x
2.00f

Der

Einfluss der Temperatur und der Nässe auf Steine und Mörtel

von

Ludwig Debo,
Geheimer Regierungsrath, Baurath und Professor a. D.

Hannover 1897.
Schmorl & von Seefeld Nachf.
(Inh. C. & G. Knothe.)

Druck von Th. Schäfer in Hannover.

Inhaltsverzeichniss.

Der Einfluss der Temperatur und der Nässe auf Steine und Mörtel, und die daraus sich ergebenden Lehren für Bauausführungen.

§ 1. Die Steine und der Mörtel sind, wie alle Körper, dem allgemeinen Naturgesetze unterworfen: durch Wärme-Erhöhung sich auszudehnen und durch Wärme-Verminderung sich zusammenzuziehen.

Ferner haben dieselben auch die Eigenschaft, durch Nässe sich auszudehnen und durch Austrocknen sich zusammenzuziehen.

Dieses Verhalten muss bei Bauausführungen sorgfältig berücksichtigt werden, um Unheil zu verhüten.

Sichere Erfahrungs-Resultate darüber sind zur Zeit nur sehr spärlich vorhanden. Dasjenige, was mir bekannt geworden ist, will ich nachstehend mittheilen, unter Anfügung meiner Bemerkungen.

§ 2. Der Chef-Ingenieur Bouniceau hat in den Annales des ponts et chaussées, Theil 5 Jahrgang 1863, 1. Sem. S. 178 mitgetheilt, dass an den aus Mauerziegeln in Portlandcementmörtel ausgeführten Hafenmauern von Havre, welche zum grössten Theile im Sommer 1859 bei einer ungewöhnlichen Wärme von 25 bis 28° ausgeführt waren, im Winter von 1859 auf 1860 bei einer Kälte von — 12° unbedeutende Risse entstanden seien. Man habe zuerst befürchtet, dass diese Risse in Folge ungleichmässiger Hinterfüllung der Mauern entstanden seien, habe aber gefunden, dass der am meisten charakte-

ristische Riss in einer Mauer sich befand, welche auf beiden Seiten frei war, so dass also die Ursache der Risse auf die Zusammenziehung des Mauerwerks durch die Kälte zurückgeführt werden musste.

Hr. Bouniceau hat nun das Maass der entstandenen Frostrisse vergleichen wollen mit dem, nach dem Wärme-Koefficienten für Ziegelmauerwerk in Cementmörtel berechneten Maasse, hat aber gefunden, dass dieser Koefficient nicht vorhanden sei, und sich daher entschlossen, die Wärme-Koefficienten für Ziegelmauerwerk, für Cement, für Beton, sowie für verschiedene Steinarten durch Versuche zu ermitteln.

Diese Versuche sind ausgeführt an Prismen von 169 bis 240 cm Länge und etwa 20 cm im Quadrat Stärke. Jedes Prisma wurde in einem, über einer geschlossenen Feuerung stehenden eisernen Kasten in einem Wasserbade erwärmt, gemeinlich von 10 bis 95°. Vor jedem Ende war ein Winkelhebel angebracht zur Messung der erfolgten Ausdehnung.

Die Versuche haben folgende Koefficienten für 1° C. Temperaturveränderung als Theil der Länge ergeben:

	Längenänderung auf 1° C.
Mörtel aus reinem Portlandcement	0,0000107
Portlandcement-Mörtel, 1 Thl. Cement 2 Thl. Sand	0,0000118
Portlandcement-Beton	0,0000143
Ziegel-Mauerwerk in Portlandcementmörtel aus 1 Thl. Cement 2 Thl. Sand; Binder	0,0000089
Desgleichen; Läufer	0,0000046
Kalksteinquader von Ranville	0,0000075
Desgleichen von Maladrerie bei Caen	0,0000089
Granitquader von Diélette	0,0000079
Marmor	0,0000054
Weisser Gypsguss	0,0000166

Zu den vorstehenden Versuchsresultaten ist Folgendes zu bemerken.

Die Versuche haben, nach Angabe des Hr. Bouniceau, in Eile ausgeführt werden müssen. Es hat somit eine längere Einwirkung des erwärmten Wassers auf den zu prüfenden Körper nicht stattgefunden. Dieser hat also am Schlusse des Versuches noch nicht die Temperatur des umgebenden Wassers gehabt, da die Uebertragung der Wärme nur allmälig stattfindet. Zur Ermittelung des Ausdehnungs-Koefficienten hätte die Temperatur des Versuchskörpers selbst, und zwar zu Anfang, sowie zu Ende des Versuches, gemessen werden müssen, um daraus die in Betracht kommende Temperatur-Differenz zu erlangen. Die von Hr. Bouniceau gemessene Temperatur des umgebenden Wassers ist für die Feststellung des fraglichen Ausdehnungs-Koefficienten nicht massgebend. Die Temperatur des Wassers ist unzweifelhaft grösser gewesen, als die in Betracht kommende Temperatur des Versuchskörpers, und somit ergiebt sich hierfür ein grösserer Koefficient als nach dem Verfahren von Bouniceau.

Auf den ersten Anblick mag es so scheinen, als wenn die Bouniceau'schen Werthe für die Praxis doch nutzbar seien, indem man die Temperatur der umgebenden Luft in Ansatz bringe. Das aber ist nicht der Fall. Bei den Versuchen von Bouniceau hat das warme Wasser auf alle Seiten des Versuchskörpers eingewirkt, während die Einwirkung der umgebenden Luft auf die Mauerkörper sehr verschieden ist, z. B. bei Einfriedigungsmauern, Ufermauern, Gebäudemauern u. s. w.

Nun kommt aber in Betreff der Bouniceau'schen Versuche noch der sehr gewichtige Umstand in Betracht, dass dabei durch die Annässung eine Ausdehnung der Versuchskörper stattgefunden hat.

Sonach hat bei diesen Versuchen sowohl die Wärme, als auch ein gewisser Grad der Annässung auf die stattgefundene Ausdehnung eingewirkt, und es ist nicht klar zu stellen, wie viel davon durch die Wärme und wie viel durch die Annässung veranlasst ist. Demnach sind die Bouniceau'schen Koefficienten für die Wärmeausdehnung nicht als richtig zu erachten.

Leider hat Hr. Bouniceau keine nähere Angaben über die in den Havre'schen Hafenmauern entstandenen Risse, als Stärke der Risse und Entfernungen derselben, gemacht, so dass also eine Vergleichung mit dem Versuchs-Koefficienten nicht thunlich ist.

§ 3. Hr. Meier (Malstatt) hat durch Laboratorien-Versuche gefunden, wie in dem Werke „Der Portlandcement", Berlin 1892, S. 79 angeführt ist, dass der Portlandcement, und zwar ohne Sandzusatz, als auch mit 2 bis 6 Thl. Sandzusatz, durch die Wärme, innerhalb der Temperaturgrenzen von -5^0 und $+25^0$ C., fast genau ebenso beeinflusst wird als das Schmiedeeisen, das ist auf 1^0 C. = 0,00001220 der Länge (nach Lavoisier und Laplace).

Ferner hat Hr. Meier gefunden, dass beim Erhärten des Cementmörtels unter Wasser eine Längenvergrösserung von 0,001 der Länge eintritt, und dass beim Erhärten an der Luft eine Längenverminderung (Schwindung) bis zu 0,002 der Länge stattfindet.

§ 4. Hr. Dr. Schumann hat in Betreff des Einflusses des Wassers auf Cement und Bausteine durch Versuche die folgenden Resultate erlangt, (mitgetheilt in dem Protokoll der 7. General-Versammlung des Vereins Deutscher Cement-Fabrikanten, 1881; auch abgedruckt in dem Werke „Der Portlandcement" S. 80 und 81):

Verlängerung von Cementmörtel in Wasser gelegt, in Theil der Länge.

Zeitdauer in Wochen:	Mörtel ohne Sand	Mörtel aus 1 Thl. Cement u. 3 Thl. Sand
1 Woche	0,00048	0,00015
4 Wochen	0,00082	0,00021
13 „	0,00104	0,00024
26 „	0,00125	0,00028
39 „	0,00139	0,00030
52 „	0,00146	0,00033

Längenänderungen bei Bausteinen, als Theil der Länge.

Art der Bausteine	2 Wochen liegend	
	im Wasser dehnt sich aus	an der Luft schwindet
1. Ziegelsteine:		
Rother Ziegelstein, leicht gebrannt...	0,00016	0,00015
Weisser „ scharf „ ...	0,00010	0,00009
„ „ „ „ ...	0,00019	0,00010
Oldenburger Klinker	0,00006	0,00008
2. Sandstein:		
Rother Pfälzer Sandstein, feinkörnig..	0,00006	0,00018
„ „ „ grobkörnig..	0,00016	0,00023
Rother Sandstein, feinkörnig.....	0,00046	0,00055
Grauer Miltenberger Sandstein, feink.	0,00050	0,00050
„ „ „ sehr feink.	0,00206	0,00178
3. Kalkstein:		
Lothringer weisser poröser Kalkstein.	0,00004	0,00008
„ Liaskalk.....	0,00007	0,00008
Litorinellen-Kalk von Biebrich.....	0,00011	0,00009
Dichter thonhaltiger „	0,00026	0,00026

Art der Bausteine	2 Wochen liegend	
	im Wasser dehnt sich aus	an der Luft schwindet
4. Basalte:		
Basalt von Kirn a. d. Nahe	0,00041	0,00050
„ „ Oberbrechen bei Limburg a. d. Lahn	0,00025	0,00027
„ „ Steinheim bei Hanau	0,00048	0,00050
„ „ Neurod bei Wiesbaden...	0,00023	0,00027
5. Granit	0,00006	0,00015

§ 5. Bemerkungen zu den vorstehenden §§ 3 und 4.

Die Angabe des Hr. Meier (Malstatt), dass der Portlandcement, und zwar ohne, als auch mit Sandzusatz, durch die Wärme fast genau ebenso beeinflusst wird, als das Schmiedeeisen, stimmt mit den Angaben Anderer überein, und es darf dieselbe wohl als nahezu richtig anerkannt werden. Jedenfalls ist ein grösserer Unterschied nicht vorhanden, es würde sich das bei den Monier-Ausführungen gezeigt haben.

Der Hr. Ingenieur Wayss hat in seinem Werke „Das System Monier, Berlin 1887“ S. 8 angegeben: Der Ausdehnungs-Koefficient auf 1° C. Wärmewechsel beträgt für Portland-Cement-Beton nach Bouniceau 0,0000137 bis 0,0000148, — und für Schmiedeeisen nach Heinzerling 0,0000145. Diese Koefficienten sind fast genau gleich und Hr. Wayss erachtet darnach als wissenschaftlich erwiesen, dass die Ausdehnungs-Koefficienten für Portland-Cement-Beton und für Schmiedeeisen völlig gleich seien.

Nun habe ich aber vorstehend im § 2 nachgewiesen, dass die von Bouniceau ermittelten Wärme-Ausdehnungs-

Koefficienten nicht als richtig anzuerkennen sind, und ferner ist auch der vorstehend nach Heinzerling angeführte Koefficient für Schmiedeeisen als sehr zweifelhaft zu erachten.

Der Ausdehnungs-Koefficient für Schmiedeeisen auf 1° C. findet sich angegeben, wie folgt:

1. Lavoisier und Laplace, mitgetheilt im Handbuche der Baukunde, Berlin 1885, I. Hülfswissenschaften S. 799	0,00001220
und für Eisendraht	0,00001235
2. Redtenbacher in Gottgetreu Baumaterialienlehre II. Band, 3. Auflage 1881	0,00001235
3. Breymann, III. Theil S. 6	0,00001115
und Eisendraht	0,00001140
4. Weisbach, der Ingenieur 1848 S. 526..	0,00001182
5. Ingenieurs Taschenbuch, die Hütte 1889 .	0,00001182
6. Tabellen zur Baukunde 1879	0,00001182
	bis 0,00001258
7. Heinzerling, in Durm's Handbuch der Architectur III. Theil, Bd. 1, S. 17	0,0000145.

