

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000300778



J. X. 46 / 1918

# Bautechnische Gesteinsuntersuchungen

---

Mitteilungen aus dem Mineralog.-geolog. Institut  
der Kgl. Technischen Hochschule Berlin

herausgegeben

von

**Prof. Dr. Dr.-Ing. J. Hirschwald**  
Geheimer Regierungsrat

**IV. Jahrgang**

Der ganzen Reihe 7. Heft

---

**BERLIN**  
**VERLAG VON GEBRÜDER BORNTRAEGER**  
W 35 Schöneberger Ufer 12a  
1918

81021 21 X 8



# Bautechnische Gesteinsuntersuchungen

Mitteilungen aus dem Ministerium geolog. Bergbau  
der kgl. Technischen Hochschule Berlin

---

Alle Rechte vorbehalten

---

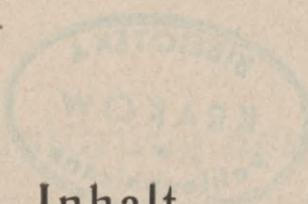
Prof. Dr. Georg J. Hirschwald

IV. Jahrgang  
Fünftes Heft

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000315035



## Inhalt

---

	Seite
1. Die mechanische Zerstörung des Gesteinsmaterials und die Mauerbewegungen am Otto-Heinrichsbau des Heidelberger Schlosses . . . . .	1
2. Untersuchungen an Kleinschlagdecken behufs Gewinnung einer Grundlage für die Prüfung der natürlichen Gesteine auf ihre Verwendbarkeit als Straßenbaumaterial (III. Teil) . . . . .	39

---

## Ortsverzeichnis

---

Finkenberg b. Limperich S. 43 u. 54; Fornicher Kopf am Laacher See S. 51; Graase i. Schl. S. 43; Helle Warte b. Fritzlar S. 50; Hengstberg b. Wurzen S. 49; Hochbohl i. d. Schwäbischen Alb S. 51; Käuser-Steimel, Westerwald S. 43; Kreuzberg i. d. Rhön S. 51; Linz a. Rh. S. 43 u. 44; Pilgramsdorf i. Schl. S. 43; Schiffenberg b. Gießen S. 51; Siebengebirge S. 50; Striegau i. Schl. S. 50; Zinnhain i. Westerwald S. 43.

---



J-X.46/1918



nr inv. 1843

# Die mechanische Zerstörung des Gesteinsmaterials und die Mauerbewegungen am Otto-Heinrichsbau des Heidelberger Schlosses<sup>1)</sup>

Von

J. Hirschwald

## Einleitung

Die im Jahre 1910 ausgeführten Untersuchungen über die Verwitterung am Otto-Heinrichsbau des Heidelberger Schlosses<sup>2)</sup> hatten erkennen lassen, daß neben der durch die Atmosphärrillen bewirkten Zerstörung des Gesteins auch mechanische Zermürbungen und Zerklüftungen in sehr beträchtlichem Umfange vorhanden sind, welche Erscheinung die Vermutung nahe legte, daß den Bewegungen der freistehenden Mauer infolge des Winddrucks und den damit im Zusammenhange stehenden Druck- und Schubwirkungen innerhalb der Mauer ein erheblicher Anteil an der gedachten Zerstörung des Baugesteins zuzuschreiben sei.

Um ein Urteil über die Größe der betreffenden Bewegungen zu gewinnen, sind im Jahre 1911 zwei selbstregistrierende Vorrichtungen zur Anwendung gebracht worden:

1. am 3. nördlichen Nischenpfeiler, also in der Nähe des am stärksten ausgebuchteten

<sup>1)</sup> Bericht an das Großh. badische Finanz-Ministerium über die vom September 1911 bis Oktober 1916 ausgeführten Untersuchungen.

<sup>2)</sup> J. Hirschwald, Die Verwitterung am Otto-Heinrichsbau des Heidelberger Schlosses. Diese Zeitschrift Heft 1, Jahrg. II. 1911.

Teiles der Mauer, ein Horizontalpendel zur Aufzeichnung der Bewegungen rechtwinklig zur Fassade;

2. 14 zwischen den Fensterwandungen des südlichen ersten Obergeschosses und an einem Fenster des Erdgeschosses im großen Saal eingespannte Druck- und Zugröhren, behufs Feststellung etwaiger Verschiebungen innerhalb der Mauer.

Die an diesen Apparaten ausgeführten Beobachtungen haben den Beweis erbracht, daß die stattfindenden Bewegungen beträchtlich über das Maß hinausgehen, welches für freistehende Mauern normaler Verbandfestigkeit anzunehmen ist, und daß an starken Windtagen, namentlich während der Frühjahrs- und Herbstmonate, diese Schwankungen der Mauer häufig viele Stunden mit wenig veränderter Stärke andauern.

Durch die zwischen den Fensterwänden eingespannten Meßröhren ist insbesondere nachgewiesen worden, daß jene Bewegungen auch Schubwirkungen von meßbarer Größe innerhalb der einzelnen Mauerteile, in horizontaler und vertikaler Richtung, auslösen.

Überdies aber hat das selbstregistrierende Pendel die unerwartete und für die Beurteilung

der Stabilitätsverhältnisse des Bauwerks sehr wichtige Tatsache erkennen lassen, daß die Mauer in ihrem oberen Teil sich unausgesetzt im Zustande einer periodisch wechselnden Ost-Westbewegung befindet, welche in ursächlichem Zusammenhange mit der Sonnenbestrahlung steht.

In den Morgenstunden, in welchen die Ostseite der Mauer bestrahlt wird, biegt sich dieselbe nach Westen aus. Steigt die Sonne höher, so daß sie die Westseite (Hoffassade) bescheint, dann findet eine umgekehrte Bewegung nach Osten statt. Diese Bewegung dauert bis etwa 4—5 Uhr nachmittags an, um alsdann wieder in die Westbewegung überzugehen, welche bis zum andern Morgen währt, wobei die Mauer fast immer nur näherungsweise in dieselbe Lage zurückkehrt, welche sie zu der betreffenden Zeit des vorhergehenden Tages einnahm. Das größte Maß erreicht die Ausbiegung an warmen sonnigen Tagen, ihr geringstes an kalten und bewölkten Tagen. Die Bewegung vergrößert sich allmählich mit steigender Sonnentemperatur und vermindert sich ebenso gleichmäßig nach Aufhören der Bestrahlung.

Die allgemeine Erklärung für diese Erscheinung und insbesondere auch für die der Sonnenwirkung entgegengesetzte Bewegung des oberen Mauerteils ergibt sich aus der verschiedenen Wärmeausdehnung beider Mauerseiten.

Findet die Bestrahlung von der Westseite her statt, dehnt sich die letztere also stärker als die

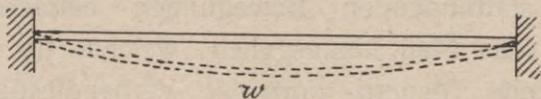


Fig. 1a. Grundriß.



Fig. 1b. Querschnitt.

Ostseite aus, so muß eine Verbiegung der an beiden Enden eingeschlossenen Mauer in horizontaler Richtung nach Westen (Fig. 1a), in vertikaler Richtung aber nach Osten stattfinden (Fig. 1b). Der umgekehrte Vorgang tritt ein, wenn die Mauer an der Ostseite von der Sonne beschienen wird.

Eine besondere Beeinflussung erfahren diese Bewegungen nach stärkeren Niederschlägen, infolge der Ausdehnung des durchfeuchteten Gesteins und andererseits der Schwindung desselben bei seinem Austrocknen. Die durch diesen Schwindungsvorgang bewirkten Bewegungen sind naturgemäß denjenigen entgegengesetzt gerichtet, welche bei der Sonnenbestrahlung des trockenen Mauerwerks stattfinden.

Das bisher beobachtete Maximum der täglichen Abweichung aus der Vertikalebene beträgt am oberen Teil des Pendelpfeilers 13 mm<sup>1)</sup>.

Der Einfluß, welchen diese Wind- und Temperaturbewegungen auf das Gesteinsmaterial und den Mauerverband ausgeübt haben, soll in einem späteren Teil dieser Arbeit zur Erörterung gelangen.

## I. Die selbstregistrierenden Meßapparate

### 1. Das Horizontalpendel (Fig. 2 u. 3a, b)

Dasselbe hat im allgemeinen die für seismographische Apparate gebräuchliche Einrichtung. Während aber bei diesen der Aufhangedraht an einem auf der Säule S befindlichen Justierkopf befestigt ist (s. S. 4), so daß von der Schreiefeder f die Pendelausschläge aufgezeichnet werden, welche die korrespondierenden Bewegungen des Stützpunktes p und des oberen Aufhängepunktes am Kopf der Säule S infolge

<sup>1)</sup> Am 9. Juni 1914 haben die Pendelaufzeichnungen zum ersten Male erkennen lassen, daß auch während der Tagesstunden eine starke Bewegung der Mauer bzw. des Pendelpfeilers nach Westen, also nach der Hofseite, stattfinden kann. Ob diese Erscheinung, welche sich seither häufiger wiederholt hat, auf Schwindungsvorgänge oder auf dauernde Lageänderungen in den Obergeschossen zurückzuführen ist, dürften für die Folge die Visierbeobachtungen an den eingesetzten Maßstäben ergeben.

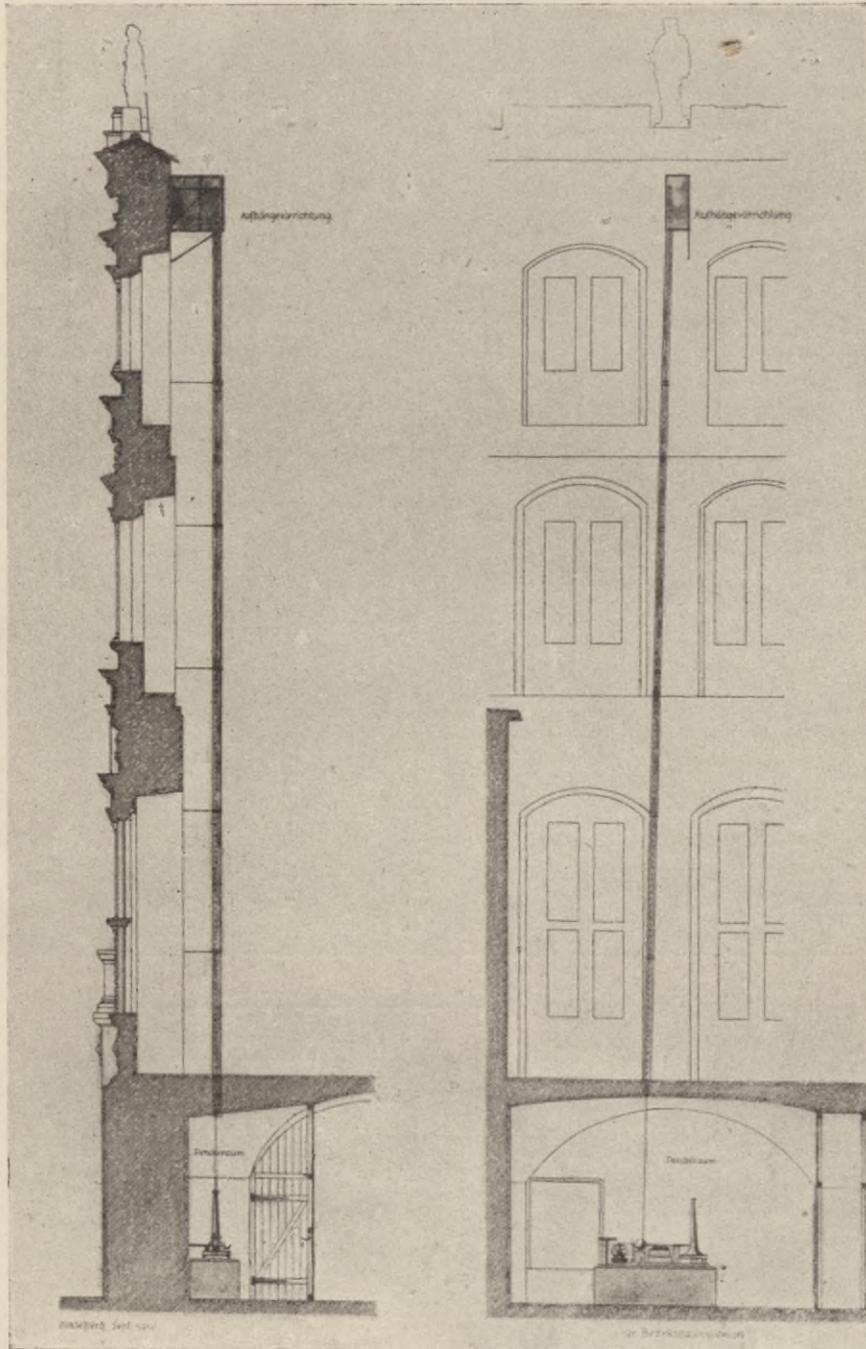


Fig. 2. Gesamtansicht der Pendelaufstellung.

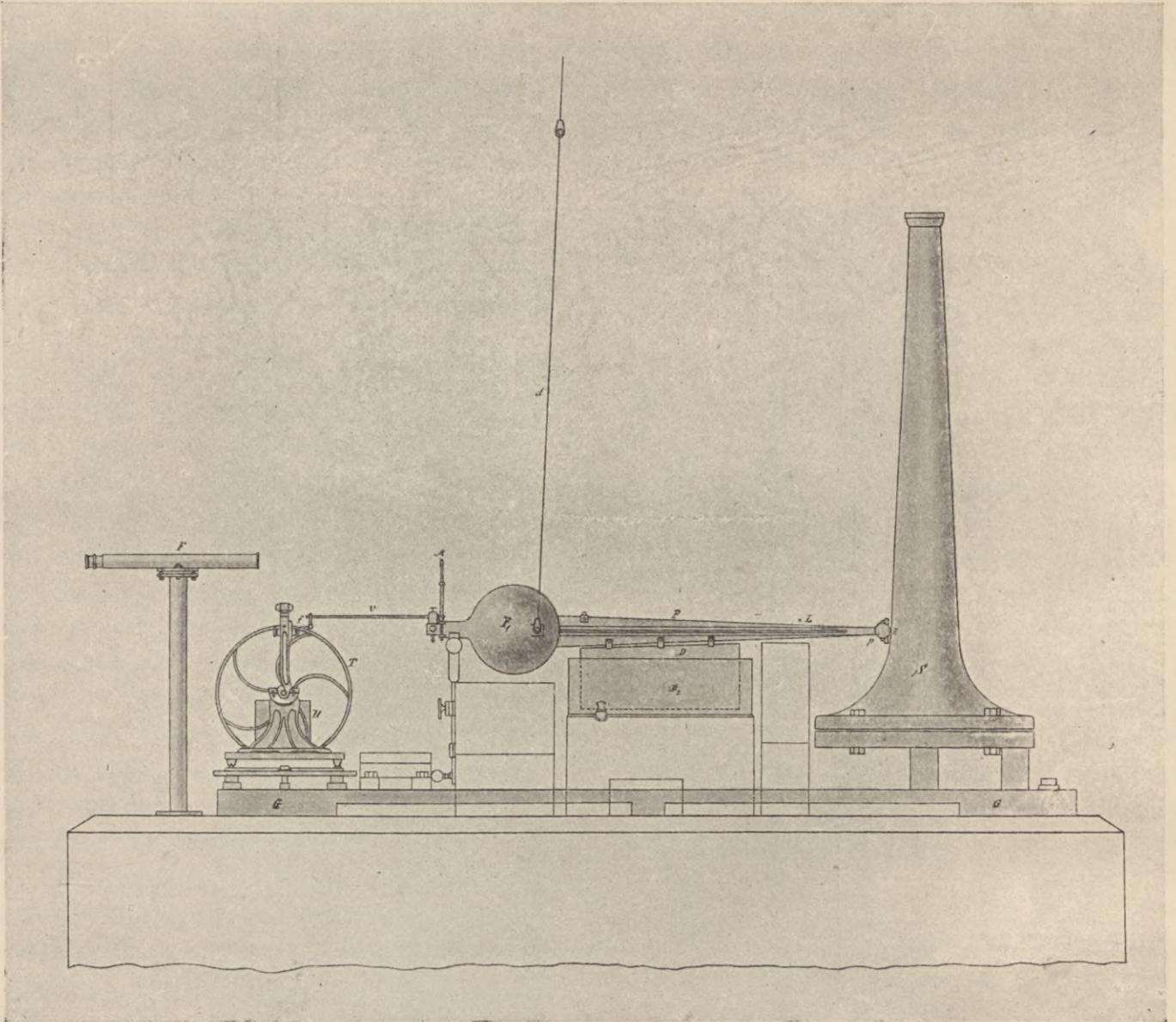


Fig. 3a. Horizontalpendel (Aufriß). 1:16.

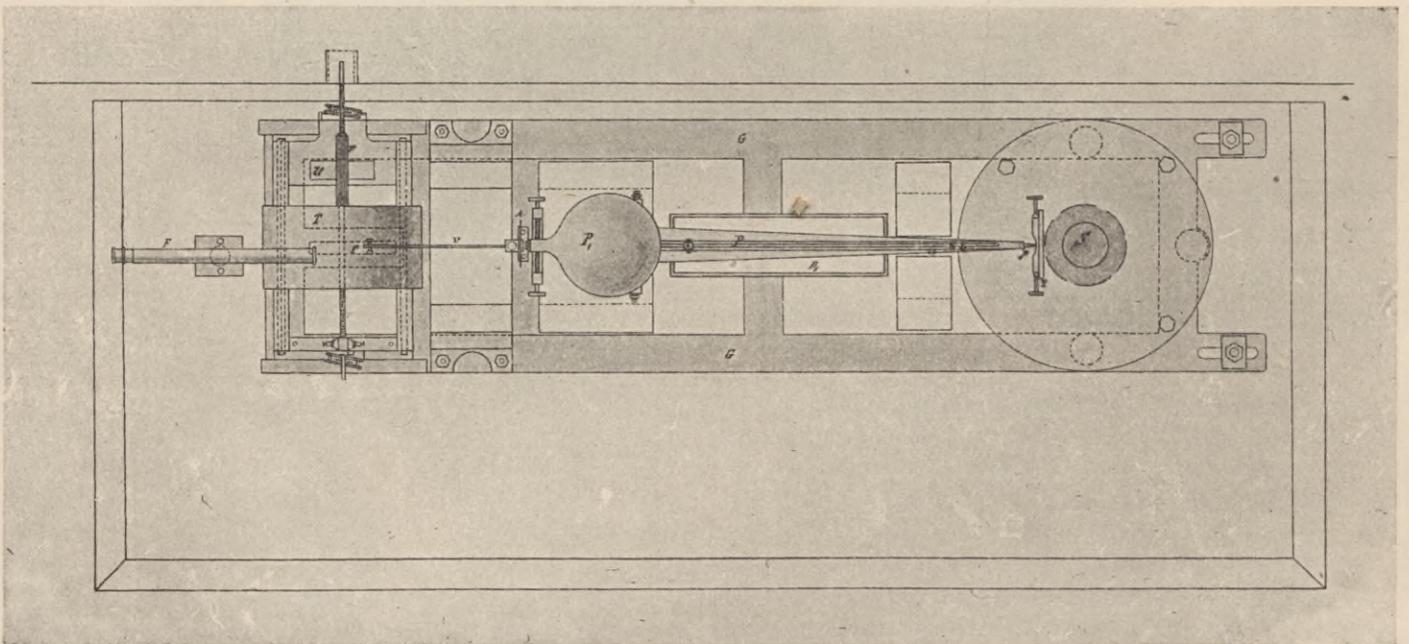


Fig. 3b. Horizontalpendel (Grundriß). 1:16.

von Erderschütterungen hervorrufen, ist hier der Aufhängeapparat an einem, am oberen Teil des Mauerpfeilers angebrachten eisernen Träger befestigt, so daß die Bewegungen dieses Trägers vom Pendel aufgenommen werden.

Die Konstruktion des Apparates ist folgende<sup>1)</sup>:

Auf einer gußeisernen Grundplatte G ist die Säule S aufgeschraubt, an welcher sich ein justierbares Zapfenlager Z zur Aufnahme der Pendelspitze p befindet. Das andere Ende der Pendelstange P trägt das 25 Kilo schwere, kugelförmige Gewicht P<sub>1</sub>. Der am unteren Ende gabelförmige, stählerne Aufhänge Draht d ist im Schwerpunkt des Pendels angebracht, so daß dessen Spitze p nur mit äußerst geringem Druck in der Pfanne z ruht. Das andere Ende des Drahtes ist an einer aus T-Eisen hergestellten Trägerkonstruktion befestigt, welche ihrerseits am Kopfende des dritten nördlichen Nischenpfeilers angebracht ist.

Mit dem Pendel ist eine Schreibvorrichtung Vf verbunden, welche auf einer durch das Uhrwerk U in Drehung versetzten Trommel T die Bewegung des Pfeilers in vergrößertem Maßstab aufzeichnet. Das Uhrwerk ist derartig eingestellt, daß die Trommel in einer Stunde genau eine Umdrehung macht und dabei mittels Schraubenübersetzung r eine Seitenverschiebung von 3 mm stündlich erfährt, so daß täglich 24 Spiralkurven auf dem um die Trommel gelegten berußten Papierstreifen aufgezeichnet werden, deren Gesamtbreite bei völlig ruhendem Pendel 72 mm beträgt.

Um die Eigenschwingungen des Pendels aufzuheben, ist eine Dämpfervorrichtung angebracht, bestehend aus einer mit der Pendelstange verbundenen Platte D, welche in einen bis zur Marke mit Mineralöl von bestimmter Viskosität gefüllten Kasten D eintaucht.<sup>2)</sup>

Zur Feststellung der Null-Lage des Pendels und um dessen Schwingungen unmittelbar messen zu können, ist auf dem Betonsockel ein Fadenkreuzfernrohr F und am Ende des Pendels ein in 1/10 mm geteilter Maßstab M angebracht worden.

<sup>1)</sup> Die Säule S wurde zur Ersparung von Modellkosten beibehalten. Für Neukonstruktionen wäre nur ein kurzes, starkes Ansatzstück mit Pfanne, zur Aufnahme der Pendelspitze, erforderlich.

Das Horizontalpendel ist nach diesseitiger Angabe in der Mechanischen Werkstatt von Bosch in Straßburg i. Els. ausgeführt worden.

<sup>2)</sup> Bis zum Jahre 1914 war an Stelle dieser Vorrichtung eine Luftdämpfung in Gebrauch. Auch befand sich die Schreibfeder nicht in fester Verbindung mit der Pendelstange, sondern stand mit der letzteren durch ein feines Hebelwerk in Zusammenhang, welches eine 4,7-fache Vergrößerung der Pendelbewegung zur Aufzeichnung brachte. Die Mauerbewegungen erwiesen sich jedoch zeitweise so beträchtlich, daß die Luftdämpfung nicht ausreichte und die Schreibfeder über die Trommel hinaus abgelenkt wurde. Diese Mißstände sind durch die oben beschriebene Einrichtung beseitigt worden.

Der ganze Apparat wurde in dem unterhalb des dritten nördlichen Nischenpfeilers befindlichen Keller auf einem ohne Verbindung mit der Fassadenmauer aufgeführten und auf dem granitischen Untergrund fundamementierten Betonsockel aufgestellt und durch einen gefügten Holzverschlag mit Doppeltür und durch ein zweifaches Kellerfenster gegen Windstörungen gesichert. Die Trägerkonstruktion am oberen Pfeilerende ist mit einem eisernen Kasten und der Aufhänge Draht mit einem verlöteten Blechrohr windsicher umschlossen (Fig. 2).

Für die Justierung des Apparates waren folgende Forderungen zu erfüllen: 1. Der obere Aufhängepunkt des Drahtes, der Schwerpunkt des Pendelgewichts und der Stützpunkt p der Pendelstange müssen in der Ruhelage in einer vertikalen Ebene liegen; der Lotpunkt des oberen Aufhängepunktes auf der Pendelstange muß so weit von dem Drehpunkt p entfernt sein, daß die Schwingungsamplitude des Pendels näherungsweise derjenigen der Mauer entspricht. Ist dies nicht der Fall, schwingt das Pendel z. B. langsamer als die Mauer, dann wird das Pendel vor Erreichung seines größten Ausschlages durch die Mauerschwingung zu einer Rückwärtsbewegung gezwungen werden und die aufgezeichneten Kurven müssen eine unsymmetrische Form zu beiden Seiten der Mittellinie erhalten. Dieser Umstand gewährt das Mittel zur empirischen Einstellung des fraglichen Lotpunktes L, dessen Entfernung von p durch Versuche bei gleichmäßiger Mauerbewegung auf 159,7 mm bestimmt worden ist. Die Einstellung selbst ließ sich dadurch ermöglichen, daß die Grundplatte G mittels Schlitzschrauben verschiebbar gemacht worden war.

Daß ungeachtet dieser Justierung die aufgezeichneten Kurven, bei mehr oder weniger schnell sich wiederholenden Windstößen, eine unsymmetrische Form erhalten müssen, ist ohne weiteres klar und es soll später erörtert werden, wie sich aus dieser Unregelmäßigkeit die Periode der Windstöße berechnen läßt.

#### a) Bestimmung des Reduktionsfaktors

Da die Pendelbewegungen eine Vergrößerung der Mauerabweichungen darstellen, so müssen die Beziehungen dieser beiden Bewegungen festgestellt werden, um aus dem Pendeldiagramm die wirkliche Mauerabweichung bestimmen zu können.

Theoretische Berechnung: Bewegt sich der Aufhängepunkt a des Pendels rechtwinklig zur Mauerfläche, so gelangt das Pendel zur Ruhe, wenn der Punkt a sowie der Projektionspunkt L desselben auf der Pendelstange und das vordere Ende f des Pendels in einer Vertikalebene liegen. Da der Aufhängepunkt a und sein Lotpunkt L denselben Weg zurücklegen, ergibt sich die Gleichung (s. Fig. 4):

$$LL_1 : ff_1 = pL : pf.$$

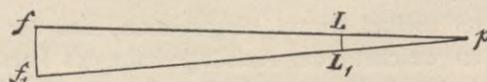


Fig. 4.

Setzt man  $LL_1 = 1$  und, gemäß den vorhandenen Abmessungen des Pendels,  $pL = 159,7$  mm und  $pf = 1207,25$  mm, so ist

$$ff_1 = \frac{1207,25}{159,7} = 7,56.$$

Der Reduktionsfaktor, mit welchem man das Maß der Pendelaufzeichnung multiplizieren muß, um die Ablenkung des oberen Aufhängepunktes und somit der Mauer zu erhalten, berechnet sich demnach zu  $\frac{1}{7,56}$ .

Dieser Wert bedarf jedoch noch einer Korrektur. Die Pendelfeder bewegt sich in Wirklichkeit nicht in einer vollkommenen Ebene, sondern beschreibt eine sphärische Kurve auf einer Kugeloberfläche. Bei der obigen Gleichung ist dafür die Projektion dieser Kurve auf die Horizontalebene eingeführt, wodurch jedoch nur eine sehr geringfügige Ungenauigkeit entsteht. Von größerer Bedeutung ist dagegen die Reibung des Pendels in seinem Stützpunkt p und der Widerstand der Feder auf dem Papierstreifen der Trommel. Diese Fehler lassen sich aus den Differenzen bestimmen, welche die theoretisch berechneten und die experimentell gefundenen Werte ergeben.

Experimentelle Bestimmung des Reduktionsfaktors: Das obere Ende des Aufhängepunktes ist in eine Justiervorrichtung eingespannt, welche sowohl eine Hebung und Senkung des Aufhängepunktes, als auch eine seitliche, an einem Maßstab ablesbare Verschiebung desselben ermöglicht. Wird diese Verschiebung nach und nach millimeterweise bewirkt und die jedesmalige Ablenkung des Pendels am Fernrohrmaßstab M (Fig. 2 a), oder der Abstand der aufgezeichneten Diagrammkurven festgestellt, so läßt sich aus diesen Daten der Reduktionsfaktor berechnen.

Eine weitere Kontrolle ergibt sich durch Vergleichung der aufgezeichneten Diagrammkurven mit den gleichzeitig ausgeführten geodätischen Messungen an dem am Aufhänger des Pendels angebrachten Visierknopf.

Aus den zuletzt im August 1916 ausgeführten Kontrollbestimmungen berechnete sich als Durchschnittswert der Pendelbewegung 6,80 mm auf 1 mm Verschiebung des Aufhängepunktes, woraus sich der Reduktionsfaktor für die Diagrammaufzeichnung =  $\frac{1}{6,80}$  ergibt<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Nach den Kontrollbeobachtungen im Jahre 1911 berechnete sich, bei eingeschalteter Hebelübertragung, der Reduktionsfaktor zu  $\frac{1}{8,25}$ , aus den Beobachtungen im Jahre 1914 nach Ausschaltung des Hebels, Veränderung der Schreibfederstange und Einführung der Öldämpfung zu  $\frac{1}{6,81}$ . Die unbedeutende Differenz der letzteren Bestimmung gegenüber derjenigen aus dem Jahre 1916 dürfte auf eine geringfügige Abschleifung der Pendelspitze zurückzuführen sein.

Es sei hierbei darauf hingewiesen, daß der eiserne Träger, an welchem der Aufhängepunkt des Pendels befestigt ist, durch Temperaturschwankungen eine Längenänderung erfährt, welche sich auf die Pendellage über-



Fig. 5.  
Pendeldiagramm bei nahezu völliger Ruhe der Mauer.  
13. 12. 1916. Maßstab 1:1,5.

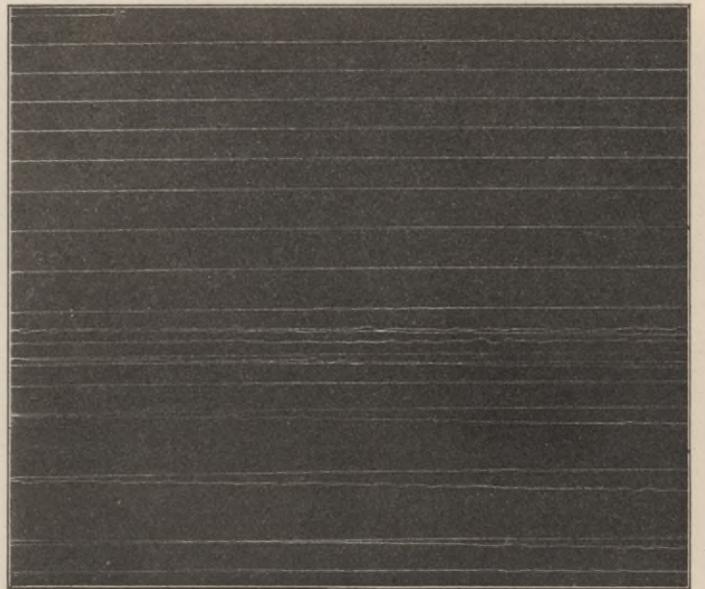


Fig. 6.  
Pendeldiagramm bei starker Ost-West-Bewegung der Mauer.  
10. 8. 1916. Maßstab 1:1,5.

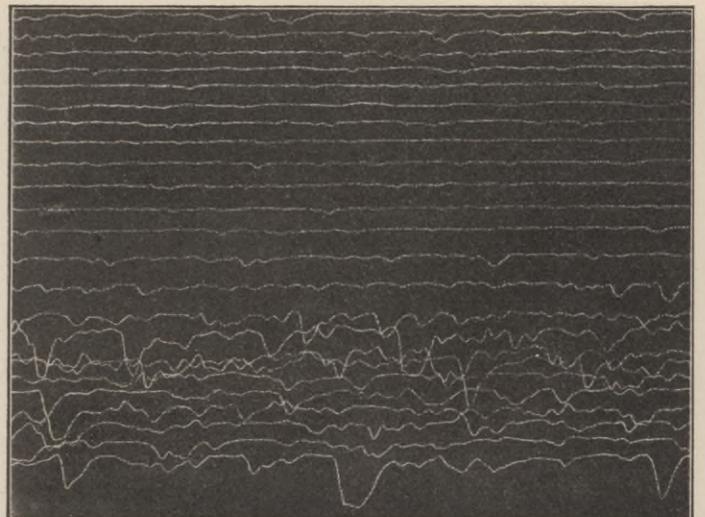


Fig. 7.  
Pendeldiagramm bei zeitweise starker Windbewegung der Mauer. 17. 2. 1916. Maßstab 1:1,5.

