



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299612

III. 17562
D. 16368/96

ry
IV.

Mittheilungen
über das
Verhalten hydraulischer Bindemittel
in Seewasser
und
in Süßwasser.

Von
Gerhard Herfeldt
in
Andernach a. Rhein.

F. Nr. 228

1896.



Inhalt:

	Seite
Trass-Kalk-Mörtel in Seewasser	1-17.
Cement-Mörtel mit Trasszusatz in Seewasser	18-37.
Cement-Mörtel mit Trasszusatz in Süßwasser	38-40.

Druck von Conrad Weigt in Andernach.

959

2314

XX
403



II 7837



Akc. Nr. 11 / 52

Mit Veröffentlichung der Resultate meiner Mörtel-Versuche in Seewasser würde ich noch gewartet haben bis zu einem vollkommeneren Abschluss derselben, wenn nicht von anderer Seite Mittheilungen in die Oeffentlichkeit gebracht worden wären, die es zweckmässig erscheinen lassen, schon jetzt eine Bekanntgebung in weitere Kreise vorzunehmen.

Besondere Veranlassung hierzu giebt mir ein Artikel des Vorstandes des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten in den „Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses“ 1896, Heft VI und VII, wo auf Seite 186 drittletzte Zeile steht:

„ . . . und namentlich die Mörtel aus Trass und Kalk von Seewasser angegriffen werden.“

Richtiger wäre an dieser Stelle wohl gesagt worden:

„Obwohl bei Trassmörtel, der schon seit Jahrhunderten zu Bauten in Seewasser Verwendung findet, hinlänglich bewiesen ist, dass Trassmörtel in Seewasser sich vorzüglich bewährt, so kann doch durch unpassende Mischungsverhältnisse, ungenügende Vermischung der Materialien oder andere Fehler in der Behandlung Trassmörtel hergestellt werden, der dem Seewasser nicht widersteht.“

Näher auf die gemachte Bemerkung einzugehen ist zwecklos, da genauere Angaben fehlen, aus denen die wahrscheinlichen Fehlerquellen zu ermitteln wären, und setze ich voraus, dass der Vorstand des Cementfabrikanten-Vereins

die Angelegenheit weiter prüfen und eine Berichtigung in der gleichen Zeitschrift eintreten lassen wird.

Zur Sache „das Verhalten hydraulischer Bindemittel in Seewasser“ übergehend, erkenne ich gerne an, dass es noch sehr vieler und umfassender Versuche bedarf, um zu einem endgültigen Abschluss zu kommen, und in Bezug auf Trassmörtel ist zu bemerken, dass zwar nicht zu ermitteln ist, ob Trass sich für Seebauten eignet, da dies durch eine grosse Anzahl und zum Theil sehr alter Bauten zur Genüge erwiesen ist, aber wohl bleibt durch Versuche festzustellen, welches die zweckmässigsten Mischungsverhältnisse sind.

Bezüglich alter Bauten in See- und Brackwasser, die heute noch in tadellosem Zustande sind, verweise ich auf die vielen holländischen Bauten, z. B. bei den Städten Delfzyl (Schleuse 1862 gebaut), Zoutkamp (Schleuse 1872 gebaut), ferner in der Provinz Groningen: Schaphalsterzyl, Farmsumer Schleuse und Osterdumer Schleuse (alle älter als 50 Jahre), Katwyk (Schleuse 1808 gebaut). Ganz besonders interessant sind z. B. auch in Enkhuisen „de Koepoort“ (1649 gebaut), „das Rathhaus“ (1600 gebaut), „de Drommedaris“ (1572 gebaut — eine Burg, unmittelbar an der See stehend), Katwyk „het huis der Britten“ (die Fundamente einer Burg, die durch das Sinken des Landes vor etwa 100 Jahren unter Wasser kamen und heute 1 Stunde von Katwyk noch erhalten in der See liegen), ferner die vielen Bauten bei den Städten Nieuwe Diep, Helder, Medemblik, Hoorn, Harlingen, Stavoren, De Lemmer und anderen.

Das hinter der Küste liegende Land liegt tiefer wie die See, und durch den Druck der See ist bis tief in das Land hinein nur Brackwasser. Alle Fundamente und Kellermauerungen befinden sich in steter Berührung mit See- oder Brackwasser. In früheren Zeiten kannte man dort keinen anderen hydraulischen Mörtel als solchen, der von Trass und Muschelkalk hergestellt war.

Dass Trass schon in sehr alten Zeiten in Holland viel Verwendung fand, geht auch daraus hervor, dass im Jahr 1682 der Holländer Bernhard van Santen an den Gewinnungsstätten des Trasses im Rheinland eine Trassmühle errichtete.

Aus neuerer Zeit, aber auch schon beinahe 40 Jahre alt, sind die grossen Seebauten in Wilhelms haven, wo Trass in ausgedehntestem Maasse zur Verwendung gelangte.