Nach Ausweis der vorstehenden Angaben ist die unter Nr. 7 angeführte Heinzerling'sche erheblich grösser, als alle andern. Nähere Angaben über die Quelle der Heinzerling'schen Angabe sind nicht erbracht, so dass die Beurtheilung derselben nicht thunlich ist, und somit muss der vorhin erhobene Zweifel über die Richtigkeit vorerst als berechtigt erscheinen.

Demnach ist die von Hr. Wayss vermeintliche Beweisführung über die Gleichheit der Wärme-Ausdehnungs-Koefficienten von Portland-Cement-Beton und Schmiedeeisen hinfällig.

Die vorstehend im § 4 augeführten Versuche des Hr. Dr. Schumann über den Einfluss des Wassers auf Cement und Bausteine sind anscheinend an Versuchsstücken von nur 100 mm Länge vorgenommen, denn in der betreffenden Veröffentlichung ist gesagt: „ein Prisma von 100 mm Länge verlängert sich um Millimeter.“

Wenn die Versuche mit solch sehr kleinen Stücken vorgenommen sind, so ist die Richtigkeit der Resultate mit Recht zu bezweifeln, da eine einigermassen genaue Messung an solch kleinen Stücken nicht möglich ist.

§ 6. In Betreff des Sandsteins ist von Hr. Marx, Handbuch der Architectur von Durm pp. III. Theil S. 17, angegeben, dass der Ausdehnungs-Koefficient für Wärme sich dem von Eisen nähere. Fände eine so starke Ausdehnung allein durch die Wärme statt, so würden bei den Bauausführungen der Gebäude, insbesondere bei langen durchlaufenden Quadergesimsen, sowie bei den Deckplatten der Einfriedigungsmauern, den Deckquadern der Ufermauern, den Kantenquadern der Trottoirs, den Freitreppen u. s. w. die Schäden erheblich grösser sich zeigen, als es thatsächlich der Fall ist. Auf die Ausdehnung von Quaderwerken wirken ausser der Wärme auch noch die Nässe und die Eisbildung in den Fugen ein. Bei der Zusammenziehung in Folge der Kälte entstehen zwischen den Quaderstücken offene Fugen; in diese dringt Wasser ein, durch dessen Gefrieren eine Ausdehnung bewirkt wird. Es wirken also auf die Ausdehnung der Quader ausser der Wärme auch noch die Nässe und die vorbezeichnete Eisbildung ein. Wäre nun die Ausdehnung durch die Wärme schon so gross als die des Schmiedeeisens, so würde die Gesammtausdehnung sich unzweifelhaft erheblich grösser ergeben, als sie bei den Bauwerken wirklich stattfindet. Es erscheint also auch hier die Anstellung neuer Versuche als geboten.

§ 7. Bei der Ausführung neuer Versuche ist Folgendes zu berücksichtigen.

1. Um bei der Messung der Ausdehnungen einen grössern Genauigkeitsgrad zu ermöglichen, ist die Länge der Versuchsstücke nicht unter 2 m anzunehmen.

2. Zur Ermittelung der in Betracht zu ziehenden Temperaturdifferenz ist die Temperatur zu Anfang und zu Ende des Versuches an den Versuchskörpern selbst zu messen, in der Weise, dass einige, bis etwas unter die Hälfte der Höhe hinab reichende Löcher hergestellt werden, in dieselben Quecksilber geschüttet, und in dieses das Thermometer eingetaucht wird. Die Temperatur der umgebenden Luft bezw. des umgebenden Wassers ist nicht massgebend.

3. Wegen Ermittelung der Ausdehnung allein durch Wärme müssen die Versuchskörper völlig ausgetrocknet, und wegen Ermittelung der Ausdehnung durch Nässe müssen sie völlig durchnässt werden. Enthielten im erstern Falle die Körper Feuchtigkeit, so würde solche auf die Ausdehnung mit einwirken, wie solches bei den Bouniceau'schen Versuchen geschehen ist, — und wären im zweiten Falle die Versuchskörper nicht völlig durchnässt, so würde die Ausdehnung nicht zu voll eintreten.

4. Bei den Versuchen über die Ausdehnung durch Wärme ist zu ermitteln, ob dieselbe auch bei Steinen und Mörtel in geradem Verhältnisse zu dem Temperaturgrade stattfindet, wie für Metalle allgemein angenommen wird.

5. Ferner ist zu ermitteln, wie das Verhalten beim Zusammenwirken von Wärme und Nässe beschaffen ist, ob dabei die beidertheiligen Ausdehnungen sich zusammensetzen, oder aber ob die eine dieser Ausdehnungen ganz oder zum Theil in der andern aufgeht?

6. Ferner ist zu untersuchen das Verhalten bei ein-

seitiger Einwirkung der Wärme und Nässe. Dadurch wird eine Krümmung bewirkt werden. Die einseitige Einwirkung der Wärme und Nässe kommt vor: bei Gesimsquadern, deren hinterer Theil eingemauert ist, bei Deckquadern und Deckplatten von Mauern, Freitreppen-Stufen, Kantenquadern der Trottoirs, ferner bei in Cementmörtel ausgeführten Futter- und Ufermauern, grossen Schornsteinen u. s. w.

Einfluss der Wärme, der Nässe und des Frostes auf Sandsteinquader.

§ 8. Das Versetzen der Quader bei den Bauausführungen erfolgt in der Regel während der Monate April bis Mitte October. Die geringste Temperatur der Quader, zu Anfang April beträgt etwa 8° C.

Die grösste Luft-Temperatur während der heissesten Sommerzeit beträgt in unserer Gegend 36° C. im Schatten und 48° C. in der Sonne. Diese grosse Temperatur besteht aber nur kurze Zeit, und des Nachts findet eine erhebliche Abkühlung statt. Auch wirkt diese grosse Wärme auf die versetzten, theils durch Mauerwerk eingeschlossenen Quader nur theilweise ein. Die mittlere Temperatur der versetzten Quader wird bei Gebäuden etwa zu 16° C., und bei den freier liegenden Quadern, als Deckquader der Einfriedigungsmauern und Futtermauern, sowie Freitreppen u. s. w. etwa zu 22° C. anzunehmen sein. Darnach beträgt also die hinsichtlich der Ausdehnung in Betracht kommende Temperatur-Differenz bei Gebäuden 8° C., und bei den freier liegenden Quadern 14° C.

Nimmt man nun den Wärme-Ausdehnungs-Koefficienten für Sandstein nach Marx zu 0,0000122 der Länge auf 1° C. an, so ergiebt sich die Längen-Ausdehnung der Sandsteinquader durch Wärme:

bei Gebäuden zu .... 8 · 0,0000122 = 0,000098,
und bei Deckquadern, Freitreppen pp. zu ..... 14 · 0,0000122 = 0,00017.

Dazu kommt nun noch die Ausdehnung durch die Nässe. Nach den Angaben von Schumann ist dieselbe bei den Sandsteinarten sehr verschieden, wie vorstehend § 4 angegeben: 0,00006 bis 0,00206 der Länge. Der letzte grösste Satz betrifft sehr feinkörnigen Sandstein. Derartiger Sandstein kommt sehr selten vor, und kann daher bei der Durchschnittsberechnung ausser Acht gelassen werden. Der Durchschnitt nach den ersten 4 Ansätzen beträgt 0,00030. Die vollständige Durchnässung findet aber während der heissesten Sommerzeit nicht statt, und wird daher für diese Zeit der Koefficient höchstens zu 0,00010 anzunehmen sein. Diesen Satz zu der vorhin ermittelten Wärme-Ausdehnung addirt, ergiebt sich die Gesammt-Längenausdehnung durch Wärme und Nässe, gerundet zu:

bei Gebäuden..... 0,0002
und bei Deckquadern, Freitreppen pp. .... 0,00027.

Für die letztbenannten freiliegenden Sandsteinquader ergiebt sich in der Frühjahrs- und Herbstzeit, wenn durch andauernden Regen eine vollständige Durchfeuchtung bei geringer Wärme eintritt, der Koefficient zu = 0,0003. Das ist also die Maximal-Ausdehnung.

Sind bei aus mehreren gegeneinander stossenden Stücken bestehenden Quaderlagen die Fugen mit Cementmörtel geschlossen, so erfolgt die Ausdehnung im Ganzen, da der Cementmörtel wegen seiner grossen Druckfestigkeit eine merkliche Zusammendrückung nicht erleidet. Sind aber die Fugen mit Kalkmörtel geschlossen, so erleidet dieser eine gewisse Zusammendrückung, so dass die Verschiebung der Stücke ganz oder zum Theil verhindert wird.

Bei stattfindender Abkühlung von der höchsten Stein-Temperatur 22° C. bis zum Gefrierpunkte tritt eine Verkürzung ein, von $22^0 \cdot 0{,}0000122 = 0{,}00027$. Diese Verkürzung erfolgt nicht in der ganzen Länge der aus mehreren Stücken bestehenden Quaderlage, da auch der beste Cementmörtel nicht eine so grosse Zugfestigkeit hat, um bei dem mächtigen Zuge die Stücke zusammen zu halten. Jedes Stück bleibt daher an derjenigen Stelle liegen, welche es bei der stattgefundenen Verschiebung erhalten hat, und es zieht sich jedes Stück für sich zusammen. Dadurch entstehen zwischen den benachbarten, völlig durchnässten Stücken offene Fugen. Durch das Gefrieren des in diese offenen Fugen eingedrungenen Wassers findet eine Ausdehnung, also eine Vergrösserung der Fugenstärke statt. Dieser Prozess wiederholt sich in jedem Winter. Die Ausdehnung durch die Eisbildung, also die Vergrösserung der Fugenstärke beträgt = 0,029, gerundet = 0,03 der Fugenstärke.

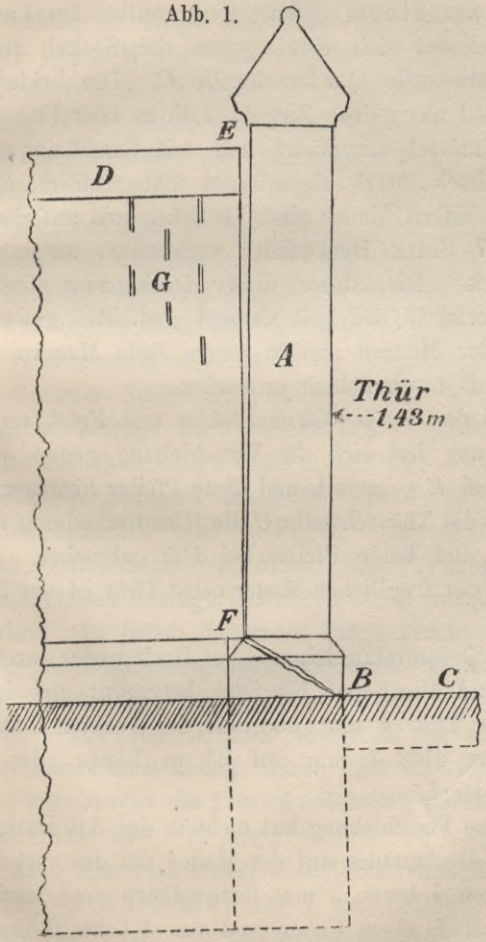
Dieser Koefficient ergiebt sich wie folgt: das spec. Gewicht des Eises ist nach Weisbach 0,916 bis 0,927, im Mittel 0,920. Demnach nehmen 920 cbm Wasser bei der Eisbildung einen Raum ein von 1000 cbm; die Ausdehnung bei der Eisbildung beträgt also 80 cbm auf 920 cbm Wasser, also auf 1 cbm Wasser $\frac{80}{920} = 0{,}087$ cbm; demnach beträgt die Längenausdehnung des Eises $= \frac{0{,}087}{3} = 0{,}029$, wie vorstehend angegeben ist.

