so daß sie zum Versetzen der Sprengschüsse verwendet werden konnte. Neben km 1,314 fand sich eine schmale Kluft, in welcher Luftzug bemerkbar war, jedoch keine Wasserführung. Bei km 1,534 fand sich an einer 160° (SO.) streichenden senkrechten Verwerfung eine klaffende lehm-erfüllte Spalte, bei km 1,853 eine geologische Orgel, welche von der Firste aus etwa 80 m in die Höhe verfolgt werden konnte; diese war etwas wasserführend und man bemerkte Zugluft. Bei km 2,210 zeigte sich an der O.-Ulme eine klaffende Spalte, welche sich nach oben erstreckte; ihre Richtung war 30° (NO.). In der Nähe von km 3,970

fand sich eine N.—S.-streichende offene Kluft mit röhrenförmigem Schacht, welcher oben blind endigte.

Die Aufzählung dieser Hohlräume zeigt, daß sich im durchfahrenen Gebirge zahlreiche spalten- und röhrenförmige Hohlräume finden, welche größere Ausdehnung besitzen, z. T. untereinander und sicher auch mit der Außenwelt Verbindung erlangen, worauf die festgestellte Zugluft in einigen von ihnen hinweist.

Im Anschlusse daran möge noch auf die Wasserführung des Gesteins im Bereiche des Zugspitztunnels eingegangen werden. Der Vortrieb des Stollens wurde durch keine größeren Wassereinbrüche gestört. Dagegen war an verschiedenen Stellen zeitweise stärkerer Wasserzudrang zu verzeichnen, der sich aber in der Hauptsache auf Regenperioden und die Zeit der Schneeschmelze beschränkte. Ständig fließendes Wasser wurde nur an zwei Punkten festgestellt, nämlich bei km 0,620 und zwischen km 1,230 und 1,240. Die Schüttung an beiden Stellen ist aber nur gering. Zeitweise stärkerer Wasserzudrang findet sich an folgenden Punkten: Bei km 1,469—1,485, hier mußte die Firste abgedichtet werden; bei km 1,440—1,447, wo eine Drainage eingelegt werden mußte; bei km 3,163, wo sich ebenfalls eine Firstabdeckung als notwendig erwies. Nach der Fertigstellung des Tunnels trat anlässlich eines heftigen Regengusses bei km 0,160—0,220 (in der Schuttstrecke!) ein starker Wassereinbruch ein, der aus der Sohle des Tunnels hervorbrach. Es handelte sich dabei um einen Abfluß aus dem Bayerischen Schneekar, der im Gehängeschutt versiegt und sich durch die Tunnelsohle einen Ausweg suchte. Um eine Gefährdung des Tunnels zu vermeiden, mußte auf der genannten Tunnelstrecke ein Sohlgewölbe eingezogen werden.

IV. Die Gebirgsstörungen im Bereiche des Zugspitz-Tunnels.

Die beim Vortrieb des Zugspitz-Tunnels gewonnenen Einblicke in den Bau des Gebirges haben gezeigt, daß das tektonische Gefüge sich als wesentlich gestörter und in seinen Auswirkungen für Vortrieb und Bestand des Tunnels einschneidender erwies, als die Bauleitung bei der Planung angenommen haben mag. Diese Tatsache mag Fernerstehenden umso verwunderlicher erscheinen, als das Wettersteingebirge mit seinen gewaltigen und oft mauergleichen Steilwänden gerade im Gebiete der Bayerischen Zugspitzbahn den Anschein eines festgefügtten Felsenmassivs gewährt. Wer aber mit kundigem Blick die riesigen Schutthalden, welche allenthalben den Fuß der Steilwände umhüllen, oder die ausgedehnten Bergsturmassen im Gebiet des Eibsees und der Gemeinde Grainau betrachtet, dem muß sich die Überzeugung von der tiefen inneren Zerrüttung des Gebirgsmassivs aufdrängen. Diese Zerrüttung kam im Tunnel in zahlreichen Verwerfungen, offenen Klüften und ausgedehnten Trümmern zum Ausdruck, die im vorhergehenden Abschnitt bereits behandelt

wurden, soweit sie für die Bauarbeiten sich als hemmend gestalteten. Es erübrigt nur noch, sie vom geologischen Standpunkt aus zu beleuchten.

1. Richtung und Ausmaß der Verwerfungen; ihre Zugehörigkeit zu bestimmten tektonischen Phasen. Die im Tunnel gemessenen Verwerfungen und Trümmerzonen sind in beiliegender Karte mit farbigen Zeichen eingetragen, und zwar sind die mit Verwitterungslehm erfüllten Störungen mit roter Farbe, die übrigen mit grüner Farbe bezeichnet. Das etwaige steilere oder flachere Einfallen der Verwerfungsflächen ist durch einen kürzeren oder längeren Querstrich angedeutet. Ferner sind die Kluftrichtungen ihrer relativen Häufigkeit nach in der Kluftrose Abb. 4 dar-

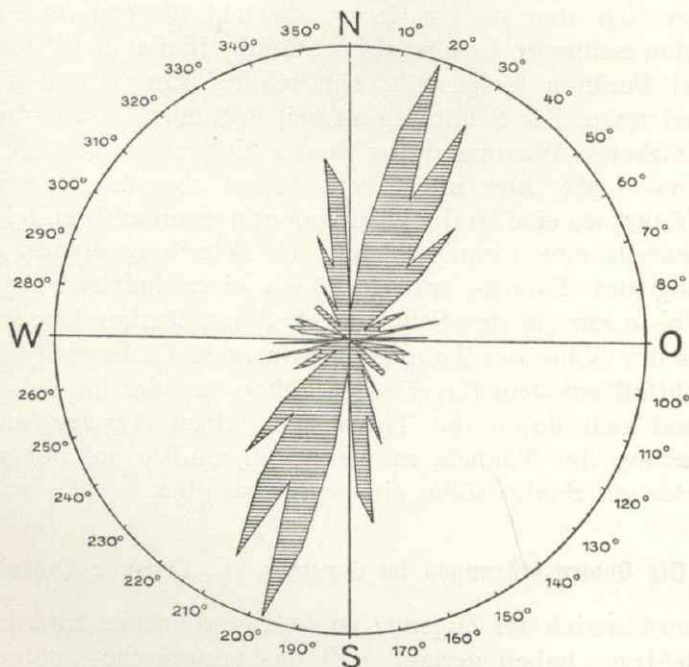


Abb. 4
Kluftrose.