Bei Cementmörtel hat man diese langjährigen Erfahrungen wie bei Trassmörtel noch nicht, aber in dieser kürzeren Zeit haben sich bei Seebauten mit Cementmörtel verschiedentlich Mängel herausgestellt, die wohl hauptsächlich Veranlassung sind, dass jetzt umfassendere Mörtel-Versuche in Seewasser angestellt werden.

In dem Eingangs dieser Schrift bezeichneten Artikel des Cementfabrikanten-Vereins ist gesagt, dass in Copenhagen zu Seeforts verwendeter Portland-Cement seit 40 Jahren sich in Seewasser gut erhalten habe und dieser Cement von gleicher Beschaffenheit sei, wie der neuerdings zu den Michaëlis'schen Versuchen verwendete Cement.

Stimmt dies wirklich genau oder sollte nicht doch das allgemeine Streben, die Erhärtungsfähigkeit des Cementes immer mehr und mehr zu steigern, dazu geführt haben, das Mischungsverhältniss der Rohstoffe etc. im Laufe eines Zeitraumes von 40 Jahren abzuändern, so dass zwar heute die Cemente höhere Festigkeiten ergeben, aber der chemischen Einwirkung des Seewassers weniger gut widerstehen?

Die mit Trassmörtel schon seit alten Zeiten gemachten guten Erfahrungen bieten insofern eine viel grössere Sicherheit im Vergleich zu den Beobachtungen bei Bauten mit Cementmörtel, weil Trass ein Naturproduct ist und der Trassstein nur vermahlen wird, sonst aber vollkommen unverändert bleibt. Aus diesem Grunde muss der vor hundert Jahren verwendete Trass hinsichtlich seiner

Zusammensetzung von derselben Beschaffenheit gewesen sein, wie der heute in den Handel kommende ächte Trass, während bei der Fabrikation von Portland-Cement im Laufe längerer Jahre mancherlei Veränderungen in der Fabrikation vorgenommen worden sind.

Wie schon oben erwähnt, bleibt es eine nützliche Arbeit, die zweckmässigsten Mischungsverhältnisse für Trassmörtel zu ermitteln, und ist jedenfalls der Zusammensetzung bei der Verwendung in Seewasser eine viel grössere Aufmerksamkeit zu schenken, als bei Bauten in Süswasser.

Bekanntlich erhärtet Trass nur in Verbindung mit Kalk, und da Kalk von Seewasser angegriffen wird, ist darauf zu achten, dass Trassmörtel unter keinen Umständen einen Ueberschuss an Kalk enthält, sondern nur so viel, als Trass bei seinem Erhärtungsprozess zu binden vermag.

Trass selbst wird von Seewasser nicht angegriffen. Um mir vollkommene Sicherheit hierfür zu schaffen, liess ich eine Parthie Trass in einem Sack 4 Monate in Seewasser liegen und verglich ihn dann mit trocken gelagertem Trass.

Bei gleicher Mischung und sonst vollkommen gleichartiger Behandlung betrug nach 1+27 Tagen Erhärtung in Seewasser die Festigkeit:

Bei dem in Seewasser
gelagerten Trass

15,63 kg.

Bei trocken
gelagertem Trass

15,59 kg.

Da Trass von Seewasser nicht angegriffen wird, kann es also nichts schaden, wenn der Mörtel einen kleinen Ueberschuss an Trass enthält, denn dieser Ueberschuss wird im Mörtel als Sand wirken und die dadurch herbeigeführte geringe Sandvermehrung nur kaum messbare Festigkeitsunterschiede veranlassen.

Bei Bauausführungen, wobei in der Regel grosse Mengen von Trassmörtel oder Betons gleichzeitig in geschlossener Masse unter Seewasser gebracht werden, kann man annehmen, dass selbst wenn die Zusammensetzung nicht die allergünstigste ist, doch eine nachtheilige Einwirkung des Seewassers nicht oder nur in sehr geringem Maasse sich bemerkbar machen wird, weil der stets fette Trassmörtel sehr dicht schliesst und dadurch das Eindringen des Wassers verhindert, aber bei wichtigen Bauten bleibt es selbstverständlich das Empfehlenswertheste, solche Mischungsverhältnisse zu wählen, die auch bei kleinen Mörtelkörpern im Laboratorium tadellose Resultate ergeben.

Die dem Trassmörtel zu gebende Kalkmenge richtet sich nach der Beschaffenheit des Kalkes, und ist bei der Verwendung von Fettkalk dem Mörtel etwas weniger Kalk zuzusetzen als bei mageren Kalksorten.

Bei meinen Versuchen mit Fettkalk, die mit nur **25** Schlägen des Böhme'schen Hammerapparates hergestellt wurden, fand ich nach Erhärtung von 1 Jahr (1. Tag Luft) unter Seewasser die folgenden Festigkeitszahlen bei verschiedenen Mengen des Kalkzusatzes:

Versuchsreihe 1.

Mischung nach Raum theilen.