In jedem Winter vergrössert sich die Fugenstärke gegen das Vorjahr, und wenn diese Vergrösserung in einem Jahre auch nur gering ist, so ist es doch erklärlich, dass nach einer längeren Reihe von Jahren die Zunahme beträchtlich wird.

Verhalten der Sandstein-Deckplatten auf einer hiesigen Garteneinfriedigungsmauer.

§ 9. Die von mir beobachtete Einfriedigungsmauer besteht aus 2 Theilen, welche zusammen 23 m lang sind.

Abb. 1.



Zwischen beiden Theilen befindet sich eine Thür, im Lichten 1,43 m breit, und zu jeder Seite derselben, Abb. 1, ein Quaderpfeiler, dessen Schaft *A* 29 cm im Quadrat stark ist. Der Sockel *B*, 29 cm im Quadrat stark, 20 cm über Fusssteig und 75 cm unter Fusssteig hoch, ist mit dem Schafte aus einem Stücke hergestellt. Im Lichten der Thür befindet sich eine, gegen die Sockel der beiden Pfeiler stossende Quaderschwelle *C*. Die beiden Mauertheile sind aus gelben Ziegeln 1,65 m über Fusssteig hoch in Kalkmörtel ausgeführt und mit Sandsteinquadern *D*, 15 cm hoch, stark abgewässert und profilirt, abgedeckt. Auf der linken Mauer sind 11 Stück und auf der rechten Mauer 7 Stück Deckquader vorhanden, zusammen also 18 Stück. Die Stösse dieser Deckquader sind stumpf (nicht verfalzt) und mit Cement gedichtet gewesen. Die Enden der Mauern stossen gegen feste Mauern, sind also nahezu als unverrückbar anzusehen.

Bei der durch Wärme, Nässe und Frost veranlassten Ausdehnung hat sich die Verschiebung gegen die Thürpfeiler bei *E* geäussert, und diese Pfeiler hinaus geschoben. Da aber die Thürschwelle *C* die Hinausschiebung verhindert hat, so sind beide Pfeiler bei *FB* gebrochen. Die Ausführung der fragllichen Mauer nebst Thür ist vor 20 Jahren erfolgt.

Die Gesammtausdehnung der Deckquader durch Wärme, Nässe und Frost hat bis jetzt betragen: auf der linken Seite der Thür 4 mm, und auf der rechten Seite 3 mm, zusammen also 7 mm auf 23 m Länge, das ist also 0,0003 der Länge.

Diese Verschiebung hat nicht in der Art stattgefunden, dass die Deckquader auf der Mauer um das vorbezeichnete Maass von 4 bezw. 3 mm fortgeglitten sind, und an den Enden bei *E* einen Ueberstand von 4 bezw. 3 mm erlangt

haben, sondern es sind die obern Steine der Mauer bei G mit hinausgeschoben und es haben sich daselbst offene Fugen gebildet.

Durch die Hinausschiebung der Deckquader ist zwischen den Mauern und den Thürpfeilern eine offene Fuge entstanden, welche in Folge Gefrierens des eingedrungenen Wassers in jedem Winter sich vergrössert hat. Im November 1892 betrug die Weite der Fuge bei $E = 6$ mm, gegenwärtig (Febr. 1897) aber beträgt die Weite 10 mm.

Nach den Ansätzen im vorstehenden § 8 ergiebt die Berechnung Folgendes.

Die Maximal-Längen-Ausdehnung durch Wärme und Nässe ist daselbst angesetzt zu 0,0003. Das ergiebt für die hier in Frage stehende Länge von 23 m:

$$23 \text{ m} \cdot 0{,}0003 = 0{,}0069 \text{ m, gerundet } 0{,}007 \text{ m.}$$

Die Zusammenziehung durch die Abkühlung von der höchsten Sommer-Stein-Temperatur $= 22^0$ C. bis zum Gefrierpunkte beträgt $22^0 \cdot 0{,}0000122 = 0{,}00027$ der Länge, also auf 23 m Länge $= 23 \text{ m} \cdot 0{,}00027 = 0{,}0062$ m. Soviel betragen demnach zusammen die durch die Abkühlung entstandenen offenen Fugen. Die Ausdehnung durch das Gefrieren des in diese offenen Fugen eingedrungenen Wassers beträgt $0{,}0062 \text{ m} \cdot 0{,}03 = 0{,}00018$ m im 1. Jahre. In jedem folgenden Jahre nimmt die Vergrösserung der Fugenweite etwas zu; nach 20 Jahren beträgt die Summe der Fugenweite $= 0{,}010$.

Dieses Maass von 10 mm addirt zu der vorhin berechneten Längenausdehnung durch Wärme und Nässe $= 7$ mm, ergiebt sich die Total-Ausdehnung durch Wärme, Nässe und Frost zu $= 17$ mm.

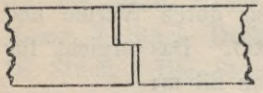
Ich habe aber vorhin bereits berichtet, dass die Total-Ausdehnung in Wirklichkeit nur 7 mm beträgt. Sonach ergiebt die auf Grund der angegebenen Koefficienten aus-

geführte Berechnung ein zu grosses Resultat. Es wird dadurch die vorhin von mir ausgesprochene Ansicht, dass die fraglichen Koefficienten nicht richtig, dass sie zu gross seien, bestätigt, und erwiesen, dass es nöthig ist, durch neue Versuche richtige Koefficienten zu schaffen.

Aus dem vorstehend beschriebenen Falle sind folgende Lehren zu ziehen:

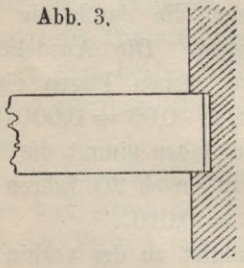
1. Die Deckquaderstücke sind nicht mit stumpfen Fugen gegeneinander zu stossen, sondern zu verfalzen, wie nebenstehende Abb. 2 zeigt, — damit das Eindringen von Wasser von oben in das Mauerwerk verhindert werde. Durch eindringendes Wasser wird das Mauerwerk durchfeuchtet, und dadurch, besonders auch durch das Gefrieren arg zerstört.

Abb. 2.



2. Das gegen höhere Bautheile, wie im erwähnten Falle gegen höhere Pfeiler stossende Ende ist nicht stumpf gegen zu stossen, sondern in eine Vertiefung des höheren Bautheiles eingreifen zu lassen, wie nebenstehende Abb. 3 zeigt, — einestheils damit der Deckquader bei stattfindender Ausdehnung sich ungehindert ausdehnen kann, — anderntheils damit keine nach oben offene Fuge entstehe, da durch das Gefrieren des, in eine offene Fuge eingedrungenen Wassers Unheil entsteht.

Abb. 3.



3 Die Stossfugen der Quader sind nicht mit Portlandcement, sondern, wie früher allgemein üblich, mit Weisskalk, dem auch etwas feiner Sand zugemengt werden kann, zu vergiessen. Wegen seiner grossen Druckfestigkeit

giebt der Cementmörtel in den Fugen bei stattfindender Ausdehnung der Quader nicht nach, und somit äussert sich die Verschiebung in der ganzen Länge der Quaderschichte, wodurch besonders bei grosser Länge der Quaderschichten grosses Unheil entstehen kann. Der Kalkmörtel aber schwindet, erlangt daher in jeder Fuge etwas Spielraum, er bleibt auch längere Zeit hindurch zusammendrückbar und quetschbar, so dass also jedes Quaderstück sich unbeschränkt für sich ausdehnen kann, und somit eine Verschiebung der längern Quaderlagen nicht stattfindet.

In früherer Zeit hat man beim Versetzen von Quadern auch selbst die Lagerfugen mit dünnflüssigem Kalkmörtel vergossen, nachdem die hintern Kanten sorgfältig unterzwickt und mit Mörtel verstrichen waren. Dieses Verfahren hat aber den Nachtheil, dass dadurch die Tragfähigkeit der Quader wesentlich beschränkt wird, da der Kalkmörtel, und besonders der dünnflüssige Kalkmörtel erheblich schwindet und zusammendrückbar ist, so dass also der grösste Theil der Lagerfläche nicht zum Tragen kommt, sondern die Last sich auf die Kanten concentrirt. Somit muss für die Lagerfugen dem Cementmörtel der Vorzug eingeräumt werden. Bei weniger stark belasteten Quadern kann wohl das Vergiessen mit Cementmörtel angewandt werden, bei stark belasteten Quadern muss aber das Versetzen in vollen Cementmörtel erfolgen, ungeachtet dasselbe sehr schwierig ist.

4. Die Weite der Stossfugen ist den zur Zeit des Versetzens obwaltenden Umständen, dem Wärmegrade und dem Nässegrade, entsprechend zu bestimmen.

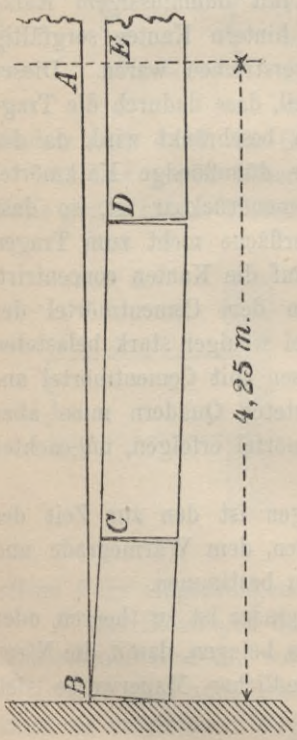
5. Die Unterseite der Deckquader ist zu theeren, oder das Mauerwerk mit Theerpappe zu belegen, damit die Nässe der Quader dem darunter befindlichen Mauerwerke sich nicht mittheilen kann.

Verhalten einer hiesigen Freitreppe.

§ 10. Die zwischen zwei besonders starken Quader-Wangen liegenden Sandstein-Stufen sind 8,5 m lang, und abwechselnd aus 4 bezw. 5 Stücken gebildet. Die Fugen dieser Stücke, sowie auch die Fugen vor den Quader-Wangen sind stumpf. Auch die Fuge zwischen der Hinterkante der obersten Stufe und den anschliessenden Podestplatten ist stumpf. Alle diese Fugen waren mit Cementmörtel vergossen.

In Folge der Ausdehnung der Quaderstufen durch Wärme, Nässe und Frost ist eine Verschiebung der Stufenstücke nach vorn hin eingetreten, da die starken Quaderwangen die Hinausschiebung der Stufenenden verhindert haben. Die Stufenstücke bildeten nach der Hinausschiebung ein Polygon, wie in der nebenstehenden Abb. 4 karrikirt dargestellt ist. Darin bezeichnet *A* die Mitte der obersten Stufenlage, *B* die innere Kante der linken Wange, *AB* die gerade Kante des Podestes, *BC*, *CD* und *DE* die hintern Kanten der hinausgeschobenen Stufenstücke. Die Fuge *AE* zwischen dem Podeste und der Hinterkante des Mittelstückes der obersten Stufe hatte sich im Laufe von 14 Jahren bis auf 12 mm vergrössert. Auf die Vergrösserung dieser

Abb. 4 (Grundriss).



Fuge hat auch das Gefrieren des in dieselbe gedrungenen Wassers mit eingewirkt. Im Laufe der Jahre ist diese Fuge wiederholt mit Cement verstrichen, aber nach jedem Winter hat sie sich wieder geöffnet, der Cementverstrich lockerte sich, zerbröckelte und fiel nach unten herab. Deshalb hat man vor einigen Jahren eine Umlegung vorgenommen.

Berechnet man nun die in Frage stehende Ausdehnung der halben Stufenlänge *AB* durch Wärme, Nässe und Frost, nach den Ansätzen im § 8, so ergiebt sich Folgendes.

Die Maximal-Längenausdehnung durch Wärme und Nässe ist daselbst angesetzt zu 0,0003. Das ergiebt für die hier in Betracht kommende Länge *AB*

4,25 m · 0,0003 = 0,00128 m ..... = 1,28 mm,

die Breite der Fuge *B*, welche sich bei der Verdrehung des Stufenstückes *BC* gebildet hat, beträgt ..... = 1,70 mm,

zusammen = 2,98 mm.

