

Die Baugrunduntersuchung für die neue Kalvarienbrücke in Graz, ihre Ergebnisse und prognostische Auswertung.

Von Prof. Dr. H. Mohr, Brunn, Deutsche Technische Hochschule.

(Mit Tafel IV.)

I. Einführung.

Von einem guten Baugrund muß verlangt werden:

1. möglichst hohe Tragfähigkeit,¹⁾
2. möglichst geringe Zusammendrückbarkeit, d. h. möglichst geringe Setzungsbeträge,²⁾
3. Indifferenz gegenüber dem Fundament³⁾ und
4. statische Unveränderlichkeit.⁴⁾

Diese Anforderungen sind nicht durch allgemein gültige Zahlen oder Definitionen beschreibbar, sondern sie sind insbesondere von der Art des Bauwerkes — ob leichtes (z. B. gewöhnliches Wohnhaus) oder schweres Ingenieurbauwerk (z. B. Wasserturm, Brücke, Großhandelshaus) — abhängig.

Wird ein Bauwerk geplant, so sollen die Fragen, welche auf die vorigen vier Punkte Bezug haben, und eine Reihe anderer, die sich hauptsächlich auf die Möglichkeit der wirtschaftlichen Durchführung beziehen (wie Tiefe der tragfähigen Bausohle, Gewinnungsfestigkeit, Standfestigkeit, Wasserzudrang und ähnliches) möglichst eindeutig vor Inangriffnahme der Projektverfassung beantwortet werden.

Dies kann geschehen: auf Grund örtlicher, an anderen Baulichkeiten gewonnener Erfahrungen, auf Grund einer Baugrundkarte, wie eine

1) Wir unterscheiden Tragfähigkeitsgrenze und zulässige Belastung; die letztere ist aus Sicherheitsgründen ein Bruchteil der ersteren. Sie wird am praktischsten in Tonnen pro $1 m^2$ angegeben und ist normiert.

So lassen die Wiener Bestimmungen vom Jahre 1904 bei festgelagertem grobem Kies und Schotter eine Belastung von $6 kg/cm^2$ (besser $60 t/m^2$) zu.

2) Unter „Setzen“ verstehen wir jene negative Bewegung der Bausohle, welche unter der Last des wachsenden Bauwerks vorsichgeht und mit erreichter Maximalbelastung der Hauptsache nach ihr Ende erreicht. Sie steht vorzüglich mit der Zusammendrückbarkeit des Untergrundes im Zusammenhange. Im allgemeinen gelten Beträge bis $25 mm$ (H. Lückemann) als belanglos; es können aber örtlich und nach Bauwerk bis $300 mm$ (Wilhelmshafen) als zulässig betrachtet werden.

3) Die Indifferenz ist hauptsächlich im chemischen Sinne zu verstehen (zum Beispiel: salziges Meerwasser greift kalk($CaCO_3$)-hältige Mörtel an), aber auch die organische Welt kommt als Gefahrenmoment in Betracht (Bohrmuscheln und andere in Kalkstein und Holz bohrende Tiere).

4) Z. B. ist zu denken an die Gefährdung des Fundaments durch Rutschungen, Erdbeben, wechselnden Wasserdruck, Frost, bergmännischen Abbau usw.

solche von H. Stremme und E. Moldenhauer⁵⁾ für Danzig entworfen und vom Verfasser in abgeänderter Form für Graz vorgeschlagen wurde,⁶⁾ oder auf Grund natürlicher und künstlicher Aufschlüsse, Bodenuntersuchungen und Belastungsproben.

Wie vom Verfasser versucht wurde, diese Aufgabe in einem speziellen Fall (Neubau der Kalvarienbrücke in Graz) zu lösen, sei im nachfolgenden zum Gegenstand einer kurzen Darstellung gemacht.

II. Allgemeines über die geologische Beschaffenheit des Baugrundes im Grazer Stadtgebiet.

Das vom Gemeinderat der Landeshauptstadt Graz aufgenommene Dollaranlehen hat sich gerade in den Zeiten ärgster wirtschaftlicher Stagnation wohltätig ausgewirkt. Das große Projekt eines zeitgerechten Aus- und Umbaues der Kanalisation wurde in Angriff genommen. Daneben ergänzte man das Bauprogramm durch die Erneuerung zweier Murbrücken, welche als ältere hölzerne Jochkonstruktionen den gesteigerten Anforderungen des modernen Verkehrs nicht mehr gewachsen waren. Besonders die zwei letzteren Projekte waren für den Verfasser Anlaß, sich mit der Frage der bausicheren Gründung und den hierfür notwendigen Vorarbeiten angelegentlich zu befassen.

Die Frage der Gründungssicherheit des Bauwerks scheint für Graz im allgemeinen unschwer zu beantworten. Einerseits steht für den größten Teil des Stadtgebietes festgelagerter grober Terrassenschotter von bedeutender Mächtigkeit, der selbst für schwere Ingenieurbauwerke eine verlässliche Gründungsbasis abgibt, zur Verfügung, andererseits war es ohne sonderliche Schwierigkeiten möglich, für die schloßbergnahen Murbrücken selbst die felsige Unterlage des Schotters zu erreichen und als Auflager heranzuziehen. Die Aussichten für den Ersatzbau der hölzernen Kalvarienbrücke in gewünschter Tiefe eine gründungssichere Basis anzutreffen, wären deshalb optimistischer beurteilt worden, wenn nicht die unvorhergesehenen Ergebnisse des Aushubes für die Widerlager der Schönaubrücke (an Stelle der alten hölzernen Schlachthausbrücke) zur Vorsicht gemahnt hätten. Dort war auf Grund der Erfahrungen, die man bei der benachbarten Eisenbahnbrücke (erbaut 1873, siehe Taf. IV, Fig. 2) gesammelt hatte, tragfähiger Murschotter bis in beträchtliche Tiefe anzunehmen. Während des Aushubes ergab sich aber, daß mindestens die oberen Partien des Schotters — etwa bis zum Wasserspiegel — ihrer lockeren Lagerung wegen mit großer Vorsicht zu beurteilen waren. Eine Nachprüfung des alten Ufergeländes — das uns heute nach durchgeführter Regulierung ein ganz verändertes Bild bietet — hat denn auch nachweisen lassen, daß das östliche Widerlager ungefähr mit einer ehemaligen Einmündungsstelle des Grazbaches zusammenfällt (siehe Fig. 2), der heute an einer viel nördlicher gelegenen Stelle der Mur zugeführt wird. Diese Situation läßt es verständlich

⁵⁾ Ingenieurgeologische Baugrundkarte der Stadt Danzig. Zeitschr. für praktische Geologie. 29. Jahrg. Halle 1921, S. 97.

⁶⁾ H. Mohr, Schaffet eine Baugrundkarte für Graz! „Grazer Tagespost“ Nr. 331 vom 1. Dezember 1925.

erscheinen, daß der Aushub besonders für das östliche Widerlager auf ganz junge, locker gelagerte Schotter traf, welche wenig sandige Füllmasse besaßen und eine nicht vorgesehene Verdichtung der Gründungssole durch ein Netz von Holzpfehlen und verschiedene andere UmDispositionen nötig machten.⁷⁾

Zu diesen Ungewisheiten des Untergrundes, welche längs des Murflusses durch dessen Regulierung bedingt sind, gesellen sich aber noch solche, welche in der geologischen Konfiguration begründet sind. Wenn wir Taf. IV, Fig. 2 betrachten, so sehen wir, daß aus den jugendlichen Aufschüttungsmassen des Jungtertiärs und Quartärs — wir fassen sie als „Lockergebirge“⁸⁾ zusammen — felsiger Untergrund an verschiedenen Punkten im Weichbilde der Stadt aufragt.