Trass	Kalkpulver	Sand	Wasser	
2	1	1	0,625	26 , ₄₅ kg Zugfestigkeit.
1 ¹ / ₂	1	1	0,575	25 , ₈₈
1	1	1	0,500	22 , ₃₆
1	1 ¹ / ₂	1	0,600	18 , ₄₇

Die letztere Mischung, welche unbedingt einen Ueberschuss an Kalk enthält, war durch das Seewasser angegriffen und zeigte Beschädigungen (Aufblättern an Ecken und Kanten).

Die in meinen Versuchsreihen zusammengestellten Proben erhärteten jedesmal bei gleicher Wasserwärme und unter sonst gleichen Verhältnissen.

Den Mischungen nach Raumtheilen legte ich folgende Gewichte zu Grunde:

1 cbm = 1000 kg Plaidter Trass.

1 „ 500 „ Kalkpulver.

1 „ 1500 „ Sand.

Die zugesetzte Wassermenge ist nicht unbedingt feststehend, sondern richtet sich nach der Beschaffenheit des Kalkes und Sandes.

Mit höherem Sandzusatz versuchte ich die Mischungen:

Versuchsreihe 2.

Mischung nach Raumtheilen.

Trass	Kalkpulver	Sand	Wasser	4 Wochen	3 Mon.	1 Jahr (1 T. Luft)	
1 ¹ / ₂	1	2	0,600	20,09	—	25,22	} kg Zugfestigkeit
1	1	2	0,525	17,90	—	26,41	
1	1 ¹ / ₂	2	0,625	18,52	24,64	15,24	

und ist hieraus ersichtlich, wie bei der letzten Mischung mit Kalküberschuss die zerstörende Wirkung des Seewassers erst nach längerer Zeit zur Geltung kam.

Schliesslich versuchte ich hinsichtlich der Kalkmenge noch die Mischungen nach Raumtheilen.

Versuchsreihe 3.

Trass	Kalkpulver	Sand	Wasser			
1 ¹ / ₂	1	3	0,625	20,16	kg	} Zugfestigkeit nach 1 Jahr.
1	2	3	0,750	11,18	„	

Also auch hier zeigt der Ueberschuss des Kalkes bei der letzten Mischung sehr deutlich erkennbar seine nachtheiligen Folgen.

Mit **Dolomitkalk** aus der Eifel (Rheinland) machte ich ebenfalls Versuche in Seewasser mit **25** Schlägen des Hammerapparates, und ergaben diese die nachfolgenden Festigkeiten:

Versuchsreihe 4.

Mischung nach Raumtheilen.

Trass	Kalkpulver	Sand	Wasser	1+27 Tage	1+364 Tage
1 $\frac{1}{2}$	1	1	0,625	21,36	32,91
1	1	1	0,550	18,25	29,42
1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	2	0,750	19,74	31,05
1	1	2	0,625	15,66	27,65
1	1 $\frac{1}{2}$	2	0,700	12,48	18,47

Die Wärme des Erhärtungswassers betrug in den ersten 4 Wochen im Mittel 12,5 bis 13° C.

Ich füge dies ausdrücklich hinzu, weil die Temperatur bei Trassmörtel auf die Anfangserhärtung einen grossen Einfluss hat.

Die Druckfestigkeiten vorstehender Mischungen mit Dolomitkalk ergaben nach 1+364 Tagen unter Seewasser:

Versuchsreihe 5.

Trass	Kalkpulver	Sand	
1 $\frac{1}{2}$	1	1	157,66 kg.
1	1	1	145,66
1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	2	151,33
1	1	2	133,13

Es ist bei der Werthschätzung dieser Festigkeitszahlen zu berücksichtigen, dass diese Druckprobekörper ebenso wie die Zugproben nur mit **25** Schlägen eingeschlagen sind.

Ich machte die Versuche mit verschiedenen Kalkmengen und Kalkarten in Seewasser nicht nur um das Verhalten in Seewasser zu beobachten, sondern auch, weil solche Versuche von Wichtigkeit sind für **städtische Abwässerungskanäle und Klärbassins**, da in diesen die Abwässer in ähnlicher Weise, wenn auch je nach ihrer Beschaffenheit vielleicht langsamer, auf unpassende Mörtel zerstörend einwirken werden.

Es wurden nun noch Versuche gemacht mit **hydraulischem** Kalk aus **Tournai** (Belgien) und **Dünensand**, und ergaben diese bei **25** Schlägen des Hammerapparates und in Seewasser erhärtet folgende Zugfestigkeiten:

Versuchsreihe 6.

Mischung nach Raumtheilen.

Trass	Kalkpulver	Sand	Wasser	1+13 Tage	1+27 Tage
1 $\frac{1}{2}$	1	1	0,600	15,84	21,32
1	1	1	0,500	16,35	22,43
1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	2	0,650	13,02	20,11
1	1	2	0,525	12,13	18,13
1	1 $\frac{1}{4}$	2	0,550	12,72	21,87

Die mittlere Wärme des Erhärtungswassers betrug:

1+13 Tage 16° C.