Die Zusammenziehung durch die Abkühlung von der höchsten Stein-Temperatur = 22° C. bis zum Gefrierpunkte beträgt 22° · 0,0000122 = 0,00027 der Länge, also auf 4,25 m Länge = 1,1 mm. Dazu kommt noch die Vergrösserung, welche die Fugen bei *B*, *C* und *D* bei der Verschiebung der Stufenstücke erlangt haben. Die hinsichtlich der Frostwirkung in Betracht zu ziehende anfängliche Gesammt-Fugenweite ist anzunehmen zu 2 mm. Nach 14 Jahren beträgt dieselbe 2,7 mm. Dieses Maass addirt zu den vorhin berechneten 2,98 mm, ergiebt sich die Gesammt-Längenausdehnung = 5,7 mm.

Die Länge der hintern Kanten *BC*, *CD* und *DE* ist aber, einschliesslich der Fuge *B*, nur 1,7 mm grösser als die ursprüngliche Länge *AB*. Sonach ergiebt auch in

diesem Falle die Berechnung auf Grund der vorbesprochenen Koefficienten ein zu grosses Resultat.

Die aus dem vorstehend behandelten Falle zu ziehenden Lehren sind folgende:

1. Die Stufenstücke sind nicht mit stumpfen Fugen gegeneinander zu stossen, sondern zu verfalzen, wie vorhin in Abb. 2 angegeben ist.

2. Die Enden der Stufen sind nicht stumpf gegen die Wangen zu stossen, sondern nach Abb. 3 in eine Vertiefung der Wangen eingreifen zu lassen, einestheils damit bei stattfindender Ausdehnung der Stufen dieselben sich ungehindert in diese Vertiefung hineinschieben können, und anderntheils damit nicht beim Anschlusse der Stufe an die Wange eine nach oben offene Fuge entstehe.

3. Die Stossfugen sind nicht mit Cement, sondern mit Weisskalk, oder einem Gemenge von Weisskalk und feinem Sande, zu vergiessen.

4. Die Fuge AB, zwischen der Hinterkante der Stufe und dem Podestbelag ist nicht stumpf, sondern mit Verfalzung herzustellen.

Die Verwitterung der Steine, und die dagegen angewandten Schutzmittel.

§ 11. Die Ausdehnungen und Zusammenziehungen, welche durch den Temperaturwechsel, sowie durch Anfeuchtung und Austrocknung bewirkt werden, machen sich zunächst, und besonders stark an der äussern Kruste der Steine geltend. Nach Innen zu nimmt die Einwirkung ab. Dadurch werden starke Spannungen iu der äussern Kruste der Steine hervorgerufen, in deren Folge der Zusammenhang der Steintheilchen zerstört, eine Auflockerung und endlich die Abbröckelung derselben bewirkt wird.

Dazu trägt sodann auch das Gefrieren des eingedrungenen Wassers erheblich bei. Dieser Prozess, die sog. Verwitterung, ist am stärksten an der sog. Wetterseite, der Westseite, da an dieser Seite der durch Westwind gegenschlagende Regen am nachtheiligsten einwirkt; darnach folgt die Nordseite, darnach die Südseite und sodann, als günstigste, die Ostseite.

Auf weichen Sandsteinen bilden sich an der Wetterseite Moose und Flechten, wodurch die Feuchthaltung und die Verwitterung befördert werden.

Manche hellfarbige, poröse Sandsteine werden durch die Einwirkung von Staub und Russ an den Aussenflächen stark geschwärzt.

Der vom Winde gegen die Steine getriebene Sandstaub macht die Oberfläche der Steine rauh.

Der Marmor wird von der in der Luft befindlichen schwefligen Säure stark angegriffen.

Zum Schutze gegen die Verwitterung sind folgeude Mittel in Anwendung gebracht.

1. Nach alter Regel sollen die Steine nicht auf den Spalt gestellt werden, insbesondere aber soll die Lagerfläche nicht nach aussen gekehrt werden. In diesem Falle lösen sich durch die Einwirkung der Wärme, der Nässe und des Gefrierens die Lamellen gar leicht ab.

Leider wird gegen diese Regel bei der Aufführung von Bruchsteinmauern aus glattgeschichteten Steinen vielfach gesündigt; man kehrt die glatte Lagerfläche nach aussen, um die Bearbeitung der äussern Fläche zu ersparen. Dieser arge Unfug muss mit aller Strenge verhindert werden.

Bei höhern Pfeilern und Säulen aus einem Stücke kann die vorgenannte Regel nicht befolgt werden. Solche Stücke müssen daher nur aus solchem Gesteine hergestellt

werden, welches erfahrungsgemäss der Verwitterung in höherem Maasse widersteht.

2. Um das Eindringen der Nässe und des Staubes in die Poren der Steine zu verhindern bezw. zu beschränken, hat man verschiedene Anstriche nach dem völligen Austrocknen der Steine ausgeführt.

Oelfarbe-Anstrich ist entschieden verwerflich, einestheils weil derselbe nur kurze Dauer hat, und daher oft erneuert werden muss, anderntheils aber, weil dadurch das schöne wohlthuende Aussehen des natürlichen Gesteines gänzlich verloren geht.

Heisser Leinöl-Anstrich verdirbt gleichfalls das gute Aussehen, und kann daher nur angewandt werden auf der Oberfläche der vortretenden Gesimse und auf der Oberfläche der Fenstersohlbänke.

Paraffin, mehrseitig sehr empfohlen;

Wasserglas, desgleichen.

Testalin, ein Präparat, welches von den Chemikern Hartmann & Hauers (Chemische Fabrik in Hannover) seit einigen Jahren in den Handel gebracht ist. Dasselbe ist z. B. angewandt an dem neuen Rathhause in Hamburg, an dem Gebäude der Deutschen Militairdienst-Versicherungs-Anstalt zu Hannover, an dem Kaiser Wilhelm-Denkmal an der Porta u. s. w. Soviel sich bis jetzt beurtheilen lässt, wirkt dasselbe sehr günstig, ob das nun auch auf die Dauer der Fall sein wird, muss die Erfahrung lehren.

3. Zum Schutze der nach oben freien Seiten der vortretenden Gesimse und Fenstersohlbänke, sind bei verschiedenen Gebäuden auch Bedachungen von Kupferblech oder Zinkblech angewandt.

Im Anschlusse an das Vorstehende will ich noch Einiges über mehrere interessante, lehrreiche Fälle aus der Litteratur hier anführen.

Nach einem Vortrage des Prof. Egleston in Amerika, mitgetheilt im Centralblatt der Bauverwaltung 1885 S. 362, zeigte der im Centralpark von New-York im Jahre 1880 aufgestellte, aus Aegypten erlangte Obelisk aus Granit, welcher sich in Aegypten 2000 Jahre fast ohne Verwitterung erhalten hatte, schon im Jahre 1885 eine sehr erhebliche Verwitterung, so dass man zu der Ansicht gelangte, er werde nach 15 Jahren völlig vernichtet sein. In der vorhin angezogenen Zeitschrift ist sodann Jahrgang 1886 S. 60 angeführt, dass man einen Paraffin-Ueberzug hergestellt habe.

In derselben Zeitschrift, Jahrgang 1888 S. 192 ist ferner berichtet, dass nach einer Mittheilung des Oberingenieurs Gobin in Lyon in der Zeitschrift La Nature, bei einem im Jahre 1670 errichteten Granitkreuze in St. Pal de Mons, an der Sonnenseite eine etwa 1 cm starke Schale sich abgelöst habe, durch die abwechselnde Ausdehnung durch die Sonnenstrahlen und die Zusammenziehung bei Frost. Eine ähnliche Erscheinung ist auch an einem Granitkreuze in Joux bei Tarare (Rhone) zu beobachten.

In Betreff der Marmor-Statuen in Berlin (s. Centralblatt der Bauverwaltung 1881 S. 75) hat der Engländer Geikie sich dahin ausgesprochen, dass eine längere Dauer als 100 Jahre nicht zu erwarten sei. — Die Statuen der Feldherren Friedrich des Grossen waren nach 90 bis 60 Jahren sehr stark zerstört, so dass sie beseitigt sind. An dem 1871 errichteten Schillerdenkmale hat sich schon nach wenigen Jahren eine bedenkliche Zerstörung gezeigt. — Die Marmormonumente Friedrich Wilhelm III. und der Königin Louise, sowie Göthe's im Thiergarten werden jeden Winter mittelst eines Kastens geschützt.

In London zeigte das Marmordenkmal der Königin

Anna im Jahre 1862 eine sehr starke Verwitterung und widerwärtige schwarze Flecken und Streifen.

Das berühmte Löwendenkmal in Luzern von Thorwaldsen (s. Hannov. Courier vom 15. Aug. 1892 Abends), welches in die Felswand (feinkörniger Sandstein) eingearbeitet ist, verwittert stark, und man befürchtet, dass dasselbe nach 100 Jahren eine völlige Ruine sein wird. Schichte um Schichte löst sich von demselben ab. Was man thun kann, um den Zerstörungsprocess zu verlangsamen, ist geschehen; die den Felsen durchziehenden Wasseradern sind gefasst und abgeleitet; während der rauhen Jahreszeit wird das Denkmal durch einen Bretterverschlag geschützt. Man hat auch in Erwägung gezogen, das Denkmal mit einer dichten Glasur zu überziehen und zunächst ein Stück der fraglichen Felswand damit überzogen; aber es hat sich gezeigt, dass der Stein hierdurch eine hässliche Missfarbe erhielte; deshalb hat man davon Abstand genommen.

Verhalten des Kalkmörtel-Ziegelmauerwerks.

§ 12. Der Kalkmörtel schwindet bekanntlich. Das Schwinden desselben in den Lagerfugen des Ziegelmauerwerks beträgt $^1/_{200}$ bis $^1/_{150}$ der Höhe der Mauern (nach Breymann's Baukonstruktionslehre). Das ergiebt für eine Schichte plus einer Lagerfuge von $6^1/_2 + 1$ cm $= 7^1/_2$ cm $= 75$ mm Höhe:

$$\frac{75}{200} = 0{,}38 \text{ mm, bezw. } \frac{75}{150} = 0{,}5 \text{ mm,}$$

also durchschnittlich 0,44 mm. Das ist also das Schwindmaass einer Kalkmörtelfuge von 10 mm Stärke, demnach $^1/_{23}$ der Fugenstärke.

Für die Stossfugen von 1 cm Stärke ist das gleiche

Schwindmaass von 0,44 mm, für jede Stossfuge frischen Mauerwerks anzunehmen.

Die Ausdehnung der Ziegel durch Wärme und Nässe berechnet sich nach den Koefficienten von Bouniceau und Schumann, wie folgt.

Auf eine Läuferlänge nebst einer Stossfuge = 250 + 10 = 260 mm beträgt die Längenänderung auf 1° C. nach Bouniceau (§ 2) für Cementmörtel-Ziegelmauerwerk

0,0000046 · 260 mm ..... = 0,001196 mm,
davon abgesetzt für 1 Cementmörtel-
stossfuge 0,0000118 · 10 mm ..... = 0,000118 „

bleibt für den Ziegel-Läufer ..... = 0,001078 mm.

Die mittlere Temperatur der äussern Gebäudemauern im hohen Sommer ist anzunehmen ..... = 16° C.,
die Anfangs-Temperatur bei der Ausführung .. = 8° „

Differenz = 8° C.,

also beträgt die Ausdehnung darauf

8° C. · 0,001 mm ..... = 0,008 mm,
dazu kommt noch die Ausdehnung durch
Nässe, welche nach Schumann beträgt
250 mm · 0,00016 ..... = 0,040 „

zusammen = 0,048 mm.