gestellt. Es ist zu beachten, daß die Kartenskizze keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann; denn manche Teile der Tunnelstrecke waren bei den jeweiligen Begehungen des Verfassers bereits verzimmert bzw. ausgemauert und dadurch der näheren Untersuchung für immer entzogen. Ferner mußten da, wo die Zeichen in der Karte sich häuften, verschiedene Störungen weggelassen werden, um die Übersichtlichkeit nicht zu beeinträchtigen. Schließlich sei noch bemerkt, daß in der Karte nur diejenigen Verwerfungen bzw. Klüfte eingetragen wurden, an denen offensichtlich Schollenverschiebungen oder starke breschige Zertrümmerungen stattgefunden haben.

Ein Blick auf die Karte und die Kluftrose lehrt, daß unter den Verwerfungen zwei Hauptrichtungen vorherrschen, nämlich die NNO.- bzw. NO.-Richtung und die NNW.-Richtung, während die übrigen Verwerfungen sich auf die O.—W.-Richtung verteilen. Von 190 gemessenen Verwerfungen streichen mehr als die Hälfte, nämlich 101, in NNO.- bzw. NO.-Richtung (zwischen 0^0 und 50^0), ferner rund ein Viertel, nämlich 49 Verwerfungen, in NNW.- bzw. NW.-Richtung (zwischen 310^0 und 360^0). Diese beiden sind demnach die bevorzugten Streichrichtungen, denn in ihnen liegen rund vier Fünftel aller beobachteten Störungen, während sich der Rest auf die O.—W.-Richtung verteilt. Jede dieser drei Verwerfungsgruppen gehört einer eigenen tektonischen Phase an.

Die Gruppe der O.—W.-Verwerfungen ist die älteste und gehört zu einer frühen tektonischen Phase, nämlich der wahrscheinlich mittelkretazischen Faltung. Ihre dem Gebirgsstreichen parallelen Verwerfungen streichen zwischen 75^0 und 115^0 , also annähernd in O.—W.-Richtung. Bei km 3,690 konnte eine O.—W. streichende Verwerfung beobachtet werden, welche von einer 340^0 (NW.) streichenden Störung abgeschnitten ist. Dies deutet auf das höhere Alter der O.—W.-Verwerfung hin. Daß diese Verwerfungen nichts mit den beiden jüngeren tektonischen Phasen zu tun haben, geht auch aus der Richtung der Schollenbewegung an ihnen hervor; denn von fünf gemessenen Harnischen an O.—W.-Verwerfungen zeigten drei steil bis senkrecht einfallende Rutschstreifen, während zwei schwächere Neigung aufwiesen. Hier überwiegen also die radialen Bewegungen bzw. hier drücken sich möglicherweise Gleitungen an streichenden Verwerfungen beim Faltungsvorgang aus, während bei den Verwerfungen der jüngeren tektonischen Phasen tangentielle Bewegungen unzweifelhaft die ausschlaggebende Rolle spielen, wie später gezeigt wird.

Die Gruppe der NNW.-Störungen und ein Teil der NO.-Störungen gehören einer jüngeren tektonischen Phase an und sind eine Begleiterscheinung des in der Richtung O.—W. erfolgten Überschiebungsvorganges des Wettersteingebirges. Diese Verwerfungen sind als Streckungsklüfte anzusehen, die beim Vormarsch der Wettersteinüberschiebung gebildet wurden und ein Ausweichen der Schollen nach beiden Seiten hin ermöglichten. Sie entsprechen den Mohr'schen Linien bzw. Flächen, welche bei Druckversuchen an Gesteinsblöcken auftreten (siehe Abb. 10 auf S. 25 in H. CLOOS, 1921), die man mit H. CLOOS als Streckungsklüfte bezeichnen kann. Es besteht kein Zweifel, daß ein Teil der sehr zahlreichen NO.-Störungen ebenfalls zu den Streckungsklüften des Überschiebungsvorganges gehört; dies ist nicht nur eine theoretische Forderung, sondern geht auch aus den am Südrande des Wettersteingebirges von K. LEUCHS (1930) vorgenommenen genauen Untersuchungen hervor, auf welche später noch kurz eingegangen werden soll. Das höhere Alter der zur Überschiebungsphase gehörenden Streckungsklüfte gegenüber

der jüngsten Gruppe von NO.-Verwerfungen ist auch daraus zu ersehen, daß bei Kluftkreuzungen beider Systeme die Streckungsklüfte von jüngeren NO.-Verwerfungen gestört sind. Solche Stellen sind bei km 0,605 und 3,668. In diesem Sinne ist auch eine Kluftstörung bei km 3,420 zu deuten, wo eine 25^0 — 30^0 (NO.) streichende Verwerfung (Streckungskluft!) von einer anderen 60^0 (NO.) streichenden Störungsfläche versetzt wird.