**b) Erläuterung der Pendeldiagramme**

Das Pendel liefert täglich ein Diagramm von ca. 90 cm Länge und ca. 7—9 cm Breite. Diese Diagramme lassen sowohl die periodischen Mauerschwankungen, als auch die durch den Winddruck verursachten Bewegungen erkennen und in ihren Abmessungen rechnerisch bestimmen.

Befindet sich die Mauer in völliger Ruhe, so verzeichnet die Feder des Pendels auf dem beruhten Papier regelmäßige Spirallinien in gleichem Abstände (Fig. 5). Bewegt sich die Mauer nach Osten oder Westen, so verringert bzw. vergrößert sich der Linienabstand (Fig. 6). Treten Windschwankungen auf, so verzeichnet das Pendel an Stelle der geraden Linien zickzackförmige Kurven (Fig. 7).

**c) Ausmessung und Berechnung der Diagramme**

Periodische Mauerbewegungen. Die Trommel, um welche der Papierstreifen gespannt ist, verschiebt sich mittels des Uhrwerks nach Osten, die Spirallinien werden daher, bei ruhendem Pendel, fortlaufend nach Westen, d. h. links von der Anfangslinie aufgezeichnet und zwar mit einem regelmäßigen Abstände von je 3 mm. Weicht das Pendel innerhalb einer Stunde ebenfalls genau um 3 mm nach Osten aus, so wird die aufgezeichnete Linie mit der vorherigen zusammenfallen. Bewegt sich dagegen das Pendel in einer Stunde beispielsweise um 2 mm nach Osten, so wird der Linienabstand  $3 - 2 = 1$  mm betragen. Ist also bei gleichlaufender Aufzeichnung nach Westen der Linienabstand  $a$  kleiner als 3 mm, so berechnet sich die östliche Mauerbewegung  $m$  zu  $\frac{3 - a}{f}$ , wobei  $\frac{1}{f}$  den Reduktionsfaktor bezeichnet.

Bewegt sich dagegen das Pendel um einen größeren Betrag als die Trommelverschiebung nach Osten, beispielsweise um 5 mm, so ergibt sich ein Linienabstand von  $3 - 5 = -2$  mm nach Osten, d. h. die Linie läuft um 2 mm gegen die vorhergehende nach Osten zurück. Für solche zurücklaufenden Linien ist daher die östliche Mauerbewegung  $= \frac{3 + a}{f}$ .

trägt. Nimmt man für den Hochsommer eine Temperaturdifferenz zwischen 8 h morgens bis 4 h nachmittags von 20° C an, so ergibt sich eine Ausdehnung des 90 cm langen Trägers während dieser Zeit von 0,216 mm, um welches Maß die durch das Pendel bestimmte maximale Mauerbewegung nach Osten zu verringern wäre. Behufs Ausführung dieser Reduktion ist die Temperaturdifferenz täglich während der Versuchsdauer bestimmt worden.

Findet endlich eine Pendelbewegung nach Westen statt, so summiert sich diese Bewegung mit dem durch die Trommelverschiebung verursachten Kurvenabstand; der letztere wird größer als 3 mm und die westliche Mauerbewegung  $m$  berechnet sich aus der Formel

$$m = \frac{a - 3}{f}$$

Für die allgemeine Beurteilung der Diagramme ergeben sich demnach folgende praktische Regeln (Fig. 8).

1. Die Stundenlinien links (westlich) von der vorhergehend verzeichneten bedeuten Mauerbewegungen nach Osten, wenn ihre Abstände kleiner als 3 mm, dagegen Mauerbewegungen nach Westen, wenn ihre Abstände größer als 3 mm sind.

2. Die Stundenlinien rechts (östlich) von der vorhergehend verzeichneten bedeuten stets Mauerbewegungen nach Osten, gleichviel ob ihre Abstände größer oder kleiner als 3 mm sind<sup>2)</sup>.

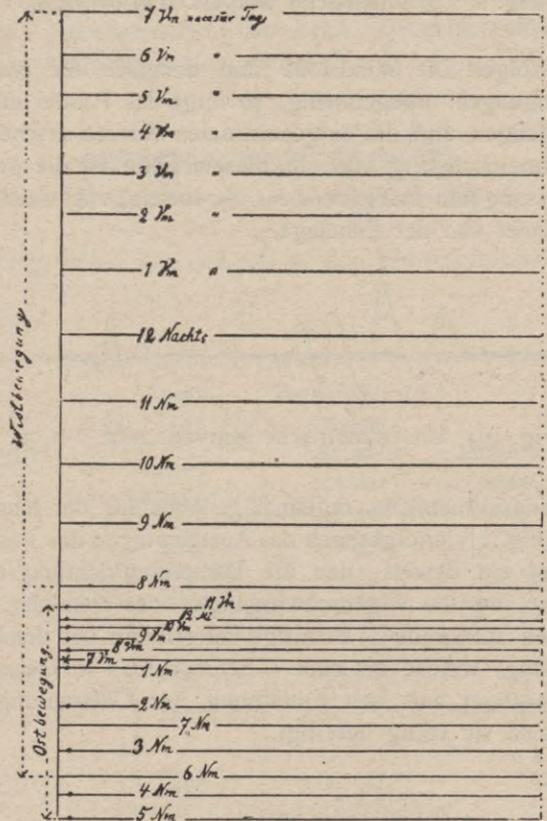


Fig. 8. Pendeldiagramm einer eintägigen Mauerbewegung. Abweichung: östlich 14,1 mm, westlich 13,3 mm.

<sup>1)</sup> Bei der bis zum 2. Juni 1914 in Gebrauch gewesenen Hebelübertragung erfolgte die Linienaufzeichnung in einer der Pendelbewegung entgegengesetzten Richtung. Für die Berechnung der betreffenden Diagramme ist daher eine sinngemäße Änderung der obigen Formeln erforderlich.

<sup>2)</sup> Behufs Entzifferung der Diagramme hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die von 7 Uhr morgens bis 6 Uhr nachmittags aufgezeichneten Kurven mit einem Zeichen zu versehen, um bei rückläufiger Bewegung des Pendels die alsdann aufgezeichneten Zwischenkurven ohne weiteres herausfinden zu können.

Winddruckbewegungen der Mauer. Da die Fassadenmauer eine nordsüdliche Richtung hat, so werden die östlichen und westlichen Winde die stärksten Mauer-schwingungen verursachen. Bei eintretender Bewegung gehen die vorher geradlinigen Aufzeichnungen des Pendels in zickzackförmige Kurven über. Befindet sich die Schwingungsdauer des Pendels mit derjenigen der Mauer in Übereinstimmung, für welchen Fall der Apparat justiert ist, so sind die aufgezeichneten Kurven symmetrisch zur Mittellinie, also  $n m = n_1 m$  (Fig. 9) und die Abmessung  $n n_1$  multipliziert mit dem Reduktionsfaktor  $f$  ergibt die Größe der betreffenden Mauerschwingung.

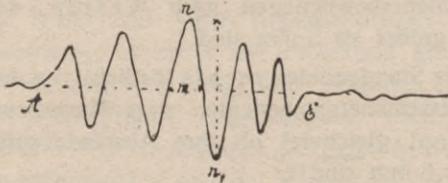


Fig. 9. Symmetrische Kurven:  $n m = n_1 m$ .

Erfolgen die Windstöße und demnach die Mauer-schwingungen unregelmäßig, so folgt das Pendel diesen Bewegungen und die aufgezeichneten Kurven erscheinen unsymmetrisch (Fig. 10). In diesem Falle ist die größte Abmessung  $n m$  maßgebend für die einseitige Abweichung der Mauer von der Ruhelage.

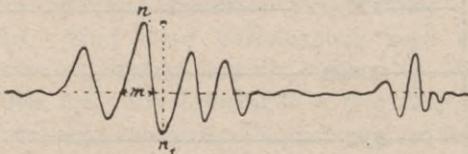


Fig. 10. Unsymmetrische Kurven:  $n m > n_1 m$ .

Eine allmähliche, regelmäßige Abnahme der Kurvenhöhe (Fig. 11) erfolgt durch das Ausschwingen des Pendels und ist ein Beweis, daß die Dämpfungsvorrichtung nicht genügt, um die Eigenschwingungen des Pendels vollkommen aufzuheben. Derartige Fälle traten bei der Luftdämpfung, welche bis zum 1. Februar 1914 in Gebrauch war, häufiger auf; seit Einführung der Öldämpfung (s. S. 5) sind sie völlig beseitigt.

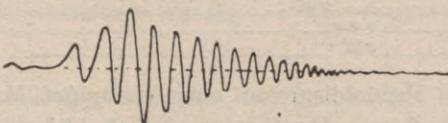


Fig. 11. Ausschwingungskurven bei unzulänglicher Dämpfung.

Neben der Größe der Windbewegung läßt sich auch die Zeitdauer der Mauerschwingungen aus dem Diagramm berechnen. Da die Trommel, deren Umfang 90 cm beträgt, sich in einer Stunde einmal um ihre Achse dreht, so kommen auf 1 mm Kurvenentfernung 4 Sekunden. Die Summe der Kurvenentfernungen  $A E$  (Fig. 9) in Millimetern, multipliziert mit 4, ergibt somit die Bewegungsdauer der Mauer in Sekunden.

Bei schnell aufeinander folgenden Windstößen und diesen entsprechenden Mauerschwingungen wird das Pendel mehrfach vor dem Ausschwingen zur Rückkehr veranlaßt

werden, so daß ausgezackte Kurven zur Aufzeichnung gelangen, wie sie in Fig. 12 schematisch dargestellt sind. Der höchste Kurvenast gibt auch hier die Maximalausweichung der Mauer, während die durchschnittlichen Intervalle  $Z$  der Windbewegung innerhalb des Abschnittes  $M$  sich aus der Formel berechnen lassen:  $Z = \frac{M \cdot 4}{\alpha}$ , wobei  $\alpha$  die Zahl der Kurvenunterbrechungen bedeutet. Etwaige Ausschwingungskurven  $a$  bleiben dabei außer Betracht.

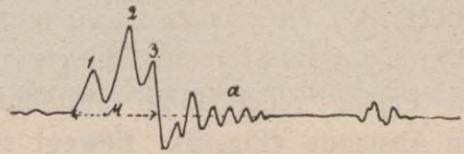


Fig. 12. Gezackte Kurven bei schnell aufeinander folgenden Windstößen.

Das Maximum der bisher beobachteten Windbewegungen betrug 3,05 mm. An besonders starken Windtagen sind 8—19stündige ununterbrochene Mauerbewegungen festgestellt worden. Am 4./5. Dezember 1913 dauerte die Bewegung sogar  $23\frac{3}{4}$  Stunden an.

## 2. Die selbstregistrierenden Einspannröhren

Zur Messung der innerhalb der Fassadenmauer stattfindenden Zug- und Druckwirkungen sind zwischen den südlichen 6 Fensteröffnungen des 1. Obergeschosses sowie in der 3. nördlichen Fensteröffnung des Erdgeschosses (großer Saal) 14 Einspannröhren angebracht worden, welche das Maximum der Zusammendrückung (Verengung der Fensteröffnung) und Ausdehnung (Erweiterung derselben) innerhalb einer bestimmten Beobachtungszeit (7 Tage) sowie Hebungen und Senkungen, welche an den Fenstergewänden etwa stattfinden, feststellen lassen.

Die Konstruktion dieser Vorrichtung ist folgende:

Zwei Messingröhren von 20 bzw. 27 mm äußerem Durchmesser und 63 cm Länge sind auf etwa 12 cm ineinander geschoben (Fig. 13a). Beide Röhren endigen in eingeschraubten Kugeln, welche ihrerseits in den an der Fensterwand und dem Mittelstiel eingegipsten halbkugelförmigen Pfannen lagern. Eine Spiralfeder im Innern der Röhren spannt dieselben auseinander. Der Schieber  $S_1$  bewegt sich nach links, wenn die Röhren durch die Mauerbewegung zusammengedrückt werden, und bleibt beim Zurückweichen der Mauer in seiner Stellung erhalten. Das Maß des Zusammenschubes ist an einem Millimetermaßstab mit Nonius ablesbar. Weichen die Fensterwände über die ursprüngliche Stellung auseinander, so werden gleichzeitig die Röhren durch die Spiralfeder

auseinandergezogen. Dabei wird ein zweiter Schieber  $S_2$  innerhalb eines in dem weiteren Rohre befindlichen Schlitzes nach rechts verschoben und bleibt in dieser Stellung wiederum erhalten, wenn die Röhren aufs neue zusammengedrückt werden. Das Maß des Röhrenauszuges ist an dem zweiten Maßstab mit Nonius bestimmbar.

Sowohl an dem Zug- wie an dem Druckmaßstab kann die Verschiebung auf 0,1 mm abgelesen und auf 0,05 mm geschätzt werden.

Die Kugellagerung beider Röhren verhindert eine Knickwirkung, falls die Lagerpunkte sich senkrecht gegeneinander bewegen.

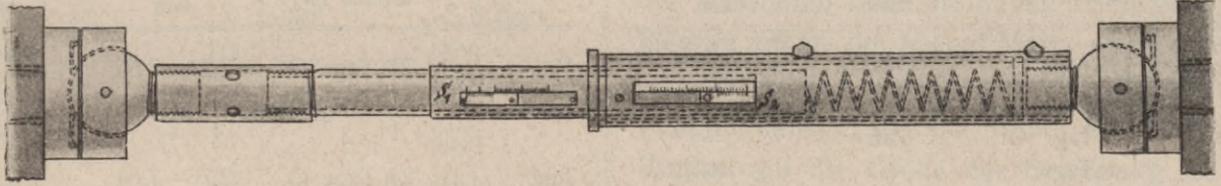


Fig. 13a. Einspannröhren.

Auf den weiteren Röhren befinden sich zwei prismatische Stützen  $p p_1$  zum Aufsetzen einer empfindlichen Wasserwage mit Mikrometerschraube und Noniusmaßstab (Fig. 13b), um die Vertikalverschiebung der beiden Stützpunkte der Einspannröhren bestimmen zu können.

Der Stand des Zug- und Druckmaßstabes sowie die Horizontalabweichung wurden allwöchentlich abgelesen und auf diese Weise die Maximalverschiebung innerhalb des gedachten Zeitraums festgestellt. Dabei sind an einem selbstregistrierenden Thermometer die Höchsttemperaturen bestimmt worden, um die Wärmeausdehnung der Röhren in Rechnung stellen zu können. Nach der Ablesung

wurden die Maßstäbe wieder auf den Nullpunkt eingestellt.

Die in der gesamten Beobachtungszeit während einer Woche festgestellten maximalen Mauerverschiebungen betragen: Auseinanderweichen bzw. Zusammenschub der Fensterwände: 0,936 mm, vertikale Verschiebung: 0,951 mm.

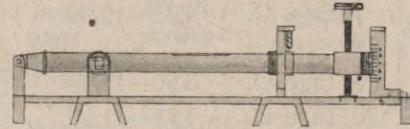


Fig. 13b. Wasserwage zu den Einspannröhren.

### 3. Zusammenstellung der periodischen Mauerbewegungen von 2 mm und darüber

Anmerkung: Die zufolge starker Windbewegung oder Dämpferhemmung nicht genau meßbaren Diagramme sind mit \* bezeichnet.

1912 Monat:	Anzahl der Tage mit mehr als 2 mm Mauerbewegung nach Osten (O) oder Westen (W):	Grenzwerte der Mauerbewegung an den betr. Tagen des Monats: mm	Mittel aus den einzelnen Tageswerten: mm
Januar . . .	2 Tage O.	2,17—7,79	4,98
Februar . .	6 Tage O.	3,74—9,13	6,54
März . . .	5 Tage O.	5,98—9,66	7,80
April . . .	9 Tage O.	4,05—9,15	6,75
Mai . . . .	3 Tage O.	3,95—7,25	5,31
Juni . . . .	3 Tage O.	4,00—4,44	4,19
Juli . . . .	Messungen der Diagramme fehlen		
August . .	1 Tag O.	7,45	—
September	3 Tage O.	7,10—8,08	7,68
Oktober . .	6 Tage O.	5,92—8,73	7,64
November	1 Tag O.	6,90	—
Dezember	—	—	—

1913 Monat:	Anzahl der Tage mit mehr als 2 mm Mauerbewegung nach Osten (O) oder Westen (W):	Grenzwerte der Mauerbewegung an den betr. Tagen des Monats: mm	Mittel aus den einzelnen Tageswerten: mm
Januar . .	1 Tag O.	4,75	—
Februar . .	1 Tag O.	4,75	—
März . . .	5 Tage O.	3,92—8,66	6,85
	11 " "	*	
April . . .	12 Tage O.	3,60—8,57	7,23
	3 " "	*	
Mai . . . .	12 Tage O.	2,65—8,71	7,17
Juni . . . .	6 Tage O.	2,61—7,66	4,16
	4 " "	*	
	7 Tage fehlen wegen Reparatur am Uhrwerk		
Juli . . . .	6 Tage O.	5,82—7,80	6,79
	1 Tag	*	
	5 Tage fehlen wegen Ausführung von Kontrolluntersuchungen		
August . .	17 Tage O.	5,89—8,74	7,50
	10 " "	*	
September	18 Tage O.	2,28—9,16	7,43
	2 " "	*	

1913 Monat:	Anzahl der Tage mit mehr als 2 mm Mauer- bewegung nach Osten (O) oder Westen (W):	Grenzwerte der Mauer- bewegung an den betr. Tagen des Monats: mm	Mittel aus den einzelnen Tageswerten: mm
Oktober .	11 Tage O.	4,31—7,40	6,35
	10 " "	*	—
November	1 Tag O.	6,95	—
	4 Tage	*	—
Dezember	1 Tag O.	*	—

1914			
Januar . .	—	—	—
Februar . .	17 Tage O.	*	—
März . . .	4 Tage O.	3,95—7,25	6,04
	4 " "	*	—
April . . .	9 Tage O.	4,35—12,90	7,54
	19 " "	*	—
Mai . . . .	6 Tage O.	3,90—11,42	6,62
Juni . . . .	20 Tage O.	4,18—11,90	5,44
	2 " W.	3,12—3,72	3,42
	1 Tag	*	—
Juli . . . .	14 Tage O.	2,80—7,14	5,45
	5 " W.	2,52—8,22	4,67
	3 " "	*	—
August . .	19 Tage O.	3,16—7,98	6,33
	4 " "	*	—
September	11 Tage O.	6,02—8,49	7,13
	1 Tag W.	8,70	—
	16 Diagramme fehlen		
Oktober . .	8 Tage O.	4,34—7,91	6,25
	1 Tag W.	5,80	—
	4 Tage	*	—
November	5 Tage O.	3,54—5,08	4,32
	5 " W.	4,51—7,13	5,92
	2 " "	*	—
Dezember	2 Tage O.	4,13—4,83	4,48
	3 " W.	5,95—6,61	6,34
	1 Tag	*	—

1915			
Januar . .	2 Tage O.	4,08—5,36	4,72
	4 " W.	4,64—7,15	5,89
Februar . .	6 Tage O.	3,91—7,52	5,54
	4 " W.	4,02—5,26	4,79
	1 Tag	*	—
März . . .	7 Tage O.	4,68—8,70	6,32
	10 " W.	3,06—6,05	4,58
April . . .	14 Tage O.	2,98—8,98	6,17
	4 " W.	3,61—5,03	4,46
	3 " "	*	—

1915 Monat:	Anzahl der Tage mit mehr als 2 mm Mauer- bewegung nach Osten (O) oder Westen (W):	Grenzwerte der Mauer- bewegung an den betr. Tagen des Monats: mm	Mittel aus den einzelnen Tageswerten: mm
Mai . . . .	21 Tage O.	2,21—8,55	6,31
	1 Tag W.	3,73	—
	1 " "	*	—
Juni . . . .	24 Tage O.	2,76—7,64	5,86
	5 " W.	3,36—4,84	4,32
Juli . . . .	16 Tage O.	3,22—8,07	5,43
	3 " W.	2,90—4,88	4,07
	2 " "	*	—
August . .	15 Tage O.	2,93—7,55	5,47
	5 " W.	3,28—5,16	4,10
	4 " "	*	—
September	14 Tage O.	3,36—10,20	7,83
	5 " W.	3,08—3,99	3,49
	2 " "	*	—
Oktober . .	11 Tage O.	3,60—6,72	3,21
	9 " W.	4,12—7,03	5,71
November	3 Tage O.	4,69—5,64	5,29
	8 " W.	3,79—8,60	6,61
Dezember	9 Tage W.	5,71—7,24	6,49
	1 Tag	*	—

1916			
Januar . .	4 Tage W.	3,55—5,01	4,48
Februar . .	2 Tage O.	4,17—4,32	4,25
	10 " W.	4,01—6,17	5,15
	1 Tag	*	—
März . . .	16 Tage O.	3,0—9,95	6,10
	4 " W.	3,84—5,40	4,74
April . . .	15 Tage O.	3,62—9,13	6,89
	2 " W.	3,17—3,23	3,20
Mai . . . .	19 Tage O.	3,09—8,59	6,17
	1 Tag W.	5,55	—
Juni . . . .	11 Tage O.	2,42—8,18	5,30
	1 Tag W.	5,69	—
Juli . . . .	15 Tage O.	3,71—7,58	5,12
	3 " W.	3,96—4,09	4,05
August . .	19 Tage O.	2,00—8,93	5,62
September	17 Tage O.	3,91—8,76	6,24
	1 Tag W.	6,26	—
Oktober	6 Tage O.	4,34—6,22	5,92
1.—20 <sup>1)</sup>	1 Tag W.	3,89	—

<sup>1)</sup> Am 20. Oktober wurden die regelmäßigen Pendelbeobachtungen abgeschlossen.

Aus dieser Zusammenstellung ergeben sich folgende Durchschnittswerte für die Jahre 1912 bis 1916:

Monat:	Zahl der Tage, an denen Mauerbewegungen über 2 mm stattfanden:	Durchschnittliche Bewegungsgröße:
Januar . . .	2 Tage	3,9 mm
Februar . . .	10 "	5,3 "
März . . . .	12 "	6,3 "
April . . . .	14 "	5,8 "
Mai . . . . .	10 "	6,1 "
Juni . . . . .	15 "	5,3 "
Juli . . . . .	15 "	5,3 "
August . . . .	19 "	6,4 "
September . .	16 "	7,0 "
Oktober . . .	12 "	5,8 "
November . .	8 "	5,8 "
Dezember . .	4 "	5,1 "

September beobachtet, die geringste in den Monaten Januar und Dezember (s. Fig. 14).

Somit findet sich die größte Tageszahl der Bewegungen in den wärmeren Monaten, die größte durchschnittliche Mauerausweichung in den wärmeren Regenmonaten. Eine Ausnahme hiervon bildet der Monat März, woraus hervorzugehen scheint, daß das Auftauen des gefrorenen Feuchtigkeitsgehalts der Mauer von namhaftem Einfluß auf die Größe der Bewegung ist.

4. Zusammenstellung der Windbewegungen der Mauer

1912 Monat:	Anzahl der Tage mit meßbarer Windbewegung der Mauer:	Grenzwerte der Mauerschwan- kungen: mm	Grenzwerte der Schwan- kungs- perioden der Mauer:	Be- merkungen:
April	3 Tage	0,21—0,24	4 Sek. bis 5 Min.	z. T. in viel- facher Wiederholung der Perioden.
Mai .	4 Tage	0,14—0,26	16 Sek. bis 4,7 Std.	an einem Tage fast ununter- brochene Bewegungen nach O., 0,24 mm Max.
Juni .	3 Tage	0,21—0,59	45 Sek. bis 5,5 Std.	z. T. in viel- facher Wiederholung der Perioden
Juli .	1 Tag	0,18	56 Sek.	in vielfacher Wiederholung der Perioden.
Aug.	5 Tage	0,18—0,44	10 Sek. bis 1,7 Min.	in mehrfacher Wiederholung der Perioden.
Sept.	4 Tage	0,26—0,39	56 Sek. bis 4,8 Min.	z. T. in viel- facher Wiederholung.
Okt.	1 Tag	0,24	2,7 Min.	in vielfacher Wiederholung, an 2 Tagen andauernde Erzitterungen.

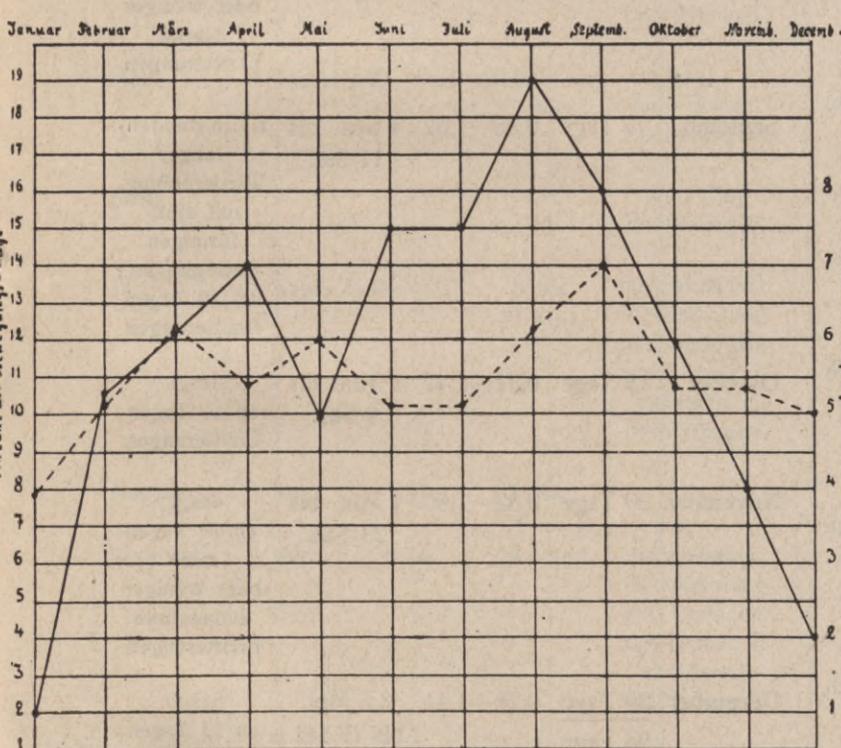


Fig. 14. Diagramm der periodischen Mauerbewegungen in den Jahren 1912 bis 1916.  
 ——— Tageszahl der Bewegungen über 2 mm,  
 - - - - - Durchschnittliche Größe der Bewegung in mm.

Es folgt daraus, daß in dem gedachten Zeit- raum von 5 Jahren die größte Anzahl der Tage mit stärkerer Mauerbewegung in die Monate Juni bis September fällt, die geringste Anzahl in die Monate Januar und Dezember.

Die größte durchschnittliche Ausweichung der Mauer wurde in den Monaten August und

1912 Monat:	Anzahl* der Tage mit meß- barer Wind- bewegung der Mauer:	Grenzwerte der Mauer- schwank- ungen: mm	Grenzwerte der Schwan- kungs- perioden der Mauer:	Be- merkungen:	1913 Monat:	Anzahl der Tage mit meß- barer Wind- bewegung der Mauer:	Grenzwerte der Mauer- schwank- ungen: mm	Grenzwerte der Schwan- kungs- perioden der Mauer:	Be- merkungen:
November	3 Tage	0,36—0,45	1 bis 3,4 Min.	in vielfacher Wiederholung, an 4 Tagen schwache Er- zitterungen <sup>1)</sup> .	Mai . . .	3 Tage	0,49—0,70	3 Min. bis 1 Stunde	meist in steter Wiederholung, an 3 Tagen schwache Erzitterungen.
Dezember	<u>8 Tage</u> 32 Tage	0,22—0,78	2,7 Min. bis 22 Std.	zeitweise stoßförmige Bewegungen, an 5 Tagen stetige Erzitterungen.	Juni . . .	—	—	—	an 3 Tagen schwache Erzitterungen.
<b>1913</b>					Juli . . .	—	—	—	desgl.
Januar . .	7 Tage	0,14—0,62	20 Sek. bis 6,5 Min.	z. T. in stunden- langer Wiederholung der einzelnen Perioden, an 10 Tagen Erzitterungen.	August .	—	—	—	an 10 Tagen mehr oder weniger starke Erzitterungen.
Februar .	4 Tage	0,26—0,68	45 Sek. bis 8 Std.	z. T. in mehr- facher Wiederholung, an 3 Tagen Erzitterungen.	Septemb.	7 Tage	0,35—1,52	4 Sek. bis 11 Std.	z. T. in stunden- langer Wiederholung, mit stoß- förmigen Bewegungen, an 12 Tagen Erzitterungen.
März . .	13 Tage	0,14—3,05	15 bis 35 Min.	z. T. in stän- diger Wiederholung, an 5 Tagen unausgesetzte Erzitterungen.	Oktober .	15 Tage	0,31—1,47	5 Min. bis 9 Std.	desgl., an 10 Tagen Erzitterungen.
April . .	4 Tage	0,14—2,25	45 Sek. bis 4 Min.	z. T. fort- dauernde Wie- derholungen mit stoß- förmigen Bewegungen, an 5 Tagen stetige Erzitterungen.	November	20 Tage	0,32—1,80	4 Min. bis 23 Std.	desgl., an 10 Tagen mehr oder weniger andauernde Erzitterungen.
					Dezember	<u>20 Tage</u> 93 Tage	0,28—1,41	3,5 Min. bis 19 Std.	desgl., an 13 Tagen mehr oder weniger andauernde Erzitterungen.
<b>1914</b>									
Januar . .	6 Tage	0,22—0,33	1 Min. bis 4 Std.	z. T. in viel- facher Wiederholung der Perioden, an 8 Tagen Erzitterungen.					

<sup>1)</sup> Die zitternden Bewegungen der Mauer haben eine Amplitude von näherungsweise 0,01 bis 0,1 mm, sowie eine Gesamtperiode von wenigen Sekunden bis zu mehreren Stunden. Bei ständigen westlichen oder östlichen Winden können dieselben aber auch, mit kurzen jeweiligen Unterbrechungen, tagelang andauern.