Diese Ausdehnung wirkt ein auf eine Stossfuge. Nun ist aber vorstehend das Schwindmaass des Kalkmörtels für eine Stossfuge ermittelt zu 0,44 mm.

Daraus ergiebt sich also, dass die auf die Stossfuge einwirkende Ausdehnung durch die Wärme und Nässe ungehindert eintreten kann, und dass somit eine Verschiebung der Steine durch die Einwirkung der Wärme und Nässe bei dem Kalkmörtel-Ziegelmauerwerke nicht stattfindet.

Dieses Verhalten wird durch die Erfahrung völlig bestätigt. Es ist meines Wissens kein Fall bekannt geworden,

dass Kalkmörtel-Ziegelmauerwerk durch Wärme-Erhöhung oder durch Nässe-Ausdehnung eine Verschiebung der Steine, oder bei Frost in Folge der Zusammenziehung Risse erhalten hat, wie solches bei Cementmörtel-Ziegelmauerwerk der Fall ist.

Wohl ist es häufig vorgekommen, dass Kalkmörtel-Ziegelmauerwerk durch Frost auseinander getrieben worden. Das aber hat seinen Grund in der Ausdehnung, welche durch das Gefrieren des in dem noch frischen Mörtel enthaltenen Wassers, oder des durch Regen eingedrungenen Wassers erfolgt ist. Zur Vermeidung dieser Zerstörung ist die alte Regel zu befolgen, das Mauern im Herbste so frühzeitig einzustellen, dass bis zum Eintritte des Frostes der Kalkmörtel genügend ausgetrocknet ist, und ferner, das Eindringen des Regenwassers in das Mauerwerk durch Ueberdeckung desselben zu verhindern.

Verhalten des Portlandcement-Mörtels und des Portlandcement-Betons.

§ 13. Wie vorstehend im § 3 angeführt worden, ist von Hr. Meier (Malstatt) beobachtet, dass beim Erhärten von Cementmörtel eine sehr erhebliche Volumenänderung stattfindet, und zwar beim Erhärten an der Luft eine Längenverminderung (ein Schwinden) bis zu 0,2 Prozent, also 0,002 der Länge, — und beim Erhärten unter Wasser eine Längenvermehrung von 0,1 Prozent, also 0,001 der Länge.

Ein derartiges Verhalten ist mir bei denjenigen Cementarbeiten, welche ich zu beobachten Gelegenheit gehabt habe, nicht vorgekommen, und erscheint mir dasselbe auch im hohen Grade unwahrscheinlich. Denn durch ein solches Verhalten würden bald nach der Ausführung sehr grosse

Verwüstungen angerichtet werden, nämlich Zerreissen des Putzes, der gezogenen Gesimse, der Fusswegbeläge u. s. w., sowie ein Zerreissen, Zertrümmern und Zerbröckeln des Mauerwerks. Ein solch unheilvolles Verhalten zeigt sich aber bei regelrechter Verwendung von Cement guter Qualität nicht, und daraus ist zu schliessen, dass die vorerwähnte Beobachtung des Hr. Meier eine irrige ist.

In Betreff des Einflusses der Wärme und der Nässe auf Cementmörtel und Cementbeton sind vorstehend in den §§ 2, 3 und 4 die folgenden Koefficienten angegeben.

Von Bouniceau Längenänderung durch Wärme auf 1° C.

Mörtel aus reinem Portlandcement..... 0,0000107
Portlandcement-Mörtel, 1 Thl. Cement 2 Thl. Sand 0,0000118
Portlandcement-Beton 0,0000143

Von Meier (Malstatt)

Portlandcement, und zwar ohne Sandzusatz, als auch mit 2 bis 6 Thl. Sandzusatz (wie Schmiedeeisen) 0,0000122

Von Schumann, Verlängerung von Portlandcementmörtel in Wasser gelegt, in Theil der Länge.

Zeitdauer in Wochen	Mörtel ohne Sand	Mörtel aus 1 Thl. Cement u. 3 Thl. Sand
1 Woche	0,00048	0,00015
4 Wochen	0,00082	0,00021
13 „	0,00104	0,00024

Wenngleich nun, wie im Vorstehenden dargelegt worden, die Richtigkeit dieser Koefficienten nicht anerkannt werden kann, so ist doch völlig zweifellos, dass der Cementmörtel

bei steigender Temperatur sich ausdehnt, und bei sinkender Temperatur sich zusammenzieht, — und ferner, dass er durch Nässe sich ausdehnt und durch Trocknen sich zusammenzieht.

Daraus folgt, dass der auf Kalkmörtel-Mauerwerk ausgeführte Cementmörtel-Ueberzug unvermeidlich Risse bekommt. Denn das Kalkmörtel-Mauerwerk erleidet, wie vorhin im § 12 erläutert, durch Temperatur- und Nässewechsel nicht derartige Veränderungen wie der Cementmörtel. Es entstehen in dem Cementmörtel entweder eine grössere Zahl feiner Risse (sog. Haarrisse), oder auch in grössern Entfernungen stärkere Risse.

Es ist die Ansicht sehr verbreitet, die Rissebildung habe ihren Grund in der fehlerhaften Behandlung des Cements und es könne dieselbe durch regelrechte Verarbeitung verhindert werden. Diese Ansicht ist bis zu einem gewissen Grade berechtigt, aber aus der vorstehenden Darlegung ist als unzweifelhaft anzuerkennen, dass sich auch durch die sorgfältigste Behandlung die Rissebildung nicht verhindern lässt.

In die entstandenen Risse dringt Wasser und durch dessen Gefrieren werden die Risse vergrössert.

Auch bei den Fusswegsbelägen aus Cementmörtel auf einer Unterlage von Ziegeln oder Cementbeton entstehen durch den Einfluss der Temperatur- und der Nässe-Veränderungen unvermeidlich Risse, welche durch das Gefrieren des eingedrungenen Wassers vergrössert werden. Bei hier ausgeführten Belägen haben sich Risse bis zu 1 cm Breite gebildet. Diese Erfahrung hat darauf geführt, in dem Cementmörtelbelage trennende Fugen herzustellen. Wenn die Fugen in nicht zu grosser Entfernuug hergestellt werden (nicht über 1 m), so wird dadurch die Rissebildung wesentlich verhindert. Man hat auch mit gutem Erfolge

Cementplatten von etwa 40 cm im Quadrat gross auf der Betonunterlage in Cementmörtel verlegt.

Auch bei, in Cementmörtel gezogenen Gesimsen hat man durch Einschneiden trennender Fugen der Rissebildung mit gutem Erfolge entgegen gewirkt.

Die Längen-Ausdehnungen und Verkürzungen des Cementmörtels bei Verputzungen, gezogenen Gesimsen, Fusswegsbelägen u. dgl. durch den Einfluss der Temperatur und der Nässe sind sehr erheblich, da bei der verhältnissmässig geringen Dicke die Luft-Temperatur erheblich stärker einwirkt als bei Körpern von grosser Dicke.

Angenommen die Lufttemperatur bei der Ausführung sei $+ 15^0$ C., so ergiebt sich bis zur grössten Sommerwärme in hiesiger Gegend, nämlich 36^0 C. im Schatten und 48^0 C. in der Sonne, setze 40^0, eine Differenz von $+ 25^0$ C., und bei der Abkühlung im strengen Winter bis $- 15$, eine Differenz von $40 + 15 = 45^0$ C. Somit nach Bouniceau eine Längenänderung von $45^0 \cdot 0{,}0000118 = 0{,}000531$ der Länge. Dazu die Längenänderung durch Nässe 0,00024, zusammen also $= 0{,}00077$ der Länge, — das ergiebt z. B. auf 20 m Länge = 17 mm. Dazu kommt dann noch die Einwirkung durch das Gefrieren des eingedrungenen Wassers.

Bei der Ausführung von Cementputz und insbesondere beim Ziehen von Gesimsen wird leider oftmals noch der Fehler gemacht, dass der letzte Ueberzug aus reinem Portlandcement (ohne Sandzusatz) hergestellt wird, um eine recht glatte Oberfläche zu erlangen. Der reine Portlandcement widersteht aber den Witterungseinflüssen viel weniger als ein Mörtel mit Sandzusatz. Deshalb ist ein Zusatz von Sand, mindestens 1 Theil (auf 1 Thl. Cement) anzuwenden, der aber feinkörnig sein kann.

Bei dieser Gelegenheit erlaube ich mir hervorzuheben,

auch die Einwirkung der Temperatur und der Nässe auf Kalk-Cementmörtel zu ermitteln. Vermuthlich wird dieselbe geringer sein als beim Cementmörtel.

Der Portlandcement-Beton soll nach Bouniceau's Angabe von dem Temperaturwechsel stärker beeinflusst werden, als der Cementmörtel. Der Koefficient auf 1° C. ist angegeben für den erstern zu 0,0000143 und für den letztern (1 Thl. Cement und 2 Thl. Sand) zu 0,0000118. Dieses Verhalten ist als unwahrscheinlich zu erachten. Die Steinstücke im Beton sind vollständig vom Cementmörtel umschlossen, der letztere bildet also durch die ganze Betonmasse hindurch ein zusammenhängendes Gerippe, in welchem die Steinstücke eingeschlossen sind. Die meisten der zum Beton verwendeten Steinarten haben einen kleinern Temperatur-Koefficienten als der Cementmörtel. Somit wird man zu der Ansicht geleitet, entweder spielt im Beton hinsichtlich des Temperatureinflusses der Cementmörtel die Hauptrolle, — dann würde der Koefficient des Betons gleich dem des Cementmörtels sein, — oder aber es wirken die geringer beeinflussten Steine hemmend auf den sie umschliessenden Cementmörtel ein, — dann würde der Koefficient des Betons kleiner sein als der des Cementmörtels. Es liegt also auch hier wieder eine Frage vor, deren Entscheidung durch neue Versuche erfolgen muss.

Verhalten des Portlandcement-Betons mit Eiseneinlage (Monier-System).

§ 14. Vorstehend ist im § 3 bereits angeführt, dass nach den Versuchen von Meier (Malstatt) die Wärme-Ausdehnungs-Koefficienten für Portlandcementmörtel

und für Schmiedeeisen nahezu gleich seien, das ist auf 1° C. = 0,0000122. Nach Angabe von Wayss ist auch der Koefficient für Cement-Beton derselbe. Diese Angaben stimmen mit den zahlreichen Monier-Ausführungen überein, und können somit wohl als nahezu richtig anerkannt werden.

Bei den Ausführungen nach dem Monier-System kommt nun aber ausser dem Einflusse der Wärme noch in Betracht die Einwirkung der Nässe. Das Eisen wird durch Nässe nicht ausgedehnt, nach Schumann's Angabe (siehe § 4) soll aber bei Mörtel aus 1 Thl. Cement und 3 Thl. Sand die Längenausdehnung betragen:

	der Länge
nach 1 Woche	0,00015
„ 4 Wochen	0,00021
„ 26 „	0,00028
„ 52 „	0,00033

Dieser Umstand ruft die Frage hervor: ob dadurch der innige Zusammenhalt zwischen Mörtel und Eisen aufgehoben werde? — In dieser Hinsicht ist nun aber hervorzuheben, dass bei der sehr grossen Zahl von Ausführungen, welche bereits stattgefunden haben, dieser Umstand sich nicht gezeigt hat, und sonach anzunehmen ist, dass durch die starke Pressung des Mörtels gegen das einliegende Eisen die Trennung zwischen den beiden Materialien verhindert wird.

Bei dieser Gelegenheit mag noch ein anderer, das Monier-System betreffender Umstand erwähnt werden, nämlich das Rosten des im Cementmörtel eingeschlossenen Eisens.

Von Hr. Wayss wird in seinem Werke „Das System Monier, Berlin 1887“ S. 4 u. f., das Rosten entschieden

bestritten, unter der Begründung, dass die grosse Dichtigkeit des Cementmörtels den Zutritt von Luft und Wasser zu dem eingeschlossenen Eisen verhindere, und dass die Erfahrung solches bestätige.