Als dritte und jüngste Gruppe von Verwerfungen ist ein Teil der zahlreichen NNO.- bzw. NO.-Verwerfungen des Wettersteingebirges anzusehen. Sie gehören zu einem System von ganz jungen Blattverschiebungen, welche bereits früher vom Verfasser (1910) im Kochel-Walchenseegebiet beschrieben und als „Diagonalbrüche“ bezeichnet wurden. Solche Diagonalbrüche wurden auch an anderen Stellen der Kalkalpen (BODEN 1925) bis hinüber in die Schweiz (ALB. HEIM 1905) beobachtet. Sie haben mit einem Teil der oben erwähnten Streckungsklüfte die NNO.- bzw. NO.-Richtung des Streichens gemeinsam, so daß man beide praktisch nicht auseinanderzuhalten vermag. Im Prinzip sind die Diagonalbrüche ebenfalls nichts anderes als Streckungsklüfte, die aber nicht durch den O.—W. gerichteten örtlichen Schub des Wettersteingebirges hervorgerufen wurden, sondern durch einen regional sich auswirkenden S.—N.-Druck, der sich in ausgedehnten Teilen der Kalkalpen bemerkbar machte, wie die oben angeführten Beispiele zeigen. Die Diagonalverwerfungen sind jünger als die Wettersteinüberschiebung und gehören zu den letzten wahrscheinlich im Diluvium stattgefundenen tektonischen Vorgängen der Alpen. Dafür spricht einerseits ihr überall nachweisbarer ungestörter Verlauf, andererseits aber der Umstand, daß sie sich ereigneten, als die Gebirgskämme und Täler bereits in ihrer heutigen Gestalt bestanden haben; denn durch sie wurden Gebirgskämme zerrissen und Täler verriegelt, wie von ALB. HEIM (1919, II. Bd., S. 369) im Säntisgebirge und vom Verfasser (1910 und 1926) im Kochel-Walchenseegebiet festgestellt wurde. Auch im Wettersteingebirge treten sie morphologisch deutlich hervor, wie später noch gezeigt werden soll.

Bezüglich des Einfallens der Verwerfungsflächen ist zu sagen, daß der größte Teil (90%) aller Verwerfungen senkrecht oder steil (bis höchstens 70^0) in die Tiefe setzt, und nur ein Zehntel geringere Neigung besitzt. Dazu ist zu bemerken, daß das Verflachen jeweils gleichmäßig nach verschiedenen Seiten erfolgt, ohne daß eine bestimmte Richtung bevorzugt wäre.

Bezüglich der Bewegungsrichtung der verworfenen Gebirgsschollen konnte festgestellt werden, daß die Verschiebung bei den Verwerfungen der beiden jüngeren tektonischen Phasen zweifellos wagrecht vor sich gegangen ist, daß es sich also bei diesen um Blattverschiebungen handelt. So zeigen 33 von 41 gemessenen Harnischen der NO.-Verwerfungen Rutschstreifen von wagrechter oder nur gering geneigter Lage,

5 zeigen ein mittleres Einfallen, 2 ein steiles und nur einmal konnte ein senkrecht Einfallen festgestellt werden. Bei den NW.-Verwerfungen sind von 10 gemessenen Harnischen die Streifen in 5 Fällen schwach geneigt, in einem Falle ist mittlere Neigung und in 4 Fällen steileres Einfallen festgestellt. Gegenüber den NO.-Verwerfungen deutet sich hier schon ein gewisser Unterschied an. Die NW.-Verwerfungen sind in der Hauptsache eine Folge der Wettersteinüberschiebung; sie sind auf die bewegte Überschiebungsmasse beschränkt und da bei der Überschiebung über das unebene basale Gebirge (Reliefüberschiebung nach O. AMPFERER!) die im Vorrücken befindlichen Schollen zeitweise unregelmäßige Bewegungen ausführten, sind steil oder senkrecht einfallende Rutschstreifen an Verwerfern leicht erklärlich. Dagegen sind die zu den Diagonalstörungen gehörenden NO.-Verwerfungen ohne Zweifel tiefer gehend, sie zerteilen nicht nur die Überschiebungsdecke, sondern auch das basale Gebirge, so daß beim Verschiebungsvorgang Differentialbewegungen seltener eintraten, wenn sie auch nicht ganz fehlen mögen.

Über die Sprungweite der Verwerfungen sind im Tunnel fast keine Anhaltspunkte zu gewinnen. Nur an einer einzigen Stelle bei km 3,467 bzw. 3,474 ließ sich mit einiger Sicherheit feststellen, daß die Sprungweite an einer NNO.-streichenden Blattverwerfung etwa 7 m beträgt. Ohne Zweifel kommen auch Sprungweiten weit größeren Ausmaßes vor, besonders bei den zu den Diagonalverwerfungen gehörenden Störungen, wie aus den beim Gatterl und Feldernjöchl auf der S.-Seite des Wettersteins durchstreichenden NO.-Verwerfungen zu ersehen ist, wo sich Sprungweiten bis zu 1 km errechnen lassen (siehe die Geologische Karte des Wettersteingebirges von O. M. REIS und F. W. PFAFF). Trotzdem darf angenommen werden, daß die Sprungweite jeder einzelnen Verwerfungsfläche im allgemeinen keinen allzu großen Betrag erreicht, daß aber durch die große Häufung von parallelen Verschiebungsflächen, die sich auf größere Bruch- und Trümmerzonen konzentrieren, doch ansehnliche Sprungweiten sich ergeben. Auf die Häufung von Verwerfern in mehr oder weniger breiten, aber dennoch begrenzten Zonen wurde vom Verfasser bereits früher bei der erwähnten Beschreibung der Kesselberg-Störungen (1910) hingewiesen, auch wurde sie von H. CLOOS (1928) aus dem Kristianiagebiet beschrieben.

2. Tiefgreifende Verwitterung in den Störungszonen. Besondere Beachtung verdient die durch tiefgreifende Verwitterung herbeigeführte Lehmurchsetzung der Verwerfungen, die auf beigegebener Karte mit roter Farbe gekennzeichnet ist. An zahlreichen Verwerfungen, Klüften und Trümmerzonen macht sich die tiefgreifende Einwirkung der Verwitterung in Gestalt eines gelbbraunen Verwitterungslehmes mit einem Stich ins Rote bemerkbar, welcher von millimeterdünnem Kluftbelag

bis zu meterstarker Kluftausfüllung die Verwerfungen durchsetzt. Die Trümmerzonen sind oftmals erfüllt von einem Gemenge aus Lehm und eckigen Gesteinsbruchstücken aller Größen, wie es Fig. 4 auf Tafel II zeigt. Ganz besonders macht sich die Einwirkung der Verwitterung in den höheren oberflächennahen Teilen des Gebirges bemerkbar. Es sei in diesem Zusammenhange auf den Firsteinbruch hingewiesen, der sich vor einigen Jahren in dem Zugangsstollen der Österreichischen Seil-schwebebahn zum Zugspitzplatt in einer lehmig verwitterten Trümmerzone ereignete, obwohl die lichte Weite des Stollens nur gering war. Die Wirkung der Verwitterung beschränkt sich aber nicht nur auf die höheren Teile des Zugspitzgrates, sondern greift, wie in einem klüftigen Kalkgebirge nicht anders zu erwarten ist, bis in große Tiefen hinab, wie aus folgenden Beispielen zu ersehen ist. So beträgt die senkrechte Gebirgsüberlagerung über lehmgefüllten Klüften bei km 1,650 etwa 170 m; bei km 2,600 etwa 205 m; bei km 2,920 etwa 270 m; bei km 3,620 etwa 260 m; bei km 3,800 (unter dem Zugspitzgipfel) 430 m und bei km 3,900 etwa 365 m.