Solche Aufragungen von „Hartgebirge“⁸⁾ sind der Schloßberg, der Kalvarienberg, der selbst nur einen von der Mur abgetrennten Teil des Rainerkogels darstellt, und der Aufbruch im Stiftingtal. Diese Aufragungen sind recht verschieden hoch (Rainerkogel etwa 140 m, Stiftingtal — noch weiter östlich vom Schloßberg gelegen und auf Fig. 2 nicht mehr sichtbar — vielleicht nicht einmal 20 m über der Talsohle), und es ist recht wahrscheinlich, daß wir uns unter der Schotter- und Lehmverhüllung des Grazer Stadtgebietes noch mehrere solcher im Lockergebirge ertränkter Hügel zu denken haben, deren Gipfel die jetzige Oberfläche nicht mehr erreichen.

Anderseits fehlt es nicht an Anzeichen, daß sich die sichtbaren Aufragungen unter dem Murschotter vielfach mit einem sanfter geböschten Sockel fortsetzen, als der sichtbare Teil der Böschung annehmen läßt.

So haben die Fundierungsarbeiten für die Kepler (ehedem Ferdinandsbrücke, erbaut 1882) zuerst Schotter und Sand (bis 5·51 m) und dann Fels, nämlich Dolomit auf dem linken und blauen Tonschiefer auf dem rechten Ufer, in gleicher Tiefe ergeben (vgl. Fig. 3).

Bei der Haupt- oder Murbrücke (ehemals Franz-Karl-Brücke, erbaut 1890) stieß man in einer Tiefe von 6·57 m auf den verwitterten Tonschiefer. Die Albrechtsbrücke (erbaut 1883) endlich hat den Tonschiefer in 6·60 m erreicht.⁹⁾

⁷⁾ Diese locker gelagerten Schotter waren auch die Ursache, daß die Wasserhaltung in der Baugrube großen Schwierigkeiten begegnete. Es waren zuzeiten bis 70 PS für die Pumpen nötig, um den Wasserstand auf einem das Arbeiten ermöglichenden Niveau zu halten.

⁸⁾ Unter dem Begriff „Lockergebirge“ sind nach des Verfassers Definition jene Bodenarten zusammengefaßt, welche im allgemeinen über keine ausreichende und der Schwerkraft dauernd widerstrebende Kohäsion verfügen und demnach sich selbst und der Einwirkung der Erdschwere überlassen, einen für kohäsionslose Massen charakteristischen Böschungswinkel annehmen. Das „Hartgebirge“ wieder begreift in sich alle jene Felsarten, deren Kohäsion ausreichend genug ist, um eine einmal angenommene Form auf lange Zeit hinaus gegen die Wirkungen der Schwerkraft zu behaupten.

⁹⁾ Nach J. Kratter, Studien über Trinkwasser und Typhus mit Zugrundelegung der Trinkwasserverhältnisse von Graz. Graz 1886, S. 78, und

V. Hilber, Das Tertiärgebiet um Graz, Köflach und Gleisdorf. Jahrbuch der k. k. Geologischen Reichsanstalt in Wien, 43. Bd., 1893, S. 362.

Der westliche Steilabsturz des Schloßberges hat also unter dem Murschotterniveau keine unmittelbare Fortsetzung, sondern wird deutlich von einem sanfter geböschten, aber obertags nicht mehr erkennbaren Sockel abgelöst,

Südlich des Kalvarienberges ist dieser Sockel im Murbett ein gutes Stück flußabwärts, also gegen die Kalvarienbrücke zu, sichtbar; auch hier kontrastiert lebhaft der felsige Steilhang des Kalvarienberges mit der schwach geböschten und ganz seicht unter den Uferschottern gelegenen Sockelfläche.

Es ergeben sich also aus der Unbekanntheit des vortertiären, heute vom Lockergebirge verhüllten Reliefs, ferner aus der durch die Murregulierung stark veränderten Gestalt des Ufergeländes eine Reihe offener, den Baugrund betreffender Fragen, die eine direkte Beantwortung ohne künstlichen Eingriff nicht zulassen.

Eine gewissenhafte Planung setzt deshalb als unerläßlich voraus, daß der Inangriffnahme des Brückenentwurfes eine sorgfältige Voruntersuchung des Baugrundes voranzugehen habe.

Das Grazer Stadtbauamt hat in Würdigung obiger Momente, insbesondere aber unter dem Eindruck der Überraschungen, welche der Aushub bei der Schönaubrücke mit sich brachte, beschlossen, zur Untersuchung der Gründungsbasis der neuen Kalvarienbrücke eine Anzahl von Bohrungen abzustoßen.

Mit der Durchführung dieser Untersuchungsarbeiten wurde die Firma Brüder Redlich & Berger, Bauunternehmung, Zweigniederlassung Graz, betraut. Die Untersuchung der Bohrproben wurde vom Verfasser durchgeführt. Im nachfolgenden soll nun an der Hand des im April 1926 erstatteten Gutachtens über das Ergebnis der Sondierungsarbeiten und die aus diesen gefolgerten Schlüsse für die Gründungsbasis der Brücke berichtet werden.

III. Die geologische Situation des Neubaues.

Den vorausgeschickten Betrachtungen über den geologischen Aufbau des Stadtuntergrundes im allgemeinen seien noch einige Angaben, welche wesentlich auf die Kalvarienbrücke Bezug haben, angefügt. Auch bei dieser Murbrücke ist das regulierte Flußbett ersichtlich in Murschotter eingetieft. Über den Betrag der Eintiefung kann man an Ort und Stelle wegen der erheblichen Aufschüttung (Brückenrampen) kein Urteil gewinnen. Einige Schritte flußaufwärts erkennt man aber am rechten Ufer, daß der Betrag der Eintiefung ganz gering ist (2—3 m). Die Ufer werden demnach — von den Uferbauten abgesehen — durch alluviale Schotter (und Sande) der Mur gebildet. Wie tief diese unter die Flußsohle reichen, war nur beiläufig bekannt (Bohrungen und Erschließungsarbeiten des Grazer Wasserwerkes.)¹⁰⁾

10) So zeigt das Profil „W 4“ über den Wiesenbrunnen 4 (zum Lageplan der Wasserfassung am Schwimmschulka und der im Jahre 1907 durchgeführten Grabungen und Bohrungen gehörig) folgende Hauptergebnisse:

Der unter den Murschottern häufig anzutreffende „gelbe Lehm“ beginnt etwa bei Kote 344.00. Die ihn überlagernden Anschwemmungen der Mur scheinen aber in

Daß darunter in nicht allzugroßer Tiefe fester Fels zu erwarten ist, ergibt sich aus der Nähe felsiger Aufragungen des Untergrundes und felsiger Talhänge.

So beträgt die Entfernung des „Grünschiefers“ (sogenannter „Semriacher Schiefer“), der den Kalvarienberg aufbaut und sich ein gutes Stück im Murbett gegen S fortsetzt, von der Kalvarienbrücke zirka 720 m in nördlicher Richtung (siehe Fig. 2).

Bis zum Sockel der steilen Schieferberge hinter dem Karmeliterkloster messen wir zirka 660 m in ostnordöstlicher Richtung.

Und der Fuß des Schloßberges, bzw. die Keplerbrücke, welche auf Fels gegründet wurde, ist zirka 1300 m in südlicher, der felsige Abhang des Bauernkogels etwa 1500 m in westlicher Richtung entfernt.

Diese felsige Umrahmung macht es zur Gewißheit, daß die Brückenregion in nicht übermäßiger Tiefe eine aus festen chloritischen Schiefen oder kalkigen Tonschiefern bestehende Unterlage haben muß. Ziffermäßig läßt sich über deren Tiefe nur soviel aussagen, daß der Gesteinswechsel in Berücksichtigung der obertägigen Böschungsverhältnisse, spätestens in einer Tiefe von zirka 250 m zu erwarten ist. Es steht aber, wie bereits früher auseinandergesetzt wurde, der Annahme nichts im Wege, daß der felsige Unterbau örtlich selbst bis nahe zur Tagesoberfläche reicht.

IV. Die Ergebnisse der Bohrungen.

(Siehe das Gesamtprofil.)