1914 Monat:	Anzahl der Tage mit meß- barer Wind- bewegung der Mauer:	Grenzwerte der Mauer- schwank- ungen:  mm	Grenzwerte der Schwan- kungs- perioden der Mauer:	Be- merkungen:	1915 Monat:	Anzahl der Tage mit meß- barer Wind- bewegung der Mauer:	Grenzwerte der Mauer- schwank- ungen:  mm	Grenzwerte der Schwan- kungs- perioden der Mauer:	Be- merkungen:
Februar .	12 Tage	0,15—1,02	5 Min. bis 3,5 Std.	desgl., an 7 Tagen z. T. andauernde Erzitterungen.	Januar . .	6 Tage	0,29—0,65	5 bis 12 Min.	z. T. wenig unterbrochene, vielfach stoß- förmige Bewegungen bis 3 Stunden, an 13 Tagen Erzitterungen.
März . . .	6 Tage	0,33—1,01	6 bis 12 Min.	z. T. in viel- facher Wiederholung der Perioden, an 8 Tagen Erzitterungen.	Februar .	3 Tage	0,17—0,26	5 Min. bis 6 Std.	die Erzitterungen sind von Februar bis September nicht bestimmt worden.
April . . .	3 Tage	0,22—0,67	20 Sek. bis 15 Min.	desgl., an 13 Tagen Erzitterungen.	März . . .	2 Tage	0,26—0,37	4 Min. bis 1,5 Std.	z. T. in viel- facher Wiederholung der Perioden
Mai . . . .	4 Tage	0,39—0,79	20 Sek. bis 17 Min.	desgl., an 8 Tagen Erzitterungen.	April . . .	2 Tage	0,16—0,22	4 Min. bis 5 Std.	desgl.
Juni . . . .	—	—	—	an 1 Tag Erzitterungen.	Mai . . . .	3 Tage	0,17—0,38	3 bis 6 Min.	z. T. in mehr- facher Wiederholung der Perioden.
Juli . . . .	2 Tage	0,34—0,37	5 bis 17 Min.	mit mehrfacher Wiederholung der Perioden, an 4 Tagen z.T. andauernde Erzitterungen.	Juni . . . .	2 Tage	0,23—0,29	4 bis 5 Min.	z. T. in einzel- nen Wieder- holungen der Perioden.
August . .	1 Tag	1,51	3 Min.	—	Juli . . . .	3 Tage	0,47—1,73	3 bis 5 Min.	—
Septemb.	1 Tag	0,44	18 Min.	in vielfacher Wiederholung der Perioden, an 4 Tagen z.T. andauernde Erzitterungen.	August . .	4 Tage	0,52—0,79	3 bis 5 Min.	in einzelnen Wieder- holungen der Perioden.
Oktober .	2 Tage	0,27—0,51	5 bis 10 Min.	desgl., an 4 Tagen Erzitterungen.	Septemb.	4 Tage	0,40—0,62	3 bis 30 Min.	z. T. in wenig unter- brochenen, vielfach stoß- förmigen Bewegungen.
November	3 Tage	0,51—0,60	5 bis 9 Min.	andauernd, mit geringen Unter- brechungen, bis 4 Stunden, an 4 Tagen Erzitterungen.	Oktober .	6 Tage	0,29—0,54	7 Min. bis 1 Std.	desgl., an 5 Tagen Erzitterungen
Dezember	3 Tage 43 Tage	0,58—0,65	4 bis 10 Min.	desgl., an 19 Tagen andauernde Erzitterungen.					

1915 Monat:	Anzahl der Tage mit meß- barer Wind- bewegung der Mauer:	Grenzwerte der Mauer- schwankungen: mm	Grenzwerte der Schwan- kungs- perioden der Mauer:	Be- merkungen:
November	5 Tage	0,21—1,05	16 Sek. bis 40 Min.	z. T. in viel- facher Wiederholung, an 9 Tagen andauernde Erzitterungen.
Dezember	19 Tage 59 Tage	0,30—1,85	2,3 Min. bis 4 Std.	an 3 Tagen andauernde Erzitterungen.

1916 Monat:	Anzahl der Tage mit meß- barer Wind- bewegung der Mauer:	Grenzwerte der Mauer- schwankungen: mm	Grenzwerte der Schwan- kungs- perioden der Mauer:	Be- merkungen:
Septemb.	20 Tage	0,29—0,73	12 Min. bis 8 Std.	sehr häufig stundenlange Mauer- schwankungen, an 5 Tagen z.T. andauernde Erzitterungen.
Oktober .	18 Tage 176 Tage	0,27—1,25	15 Min. bis 16 Std.	desgl., an 2 Tagen z.T. andauernde Erzitterungen.

Schluß der Beobachtungen am 31. Oktober.

1916				
Monat:	Anzahl der Tage	Grenzwerte	Grenzwerte der Schwan- kungs- perioden	Be- merkungen:
Januar . .	19 Tage	0,50—1,44	25 Min. bis 8 Std.	sehr häufige, stundenlange Schwankungen der Mauer, an 5 Tagen andauernde Erzitterungen.
Februar .	9 Tage	0,29—1,32	18 Min. bis 5 Std.	desgl., an 7 Tagen Erzitterungen.
März . .	18 Tage	0,26—1,10	3,7 Min. bis 7,5 Std.	desgl., an 7 Tagen z.T. andauernde Erzitterungen.
April . .	22 Tage	0,25—2,01	17 Min. bis 11 Std.	desgl., an 6 Tagen z.T. andauernde Erzitterungen.
Mai . . .	15 Tage	0,29—0,88	10 Min. bis 3 Std.	z. T. in mehr- facher Wiederholung, an 5 Tagen Erzitterungen.
Juni . . .	22 Tage	0,20—1,03	10 Min. bis 4 Std.	desgl., an 5 Tagen vorüber- gehende Erzitterungen.
Juli . . .	15 Tage	0,20—0,78	2 Min. bis 4 Std.	desgl., an 6 Tagen zeitweise Erzitterungen.
August .	18 Tage	0,35—2,13	6 Min. bis 12 Std.	desgl., an 9 Tagen z.T. andauernde Erzitterungen.

Während der Versuchsdauer fand das Maximum der Mauerbewegung im Jahre 1916 statt, mit 176 Tagen in 10 Monaten (Januar bis Oktober), also durchschnittlich 16 Tage im Monat. Daneben zeigte die Mauer an 57 Tagen mehr oder weniger andauernde Erzitterungen, so daß in 10 Monaten nur 81 Tage, d. h. im Monat durchschnittlich 8 Tage ohne Windbewegungen waren. Dazu kommen die fast täglichen W.O.-Schwankungen, welche das Bild der transversalen Mauerbewegungen vervollständigen.

### 5. Zusammenstellung der Beobachtungen an den zwischen den Fenstergewänden angebrachten Einspannröhren Januar 1912 bis August 1914<sup>1)</sup>

Fenster- bezeichnung:	Monate:	Maximum des Zusamen- schubes in mm:	Zahl der Bewegungs- perioden:	Maximum der Ausdehnung in mm:	Zahl der Bewegungs- perioden:	Maximum der Hebung in mm:	Zahl der Bewegungs- perioden:	Maximum der Senkung in mm:	Zahl der Bewegungs- perioden:
		1 a	Januar bis April	0,09	11	0,22	29	0,95	4

<sup>1)</sup> Die Anzahl der Bewegungsperioden für den Zusammenschub und die Verbreiterung zwischen den Fenstergewänden ist in 7 tägigen Zeitabschnitten bestimmt worden,

Fenster- bezeichnung:	Monate:	Maximum des Zusammen- schubes in mm:		Maximum der Ausdehnung in mm:		Maximum der Hebung in mm:		Maximum der Senkung in mm:	
		Zahl der Bewegungs- perioden:	Maximum der Ausdehnung in mm:	Zahl der Bewegungs- perioden:	Maximum der Hebung in mm:	Zahl der Bewegungs- perioden:	Maximum der Senkung in mm:	Zahl der Bewegungs- perioden:	
1 a	Mai bis Aug.	0,15	13	0,38	31	0,19	3	0,28	8
"	Sept. bis Dez.	—	—	0,94	28	0,09	6	0,05	1
1 b	Januar bis April	0,06	5	0,22	8	0,14	3	0,14	5
"	Mai bis Aug.	0,09	6	0,20	8	0,13	3	0,14	4
"	Sept. bis Dez.	0,03	1	0,10	2	0,38	6	0,09	4
2 a	Januar bis April	0,06	2	0,12	8	0,14	3	0,19	5
"	Mai bis Aug.	—	—	0,08	11	0,14	4	0,14	6
"	Sept. bis Dez.	0,10	3	0,07	8	0,09	6	0,05	3
2 b	Januar bis April	—	—	0,09	10	0,14	4	0,24	5
"	Mai bis Aug.	—	—	0,08	11	0,14	4	0,14	6
"	Sept. bis Dez.	—	—	0,09	12	0,09	3	0,15	7

die Zahl der Hebungen und Senkungen an den benachbarten Mauerpeilern nach einmonatlichen Beobachtungen. Die zweite Dezimalstelle ist nicht an den Maßstäben ablesbar, sondern ergibt sich aus der Rechnung durch Abzug der Wärmeausdehnung der Einspannröhren, welche aus dem Maximum der Sonnenwärme, innerhalb der betreffenden Beobachtungsperiode, bestimmt worden ist. Die Fenster im ersten Obergeschoß sind von Süden nach Norden mit 6 bis 1, das dritte Fenster von Norden im Erdgeschoß (großer Saal) mit 7 bezeichnet; a bedeutet die Fensterhälfte nördlich, b diejenige südlich vom Mittelgewänd (s. Fig. 15, S. 16).

Fenster- bezeichnung:	Monate:	Maximum des Zusammen- schubes in mm:		Maximum der Ausdehnung in mm:		Maximum der Hebung in mm:		Maximum der Senkung in mm:	
		Zahl der Bewegungs- perioden:	Maximum der Ausdehnung in mm:	Zahl der Bewegungs- perioden:	Maximum der Hebung in mm:	Zahl der Bewegungs- perioden:	Maximum der Senkung in mm:	Zahl der Bewegungs- perioden:	
3 a	Januar bis April	0,20	6	0,19	12	0,09	4	0,19	4
"	Mai bis Aug.	0,04	3	0,28	8	0,09	6	0,14	5
"	Sept. bis Dez.	—	—	0,04	3	1,19	4	0,05	3
3 b	Januar bis April	0,25	17	0,30	25	0,12	3	0,09	4
"	Mai bis Aug.	0,12	12	0,38	29	0,14	4	0,09	8
"	Sept. bis Dez.	0,13	18	0,94	31	0,24	6	0,14	6
4 a	Januar bis April	0,10	8	0,94	13	0,14	4	0,14	5
"	Mai bis Aug.	0,23	5	0,12	14	0,14	6	0,09	6
"	Sept. bis Dez.	—	—	0,12	19	0,14	3	0,09	4
4 b	Januar bis April	0,06	3	0,10	11	0,09	3	0,09	3
"	Mai bis Aug.	0,28	3	0,29	25	0,05	2	0,09	8
"	Sept. bis Dez.	0,94	1	0,04	3	0,09	3	0,09	4
5 a	Januar bis April	0,21	20	0,27	20	0,24	3	0,09	6
"	Mai bis Aug.	0,18	25	0,27	18	0,09	4	0,09	8
"	Sept. bis Dez.	0,94	13	0,19	14	0,14	4	0,05	6

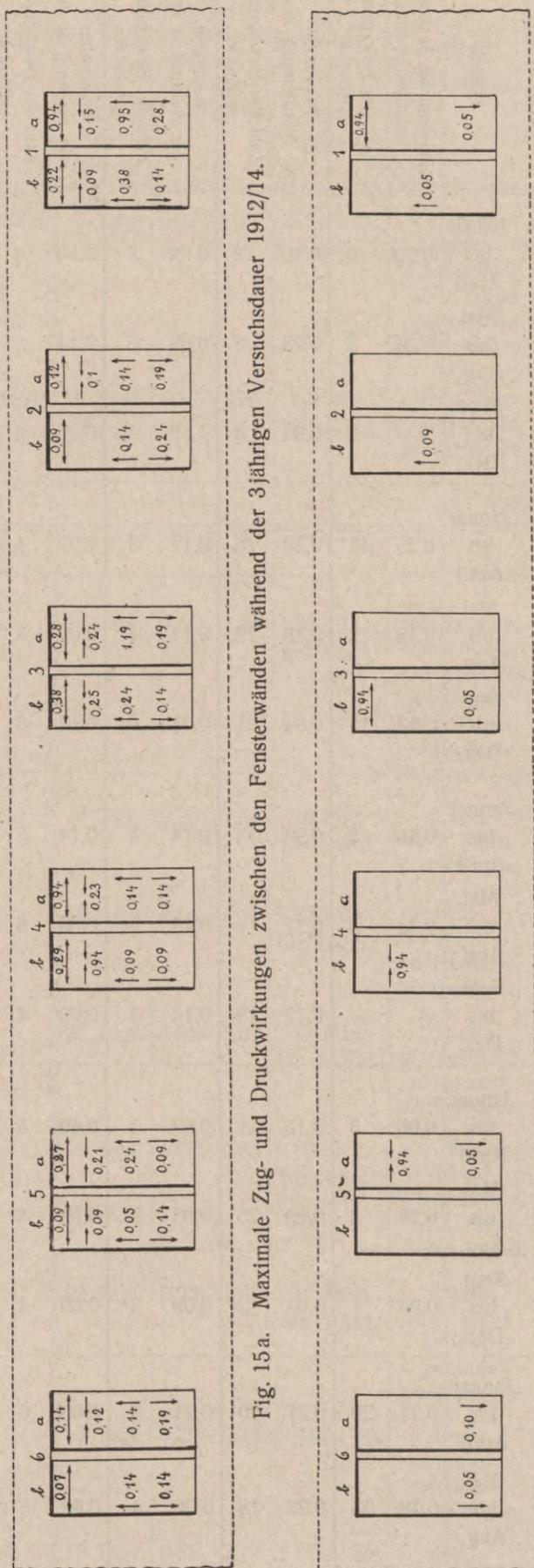


Fig. 15a. Maximaler Zug- und Druckwirkungen zwischen den Fensterwänden während der 3jährigen Versuchsdauer 1912/14.

Fig. 15b. Zug- und Druckwirkungen zwischen dem 26. November und 2. Dezember 1912.

Fensterbezeichnung:	Monate:	Maximum des Zusammenschubes in mm:		Zahl der Bewegungsperioden:		Maximum der Ausdehnung in mm:		Zahl der Bewegungsperioden:	
		Maximum des Zusammenschubes in mm:	Zahl der Bewegungsperioden:	Maximum der Ausdehnung in mm:	Zahl der Bewegungsperioden:	Maximum der Ausdehnung in mm:	Zahl der Bewegungsperioden:		
5b	Januar bis April	—	—	0,09	10	0,05	4	0,14	1
	„ Mai bis Aug.	0,09	10	0,09	11	0,05	3	0,09	3
	„ Sept. bis Dez.	0,07	1	0,07	10	0,05	6	0,14	1
6a	Januar bis April	0,12	10	0,10	8	0,14	3	0,19	3
	„ Mai bis Aug.	0,09	22	0,14	10	0,09	3	0,09	4
	„ Sept. bis Dez.	0,05	4	0,03	3	0,09	9	0,09	3
6b	Januar bis April	—	—	0,06	5	0,09	1	0,14	3
	„ Mai bis Aug.	—	—	0,04	7	0,14	5	0,09	7
	„ Sept. bis Dez.	—	—	0,07	3	0,09	6	0,09	6
7a	Januar bis April	0,05	2	0,01	1	0,09	1	0,09	6
	„ Mai bis Aug.	0,05	3	0,04	2	0,14	6	0,14	4
	„ Sept. bis Dez.	—	—	0,10	9	0,09	4	0,05	3
7b	Januar bis April	0,15	6	0,10	12	0,14	7	0,19	3
	„ Mai bis Aug.	0,05	6	0,11	15	0,19	5	0,24	4
	„ Sept. bis Dez.	0,03	1	0,10	9	0,09	4	0,05	3
Mittelwerte der Bewegungen und Summen der Bewegungsperioden:		0,16	240	0,20	525	0,15	175	0,12	199

Berichtigung: In Fig. 15 a ist zu setzen: Fenster 3 b, Zug 0,94 statt 0,88 und Fenster 5 a, Druck 0,94 statt 0,21.

Die größten Verbreiterungen fanden an den Fensteröffnungen 1a und 4a statt, der größte Zusammenschub am Fenster 4b. Das Maß der Veränderungen erreichte in allen drei Fällen 0,94 mm (Fig. 15a, b).

Der ursprüngliche Plan, die Einspannröhren im Bereich der größten Mauerbewegung, also in den Fensteröffnungen des 1. und 2. Obergeschosses der nördlichen Ausbuchtung anzubringen, gelangte nicht zur Ausführung, weil für die Beobachtung eine dauernde Einrüstung notwendig gewesen wäre. Es wurden deshalb die südlichen Fenster im 1. Obergeschoß, welche von dem flachen Dach der südlichen Räume leicht zugänglich sind, sowie ein Fenster im „großen Saal“ des Erdgeschosses für den gedachten Zweck gewählt, obgleich sich voraussehen ließ, daß hier nur die schwachen Ausläufer der Hauptbewegung wirksam sein würden, welche letztere im Gebiet der nördlichen Mauerausbuchtung anzunehmen sind.

Die vorstehende Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse läßt erkennen, daß infolge unausgesetzter Schwankungen der Mauer, im Innern derselben fortdauernd Ausdehnungen und Zusammenschübe sowie Hebungen und Senkungen stattfinden, welche sich bis an das Ende der Mauer erstrecken und auch im Erdgeschoß zur Wirkung gelangen. Dabei übertrifft im allgemeinen die Größe der Ausdehnungen sowie die Zahl der bezüglichen Bewegungsperioden beträchtlich die des Zusammenschubes, während die durchschnittliche Größe der Hebungen nur um ein Geringes die der Senkungen übersteigt und die Periodenzahl der letzteren etwas größer als die der Hebungen ist.

Die Erklärung dieser Erscheinungen ergibt sich aus folgender Erwägung.

Wenn die Mauer durch abwechselnde Sonnenbestrahlung der Ost- und Westseite eine Ausdehnung und demgemäß eine Ausbuchtung nach der einen oder anderen Richtung erfährt, so werden sich dadurch auch die Fensteröffnungen erweitern, während bei der Rückwärtsbewegung bis zur Mittellage zwar ein Zusammenschub stattfindet, der theoretisch jedoch der Ausdehnung gleich sein müßte, also am Druckmaßstab der Einspannröhren keine Veränderung bewirken könnte, falls die Mauer ein einheitliches, elastisches Gebilde darstellte und jene Bewegungen dauernde Lageänderungen nicht zur Folge hätten. Die Mauer

ist jedoch stark zerklüftet und es finden, wie die geodätischen Messungen an den eingelassenen Visierbolzen ergeben haben, ständig Lageänderungen in den benachbarten Teilen statt, wodurch, je nach Umständen, Druck- und Zugwirkungen ausgelöst werden können. Daneben ist zu berücksichtigen, daß beim Austrocknen des feuchten Mauerwerks ein Schwinden des Gesteinsmaterials eintritt. Übertrifft das Schwindemaß die Wärmeausdehnung, dann wird eine Zusammenziehung im Innern der Mauer, also eine Druckbewegung, stattfinden müssen. Da hiernach die Druckwirkungen von besonderen Verhältnissen abhängig sind und, falls es sich um Schwindungsvorgänge handelt, nur als Differenz zwischen Ausdehnung und Zusammenziehung zur Geltung gelangen, während die Ausbiegung der Mauer fast an allen wärmeren Tagen stattfindet, so wird es erklärlich, daß die Ausdehnung zwischen den Fenstergewänden, an Zahl und Größe, die Zusammenschiebung um ein Beträchtliches übersteigen muß.

Neben der Ausbuchtung in horizontaler Richtung tritt aber auch eine vertikale Verbiegung der Mauer, abwechselnd nach Osten und Westen, auf. Die dadurch hervorgerufene Ausdehnung und Zusammenziehung hat die Hebung und Senkung in den Fenstergewänden zur Folge.

In gleicher Weise wie die periodischen Bewegungen werden auch die Windbewegungen auf die Lageänderungen innerhalb der Mauer einwirken müssen.<sup>1)</sup>

### III. Umfang der durch Mauerbewegung und Verwitterung hervorgerufenen Zerstörung des Gesteinsmaterials an der Hof-Fassade und Rückseite.

Die im vorhergehenden Abschnitt dargelegten Druck- und Zugwirkungen im Innern des Mauerkörpers haben eine Zerstörung des Gesteinsmaterials in größerem Umfange und damit eine stärkere Lockerung der Verbandfestigkeit hervor-

<sup>1)</sup> Sämtliche Pendeldiagramme und Beobachtungslisten befinden sich in Verwahrung der Großh. Bezirks-Bauinspektion zu Heidelberg.



gerufen, als dies durch Verwitterung veranlaßt worden ist. In zahlreichen Fällen läßt sich jedoch erkennen, daß beide Faktoren gemeinsam die Gesteinszerstörung bewirkt haben. Sobald die Werkstücke durch mechanische Einflüsse von Rissen und Sprüngen durchzogen sind, wirkt die Verwitterung und namentlich der Frost in verstärktem Maße auf das Material ein, während andererseits die durch Verwitterung hervorgerufene Einbuße an Festigkeit die mechanische Zerstörung zu erhöhter Wirkung gelangen läßt.

Über den Umfang der durch alle diese Vorgänge verursachten Zerstörung geben die folgenden Tabellen, welche nach den vom Schloßbau-bureau in den Jahren 1883, 1902 und 1908 bewirkten zeichnerischen Aufnahmen und nach eigenen Beobachtungen zusammengestellt sind, einen Anhalt.

a) Hof-Fassade.

	I. Zahl der Werkstücke ohne erhebliche Verwitterung:				II. Zahl der Werkstücke mit mäßiger Verwitterung:				III. Zahl der Werkstücke mit mehr oder weniger starker Verwitterung:			
	frei von Spalten	1 mal zerspalten	2-3 mal zerspalten	mehr als 3 mal zerspalten	frei von Spalten	1 mal zerspalten	2-3 mal zerspalten	mehr als 3 mal zerspalten	frei von Spalten	1 mal zerspalten	2-3 mal zerspalten	mehr als 3 mal zerspalten
2. Obergeschoß:	62	26	17	14	71	13	12	3	18	8	7	3
Gurtgesims und Fries zwischen dem 2. und 1. Obergeschoß:	5	9	2	4	10	1	—	—	10	3	1	—
1. Obergeschoß:	74	23	33	12	9	7	11	5	3	1	2	—
Gurtgesims und Fries zwischen d. 1. Obergeschoß und Erdgeschoß:	3	1	—	—	7	1	5	2	20	1	—	—
Erdgeschoß:	70	24	18	10	38	18	19	2	37	9	11	6
Gesamtzahl der Werkstücke:	214	83	70	40	135	40	47	12	88	22	21	9

Überdies waren zahlreiche Ablösungen, namentlich an den Stoßfugen, festzustellen.

Von den 781 Werksteinen, aus welchen die Hof-Fassade zusammengesetzt ist, zeigten sich demnach bis zum Jahre 1908:

1. ohne erhebliche Verwitterung, frei von Spalten . . . . . 27,4 %,
2. mit mäßiger Verwitterung, frei von Spalten . . . . . 17,3 „,
3. ohne erhebliche, bzw. mit nur mäßiger Verwitterung, einmal zerspalten . . . . . 15,7 „,
4. desgl., mehrfach zerspalten . . . . . 21,6 „,
5. mit mehr oder weniger starker Verwitterung, frei von Spalten . . . . . 11,3 „,
6. desgl., ein- bis mehrfach zerspalten . . . . . 6,6 „.

Mehr oder weniger zerspalten sind demnach 43,9 % aller Werksteine.

b) Rückseite der Mauer.

Die nachstehende Tabelle enthält die Beobachtungen an den in der Hintermauerung befindlichen Werkstücken, soweit sie nicht durch Verputz verdeckt sind. Zum Teil besteht aber die Rückseite auch aus Bruch- und Backsteinmauerwerk, dessen Mörtelfugen in großem Umfang ausgebröckelt sind, während die Backsteine teilweise eine vollständige Zermürbung erfahren haben.

	I. Zahl der Werkstücke ohne erhebliche Verwitterung:				II. Zahl der Werkstücke mit mäßiger Verwitterung:				III. Zahl der Werkstücke mit mehr oder weniger starker Verwitterung:			
	frei von Spalten	1 mal zerspalten	2-3 mal zerspalten	mehr als 3 mal zerspalten	frei von Spalten	1 mal zerspalten	2-3 mal zerspalten	mehr als 3 mal zerspalten	frei von Spalten	1 mal zerspalten	2-3 mal zerspalten	mehr als 3 mal zerspalten
2. Obergeschoß:	36	13	28	29	7	4	7	3	4	6	9	23
1. Obergeschoß:	78	27	39	17	1	2	2	1	19	19	44	4
Erdgeschoß:	87	14	7	—	18	4	2	—	3	—	—	—
	201	54	74	46	26	10	11	4	26	25	53	27

Von den 557 Werksteinen, welche an der Hinterwand sichtbar sind, zeigten sich demnach bis zum Jahre 1908:



1. ohne erhebliche Verwitterung, frei von Spalten . . . . . 36,0 ‰,
2. mit mäßiger Verwitterung, frei von Spalten . . . . . 4,6 ‰,
3. ohne erhebliche bzw. mit nur mäßiger Verwitterung, einmal zerspalten . . . . . 11,5 ‰,
4. desgl., mehrfach zerspalten . . . . . 24,4 ‰,
5. mit mehr oder weniger starker Verwitterung, frei von Spalten . . . . . 4,5 ‰,
6. desgl., ein- bis mehrfach zerspalten . . . . . 18,8 ‰.

Mehr oder weniger zerspalten sind demnach 54,7 ‰ aller Werksteine.

Der Prozentsatz zerklüfteter Quader ist somit an der Hinterwand erheblich größer als an der Hof-Fassade, eine Erscheinung, welche damit im Zusammenhange stehen dürfte, daß die in den Obergeschossen nach Westen überhängende Mauer, bei ihrer periodischen, vorzugsweise nach Osten stattfindenden Verbiegung, eine Zusammenpressung an der Rückseite erfährt, welche sich in Knickwirkungen, namentlich der Pfeilerquader, auslösen muß. (Vergl. die Hebungen und Senkungen der Fenstergewände, Tabelle S. 14—16, Fig. 15b S. 16.)

Wohl mögen die in früheren Jahrhunderten stattgehabten Brände die ersten Zerklüftungen der Mauerquader bewirkt haben. Daß hierin aber nicht, wie behauptet worden, die alleinige Ursache der Spaltenbildung zu suchen ist, geht schon aus der fortdauernden Zunahme derselben hervor.

Als Beispiel hierfür mag die Beobachtung am 3. nördlichen Pfeiler des 2. Obergeschosses dienen (s. Fig. 16):<sup>1)</sup>

im Jahre 1902 wurden festgestellt	17 Spalten,
dazu kamen bis 1908 weitere	15 „ „
„ 1913	20 „ „
„ 1916	15 „ „

Man sieht hieraus, in welchem Maße die mechanische Zerstörung des Materials durch die Mauerbewegung in dem kurzen Zeitraum von

14 Jahren fortgeschritten ist. Eine beträchtliche Zunahme der Sprünge zeigen auch die anderen Pfeiler sowie die übrigen Teile der Mauer, namentlich die Werkstücke in den Fensterbänken und unterhalb derselben.

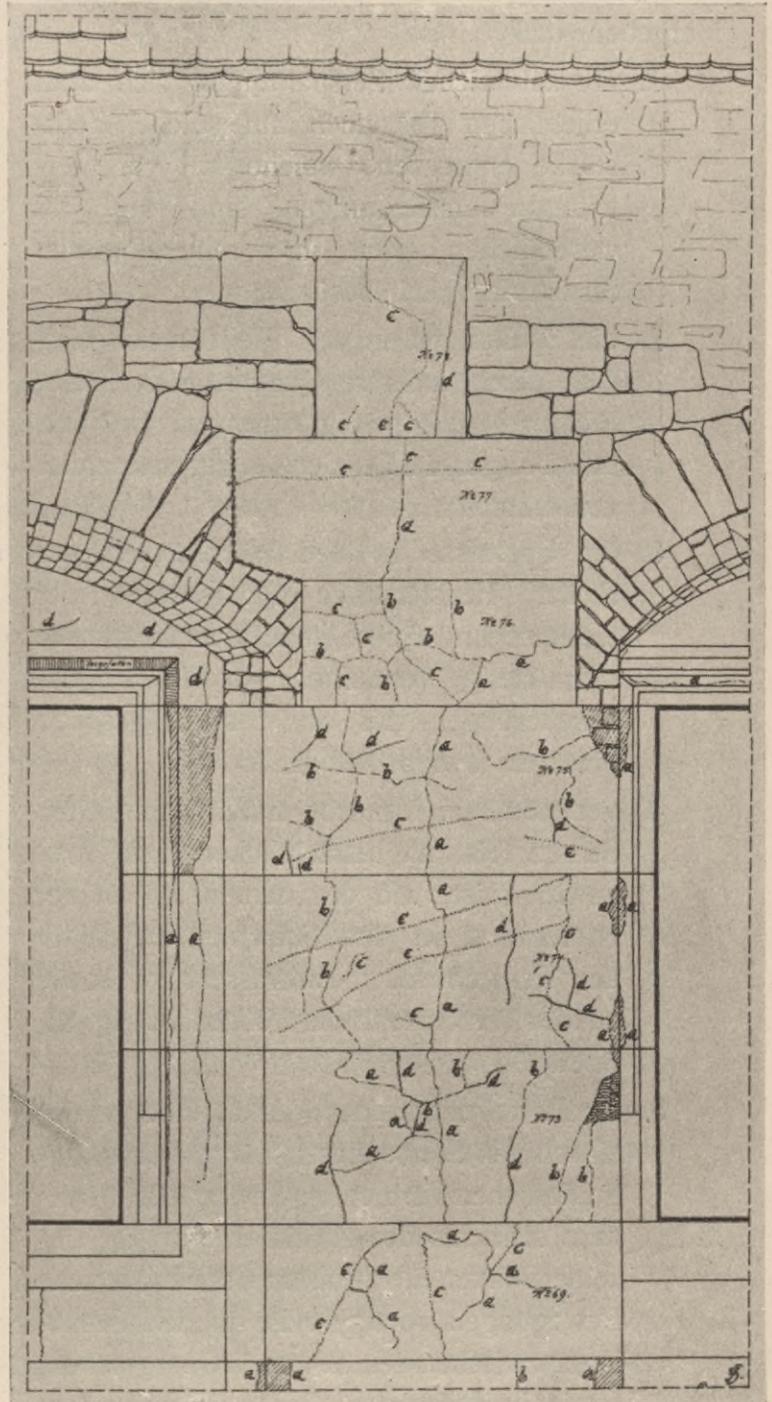


Fig. 16.

- a - - - - - = Beschädigungen festgestellt im Jahr 1883 u. 1902,
- b . . . . . = „ „ „ „ 1908,
- c - · - · - · = „ „ „ „ 1912 u. 1913,
- d ~~~~~ = desgl. 1916.

<sup>1)</sup> Die älteren Beobachtungen sind von dem ehemaligen Schloßbaubureau, die neueren seitens der Bezirks-Bauinspektion ausgeführt worden.

#### IV. Die Beziehungen zwischen der statischen Beanspruchung des sich verbiegenden Mauerwerks und seiner mechanischen Zerstörung.

Die ausgeführten Untersuchungen haben ergeben, daß

1. die zahlreichen Zerspaltungen sich zum erheblichen Teil auch auf solche Werkstücke erstrecken, welche frei von Verwitterungserscheinungen sind und im wesentlichen noch ihre mineralogische Strukturfestigkeit besitzen;
2. die Spaltungen in den Pfeilern sich vielfach durch mehrere Quader in vertikaler Richtung gleichmäßig fortsetzen, und Verschiebungen der Quaderteile gegeneinander vorkommen;
3. die Spaltrisse in den Werkstücken der Pfeiler, Fensterstürze und -bänke, der Gesimse und Friese sämtlicher Geschosse sich stetig vermehren, sowie Fugenerweiterungen bis in das Erdgeschoß hinab zu beobachten sind;
4. der Mörtel z. T. mürbe und an zahlreichen Stellen bis zu beträchtlicher Tiefe ausgewittert ist, wie das namentlich an der Hinterwand in den Schichten unterhalb der Fensternischen-Entwässerung, sowie an der Mauerkrone der Fall ist (s. Fig. 33, S. 36);<sup>1)</sup>
5. die Bewegungen der Mauer, zufolge der einseitigen Sonnenbestrahlung, keine kontinuierlichen Verbiegungen darstellen, sondern sich aus den Knickbewegungen einzelner Mauerteile zusammensetzen, welche Bewegungen vorzugsweise in den Grenzlagen zwischen dem 2. und 1. Obergeschoß, sowie in geringerem Grade zwischen dem letzteren und dem Erdgeschoß stattfinden,

<sup>1)</sup> Gelegentlich der in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts ausgeführten Renovationen hat auch an manchen Stellen, wie namentlich an einzelnen Fensterbögen und Pfeilern der Rückseite, eine Erneuerung der Ausfugung stattgefunden, deren Mörtel noch vorzüglich erhalten ist.

wie das in gleicher Weise auch bei den Windbewegungen der Fall sein dürfte<sup>1)</sup>);

6. die betreffenden Bewegungen Zug- und Druckwirkungen innerhalb der Mauer hervorrufen, welche, infolge der Zerklüftung des Mauerwerks, völlig regellos auftreten und, wie die eingespannten Meßvorrichtungen erkennen lassen, Zusammenschübe und Auseinanderweichungen, verbunden mit Hebungen und Senkungen an benachbarten Fenstergewänden, wechselweise veranlassen.