Der Cementmörtel hat unverkennbar einen hohen Grad der Dichtigkeit, aber er ist keineswegs völlig wasserdicht und also noch weniger völlig luftdicht. Legt man ein Stück trocknen Cementmörtel in Wasser, so nimmt er einen Theil des Wassers in seine Poren auf, er wird völlig durchfeuchtet. Daraus folgt, dass er nicht völlig wasserdicht, und also noch weniger völlig luftdicht ist. Es gelangen somit Luft und Wasser durch die Poren des Cementmörtels zu dem eingeschlossenen Eisen, wodurch das Rosten desselben ermöglicht ist. Dieser Prozess geht allerdings wegen des hohen Dichtigkeitsgrades des Cementmörtel nur sehr langsam vor sich, aber die gänzliche Unmöglichkeit ist nicht vorhanden.

Das Monier-System gehört der Neuzeit an, eine langjährige Erfahrung darüber ist noch nicht vorhanden. Wenn bis jetzt das Rosten des im Cementmörtel eingeschlossenen Eisens noch nicht sich gefunden hat, so ist es doch sehr fraglich, ob nach 50 oder 100 Jahren oder nach mehreren Jahrhunderten, das Verhalten ebenso sein wird. Soviel ist allerdings heute schon klar, dass im Cementmörtel das Eisen nicht so stark rostet als in Kalkmörtel oder in Gypsmörtel.

Nach dem heutigen Stande der Sache wird man, wie bisher, auch für die Folge kein Bedenken tragen, das Monier-System seiner grossen Vortheile wegen bei gewöhnlichen Bauten in Anwendung zu bringen, aber bei Monumentalbauten, Werken, die auf Jahrhunderte Bestand haben sollen, muss davon Abstand genommen werden.

Verhalten des Cementmörtel-Ziegelmauerwerks.

§ 15. Solches Mauerwerk ist in der neuern Zeit in ausgedehntem Maasse zur Anwendung gekommen bei den Ufermauern der Häfen und Kanäle, bei Schleusen- und Brückenbauten u. s. w. Es hat sich ergeben, dass in solchem Mauerwerke in kalter Jahreszeit Risse (sog. Frostrisse) entstehen, und zwar in Folge der Zusammenziehung (der Volumenverminderung) bei sinkender Temperatur. Nähere, für die Wissenschaft verwerthbare Angaben darüber sind bis jetzt leider nicht veröffentlicht. Es zeigt sich auch hierin wieder das leider weit verbreitete Bestreben, derartige unangenehme Erlebnisse möglichst zu vertuschen und todt zu schweigen, — zum Nachtheil der Wissenschaft.

Bouniceau hat, wie vorstehend im § 2 angeführt ist, bereits im Jahre 1863 in den Annales des ponts et chaussées mitgetheilt, dass im Winter 1859 auf 1860 in den im Sommer 1859 bei 25 bis 28° C. Wärme ausgeführten Hafenmauern von Havre unbedeutende Risse entstanden seien, bei einer Kälte von — 12° C. Die Stärke der Risse und die Entfernung derselben ist nicht angegeben, so dass also die Ermittelung eines Koefficienten darnach nicht möglich ist.

Die einzige nähere, für die Wissenschaft verwerthbare Mittheilung über das hier fragliche Verhalten ist von dem Herrn Ober-Baudirektor Franzius in Bremen gemacht in dem Centralblatt der Preuss. Bauverwaltung, Jahrgang 1888 S. 94 über Frostrisse in der Ufermauer des Bremer Freihafens, wofür die Fachgenossen demselben zu grossem Danke sich verpflichtet halten müssen. Auszüglich daraus will ich Folgendes hier anführen:

„Die Mauer ist 2000 m lang, unten 4,72 m, oben

3,65 m stark, und 7,3 m hoch; in Mitten derselben sind Aussparungen von 2,2 m Stärke vorhanden, mit Cementbeton ausgefüllt; im obern Theile ist ein Kanal hergestellt, 1,1 m breit und 1,3 m hoch, für Rohrleitungen, Kabel pp.; die Mauer steht auf einem starken Pfahlroste. — Im Ganzen waren bis Februar 1888 in der Mauer 15 Risse entstanden, zunächst an den schwächern Stellen der Treppen. Die meisten haben sich am obern Ende des Hafenbeckens gebildet, welcher Theil im Sommer hergestellt ist, während die untern Strecken in der kältern Jahreszeit gemauert sind. In der südlichen, in der wärmern Jahreszeit ausgeführten Ufereinfassung entstand während des Winters 1886/87 bei — 2° ein Riss von 1 mm Weite durch die ganze Höhe der Mauer, welcher sich bis zum 16. Februar 1887 bei — 7° auf 3,75 mm erweiterte, und am 29. April bei + 8° sich vollkommen schloss. Im Winter 1887/88 öffnete sich der Riss wiederum und erreichte am 1. Februar 1888 eine Weite von 3,5 mm. Ein Versacken der Mauer kann nicht die Ursache sein, denn sonst müsste der Riss nach der erst später erfolgten Hinterfüllung der Mauer sich noch bedeutend erweitert haben, was nicht geschehen ist. Es haben sich vielmehr auch nach der Hinterfüllung dieselben Erscheinungen bei eintretender Kälte, nur in etwas geringerem Maasse als vorher gezeigt. Das Verhalten der übrigen Risse ist genau so, oder sehr ähnlich. Ein Unterschied in der Höhenlage der getrennten Theile ist nicht bemerkbar, eine Bewegung der gerissenen Theile in senkrechter Richtung hat mithin nicht stattgefunden, ebensowenig haben die einzelnen Mauertheile auch nur im geringsten nach der Wasserseite hin sich übergeneigt. Auf die Standfestigkeit der Mauer sind somit die Frostrisse ohne allen Einfluss. Damit das Wasser durch die Risse nicht in den obern Kanal für Rohrleitungen, Kabel pp. ein-

dringen kann, ist an den Rissestellen ein Rahmen mit einer stopfbüchsenartigen Dichtung angebracht.“ —

Aus dieser Mittheilung ist Folgendes zu entnehmen. Da die entstandenen 15 Frostrisse nahezu sich gleich verhalten haben, so ist darnach anzunehmen, dass auch die Entfernungen, in denen sie entstanden sind, nahezu gleich sind. Darnach hält also jedes der entstandenen 16 Stücke $= \frac{2000 \text{ m}}{16} = 125$ m Länge. Auf jedes Stück von 125 m Länge kommt also ein Riss von 3,75 mm = 0,00375 m Weite, und somit auf 1 m Länge eine Rissweite von

$$\frac{0{,}00375}{125} = 0{,}00003 \text{ der Länge,}$$

und zwar bei — 7° C. Lufttemperatur.

Diese Wirkung ist wohl nur der Temperatur zuzuschreiben, da der Nässezustand während der Beobachtungszeit als ziemlich gleichbleibend anzunehmen ist.

Die vorstehende Ermittelung betrifft freistehende, mit Erde noch nicht hinterfüllte Mauern, wie in der vorstehenden Mittheilung des Hr. Franzius ausdrücklich gesagt ist, mit dem Bemerken, dass auch nach der Hinterfüllung bei Kälte die Risse sich wieder gezeigt haben, nur in etwas geringerem Maasse als vorher.

Durch die Erdhinterfüllung wird die Einwirkung der Luft-Temperatur auf die Mauer erheblich vermindert, und wenn die Vorderseite unter Wasser gesetzt wird, so wird auch dadurch die Einwirkung der Luft-Temperatur erheblich vermindert. Bei den Ausführungen aber muss auf den ungünstigsten Zustand, also auf das Freistehen, Rücksicht genommen werden.

Die Ausdehnung bezw. Zusammenziehung ist, wie vor-

stehend bereits mehrmals bemerkt worden, abhängig von dem Temperaturgrade des Mauerwerks selbst. Dieser Temperaturgrad ist nicht gleich der Lufttemperatur, da deren Uebertragung auf das Mauerwerk nicht plötzlich, sondern nur ganz allmälig stattfindet. Daraus ergiebt sich, dass die Temperatur des Mauerwerks durch die ganze Stärke hindurch nicht gleich ist. Ungefähr wird für die freistehende Bremer Hafenmauer die Temperatur derselben anzunehmen sein, wie folgt.

Denkt man sich den Querschnitt in 4 gleichbreite Abtheilungen zerlegt, so wird im Sommer 1886 die Temperatur etwa betragen haben: in jeder der beiden äussern Abtheilungen durchnittlich $+ 14^0$ C., und in jeder der beiden mittlern Abtheilungen durchschnittlich $+ 10^0$ (die Erdwärme); darnach ergiebt sich die Durchschnitts-Temperatur der ganzen Mauer zu

$$\frac{2 \cdot 14^0 + 2 \cdot 10^0}{4} = + 12^0 \text{ C.}$$

Im Winter 1886/87 bei $- 7^0$ C. Lufttemperatur wird die Temperatur der 2 äussern Mauerabtheilungen etwa $- 2^0$, und der beiden inneren Abtheilungen $+ 10^0$ betragen haben, also im Durchschnitt

$$\frac{(2 \cdot - 2^0) + (2 \cdot + 10^0)}{4} = + 4^0.$$

Demnach beträgt die Differenz zwischen der Sommer- und der Wintertemperatur $= + 8^0$ C.

Auf diese Temperatur-Differenz kommt die eingetretene Zusammenziehung von 0,00003 der Länge; darnach ergiebt die Längenänderung auf 1^0 C.

$$= \frac{0{,}00003}{8} = 0{,}0000038.$$

Da die Temperaturen im Innern der Mauern verschieden sind, so ist also auch das Bestreben der Längenänderung beim Temperaturwechsel verschieden, es machen sich gegenseitige Hemmungen geltend, und es entstehen in Folge davon mächtige Spannungen im Mauerwerke.

Ob nun die vorstehende Annahme, dass die wirklich eintretenden Längenänderungen im geraden Verhältnisse zur Durchschnitts-Temperatur stehen, oder ob ein anderes Verhalten stattfindet, das muss durch sorgfältige Untersuchungen an ausgeführten Werken klar gestellt werden.

Bei den äussersten Temperaturgraden ergiebt sich für die freistehende Bremer Hafenmauer folgendes Verhalten. Die Durchschnitts-Temperatur im heissesten Sommer (Lufttemperatur 36° C. im Schatten)

$$\frac{(2 \cdot + 16^0) + (2 \cdot + 10^0)}{4} = + 13^0;$$

im strengen Winter (bei — 25° Lufttemperatur)

$$\frac{(2 \cdot - 8^0) + (2 \cdot + 10^0)}{4} = + 1^0,$$

also Differenz zwischen höchster Sommer- und niedrigster Wintertemperatur = + 12° C., also dabei Längenänderung

$$12^0 \cdot 0{,}0000038 = 0{,}000046,$$

demnach auf 125 m Länge

$$125 \text{ m} \cdot 0{,}000046 = 0{,}0058 \text{ m, gerundet} = 6 \text{ mm.}$$

Für eine freistehende Mauer von halber Stärke der vorbehandelten, stellt sich die Rechnung folgendermassen:

$$\text{im hohen Sommer } \frac{2 \cdot + 16^0}{2} = + 16^0,$$

$$\text{im strengen Winter } \frac{2 \cdot - 8^0}{2} = - 8^0,$$

also Differenz 24^0, demnach Längenänderung

$$24^0 \cdot 0{,}0000038 = 0{,}000091,$$

also auf 125 m Länge

$$125 \text{ m} \cdot 0{,}000091 = 0{,}011 = 11 \text{ mm}.$$

Für die Bremer Hafenmauer, die Hinterseite mit Erde hinterfüllt, die Vorderseite frei, ergiebt sich folgende Berechnung:

im hohen Sommer $\frac{(1 \cdot +16^0) + (3 \cdot +10^0)}{4} = +11{,}5^0$,

im strengen Winter $\frac{(1 \cdot -8^0) + (3 \cdot +10^0)}{4} = +5{,}5^0$,

also Differenz $= +6^0$, demnach Längenänderung

$$6^0 \cdot 0{,}0000038 = 0{,}000023,$$

also auf 125 m Länge

$$125 \text{ m} \cdot 0{,}000023 = 0{,}0029 \text{ m} = 3 \text{ mm}.$$

Für dieselbe Mauer, die Hinterseite mit Erde hinterfüllt und die Vorderseite unter Wasser gesetzt, ergiebt die Rechnung:

im hohen Sommer $\frac{(1 \cdot +12^0) + (3 \cdot +10^0)}{4} = +10{,}5^0$,

im strengen Winter $\frac{(1 \cdot +6^0) + (3 \cdot +10^0)}{4} = +9^0$,

also Differenz $= +1{,}5^0$, demnach Längenänderung

$$1{,}5^0 \cdot 0{,}0000038 = 0{,}0000057,$$

also auf 125 m Länge

$$125 \text{ m} \cdot 0{,}0000057 = 0{,}0007 \text{ m} = 0{,}7 \text{ mm}.$$

In den beiden letzten Fällen, in denen die Mauer-Temperatur vorn und hinten verschieden ist, wird hierdurch der Gleichgewichtszustand aufgehoben und ergiebt sich

dadurch die Tendenz zu einer Krümmung, im Grundrisse gesehen. Es ist fraglich, ob bei starken Mauern diese Tendenz sich geltend machen kann, Angaben darüber sind meines Wissens nicht bekannt, und müssen dieserhalb noch Beobachtungen angestellt werden.