Als Ort der Bohrsonden wurde die Fläche der Widerlager an den beiden Ufern festgesetzt und zwei Sonden am linken (Nr. 5 und 15) und zwei (Nr. 1 und Nr. 11) am rechten Ufer angesetzt.¹¹⁾

Die Bohrungen waren ausreichend dimensioniert (160—120 mm) und erlaubten eine zureichende Beurteilung des Bohrgutes.

Die Ergebnisse aller vier Sonden stimmen in der Hauptsache überein.

I. Künstliche Aufschüttung. Da sämtliche vier Bohrsonden in den künstlich angeschütteten Böschungen der regulierten Mur angesetzt sind, so durchbohren sie zu oberst eine mehr oder weniger mächtige Lage von Anschüttungsmaterial. Da dieses größtenteils aus Murschotter besteht, so ist es schwer, eine genaue Grenze zwischen der Anschüttung und dem gewachsenen Murschotter anzugeben. Wahrscheinlich reicht der künstliche Auftrag fast bis zur jetzigen Bettsohle (da bei der Regulierung das Flußbett verengt wurde), d. h. etwa bis Kote 348·00.

dem Profil wenig horizontbeständig zu sein, nur untergeordnet aus dem normalen Murschotter und mehr aus feinsandigen und schlammigen Ablagerungen zu bestehen. Der gelbe Lehm unter den Murablagerungen reicht im Bohrloch IV des Profils bis Kote 339·13. Darunter folgt ein vielfacher Wechsel von sandigen Tegeln, Lehmen usw., und diese Schichten wurden auf 11 m bis Kote 328·03 verfolgt. Sie sind ersichtlich mit den vermutlich sarmatischen Ablagerungen der Sondierungen bei der Kalvarienbrücke zu parallelisieren. Die in den neuen Sonden ermittelte Unterkante des Murschotters stimmt mit den älteren Ergebnissen (Beginn des gelbbraunen Lehmes) auffällig gut überein.

¹¹⁾ Die Bohrungen sind im Übersichtsprofil in eine Ebene gelegt worden. Dadurch scheinen sie knapp nebeneinander zu liegen, was nicht zutrifft. In Wahrheit lag Sonde Nr. 1 und Nr. 5 nördlich und Sonde Nr. 11 und Nr. 15 südlich der damals noch bestehenden hölzernen Kalvarienbrücke.

Die künstliche Aufschüttung ist wasserdurchlässig, enthält größere Murgeschiebe (kopfgroß) und Bruchsteine und ist deshalb als schweres Hackgebirge zu klassifizieren.¹²⁾

II. Murschotter und Sand, gewachsen. Ohne scharfe Grenze gegen die Überdeckung ist in allen vier Bohrsonden der Murschotter in einer beiläufigen Mächtigkeit von $3\frac{1}{2} m$ durchörtert worden. Er reicht am Ost- wie am Westufer zirka bis Kote 344-50. Der Schotter hat die normale Zusammensetzung der jüngeren Murablagerungen (arm an Kalkgeschieben, viele kristalline Schiefer, besonders Gneis, Hornblendeschiefer, Gesteine aus der Grauwackenzone) und nimmt gegen die Basis zwischen den meist unterfaustgroßen Geschieben viel Sand auf, was seine Lagerungsdichte erhöht.

Der Murschotter ist als leichteres Hackgebirge zu bezeichnen und ist sehr wasserdurchlässig.

III. Zone der bunten Lehme und Letten. Unter dem Murschotter liegt mit scharfer Grenze ein brauner, sandiger Lehm. Dieser geht nach unten in bräunliche, gelbliche und grünliche Letten über, welche in der Regel mehr oder weniger kalkig sind (Mergeltonen). In der oberen Hälfte dieser Zone sind mehrfach kalkige und sandige kon-

¹²⁾ Der Verfasser gliedert in Anlehnung an Ferd. Hoffmann und J. Stiny das Gebirge nach seiner Gewinnungsfestigkeit oder Lösbarkeit in folgende Kategorien:

Kategorie	Art der Gewinnungsmittel	Bezeichnung	Beispiele
I	Schaufel und Spaten	Stichgebirge	Ackerkrume, Kies, Torf
II	a) Breithaue..... b) Spitzhaue.....	leichtes } Hackgebirge schweres }	{ Löß, lehmige Kiese, Gehängeschutt, Blockschutt, Geschiebelehme, „Opok“
III	Brechstange, eventuell Keil und Schlögel (meist daneben Spitzhacke)	Brechgebirge	Schiefertone, die meisten Phyllite, Verwitterungszonen kristalliner Schiefer
IV	Brechwerkzeug mit Sprengmittel als Nachhilfe	Brech- und Schußgebirge	Jüngere Kalke und Sandsteine, Verwitterungszonen fester Eruptivgesteine
V	a) Stahlbohrer und wenig brisante Sprengmittel..... b) Diamantkronenbohrer und hochbrisante Sprengmittel	leichtes } Schußgebirge schweres }	{ Ältere Kalksteine, Marmore, feste Sandsteine, die meisten Gneise, Granite, { Augitgesteine, Hornblendefelse

kretonäre Bildungen gefunden worden, welche den Bohrprofilen nach bis zu einem halben Meter Mächtigkeit erreichen. Der Vergleich der Horizonte, in welchen diese Verhärtungen angetroffen wurden, zeigt jedoch, daß sie nicht niveaubeständig sind (vgl. Br. 1 und 11), und auch die vom Bohrmeißel zerkleinerten Konkretionen deuten darauf hin, daß es sich teilweise um ganz unregelmäßig gestaltete Mergelkonkretionen, teilweise um verhärtete, kalkig gebundene Sandplatten handelt.

Diese vorwiegend tonig-mergelige Zone reicht etwa bis Kote 334·50.

Im Durchschnitt ist dieses Gebirge im bergfeuchten Zustand als schweres Hackgebirge zu klassifizieren. Gegen Beseplung geschützt können die Letten dieser Zone als wasserundurchlässig gelten; doch zeigt der praktische Versuch, daß alle tonigen Gesteine dieses Horizontes in Wasser — vielleicht infolge des reichen Gehalts an glimmerigen Mineralien und Sand — unter voluminösem Aufblättern zum flockigen Zerfall neigen, bei Gegenwart von Wasser im Überschuß demnach auf keinen Fall ihre Konsistenz bewahren.

IV. Zone der Glimmersande. Aus dem Tonhorizont entwickelt sich durch Wechsellagerung eine etwa 3 m mächtige Zone sehr feiner, lichtgrauer, außerordentlich glimmerreicher Sande. Sie reichen zirka von Kote 334·50 bis 331·50, enthalten in den oberen Partien lichtgraugrüne Mergeltone als Einlagerungen und nehmen gegen unten Kies und auch Schotter auf. Wegen des feinen Korns des Glimmerreichtums und Tongehalts dürften diese Sande das Wasser — vor Beseplung geschützt — nur in geringem Grade durchlassen. In wassergesättigtem Zustand dürften sie den Charakter von Schwimmsanden annehmen. Bergfeucht werden sie leicht zu gewinnen und in die Kategorie des Stich- bis leichten Hackgebirges zu stellen sein.

V. Zone der tieferen Quarzschotter. In drei Bohrsonden wurde unter dem Sandhorizont eine Schotterzone angefahren. Ihre Oberfläche liegt etwa bei Kote 331·50. Die Schotter bestehen fast ausschließlich aus Quarzgeschieben, denen nur ausnahmsweise ein härteres Kalkstein-, ein Hornblendegneis- oder ein anderes Schiefergerölle beigemischt ist. Die Gerölle erreichen meist nur Taubeneigröße. Im Bohrloch 1 wurde die ganze Mächtigkeit des Schotters durchbohrt (bis Kote 327·50) und unter demselben ein sandiger, sich seifig anführender, berggrüner Letten angetroffen, der noch auf 1·55 m verfolgt wurde.