1+27 „ 15,7 bis 15,8° C.

Sehr beachtenswerth bleibt es jedenfalls, dass Trassmörtel je nach der Beschaffenheit des Kalkes

immer in solchen Mengenverhältnissen zusammen gemischt werden kann, dass jeder Ueberschuss an Kalk im Mörtel vermieden wird und dadurch der Trassmörtel den sonst schädlichen Einwirkungen des Seewassers widersteht.

Cement-Sandmörtel hat nach den neueren Versuchen von Dr. Michaëlis immer einen **Ueberschuss an freiem Kalk** und bleibt aus diesem Grunde den schädlichen Einwirkungen des Seewassers ausgesetzt, wenn nicht durch Zumischung eines geeigneten Materials der überschüssige Kalk gebunden wird.

Anstatt der gebräuchlichen 150 Schläge des Hammerapparates habe ich nicht nur die vorstehenden, sondern die meisten meiner Versuche in Seewasser mit nur 25 Schlägen angefertigt, was bei der Beurtheilung der angegebenen Festigkeitszahlen berücksichtigt werden muss, da in Folge der viel grösseren Dichte der mit 150 Schlägen hergestellten Versuchskörper sich auch für diese wesentlich höhere Festigkeitszahlen ergeben.

Ich halte es nicht für zweckmässig, zu Versuchen in Seewasser Mörtelkörper zu benutzen, die durch 150 Schläge so stark verdichtet sind, wie Mörtel in der Praxis nie verwendet werden können. Es kommt bei solchen Versuchen nicht darauf an, durch eine sehr hohe Verdichtung der Mörtel im Laboratorium die schädliche Einwirkung des Seewassers fern zu halten oder möglichst herabzumindern, sondern ist es vielmehr Aufgabe, zu ermitteln, welche Einwirkung das Seewasser hat bei geringerer Dichte der Mörtel und einer Beschaffenheit, wie dieselben in der Praxis Anwendung finden können.

Was kann es nützen, wenn im Laboratorium durch sehr hohe Verdichtung der Mörtel dieselben gegen die schädlichen Einwirkungen des Seewassers widerstandsfähiger gemacht, die gleichen Mörtelmischungen aber in der Praxis, wo das

Seewasser in die undichteren Mörtel leichter eindringen kann, in mehr oder weniger hohem Grade angegriffen werden.

Bei Aufstellung der Bestimmungen zur Herstellung der Cement-Normen-Probe mit der Vorschrift von 150 Schlägen, welche der bis dahin erzielten besten Handarbeit im Laboratorium entsprach, ist zunächst nur beabsichtigt worden, „Cemente“ unter gleichen Bedingungen auf ihre Qualität zu prüfen, nicht aber ohne Weiteres dieses Prüfungsverfahren auf Vergleichen mit anderen hydraulischen Bindemitteln auszudehnen oder auf Proben, die ganz besondere Beobachtung mit Bezug auf die Werthschätzung der Mörtel für die Praxis erfordern, wie dies bei Proben in Seewasser der Fall ist, wobei es hauptsächlich auch darauf ankommt, die chemische Einwirkung des Seewassers auf die Mörtel zu beobachten.

Den Mörteln zu meinen Versuchen gab ich so viel Wasserzusatz, dass sie wie feuchte Erde wurden und sich der Mörtel beim Einschlagen in die Formen des Hammerapparates nicht zwischen Form und Stempel herausdrücken konnte.

Durch eine Verminderung des Wasserzusatzes werden die Mörtel weiter verdichtet und wird dadurch deren Festigkeit erhöht.

Bei Proben mit 25 Schlägen ist etwas mehr Wasserzusatz erforderlich als bei solchen mit 150 Schlägen, wenn man erreichen will, dass Wasser an der Oberfläche der Mörtelkörper austritt.

Meine weiteren Seewasser-Versuche hatten den Zweck, zu ermitteln, welcher Unterschied besteht, wenn die zur Erhärtung in Seewasser bestimmten Mörtel mit Süßwasser oder mit Seewasser angemacht werden.

Hierfür wurden folgende Mischungen mit Fettkalk angefertigt:

Versuchsreihe 7.

Raumtheile:			Angemacht mit:		
Trass	Kalkpulver	Sand	Seewasser	Süßwasser	
1 $\frac{1}{2}$	1	1	21,21	21,29	} kg Zugfestigkeit nach 1+27 Tagen.
1 $\frac{1}{2}$	1	2	19,61	19,49	
1 $\frac{1}{2}$	1	3	16,76	16,12	

Es wurden also hierbei nur so kleine Unterschiede gefunden, dass sie ganz ausser Betracht bleiben können.

Ich versuchte nun, von welchen Mörtelmischungen die Proben **sofort** nach Herstellung unter See-Wasser gelegt werden konnten (mit den Formen) ohne angegriffen zu werden und fand nach 1 Jahr (25 Schläge) bei den Mischungen:

Versuchsreihe 8.