Aus alledem folgt, daß für die Mauer in ihrer gegenwärtigen Beschaffenheit eine exakte statische Berechnung der aus den täglichen Schwankungen und den Windbewegungen sich ergebenden mechanischen Beanspruchungen nicht zu ermöglichen ist.

Man wird sich deshalb darauf beschränken müssen, die Druck- und Zugspannungen innerhalb der als intakt angenommenen Mauer zu berechnen und damit die Beanspruchungen zu vergleichen, welche sich aus der bekannten Festigkeit des Baugesteins und seiner stattgehabten mechanischen Zerspaltung als Minimalwerte ableiten lassen. Daneben werden auch die aus der Schwerpunktverlegung der sich bewegenden Mauerabschnitte resultierenden Druckwirkungen zu berücksichtigen sein.

Ist der hieraus sich ergebende Unterschied zwischen den Beanspruchungen der intakt gedachten und der zerklüfteten Mauer so beträchtlich, daß im wesentlichen auf die letztgenannten Wirkungen die fortdauernde mechanische Zerstörung der Werkstücke zurückgeführt werden muß, so wird neben der Auswechsellung der verwitterten Architekturglieder auch der Ersatz der zerklüfteten Teile des konstruktiven Mauerwerks an der Rückseite und eine durchgreifende Ausbesserung der Mörtelfugung daselbst als eine dringende Forderung zu erachten sein, um die Verbandfestigkeit der Mauer zu erhöhen und

<sup>1)</sup> Diese Verhältnisse sind in den eingehenden Berichten des Vermessungstechnischen Bureaus nach Maßgabe der Beobachtungen an den über die ganze Fassade gleichmäßig verteilten 137 Visierbolzen dargelegt worden.

damit ihren Bestand auf absehbare Zeit zu sichern.

**1. Die Festigkeit der im Bauwerk verwandten Gesteinsmaterialien.**

Die betreffenden Prüfungen sind größtenteils an Probestücken ausgeführt worden, welche aus dem noch vollkommen frischen Kern der im Wallgraben (sog. Stückgarten) lagernden alten, blockförmigen Bausteine hergestellt wurden. Die Identität mit dem Mauermaterial ist durch mikroskopische Untersuchungen an Dünnschliffen festgestellt worden<sup>1)</sup>.

⊥: Beanspruchung rechtwinkelig zur Schichtung.  
 ||: desgl. parallel zur Schichtung.

Gestein:	Druckfestigkeit in kg/qcm:	Biegefestigkeit in kg/qcm:	Scherfestigkeit in kg/qcm:	Zugfestigkeit in kg/qcm:	Verwendung des Gesteins im Bauwerk:
I. ⊥	1015	92	78	30	Sockel der Hof-Fassade, Pfeiler der Rückwand z. T.
„	813	74	62	24	
II. ⊥	952	87	71	28	glatte Werkstücke d. Hof-Fassade, Gesimse, Fenstergewände u. Fenstergiebel, Pfeiler der Rückwand z. T.
„	646	59	50	19	
III. ⊥	714	65	55	21	glatte Werkstücke, Fenstergewände, Gurtgesimse, Säulen und Pilaster z. T.
„	272	24	21	8	
IV. ⊥	695	62	53	20	Gurtgesimse, Architrave, Säulen u. Pilaster z. T.
„	260	20	20	7	
V. ⊥	684	60	50	20	
„	241	19	18	6	
VI. ⊥	630	49	41	15	Triglyphenfries u. Friese über dem 1. und 2. Obergeschoß.
„	214	13	10	4	

<sup>1)</sup> Näheres über die mineralogische Beschaffenheit der in den nachfolgenden Tabellen unter I—VIII aufgeführten Gesteine siehe: Hirschwald, Die Verwitterung am Otto-Heinrichsbau des Heidelberger Schlosses. Diese Zeitschrift, II. Jahrg., Heft 1, Berlin 1911.

Gestein:	Druckfestigkeit in kg/qcm:	Biegefestigkeit in kg/qcm:	Scherfestigkeit in kg/qcm:	Zugfestigkeit in kg/qcm:	Verwendung des Gesteins im Bauwerk:
VII. ⊥	840	74	60	24	Abdeckung der Fenstergiebel im Erdgeschoß.
„	295	24	19	9	
VIII. ⊥	540	56	51	18	Fensterbekrönung im 1. u. 2. Obergeschoß und Skulpturen in den Fenstergiebeln des Erdgeschosses.
„	132	12	16	5	

Wie in der Praxis allgemein üblich, werden jedoch auch bei den vorliegenden Erwägungen nicht die an ausgewählten kleinen Probekörpern festgestellten Festigkeitsgrade unmittelbar zu berücksichtigen sein, sondern die durch den Sicherheitskoeffizienten für Sandsteine reduzierten Werte. Dies ist hier um so mehr erforderlich, als die Widerstandsfähigkeit des Gesteins, abgesehen von seiner teilweisen Verwitterung, sich in beträchtlichem Maße verringert, durch die Dauer und Häufigkeit der Beanspruchung, der Geschwindigkeit ihres Anwachsens bis zu dem vollen Werte und dem häufigen Wechsel von Druck- und Zugwirkungen (vergl. die Wöhlerschen Versuche).

Für Sandsteinquader im aufgehenden Mauerwerk ist der Sicherheitskoeffizient =  $\frac{1}{10}$ , für freitragende Bauteile =  $\frac{1}{20}$  anzunehmen.

Danach ergeben sich folgende Grenzwerte der zulässigen Beanspruchung:

- ⊥: rechtwinkelig zur Schichtung;
- ||: parallel zur Schichtung;
- g<sub>1</sub>: Grenzwert für den Sicherheitskoeffizienten =  $\frac{1}{10}$ ;
- g<sub>2</sub>: desgl., für  $\frac{1}{20}$ .

Gestein:	Druck:		Biegung:		Scherwirkung:		Zug:	
	in kg/qcm							
	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>						
I. ⊥	102	51	9,0	4,6	7,8	3,9	3,0	1,5
„	81	40	7,4	4,0	6,2	3,1	2,4	1,2

Gestein:	Druck:		Biegung:		Scher- wirkung:		Zug:	
	in kg/qcm							
	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>
II. ⊥	95	48	8,7	4,3	7,1	3,5	2,8	1,4
„	65	35	5,9	2,9	5,0	2,5	1,9	0,9
III. ⊥	71	36	6,5	3,2	5,5	2,7	2,1	1,1
„	27	14	2,4	1,2	2,1	1,1	0,8	0,4
IV. ⊥	70	35	6,2	3,1	5,3	2,6	2,0	1,0
„	26	13	2,0	1,0	2,0	1,0	0,7	0,4
V. ⊥	68	34	6,0	3,0	5,0	2,5	2,0	1,0
„	24	12	1,0	0,9	1,8	0,9	0,7	0,4
VI. ⊥	54	27	4,9	2,5	4,1	2,5	1,5	0,8
„	13	6,5	1,3	0,7	0,5	0,8	0,2	0,1
VII. ⊥	84	42	7,4	3,7	6,0	3,0	2,4	1,2
„	30	15	2,4	1,2	1,9	0,95	0,8	0,4
VIII. ⊥	54	27	5,6	2,8	5,1	2,6	1,6	0,8
„	13	6,5	1,2	0,6	1,6	0,8	0,5	0,25

Anmerkung: In bedeutsamer Weise wird die mechanische Zerstörung des Mauerwerks durch die Frostwirkung gesteigert. Zwar ist der Neckarsandstein in seinen guten Bänken, welche zu den glatten Werkstücken beim Schloßbau und besonders zu den Pfeilern an der Rückseite der Fassadenmauer verwendet worden sind, vorzüglich frostbeständig, und selbst die dünngeschichteten Lagen zeigen erst in verwittertem Zustande Spuren der Frostwirkung. Ist aber ein Gestein von Spalten durchzogen, dann wirkt der Frost auch auf das beste Material zerstörend ein, und zwar sind es vorzugsweise die feinen Risse, welche die Frostwirkung befördern. Erweitern sich die Spalten allmählich in dem Maße, daß sie das eingedrungene Wasser nicht mehr kapillar festzuhalten vermögen, oder sind sie auch nur derartig erweitert, daß der Eisbildung eine freie Ausdehnung nach der offenen Seite ermöglicht ist, so wird dadurch die zerstörende Wirkung des Frostes aufgehoben.

Wie bereits erwähnt, dürfte schon durch die in früheren Jahrhunderten stattgehabten Brände

eine Rißbildung in den Gesteinsquadern, namentlich der Rückseite, vielfach hervorgerufen worden sein. In wenigen Jahrzehnten werden sich aber jene ersten Risse durch die Frostwirkung in dem Grade erweitert haben, daß sie für die weitere Zerstörung durch den Frost nicht mehr in Betracht kommen.

Die fortdauernde und stetig zunehmende Rißbildung im Gestein kann daher nur der mechanischen Beanspruchung zugeschrieben werden und diese ist es demnach, welche, unterstützt durch den Frost, die Zerklüftung des Mauerwerks gegenwärtig bewirkt.

## 2. Verbiegung der Mauer durch einseitige Erwärmung.

Legt man der Untersuchung die beobachtete maximale Temperaturdifferenz an der West- und Ostseite von 15° C zugrunde, und nimmt man zunächst an, daß die Mauer noch ein einheitliches Gebilde darstelle, so würde sich folgende Berechnung ergeben<sup>1)</sup>.

a) Krümmung der Pfeiler (Fig. 17 a). Dieselbe erfolgt nach der Formel:

$$\delta_1 = \frac{\epsilon \Delta t}{d} \int_0^h x \cdot dx = \epsilon \Delta t \frac{h^2}{2d}$$

worin

$\delta_1$  die obere Abweichung des Pfeilers von der lotrechten Lage,

$\epsilon$  den Wärme-Ausdehnungskoeffizienten,  
 $\Delta t$  die Temperaturdifferenz an beiden Pfeilerseiten,  
 $d$  die mittlere Stärke des Pfeilers,  
 $x$  den Abstand des Querschnittes von der unteren Einspannung,  
 $dx$  das Differential der Höhe (Elementarzuwachs) und  
 $h$  die Höhe des Pfeilers bedeutet.

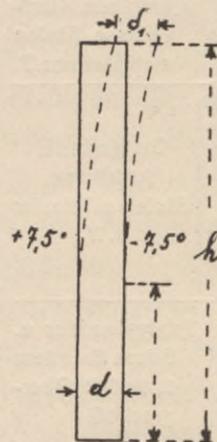


Fig. 17 a.

<sup>1)</sup> Die statischen Rechnungen sind von dem Konstruktions-Ingenieur an der Technischen Hochschule Herrn Dr.-Ing. K. Pohl ausgeführt worden.

Ist  $\varepsilon = 0,000\ 008$ ,  $\Delta t = 15^\circ$ ,  $d = 1,0$  m und  $h = 18$  m, so ergibt sich

$$\delta_1 = \frac{8 \cdot 15 \cdot 324}{1\ 000\ 000 \cdot 2 \cdot 1} = 0,019\ \text{m} = 19\ \text{mm},$$

also eine Abweichung der Oberkante des Pfeilers von der Lotlinie um 19 mm nach der Schattenseite.

b) Krümmung des wagerecht durchgehenden Mauerwerks (Fig. 17b).

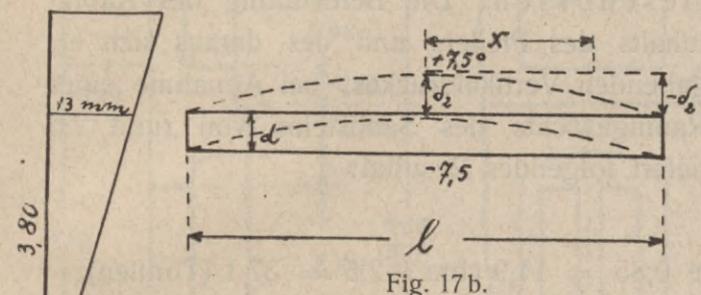


Fig. 17b.

Die hierfür geltende Formel ist:

$$\delta_2 = \frac{\varepsilon \Delta t}{d} \int_0^l x \cdot dx = \frac{\varepsilon \Delta t}{d} \cdot \frac{l^2}{8}$$

Da  $l = 31$  m, so ist

$$\delta_2 = \frac{8 \cdot 15 \cdot 960}{1\ 000\ 000 \cdot 1 \cdot 8} = 0,014\ \text{m} = 14\ \text{mm}$$

oder am Pendelpfeiler  $\approx 9$  mm.

Die Bewegungen  $\delta_1$  und  $\delta_2$  bzw.  $\delta_3$  sind entgegengesetzt und ihre Resultierende hängt von der bezüglichen Differenz ab. Demnach wird in der Oberkante der Mauermitte eine Bewegung von ca.  $19 - 14 = 5$  mm nach der Schattenseite erfolgen, am Pendelpfeiler eine Bewegung von ca.  $19 - 9 = 10$  mm, was mit der beobachteten Maximalabweichung des betr. Pfeilers nahezu übereinstimmt.

Nach unten hin nimmt aber die Ausbiegung  $\delta_1$  des Pfeilers schnell ab, während die Ausbuchtung  $\delta_2$  bzw.  $\delta_3$  in den beiden Obergeschossen nur wenig voneinander verschieden sein wird. Es überwiegt also nach oben  $\delta_1$  nach unten  $\delta_2$ ; dazwischen liegt ein Nullpunkt.

Dieses Ergebnis entspricht den an den Visierbolzen ausgeführten Beobachtungen der

Pfeilerverbiegung, wie sie in Fig. 18 schematisch dargestellt ist. Die Knicklinie k der Hinterseite liegt innerhalb der an der Grenze zwischen dem 2. und 1. Obergeschoß horizontal durchgehenden Mauer-schicht, welche aus kleinen, flachen, unregelmäßigen Bruchsteinen besteht, zwischen denen der Mörtel fast vollkommen ausgewittert ist (s. Fig. 33, S. 36), so daß diese Lage zu den schwächsten Teilen der Mauer gehört.

c) Horizontalspannung im Mauerwerk. Denkt man sich einen horizontal durchgehenden Mauerteil als beiderseits eingespannten Balken, so ergibt sich zunächst, falls der Balken unmittelbar vor dem einen Ende durchgeschnitten wäre (Fig. 19a), folgende Ausbiegung:

$$\delta_3 = \frac{\varepsilon \Delta t}{d} \int_0^l x \cdot dx$$

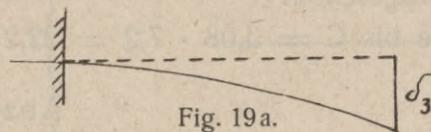


Fig. 19a.

Das Moment  $\mathfrak{M}$  erzeugt eine Formänderung (Fig. 19b):

$$\delta_4 = \int \frac{\mathfrak{M} \cdot x \cdot dx}{E \cdot J}$$

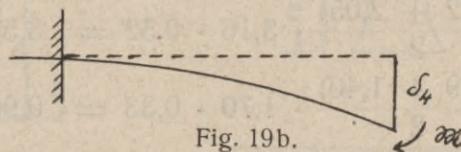


Fig. 19b.

Wird die Durchbiegung durch die Einspannung verhindert, so gehört dazu ein Moment  $\mathfrak{M}$ , das sich aus  $\delta_3 - \delta_4 = 0$ , d. h.

$$\frac{\mathfrak{M}}{E J} \int x \cdot dx = \frac{\varepsilon \Delta t}{d} \int x \cdot dx$$

berechnen läßt, und es ergibt sich

$$\mathfrak{M} = \frac{\varepsilon \Delta t \cdot E J}{d}$$

Setzt man den Elastizitätsmodul  $E = 30\ 000$  kg/cm und das Trägheitsmoment  $J = 1,3 \cdot \frac{1,0^3}{12}$ , so ist

$$\mathfrak{M} = \frac{8 \cdot 15 \cdot 300\ 000 \cdot 1,3 \cdot 1,0^3}{1\ 000\ 000 \cdot 1,0 \cdot 12} = 1,3 \cdot 3,0\ \text{tm}.$$

Fig. 18.

Für 1 m Höhe des Mauerwerks ist demnach  $\mathfrak{M} = 3,0 \text{ tm}$ . Da aber das Widerstandsmoment  $W = 1,0 \cdot \frac{1,0^2}{6} = \frac{1}{6} \text{ m}^3$  ist, so würde  $\Delta \sigma = 3 \cdot 6 = 18/\text{tm}^2 = 1,8 \text{ kg/cm}^2$  sein.

Der Spannungszuwachs in horizontaler Richtung wäre demnach für das fehlerfreie, zusammenhängende Mauerwerk so gering, daß dadurch eine Zerstörung desselben kaum in Betracht kommen kann.

Sind dagegen die Werkstücke z. T. zersprungen und der Mörtel zermürbt, wie das schon als Folge der ehemals stattgehabten Brände angenommen werden darf, oder sind

die Werkstücke und Backsteine z. T. verwittert, so kann ein Spannungszuwachs von  $1,8 \text{ kg/cm}^2$ , zumal in Verbindung mit einem unregelmäßigen Vertikaldruck, eine weitere Zerstörung des Mauerwerks, insbesondere auch eine Fugenablösung sehr wohl bewirken.

d) Druck des sich verbiegenden Pendelpfeilers in den einzelnen Geschossen. Die Berechnung des Kubikinhalts des Pfeilers und des daraus sich ergebenden Vertikaldruckes, bei Annahme eines Raumgewichts des Sandsteins von rund 2,5 liefert folgendes Resultat:

### 2. Obergeschoß (Fig. 20, 21):

Fläche bis A =  $3,08 \cdot 5,7 = 17,5 \text{ qm}$ . Stärke 0,85 =  $14,9 \text{ cbm} \cdot 2,5 = 37 \text{ t}$  (Tonnen).

#### 1. Obergeschoß:

Fläche bis B =  $3,08 \cdot 5,1 = 15,7 \text{ qm}$ . Stärke 0,99 =  $15,6 \text{ cbm} \cdot 2,5 = 39 \text{ t}$ .

#### Erdgeschoß:

Fläche bis C =  $3,08 \cdot 7,2 = 22,2 \text{ qm}$ . Stärke 1,18 =  $26,2 \text{ cbm} \cdot 2,5 = 65 \text{ t}$ .

### Abzug der Öffnungen:

A. $1,40 \cdot 1,70 = 2,4 \text{ qm}$ .	Rest: 15,1 qm.
B. $1,40 \cdot 2,24 = 3,1 \text{ „}$ .	„ : 12,6 „.
C. $1,40 \cdot 3,50 = 4,9 \text{ „}$ .	„ : 17,3 „.

### Abzug des Kubikinhalts der Öffnungen:

A. $\frac{(2,22 + 2,05)}{2} \cdot 3,16 \cdot 0,52 = 3,5 \text{ cbm}$	} $\frac{-0,84^2 \cdot 3,14}{8} \cdot 2,45 \cdot \frac{1}{3} = 0,23 = 2,38 \text{ cbm}$ } (0,28) $\cong 6 \text{ t}$
$\frac{(1,79 + 1,40)}{2} \cdot 1,70 \cdot 0,33 = 0,90 \text{ „}$	
B. $\frac{(2,35 + 2,13)}{2} \cdot 3,60 \cdot 0,66 = 5,32 \text{ cbm}$	} $\frac{-0,84^2 \cdot 3,14}{8} \cdot 2,35 \cdot \frac{1}{3} = 0,22 = 3,92 \text{ cbm}$ } $\cong 10 \text{ t}$
$\frac{(1,79 + 1,40)}{2} \cdot 2,24 \cdot 0,33 = 1,18 \text{ „}$	
C. $\frac{(2,42 + 2,11)}{2} \cdot 5,20 \cdot 0,85 = 10,0 \text{ cbm}$	} $\frac{-0,84^2 \cdot 3,14}{8} \cdot 2,4 \cdot \frac{1}{3} = 0,22$ } $\cong 8,10 \text{ t}$ } $+ 0,20 \cdot 0,77 \cdot 1,1 = 0,17$ } $\cong 20 \text{ t}$
$\frac{(1,81 + 1,40)}{2} \cdot 3,50 \cdot 0,33 = 1,85 \text{ „}$	

Figur auf der Bekrönung:  $\cong 0,28 \cdot 2,4 \cdot \frac{2}{3} \cdot 2,5 \cong 1 \text{ t}$ .

### Pfeilerquerschnitte (Fig. 22a, b, c, 23).

$$A = \frac{0,86 + 1,03}{2} \cdot 0,52 + \frac{1,29 + 1,66}{2} \cdot 0,33 = 0,49 + 0,49 = 0,98 \text{ qm},$$

$$B = \frac{0,73 + 0,95}{2} \cdot 0,66 + \frac{1,29 + 1,69}{2} \cdot 0,33 = 0,55 + 0,49 = 1,04 \text{ „},$$

$$C = \frac{0,66 + 0,97}{2} \cdot 0,85 + \frac{1,27 + 1,66}{2} \cdot 0,33 = 0,69 + 0,49 = 1,18 \text{ „}.$$

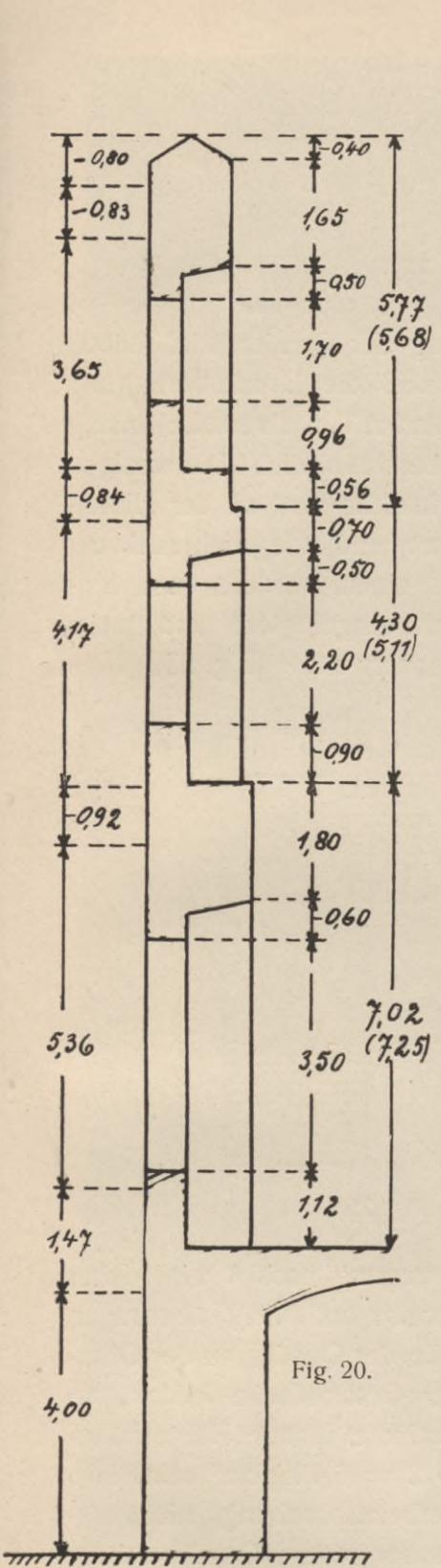


Fig. 20.

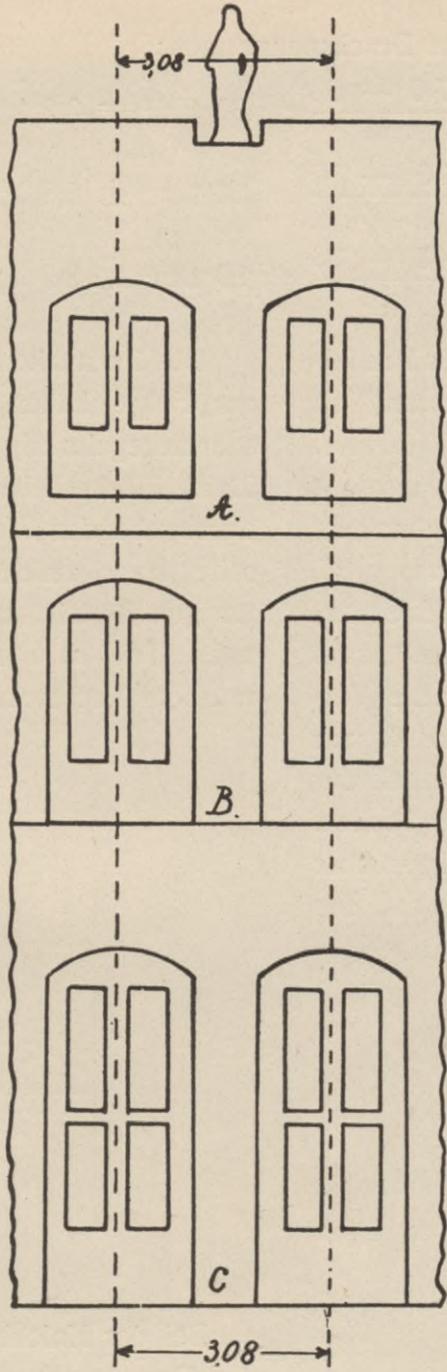


Fig. 21.

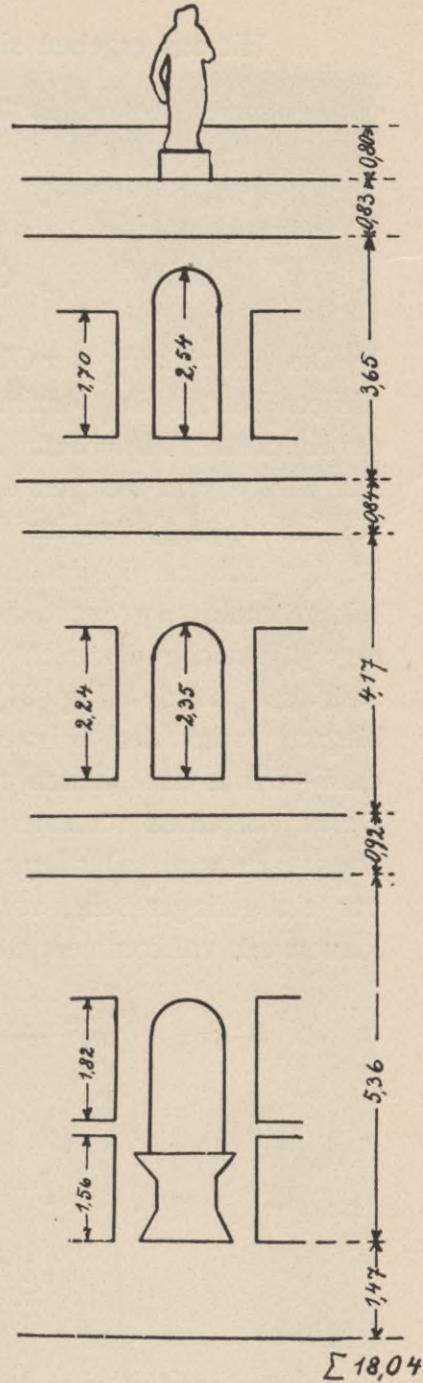


Fig. 23.

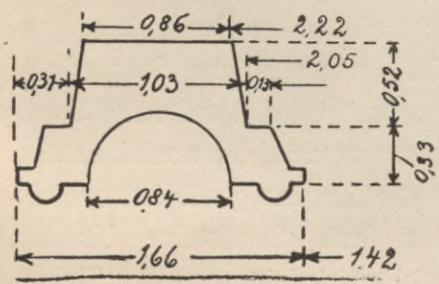


Fig. 22a.

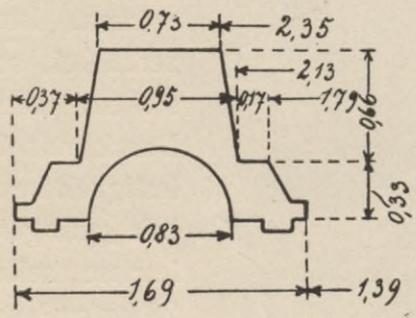


Fig. 22b.

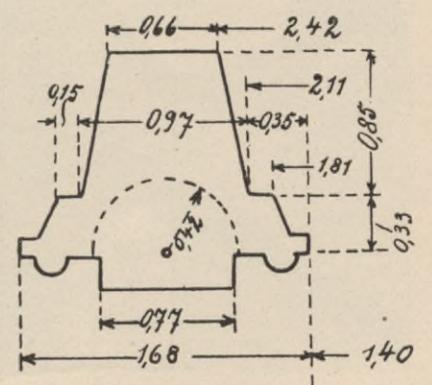


Fig. 22c.

Hieraus ergeben sich folgende Druckspannungen:

$$\text{In A: } \sigma^a = \frac{37,0 - 6}{0,98} = 32 \text{ t/m}^2 \approx 3,2 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\text{„ B: } \sigma^b = \frac{76 - 16}{1,04} = 58 \text{ t/m}^2 \approx 5,8 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\text{„ C: } \sigma^c = \frac{141 - 36}{1,18} = 89 \text{ t/m}^2 \approx 8,9 \text{ kg/cm}^2.$$

Die Abweichung der Oberkante des Pendelpfeilers beträgt im Maximum = 13 mm, an der Knicklinie A/B = 3 mm, Differenz = 10 mm. Der Winkel, um welchen der obere Mauerteil A von 3,8 m Länge von der Vertikallinie abweicht, ist demnach ca. 6 Minuten und ebenso groß, rein geometrisch gedacht, die Öffnung der Grenz-fuge  $g$ , welche demnach vorn um ca. 2 mm aufklaffen würde (Fig. 24). Durch die Verbiegung wird der Schwerpunkt von A um ca. 5–6 mm nach hinten verlegt, wodurch der Druck auf einen schmalere Teil des Pfeilers übertragen wird. Der Druckzuwachs kann aber nur ein geringer sein, vorausgesetzt, daß das Mauerwerk vollkommen intakt wäre.

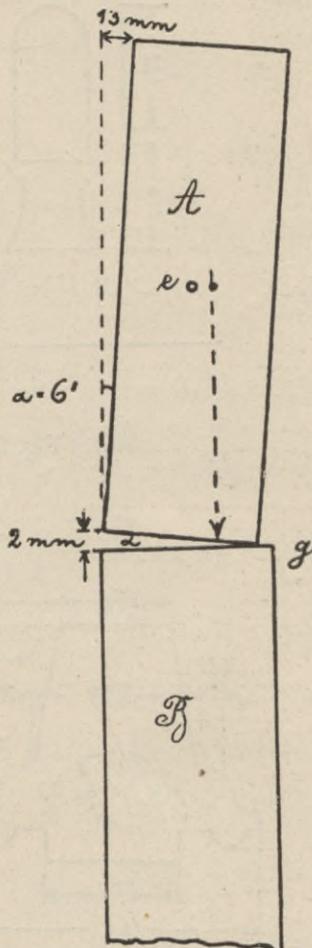


Fig. 24.

Die Zerstückelung der Quader wird jedoch zur Folge haben, daß die Druckübertragung sehr unregelmäßig und z. T. auf verhältnismäßig kleine Flächenteile beschränkt ist. Die wenigen durchgehenden Werkstücke sind an der Hinterseite stark zerklüftet und die Mehrzahl der übrigen besteht aus einem vorderen und hinteren Teil  $a, b$  mit eingefügtem und meist mürbem Backsteinmauerwerk  $c$  (Fig. 25).