Die Mauer-Temperaturen in den vorstehenden Berechnungen sind nach Schätzung von mir angesetzt; zur Gewinnung genauer Resultate ist es nöthig, dieselben durch Messung zu ermitteln.

Ferner ist in den vorstehenden Berechnungen der Nässezustand gleichbleibend angenommen. Ist nun aber der Nässezustand verschieden, so muss bei der Berechnung dieser Umstand mit berücksichtigt werden.

In dem mittlern Theile der Bremer Hafenmauer ist Betonschüttung zwischen Mauerwerk in Anwendung gebracht. Der Beton hat aber einen erheblich grössern Temperatur-Koefficienten als das Cement-Ziegelmauerwerk (s. Bouniceau's Angabe im § 2), es würde also bei grösserer Temperaturänderung eine erheblich verschiedene Längenänderung, und somit eine Trennung beider Theile entstehen. In Mitten einer starken Mauer ist aber der Temperaturgrad nahezu constant, nämlich Erdwärme = + 10° C., wie auch in den vorstehenden Berechnungen angenommen worden, und daraus erklärt sich, dass in dem vorliegenden Falle eine Trennung zwischen Mauerwerk und Beton nicht stattfindet.

In der vorstehenden Beschreibung des Hr. Franzius der Bremer Hafenmauer ist angeführt, dass in demjenigen Theile derselben, welcher im Sommer 1886 ausgeführt worden, im Winter 1886/87 bei — 2° C. Lufttemperatur zuerst ein Riss von 1 mm Weite entstanden sei, welcher sich am 16. Februar 1887 bei — 7° C. Lufttemperatur

bis auf 3,75 mm erweitert, und am 8. April 1887 bei + 8° C. Lufttemperatur sich vollkommen wieder geschlossen habe. Die Berechnung ergiebt Folgendes.

Das Profil der Mauer wieder, wie früher, der Stärke nach in 4 gleiche Theile getheilt gedacht, ist die Temperatur des Mauerwerks anzunehmen: in jeder der beiden äussern Abtheilungen durchschnittlich + 14° C., und in jeder der beiden mittlern Abtheilungen durchschnittlich + 10°; darnach ergiebt sich die Durchschnitts-Temperatur der Mauer zu

$$\frac{(2 \cdot +14^0) + (2 \cdot +10^0)}{4} = +12^0 \text{ C.};$$

im Winter 1886/87 bei — 2°, in den beiden äussern Theilen + 2° und in den beiden mittlern Theilen + 10°, also die Durchschnitts-Temperatur

$$\frac{(2 \cdot +2^0) + (2 \cdot +10^0)}{4} = +6^0;$$

die Differenz beträgt also + 6°, und unter Ansatz des vorhin ermittelten Koefficienten für 1° C. = 0,0000038 die Längenänderung

$$6^0 \cdot 0{,}0000038 = 0{,}0000228,$$

also auf 125 m Länge

$$125 \text{ m} \cdot 0{,}0000228 = 0{,}00285 \text{ m} = 2{,}85 \text{ mm}.$$

Nach der Beschreibung hat aber diese Rissweite nur 1 mm betragen. Der Unterschied ist daraus zu erklären, dass bei der Zusammenziehung die Reibung auf der Bodenfläche, sowie die Cohäsion des Mauerwerks einen grossen Widerstand geleistet und letzteres in Folge seiner Elasticität eine Ausdehnung erhalten hat. Nach erfolgter Trennung ist diese Ausdehnung sodann wieder zurückgegangen und bei der Lufttemperatur von — 7°, bei

welcher die durchschnittliche Mauertemperatur zu $+ 8^0$ vorhin ermittelt worden, die Rissweite von 3,75 mm eingetreten.

Die sodann erfolgte Ausdehnung in Folge der Wärmesteigerung, welche am 8. April 1887 $+ 8^0$ betragen, berechnet sich: in den beiden äussern Abtheilungen der Mauer $+ 11^0$ und in den beiden mittlern $+ 10^0$, also die durchschnittliche Mauertemperatur

$$\frac{(2 \cdot + 11^0) + (2 \cdot + 10^0)}{4} = 10{,}5^0,$$

also die Differenz zwischen dieser Temperatur und der von $+ 4^0$ (bei der Lufttemperatur von $- 7^0$) $= + 6{,}5^0$; demnach die Längenänderung

$$6{,}5^0 \cdot 0{,}0000038 = 0{,}0000247,$$

also auf 125 Länge

$$= 0{,}00309 \text{ m} = 3{,}01 \text{ mm}.$$

Im Vorstehenden ist der Wärme-Koefficient für Cementmörtel-Ziegelmauerwerk auf Grund des Verhaltens der Bremer Hafenmauer ermittelt zu 0,0000038 auf 1^0 C. Die darauf gestützten vorstehenden Berechnungen stimmen mit der Erfahrung recht gut überein.

Der von Bouniceau angegebene Koefficient (§ 2) für Binder (Strecker) = 0,0000089 ist also erheblich zu gross. Für Läufer hat derselbe angegeben = 0,0000046; bei starken Mauern spielen die Läufer aber nur eine sehr geringfügige Rolle, da Läufer nur an den Aussenseiten angewandt werden, während im Innern nur Strecker zu liegen kommen. Der grosse Unterschied zwischen den Bouniceauschen Koefficienten für Strecker und Läufer ist ebenfalls sehr unwahrscheinlich.

Nach den vorliegenden Erfahrungen muss es als geboten erachtet werden, lange Cementmörtel-Mauern nicht im ununterbrochenen Zusammenhange, sondern in getrennten Theilen auszuführen und zwischen diesen Theilen einen Spielraum zu lassen, von solcher Weite, dass die bei höchster Sommertemperatur stattfindende Ausdehnung ungehindert vor sich gehen kann. Bei der Abkühlung werden sich alsdann die geschaffenen Spielräume zwischen den getrennten Mauertheilen ungehindert erweitern, und somit willkürliche Rissebildungen, vielleicht sehr unregelmässig und an ungünstigen Stellen, verhindert.

Schon Bouniceau hat in seinem, vorstehend im § 2 erwähnten Aufsatze diese Maassregel empfohlen.

Es fragt sich nun: welche Länge für die getrennten Theile der Mauer zweckmässig anzunehmen ist? — Wie vorhin angegeben ist, haben bei der Bremer Hafenmauer sich die Risse in Entfernungen von etwa 125 m gebildet. Falls in der seit 1878 verflossenen Zeit in den entstandenen, etwa 125 m langen Theilen nicht neue Risse entstanden sind, würde anscheinend eine derartige grosse Länge der Abtheilungen als zulässig zu erachten sein. Es müssen vor der Entscheidung darüber aber auch die bei andern Werken hervorgetretenen Erfahrungen berücksichtigt werden. Nach meiner Ansicht ist es räthlich, die Länge der Abtheilungen nicht über 50 m anzunehmen. Die Ausdehnungen und Zusammenziehungen jeder Abtheilung erfolgen von deren Mitte aus nach links und nach rechts; es müssen daher auf die halbe Länge die, den Bewegungen entgegen wirkenden Widerstände, insbesondere die grosse Reibung an der Grundfläche, überwunden werden. Je grösser nun die Länge ist, desto grösser sind die Widerstände, und um so eher ist alsdann das Zerreissen bei der Zusammenziehung, wobei die Zugfestigkeit des Mörtels in Anspruch ge-

nommen wird, zu befürchten. Wenn das Eindringen des Wassers in die offene Fuge zwischen je zwei Abtheilungen durch Herstellung einer stopfbüchsenartigen Verschlussvorrichtung verhindert werden muss, wie bei der Bremer Hafenmauer, so führt die Rücksicht auf die Kosten zur thunlichsten Beschränkung der Stückzahl dieser Vorrichtungen, also zur Annahme einer thunlichst grossen Länge der Abtheilungen. Aber selbst in diesem Falle dürfte sich empfehlen, die Länge nicht grösser als 70 m anzunehmen. Liegt nun aber ein solcher Grund nicht vor, ist es zulässig, das Wasser in die offene Fuge eindringen zu lassen, so wird die Annahme einer geringern Länge vorzuziehen sein.

Ferner ist in Frage zu stellen: ob durch das Gefrieren des in die offene Fuge eingedrungenen Wassers Unheil erfolgen kann? Darauf ist zu bemerken, dass im Innern der starken Mauern Erdwärme, $+ 10^0$ C., herrscht und somit ein Gefrieren nur an dem äussern, der Luft ausgesetzten Theile erfolgen kann, und dass das Mauerwerk vermöge seiner Elasticität so viel nachgiebt als die geringe Ausdehnung der dünnen Eisschichte erfordert, so dass also eine Zerstörung nicht zu besorgen ist.

Die Spaltweite zwischen den Mauer-Abtheilungen ist zu bemessen nach der Differenz zwischen der mittlern Mauertemperatur bei der grössten Lufttemperatur im heissesten Sommer (= 36^0 C. im Schatten) und der Temperatur des Mauerwerks zur Zeit der Ausführung desselben. Die mittlere Temperatur des Mauerwerks bei der grössten Sommer-Luftwärme ist vorstehend ermittelt zu

$$\frac{(2 \cdot + 16^0) + (2 \cdot + 10^0)}{4} = + 13^0 \text{ C.}$$

Erfolgt nun die Ausführung in der Frühjahrs- oder

Herbstzeit, so ist die Mauertemperatur anzunehmen zu $+ 8^0$ darnach beträgt die Differenz $+ 5^0$, und die Längenänderung unter Ansatz des vorstehend ermittelten Koefficienten

$$5^0 \cdot 0{,}0000038 = 0{,}000019,$$

also auf die Abtheilungslänge von 50 m

$$= 50 \text{ m} \cdot 0{,}000019 = 0{,}00095 \text{ m},$$

also gerundet = 1 mm.

Erfolgt aber die Ausführung im hohen Sommer, so wird alsdann die Temperatur des Mauerwerks $+ 13^0$ betragen; alsdann ist gegen die mittlere Mauertemperatur der heissesten Sommer-Lufttemperatur gar keine Differenz vorhanden, und somit eine Spaltweite gar nicht anzunehmen.