Die starke Zertrümmerung des Gesteins in Verbindung mit der tiefgreifenden Einwirkung der Verwitterung gibt eine hinreichende Erklärung für die erstaunliche Tatsache, daß bisher nicht weniger als 32 % (rund ein Drittel!) des gesamten Zugspitztunnels wegen geringer Standfestigkeit des Gesteins einer Ausmauerung bedurften.

3. **Faltungen und örtliche Überschiebungen.** Gebirgsstörungen dieser Art sind nur in den infolge ihrer Gesteinsbeschaffenheit (Dünnschichtung mit tonigen Zwischenlagen) dazu geeigneten Muschelkalkschichten ausgebildet, während sie in dem spröden, nur zu Bruch geneigten Wetterstein-

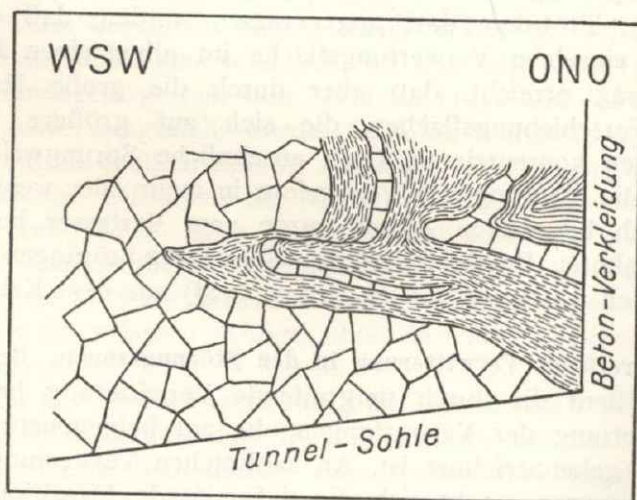


Abb. 5

Stauchfalte im Tunnel zwischen km 1,240 und 1,245.

kalk fehlen. Faltungen und kleine Überschiebungen finden sich an folgenden Stellen des Tunnels: Bei km 1,045 ist an der NW.-Ulme eine ausgeprägte Überschiebung von hellerem Muschelkalk auf dünngeschichtete dunklere Lagen aufgeschlossen. Die leicht gewellte Überschiebungsfläche fällt mit etwa 10^0 gegen O. ein. Im Liegenden sind die zu millimeterdünnen Bänkchen ausgewalzten Muschelkalkschichten zu kleinen spitz auslaufenden Falten umgestaltet. Bei km 1,050 ist eine schwach gegen NO. einfallende Überschiebung sichtbar, an welcher ebenfalls hellere dickbankige Kalke auf dunkle dünnsschichtige wellige Hornsteinkalke überschoben liegen. Die Überschiebungsfläche schneidet die Schichten in spitzem Winkel. Bei km 1,100 waren ebenfalls kleinere Überschiebungslappen in den Muschelkalken zu sehen. Zwischen km 1,240 und 1,245 ist an der NW.-Ulme eine prächtige liegende Stauchfalte von dunklen tonigen Muschelkalkschichten in hellerem sprödem und ungeschichtetem Kalk aufgeschlossen (siehe Abb. 5 auf S. 46). Zwischen km 1,260 und 1,264 liegen hellere klüftige Kalke auf dunklen tonigen dünnbankigen Schichten überschoben. Letztere zeigen: $\downarrow 15^0/55^0$ (NO.). Die Überschiebung schneidet die Schichten in spitzem Winkel und fällt mit etwa 30^0 gegen W. ein.

4. Rückschlüsse aus den Tunnel-Beobachtungen auf die allgemeine Tektonik des Wettersteingebirges. Es wurde absichtlich vermieden, auf beiliegender Karte die Störungslinien des Tunnels mit den an der Gebirgsoberfläche sichtbar austreichenden Verwerfungen zu verbinden, da die für die Untersuchungen zur Verfügung gestandene Zeit nicht ausreichte, um die nähere und weitere Umgebung des Tunnelgebietes genauer aufzunehmen. Dies muß einer Neubearbeitung der leider vergriffenen Geologischen Karte des Wettersteingebirges vorbehalten bleiben. Da aber eine solche wegen der Ungunst der Zeit vorerst zurückgestellt bleiben muß, soll auf einige Zusammenhänge kurz hingewiesen werden. So besteht wahrscheinlich eine Beziehung zwischen den im Tunnel bei km 2,300—2,900 auftretenden zahlreichen Trümmerzonen und einer auf der Oberfläche des Gebirges scharf hervortretenden Störungszone, welche vom Zugspitzplatt bis zur Riffelriß zu verfolgen ist. Sie beginnt am Platt SSO. vom Zugspitzgipfel und streicht in ungefährrer NNO.-Richtung durch die Südwand des vom Ostgipfel zu den Höllentalspitzen ziehenden Grates (ihr Verlauf ist durch das Umschwenken der Höhenschichtlinien¹⁾ deutlich gekennzeichnet), überquert den Grat bis hinab zur SW.-Ecke des Höllentalferners, streicht an der SO.-Flanke der großen Riffelwandspitze entlang bis zur tief eingeschnittenen Scharte zwischen Großer und Kleiner Riffelwandspitze und schließlich an der NW.-Flanke der Kleinen

¹⁾ Bei dieser Gelegenheit sei auf den großen Nutzen hingewiesen, welchen die auf photogrammetrischen Wege hergestellten Höhenschichtenkarten dem Geologen dadurch bieten, daß sie Einzelheiten in der Felsgestaltung aufweisen, welche den mit gewöhnlichen topographischen Methoden gewonnenen Höhenschichtenkarten fehlen.