Mischung nach Raumtheilen:

Trass	Kalkpulver	Sand	
1 $\frac{1}{2}$	1	1	25,92 kg Zugfestigkeit.
1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{4}$	2	28,93

und sonst tadellose Beschaffenheit der Mörtelkörper.

Zu meinen sämtlichen Versuchen in Seewasser (mit Ausnahme der Versuchsreihen 9 u. 10) habe ich Seewasser verwendet, das bei Brouwershaven, nahe der holländischen Küste, der Nordsee entnommen war und beim Verdampfen 3% feste Rückstände hinterliess.

Selbstverständlich wurde das Seewasser, in welchem die Proben erhärteten, sehr häufig erneuert.

Es wurde nun ferner probirt, welche Einwirkung es auf die Erhärtungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit von Trassmörtel hat, wenn das Seewasser, in welchem die Proben erhärteten, eine höhere oder geringere Salzmenge wie 3% enthält.

Die Resultate waren nach 1 Jahr bei 25 Schlägen:

Versuchsreihe 9.

Mischung nach Raumtheilen:

Trass	Kalkpulver	Sand	
1 $\frac{1}{2}$	1	1	27,52 kg in 5% Seewasser
	„		31,91 „ „ 2% „
	„		29,97 „ „ 1% „

Das Mischungsverhältniss der vorstehenden Versuche

1 $\frac{1}{2}$	Raumtheil	Trass
1	„	Kalkpulver
1	„	Sand

ist für Seewasserbauten an den Küsten der Nord- und Ostsee, wo Trassmörtel sehr viel Verwendung findet, ein ganz besonders empfehlenswerthes, weil 1. die Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkungen des Seewassers sich als sehr zuverlässig erwiesen hat und 2. solcher Mörtel an diesen Küstengebieten, namentlich bei Verbrauch grösserer Mengen und dadurch bedingten billigen Schiffsfrachten, immer noch bedeutend billiger sein wird, als in Frage kommende Cementmörtel.

Ich füge hier zum Vergleiche einige Mörtelberechnungen an.

Um hierbei einen genauen Vergleich der Mörtelergiebigkeit verschiedener Mischungen zu haben, ermittelte ich, wieviel Mörtel erforderlich war, um eine Anzahl Formen von

bekanntem Rauminhalt zu füllen. Bei Berechnung der Mörtelergiebigkeit ist die Dichte zu Grunde gelegt, wie sie bei 25 Schlägen des Hammerapparates erreicht wird. Der in nachfolgender Berechnung zu Grunde gelegte Preis von Mk. 20 pro 1000 kg Trass wird nur an den Plätzen unserer Küste sich etwas erhöhen, die weit vom Gewinnungsorte entfernt sind, dagegen wird sich dort der Preis wesentlich billiger stellen, wo in grossen Flussschiffen direct angeliefert werden kann.

Die Ermittlungen der Mörtel-Ergiebigkeit geschahen mit gemischtkörnigen Rheinsand:

$\frac{1}{2}$ normalkörnig

$\frac{1}{4}$ zwischen 120 und 360 Maschen

$\frac{1}{4}$ „ 360 „ 900 „

Darnach berechnen sich die Mörtel wie folgt:

1,5	cbm Plaidter Trass à 1000 kg à	M. 20.—	=	M. 30.—
1	„ Kalkpulver	500 „	6.—	6.—
1	„ Sand	1500 „	3.—	3.—
0,6	„ Wasser			
<u>4,1</u>	cbm Mischung kosten			<u>M. 39.—</u>

und ergeben 2,07 cbm Mörtel.

Es kostet also 1 cbm Mörtel M. 18.84

1,50	cbm Plaidter Trass à 1000 kg à	M. 20.—	=	M. 30.—
1,25	„ Kalkpulver	500	6.—	7.50
2	„ Sand	1500	3.—	6.—
0,75	„ Wasser			
<u>5,50</u>	„ cbm Mischung kosten			<u>M. 43.50</u>

und ergeben 2,79 cbm Mörtel.

Es kostet also 1 cbm Mörtel M. 15.59.

1	cbm	Cement à 1500 kg à	<i>M.</i> 45.—	=	<i>M.</i> 45.—
2	„	Sand 1500 „	3.—		6.—
0,540	„	Wasser			
<hr/>					
3,540	cbm	Mischung kosten			<i>M.</i> 51.—
und ergeben 2,205 cbm Mörtel.					
Es kostet also 1 cbm Mörtel <i>M.</i> 23.13.					

1	cbm	Cement à 1500 kg à	<i>M.</i> 45.—	=	<i>M.</i> 45.—
2,50	„	Sand 1500 „	3.—		7.50
0,660	„	Wasser			
<hr/>					
4,160	cbm	Mischung kosten			<i>M.</i> 52.50
und ergeben 2,618 cbm Mörtel.					
Es kostet also 1 cbm Mörtel <i>M.</i> 20.05.					