Der Quarzschotter ist sicher gut wasserdurchlässig und wahrscheinlich auch wasserführend (worüber jedoch nichts Näheres in Erfahrung gebracht werden konnte). Hinsichtlich der Lösbarkeit werden wir den Schotterhorizont in das leichte Hackgebirge einzureihen haben.

Anhang. Alter der durchbohrten Schichten. Der Murschotter ist wahrscheinlich zur Gänze alluvial, die darunter folgenden Lehme, Mergeltone, Sande und Schotter zeigten sich gänzlich fossilifer,¹³⁾ sind aber wegen

¹³⁾ Auch die Schlammproben der tonigen Gesteine hatten ein vollständig negatives Ergebnis.

ihrer Tiefenlage, ihres auffälligen Kalkreichtums und der nahen Übereinstimmung mit ähnlichen Schichten der Bucht von Thal jenseits des Plawutschuges der Hauptsache nach wohl als sarmatisch (obermiozän) anzusprechen. Es ist aber nicht sicher, ob der oberste braune Lehm, namentlich der Sonden Nr. 5 und 15, nicht noch eine altquartäre Bildung darstellt.

Da die Altersfrage der Schichten für die technischen Folgerungen ohne Belang ist, soll auf diese Fragen hier nicht weiter eingegangen werden.

V. Beurteilung des Baugrundes.

Hinsichtlich Tragfähigkeit: Wir ziehen folgende Fälle in Betracht:

a) Gründung auf Murschotter; hohe Lage der Gründungssohle. Bei entsprechender Mächtigkeit und Tiefe würde dieser Horizont eine vorzügliche Gründungsbasis abgeben. Da aber seine Mächtigkeit nur etwas über 3 m erreicht, kann er als tragende Unterlage nur dann in Betracht kommen, wenn die Gründungsbasis etwa in der Höhe der Flußsohle (= Kote 347·42) angenommen wird. Weitere Voraussetzungen: ausschließlich vertikale Pressungen (da wassergetränkte und daher zu seitlichen Verschiebungen neigende Lehmoberfläche nahe); vollständige seitlich vertikale Abdichtung der Fundamentunterlage gegenüber dem Grundwasser bis auf 2 m unter der Unterkante des Murschotters. Dadurch soll vermieden werden, daß die vom Murwasserstand abhängigen Schwankungen des Grundwasserspiegels den feinen Sand, welcher in einer Tiefe von beiläufig Kote 344·5 bis 345·0 die Zwischenräume des groben Schotters ausfüllt, in Bewegung bringen, eventuell ausschlämmen und dadurch eine Setzung des Murschotters hervorrufen könnten. Zulässige Pressung bis 45 t pro 1 m².¹⁴⁾ Bei Wasserauftrieb aus der Bau-sohle kein Pumpen in der Baugrube, nur außerhalb deren Bereich (seitlicher Pumpensumpf). Normale Gründung.

b) Gründungsbasis etwa bis¹⁵⁾ Kote 346·50 (d. h. noch im Murschotter). Ausschließlich vertikale Pressungen. Vollständige seitliche Abdichtung der Fundamentunterlage gegen Besspülung. Tieferes Hinabschlagen der Spundwand. Kein Pumpen in der Baugrube, falls kontinuierlicher Wasserzudrang vorhanden ist, nur außerhalb derselben.

Zulässige Pressung geringer als im Fall a (etwa 35 bis 40 t pro 1 m²). Normale Gründung.

c) Gründungsbasis in der Lehm- und Lettenzone, etwa bis Kote 343·00.

Ein solches Unternehmen wäre nur bei künstlicher Gründung durchführbar; ohne eine solche müßte es als zu gewagt bezeichnet und davon abgeraten werden. Die großen Schwierigkeiten ergeben sich aus

¹⁴⁾ Siehe auch Deutsche Bauzeitung, Jahrgang 1874, S. 497.

¹⁵⁾ Immer von oben gerechnet.

der Unmöglichkeit, die Baugrube dauernd unterhalb des Murschotters — der reichlich Wasser führen wird — trocken zu halten. Die in den Sonden angetroffenen Tone neigen bei Gegenwart von Wasser im Überschuß stark zu fast stürmischer Wasseraufnahme und zum Zerfall. Die Folge wäre starke Nachgiebigkeit der Bausohle und Setzungsbeträge, die sich in keiner Weise vorausbestimmen lassen.

Andere Momente, welche dem Gefertigten als berücksichtigungswürdig erscheinen, sind die folgenden:

Hinsichtlich Bausohlenverdichtung: Sollte erwogen werden, die Tragfähigkeit des Bodens durch Verdichtung zu erhöhen, so sei hier vom gefertigten Gutachter neuerdings als ein Gebot der Vorsicht empfohlen, Ort und Art der Verdichtung von der Annahme abhängig zu machen, daß die Eintiefung der Mur — mindestens oberhalb des zu einer Sohlschwelle umgestalteten Augartenwehres — noch nicht zum Stillstand gekommen sein dürfte. Von dieser Annahme ausgehend, wird es notwendig sein, mit den Köpfen des allenfalls eingerammten Holzpfählnetzes entsprechend tief (unter Niederwasser, noch besser unter Mursohle) hinunterzugehen. Vorteilhafter wäre wohl überhaupt, von Holzpfählen abzusehen.

Bei der Verwendung von Pfählen ist folgendes zu beachten:

Die unter dem Murschotter liegende Letten- und Mergelzone ist feucht und wahrscheinlich erheblich elastisch. Die zu rammenden Pfähle werden sich deshalb voraussichtlich nach einiger Zeit festlaufen und nach einer entsprechenden Rastperiode (über Nacht?) wieder tieferschlagen lassen.

Dieses vermutete zäh-plastische Verhalten der sarmatischen Schichten läßt es ferner nicht ganz sicher erscheinen, ob nach erreichter Maximalbelastung der Fundamentsohle auch der Setzungsbetrag sein Maximum erreicht hat. Es ist recht gut denkbar, daß infolge des langsamen Reagierens der tonigen Massen auf den Belastungsdruck die Setzungserscheinungen noch nach erreichter Maximalbelastung fort-dauern, vorausgesetzt natürlich, daß entsprechend tief gerammte Pfähle einem Nachsitzen des Bauwerks nicht im Wege sind.

Aus den Bohrerergebnissen ist nicht mit Sicherheit zu entnehmen, ob die in verschiedenen Niveaus angetroffenen kalkigen, sandsteinartigen Verhärtungen homogene dickere Platten bilden oder nur lose Konkretionen, welche durch unverfestigtes Material voneinander geschieden sind. In ersterem Falle würde wahrscheinlich eine Dicke von 15 cm genügen, um den Pilotenschuh nicht mehr durchdringen zu lassen. Die in den Sonden konstatierten Mächtigkeiten der Verhärtungszonen (Sonde 1: 0,58 m, 0,44 m; S. 5: 0,10 m; S. 11: 0,32 m, 0,18 m) würden es möglich erscheinen lassen, daß die Pfähle örtlich durch solche Verhärtungen am Vordringen gehindert werden. Ganz allgemein ist dies gewiß nicht zu befürchten, weil diese konkretionären Lagen nicht überall angetroffen wurden (sie fehlen z. B. in Sonde 15), weil sie in ihrer Mächtigkeit ganz unbeständig sind und weil sie selbst in benachbarten Bohrlöchern in verschiedenen Niveaus angetroffen wurden.

Hinsichtlich Wasserführung und Wasserhaltung ist folgendes zu sagen:

Der Murschotter wird infolge seines großen Porenvolumens und der Nähe des Flusses sehr reichlich Wasser führen; es ist diesbezüglich Entsprechendes vorzukehren und insbesondere für die Schaffung einer entsprechend dichten Spundwand, die noch hinreichend tief in den Lehm einzutreiben ist, Sorge zu tragen.