Riffelwandspitze entlang bis zur Riffelreisse. Die NW.-Wand der Kleinen Riffelwandspitze bildet den östlichen Flügel der Verwerfung; der westliche Flügel ist, wie ein Blick auf das Bild Tafel III, Fig. 5 lehrt, teilweise herausgebrochen und zu Tal gestürzt. Die von der tiefen Scharte schräg westwärts herabziehende auffallende Rinne bezeichnet den heutigen Ausstrich der steil gegen W. einfallenden Blattverwerfungsfläche, auf welcher die Große Riffelwandspitze aufsitzt.

Die Aufschlüsse im Tunnel haben das Vorhandensein von zwei Hauptrichtungen von Verwerfungen gezeigt, welche zum großen Teile als Streckungsklüfte aufzufassen sind und als solche auf eine O.—W.-Bewegung des Wettersteingebirges mit Überschiebung im Westen hinweisen. Diese im Innern des Gebirges gewonnenen Ergebnisse stimmen mit den von K. LEUCHS (1930) veröffentlichten Erscheinungen überein, welche sich am Südrande des Gebirges am Kontakt mit der Nachbarscholle zeigten und ebenfalls mit Recht als beweisend für eine O.—W.-Bewegung des Wettersteingebirges bezeichnet werden. Daß es sich bei einem Teil der von LEUCHS am S.-Hauptkamm aufgenommenen NNO.-Störungen tatsächlich um Streckungsklüfte handelt, geht daraus hervor, daß an ihnen meistens die östlichen Flügel der Verwerfungen gegen SW. vorgestaffelt sind, während bei den NNO.-Verwerfungen der jüngsten tektonischen Phase (Diagonalstörungen) die östlichen Flügel eine Verschiebung gegen NO. erfahren haben, wie an den großen Blattverwerfungen am Gatterl und Feldernjöchl zu sehen ist.

5. Einfluß der Verwerfungen auf die Formgestaltung des Wettersteingebirges. Beim Betrachten der großartigen NW.-Flanke des Wettersteingebirges (siehe Taf. III) fallen dem Beschauer die gewaltigen Plattenhänge auf, mit welchen der Gebirgskamm gepanzert ist. Diese Plattenhänge sind aber keineswegs die Schichtflächen von steil einfallenden Wettersteinkalkbänken, sondern sie werden von den steil in die Tiefe setzenden gewaltigen Verwerfungsflächen gebildet, welche den NO.-Störungen angehören. An ihnen stoßen in spitzen Winkeln die Flächen der NNW.-Verwerfungen ab, welche letztere auf dem Bilde als tief beschattete NO.-Steilwände der Zugspitze, der Großen- und Kleinen Riffelwandspitze, der Hohen Riffel und der Riffelspitzen erscheinen. Durch das Ausbrechen der von den beiden verschieden gerichteten Verwerfungsflächen begrenzten Gesteinskeile wurden die ersteren bloßgelegt und bilden nun die erwähnten Plattenhänge. Die steilen Flanken der Felsfeiler im Riffelwandkamm sind also ausschließlich durch die großen Verwerfungen angelegt, welche das Wettersteingebirge durchpflügen, wie auch die Gliederung des Gratverlaufes auf ihre Rechnung zu setzen ist; denn die tief eingesenkten Scharten befinden sich an denjenigen Stellen, wo die Verwerfungen die Felsgrate überqueren, und sind durch die zerrüttete Beschaffenheit des Gesteins an diesen Stellen bedingt. Das eigenartige Vorstaffeln der Felsfeiler ist durch die Verschiebung der jeweils

O. gelegenen Schollen gegen NO. hervorgerufen und wurde durch das gleichzeitige oder spätere Herausbrechen von großen Gesteinskeilen nur noch stärker betont. Diese Ausbrüche lieferten das viele Bergsturzmaterial, das die tieferen Hänge und den Talgrund bedeckt. Auch der Bergsturz, welcher aus dem Bayerischen Schneekar (unter dem Gipfel der Zugspitze) kam und dessen Schuttanhäufung zur Bildung des Eibsees führte, hat seinen Ursprung in der Zerspaltung des Gipfelmassivs durch zahlreiche Verwerfungen, wie nicht nur aus der Häufung von Verwerfungen an dieser Stelle im Tunnel hervorgeht, sondern wie auch auf dem Gipfel der Zugspitze selbst und in den anschließenden Gratstücken zu sehen ist. Außer verschiedenen sich kreuzenden NW.- und NO.-Störungen sind besonders einige Trümmerzonen zu erwähnen, welche über die Gipfelpartie hinweg einerseits in NO.-Richtung in das Bayerische Schneekar, andererseits in SSW.-Richtung zum Schneeferner hinunter verlaufen. Ihr Vorhandensein hat in der Hauptsache zur Ablehnung des ursprünglich geplanten Standseilbahn-Tunnels zum Gipfel geführt.

Zusammenfassung.

Im I. Abschnitt wird eine kurze Darstellung des Schichtenbestandes und seines Aufbaues gegeben, soweit er bisher durch das Schrifttum bekannt geworden ist, wobei auch auf die gegensätzlichen Anschauungen über die Natur und Herkunft der Wettersteinüberschiebung hingewiesen wird. Der II. Abschnitt befaßt sich mit den durch den Bahnbau geschaffenen geologischen Aufschlüssen. Im Talabschnitt zwischen Haltestelle Risser-See und Kreuzeckbahnhof wurden in verschiedenen Gelände-einschnitten die Raibler Schichten, teilweise überlagert von eiszeitlicher Grundmoräne, aufgeschlossen. Bei Ober-Grainau tritt die Bahn in das Bergsturzgebiet ein, in welchem durch den Bahnbau späteiszeitlicher Bänderschlick aufgeschlossen wurde. In der Zahnradstrecke von Grainau bis zur Riffelriß ist ein kleiner Aufschluß in stark verfalteten Rhätschichten zu erwähnen, welche auf die Einwirkung der unweit oberhalb befindlichen Überschiebungsfläche hinweisen. Bei Haltestelle Riffelriß beginnt der Zugspitztunnel, welcher zunächst in den gut geschichteten, z. T. gestörten Muschelkalkschichten, dann in massig entwickeltem, jedoch von zahlreichen Trümmerzonen durchsetztem Wettersteinkalk bis zur Endstation Schneeferner-Haus emporführt.