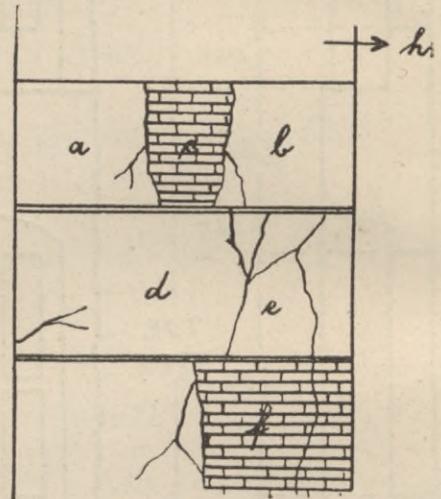


Fig. 25.

Bei der Knickbewegung nach  $h$  wird daher der Druck vorzugsweise auf  $b, e, f$  übertragen und wenn diese Teile der Quader an der Oberfläche etwa  $\frac{1}{2}$  der Gesamtfläche bilden, so würde der Druck auf die hintere Hälfte näherungsweise =  $3,2 \cdot 2 = 6,4 \text{ kg/cm}^2$  sein, also die zulässige Scherbeanspruchung nicht erreichen. Ist jedoch der untere Quader schräg zerklüftet, so daß keilförmige Spaltstücke entstehen, dann wird, wenn solche Stücke den Druck aufnehmen, das Material auf seine Spaltfestigkeit beansprucht werden, die noch beträchtlich geringer als die Zugfestigkeit ist, welche letztere selbst für feste Sandsteine bis auf  $28 \text{ kg/cm}^2$  und bei Berücksichtigung des Sicherheitskoeffizienten auf  $2,8 \text{ kg/cm}^2$  herabgeht. Es



Fig. 26. Stark zerklüfteter Pfeiler im 1. Obergeschoß.

wird also, unter der gedachten Voraussetzung, eine Spaltwirkung erzeugt, die als hinreichend zu erachten ist, den Quader des weiteren zu zerklüften, zumal wenn die fragliche Druckwirkung sich fast täglich wiederholt, wie das tatsächlich der Fall ist. Da ferner die Bruchstücke sich gegeneinander verschieben, so werden stetig veränderte Beanspruchungen auftreten.

Als Beispiel für die Wirkung der ungleichen Druckverteilung mag ein stark zerklüfteter Pfeiler im 1. Obergeschoß (Fig. 26, S. 27) dienen.

Die Quader *1a* und *1b*, von ungleicher Höhe, sind durch eine etwa 13 cm breite Zwischenmauerung getrennt. Der Druck bei der Mauerverbiegung wird vorzugsweise von dem Quader *1a* aufgenommen, der tatsächlich auch gegen *1b* um etwa 3,5 cm nach unten gerückt ist. Infolgedessen ist der darunter

liegende Quader zerspalten, und zwar in sechs Teile *2a-f*. Der vertikale Spalt in *2* geht von der linken Kante des Quaders *1a* aus und es hat überdies die Spannung eine zweifache horizontale Aufklaffung nach der Schichtung verursacht. Der Quader *2e* hat mit seiner etwa 7 cm breiten Auflagerungsfläche den Quader *3a* an der rechten Seite unregelmäßig abgeschert und links zerklüftet. Dadurch ist wiederum die Unterlage *4* durch zwei vertikale Spalten in drei Stücke *4a-c* zersprengt worden. Es darf angenommen werden, daß bei diesem Zerstörungsprozeß neben der periodischen Bewegung der Mauer auch die in gleichem Sinne wirkende Windbewegung wirksam gewesen ist.

Die Abbildung läßt übrigens erkennen, daß bereits früher Ausfugungen der entstandenen Spalten (s. *1a* und *4a*) stattgefunden haben.

### 3. Berechnung der Widerstandsmomente für die Beurteilung des Winddrucks.

A. (Fig. 27.)

Querschnitt:

$$\begin{array}{rcl}
 F = & 1,03 \cdot 0,52 = & 0,535 \cdot 0,26 = + 0,139 \\
 & 1,60 \cdot 0,33 = & 0,558 \cdot 0,685 = + 0,3822 \\
 & - 0,085 \cdot 0,52 = & - 0,044 \cdot 0,173 = - 0,017 \\
 & - 0,20 \cdot 0,33 = & - 0,066 \cdot 0,63 = - 0,042 \\
 & & \hline
 & & 0,983 \qquad \qquad \qquad 0,462.
 \end{array}$$

Daraus ergibt sich:

Abstand des Schwerpunktes von der hinteren Fläche:  $\eta^h = 0,47$  m,

„ „ „ „ vorderen „ :  $\eta^v = 0,38$  m.

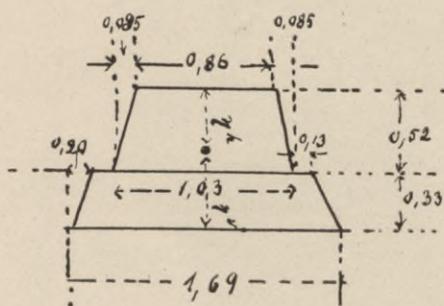


Fig. 27.

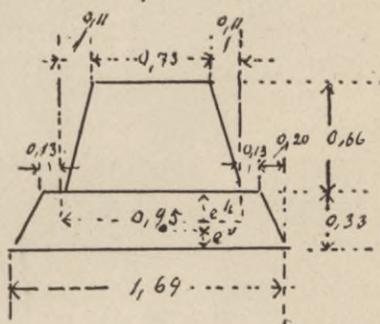


Fig. 28.

Das Trägheitsmoment ist demnach:

$$\begin{array}{rcl}
 J = & \frac{1}{3} \cdot 1,03 \cdot 0,52^3 = & + 0,048273 \text{ m}^4 \\
 & \frac{1}{12} \cdot 1,69 \cdot 0,33^3 = & + 0,00507 \text{ „} \\
 & + 0,382 \cdot 0,685 = & + 0,261670 \text{ „} \\
 & - \frac{1}{12} \cdot 0,17 \cdot 0,52^3 = & - 0,001992 \text{ „} \\
 & - \frac{1}{36} \cdot 0,40 \cdot 0,33^3 = & - 0,000400 \text{ „} \\
 & - 0,042 \cdot 0,63 = & - \dots - 0,026460 \text{ „} \\
 & & \hline
 & & 0,286161 \text{ m}^4.
 \end{array}$$

Hiernach sind die Widerstandsmomente für die Berechnung der Spannungen:

(an der hinteren Seite)  $W^h = J/0,47 = 0,610 \text{ m}^3$ ,  
 ( " " vorderen " )  $W^v = J/0,38 = 0,753 \text{ m}^3$ .

B. (Fig. 28.) Querschnitt:

$$\begin{array}{rcl}
 F = & 0,95 \cdot 0,66 = & 0,627 \cdot 0,33 = + 0,2069 \\
 & 1,69 \cdot 0,33 = & 0,558 \cdot 0,825 = + 0,4603 \\
 & - 0,11 \cdot 0,66 = & - 0,073 \cdot 0,22 = - 0,0161 \\
 & - 0,20 \cdot 0,33 = & - 0,066 \cdot 0,77 = - 0,0508 \\
 & & \hline
 & & 1,046 \text{ m}^2 \qquad + 0,6003.
 \end{array}$$

Demgemäß:

Abstand des Schwerpunktes von der hinteren Fläche:  $\eta^h = 0,57 \text{ m}$ ,  
 " " " " " " vorderen " :  $\eta^v = 0,42 \text{ m}$ .

Das Trägheitsmoment ist somit:

$$\begin{array}{l}
 J = \frac{1}{3} \cdot 0,95 \cdot 0,66^3 = + 0,091042 \text{ m}^4 \\
 \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{12} \cdot 1,69 \cdot 0,33^3 = + 0,005070 \text{ " } \\ + 0,4603 \cdot 0,825 = + 0,379747 \text{ " } \end{array} \right. \\
 - \frac{1}{12} \cdot 0,22 \cdot 0,66^3 = - 0,005271 \text{ " } \\
 \left\{ \begin{array}{l} - \frac{1}{36} \cdot 0,40 \cdot 0,33^3 = - 0,000400 \text{ " } \\ - 0,058 \cdot 0,77 = - \dots - 0,039116 \text{ " } \end{array} \right.
 \end{array}$$

Daraus ergeben sich die Widerstandsmomente für die Berechnung der Spannungen:

(an der hinteren Seite)  $W^h = J/0,57 = 0,755 \text{ m}^3$ ,  
 ( " " vorderen " )  $W^v = J/0,42 = 1,025 \text{ m}^3$ .

Einfluß des Windes von  $100 \text{ kg/m}^2$ .

Das Biegemoment bei der Windbeanspruchung ist für die obere Fuge:

$$M a = 0,1 \cdot 15,1 \cdot 2,84 = 4,29 \text{ t/m.}$$

Der Zuwachs an Spannung für die hintere Seite:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma^h = 4,29 : 6,10 = 7,0 \text{ t/m}^2, \\ \text{für die vordere Seite:} \\ \sigma^v = 4,29 : 0,753 = 5,7 \text{ " } \end{array} \right\} \sigma^h = 32 \text{ t/m}^2.$$

Das Biegemoment für die untere Fuge:

$$M b = 0,1 \cdot 27,7 \cdot \frac{5,68 + 5,11}{2} = 15 \text{ t/m,}$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma^h = 15 : 0,755 = 20 \text{ t/m}^2, \\ \sigma^v = 15 : 1,025 = 14,6 \text{ " } \end{array} \right\} \sigma^h = 58 \text{ t/m}^2.$$

Da die Spannungen infolge des Eigengewichts in A = 32 und in B = 58 t/m<sup>2</sup> betragen, so ergeben sich die Maximalspannungen:

in A = 32 + 7 = 39 t/m<sup>2</sup>,  
 in B = 58 + 20 = 78 " .

Die Resultante liegt somit noch im Mauerkerne.

Nimmt man aber an, daß infolge der Knickbewegung an den mangelhaft beschaffenen

Geschoßgrenzen der Druck von  $N = 60 \text{ t}$  nahe der hinteren schmalen Seite des Pfeilers konzentriert wirkt, so wäre im Grenzfall eine lotrechte Schnittfläche  $ab$  (Fig. 29) durch die ganze Auflast  $N$  auf Abscherung beansprucht.

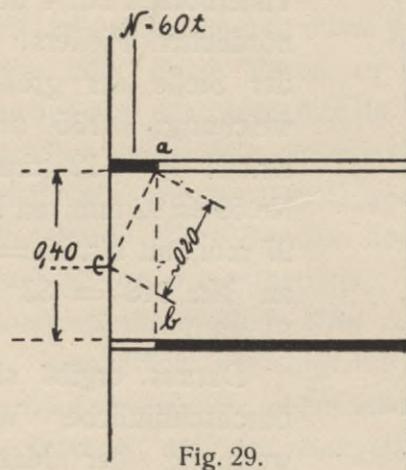


Fig. 29.

Bei  $0,75 \text{ m}$  Breite und  $0,40 \text{ m}$  Höhe eines Quaders ist dann die beanspruchte Fläche =  $0,75 \cdot 0,40 = 0,30 \text{ qm}$  und die Scherspannung

$$\tau \approx \frac{60}{0,30} = 200 \text{ t/m}^2 = 20 \text{ kg/cm}^2.$$

Nahezu dieselbe Scherkraft wirkt aber auf die schrägen Schnittflächen von geringerer Größe. In der Fläche  $ac$  z. B., die etwa in halber Höhe des Quaders austritt, ein Fall, der tatsächlich vorkommt, würde die Scherspannung ungefähr das Doppelte betragen, also

$$\tau \approx 40 \text{ kg/cm}^2$$

sein. Das würde hinreichen, um selbst feste Werkstücke an den Kanten abzuscheren. Ist das Material aber durch Verwitterung bereits mürbe geworden, so genügt naturgemäß ein ungleich geringerer Druck, um eine Abscherung zu bewirken, und es würde dieselbe alsdann auch in senkrechter Fläche erfolgen können.

Die durch die ganze Tiefe des Pfeilers hindurchgehenden Werkstücke werden bei zerstückelter Auf- und Unterlage überdies stark auf Biegung beansprucht werden.

Was die dauernde westliche Ausbuchtung der Mauer betrifft, so betrug dieselbe nach den Aufnahmen des Vermessungstechnischen Bureaus vom Jahre 1912 am oberen Visierbolzen Nr. 4 des dritten nördlichen Pfeilers, also an der Stelle der größten Abweichung, 135 mm, an Nr. 17 = 112 mm, an Nr. 59 = 92 mm, an Nr. 87 = 97 mm, an Nr. 99 = 49 mm, an Nr. 113 = 33 mm (s. Fig. 30).

Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Winkelabweichung der Mauer von ca. 22 Minuten. Die hierdurch bewirkte Verschiebung des Schwerpunktes beträgt für den ganzen Pfeiler ca. 4,3 cm, für den Pfeilerteil des 2. Obergeschosses ca. 6 cm nach

Westen. Der Schwerpunkt liegt also noch im mittleren Drittel des Pfeilerquerschnitts. Ein erheblicher Zuwachs der Druckspannung auf das intakt gedachte Mauerwerk würde also durch die Schwerpunktverlegung nicht bewirkt werden, wohl aber wird auch in diesem Falle die Wirkung auf die zerklüfteten Werkstücke unter Umständen nicht unerheblich sein, zumal bei stetem Wechsel in der Druckbeanspruchung, wie er infolge Mauerschwankungen stattfindet.

Anhangsweise sei auch der Einfluß erörtert, den die im Gebiet des Rheines und seiner Nebentäler nicht selten auftretenden Erdbeben auf die Stabilität des Bauwerks auszuüben vermögen.

Das stärkste Erdbeben während der Versuchszeit fand zum Beginn derselben, am 16. November 1911 statt. 4 Sekunden nach dem Einsetzen der Erschütterung, welche mit kleinen Schwingungen anhub, ergab das Pendel eine Ausweichung von 2,01 mm nach Osten und 2,24 mm nach Westen, welcher Bewegung, unmittelbar darauf, eine Ausweichung von 2,55 mm W und 1,73 mm O folgte. Während 40 Sekunden verzeichnete das Pendel alsdann Ausschwingungskurven und hierauf setzten weitere schwache Bewegungen von ca. 0,12 mm nach O und W ein, welche im ganzen 4 Min. 11 Sek. anhielten.

Berücksichtigt man, daß bei der Erdbewegung die Pendelabweichungen nicht nur durch die Mauerschwingungen, sondern auch durch die Schwankungen des Pendelfundaments bedingt werden, so wird man die Mauerbewegung erheblich geringer veranschlagen dürfen, als sie bei starker Windeinwirkung hervorgerufen wird. Da es sich ferner bei der fraglichen Erschütterung nur um die Wirkung zweier größerer Stöße handelte, während die Mauer durch den Winddruck bis 50 Schwingungen in der Minute macht und diese Bewegungen oft stundenlang andauern, so erscheint es ausgeschlossen, daß Erdbeben der betreffenden Intensität einen namhaften Einfluß auf den Bestand der Ruine ausüben können.

Das Ergebnis der vorstehenden Berechnungen und Erwägungen läßt sich wie folgt zusammenfassen:

1. Innerhalb der freistehenden Mauer, als fehlerfreies, zusammenhängendes Gebilde gedacht, würden weder die beobachteten periodischen Schwankungen noch die Windbewegungen imstande sein Spannungen zu erzeugen, welche groß genug sind, eine Zerstörung des Gesteinsmaterials und seines Verbandes in erheblichem Maße zu bewirken.
2. Erst die Zerklüftung des Mauerwerks, sowie die Zermürbung des Gesteins durch Ver-

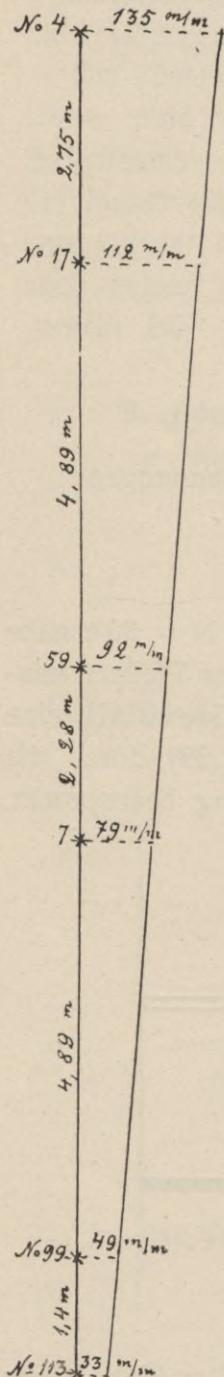


Fig. 30.

Maßstab:  
Höhe 1:100.  
Seiten-  
abweichung 1:10.

witterung, verursachen eine derartige ungleichmäßige Druckverteilung bzw. Verminderung der Gesteinsfestigkeit, daß die stattfindenden Bewegungen der Mauer einen zerstörenden Einfluß auf das Baumaterial auszuüben vermögen.

3. Es darf daher angenommen werden, daß durch Ersatz der zerklüfteten oder verwitterten Werkstücke, des zermürbten Backsteinmauerwerks und der mangelhaften Mörtelfugung eine solche Erhöhung der Verbandfestigkeit zu erzielen ist, daß der zerstörende Einfluß der Mauerbewegung für absehbare Zeit beseitigt wird, selbst wenn die Gesamtbewegung durch jene Ersatzarbeiten nicht in beträchtlichem Grade vermindert werden sollte.

#### V. Folgerungen aus den Untersuchungsergebnissen für die Ausführung der Renovationsarbeiten.

Der seiner Zeit von dem Schloßbaubureau gemachte Vorschlag, die Fassadenmauer des Otto-Heinrichsbau abzutragen und unter Ersatz der fehlerhaften Werkstücke sowie der mürben Backsteine wieder aufzubauen, wurde durch den Hinweis darauf begründet, daß die Beseitigung der starken nördlichen Mauerausbuchtung und der sonst in der Fassade vorhandenen Abweichungen von der Fluchtlinie, sowie die Wiederherstellung einer normalen Verbandfestigkeit sich nur durch die geplante Maßnahme ermöglichen lasse.

Gegen dieses Projekt ist vom kunsthistorischen Standpunkt geltend gemacht worden, daß es Grundsatz der Denkmalspflege sei und bleiben müsse, die Arbeiten zur Erhaltung von Baudenkmalern unter tunlichster Schonung des überlieferten Bestandes auszuführen. Zudem wurde aber auch von bautechnischer Seite der Nachweis zu erbringen versucht, daß die Stabilität der Fassadenmauer, trotz ihrer Zerstückelung und teilweisen Ausbauchung, noch als hinreichend erachtet werden dürfe, um den Beanspruchungen, wie sie namentlich durch den Winddruck erfolgen, zu widerstehen.

Trotzdem die letztere Ansicht nicht ohne begründeten Widerspruch geblieben ist, wurde der Vorschlag des Schloßbaubureaus, vornehmlich aus kunsthistorischen Rücksichten, fallen gelassen.

Der von hervorragenden Fachleuten geäußerte Zweifel an der genügenden Stabilität der Fassadenmauer veranlaßte die Firma Dyckerhoff & Widmann zur Aufstellung eines neuen Projekts, welches im wesentlichen darauf beruht, die Standfestigkeit der Mauer in der Weise zu sichern, daß die ganze Rückseite durch eine ca. 8 cm starke Monierschale verkleidet wird, die ihrerseits mittels vorstehender Rippen zur Aufnahme des Winddrucks versteift ist. Diese Rippen sollen sich als ein System von horizontalen Windträgern gegen vertikale Eisenbeton-Strebepfeiler stützen, die z. T. auf den vorhandenen Zwischenmauern des Erdgeschosses aufliegen, z. T. mit besonderen Versteifungskonstruktionen im Erdgeschoß verbunden sind. Die Monierschale wäre zur Verhütung von Rissen, durch welche Wasser zum Mauerwerk gelangen könnte, mit einem doppelten, kreuzweisen Netz von Eiseneinlagen zu versehen. Behufs Entlastung schadhafter Steine ist die Schale ferner mit dem Mauerwerk in der Weise zu verankern, daß in das gute Mauerwerk kleine Dübellöcher eingehauen werden, in welche die Armatur der Schale eingreift. Das schadhafte Mauerwerk wäre vorher zu entfernen und durch gutes Gesteinsmaterial oder durch Beton zu ersetzen. Nach Fertigstellung der Monierschale und der Stützkonstruktion sollten die verwitterten Steine an der Hof-Fassade ausgewechselt werden.

Bei Beurteilung dieses Projekts handelte es sich, abgesehen von der ästhetischen Wirkung der Zementeinschalung und ihrer statischen Bewertung, namentlich um folgende Fragen: 1. ob es möglich sei, die chemische Einwirkung des Zements auf das Baugestein und die damit häufig zusammenhängenden Ausblühungen, durch Aufbringung eines heißen Asphaltanstrichs auf das Mauerwerk zu verhindern; 2. ob durch eingedrückten Kies in den warmen Asphalt eine genügende Haftfestigkeit zwischen der Zementschale und dem Asphalt-

anstrich zu erzielen ist und 3. ob durch die betreffende Einschalung der Feuchtigkeitsgrad der Mauer nicht vermehrt würde und zutreffenden Falls eine stärkere Verwitterung des Baugesteins befürchtet werden muß.

Zur Prüfung dieser Fragen ist das in Rede stehende Projekt im Sommer 1912 versuchsweise am Ludwigsbau zur Ausführung gelangt, wobei, auf Vorschlag des Verf., 15 über die Mauerfläche verteilte Versuchsöffnungen in der Zementschale ausgespart und durch eingegipste Zementdeckel verschlossen wurden.

Das Ergebnis der Untersuchung dieser Anlage im Sommer 1913 war folgendes:

Die Zementschale zeigte an einer beträchtlichen Zahl von Stellen Haarrisse, welche vorzugsweise innerhalb der Fensterleibungen, in geringerer Zahl aber auch an der äußeren Schalenfläche, auftraten.

Unterhalb der Fensterstürze und auch an anderen Stellen war Isoliermasse hervorgezogen und z. T. sogar durch die Mauer hindurch an der Hof-Fassade ausgeflossen. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß zur Isolierung der Dübellöcher Goudron verwendet wurde, weil nach Angabe der Unternehmer der Asphalt wegen seiner schnellen Erstarrung hier nicht brauchbar erschien.

Die Schutzwirkung der Asphaltisolierung gegen das Eindringen von Auslaugungsprodukten des Zements in das Mauerwerk war als befriedigend zu bezeichnen, da die Analyse der aus den Beobachtungsöffnungen entnommenen Gesteinsproben keinen größeren Gehalt an Kalk und Alkalien ergab, als die gleichen Untersuchungen vor der Einschalung.

Dagegen hat der einseitige Abschluß der Mauer durch die Isolierschicht in Verbindung mit der Zementschale die Verdunstung des aufgenommenen Regenwassers derartig beeinträchtigt, daß eine beträchtliche Ansammlung von Feuchtigkeit innerhalb des Mauerkörpers festzustellen war.

Die Untersuchung ergab an den unterhalb der Zementschicht entnommenen Proben folgenden Feuchtigkeitsgehalt:

an Sandsteinen	{	im Durchschnitt: 1,27 ‰,
		Maximalgehalt: 2,36 „ ;
„ Backsteinen	{	im Durchschnitt: 3,56 „ ,
		Maximalgehalt: 4,28 „ .

Die Vergleichsuntersuchung an Proben aus dem Otto-Heinrichsbau ergab dagegen:

an Sandsteinen	{	im Durchschnitt: 0,26 ‰,
		Maximalgehalt: 0,39 „ ;
„ Backsteinen	{	im Durchschnitt: 0,82 „ ,
		Maximalgehalt: 0,92 „ .

Im Sommer 1916 fand eine zweite Untersuchung der Anlage statt, welche folgendes Ergebnis hatte:

Die Haarrisse hatten sich z. T. etwas erweitert, auch waren neue feine Rißbildungen an einzelnen Fenstern, Leibungen und Kämpfern entstanden. Derartige Erscheinungen zeigen sich erfahrungsgemäß an vielen Zementbauten, und wenn sie auch in ihren Anfangsstadien für die Festigkeit der fraglichen Anlage unerheblich erscheinen, so können sich die Risse doch durch Frostwirkung derartig erweitern, daß der Bestand der dünnen Einschalung im Laufe der Zeit gefährdet wird.

Die Unzuträglichkeiten, welche sich bald nach Ausführung der Versuchsanlagen durch die Verwendung von Goudron zur Isolierung der Dübellöcher ergeben haben, bestehen auch gegenwärtig noch, und es ist das erneute Herausquellen des Isoliermaterials an mehreren Fensteröffnungen festgestellt worden.

Die Analyse von Gesteinsproben ergab, daß die Schutzwirkung gegen die Infiltration von Auslaugungsprodukten des Zements sich fortwährend bewährt hat.

Bei Untersuchung des Feuchtigkeitsgehalts des Baugesteins hinter der Isolierschicht zeigte sich eine nicht unbeträchtliche Zunahme der Mauerfeuchtigkeit. Dieselbe betrug im Jahre 1913 für Sandsteine das 4,6-fache und für Backsteine das 3,9-fache des Feuchtigkeitsgehalts des gleichartigen Materials in der Mauer des Otto-Heinrichsbaues, während die betreffenden Verhältniszahlen im Jahre 1916 auf das 5-fache bzw. 4,6-fache gestiegen waren.

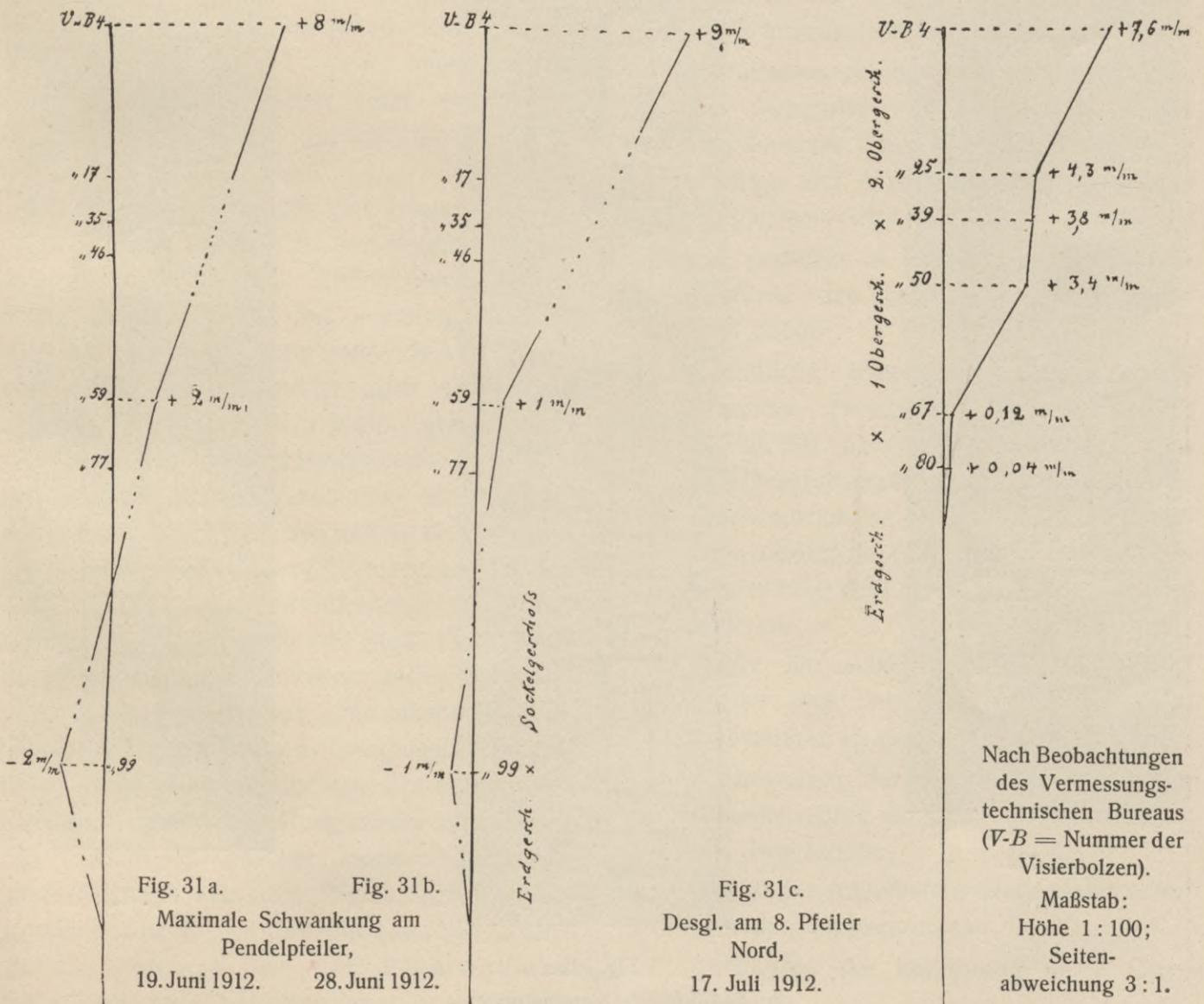
Die einseitige Zementeinschalung übt hier- nach dauernd einen ungünstigen Einfluß auf die Austrocknung des Mauerwerks aus und wird demgemäß auch zweifellos eine Beschleunigung der Verwitterung des Baugesteins zur Folge haben müssen, da die Mauerfeuchtigkeit als der hauptsächlichste Träger der Verwitterungs- agentien zu erachten ist.<sup>1)</sup>

Sollte aus den angeführten Gründen und vielleicht auch zufolge der kunsthistorischen Bedenken von dem Dyckerhoff-Widmannschen Projekt Abstand genommen werden, so bliebe nichts anderes übrig, als die Erhaltung der

<sup>1)</sup> Die speziellen Untersuchungsergebnisse und die eingehendere Erörterung derselben sind in einem besonderen Bericht an das Großh. Finanz-Ministerium nieder- gelegt worden.

Fassadenmauer durch allmählichen stückweisen Ersatz der schadhaften Teile zu bewirken.

Dabei wäre in erster Linie folgendes zu be- rücksichtigen. Nach den ausgeführten Unter- suchungen sind weder die periodischen Schwan- kungen noch die Windbewegungen der Mauer groß genug, um bei normaler Verbandfestigkeit eine solche Beanspruchung des Baugesteins zu erzeugen, daß dadurch seine mechanische Zer- störung in Frage käme. Erst die Knickbewe- gungen, wie sie namentlich zwischen dem 2. und 1. Obergeschoß, sowie zwischen letzterem und dem Erdgeschoß stattfinden (s. Fig. 31 a, b, c), vermögen nach der vorstehenden Darlegung eine derartig ungleichmäßige Verteilung der Druckwirkung innerhalb des zerklüfteten Mauer- werks zu bewirken, daß dadurch der Bestand desselben dauernd gefährdet wird.





Es mag deshalb zunächst erörtert werden, auf welche baulichen Schäden jene Knickbewegungen zurückzuführen sind, um danach zweckentsprechende Maßnahmen treffen zu können, diese für die Erhaltung der Mauer ungünstigste Art der Bewegung zu verhindern oder wenigstens einzuschränken.

Untersucht man den Zusammenhang zwischen der Sandsteinfassade und der Hintermauerung, so ergibt sich zunächst, daß nur im 2. Obergeschoß die Werkstücke der Fassade bis an die hintere Wandung der Pfeiler hindurchgehen und somit als Binder wirken, während die Pfeiler im 1. Obergeschoß zum beträchtlichen Teil aus Backsteinmauerwerk bestehen und die vorhandenen Sandsteinquader ohne konstruktiven Zusammenhang mit den Fassade-Werkstücken eingefügt sind (s. Fig. 32 a, b, c). Aber auch die Binder sind, wie die übrigen Quader, so mannigfach zerklüftet und das Backsteinmauerwerk befindet sich z. T. in so mangelhaftem Zustande, daß die Pfeiler einer gründlichen Ausbesserung bedürfen, um als feste Verbandglieder wirken zu können.