Aus bereits erörterten Gründen wird zur Schonung des Baugrundes der Pumpensumpf außerhalb der engeren Bausohle — vielleicht unmittelbar nördlich und südlich anschließend — angeordnet. Bei entsprechend dichter Spundwand und Niedertreiben der Wände bis in den tieferen Lehm wird der Wasserzudrang minimal sein und keinerlei Schwierigkeiten verursachen.

Die feinsandigen Einlagerungen der tieferen Schichten führen jedenfalls nur unbedeutende Mengen von Wasser oder gar keines.

Reichlichere Wassermengen dürften erst wieder in dem unteren (sarmatischen) Schotterhorizont anzutreffen sein, der aber bei seiner Tiefenlage (über 16 m unter der Flußbettsohle) auch von Pfählen kaum mehr erreicht werden dürfte.

Auf diese Verhältnisse wird hier Bezug genommen, weil sie unter Umständen eine gewisse Bedeutung gewinnen können. Wenn nämlich eine größere Anzahl von Bohrungen abgestoßen wird oder Pfähle eingerammt werden, so kann Wasser aus tieferen Horizonten, sofern es unter Druck steht, in höhere Horizonte gelangen und die dazwischen gelegenen Tonschichten in einer Weise auflockern bzw. zum Quellen bringen, daß sich daraus bei Belastung unvorhergesehene Setzungserscheinungen ableiten ließen.

Daß die Fundamentunterlage unbedingt und ausgiebig gegen Bepülung geschützt werden muß, ist bereits betont worden.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß vom Standpunkte der Bodensicherheit aus eine ziemlich seichte Gründung im Murschotter große Vorteile bietet, sofern nur lotrecht wirkende Pressungen in Frage kommen und Sicherheit gegen Beunruhigung der Gründungsbasis durch heftige Grundwasserschwankungen oder direkte Bepülungen geboten werden kann. Was die Indifferenz des Baugrundes gegenüber dem Fundament anlangt, so ist diesbezüglich ein Anlaß zu irgendwelchen Bedenken nicht vorhanden.

VI. Anhang.

a) Einiges über die Eintiefung der Mur und deren bautechnische Wirkungen.

Da der Gedanke nahelag, den in den tieferen Teilen für größere Belastungsdrucke unzureichenden Untergrund bei der Kalvarienbrücke durch ein Pfahlnetz tragfähiger zu gestalten, fand der Verfasser Anlaß, auf die Gefahren der Mureintiefung hinzuweisen.

Ob eine solche noch wirksam ist und auch künftighin nicht mehr wirksam werden kann, ist freilich eine schwierige und kaum ohne langjährige Beobachtungen entscheidbare Frage. Gegenwärtig sind namhafte

Fachmänner der Meinung, daß die Mur bei Graz seit zehn Jahren keine nennenswerte Vergrößerung ihres Tiefenschurfes zeige und daher ihr Gefällsprofil als stabil betrachtet werden könne. Dieser Annahme gegenüber ist wohl das Bedenken am Platze, ob denn ein Zeitraum von zehn Jahren genügt, um in dieser Hinsicht vollkommene Beruhigung zu schaffen. Der Verfasser ist der Meinung, daß hiebei noch einige Zurückhaltung am Platze ist.

Die Mur ist ein Gebirgsfluß und als solcher ganz außerordentlichen Schwankungen der Wasserführung ausgesetzt. Nach Hofrat Ing. Reitz, Graz, führt die Mur bei

niedrigstem Niederwasser (Winter 1908/09).....	25·3 m ³ /sek
mittlerem Niederwasser.....	123 m ³ /sek
mittlerem Hochwasser.....	625 m ³ /sek
und höchstem (bisher beobachtetem) Hochwasser..	1620 m ³ /sek.

Da die Mur durch die Regulierung heute in ihrem Bette festgehalten wird, muß sich bei steigendem Wasserstand eine oft vielfach größere Wassermenge durch das gleiche Profil zwängen. Die Folge ist eine erheblich größere Abflußgeschwindigkeit. Dieser Umstand erhöht zweifellos die Schleppkraft des Wassers und wirkt im gleichen Sinne wie die Zunahme der Dichte, welche gerade bei Hochwasser durch die reichliche Beladung mit Sinkstoffen eine Erhöhung erfahren muß. Es unterliegt deshalb gar keinem Zweifel, daß die Mur bei Hochwasser erodiert.

Ob diese erosive Wirkung im Verlaufe des Jahres ein Übergewicht ergibt, hängt ganz vom Verhältnis der Hochwassertage zu der Zahl der Mittel- und Niederwasserstände ab.

Nun müssen wir ferner beachten, daß der Grobschutttransport durch die immer zahlreicher werdenden Wehre stark behindert wird.¹⁶⁾ Oberhalb des Stauwerkes entwickelt sich eine Strecke geringeren Gefalles, also geringerer Schleppkraft, unterhalb des Stauwerkes verfügt das Wasser über ein größeres Gefälle, über eine größere lebendige Kraft und daher über Erosionstendenz.

In einem Flußabschnitt zwischen zwei Wehren wird deshalb — solange die Flußbettsohle ein Gefälle besitzt — dauernd das Streben vorhanden sein, die Sinkstoffe vom Fuße des oberen Wehres gegen das untere zu verlagern, oder mit anderen Worten: das größte Gefälle gegen den oberen Aufhängepunkt der Gefällskurve zu verschieben.

Die Stadt Graz befindet sich zwischen zwei derartigen Aufhängepunkten: dem Lebringer unterhalb und dem Weinzödlwehr oberhalb der Stadt.

Die aus dem sogenannten Augartenwehr durch Umbau hervorgegangene Sohlschwelle — zwischen Radetzky- und Schönaubrücke —

¹⁶⁾ Oberbaurat Franz Ritter v. Hochenburger (Darstellung der in der Periode 1874—1891 durchgeführten Arbeiten der Murregulierung in Steiermark. Wien 1894, S. 7) schreibt: „Die Geschiebebewegung in der oberen Strecke der Mur bis Graz ist keine bedeutende und hält sich innerhalb mäßiger Grenzen.“ . . . „Diese Tatsache findet auch darin ihre Bestätigung, daß bei den Überfallwehren in Unzmarkt, Judenburg, Leoben und bei der Weinzettelbrücke oberhalb Graz größere Überstürze von Geschiebemassen und übermäßig ausgedehnte Ablagerungen derselben seit einer langen Reihe von Jahren nicht wahrgenommen wurden.“

wäre als — dazwischen gelegener — dritter Fixpunkt zu werten, wenn seine Oberkante als stabil angenommen werden könnte; sie hätte die Aufgabe, oberhalb der Sohlschwelle, also in der inneren Stadt, der Eintiefung eine Schranke zu setzen.

Durch die Auffassung bzw. den mit einer Erniedrigung verbundenen Umbau dieses Wehres hat sich der Ausgleich des Gefälles, d. h. das Nachtiefen der Sohle, nach dem Urteile der Fachmänner flußaufwärts fortgesetzt, soll jedoch nunmehr bereits zum Stillstande gekommen sein.¹⁷⁾

Es ist aber nicht ausgeschlossen, der Verfasser hält es sogar für sehr wahrscheinlich, daß der Tiefenschurf fort dauert, nur weitaus langsamer, da sich verzögernde Momente fühlbar machen. Als solche Momente können in Betracht kommen: die Trümmer einer alten Wehranlage nahe dem Ursulinenplatz zwischen Haupt- und Keplerbrücke,¹⁸⁾ die durch mächtige Dolomitblöcke sich ankündigende Nähe des Schloßbergfelsens bei der Einmündung des Werkskanals unterhalb der Keplerbrücke, der felsige Sockel des Kalvarienberges, der etwa die Hälfte des Murbettes einnimmt, die allgemeine Verringerung der Wassermenge im Murbette, verursacht durch vollständigere Ableitung der ausnutzbaren Wassermenge, d. h. Verbesserung der Weinzödlwehranlage.