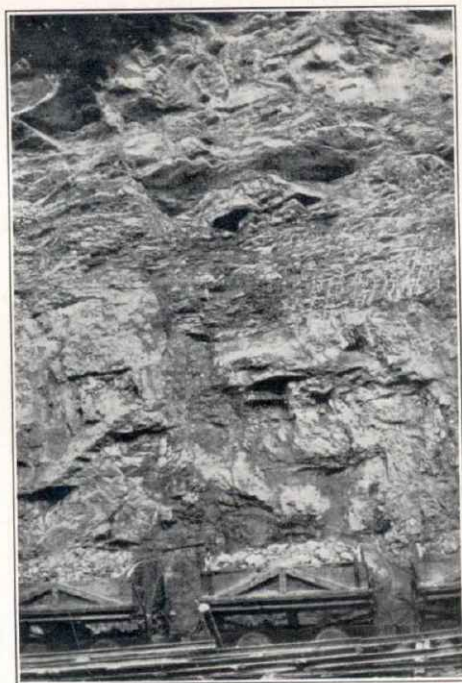
Im III. Abschnitt werden die verschiedenen Strecken druckhaften Gebirges, die Trümmerzonen, offenen Klüfte und die Wasserführung, die für die Bauausführung und den Bestand des Tunnels von Bedeutung waren, besprochen.

Der IV. Abschnitt behandelt die im Tunnel angetroffenen Gebirgsstörungen vom geologischen Gesichtspunkt aus. Die Störungen weisen auf drei tektonische Phasen hin, deren älteste eine frühe Faltung war,

auf welche die O.—W.-Verschiebung des Wettersteingebirges mit bemerkenswerten Streckungsklüften im Gefolge eintrat, während die jüngste tektonische Phase durch große, wahrscheinlich in der Diluvialzeit erfolgte, NO.-Störungen gekennzeichnet ist. Zum Schlusse wird auf die tiefgreifende Verwitterung und Zerrüttung des Gebirges, auf die Beziehungen der Tunnelaufschlüsse zu den obertags sichtbaren Verwerfungen und auf die Morphologie des Gebirges kurz eingegangen.

Schriftenverzeichnis.

- AMPFERER, O.: Geologische Beschreibung des Seefelder, Mieminger und südlichen Wettersteingebirges. — Jb. k. k. Geol. Reichsanst., 55, Wien 1905.
- Einige allgemeine Ergebnisse der Hochgebirgsaufnahme zwischen Achensee und Fernpaß. — Verh. k. k. Geol. Reichsanst., Wien 1905.
- Gedanken über die Tektonik des Wettersteingebirges. — Verh. k. k. Geol. Reichsanst., Wien 1912.
- Die Reliëfüberschiebung des Karwendelgebirges. — Jb. Geol. Bundesanst., 78, Wien 1928.
- Zur neuen Umgrenzung der Inntaldecke. — Jb. Geol. Bundesanst., 81, Wien 1931.
- BODEN, K.: Das Flyschgebiet zwischen Isar und Loisach. — Geogn. Jh., 38, München 1925.
- CLOOS H.: Der Mechanismus tiefvulkanischer Vorgänge, Braunschweig 1921.
- Bau und Bewegung der Gebirge in Nordamerika, Skandinavien und Mitteleuropa. — Fortschr. d. Geol. u. Palaeont., 7, Berlin 1928.
- FELS, E.: Der heutige Stand der Kenntnisse über die bayerischen Seen. — Mitt. Geogr. Ges., 9, S. 392, München 1914.
- HEIM, ALB.: Das Säntisgebirge. — Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, 1905.
- Geologie der Schweiz, Leipzig 1921.
- KNAUER, J.: Die tektonischen Störungslinien des Kesselbergs. — Mitt. Geogr. Ges., 5, München 1910.
- „Grundfragen alpiner Formenkunde“ — und die Entstehung des Walchenseebekkens. — Geol. Rundsch., 17, Berlin 1926.
- LEUCHS, K.: Der geologische Bau des Wettersteingebirges und seine Bedeutung für die Entwicklungsgeschichte der deutschen Kalkalpen. — Z. d. geol. Ges., 75, Berlin 1923.
- Der Bau der Südrandstörung des Wettersteingebirges. — Geol. Rundsch., 21, Berlin 1930.
- V. LOESCH, K. C.: Der Schollenbau im Wetterstein- und Mieminger Gebirge. — Jb. k. k. Geol. Reichsanst., 64, Wien 1914.
- MYLIUS, H.: Berge von scheinbar ortsfremder Herkunft in den bayerischen Alpen. — Mitt. Geogr. Ges., 9, München 1914.
- REIS, O. M. u. PFAFF, F. W.: Geologische Karte des Wettersteingebirges. 1:25 000. Mit Erläuterungen von O. M. REIS. — Geogn. Jh., 23, München 1910.
- RICHTER, M.: Die Struktur der nördlichen Kalkalpen zwischen Rhein und Inn. — N. J. Min., B.-Bd. 63, Abt. B., Stuttgart 1930.
- ROTHPLETZ, A.: Geologische Alpenforschungen II, München 1905.
- SCHLAGINTWEIT, O.: Die Mieminger-Wetterstein-Überschiebung. — Geol. Rundsch., 3, Berlin 1912.
- Zum Problem des Wettersteingebirges. — Verh. k. k. Geol. Reichsanst., Wien 1912.



Aufn. v. J. Knauer

Fig. 1

Aufschluß in den Raibler Kalken beim O.-Ausgang des Katzenstein-Tunnels.