Die Fensterwölbungen der Hinterwand (s. Fig. 33 S. 36) bestehen in den unteren Bogenanteilen, soweit nicht bei früheren Renovationen ein Ersatz stattgefunden hat, aus mangelhaft erhaltenem Backstein ohne genügende Ausfugung, und letzteres gilt namentlich auch für die darüber liegenden Bruchstein-Wölbungen.

Von noch schlechterer Beschaffenheit, namentlich hinsichtlich des Verbandes, ist aber die aus unregelmäßigen, kleinen flachen Bruchsteinen bestehende Fensterbogen-Übermauerung in den Grenzlagen der einzelnen Geschosse. Der Mörtel ist hier in der Mehrzahl der Stoß- und Lagerfugen vollständig ausgewittert und wo er noch vorhanden, zeigt er meist eine mürbe Beschaffenheit. Da nun diesen mangelhaft beschaffenen Geschoß-Grenzschichten der Hinterwand die stark verwitterten Gurtgesimse und Friese der Fassade in gleicher Höhe vorgemauert sind, überdies aber die Pfeiler nicht einheitlich durch die Geschosse hindurchgehen, sondern von den vorerwähnten Schichten unterbrochen werden (s. Fig. 33),

so erklärt sich aus diesen Verhältnissen das Auftreten der Knickbewegungen an den Geschoßgrenzen.

Berücksichtigt man ferner, daß die fast täglich sich wiederholenden Schwankungen, in steter Abwechslung nach Osten und Westen, im Verein mit den gleichartigen Windbewegungen, insbesondere auf diese Grenzschichten in ihrem Fugenzusammenhang und ihrem Gesteinsmaterial zermürend einwirken, so kann es nicht zweifelhaft sein, daß hierin, neben der Pfeilerzerklüftung, die Hauptursache für die geringe Stabilität des Bauwerks und dessen fortdauernde Verbandlockerung zu suchen ist.

Endlich ist noch zu bemerken, daß auch der Mörtel in dem Bruchsteinmauerwerk der Bekrönung über den Fensteröffnungen des 2. Obergeschosses bis zu beträchtlicher Tiefe vollständig ausgewittert ist (s. Fig. 34 S. 37).

Nach alledem gelangt man zu dem Schluß, daß die Sicherung der Standfestigkeit des Bauwerks in erster Linie durch eine sorgfältige Ausbesserung der Hintermauerung zu bewerkstelligen sein wird.

Diese zunächst in Frage kommende Maßnahme würde sich auf folgende Arbeiten zu erstrecken haben:

1. Gründliche Instandsetzung der durchgehenden Zwischenschichten  $Z_1$  und  $Z_2$  (s. Fig. 34) über den Fensterbögen des 1. Obergeschosses und Erdgeschosses, durch stückweise Herausnahme und Neuvermauerung der Bruchsteine, unter Wiederverwendung des noch guten, alten Gesteinsmaterials;
2. Ersatz der stark zerklüfteten Sandsteinquader und des fehlerhaften Backsteinmauerwerks in den Pfeilern;
3. Ausbesserung der Fensterwölbungen unter Auswechslung der fehlerhaften Backsteine und Bruchsteine;
4. Ersatz der fehlerhaften Werkstücke unterhalb der Fensterbänke;
5. Ausfugung der Bekrönung im 2. Obergeschoß.



Fig. 33. Rückseite des 1. und 2. Obergeschosses über dem Zinkdach.

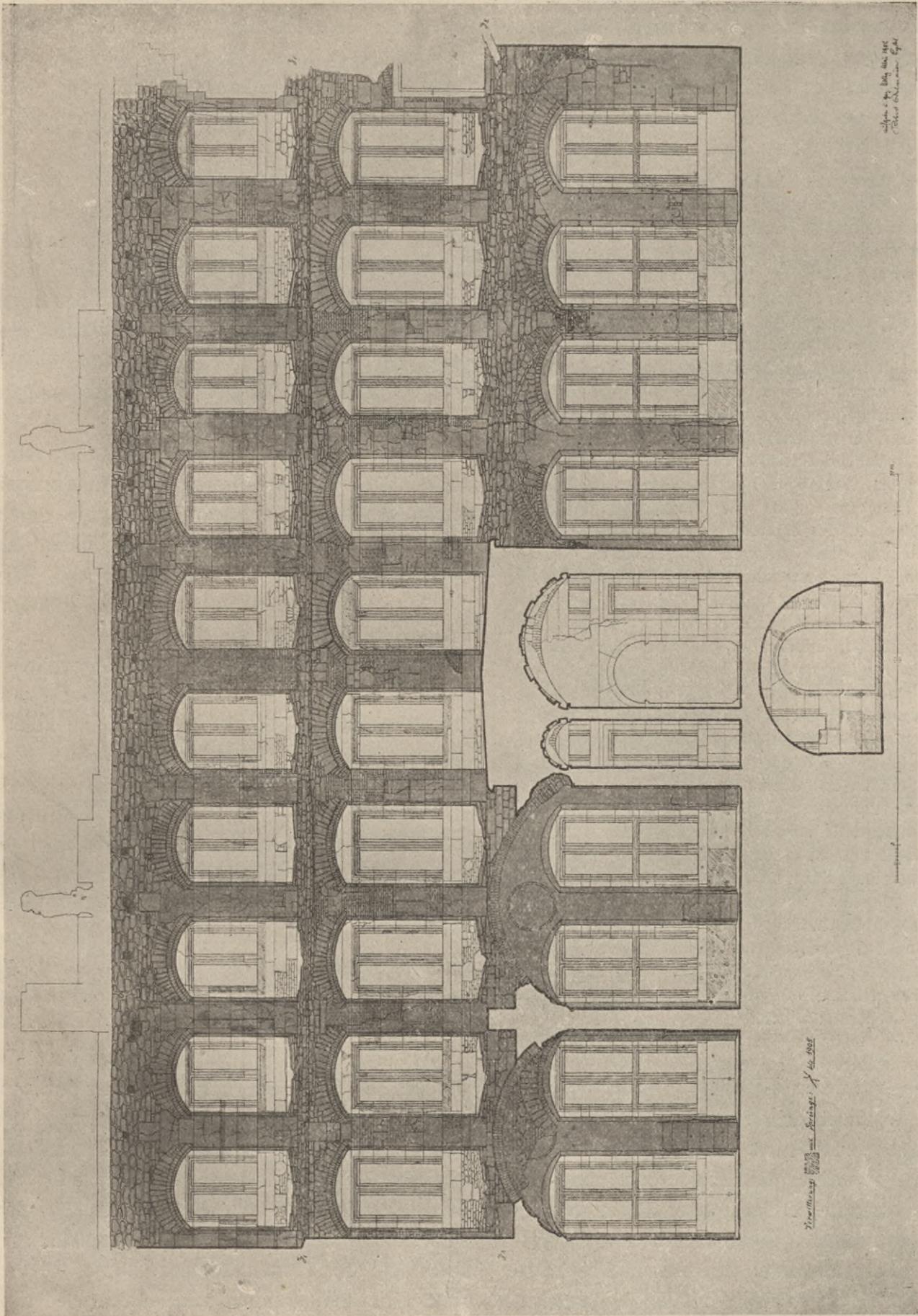


Fig. 34. Rückseite der Fassadenmauer, nach Aufnahme des Schloßbaubureaus. In der Wiedergabe ist die Hintermauerung durch dunkleren Ton hervorgehoben worden.

Diese Ausbesserungen sollten jeweilig immer nur in kleinem Umfange und in denjenigen Monaten ausgeführt werden, in welchen, nach den bisherigen Beobachtungen, die geringsten Schwankungen der Mauer stattfinden, um jede Gefährdung des Bauwerks auszuschließen. Es wären dies die Monate Mai, Juni, Juli.

Beim Ersatz der fehlerhaften Quader wäre ein stückweises Aussägen mittels einer elektrisch betriebenen Schneidvorrichtung zu empfehlen, damit Erschütterungen vermieden und ein exaktes Einfügen der Ersatzstücke ermöglicht wird.

Hinsichtlich der Ausfugung ist folgendes zu bemerken: Die Erzielung eines genügenden Fugenverbandes kann in dem vorliegenden Falle nur durch Verwendung von Zement bewirkt werden, da der Kalkmörtel erst nach längerer Zeit diejenige Festigkeit erlangt, welche erforderlich ist, um den Beanspruchungen der Mauerbewegung zu widerstehen. Nun ist es aber erfahrungsgemäß im allgemeinen bedenklich, natürliche Gesteine mit Zement zu versetzen. Für die guten, kieseligen Neckarsandsteine der Pfeiler an der Hinterwand wird die Einwirkung der Auslaugungsprodukte des Zements jedoch nur eine geringe sein und auch diese erscheint ausgeschlossen, wenn man einen Zement verwendet, dessen Kalk- und Alkali-gehalt bei der Erhärtung nahezu vollkommen gebunden wird. Es ist daher für die in Rede stehenden Ausbesserungsarbeiten erforderlich, den zu verwendenden Zement in sorgfältiger Weise herstellen zu lassen und überdies einer eingehenden Prüfung in folgender Weise zu unterwerfen. Eine Durchschnittsprobe von 1 kg wird mit der vorschriftsmäßigen Menge von Wasser angerührt, nach 30 tägigem Abbinden wieder fein gepulvert und mehrere Stunden mit Wasser geschüttelt. In dem Filtrat ist alsdann der etwa ausgelaugte Kalk-, Alkali- und Schwefelsäuregehalt analytisch zu bestimmen. Beträgt dieser Gehalt zusammen nicht mehr als 0,5 % so kann der Zement unbedenklich für die Ausfugung von kieseligem Sandstein verwendet werden. Da aber infolge der ungleichmäßigen Beschaffenheit der Rohmaterialien und der verschiedenen Temperatur der Klinkerschmelzung jedes Einzelprodukt der Fabrikation eine abweichende Zusammensetzung haben kann, so muß die Untersuchung an jeder Lieferung wiederholt werden.

Für die Ausfugung der Fassadenmauer mit ihren mehr oder weniger angewitterten Tonsandsteinen ist die Anwendung von Zement grundsätzlich auszuschließen.

Die Wiedereinrichtung der stärkeren Ausbuchtungen muß füglich außer Betracht bleiben, weil eine derartige Maßnahme nicht ohne Abtragung der betreffenden Mauerteile zu ermöglichen sein würde. Wohl aber könnte in Aussicht genommen werden, die auszuwechselnden Sandsteinquader der Pfeiler mit den Werkstücken der Fassade durch eiserne Klammern zu ver-

binden und in dem zu erneuernden Backsteinmauerwerk eiserne Anker und Schienen einzufügen, um diese Teile angemessen zu versteifen.

Auf diese Weise dürfte es gelingen, an Stelle der zerstückelten Hintermauerung, ein bis zu gewissem Grade zusammenhängendes Gebilde zu schaffen.

Erst wenn diese Arbeiten nach den speziellen Vorschlägen der Bausachverständigen ausgeführt worden sind, würde mit einer allmählichen Auswechslung der schadhafte Architekturglieder an der Fassade zu beginnen sein, wobei zunächst die stark verwitterten Teile der Stockgurte und Friese, sowie einige Fensterstützen, Leibungen und Bekrönungen zu berücksichtigen wären.

Inwieweit alsdann die Stabilität des Bauwerks durch die Ausbesserung der Hintermauer tatsächlich erhöht worden ist, könnte durch Wiederaufnahme der Pendelversuche bzw. der Messungen an den Visiermaßstäben und Vergleichung der Ergebnisse mit den früheren Beobachtungen festgestellt werden.

Eine derartige Ausführung der Renovationsarbeiten hätte den Vorteil, daß der Haupteinsatz an fehlerhaftem Material sich auf die in künstlerischer Hinsicht belanglose Hinterwand erstreckte. Diese aber bildet mit ihren stark vorspringenden Pfeilern, den Fensterwölbungen und deren Übermauerungen das konstruktive Gerüst des ganzen Bauwerks (s. Fig. 34), so daß die Standfestmachung der Hinterwand auch der Fassade zugute käme und die Erneuerung der Architekturteile über längere Zeiträume ausgedehnt und nach Bedarf bewirkt werden könnte.

Es mag zum Schluß darauf hingewiesen werden, daß ohne Festigung dieses konstruktiven Teils des Bauwerks eine Ausbesserung der Fassade bedenklich erscheinen muß, weil die ungleichmäßige Druckverteilung innerhalb der sich bewegenden zerstückelten Mauer auch den Bestand der neu eingesetzten Werkstücke, insbesondere der langen dünnen Gurtgesimsteile, Friese, Fensterleibungen und Stützen wiederum gefährden würde.

# Untersuchungen an Kleinschlagdecken

behufs Gewinnung einer Grundlage für die Prüfung der natürlichen Gesteine auf ihre Verwendbarkeit als Straßenbaumaterial.

Von

J. Hirschwald und J. Brix.

Mitarbeiter: F. Tannhäuser und W. Schwarz.

## III. Teil.

Die Stempelpresse, welche bei den bisherigen Versuchen zur Anwendung gelangte, erfordert nach den Vergleichsprüfungen einen etwas größeren Flächendruck als derjenige der Straßenwalzen, um den gleichen Prozentsatz an Zerkleinerungsprodukten des Schottermaterials zu liefern<sup>1)</sup>. Dieses Ergebnis ist darauf zurückzuführen, daß trotz des wechselweise ausgeübten einseitigen Druckes der Presse die Schubwirkung in dem allseitig geschlossenen Preßkasten nicht so ausgiebig zur Geltung gelangen kann wie innerhalb der Schotterdecke; daß ferner aber die Straßenwalze eine gewisse Umlagerung der Schotterstücke und demgemäß eine stärkere Abscherung der gegeneinandergepreßten Steine solange bewirkt, bis eine festere Verkeilung eingetreten ist.

Um die beim Einwalzen der Straßendecke auftretenden Beanspruchungen des Kleinschlages auch bei den Preßversuchen tunlichst zur Wirkung zu bringen, wurde zu den weiteren Versuchen

eine Maschine der nachstehend beschriebenen Konstruktion verwendet, bei welcher folgende für die Walzarbeit in Betracht kommenden Verhältnisse berücksichtigt worden sind.

Die Straßenwalze hat auf horizontaler Fahrbahn den Widerstand  $P_{\mu}$  zu überwinden, in welchem Ausdruck  $P$  das Walzengewicht und  $\mu$  den Widerstand der rollenden Reibung auf der Schotterdecke bedeutet. Für lose gelagerten Kleinschlag kann  $\mu$  erfahrungsgemäß zu 0,15 bis 0,12 und für eine fertig gewalzte, gute Straßendecke zu 0,025 angenommen werden. Während des Walzens ändert sich also  $\mu$  und verläuft innerhalb der angeführten Grenzwerte. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die gezogene oder geschobene Lenkwalze anders als die ziehenden Triebwalzen wirkt. Die letzteren haben den gesamten Widerstand der Walze, also außer den eigenen Reibungskräften auch noch die Reibung der Lenkwalzen zu überwinden. Es beanspruchen hiernach die Triebwalzen die Fahrbahn stärker als die Lenkwalzen<sup>1)</sup>. Da jedoch der zu walzende Kleinschlag von den Triebwalzen nach rückwärts, von den Lenkwalzen aber nach vorwärts gedrängt wird, so haben die letzteren den von ihnen bei der Vorwärtsbewegung der Walze aufgeschobenen Wulst zu überwinden und bei den weiteren Touren jedesmal auch

<sup>1)</sup> Siehe II. Teil dieser Untersuchungen, III. Jahrgang, 1912, Heft 2, der ganzen Reihe 6. Heft, Seite 9 und 16.

<sup>1)</sup> Siehe Gravenhorst, „Das gezogene und das ziehende Rad“. Zeitschrift für Architektur u. Ingenieurwesen, 1906 und F. Loewe, „Der Kraftwagen u. seine Beziehungen zur Straße“. Wiesbaden 1913.

die auf den Nebenstreifen verbliebenen Wulste der Triebwalzen. Bei der Rückwärtsbewegung der Walze liegen die aufgeschobenen Wulste der Lenk- und Triebwalzen zwischen beiden und es fällt die Einebnung zunächst der Lenkwalze zu. Die Widerstände für beide Walzen dürften sich daher bis zu einem gewissen Grade ausgleichen. Am stärksten treten diese Beanspruchungen bei Beginn der Walzarbeit auf und verringern sich mit zunehmender Verkeilung des Kleinschlages. Dabei erhöht sich der Walzendruck in dem Maße wie die Schotterdecke gefestigt wird, da alsdann die Walzen weniger tief einsinken, die Druckflächen also kleiner werden.

Zur Berechnung des absoluten größten Pressungsdruckes hat Kayser (Zentralbl. d. Bauverwaltung 1915, S. 502) folgende Formel aufgestellt:

$$\sigma = 0,59 \sqrt{\frac{P}{r \cdot f (\alpha_1 + \alpha_2)'}}$$

worin  $\sigma$  die Maximalpressung,  $P$  den Walzendruck,  $r$  den Halbmesser der Walze,  $f$  die Walzenbreite und  $\alpha_1 + \alpha_2$  die Dehnungsmaße der Berührungsflächen bedeuten<sup>1)</sup>.

## XVII. Konstruktion und Wirkungsweise der Walzenpresse<sup>1)</sup>.

Die für die besondere Wirkungsweise der Presse wichtigsten Teile derselben sind der zur Aufnahme des Kleinschlages bestimmte, horizontal verschiebbare Kasten  $K$  und der in Form eines drehbaren Zylindersegments ausgebildete Preßstempel  $Q$  (s. Fig. 35).

Der Kasten  $K$  ist im Lichten 97 cm lang, 30 cm breit und 18 cm hoch. Um eine Verschiebung bzw. Umlagerung des eingefüllten Kleinschlages unter der rollenden Druckwirkung zu ermöglichen, sind 2 Einrichtungen vorgesehen: a) die bewegliche Wand  $W$ , deren Federung so eingestellt werden kann, daß sie dem

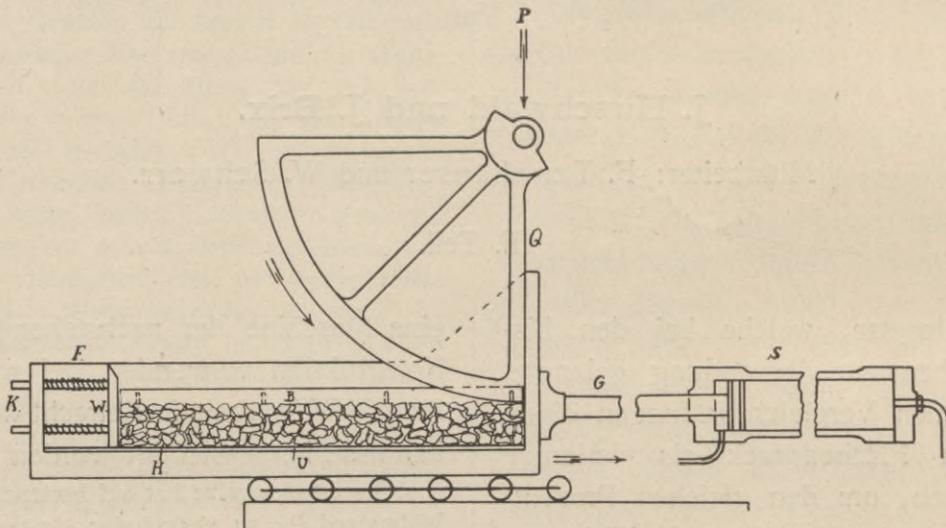


Fig. 35. Schematische Darstellung der Presse.

Wird z. B. eine Walze mit einem Gewicht von 8 Tonnen, einer Breite von 140 cm und einem Halbmesser von 70 cm, im anderen Falle von 7 Tonnen bzw. 140 cm und 75 cm angenommen und das Dehnungsmaß des Gußeisenzylinders auf 1 : 100000 geschätzt, wobei im ersteren Falle das Dehnungsmaß der Fahrbahn im Hinblick auf das Ausweichen der Steine vernachlässigt, im anderen Falle die Summe  $\alpha_1 + \alpha_2$  zu 1 : 100000 + 1 : 50000 angenommen wird, so berechnet sich aus der obigen Formel  $\sigma = 170$  kg bzw. 140 kg, bei einem spezifischen Walzendruck von 57 kg bzw. 40 kg<sup>2)</sup>. Für die üblichen Gewichte und Abmessungen der Dampfwalzen ergibt die Rechnung im Mittel eine Maximalpressung von 300 kg qcm.

<sup>1)</sup> Vergleiche auch: C. Bach, Elastizität u. Festigkeit 6. Aufl., 1911, S. 181 und Taschenbuch der Hütte, 22. Aufl., S. 510.

<sup>2)</sup> Unter spezifischem Druck der Walze ist derjenige Teil ihres Gewichts in kg zu verstehen, der auf einen Streifen von 1 cm Breite, in Richtung der geraden Zylindererzeugenden gemessen, trifft.

Schub des zusammengepreßten Kleinschlages nachgibt, ohne ein Zurückschieben desselben zu bewirken; b) zwei, an den beiden Längsseiten lose eingesetzte Stahlbleche mit Blattfedern, die ein seitliches Ausweichen auf je 0,6 cm ermöglichen. Zur Verhinderung einer zu starken Verschiebung des Kleinschlages auf dem glatten Kastenboden und einer größeren Anstauung des Kleinschlages vor der beweglichen Wand  $W$ , wurde nach mehrfachen Versuchen mit verschiedenen Unterlagen eine gußeiserne Platte mit kleinen, 10 mm hohen, dachförmigen Höckern (Fig. 36) eingelegt. Die Wirkung der-

<sup>1)</sup> Die Walzenpresse ist nach unserem Entwurf von der Düsseldorfer Maschinenbau-Akt.-Ges. (vorm. J. Losenhäuser), Düsseldorf-Grafenberg, ausgeführt worden.

selben entspricht etwa derjenigen der unebenen Packunterlage auf den Schotterstraßen<sup>1)</sup>. Von

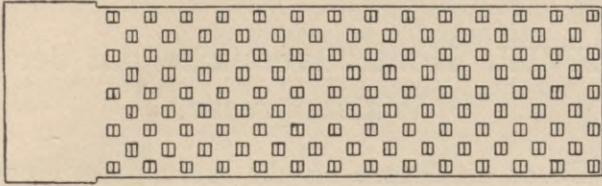


Fig. 36. Gußeiserne Unterlageplatte.

einer nachgiebigen Unterlage wurde abgesehen, da die Packlage, auf welche die Decke der

stangen verhindern eine ungleichmäßige Verschiebung der Rollen. Die Hin- und Rückbewegung des Kastens vermittelt die Kolbenstange B, deren Zylinder S mit der Druckpumpe D in Verbindung steht.

Der Druckkörper Q ist aus Gußstahl gefertigt und hat die Form eines Viertel-Zylindermantels von 54 cm Halbmesser und 27 cm Breite. Er ist in der Achse drehbar. Auf letztere wirkt der Preßkolben P, dessen Zylinder Z mit der Druckpumpe D verbunden ist (s. Fig. 37).

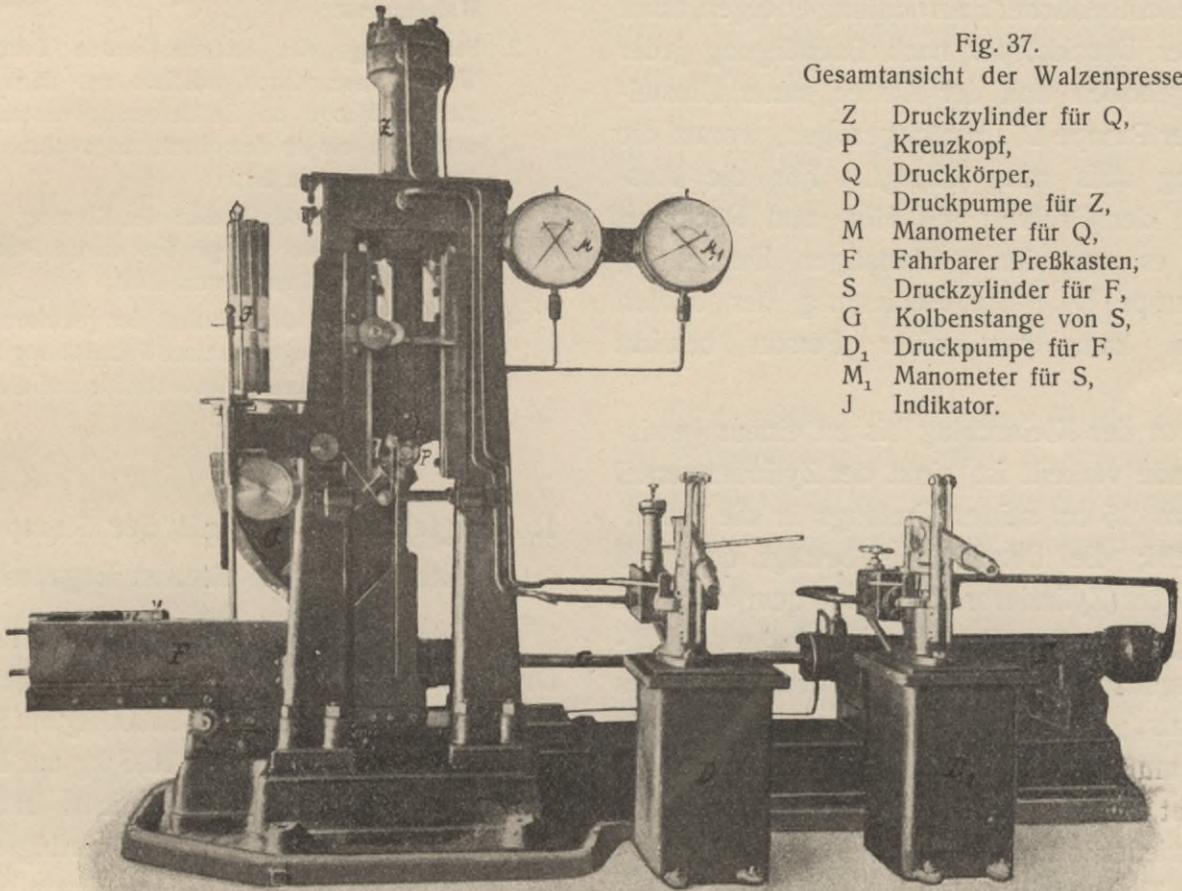


Fig. 37. Gesamtansicht der Walzenpresse.

- Z Druckzylinder für Q,
- P Kreuzkopf,
- Q Druckkörper,
- D Druckpumpe für Z,
- M Manometer für Q,
- F Fahrbarer Preßkasten,
- S Druckzylinder für F,
- G Kolbenstange von S,
- D<sub>1</sub> Druckpumpe für F,
- M<sub>1</sub> Manometer für S,
- J Indikator.

Schotterstraßen aufgewalzt wird, als fester Grund zu erachten ist. Der Kasten läuft auf Rollen, welche durch Leisten verbunden sind. Zwei beiderseits angebrachte Zahnrädchen und Zahn-

<sup>1)</sup> Der Versuch, als Unterlage einen Rost mit festen, 5 cm von einander entfernten, auf der Kante stehenden, quadratischen Stäben zu verwenden, mußte aufgegeben werden, da die Stäbe sich bald verbogen. Auch eine Brettunterlage von weichem Holz, in welche sich die Steinstücke eindrücken, hat sich nicht bewährt, weil die Bestimmung der Zusammenpressung und des Volumens der Hohlräume ungenau wurde.

An den Manometern M und M<sub>1</sub> kann der auf den Preßkolben bzw. den Schubkolben ausgeübte Druck abgelesen und danach reguliert werden. Der auszuübende Maximaldruck auf P beträgt 12000 kg, auf S 3000 kg. Der Indikator verzeichnet auf dem Zylinder J die Zusammenpressung des Kleinschlags in Form einer Kurve mit vergrößertem Höhenmaß. Überdies läßt sich an einem Maßstab die Zusammenpressung an jedem Punkt der Fahrbahn ablesen.

Betrieb und Wirkungsweise der Presse. Nachdem der Preßkasten mit einer dreifachen Lage des zu prüfenden Kleinschlags, unter Ein- eb- nung jeder Lage mittels einer kleinen eisernen Harke, gefüllt ist, wird das Zylindersegment durch die Pumpe D niedergedrückt und der Kasten durch die Pumpe D<sub>1</sub> in Bewegung ge- setzt. Die Reibung des Zylindermantels an dem Kleinschlag bewirkt eine Drehung des Druck- körpers und demgemäß ein Abrollen desselben auf der Oberfläche der Schüttung. Soll die Pres- sung bei einheitlicher Fahr- richtung erfolgen, dann wird der Druckkörper nach Beendigung jeder Fahrt gehoben und der Kasten, unter Umstel- lung der Pumpe D<sub>1</sub>, zurückgezogen, worauf die Pressung aufs neue erfolgt. Für die Aus- führung der Prüfung mit Hin- und Rückfahrt bedarf es nur der jedesmaligen Umstellung der Pumpe D<sub>1</sub>. Die Bedienung der beiden Pumpen kann von einer Person bewirkt werden.

Bevor der Kleinschlag bis zu einem gewis- sen Grade verkeilt ist, sinkt der Zylindermantel auf etwa 15 cm seines Umfangs in die Schüt- tung ein; die Druckfläche beträgt demnach  $15 \times 27$  cm (Zylinderbreite) = 270 qcm, während am Beginn und zu Ende der Fahrbahn die Auf- lagerungsfläche, entsprechend der Form des Segments, geringer ist. Der anzuwendende Druck muß daher hiermit in Übereinstimmung gebracht werden<sup>1)</sup>. Die Pressung wird so lange wiederholt, bis die am Maßstab B abzu- lesende Zusammendrückung bei 5 Fahrten kon- stant ist oder doch eine Differenz von 0,5 mm nicht übersteigt. Für gewisse Vergleichsversuche kommt eine ständige Zahl von 50 Touren zur Anwendung.

Nach Beendigung der Einpressung wird der Rauminhalt der noch verbliebenen Hohlräume dadurch bestimmt, daß man dem Preßkasten aus einer graduierten Flasche so lange Wasser zu- führt, bis die Oberfläche des Kleinschlags eben erreicht ist. Das Grammgewicht des verbrauchten Wassers, abzüglich der Aufsaugung des Ge-

steins, ist gleich dem Gesamtvolumen der Hohl- räume in ccm.<sup>1)</sup>

## XVIII. Kontrollversuche mit der Walzenpresse.

Bevor die Presse für die Prüfung der einge- sandten Proben von Schottermaterialien zur Ver- wendung gelangte, wurden folgende Kontroll- versuche ausgeführt:

1. Vergleichung der Ergebnisse mit der Stempel- und Walzenpresse;
2. Feststellung des anzuwendenden Druckes der Walzenpresse, durch welchen mit derselben die gleiche Menge an Zerkleinerungsmaterial erzielt wird, wie sie in den frisch eingewalzten Straßen- decken enthalten ist;
3. Versuche über den Einfluß der Körnung des Klein- schlags auf die Menge des durch Pressung er- zeugten Zerkleinerungsmaterials;
4. Versuche über den Einfluß der gleichen oder ab- wechselnd entgegengesetzten Fahr- richtung der Walze auf die Zerkleinerung des Materials und die Verdich- tung der Schotterdecke.