Bei Seebauten nahe der Mündung grosser Ströme, wo der Salzgehalt des Seewassers durch Zuführung grosser Mengen von Süßwasser verringert wird (im sogenannten Brackwasser) können nach meinen seitherigen Versuchsergebnissen auch billigere Mischungen Anwendung finden, wie die nachstehende Versuchsreihe zeigt:

Versuchsreihe 10.

Mischung nach Raumtheilen:			20%	10%
Trass	Kalkpulver	Sand	Seewasser	Seewasser
1½	1	0	24,63 kg	25,35 kg
1½	1	1	31,91	29,97
1	1	1	29,95	25,51
1½	1¼	2	29,30	28,98
1	1	2	26,88	27,71
1	1½	2	22,10	25,34
1	2	3	12,10	18,73

Zugfestigkeit nach 1 Jahre (1. Tag Luft) — 25 Schläge.

Nun blieb noch zu ermitteln, in wie weit sich Abweichungen zeigen von den gefundenen Ergebnissen in Seewasser, wenn sie verglichen werden mit solchen Versuchen, bei denen die Erhärtung der Trassmörtel nicht ununterbrochen unter Wasser vor sich geht, sondern abwechselnd unter Wasser und an der Luft.

Zu diesem Zwecke legte ich die Probekörper nach 1 tägiger Lagerung an feuchter Luft in eine leicht wasser-durchlässige, mit Sand gefüllte Kiste und brachte diese Kiste abwechselnd 1 Tag unter Seewasser von 3⁰/₀ Salzgehalt und 1 Tag an die Luft, so dass die Probekörper, während der Zeit die Kiste an der Luft stand, in feuchtem Sand lagerten.

Das Ergebniss hiervon war nach 1 Jahr (25 Schläge):

Versuchsreihe 11.

Mischung nach Raumtheilen:

Trass	Kalkpulver	Sand	
1 ¹ / ₂	1	0	22 ^{,54} kg Zugfestigkeit.
1 ¹ / ₂	1	1	22 ^{,84}
1	1	1	25 ^{,66}
1 ¹ / ₂	1 ¹ / ₄	2	29 ^{,10}
1	1	2	25 ^{,69}
1	1 ¹ / ₂	2	21 ^{,73}
1	2	3	5 ^{,83}

Die letzte Mischung mit sehr hohem Kalk- und Sandzusatz erwies sich also hinsichtlich der Festigkeit als sehr ungünstig und liessen verschiedene Probekörper derselben auch äusserlich schon die nachtheilige Einwirkung des Seewassers deutlich erkennen.

In mauergerechtem Zustande, also mit etwas höherem Wasserzusatz und mit der Hand in die Formen geschlagen,

wiederholte ich noch die Versuche mit höherem Kalk- und Sandzusatz in der Weise, dass ich die Proben zur Erhärtung abwechselnd 1 Tag an die Luft und 1 Tag unter Wasser legte, liess aber nicht wie bei den Proben der Versuchsreihe 11 die Mörtelkörper, wenn sie dem Wasser entnommen wurden, in feuchtem Sand liegen, sondern setzte sie einen um den anderen Tag der freien Luft zum Trocknen aus, und ergab sich dabei in der Zeit von 1 Monat bis zu 1 Jahr ein merkliches Fortschreiten der Erhärtung.

Versuchsreihe 12.

Mischung nach Raumtheilen:

Trass	Kalkpulver	Sand	1 Monat	1 Jahr
1	1½	2	10,71	17,36
1	2	3	8,95	15,07

Die Wasserdurchlässigkeit der mit Seewasser behandelten Mörtel habe ich nach verschiedenen Richtungen probirt.

1. unter Druck von 1 Atmosphäre an kreisrunden conischen Plättchen von 50 mm Durchmesser und 15 mm Dicke. (Nach Dr. Michaëlis.)
2. an Würfeln von 50 □ cm Seite, auf welche Glasröhren von 36 mm innerem Durchmesser und 110 mm Höhe befestigt und mit Wasser gefüllt werden. (Nach Debray, professeur à l'école nationale des ponts et chaussées in Paris.)
3. an Cylindern von 20 cm Höhe und 10 cm Durchmesser, die in ihrer Längsachse eine Höhlung von 15 cm Tiefe und 21 mm Durchmesser haben, auf welche zur Erhöhung der Wassersäule Glasröhren von 245

mm Höhe befestigt und mit Wasser gefüllt werden.
(Nach Professor Debray, wie unter 2.)

Bei den Versuchen unter 1 (Plättchen nach Dr. Michaëlis) zeigte die Mischung:

Trass	Kalkpulver	Sand	
1 $\frac{1}{2}$	1	1	nach Raumtheilen

in Seewasser erhärtet nach 1 Jahr (1. Tag Luft) das beste Resultat; diese Probe zeigte sich während 24 Stunden unter einer Atmosphäre Druck vollkommen wasserundurchlässig.