Aufn. v. J. Knauer

Fig. 2

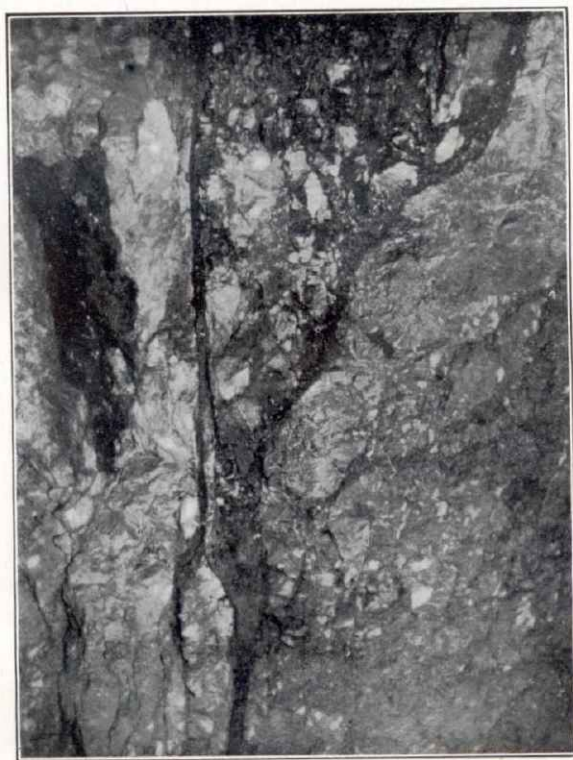
Überlagerung der Raibler Schichten durch Grundmoräne.



Aufn. v. J. Knauer

Fig. 3

Eisenbahneinschnitt im Bergsturz Schutt am Hinter-Bühl.



Aufn. v. J. Knauer

Fig. 4

Trümmerzone, welche sich gegen unten stark verengt und mit Gesteins-
trümmern (hell) und Kluftlehm (dunkel) erfüllt ist (Blitzlichtaufnahme).



Fig. 5

Aufn. v. B. Johannes (Beckert), Partenkirchen.

Blick vom Eibsee auf das Zugspitzmassiv mit eingezeichneter Trasse des Zugspitz-Tunnels (T.M. = Tunnelmund, F 0 = Fenster 0, F 1 = Fenster 1, F 3 = Fenster 3, F 4 = Fenster 4, Sch = Schneeferner-Haus).

Die Gebirgsstörungen

im

Zugspitz - Tunnel

1:5000.

Schichtenabstand 50m.

 Sandreißer und Ferner.

-  Verwerfungen
-  Verwerfungsclüfte (lehmgefüllt)
-  Trümmerzonen (rot=lehmgefüllt)
-  Einfallen der Verwerfungsflächen in der Richtung des Querstriches.



Über junge Bewegungen im Weidener Becken

Von

Adolf Wurm, Würzburg

Mit 1 Tafel

C. W. GÜMBEL sagt in seiner „Geognostische Beschreibung der fränkischen Alb“ S. 657 in bezug auf Erdbeben, die in historischer Zeit erfolgten: „Auffallend ist es, daß innerhalb der Region der alten Bruchspalten längs dem Urgebirgsrande im Osten verhältnismäßig so selten Erschütterungen bemerkt worden sind, viel weniger häufig, als an der Donaubruchspalte“. Wohl ist dieses Gebiet von benachbarten Erdbeben gelegentlich mit beeinflußt worden, aber als Hauptschütterzone ist es nicht in Funktion getreten. Das ist in der Tat auffallend, da diese Randzone in der Tertiärzeit zweifellos der Schauplatz von starken Bewegungen war.

Daß aber doch in sehr junger, allerdings vorhistorischer Zeit das Gebiet noch in Bewegung war, davon zeugen Beobachtungen, die ich in Schottergruben in der Umgebung von Weiden machen konnte. Die Schottergruben liegen 1—2 km nordwestlich der Stadt an der Straße nach dem Parkstein, bzw. Meerbodenreuth am Talrand der Schwein-Naab, bzw. Dürrschwein-Naab. Es sind das Schotterterrassen, die wohl der jungdiluvialen Zeit angehören, sie liegen nur wenige Meter über dem Talgrund der genannten Flüsse. Die Schotter und Sande sind hauptsächlich aus einer älteren tertiären Überdeckung, die weithin das Weidener Becken erfüllt, ausgespült und umgelagert.