### 1. Vergleichung der mit der Stempel- und Walzenpresse erhaltenen Ergebnisse.

Bei der Stempelpresse wurde ein steigender Druck von 10000 bis 20000 kg angewendet, also ein mittlerer Druck von 15000 kg auf 900 qcm der Kleinschlagfläche oder 16,6 kg auf 1 qcm.<sup>2)</sup> Um mit der Walzenpresse einen annähernd gleichen Prozentsatz an Zerkleinerungsmaterial zu erhalten, genügte ein Druck von 2000 kg auf  $27 \times \frac{15 + 1}{2} = 216$  qcm oder 9,3 kg auf 1 qcm im Mittel.<sup>3)</sup>

Die bei diesen Versuchen mit der Stempel- presse (St) und der Walzenpresse (W) erhaltenen Ergebnisse waren folgende:

<sup>1)</sup> Das vom Gestein aufgenommene Wasser wird aus der Gewichts- differenz des nassen und getrockneten Materials berechnet.

<sup>2)</sup> Jahrgang III, 1912, Heft 2, S. 16.

<sup>3)</sup> Die Berührungsfläche der Walze mit der Schotter- lage verringert sich von 15 cm bis auf 1 cm. Die Walzenbreite beträgt 27 cm, daher ist die mittlere Be- rührungsfläche  $8 \times 27 = 216$  qcm.

<sup>1)</sup> Über die Größe des Druckes s. das Versuchs- resultat S. 44.

Basalt von:	Anzahl der		Zusammenpressung der Schüttung		Pressungsprodukte der Gruppen I—V <sup>1)</sup>			
	Pressungen St.	Touren W	St.	W.	St.		W.	
Linz a. Rh.	50	41	cm 1,25	cm 2,12	Gewichts-% I. 81,02 IV. 0,81 II. 14,18 V. 0,59 III. 3,40     1,40		Gewichts-% I. 80,03 IV. 1,66 II. 13,61 V. 1,20 III. 3,50     2,86	
Käuser-Steimel (Westerwald)	59	40	1,74	1,91	I. 81,91 IV. 0,76 II. 13,46 V. 0,74 III. 3,13     1,50		I. 84,03 IV. 0,89 II. 12,57 V. 0,83 III. 1,68     1,72	
Pilgramsdorf i. Schl.	57	40	1,37	2,64	I. 77,00 IV. 1,01 II. 16,87 V. 0,84 III. 4,28     1,85		I. 72,88 IV. 1,85 II. 19,67 V. 1,63 III. 3,97     3,48	
Graase i. Schl.	50	50	1,41	2,08	I. 77,39 IV. 0,85 II. 16,31 V. 0,90 III. 4,55     1,75		I. 76,88 IV. 1,42 II. 17,29 V. 1,31 III. 3,10     2,73	
Finkenberg b. Limperich	96	60	1,55	2,29	I. 79,55 IV. 1,04 II. 15,58 V. 0,79 III. 3,04     1,83		I. 82,07 IV. 1,85 II. 11,15 V. 1,64 III. 3,29     3,49	

Es ergibt sich aus diesen Versuchen 1. daß die Walzenpresse trotz des beträchtlich geringeren Druckes im allgemeinen eine kleinere Tourenzahl erfordert, als sie der Druckzahl der Stempelpresse entspricht, um eine Konstanz der Zusammenpressung des Kleinschlags zu bewirken; 2. daß das Maß der Zusammendrückung bei der Walzenpresse größer als bei der Stempelpresse ist; 3. daß sich unter der Walzenpresse eine etwas größere Menge des Materials von Kies- und Sandgröße (Gruppe IV—V) bildet, als unter der Stempelpresse.

**2. Feststellung des anzuwendenden Druckes der Walzenpresse durch Vergleichung des erzielten Zerkleinerungsmaterials mit dem der Straßenwalzarbeit.**

Der für die Stempelpresse erforderliche Druck wurde durch Vergleichung des Preßproduktes mit dem Zerkleinerungsmaterial einer frisch eingewalzten Straßendecke aus Granitfindlingen verschiedener petrographischer Beschaffenheit bestimmt<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Größe der Körner in den einzelnen Gruppen = I: durchschnittlich 6 × 5 × 4,5 bis 4 × 3 × 3 cm; II: 30—20 und 20—12 mm; III: 12—10, 10—5 und 5—4 mm; IV: 3—1 mm; V: unter 1 mm.

<sup>2)</sup> Siehe III. Jahrgang, 1912, Heft 2, S. 15 u. 16.

Eine solche Vergleichung wurde auch mit der Walzenpresse ausgeführt und zwar an einer Basaltschotterdecke, von welcher unmittelbar nach dem ohne Splittzusatz erfolgten Einwalzen ein 1 qm großes Stück bis auf die Packlage ausgehoben worden war.

a) Separation der Deckenprobe; Basaltschotter von Zinnhain bei Marienburg (Westerwald).<sup>3)</sup>

Die Probe hatte ein Gewicht von 41,5 kg und enthielt folgende Gewichtsprozentage der verschiedenen Korngrößen:

Gruppe	Korngröße	Gewichtsprozentage
I	6 × 6 × 5 cm bis 4 × 3 × 3 "	82,69 %
II	30—12 mm	11,08 %
III	12—4 "	1,88 "
IV	4—1 "	1,43 "
V	unter 1 "	2,92 "

} 17,31 %

<sup>3)</sup> Die Versuchsstrecke ist mit dankenswerter Bereitwilligkeit von dem Landesbauamt zu Münster i. W. ausgeführt und das Material uns zur Verfügung gestellt worden.

### b) Pressungsversuche mit Basaltschotter von Zinnhain.

Unter den mit verschiedenem Druck ausgeführten Versuchen ergab derjenige mit 2000 kg, unter Wiederholung der Pressung bis zur Konstanz der Zusammendrückung des Kleinschlags folgende Separationsprodukte:

Gruppe	Korngröße	Gewichtsprozente	
		I. Versuch	II. Versuch
I	6 × 6 × 5 cm bis 4 × 3 × 3 "	82,22%	82,45%
II	30—12 mm	11,79%	13,26%
III	12—4 "	3,37 "	2,18 "
IV	4—1 "	1,41 "	1,04 "
V	unter 1 "	1,21 "	1,06 "
		17,78%	17,54%

Es erzeugt demnach die mit 2000 kg wirkende Walzenpresse (spezifischer Druck = 74,07 kg) ein Preßprodukt, das hinsichtlich der verschiedenen Korngrößen mit hinreichender Genauigkeit dem Walzprodukt entspricht, welches in der frisch hergestellten Straßendecke enthalten ist. Die geringen Abweichungen der Ergebnisse zu a und b kommen um so weniger in Betracht, als sich in dem Kleinschlag einzelne Körner von „Sonnenbrennern“ finden, die bei ihrer geringen Festigkeit und ihrem ungleichen Mengenverhältnis in den einzelnen Proben das Preßergebnis beeinflussen müssen.

Der spezifische Druck der Dampfwalzen schwankt bei verschiedenem Gewicht zwischen 30 und 50 kg bei den Lenkwalzen und 60 bis über 100 kg bei den Triebwalzen (vergl. Bericht von Voiges über Leistung von 10 Dampfwalzen auf dem internationalen Straßenkongreß Paris 1908). Der spez. Druck von 74,07 kg der Walzenpresse kommt daher dem Druck einer mittelschweren Dampfwalze gleich.

### 3. Einfluß der Körnung des Kleinschlags auf die Menge des durch Pressung erzeugten Zerkleinerungsmaterials.

Zu den nachfolgenden Versuchen ist der Basaltkleinschlag von Linz a. Rh. verwendet

worden. Eine größere Menge desselben wurde zunächst von den Stücken über 5 × 5 × 5 cm und unter 30 mm, sowie von dem scherbenförmigen Material befreit und alsdann nach 4 Korngrößen gesondert. Die Separation der ausgewogenen Menge ergab folgende Zusammensetzung:

Korngröße	5 × 5 × 4 cm	=	5,42 Gew.-%
"	4 × 4 × 4 "	=	33,77 "
"	4 × 4 × 3 "	=	50,48 "
"	4 × 3 × 3 "	=	10,33 "

Proportional diesem Mengenverhältnis wurden 2 Proben von je 40 kg zusammengestellt und das Material sorgfältig gemischt.

Die mit diesen beiden Proben ausgeführten Preßversuche lieferten folgende Ergebnisse:

#### Separation des Preßprodukts

Gruppe	Korngröße	Gewichtsprozente	
		I. Probe	II. Probe
I	5 × 4 × 4 cm bis 4 × 3 × 3 "	84,56%	83,86%
II	30—12 mm	9,04%	9,18%
III	12—4 "	3,56 "	3,76 "
IV	4—1 "	1,59 "	1,81 "
V	unter 1 "	1,25 "	1,39 "
		15,44%	16,14%

Anzahl der Touren bis zur konstanten Zusammenpressung:

Probe I = 65 Touren, Probe II = 79 Touren;

Zusammenpressung im Mittel:

Probe I = 2,04 cm, Probe II = 1,96 cm;

Stärke der Schüttung nach der Pressung:

Probe I = 8,58 cm, Probe II = 8,29 cm;

Hohlräume:

Probe I = 32,87 Vol.-%, Probe II = 32,87 Vol.-%.

Ein dritter Versuch wurde mit 40 kg desselben Basalts von folgender Körnung ausgeführt:

Korngröße	4 × 4 × 4 cm	=	24,93 Gew.-%
"	4 × 4 × 3 "	=	52,80 "
"	4 × 3 × 3 "	=	22,27 "

Separation des Preßprodukts der Probe III.

Gruppe	Korngröße	Gewichtsprocente
I	4 × 4 × 4 cm bis 4 × 3 × 3 "	80,05 %
II	30—12 mm	13,61 %
III	12—4 "	3,50 "
IV	4—1 "	1,66 "
V	unter 1 "	1,20 "

} 19,97 %

Stärke der Schüttung nach  
der Pressung . . . . = 8,69 cm,  
Hohlräume der Schüttung  
nach der Pressung . . = 35,18 Vol.-%.

Ein Vergleich dieser Versuche ergibt somit folgendes Resultat:

Bei Probe I hatte die Zusammenpressung für die Korngruppe I einen Gewichtsverlust von 15,44 Gew.-%, bei Probe II einen solchen von 16,14 Gew.-% erfahren; Differenz = 0,70 Gew.-%.

In den übrigen Gruppen ist der Maximalunterschied 0,223 Gew.-% (Gruppe IV). Die Differenz der Zusammenpressung der Schüttung beider Proben beträgt 0,29 cm. Das Volumen der Hohlräume war in beiden Fällen gleich. In Rücksicht auf die näherungsweise Bestimmung der Korngrößen darf die Übereinstimmung der Ergebnisse beider Versuche als durchaus befriedigend erachtet werden und es ergibt sich hieraus zugleich ein Anhalt zur Beurteilung der Fehlergrenzen bei den mit der Walzenpresse ausgeführten Versuchen.

Für die Probe III, bei welcher die kleineren Stücke (4 × 3 × 3) annähernd in doppelter Gewichtsmenge enthalten waren als in den Proben I und II, lieferte die Pressung eine um ca. 4,5 Gew.-% stärkere Zerkleinerung der größeren Körner (Gruppe I) und demgemäß ein entsprechendes Mehrgewicht des Materials von 30 mm und darunter. Die Zusammenpressung der Schüttung ist bei den Proben I—III annähernd gleich, während das Volumen der

Hohlräume in Probe III dasjenige in den ersten Proben um 2,31 % übertrifft.

Obgleich der Unterschied der Körnung in den Proben beider Versuche nicht sehr erheblich war, ergab sich hiernach ein ziemlich beträchtlicher Unterschied des Zerkleinerungsproduktes und der inneren Dichtung der Schüttung. Dieses Ergebnis stimmt mit der praktischen Erfahrung überein, daß eine gewisse Größe des Kornes, sowie die Art der Kornmischung, für die Herstellung gut gedichteter Schotterdecken von wesentlichem Einfluß ist. Es läßt sich erwarten, daß Schottermaterialien mit stärker abweichenden Korngrößen und Mischungen, als sie hier verwendet wurden, eine progressive Steigerung in den Differenzen der Preßprodukte und der Dichtung der Schüttung ergeben werden und es sind deshalb weitere Versuche in Angriff genommen worden, deren Resultate im nächsten Heft mitgeteilt werden sollen.

Von noch größerer Bedeutung als die Korngröße ist aber die Form des Kleinschlags für das Ergebnis der Pressung bzw. der Walzarbeit. Ob die Körner kubisch, plattenförmig, keilförmig oder scherbenartig sind, ob an denselben vorspringende Ecken und Kanten auftreten, wird von wesentlichem Einfluß auf die Menge des unter der Presse oder Walze gebildeten Zerkleinerungsmaterials und den Grad der Verteilung sein müssen. Bei der Herstellung des Kleinschlags, sei es durch Hand- oder Maschinenarbeit, finden sich, selbst wenn das Material sorgfältig gesiebt wird, je nach der Spaltungsart des Gesteins, mehr oder weniger reichlich mannigfache Kornformen.

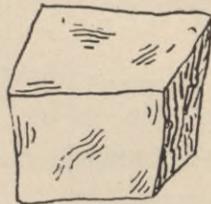
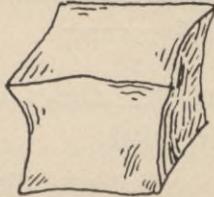
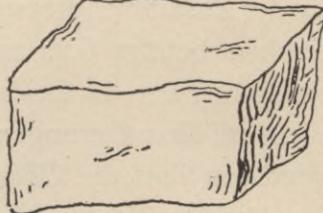
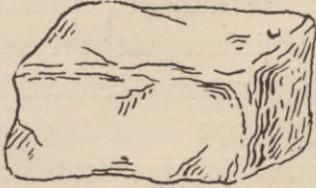
Für die Vergleichsversuche mit verschiedenem Material wird daher neben der Korngröße und Mischung die Form der Körner einer sorgfältigen Beachtung unterworfen werden müssen, um aus dem Resultat der Pressung ein Urteil über die mechanische Widerstandsfähigkeit des Gesteinsmaterials an und für sich ableiten zu können. Bei Zusammenstellung der Proben bedarf es daher neben der Separierung nach verschiedenen Korngrößen der Feststellung des Mengenverhältnisses der Formtypen innerhalb der einzelnen Korngruppen.

Hierbei ist das folgende Schema zur Anwendung gelangt, mittels dessen es unschwer gelingt, aus einer gewogenen Schotterprobe die

darin enthaltenen Formtypen mit hinreichender Sicherheit auszusondern und nach Gewichtsprozenten zu bestimmen<sup>1)</sup>.

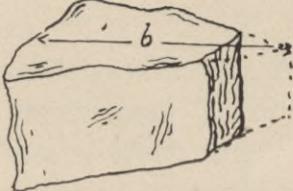
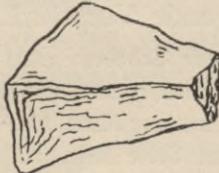
### Schema für die Formbestimmung des Kleinschlags.

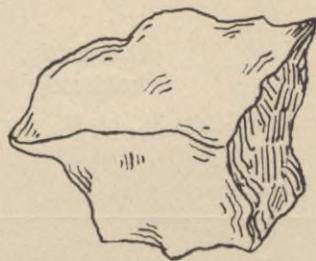
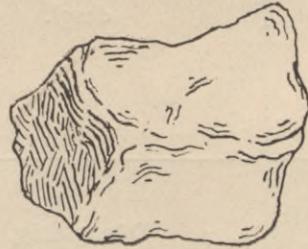
Anmerkung: Die Typen, welche vorzugsweise einen erhöhten Prozentsatz an Zerkleinerungsprodukten beim Einwalzen liefern, sind mit \*) bezeichnet. Es sind dies namentlich die Untergruppen b und die scherbenförmigen Typen VIIa und b.

Typen: Ia	Würfelförmig, Kantenwinkel 90—75°, Differenz der Kantenlänge bis $\frac{2}{10}$ der mittleren Länge	mit glatten Flächen, scharfen Kanten und Ecken		Fig. 38
Ib*)	desgl.	mit scharfen Kanten, spitzen vorspringenden Ecken und eingebogenen Flächen		Fig. 39
Ic	desgl.	mit unregelmäßigen Flächen, rundlichen Kanten und Ecken		Fig. 40
IIa	Dickplattig, annähernd rechtwinklig gekantet; Stärke = $\frac{7}{10}$ bis $\frac{5}{10}$ der Länge	mit glatten Flächen, scharfen Kanten und Ecken		Fig. 41
IIb*)	desgl.	mit scharfen Kanten und spitzen vorspringenden Ecken		Fig. 42
IIc	desgl.	mit unregelmäßigen Flächen, rundlichen Kanten und Ecken		Fig. 43

<sup>1)</sup> Auch für die Praxis könnte das Schema in seinen allgemeinen Grundzügen, bei Aufstellung von Normen

für Schotterlieferungen und deren Kontrolle, eine entsprechende Verwendung finden.

<p>Typen: IIIa</p>	<p>Dünnpfättig, annähernd rechtwinklig ge- kantet; Stärke = <math>\frac{3}{10}</math> bis <math>\frac{2}{10}</math> der Länge</p>	<p>mit glatten Flächen, schar- fen Kanten und Ecken</p>	 <p>Fig. 44</p>
<p>IIIb*)</p>	<p>desgl.</p>	<p>mit scharfen Kanten und spitzen vorspringenden Ecken</p>	 <p>Fig. 45</p>
<p>IIIc</p>	<p>desgl.</p>	<p>mit unregelmäßigen Flächen, rundlichen Kanten und Ecken</p>	 <p>Fig. 46</p>
<p>IVa</p>	<p>Dickpfättig, keilförmig, Stärke <math>\frac{7}{10}</math> bis <math>\frac{5}{10}</math> der Länge</p>	<p>abgestumpft um <math>\frac{3}{10}</math> bis <math>\frac{2}{10}</math> der Länge b</p>	 <p>Fig. 47</p>
<p>IVb*)</p>	<p>desgl.</p>	<p>scharf keilförmig</p>	 <p>Fig. 48</p>
<p>Va</p>	<p>Dünnpfättig, keilförmig</p>	<p>abgestumpft um <math>\frac{3}{10}</math> bis <math>\frac{2}{10}</math> der Länge b</p>	 <p>Fig. 49</p>
<p>Vb*)</p>	<p>desgl.</p>	<p>scharf keilförmig</p>	 <p>Fig. 50</p>
<p>VIa</p>	<p>Drei- oder vierspitzig, pyramidenartig</p>	<p>abgestumpft</p>	 <p>Fig. 51</p>
<p>VIb*)</p>	<p>desgl.</p>	<p>scharfspitzig</p>	 <p>Fig. 52</p>

Typen: VIIa	Scherbenförmig	mit stumpfen Ecken	 Fig. 53
VIIb	desgl.	mit spitzen Ecken	 Fig. 54
VIIIa	Unregelmäßige Form	mit scharfen Kanten und Ecken	 Fig. 55
VIIIb*)	desgl.	mit scharfen Kanten und vorspringenden Ecken	 Fig. 56
VIIIc	desgl.	mit unregelmäßigen Flächen, rundlichen Kanten und Ecken	 Fig. 57

#### 4. Der Einfluß gleicher oder abwechselnd entgegengesetzter Fahrriichtung der Walze auf die Zerkleinerung des Materials und die Verdichtung der Schotterdecke.

Für die Ausführung der Walzarbeit gibt F. Löwe in seinem Lehrbuch der Straßenbaukunde folgende Vorschrift:

„Damit der Schotter unter der Walze nicht seitlich ausweicht, dichtet man, von den Rändern der Decklage ausgehend, nach der Mitte hin. Man fährt also die Walze auf der einen Seite hin, auf der anderen zurück und wiederholt dieses Verfahren, indem man jedesmal näher an die Mitte rückt, so daß der vorher überwalzte Streifen nur noch teilweise und jedes Flächenstück desselben stets bei gleicher Fahrriichtung von der Walze getroffen wird. Nachdem die Mitte erreicht worden, beginnt man ebenfalls von den Seiten und fährt so fort, bis die erwünschte Festigkeit der Decke erzielt ist“.

Diese Vorschrift läßt sich in der Praxis jedoch nur durchführen, wenn die Walze erheblich schmaler als die halbe Straßenbreite ist, da sonst die beiderseitigen Walzstreifen sich schon nach den ersten Fahrten überschneiden. Immer aber wird beim Einwalzen der Mitte auf einer Seite ein Streifen nach der entgegengesetzten Richtung überfahren werden müssen. Zudem pflegen die Arbeiter häufig auch aus Bequemlichkeitsrücksichten von der aufgestellten Regel abzuweichen.

Zur Beurteilung der Frage, in wie weit die entgegengesetzte Fahrriichtung einen Einfluß auf die Menge des Zerkleinerungsmaterials und das Maß der Zusammenpressung auszuüben vermag, sind nachstehende Versuche mit der

Walzenpresse ausgeführt worden. Als Material wurde ein ziemlich gleichmäßig geschlagener Quarzporphyr vom Hengstberg bei Wurzen in Sachsen gewählt.

**Separation des Preßproduktes bei gleicher Fahrri-  
chtung.**  
(Mittel aus 2 Versuchen.)

Gruppe	Korngröße	Gewichtsprocente
I	5 × 5 × 5 cm bis 4 × 3 × 3 "	84,35 %
II	30—12 mm	8,24 %
III	12—4 "	3,73 "
IV	4—1 "	1,93 "
V	unter 1 "	1,75 "

} 15,65 %

Anzahl der Touren bis zur konstanten Zusammenpressung = 59;  
 Stärke der Schüttung nach der Zusammenpressung . . . = 8,90 cm;  
 Hohlräume nach der Zusammenpressung . . . . . = 31,40 Vol.-%.

**Separation des Preßproduktes bei abwechselnd entgegengesetzter Fahrri-  
chtung.**

Gruppe	Korngröße	Gewichtsprocente
I	5 × 5 × 5 cm bis 4 × 3 × 3 "	80,85 %

Gruppe	Korngröße	Gewichtsprocente
II	30—12 mm	9,74 %
III	12—4 "	4,78 "
IV	4—1 "	2,44 "
V	unter 1 "	2,19 "

} 19,15 %

Anzahl der Touren bis zur konstanten Zusammenpressung = 82;  
 Stärke der Schüttung nach der konstanten Zusammenpressung . . . . . = 8,66 cm;  
 Hohlräume nach der konstanten Zusammenpressung . . . = 30,67 Vol.-%<sup>1)</sup>.

Es hat also eine erheblich stärkere Zerkleinerung des Materials bei der ständigen Hin- und Rückfahrt stattgefunden und es bedurfte fast der 1½fachen Zahl der Touren, um dieselbe Zusammenpressung wie bei der gleichen Fahrri-  
chtung zu erzielen.

Wenn deshalb schon aus Gründen der Arbeitsersparnis auf die Innehaltung der einheitlichen Fahrri-  
chtung für jede Straßenhälfte, so weit als angängig, zu achten ist, so wird damit zugleich auch einer unzweckmäßigen Zerkleinerung des Materials vorgebeugt werden. Man sollte deshalb stets von den Seiten bis hart an die Mitte walzen, aber erst wenn der Kleinschlag eine gewisse Verkeilung erfahren hat die Mitte selbst in angemessenen Perioden nachwalzen. Auch wird die Verwendung einer Walze, deren Breite mit derjenigen der Straße in richtigem Verhältnis steht, zu empfehlen sein.

**C. Untersuchungen an Basalt-Kleinschlagdecken.**

**XIX. Petrographische Unterscheidung der verschiedenen Basalt-Arten.**

Da die Basalte von sehr mannigfacher mineralogischer Zusammensetzung und Struktur sind und diese Eigenschaften auf den Wetterbeständigkeitsgrad des Gesteins, somit also auch auf seine Verwendbarkeit als Straßenbaumaterial, einen maßgebenden Einfluß ausüben, so mag den Untersuchungen der Basaltstraßen-  
decken eine kurze Beschreibung dieser Gesteinsart vorausgeschickt werden.

Der Basalt ist ein vulkanisches, meist sehr feinkörniges, mitunter auch porphyrisch aus-

gebildetes Gestein, dessen wesentliche Gemengteile Feldspat (Plagioklas) resp. Nephelin, Leuzit oder Melilith und Augit sind. Als Nebenbestandteile gesellen sich, in mehr oder weniger reich-

<sup>1)</sup> Es sei hier erwähnt, daß eine genaue Proportionalität zwischen dem Maß der Zusammenpressung und dem Gesamt-Volumen der Hohlräume, selbst bei einem und demselben Schottermaterial, im allgemeinen nicht besteht. Es wird dies erklärlich, wenn man berücksichtigt, daß die Größe der Zerkleinerungsprodukte und die Lagerung der Körner, auch bei gleichem Zusammenpressungsmaß verschieden sein kann.

licher Menge, hinzu: Olivin in Körnern oder Knollen, Magnetit bzw. Titaneisen. Die Farbe der Basalte ist bei größerem Gehalt an dunklem Augit, Magnetit oder Titaneisen schwarz, bei zurücktretender Menge dieser Bestandteile schwärzlichgrau bis grau. Das Gestein ist meist von sehr dichtem Gefüge; der Bruch ist glattflächig, muscheliger bis splitterig bei gutem, körnig oder hackig bei schlechtem Material.

Nach der mineralogischen Zusammensetzung unterscheidet man folgende Abänderungen: Feldspatbasalt, Nephelinbasalt, Leuzitbasalt, Melilithbasalt. Ein Teil der Basalte enthält, mehr oder weniger beträchtlich, glasige Bestandteile, bei deren Vorwalten sich Gesteine mit glasiger Grundmasse ausbilden.

Die wetterbeständigsten Abarten bilden diejenigen Feldspatbasalte, welche ein dichtes, gleichartiges Gefüge zeigen, einen hohen Gehalt an Augit in netzförmiger mikroskopischer Verwachsung nebst unzersetztem Feldspat besitzen, Olivin nur untergeordnet enthalten und frei von Glaseinschlüssen sind. Weniger widerstandsfähig sind im allgemeinen die Melilith-, Nephelin- und Leuzitbasalte, doch können auch diese Gesteine brauchbare Schottermaterialien bilden, wenn sie einen überwiegenden Augitgehalt aufweisen. Am leichtesten zerstörbar sind die sog. Glasbasalte.

Die folgende Zusammenstellung gibt eine allgemeine Übersicht über die mineralogische Beschaffenheit der einzelnen Basaltarten.

### 1. Feldspatbasalt.

Wesentliche Gemengteile: Feldspat (Plagioklas) und Augit; Nebenbestandteile: Olivin, Magnetit, Titaneisen und z. T. glasige Substanz.

Beispiele<sup>1)</sup>:

Basalt vom Siebengebirge (Fig. 58).

Die spärliche, vorzugsweise augit- und magnetithaltige Grundmasse umschließt dicht

<sup>1)</sup> Die Figuren sind mikroskopische Aufnahmen von Dünnschliffen der betreffenden Basalte.

gedrängte Feldspatleisten, größere Augitkristalle und Magnetitkörner. Qualitätsklasse I.<sup>1)</sup>



Fig. 58. Vergr. 49×.

Basalt von Striegau i. Schl. (Fig. 59).

Die Grundmasse besteht aus leistenförmigem Feldspat, untergeordnetem Augit, teils in einzelnen Körnern, teils in zusammenhängenden feinen Aggregaten; Olivin und Magnetit in Körnern. Qualitätsklasse I—II.

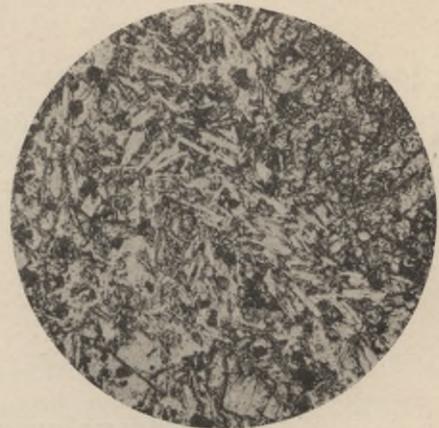


Fig. 59. Vergr. 130×.

Basalt von der Hellen Warte b. Fritzlar (Fig. 60).

Die Grundmasse stellt ein gleichmäßiges Gemenge von Feldspat und Augit dar, letzterer in netzförmiger Verwachsung. Die größeren

<sup>1)</sup> Über die Bestimmung der Qualitätsklassen siehe Hirschwald, Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung, Berlin 1912 b. Gebr. Borntraeger. Es sei bemerkt, daß die angegebenen Klassen sich lediglich auf das untersuchte Probematerial, nicht aber auf das Gesamtgestein des betreffenden Bruches beziehen.

Ausscheidungen bestehen vorzugsweise aus Augit und Magnetit. Qualitätsklasse I.



Fig. 60. Vergr. 49×.

Glasbasalt vom Schiffenberg b. Gießen (Fig. 61).

In einer glasigen Grundmasse sind sehr reichlich, in isolierten Kristallen und Körnern, ausgeschieden: Hellfarbiger Augit, Feldspat, Olivin und Magnetit. Qualitätsklasse III.

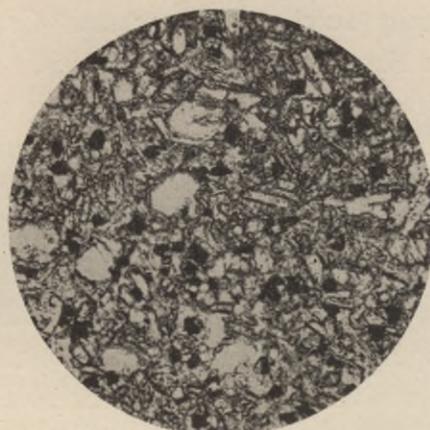


Fig. 61. Vergr. 49×.

## 2. Nephelinbasalt.

Wesentliche Gemengteile: Augit und Nephelin; Nebenbestandteile: Olivin, Magnetit und Apatit.

Beispiele:

Basalt vom Kreuzberg i. d. Rhön (Fig. 62).

Die sehr feinkörnige Grundmasse besteht vorwiegend aus Augit in netzförmiger Verwachsung, kleineren und größeren Körnchen von

Nephelin, nebst reichlichem Magnetit und Olivin. Qualitätsklasse I.

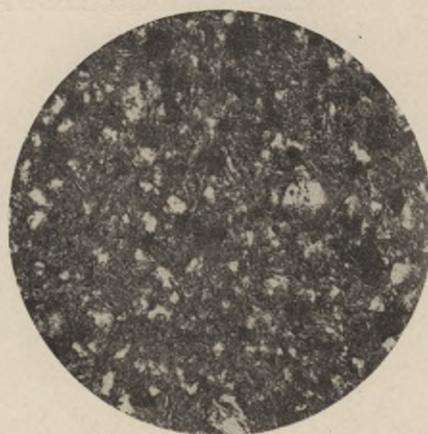


Fig. 62. Vergr. 250×.

## 3. Leuzitbasalt.

Wesentliche Gemengteile: Leuzit und Augit; Nebenbestandteile: Magnetit und Olivin.

Beispiel:

Basalt vom Fornicher Kopf am Laacher See (Fig. 63).

Die Grundmasse besteht vorwiegend aus Leuzit und Nephelin mit unvollkommen zusammenhängendem Augit, sehr reichlichem Magnetit und spärlichem Olivin. Qualitätsklasse II.

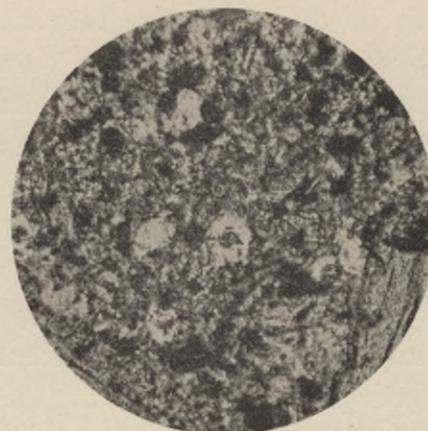


Fig. 63. Vergr. 250×.

## 4. Melilithbasalt.

Wesentliche Gemengteile: Melilith und Augit; Nebenbestandteile: Olivin und Magnetit.