Die Proben unter 2 und 3 (Würfel und Cylinder) eignen sich weniger gut dazu, die Wasserdurchlässigkeit zu messen, weil der Wasserdruck nur sehr gering ist und die verschieden grosse Wasserverdunstung, je nach dem höheren oder geringeren Grade der Luftfeuchtigkeit und der Luftwärme, zu genauen Versuchen mit beobachtet werden muss. Dagegen sind diese Proben sehr geeignet, die Mörtel auf ihre Neigung zur Rissebildung zu beobachten. Am besten sind hierfür die Cylinder, weil hier der Wasserdruck nicht nur von der Oberfläche, wie bei den Würfeln, sondern auch vom Innern des Probekörpers aus wirkt.

Es empfiehlt sich, Würfel und Cylinder auf lange Zeit hinaus zu beobachten, da das Rissigwerden der Mörtel zum Theil erst nach langer Zeit eintritt. Einer meiner Cementwürfel war nach 2 Jahren noch in vollkommen guter Beschaffenheit und wurde erst im dritten Jahre rissig.

Es ist nicht unwahrscheinlich, dass ein Rissigwerden auch erst nach noch längerer Zeit eintreten kann, und habe ich mir zu weiterer Beobachtung eine grössere Anzahl Mörtelkörper aufbewahrt.

Cementmörtel mit Zusatz von Trass.

Veranlasst durch die sehr interessanten Versuche des Herrn **Dr. Michaëlis** (veröffentlicht als Sonderabdruck und in den „Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses“ 1896 Heft VI. und VII.), habe ich auch eine grössere Anzahl Versuche ausgeführt, um zu beobachten, wie sich Portland-Cement-Mörtel in Seewasser verhalten, wenn denselben Trass zugesetzt wird.

Nach Dr. Michaëlis soll der in dem Portland-Cement-Mörtel enthaltene überschüssige freie Kalk durch Trasszusatz gebunden und dadurch verhindert werden, dass das Seewasser auf diesen überschüssigen freien Kalk und schliesslich auf den ganzen Portland-Cement-Mörtel zerstörend einwirkt.

Bei meinen Versuchen habe ich gefunden, dass der Zusatz von Trass, oder richtiger die Ersetzung eines Theiles des Cementes durch Trass, die Erhärtung des Portland-Cement-Mörtels anfänglich verlangsamt und zwar in dem Maasse, als die Menge des Trasszusatzes gesteigert wird.

Die Festigkeitszahlen der Portland-Cement-Trass-Mörtel nähern sich aber in der Zeit von der ersten bis zur zweiten Woche schon sehr den Festigkeiten der Cementmörtel ohne Trasszusatz, und haben nach 4 Wochen die Mörtel mit Trasszusatz meist schon die gleiche oder höhere Festigkeit, besonders im Sommer während der Hauptbauperiode, bei höherer Wasserwärme.

Nach noch längerer Erhärtungsdauer überholen die Cement-Trass-Mörtel meist bedeutend die Cement-Mörtel ohne Trass-zusatz.

Ich verweise hier auf die in oben erwähnter Veröffentlichung von Dr. Michaëlis angeführten Festigkeitsergebnisse alter Probekörper, wonach die Mischung:

1	Gewichtstheil	Cement
1	„	Trass
4	„	Sand

nach 1 Jahr auf **39,50** kg Zugfestigkeit im Seewasser gestiegen war.

Dr. Erdmenger veröffentlicht in der „Thonindustrie-Zeitung“ 1896 Nr. 53 Seite 786 eine Tabelle von Cement-Versuchen, die in Amerika mit einem dem Trass ähnlichen Zuschlagmaterial, von einem natürlichen Vorkommen (S-Stoff bezeichnet) und einem Abfall-Product (Si-Stoff bezeichnet) gemacht sind, und bestätigt damit vollständig die hier mit Trasszuschlag gefundenen Ergebnisse, indem auch in Amerika gefunden wurde, dass die Erhärtung des Cementmörtels durch Ersatz eines Theiles des Cementes durch Zuschlagstoff anfangs verringert wird, aber fortgesetzt bis zu sehr hohen Festigkeiten steigt.

Besonders interessant sind auch die von Dr. Erdmenger veröffentlichten Versuchsergebnisse aus Amerika, wonach es gelungen ist, bei treibenden und künstlich treibend gemachten Cementen die schädliche Eigenschaft des Treibens durch Zusatzmaterialien vollkommen aufzuheben.

Herr Lundfeigen, der die Versuche angestellt hat, kommt zum Schlusse zu der Idee, einen recht hochkalkigen Portland-Cement zu fabriciren und dann den S-Stoff zuzumischen.

Es soll dadurch höhere Festigkeit, grössere Widerstandsfähigkeit gegen die chemischen Einflüsse des Seewassers und grössere Billigkeit des Mörtels erreicht werden.

Der genannte Artikel, sowie auch Veröffentlichungen in der „Thonindustrie-Zeitung“ 1896, Nr. 32, 51, 53, 56, 57 sind auch wegen sonstiger Beobachtungen sehr lesenswerth.