Jedenfalls besteht große Wahrscheinlichkeit, daß die Schloßbergschwelle zwischen Haupt- und Keplerbrücke bald dem Tiefenschurf gegen die Keplerbrücke praktisch ein Ziel setzen wird. Unterhalb dieser natürlichen Schwelle ist aber nach vollständiger Beseitigung der künstlichen Flußhindernisse kein Grund ersichtlich, der eine weitere Eintiefung mit Erfolg aufzuhalten imstande wäre.

Der überraschend starke Tiefenschurf der Mur ist eine notwendige Folge ihrer Laufregelung, das heißt der Verkürzung ihres Laufes und der Einengung ihres Bettes.

Die Regulierung war Mitte der neunziger Jahre beendet. Ihre Wirkung war für die Stadtsanierung eine außerordentlich segensreiche. Eine Bedrohung des Stadtgebietes durch Hochwasser war nun völlig ausgeschlossen. Die Kanäle konnten das entsprechende Gefälle erhalten, so daß nunmehr die Abwässer eine rasche Abfuhr aus dem Stadtgebiete erfahren können.

¹⁷⁾ Gegenwärtig — Oktober 1926 — nimmt man am Augartenwehr einen recht erheblichen Unterschied in den Wassergeschwindigkeiten ober- und unterhalb des Wehres wahr. Die Flußsohle ist also nicht ausgeglichen und die Sohlschwelle als Ausgleichshindernis besonders bei niedrigen Wasserständen wirksam.

¹⁸⁾ Nach einer freundlichen Mitteilung des Herrn Prof. Dr. H. Pirchegger — wofür der Verfasser auch hier seinen ganz besonderen Dank zum Ausdruck bringen möchte — könnte es sich dabei um einen Wehrbau handeln, dessen erste Anlage auf ein Schwellwerk der Mur außerhalb des Sacktores (inneres?) aus dem 16. Jahrhundert zurückgeht. Im Jahre 1548 wurde nämlich Wenzel v. Ponnischitz damit betraut, eine Pumpanlage zu bauen, die Murwasser auf den Schloßberg drücken sollte. (Jos. Wastler: Geschichte der Befestigungsbauten des Schloßberges und der Stadt Grätz im 16. und 17. Jahrhundert. Mitteilungen der Zentralkommission. N. F. 13 [1887], S. 4 des Sonderdruckes.) Man sieht auch auf dem der Arbeit beigegebenen Festungsplan vom Jahre 1657 ein linksufriges Werksgerinne eingezeichnet, das sich in der Gegend der heutigen Schloßbergbahn vom Flußbette abspaltet und vor der alten Murbrücke, mit dem Flusse wieder vereinigt.

Andererseits aber mußten auch manche Nachteile in Kauf genommen werden. Der mit überraschender Schnelligkeit sich eintiefenden Mur folgte der Grundwasserspiegel; viele Hausbrunnen im Weichbilde der Stadt verloren ihr Wasser und mußten entsprechend nachgetieft werden.¹⁹⁾ Auch die Grazer Wasserversorgungsgesellschaft, der damals die Wasserversorgung der Stadt überlassen war, geriet in Verlegenheit, da sie sich mit ihrer Pumpstation zu nahe der Mur gesetzt hatte (ein wenig oberhalb der Keplerbrücke, linkes Ufer) und das Grundwasser von der Bergseite her wegen des beschränkten Infiltrationsgebietes nur ganz unzureichend gespeist werden kann. Erst die Verlegung der Brunnen in das ausgedehntere und reichlicher gespeiste Grundwasserbecken nördlich des Kalvarienberges (bei Andritz) hat die Wassernot beseitigt.

Wie ungewöhnlich rasch sich die Sohlenvertiefung bemerkbar machte, ist schon aus den während der Regulierungsarbeiten gesammelten Pegelbeobachtungen zu ersehen.²⁰⁾ So gingen die tiefsten beobachteten Niederwasserstände bei der Franz-Karl- (heute Haupt-) Brücke schrittweise von -0.15 (1881) auf -0.60 (1894) und bei der Puntigamer Murbrücke (3.685 km unterhalb der Radetzkybrücke in Graz) von $+0.10$ (1877, zeitweilige Anlandung) auf -0.40 (1881) und schließlich bis -1.95 (1894) (daher Gesamtbetrag der Eintiefung 2.05 m im Jahre 1894) zurück.

Am sinnfälligsten tritt die weit gediehene Bettnachtiefung dem Beobachter an den Mittelpfeilern der Murbrücken entgegen. Solche weisen auf: die Bundesbahn-, Radetzky-, Tegetthoff- und Haupt- (oder Mur-) brücke. Die Pfeilergründung war bei diesen Brücken mittels eiserner Senkkasten (Caissons) durchgeführt worden, welche so tief in das Bett des Flusses versenkt wurden, daß sie nach Fertigstellung der Brücken jedenfalls nicht sichtbar waren. Heute (Herbst 1926) ragen die Senkkasten mit ansehnlichen Beträgen über den Flußspiegel.

Es liegt nahe, die Brücken auf einen allfälligen Zusammenhang zwischen Situation zum Flußlauf und Bauzeit einerseits und Heraus-tauchen der Caissonbleche andererseits einer Prüfung zu unterziehen.

Gegenwärtig — Mitte Oktober 1926 — wurden die Beträge, mit welchen die Gründungskasten über Wasser stehen, folgendermaßen eingeschätzt:

Haupt(oder Mur)brücke (erb. 1890) . . .	100 cm	Südende, (125 cm
Tegetthoffbrücke (erb. 1883)	(70 cm)	[Pfeilermitte)
Radetzkybrücke (erb. 1898)	170 cm	
(Alte) Schlachthausbrücke (Holz) (erb. ?)	?	
Bundesbahnbrücke (erb. 1873)	250 cm	

Aus dieser Aufstellung geht vor allem hervor, daß dem Baualter kein bestimmender Einfluß auf die trockengelegten Caissonstücke zukommt.

¹⁹⁾ R. Hoernes: Bau und Bild der Ebenen Österreichs. Wien-Leipzig, 1903, S. 1109.

²⁰⁾ Franz Ritter von Hochenburger: Darstellung der in der Periode 1874 bis 1891 durchgeführten Arbeiten der Murregulierung in Steiermark. Wien 1894, S. 16.

Wohl aber dürfte in der Verminderung der Beträge gegen Norden,²¹⁾ das heißt gegen den Schloßberg, zum Ausdrucke kommen, daß die Eintiefung flußaufwärts an Wirksamkeit allmählich einbüßt.

Auch für die beiden hölzernen Jochbrücken — die Kalvarien- und die (heute nicht mehr existierende) Schlachthausbrücke — war die Mureintiefung insofern von den schwersten Folgen begleitet, als die eingerammten Jochpfähle mehr oder weniger außer Boden gerieten und bei einem stärkeren Hochwasser gänzlich ihren Halt zu verlieren drohten.

Die Nachwirkungen der Flußeintiefung griffen aber vom engeren Bettbereich auch auf das Ufergelände über, wie dies auf Grund des Zusammenhanges zwischen Wasserstand in der Mur und Gang des Grundwassers ohne weiteres verständlich ist.

Im Jahre 1924 machten sich am sogenannten „Jahnschen Palais“ (Stadtkai Nr. 47, etwa 25 m vom linken Ufer der Mur entfernt, zwischen Tegetthoff- und Radetzkybrücke) beträchtliche Bauschäden bemerkbar, kenntlich an zahlreichen lebendigen Mauerrissen, an Verschiebungen und Verziehungen der Tür- und Fensterstöcke, Fußböden und Treppen.

Die damaligen äußerst schwierigen Rekonstruktionsarbeiten, welche von der Bauunternehmung Karl Lubitz in Graz mit großem fachmännischen Verständnis für die Besonderheit des Falles durchgeführt wurden, haben zuerst weitere Kreise auf die interessanten Zusammenhänge zwischen Murregulierung, Eintiefung und Zurückweichen des Grundwasserspiegels aufmerksam gemacht.