Beispiel:

Basalt vom Hochbohl i. d. Schwäbischen Alb (Fig. 64).

Die Grundmasse enthält in annähernd gleicher Menge Melilith in prismatischen Kristallen und

hellfarbigen Augit von unregelmäßiger Form, beide Gemengteile in isolierten Körnern; ferner Olivin und Magnetit. Qualitätsklasse I—II.



Fig. 64. Vergr. 38 ×.

Manche Basalte, die in der Praxis als „Sonnenbrenner“ bezeichnet werden, zeigen eine eigentümliche und schnell verlaufende Verwitterung. Die betreffenden Gesteine pflegen schon nach kurzer Zeit, wenn sie die Bergfeuchtigkeit verloren haben, von zahlreichen unregelmäßigen Haarrissen durchzogen zu werden und ihre Oberfläche erscheint alsbald mit weißen, meist sternförmigen Flecken übersät (s. Fig. 65). Im weiteren Verlauf der Verwitterung zerfällt das Gestein in kleine kugelige Teile und feinen Grus, ein Vorgang, der bei der Verwendung solcher Basalte als Schottermaterial oftmals schon nach wenigen Monaten eintritt und tiefe Löcher in der Straßendecke verursacht. Solche Sonnenbrenner kommen in den Basaltbrüchen meistens nur in den oberen Lagen vor, während darunter gutes Material anstehen kann, weshalb in solchem Falle, bei unsachgemäßem Abbau bzw. ungenügender Aussonderung, sich dem fehlerfreien Kleinschlag mehr oder weniger reichlich Material von schlechter Beschaffenheit beimischt.

Hinsichtlich der mineralogischen Zusammensetzung der Sonnenbrenner ist zu bemerken, daß es ausschließlich glasführende Basalte sind, welche diesen schnellen Zerfall zeigen; auch scheint ein größerer Olivinegehalt allen oder doch den meisten Sonnenbrennern eigen zu sein. Derartige Basalte haben in der Regel einen körnigen oder hackigen Bruch; auch zerklüften oder zerspringen sie bei wiederholtem Erhitzen.

Das beste Erkennungsmittel bietet aber die Behandlung der Probestücke mit kochenden ätzenden Lösungen (Ammoniumcarbonat oder Natriumcarbonat)<sup>1)</sup>, wodurch an der Oberfläche der Sonnenbrenner jene weißen Flecken entstehen, welche sonst erst bei beginnender Verwitterung auftreten. Noch wirksamer ist ein 10 Minuten langes Kochen mit Salzsäure und darauf folgend, mit 5prozentiger Lösung von Natriumcarbonat<sup>2)</sup>.

Die Figuren 66 bis 68 zeigen die bei den letztgedachten Versuchen entstehenden Flecken in verschiedener Ausbildung. Dem Fachmann ist durch diese leicht auszuführende Prüfung ein Mittel gegeben, um den Straßenbau vor der Verwendung solcher im höchsten Grade zerstörbaren Basaltschotter zu schützen. Da aber der in Frage kommende Kleinschlag nur zum Teil aus Sonnenbrennern bestehen kann, so bedarf es einer größeren Stichprobe (etwa 50 kg), um die Untersuchung in zuverlässiger Weise auszuführen, wobei die äußere Beschaffenheit des Materials, insbesondere die Art der Bruchflächen, eine sachgemäße Auswahl der für die chemische Prüfung zu verwendenden Stücke erleichtert.

<sup>1)</sup> Leppla: Zeitschrift für praktische Geologie, 1901, S. 170.

<sup>2)</sup> Tannhäuser, „Bautechnische Gesteinsuntersuchungen“, 1910, Heft 1, S. 34 und „Der Steinbruch“, 1910, S. 340 und 1915, Heft 25/26. Die Figuren 65 bis 68 sind diesen Arbeiten entlehnt.

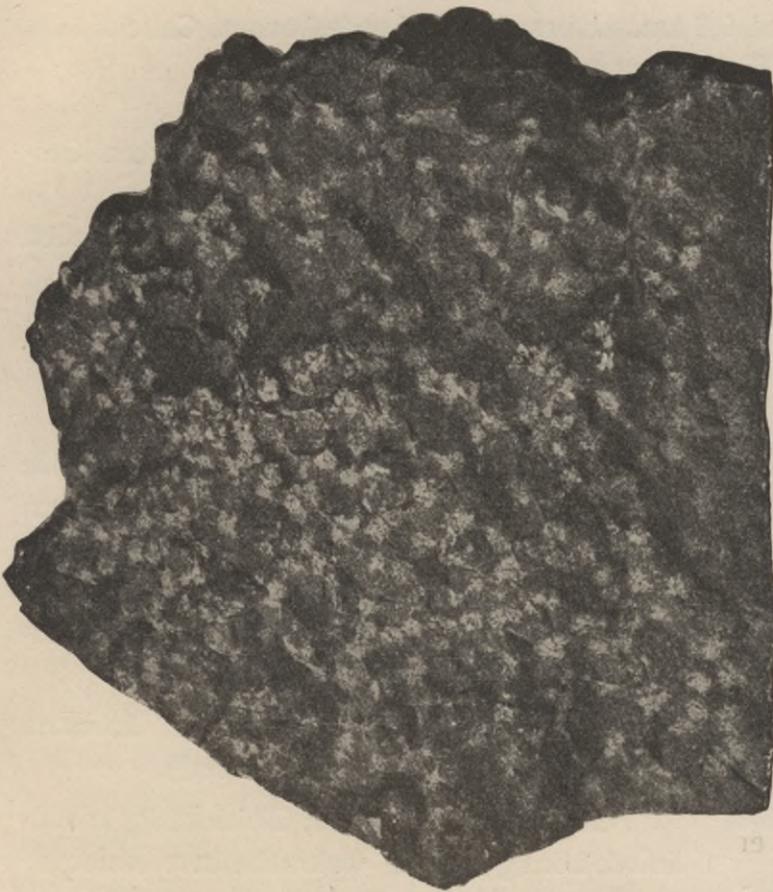


Fig. 65. Sternförmige Flecken an Sonnenbrennern.



Fig. 66.



Fig. 67.



Fig. 68.

Fig. 66—68. Ätzversuche an Basalt-Schliffen (Sonnenbrenner).

## XX. Chaussee Neuß-Rheydt (Rheinprovinz).

Probeentnahme: Zwischen 0,7 und 0,8 km. Einsender: Landesbauamt Crefeld.

Herkunft des Basalt-Kleinschlags: Finkenberg bei Limperich.

Alter der Decke: 12 Jahre.

Untergrund: Fester Lehmboden. Die Basaltdecke ist auf einer 18—21 cm starken Kieslage eingebaut.

Lage: Die Straße befindet sich in freiem Gelände und ist mit alten, schattenspendenden Bäumen bepflanzt. Die Probeentnahmestelle liegt in mäßiger Steigung.

Verkehr: Ziemlich lebhafter ländlicher und gewerblicher Verkehr. In neuerer Zeit auch Auto-Omnibus- und Lastbetrieb, der die alte Decke stark angreift.

Abnutzung: 5 mm bis 2 cm im Jahr.

Petrographische Beschreibung des Materials. Das Gestein ist ein schwarzer, dichter und fester olivinreicher Feldspatbasalt. Bruch: glatt bis splittrig. Die Grundmasse erweist sich unter dem Mikroskop als vollkommen kristallin; sie besteht aus einem dichten Filz von frischen Feldspatleistchen, Augit und Magnetitkörnchen (s. Fig. 69). Glassubstanz fehlt gänzlich. Olivin ist in der Grundmasse nur in geringer Menge vorhanden, dagegen tritt er mehr oder weniger reichlich in größeren Einsprenglingen auf; auch bildet er häufig Nester, deren Durchmesser bis zu mehreren Zentimetern steigen kann.

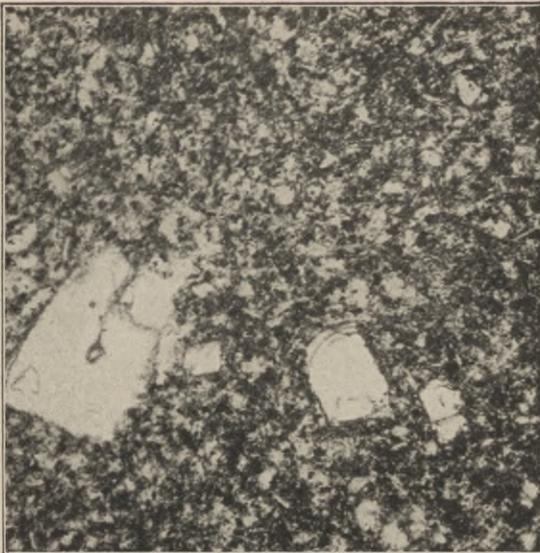


Fig. 69.

Das eingesandte frische Schottermaterial zeigt demnach auch eine auffällige Verschiedenheit. Etwa die Hälfte der Körner ist ohne größere Olivinausscheidungen, die andere Hälfte

enthält dagegen mehr oder weniger große Nester von Olivin, mitunter 2 bis 3 in einem Stück von  $5 \times 4 \times 4$  cm. Daraus erklärt sich die Schwankung in der Abnutzung von 0,5 bis 2 cm in den einzelnen Straßenabschnitten.

Für den Wetterbeständigkeitsgrad kommen folgende Eigenschaften in Betracht<sup>1)</sup>.

Feldspatbasalt, Typ: Bf; Gleichmäßig kristallinisch-körnig, ohne wahrnehmbare amorphe Basis und ohne größere Ausscheidungen an wesentlichen Bestandteilen, Typ: Gl<sub>5</sub>; reichlicher Augit in „syndetischer“ Ausbildung, Typ: aσ<sub>3-4</sub>; Feldspat vollständig frisch, mit spärlichen Spaltrissen, Typ: f<sub>1</sub>s<sub>2</sub>; homogene Interferenzfarbe im polarisierten Licht, Typ: h; Olivin in ziemlich reichlichen kleinen Körnchen, Typ: o<sub>2</sub>, oder in größeren Nestern, Typ: o<sub>4</sub>; Sättigungskoeffizient: S = 0,72.

Bestimmung der Bewertungsziffer des Wetterbeständigkeitsgrades:<sup>2)</sup>

$$\frac{\text{Bf}_1 \text{Gl}_5 \text{a}\sigma_{3-4} \text{hS}_2}{0,3} \times 1 + 0 = 0,3;$$

$$\frac{\text{desgl.}}{0,3} \times 1,6 + 0 = 0,5.$$

<sup>1)</sup> Über die Signatur der Basalttypen und deren Bewertung für die Qualitätsbestimmung des Gesteins s. Handbuch d. baut. Gesteinsprüfung S. 741 und 753.

<sup>2)</sup> Die aus diesen Bewertungsziffern sich ergebende Qualitätsbestimmung der Basalte für ihre Verwendung als Straßenschotter soll am Schluß der Gesamtuntersuchung erörtert werden.

**1. Separation der Straßendeckenprobe.**

Gewicht des Probematerials 59,7 kg.

Korngröße	Gewicht der einzelnen Separationen	In Prozenten d. Gesamtgewichts	Gruppen
Grober Stein-schlag $\left\{ \begin{array}{l} 5 \times 4 \times 4 \text{ cm} \\ 4 \times 3 \times 3 \text{ "} \end{array} \right.$	4,30 kg	7,20 %	I 24,79 %
	10,50 "	17,59 "	
Kleiner Stein-schlag $\left\{ \begin{array}{l} 30-20 \text{ mm} \\ 20-12 \text{ "} \end{array} \right.$	11,70 "	19,60 "	II 36,52 "
	10,10 "	16,92 "	
Grus-förmig $\left\{ \begin{array}{l} 12-10 \text{ "} \\ 10-5 \text{ "} \\ 5-4 \text{ "} \end{array} \right.$	4,00 "	6,70 "	III 17,84 "
	5,30 "	8,88 "	
	1,35 "	2,26 "	
Sand-förmig $\left\{ \begin{array}{l} 4-3 \text{ "} \\ 3-2 \text{ "} \\ 2-1 \text{ "} \\ 1-0,5 \text{ "} \end{array} \right.$	2,82 "	4,72 "	IV 14,05 "
	2,80 "	4,69 "	
	1,77 "	2,96 "	
	1,00 "	1,68 "	
Schlick s. Abs. 2 $\left\{ \begin{array}{l} 0,5-0,1 \text{ "} \\ 0,1-0,01 \text{ "} \\ \text{unter } 0,01 \text{ "} \end{array} \right.$	1,64 "	2,75 "	V 6,80 "
	1,01 "	1,69 "	
	1,41 "	2,36 "	

Eine Übersicht über das Mengenverhältnis der einzelnen Separationsprodukte gibt das Diagramm Fig. 70.

Über 30 mm 30-12 mm 12-4 mm 4-0,5 mm 0,5-(0,01 mm

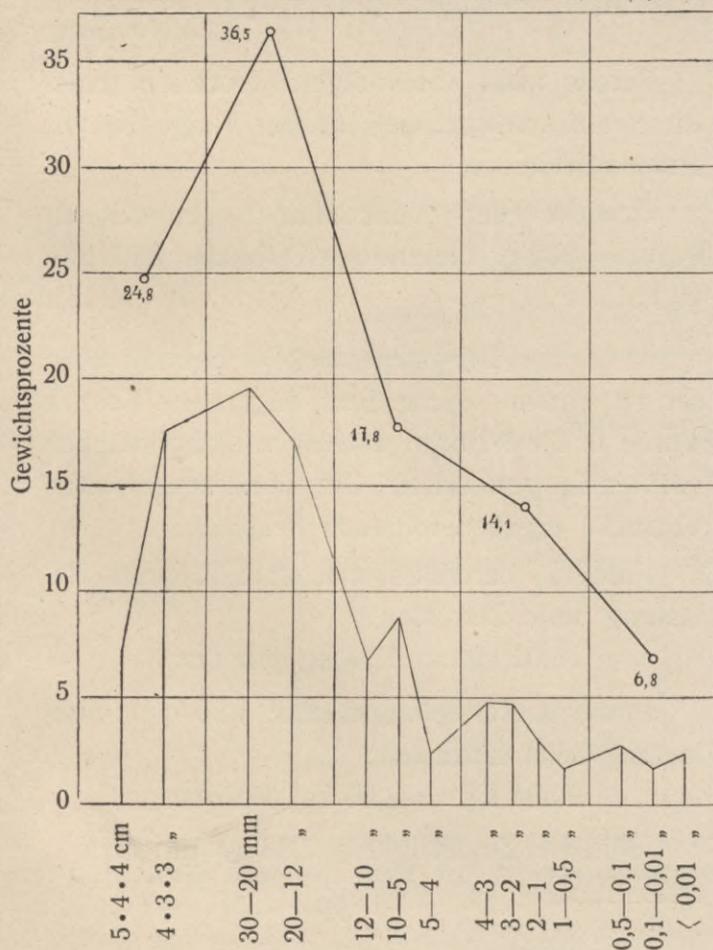


Fig. 70.

Der Prozentsatz an wenig veränderten Stücken, Gruppe I und II, ist kleiner als bei den übrigen untersuchten Basaltdecken, der des grus- und sandförmigen Materials, Gruppe III und IV, dagegen beträchtlich höher, während der Gehalt an Schlick, Gruppe V, auffallend gering ist. Es ergibt sich hieraus, daß die Zermürbung und Abnutzung der Decke im wesentlichen nicht auf Verwitterung des Materials beruht, sondern vorzugsweise der mechanischen Beanspruchung durch den Verkehr zuzuschreiben ist, wobei die reichliche Menge der Körner mit nesterförmigem Olivin die Zerstörung begünstigt.

**2. Untersuchung des schlickartigen Zerkleinerungsmaterials der Korngröße 0,5 mm und darunter.**

50 g der getrockneten Schlickmasse wurden mit Wasser aufgekocht und im Schöneschen Schlammapparat separiert.

Ergebnis<sup>1)</sup>:

- a) Korngröße 0,5 — 0,1 mm = 28,75 g (57,5 % der Gesamtmenge);
- b) Korngröße 0,1—0,01 mm = 8,91 g (17,82 % desgl.);
- c) Korngröße 0,01 mm und darunter = 12,34 g (24,68 % desgl.).

Unter dem Mikroskop erwies sich das Material a etwa zu gleichen Teilen bestehend aus mehr oder weniger scharfkantigen Basaltbröckchen und abgerundeten Quarzkörnchen, vermischt mit spärlichen Olivinresten, ohne Tonsubstanz. Da der Basalt quarzfrei ist, so müssen die Quarzkörnchen von der unvollkommen abgehobenen Schutzdecke herkommen. Es vermindert sich demnach die Korngröße a etwa um die Hälfte, und es verbleiben ca. 14 g = 28 % an reinem Basaltschlick.

<sup>1)</sup> In Rücksicht auf den großen Unterschied in dem spez. Gewicht der Basaltbestandteile (2,5—5,2) mußte der Schlammapparat anders als bei den granitischen Gesteinen eingestellt werden und es ergab sich hierdurch eine Änderung der Korngrößen gegenüber dem letztgenannten Material.

Das Material b bestand aus Basaltresten und Splitterchen von Feldspat, Augit, Magnetit und Olivin, nebst geringer Menge von Quarz ohne Tonsubstanz.

Das Material c war reine Tonsubstanz.

Die chemische Analyse dieser Tonsubstanz ergab folgendes Resultat:

SiO <sub>2</sub>	=	51,66 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=	7,99 "
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	=	19,54 "
CaO	=	7,66 "
MgO	=	3,99 "
Na <sub>2</sub> O	=	1,80 "
H <sub>2</sub> O	=	6,35 "
CO <sub>2</sub>	=	1,01 "

Der Gehalt an löslicher Kieselsäure in der abgeschlammten Tonsubstanz (Korngröße unter 0,01 mm) betrug im Mittel aus zwei Bestimmungen: 2,82%.

Der Schlick der Straßendecke erweist sich hiernach als ein kalk- und magnesiareicher Ton von hohem Eisen- und mittlerem Kieselsäuregehalt. Das vorhandene Natriumcarbonat, sowie die lösliche Kieselsäure, entstammen der chemischen Verwitterung des Feldspats bzw. des Olivins.

### 3. Untersuchung der Härte und Festigkeit des getrockneten tonigen Schlickes.

a) Vicatsche Nadelprobe<sup>1)</sup>. Der Schlick wurde mit Wasser zu einem steifen Brei angerührt, in die vorher gewogenen runden Messingformen geschlagen und wieder ausgewogen. Das Trocknen geschah im Thermostaten bei 30° C. Nach je drei Stunden wurde wieder gewogen, um den Wasserverlust festzustellen, und alsdann die Eindringungstiefe der mit 300 g beschwerten Nadel bestimmt. Erfolgte keine Eindringung mehr, so wurde die Belastung von 500 zu 500 g erhöht. Die Druckfläche der zylindrischen Nadel betrug 4,99 mm<sup>2</sup>.

### Ergebnis:

Trocknung im Thermostaten bei 30° C.	Gewicht der Form nebst Inhalt in g	Gewichtsverlust beim Trocknen in g	Belastung der Nadel	Eindringungstiefe
Nach dem Einschlagen:	676,6	—	300 g	Probe vollkommen durchstoßen
nach 3 Std.	675,7	0,9	desgl.	desgl.
" 21 "	671,5	4,2	"	"
" 24 "	670,4	1,1	"	"
" 30 "	668,7	1,7	"	12,0 mm
" 45 "	665,4	3,3	"	1,0 "
" 48 "	664,2	1,2	"	0,5 "
" 69 "	659,3	4,9	2,0 kg	1,0 "
			2,5 "	1,5 "
			3,0 "	2,0 "
			3,5 "	3,0 "
			4,0 "	5,0 "
			5,0 "	vollkommen durchstoßen
" 72 "	658,3	1,0	2,0 "	1,5 mm
			2,5 "	2,0 "
			3,0 "	4,0 "
" 213 "	638,0	20,3	3,5 "	die rissige Probe zersprang.

Bereits nach 45stündigem Trocknen traten Risse auf, welche sich in der Folge bis zu 1 mm erweiterten.

Gewicht der vollkommen getrockneten Probe = 202 g. Gesamtwasserabgabe: 38,6 g = 19,1%.

b) Zerreißungsversuch<sup>1)</sup>. Der mit Wasser zu einem steifen Brei angerührte Schlick wurde in die 8-Form geschlagen und allmählich vollständig getrocknet. Die damit ausgeführten Versuche ergaben folgende Resultate:

Probe I. Zerreißungsfläche: 5,08 qcm. Belastung beim Zerreißen:

$$10,02 \text{ kg} = 1,97 \text{ kg pro qcm.}$$

Probe II. Zerreißungsfläche: 4,80 qcm. Belastung beim Zerreißen:

$$9,594 \text{ kg} = 2,00 \text{ kg pro qcm.}$$

Mittlere Zugfestigkeit: 1,98 kg pro qcm.

<sup>1)</sup> s. Jahrgang 1912, Heft 1, S. 13.

<sup>1)</sup> s. Jahrgang 1912, Heft 1, S. 13.

**4. Prüfung des frischen Basalt-Kleinschlags von Finkenberg bei Limperich.**

Die mikroskopische Untersuchung an Dünnschliffen ließ die völlige Identität des Kleinschlags mit dem zum Bau der Straße Neuß-Rheydt verwendeten Material erkennen.

**a) Bestimmung der Druckfestigkeit.<sup>1)</sup>**

	Lufttrocken:	Wassersatt:
1.	3637 kg/qcm	3414 kg/qcm
2.	3277 "	3273 "
3.	2923 "	3079 "

**b) Bestimmung der Abnutzungshärte.**

Die Versuche wurden mit der in Heft 2, III. Jahrg. S. 1 beschriebenen Schleifmaschine ausgeführt<sup>2)</sup>. Schleiffläche: 20,7 qcm; Belastung: 14,5 kg. Probe frei von Olivin-Nestern.

Lfd. Nr.	Stahlsandverbrauch in g	Tourenzahl	Abnutzung in mm	Tourenzahl für 1 mm Abnutzung
1	500	150	0,75	200
2	"	"	0,75	200
3	"	"	0,70	214
4	"	"	0,70	214
5	"	"	0,75	200
				Mittel 205

Ziffer der Abnutzungshärte  $h = 20$ .

**c) Bestimmung der kombinierten Schlag- und Abnutzungshärte.**

s. a. a. O. S. 5.

Schleiffläche: 20,7 qcm; Belastung 14,5 kg. Nach je 60 Touren wurde die Probe aufs neue gemeißelt.

Lfd. Nr.	Stahlsandverbrauch in g	Tourenzahl	Abnutzung in mm	Tourenzahl für 1 mm Abnutzung
1	200	60	0,6	100
2	"	"	0,6	"
3	"	"	0,6	"
4	"	"	0,6	"
5	"	"	0,6	"
				Mittel 100

Ziffer der kombinierten Abnutzungshärte  $h_s = 10$ .

$$\text{Reduktionskoeffizient } r = \frac{h_s}{h} = \frac{10}{20} = 0,5,$$

d. h. die Abnutzung hat sich durch die Meißelschläge auf das Doppelte des ursprünglichen Wertes erhöht.

**d) Pressungsversuche an frischem Kleinschlag mit der Walzenpresse.**

Gewicht der Kleinschlagprobe: 40 kg.

Zusammensetzung des zur Pressung verwandten Materials:

Korngröße in cm	Gewicht in kg	Gewicht in %	Anzahl der Steine	Durchschnittsgewicht der einzelnen Steine g	Formtypus des Kleinschlags s. S. 46
4 × 4 × 4	9,0	22,5	51	176	Vorwiegend VIIIb, untergeordnet VIIIa, vereinzelt IVb und VIb.
4 × 4 × 3	19,0	47,5	131	145	Vorwiegend VIIIb, untergeordnet VIIIa und IVb, vereinzelt VIb, VIIb und IIIb.
4 × 3 × 3	12,0	30,0	109	110	Vorwiegend VIIIb, untergeordnet VIIIa, vereinzelt VIIb, IIIb und IVa.
	40,0	100,0	291		

<sup>1)</sup> Mitteilungen aus dem Kgl. Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde, 1889.

<sup>2)</sup> Als Schleifmaterial wurde Diamantstahl-Sand, Körnung Nr. 5 verwendet, der durch ein Sieb von

0,5 mm Maschenweite gerüttelt worden war. Lieferant des Stahlsandes: Langensiepen u. Bachmann, Leipzig-Plagwitz.

Nachdem der Kleinschlag durch das Walzen einigermaßen eingeebnet war, was nach 8 Touren stattfand, wurde er angefeuchtet und während des ganzen Versuchs mäßig feucht gehalten. Die Pressung ist solange fortgesetzt worden, bis die Zusammendrückung bei 5maliger Wiederholung konstant war.

Zusammenpressung, gemessen in der Mitte des Fahrkastens.

1. 0,20 cm,	9. 1,10 cm,	17. 1,70 cm,
2. 0,38 „,	10. 1,20 „,	18. 1,76 „,
3. 0,60 „,	11. 1,28 „,	19. 1,79 „,
4. 0,72 „,	12. 1,40 „,	20. 1,84 „,
5. 0,79 „,	13. 1,50 „,	21. 1,90 „,
6. 0,90 „,	14. 1,58 „,	22. 2,00 „,
7. 0,96 „,	15. 1,62 „,	23. 2,10 „,
8. 1,02 „,	16. 1,67 „,	24. 2,12 „,

25. 2,14 cm,	37. 2,52 cm,	49. 2,74 cm,
26. 2,18 „,	38. 2,54 „,	50. 2,75 „,
27. 2,20 „,	39. 2,54 „,	51. 2,79 „,
28. 2,28 „,	40. 2,58 „,	52. 2,79 „,
29. 2,30 „,	41. 2,58 „,	53. 2,80 „,
30. 2,35 „,	42. 2,59 „,	54. 2,81 „,
31. 2,40 „,	43. 2,60 „,	55. 2,88 „,
32. 2,42 „,	44. 2,62 „,	56. 2,88 „,
33. 2,48 „,	45. 2,62 „,	57. 2,89 „,
34. 2,48 „,	46. 2,67 „,	58. 2,89 „,
35. 2,50 „,	47. 2,69 „,	59. 2,90 „,
36. 2,50 „,	48. 2,70 „,	60. 2,90 „,

usw.

Zusammenpressung: 2,90 cm.

Hohlräume im zusammengepreßten Kleinschlag: 34,86 Vol.-%,

Dichtigkeitsgrad der Kleinschlagpressung:

$$\frac{100 - 34,86}{100} = 0,65.$$

#### e) Separation des Pressungsproduktes.

Korngröße	Gewicht in kg	Gewicht in %	Gruppen I—V	Anzahl der Steine	Durchschnittsgewicht der einzelnen Steine g	Formentypus
4 × 4 × 4 cm	5,40	13,50	I 82,07%	31	174	Vorwiegend VIII b, untergeordnet VIII a, vereinzelt IV a.
4 × 4 × 3 „	16,20	40,50		119	136	Vorwiegend VIII b, untergeordnet VIII a, vereinzelt IV b, VI b, III b und VII b.
4 × 3 × 3 „	11,23	28,07		122	92	Vorwiegend VIII b, untergeordnet VIII a, vereinzelt VII b, IV a u. VI b.
30—20 mm	3,18	7,95	II 11,15%	272		
20—12 „	1,28	3,20				
12—10 „	0,31	0,77	III 3,29%	II—V 17,93%		
10—5 „	0,86	2,15				
5—4 „	0,15	0,37				
4—3 „	0,22	0,55	IV 1,85%			
3—2 „	0,24	0,59				
2—1 „	0,28	0,71	V 1,64%			
unter 1 „	0,656	1,64				

Es haben also durch die Pressung folgende Veränderungen der Korngrößen stattgefunden:

Von den 291 Steinen der Gruppe I (4 × 4 × 4 bis 4 × 3 × 3) sind 272 Steine von annähernd ursprünglicher Größe verblieben und 19 Steine oder ca. 6,5 % haben eine stärkere Zerstörung erfahren. Hierbei sind 17,93 % Splitt, Grus, Sand und Schlick gebildet worden.

In der Gruppe 4 × 4 × 4 fehlt der Typ VI b (scharfspitzig), in der Gruppe 4 × 4 × 3 ist der Typ V b (keilförmig) vermindert und in der Gruppe 4 × 3 × 3 fehlt der Typ III b (dünnplattig mit spitzen vorspringenden Ecken). Auch der Typ VIII b (unregelmäßig desgl.) hat wesentlich zur Verminderung der großen Körner beigetragen.

Man ersieht hieraus, welche Bedeutung die Berücksichtigung der Form des Kleinschlags für die Beurteilung des Pressungsergebnisses und die daraus abzuleitende Festigkeitsklasse des Schottermaterials hat. Erwägt man ferner, daß ein bestimmtes Maß der Splittbildung von wesentlichem Einfluß auf die gute Verkeilung des Schotters innerhalb der Straßendecke ist, so wird man bei der Herstellung des Kleinschlags tunlichst auch auf die Erzielung zweckmäßiger Formtypen Rücksicht zu nehmen haben.

f) Vergleichung der Separationsprodukte der alten Straßendecke mit denen der Pressungsversuche an frischem Kleinschlag.<sup>1)</sup>

Korngrößen- gruppe	Alte Straßendecke %	Pressungs- produkt des frischen Steinschlags %	Abnahme (—) und Zu- nahme (+) der Korn- größe in der alten Decke %
I	24,79	82,07	— 57,28
II	36,52	11,15	+ 25,37
III	17,84	3,29	+ 14,55
IV	14,05	1,85	+ 12,20
V	6,80	1,64	+ 5,16

<sup>1)</sup> Es bedarf wohl kaum des Hinweises, daß es sich hierbei, trotz der errechneten Dezimalen, lediglich um Näherungswerte handelt. Denn es kann weder eine absolute Identität zwischen der ursprünglichen Körnung des zur Straßendecke verwandten Schotters und des Versuchsmaterials angenommen werden, noch ist eine solche hinsichtlich der Zerkleinerungsprodukte der Straßenwalze und der Walzenpresse zu erwarten. Durch die Zusammen-

Hieraus folgt:

1. daß in der 12 Jahre alten Straßendecke mehr als 50% der großen Steine bereits zerstört sind;
2. daß die kleinen Steine dadurch eine Vermehrung um etwa 25% erfahren haben;
3. daß die Menge der grus-, sand- und schlickartigen Bestandteile um ca. 32% zugenommen hat.

Als chemische Zersetzungsprodukte sind im wesentlichen ca. 5% der Gruppe V zu betrachten, so daß die Zerstörung des Materials, wie bereits erwähnt, vorzugsweise der Einwirkung des Fuhrwerksverkehrs zuzuschreiben ist.

Das gegenwärtige Mengenverhältnis zwischen Kleinschlag, Splitt und den grus- bis schlickartigen Bestandsmassen entspricht demnach nicht mehr der normalen Zusammensetzung einer guten Straßendecke, so daß der fragliche Basaltschotter seine Erhaltungsdauer in der 12 Jahre alten Decke, bereits überschritten hat. Der Umstand, daß die Decke ohne Packlage, auf einer 18—21 cm starken Kiesschicht, mit darunter liegendem Lehmboden eingebaut ist, mag zur Beschleunigung der Zerstörung wesentlich beigetragen haben.

fassung der Korngrößen in Gruppen, deren Grenzwerte ziemlich weit auseinander liegen, ist diesen Verhältnissen bereits Rechnung getragen worden, und in demselben Sinne wird man für die Vergleichung lediglich die abgerundeten Versuchsziffern zu berücksichtigen haben.

Fortsetzung der Untersuchung an Basalt-Straßendecken im nächsten Heft.





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315035

1911

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000315036

1912

Biblioteka PK

**J.X.46**

/ 1912

Biblioteka PK

**J.X.46.**

/ 1918

Biblioteka PK

**J.X.46**

/ 1921

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300778

1912