Im strengsten Winter, bei $- 25^0$ C. Lufttemperatur, beträgt die mittlere Mauertemperatur wie vorstehend ermittelt

$$\frac{(2 \cdot - 8^0) + (2 \cdot + 10^0)}{4} = + 1^0,$$

somit die Differenz gegen die mittlere Mauertemperatur bei der grössten Sommerwärme = 12^0 C., demnach die Längenänderung

$$12^0 \cdot 0{,}0000038 = 0{,}000046,$$

also auf die Abtheilungslänge von 50 m

$$= 50 \text{ m} \cdot 0{,}000046 = 0{,}0023 \text{ m} = 2{,}3 \text{ mm}.$$

Das ist demnach die grösste Spaltweite, welche bei der grössten Winterkälte eintritt.

Verhalten des Asphalts.

§ 16. Der geschmolzene Asphalt, sog. Mastix-Asphalt, welcher zu Belägen von Fusswegen, Terrassen, flachen Dächern pp., sowie zur Herstellung von Isolirschichten verwandt wird, ist nahezu völlig wasserdicht.

Das ist für die genannten Verwendungen unverkennbar eine sehr günstige Eigenschaft. Dagegen ist er dem Temperaturwechsel in sehr hohem Grade unterworfen. Bei grösserer Wärme wird er weich, nimmt dann beim Belasten (Begehen pp.) Eindrücke an, und bei Kälte zieht er sich stark zusammen, bekommt Risse. Diese letztere böse Eigenschaft steigert sich mit der Zeit mehr und mehr, da sich durch die Einwirkung der warmen Luft der Fettgehalt des Asphalts, und damit seine Zähigkeit erheblich vermindert, so dass dann in Folge des Zusammenziehens bei Kälte das Zerreissen stattfindet. Um dieses Zerreissen auf möglichst lange Zeit zu verhindern, setzt man beim Verarbeiten des Asphalts demselben ein möglichst grosses Maass ven fettigen Bestandtheilen, als Erdtheer (Goudron), Trinidad-Asphalt, Naphta pp. zu. Aber darin darf man nicht zu weit gehen, weil sonst in der warmen Sommerzeit der Asphaltbelag allzu weich wird, und dann beim Begehen und sonstigen Belastungen, z. B. durch Stuhlbeine, allzustarke Eindrücke und Erhöhungen entstehen. In der erstern Zeit ist in Folge des grössern Fettgehaltes die Zähigkeit, die Elasticität des Asphalts so gross, dass unter günstigen Umständen selbst in Mitten grösserer Flächen keine Risse entstehen, sondern nur an den Anschlusskanten offene Fugen sich bilden.

In diese offenen Fugen, sowie in die später entstehenden Risse dringt das Wasser hinein, verbreitet sich unter der Asphaltlage und bewirkt beim Gefrieren durch die Ausdehnung des Eises eine Hebung des Asphaltbelags, das sog. Auffrieren. Nach dem Aufthauen liegt dann der Asphaltbelag stellenweise hohl, was man beim Aufstossen mit einem Stocke deutlich bemerkt; nach einiger Zeit aber senkt sich die Asphaltschichte wieder in ihre frühere Lage unbeschädigt zurück.

Die Entfernung der, in der Winterzeit entstehenden Risse, sowie die Weite derselben, sind verschieden, je nach dem Kältegrade, dem Zähigkeitsgrade des Asphalts und der Beschaffenheit der Unterlage. Ist diese rauh und somit eine grössere Reibung vorhanden, so entstehen die Risse in geringern Entfernungen von 1 bis 2 Meter, ist aber die Unterlage glatt, so bilden sich die Risse in grössern Entfernungen von 4 bis 6 m. Im erstern Falle haben die Risse eine Weite von 1,5 bis 3 mm, im letztern Falle von 6 bis 10 mm. Nach Wiedereintritt warmer Temperatur vermindert sich die Weite der Risse, aber ein völliges Schliessen der stärkern Risse findet nicht statt. Meistens sind die Risse sehr unregelmässig, stark gekrümmt und oftmals gezackt.

Aus der vorstehenden Darlegung ergeben sich folgende Lehren.

Die Beläge der Fusswege und der Terrassen sind nicht in ununterbrochenem Zusammenhange, sondern in, durch Fugen getrennten Theilen, je 1,5 bis 2 m gross, herzustellen.

Die Verwendung des Asphalts zu Dachdeckungen, ist als unzulässig zu erachten.

Die, bald nach Auffindung der Limmer Asphaltgruben, in hiesiger Gegend, besonders aber bei den Neubauten nach dem grossen Brande in Hamburg in den vierziger Jahren in grosser Zahl ausgeführten Asphaltdächer haben längst wieder beseitigt werden müssen, weil die, durch das mit jedem Jahre sich steigernde Zerreissen veranlassten Uebelstände zuletzt unerträglich wurden.

Im Jahre 1878 habe ich die Asphaltdächer eines ausgedehnten Schlossbaues in Mecklenburg-Schwerin beseitigt und durch Schieferdächer ersetzt. Die Bewohner sagten aus, dass das Zerreissen der Asphaltbedachung oftmals unter einem starken Knalle, ähnlich einem Kanonenschusse,

stattfände. Nach jedem Winter hat man die entstandenen Risse durch Zuschmelzen gedichtet und die ganzen Dachflächen mit Theer überstrichen, aber durch die eingedrungenen Wassermassen sind erhebliche Beschädigungen der Zimmerdecken veranlasst, welche mit jedem Jahre sich gesteigert haben, so dass die Beseitigung der Asphaltdeckungen als unerlässlich erachtet wurde.

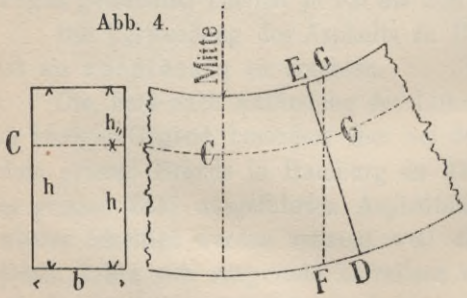
Nachtrag

zu meiner Schrift: „Die Lage der neutralen Schichte bei gebogenen Körpern, und die Druckvertheilung im Mauerwerke bei excentrischer Belastung.“

In meiner vorbenannten, Ende März d. J. veröffentlichten Schrift sind einige Unrichtigkeiten untergelaufen, welche ich erst nach der Veröffentlichung bemerkt habe. Ich will dieselben hier berichtigen, auch einige Zusätze anschliessen.

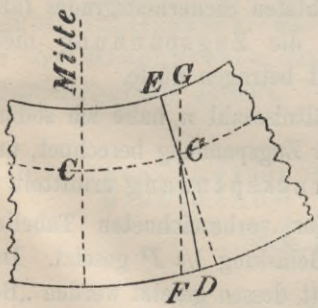
Seite 6 ist unter Bezugnahme auf die, auch hierneben wiederholte Abbildung 4 gesagt, dass wenn die neutrale Schichte CC nach der Druckseite verschoben sei, die beiden Dreiecke CDF und CEG verschieden gross, aber ähnlich seien, und Seite 9 habe ich in dem angeführten Beispiele, in welchem der Koefficient der Druckspannung 4 mal so gross als der Koefficient der Zugspannung angenommen ist, demgemäss gesagt: $h_{,,} : h_{,} = \sqrt{4} = 1:2$, demnach $EG : FD = 1:2$; die Flächen der beiden Dreiecke verhalten sich wie $1:4$; da nun aber nach vorstehen-

Abb. 4.



der Angabe die Druckspannung 4 mal so gross als die Zugspannung ist, so sind die Produkte aus Fläche CEG mal Druckspannung 4 K_z = Fläche CDF mal Zugspannung K_z, und somit die Momente zu beiten Seiten gleich gross.“

Das ist unrichtig. Dem Fundamentalsatze gemäss müssen die Momente zu beiden Seiten gleich gross sein, die vorbezeichneten Produkte sind aber nicht die Momente, diese ergeben sich vielmehr erst durch Multiplikation mit dem betreffenden Hebelarm. Der Hebelarm des untern Dreiecks CDF ist nun aber um $\sqrt{n}$ mal grösser als der Hebelarm des obern Dreiecks CEG, und sonach würden die Momente zu beiden Seiten nicht gleich gross sein. Die Gleichheit der beiderseitigen Momente ist nur dann vorhanden, wenn die Fläche des untern Dreiecks CDF nur $\sqrt{n}$ mal grösser ist als die Fläche des obern Dreiecks CEG, und das ist der Fall, wenn die Seite DF des untern Dreiecks gleiche Grösse hat mit der Seite EG des obern Dreiecks, wie solches die nebenstehende Abbildung zeigt. Die beiden fraglichen Dreiecke sind also nicht ähnlich.



Aus dem Vorstehenden ergiebt sich, dass das äusserste Maass der Verlängerung FD gleich ist dem äussersten Maasse der Verkürzung GE. Solches hat sich auch bei den Versuchen des Herrn Föppl ergeben, und somit ist der, in meiner Schrift S. 43 hiergegen erhobene Zweifel hinfällig.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich ferner, dass die

Linie ECD keine gerade, sondern eine gebrochene Linie ist. Die Abweichung von der geraden Linie ist aber in Wirklichkeit nur eine sehr geringe.

Der vorstehend besprochene Irrthum hinsichtlich der Aehnlichkeit der beiden fraglichen Dreiecke ist in meiner Schrift ohne Einfluss auf die weitere Behandlung geblieben, da diese nicht auf die Aehnlichkeit der beiden Dreiecke gestützt ist, sondern auf den Fundamentalsatz der Gleichheit der beiderseitigen Momente.

Bei Aufstellung der Tabellen zur Ermittelung der zulässigen Belastung der Steinbalken, S. 26, und der Cementbetonbalken, S. 29, bin ich von der Feststellung der zulässigen Zugspannung ausgegangen, und habe diese zu $1/4$ des Koefficienten der Zugfestigkeit angenommen, — von der Ansicht ausgehend, dass zur Erlangung des als nöthig erachteten Sicherheitsgrades (also z. B. vierfacher Sicherheit), die Zugspannung nicht mehr als $1/4$ der Zugfestigkeit betragen dürfe.

Die Zunahme der Verhältnisszahl n habe ich sodann nach geradem Verhältnisse der Zugspannung berechnet, und darnach die entsprechende Druckspannung ermittelt.

In die erste Rubrik der vorbezeichneten Tabellen (S. 26 und 29) habe ich als Belastung $1/4\ P$ gesetzt. Das ist nicht richtig, es muss statt dessen gesetzt werden „Belastung bei $1/4\ K_z$." Denn bei Körpern, deren Zug- und Druckfestigkeit verschieden sind, steht die Belastung nicht in geradem Verhältnisse zu den Koefficienten, das ist nur der Fall bei Körpern, bei denen die Zug- und Druckfestigkeit gleich gross sind (bei Schmiedeeisen und Stahl). Wie die auf S. 27 und S. 29 vorgeführten Beispiele zeigen, ergiebt sich für Stein- und Betonbalken die zulässige Belastung

geringer als $^1/_4$ der Bruchbelastung *P*. — Dem entsprechend ist der Schlusssatz S. 25 zu berichtigen.

Die Belastung würde nur dann in geradem Verhältnisse zur Zugspannung, sowie auch zur Druckspannung stehen, wenn die Verhältnisszahl n von Beginn der Belastung an constant wäre, wenn also die neutrale Schichte von vornherein entsprechend der Verhältnisszahl n unveränderlich läge. Nach dem Verhalten der Gusseisenbalken und der Holzbalken ist das aber nicht der Fall.

Ob nun die Zunahme der Verhältnisszahl n in geradem Verhältnisse zur Zugspannung, oder aber in geradem Verhältnisse zur Belastung stattfindet, das muss durch Versuche ermittelt werden. Für die Praxis kann vorerst das Erstere angenommen werden.

Bei der Ermittelung der zulässigen Belastung der Gusseisen- und Holzbalken ist auszugehen von dem Verhältnisse der Zug- und Druckspannung an der Elasticitätsgrenze, also nicht von dem Verhältnisse an der Bruchgrenze, da die Proportionalität an der Elasticitätsgrenze aufhört.