Die Untersuchung der Fundamente hat gezeigt, daß das Haus zum Teil auf einem Stück alter Stadtmauer²²⁾ aufruht, die selbst wieder einen dichten Pfahlrost zur Unterlage hat, zum Teil aber auf dem alten Sandboden des Murufers gegründet ist. Die Piloten standen im schwach feuchten Erdreich (Flußsand) und waren bereits zum größten Teil durch Fäulnis zerstört. Ihre Zerstörung muß auf mangelnden Luftabschluß bzw. auf das Zurückweichen des Grundwassers zurückgeführt werden. Da nun jener Teil der Hausmauern, welcher die Pilotenunterlage besaß, andere — wahrscheinlich größere Setzungenbewegungen — ausführte als der auf Mursand aufruhende, so waren Verziehungen des Hauses und Risse unvermeidlich.

Wir sind in der Lage, an der Hand dieses interessanten Falles anzugeben, um welchen Betrag sich beiläufig das Grundwasser seit der Errichtung dieses Teiles der Stadtmauer zurückgezogen haben muß. Das Fundament der nördlichen Feuermauer erwies sich nach den Aufnahmen der Firma Lubitz aus folgenden Teilen zusammengesetzt:²³⁾

²¹⁾ Die Tegetthoffbrücke scheint sich mit ihrer Ziffer aus dem Verfasser unbekanntem Gründen in diese Reihe nicht einzufügen.

²²⁾ Nach Herrn Professor H. Pirchegg's Urteil handelt es sich hierbei wahrscheinlich um Mauerteile, welche auf die Basteien bei der sogenannten Adlermühle zurückgehen. Diese wurden 1552 zu bauen begonnen, die Mühle selbst wurde im Jahre 1574 im Zuge dieser Erweiterung der Stadtbefestigung abgerissen (Josef Wastler: Geschichte der Befestigungsbauten usw., Mitteilungen der Zentralkommission, N. F. 13 (1887), S. 6 des Sonderdruckes).

²³⁾ Eine interessante Neufundierung. Grazer Tagespost Nr. 319 vom 18. November 1924.

Vom Straßeniveau bis zum Kellerfußboden, d. h. bis 1·30 *m*, wurde Ziegelmauerwerk konstatiert, darunter folgte auf 0·40 *m* eine Fundierung ohne Bindung (in Bruchstein?), noch tiefer (bis auf 2·1 *m*) wurde altes Bruchsteinmauerwerk verfolgt, das einer fast meterhohen Schicht von sehr großen Steinquadern aufruhte. Diese selbst lagen einem Pfahlrost auf, der noch 1 *m* in das Erdreich hineinreichte. Da die Straßenoberfläche bei Kote 351·0 *m* liegt, so bestimmt sich die Höhe der Pilotenköpfe nach den obigen Angaben zu Kote 346·20 *m*. Es besteht bei der wuchtigen Gediegenheit, mit der dieses Stück Stadtmauer gebaut ist, und der peinlichen Sorgfalt, mit der damals überhaupt die Befestigungsarbeiten durchgeführt wurden, nach des Verfassers Meinung kein Zweifel, daß die Pfähle seinerzeit vollständig von Grundwasser bedeckt waren. Da sich nun heute das Normnullwasser an dieser Stelle etwa bei Kote 343·50 befindet und bei dem höchsten beobachteten Hochwasser im Stadtprofil ein Pegelansteigen um etwa 2 *m* (also bis zirka Kote 345·50) stattfindet, so können die Piloten — die Entfernung bis zum Murbett beträgt 25 *m* — nur höchst selten mehr von dem mitgenommenen Grundwasserspiegel erreicht werden. Dieses „Außer-Wasser-Geräten“ ist es, was dem Pilotenrost verderblich war.

Nimmt man nun an, daß die alten Bauleute die Pfähle in der Zeit niedrigen Wasserstandes in den Boden geschlagen haben,²⁴⁾ so wäre das damalige mittlere Niederwasser etwa bei Kote 346·20 und das Nullwasser bei Kote 347·20 bis 347·70 zu vermuten.

Es besteht also guter Grund für die Annahme, daß sich der Grundwasserspiegel an dieser Stelle seit der Errichtung des Stadtmauerfundaments, d. i. etwa seit der Mitte des 16. Jahrhunderts, um 3·70 bis 4·20 *m* zurückgezogen hat.

Freilich wird der damalige Hochstand nicht allein auf den mangelnden Tiefenschurf der Mur, sondern auch auf künstliche Stauanlagen zurückzuführen sein, denen die Bestimmung zukam, den Stadtgraben entsprechend unter Wasser zu halten.

Das Jahnsche Palais ist nicht das einzige Gebäude am Murufer geblieben, an welchem sich in den letzten Jahren Bauschäden — offenbar im Zusammenhang mit der Flußnähe — gezeigt haben.

Auch das benachbarte Justizpalais, Ecke Kalchberggasse-Stadtkai, gab zu ersten Besorgnissen Anlaß, und etwas flußaufwärts sind am linken Ufer sowohl nahe der Hauptbrücke (Stadtkai) als bei der Ausmündung der Sackstraße auf den Schloßbergkai Häuser zu vermerken, welche infolge ungleichmäßigen Nachgebens der Bausohle bedenkliche Bauschäden aufweisen. Auch auf dem rechten Ufer der Mur stehen Häuser unter Beobachtung.

Die Eintiefung der Mur in Mittelsteiermark mit ihren weitreichenden bautechnischen Wirkungen ist ein Musterbeispiel eines logisch verknüpften Erscheinungskomplexes, dessen Ablauf durch den Eingriff des Menschen ausgelöst wurde.

²⁴⁾ Wahrscheinlich haben sie auch durch Pumpen den Grundwasserspiegel etwas abgesenkt.

Es ist der Sinn vorsichtiger Projektverfassung, die Folgen eines technischen Aktes nach Möglichkeit zur Gänze vorzusehen und den schädlichen zeitgerecht zu begegnen.

Von diesem Leitgedanken ausgehend, muß jede Holzpfeilergründung bei den immer häufiger werdenden und folgenreicher sich auswirkenden Eingriffen in das Wassersystem unseres Landes mit größter Vorsicht geprüft, wenn nicht überhaupt von Anbeginn an abgelehnt werden.

b) Einiges über das Alter der durchbohrten Schichten.

Von den Murschottern der Kalvarienbrücke ist gesagt worden, daß sie sich — wie die normalen alluvialen Murschotter — durch besondere Kalkarmut und starkes Vorwalten der kristallinen Komponenten auszeichnen. Tatsächlich scheint dies nach den Eindrücken des Verfassers ein besonderes Kennzeichen der jüngeren Terrassenschotter zu sein, während die älteren — diluvialen — die kalkige Komponente kräftiger hervortreten lassen. Dieser Eindruck, der sich vorläufig auf einige Erfahrungen in der Umgebung der Stadt stützt, würde eine genauere volumetrische Nachprüfung verdienen. Bei Zutreffen dieser Verteilung könnten sich interessante Rückschlüsse auf die erosive Tätigkeit der Mur ergeben.