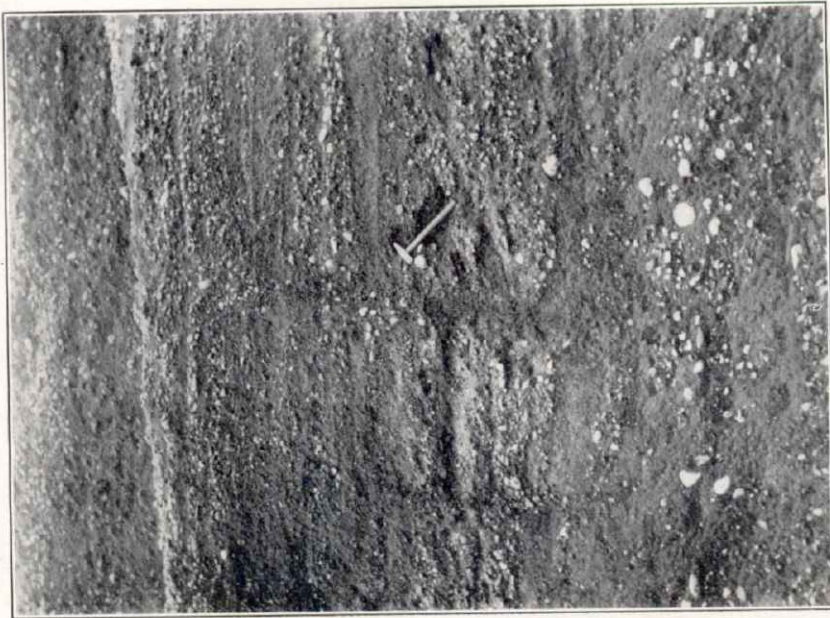
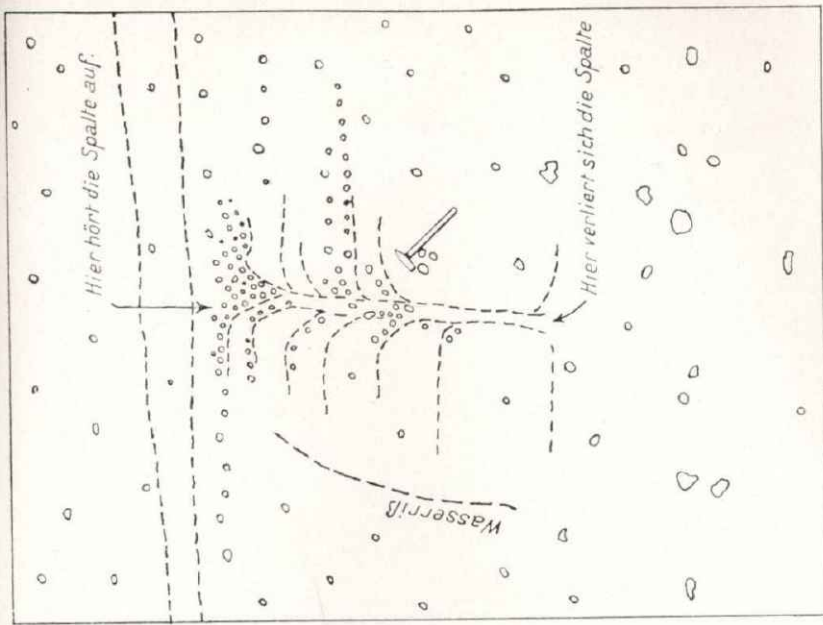
In der nördlichen Grube von Baumeister Weiß bei Punkt 400 der topographischen Karte Weiden-West 1:50000 und in der südlichsten von Baumeister Keller etwa am östlichen Kartenrand wurden in den Schottern typische Erdbebenspalten beobachtet, ähnlich wie sie W. SPITZ im jungdiluvialen Neckarschuttkegel bei Heidelberg beschrieben hat. In der Schotterwand der Grube Keller zeigt sich eine senkrecht herabziehende Zone, nach der die abwechselnden Lagen von Sand und Kies keilförmig herabgebogen sind (vgl. Tafel). Die Breite des Keiles ist oben ungefähr 25 cm. Es handelt sich hier zweifellos um klaffende Spalten, in welche die Schichten von beiden Seiten abgesackt sind. Die Spalte ist z. T. mit groben Geröllen erfüllt, die von oben her in die Spalte abgerutscht sind. Flache Geschiebe stehen hier vielfach hochkant. Das Streichen der Spalte ließ sich nicht genau bestimmen, vermutlich ist es Nordost-Südwest. Die Spaltenzone wird von Schottern überlagert, die keinerlei Störungen aufweisen und unbeeinflußt über die Störungszone hinweggehen. Daraus ergibt sich das Alter der Spalten. Sie haben sich während der Ablagerung der Schotter gebildet.

Diese Erdbebenspalten zeugen davon, daß in dieser Gegend die Bewegungen auch in sehr junger Zeit noch nicht zum Abschluß gelangt sind. Es mag in diesem Zusammenhang von Interesse sein, daß v. KÖNIGSWALD auf angebliche Sichtveränderungen im Weidener Becken hinweist. Nach Angabe der älteren Bewohner von Parkstein seien vom Parkstein aus von dem im alten Gebirge gelegenen Dorf Kirchendemenreuth früher nur Kirchturmspitze und Kirchendach sichtbar gewesen, jetzt läge fast die ganze Ortschaft im Sichtkreis des Parksteins.

Man könnte vielleicht zunächst versucht sein, diese Spaltenbildungen genetisch anders zu deuten als Frostspalten, die durch Eiskeile erweitert wurden. Beispiele für solche Frostspalten sind neuerdings von LOTZE und SOERGEL beschrieben worden. Das Charakteristische von solchen durch Eiskeile erzeugten Spalten ist nach LEFFINGWELL, daß die Schichten zu beiden Seiten der Spalte infolge der Volumenvermehrung beim Gefrieren sattelartig aufgebogen werden und diese Aufbiegung kann auch bei fossilen Frostspalten erhalten bleiben. (Vgl. LOTZE, S. 72.) Von einer solchen Aufbiegung der Spaltenränder ist bei den Weidener Schottern nichts zu erkennen. Auch war in dem 100 m langen Aufschluß der Schottergrube Keller nur eine einzige Spalte zu beobachten. Wenn wir annehmen, daß die Spalte durch Frostwirkung auf einer evtl. trocken liegenden Sandbank gebildet wurde, so ist es schwierig zu verstehen, warum nicht auch an benachbarten Stellen solche Spalten aufgerissen sind.

Schrifttum.

- SPITZ, W.: Über jungdiluviale Erdbebenspalten im Neckarschuttkegel bei Heidelberg. — Verhandl. d. naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg, N. F., 9, S. 632—640, Heidelberg 1908.
- v. KÖNIGSWALD, G. H. R.: Das Rotliegende der Weidener Bucht. — N. Jb. Min., B.-Bd. 61, Abt. B., S. 234 u. 235, Stuttgart 1929.
- LEFFINGWELL, ERNEST DE K.: The Canning River Region, Northern Alaska. — U.S. Geol. Surv., Prof. Paper, 109, Washington 1919.
- LOTZE, FR.: Über Schichtaufrichtungen an Klüften. — Z. deutsch. geol. Ges., 84, Heft 2, S. 67—77, Berlin 1932.
- SOERGEL, W.: Diluviale Frostspalten im Deckschichtenprofil von Ehringsdorf. — Fortschr. d. Geol. u. Paläont., 11, H. 36, S. 439—460, Berlin 1932.
-



Aufn. v. A. Wurm 1932

Erdbebenspalte,
Schottergrube Keller N.W. von Weiden.