Bei Beurteilung des Murschotters auf seinen Kalkreichtum hin ist aber Vorsicht geboten, denn die kalkige Komponente kann auch nachträglich verschwinden. Dies haben besonders die Aufgrabungen anlässlich der Kanalisierungsarbeiten in der Techniker- und Morellenfeldgasse ergeben (1925/26). In den dort angeschnittenen oberen Partien der sogenannten Münzgrabenterrasse (V. Hilber) kamen nur sehr selten Kalk- oder Dolomitgerölle zum Vorschein. Die vorhandenen gleichen wahrhaftigen Abätzungsruinen und besaßen nur mehr einen Bruchteil des Volumens, das ihnen als Gerölle ursprünglich eigen war. Dolomitische Gerölle waren oft bis auf einen mehr oder weniger zusammenhängenden Rest von Dolomitasche aufgezehrt worden. Das Verschwinden der kalkigen Komponenten im Schotter muß auf die Anwesenheit von Wässern zurückgeführt werden, welche auf die Karbonate einen stark lösenden Einfluß ausüben. Es ist noch nicht klar, ob diese bisher nirgends mit solcher Deutlichkeit beobachtete Erscheinung auf das Stadtgebiet beschränkt ist oder ob auch unbesiedeltes Terrassengebiet von ihr betroffen ist. An Ort und Stelle können verschiedene Ursachen die Auslaugung des Kalks begünstigt haben: der dauernde Durchzug kalkarmen Grundwassers (Nähe des Sparbersbaches), der Durchzug von Infiltrationswasser, das mit in Oxydation begriffener organischer Substanz beladen ist (Nähe der Kanäle), die Nähe der Gasleitung, welche stellenweise nicht absolut dicht ist und dadurch etwas Schwefelsäure an das durchsickernde Infiltrationswasser abgeben kann.

Die Frage des Verschwindens kalkiger Komponenten in klastischen, besonders grobklastischen Ablagerungen verdient einige Beachtung. Denn es ist keine bewiesene Tatsache, daß die unglaubliche Kalkarmut der älteren grobklastischen Sedimente — welche

besonders von der Trias nach abwärts auffällig wird — eine primäre Eigenschaft ist.

Besonders der von den Sonden Nr. 5 und 15 durchbohrte gelbbraune sandige Lehm unter dem Schotter hat einige Ähnlichkeit mit dem sonst über Murschotter anzutreffenden Lößlehm. Leider kam das Material infolge der Durcharbeitung mit dem Spiralbohrer und reichlicher Wasserdurchtränkung derart verändert zutage, daß sich ein Vergleich mit bekanntem Material nicht mehr durchführen läßt. Die Klärung dieser Frage hätte ziemliche Bedeutung, denn — soweit der Verfasser unterrichtet ist — ist Löß oder Lößlehm bisher unter Murterrassenschotter noch nicht angetroffen worden. Der Lehm kann zweifellos auch als mehr oder weniger subaërische Verwitterungsdecke der darunter folgenden tonigen Ablagerungen gedeutet werden. Dann wäre er stofflich bereits dem Jungtertiär zuzurechnen, dem auch der restliche Abschnitt der Bohrprofile angehört.

Die tiefere Schichtentwicklung weist zweifellos auf einen innigen stratigraphischen Zusammenhang der Glieder untereinander hin. Sie werden demnach hinsichtlich ihres Alters unter einem betrachtet. Es handelt sich um ausschließlich klastische Ablagerungen, deren Herkunft zumeist ihres feinen Kornes und der indifferenten Zusammensetzung wegen schwer ermittelt werden kann. Einiges aber läßt sich immerhin feststellen; einmal die häufige, grünliche Färbung der tonigen Sedimente, der glimmerreichen sandigen Letten und Mergeltonne. Diese Farbe geht auf reichlich beigemengte chloritische Substanz zurück, welche entweder von detritärem, chloritisiertem Biotit oder vom Chlorit der nahen Grünschiefer (Rainerkogel, Kalvarienberg usw.) abstammt. In den Sanden ist der außerordentlich hohe Granatgehalt (auf 10—15 Volumprozent geschätzt) bemerkenswert, zu dem sich nicht spärlicher Turmalin (Schörl) und etwas Magnetit gesellt. In den tiefen, gröberen Kiesen fallen neben der überwiegenden Menge von Quarzgeröllen einige Hornblendegneisgerölle, dann selten eingestreute weißliche Kalkgerölle (undeutlich fossilführend), arkosige Quarzite vom Typus der Semmeringquarzite, porphyroidische Gerölle vom Typus der Blasseneckgneise auf. Die Gerölle haben mehr den Charakter von Strandkiesen. Es besteht die Vermutung, daß wir es mit Flußschottern zu tun haben, welche aber durch die Meeresbrandung eine weitere Verarbeitung — d. h. Auslese — erfahren haben. Granat, Turmalin, Hornblendegneis, auch der viele Linsenquarz deuten auf Hochkristallin, auf Gneis- und Glimmerschiefergelände — Semmeringquarzite, Porphyroide (?) auf nördliche Grauwackenzone. Es ist also anzunehmen, daß wir uns in der Nähe der Mündung eines Flusses befinden, der seinen Schutt aus dem nördlicher gelegenen Hinterland bezog.

Die Kiese sind unter Wasser abgelagert worden, denn jede Andeutung einer fortschreitenden Oxydation des Eisens (beginnende Braunfärbung) fehlt. Dadurch wie durch die deutliche Anwesenheit von Kalkgeröllen unterscheiden sie sich lebhaft von den höheren pontischen Schottern des Rainerkogels, der Kanzel und der Berge westlich von Gösting, welche auch oft als thrasische Schotter bezeichnet werden und überdies durch

das häufige Vorkommen schwarzer Kieselschiefergerölle gut gekennzeichnet sind.

Diese tieferen Ablagerungen bei der Kalvarienbrücke unterscheiden sich deshalb erheblich von den höher liegenden pontischen, und es ist deshalb die Vermutung berechtigt, daß sie nicht mehr dem Pliozän, sondern bereits dem Miozän zugehören. Für diese Deutung spricht neben der Tiefenlage gegenüber den benachbarten pontischen Schichten insbesondere auch der nicht unbeträchtliche Kalkgehalt, der den meisten tonigen Schichten, teilweise auch den feinsandigen, eigen ist. In den tonigen — grünlichgrauen — Tegeln finden sich — soweit das Bohrgut eine Beurteilung zuläßt — häufig weiße, einige Millimeter starke Schmitze, welche vorwiegend aus erdiger Kalksubstanz bestehen. Daneben kommt der Kalkgehalt in den gelblichbraunen Letten auch diffus verteilt, in den mehr sandigen endlich als mergelige Verhärtungen vor, die bereits früher erwähnt worden sind. Es ist kaum zu bezweifeln, daß der Kalkgehalt auf organische Tätigkeit zurückzuführen ist. Gleichwohl haben alle makroskopischen Durchmusterungen wie auch Schlämmversuche ein rein negatives Ergebnis gehabt.

Die Annahme, daß die tieferen Schichten der Bohrprofile von der Kalvarienbrücke bereits in das Obermiozän — also in die sarmatische Stufe — gehören, ist demnach vorläufig nicht beweisbar; es sprechen aber verschiedene Gründe für deren Wahrscheinlichkeit. Auch das Vorhandensein einer zweiten, ganz ähnlich gestalteten Bucht jenseits des Bauernkogel- (oder Plawutscher) Rückens, die von ähnlichen Ablagerungen erfüllt ist und reichlich sarmatische Versteinerungen führt, der Bucht von Winkel bei Thal, spricht zugunsten dieser Annahme. Freilich scheint der Unterschied in der Höhenlage (Kalvarienbergschichten tiefer als zirka 340 m, Sarmat von Winkel und Wetzelsdorf zwischen 500 und 440 m) sehr einer Parallelisierung zu widerstreben. Es darf aber nicht außer acht gelassen werden, daß zwischen beiden Vorkommen die südliche Verlängerung des Leberbruches (nach R. Schwinner eine Flexur) liegt, einer ungefähr von N gegen S verlaufenden bedeutenden Störung, die mit einem Absinken des östlicher gelegenen Trumes im Zusammenhang stehen mag.

Daß sie in ihrem nördlichen Verlauf gerade das Gegenteil, nämlich ein Herausheben des östlichen Trumes bewirkt, braucht an ihrem südlichen Ende den entgegengesetzten Bewegungssinn nicht auszuschließen. Solche Fälle sind nicht vereinzelnt.

Immerhin ist sich der Verfasser im klaren, daß dieser Erklärungsversuch viel Hypothetisches an sich hat, und er betrachtet daher diesen Fragenkomplex über das genauere Alter der durchbohrten tieferen Tertiärschichten als offen.

Graz, im November 1926.