Es ist noch zu bemerken, dass die Probekörper von Portland-Cement-Mörtel mit Trasszusatz sich sehr glattflächig und scharfkantig erhalten, was den besten Beweis liefert, dass diese Mörtel vollkommen widerstandsfähig sind gegen jede nachtheilige Einwirkung des Seewassers.

Wie oben gesagt, wird nach längerer Erhärtungsdauer die Festigkeit des Cement-Trass-Mörtels höher, als die der Cementmörtel ohne Trasszusatz, aber selbst wenn dies nicht der Fall wäre, sogar eine geringe Verminderung der Festigkeit zur Folge hätte, müsste doch dem Cement-Trass-Mörtel der Vorzug gegeben werden, wegen seiner Widerstandsfähigkeit gegen die chemischen Einwirkungen des Seewassers.

Die meisten meiner Versuche mit Cement-Trass-Mörtel sind mit nur **25** Schlägen des Hammerapparates hergestellt, weil eine grössere Verdichtung der Mörtel bei deren Verwendung in der Praxis fast ausgeschlossen ist und aus den sonstigen Gründen, die ich auf Seite 9 dieser Schrift näher entwickelte.

Zur Vergleichung sind einige Probereihen auch mit **150** Schlägen gemacht und ist dies in den nachstehenden Versuchsreihen besonders bemerkt.

Da von der Voraussetzung ausgegangen werden musste, dass die Portland-Cemente verschiedener Fabriken in Folge ihrer verschiedenen Zusammensetzung, namentlich in Bezug

auf die Schwankungen des Kalkgehaltes, sich bei Trasszusatz nicht übereinstimmend verhalten würden, so machte ich meine Versuche mit 4 verschiedenen langsam bindenden Portland-Cementen aus Fabriken, deren Marken als gut bekannt sind.

Diese Cemente bezeichne ich in nachstehenden Versuchsreihen mit I, II, III, IV.

Die Festigkeit der Normenprobe bei diesen Cementen ergab:

Versuchsreihe 13.

I	24,28	kg	bei	16,56	° C.	mittlerer	Wasserwärme.
II	23,21		„	17,53		„	
III	19,16		„	17,59		„	
IV	18,33		„	18,08		„	

Die nachstehenden Proben wurden mit Süßwasser angemacht und erhärteten in Seewasser mit 3 0/0 Salzgehalt.

Gemischt wurde stets nach Gewichtstheilen.

Versuchsreihe 14.

Cementmarke II.

	600	500	400	300	Gewichtstheile	Cement.
	—	100	200	300	„	Plaidter Trass.
	1500	1500	1500	1500	„	normalkörniger [Rheinsand.
	10 ¹ / ₂	11	11 ¹ / ₂	12 ⁰ / ₁₀	„	Wasser.
7 Tage	16,66	14,67	12,69	9,11	} kg Zug- festigkeit. }	17,98 ° C. } mittlere Wasser- wärme.
28 „	21,99	23,47	20,98	18,71		

Diese Festigkeiten verhalten sich zu einander wie folgende Zahlen:

7 Tage	100	:	88	:	73	:	55
28 „	100	:	107	:	95	:	85

Versuchsreihe 15.

Cementmarke III.

In gleicher Mischung wie vorstehend.

7 Tage	21,25	18,10	15,21	13,29	}	kg Zug- festigkeit	}	16,86 ⁰ C.	}	mittlere Wasser- wärme.
14 „	23,76	21,89	19,09	18,79				17,67		
28 „	24,92	25,07	25,93	23,04				18,05		

oder im Verhältniss wie:

7 Tage	100	:	85	:	72	:	63
14 „	100	:	92	:	80	:	79
28 „	100	:	101	:	104	:	92

Versuchsreihe 16.

Cementmarke IV.

In gleicher Mischung wie vorstehend.

7 Tage	19,99	17,19	15,06	11,69	}	kg Zug- festigkeit.	}	16,65 ⁰ C.	}	mittlere Wasser- wärme.
14 „	22,29	21,53	22,27	20,04				17,40		
28 „	27,96	29,92	28,27	26,99				18,16		

oder im Verhältniss wie:

7 Tage	100	:	86	:	75	:	58
14 „	100	:	97	:	100	:	90
28 „	100	:	107	:	101	:	97

Aus obigen Zahlen ist jedenfalls klar ersichtlich, dass die Cementmörtel mit Trasszusatz zwar eine geringere Anfangserhärtung haben, nach einiger Zeit aber die Cementmörtel ohne Trasszusatz an Festigkeit überholen, und ist dies fortgesetzt in immer steigendem Maasse der Fall, wie durch die von Dr. Michaëlis veröffentlichten Resultate bewiesen wird.

Mit etwas höherem Sandzusatz versuchte ich

Versuchsreihe 17.

Cementmarke I.

	600	500	400	300	Gewichtstheile	Cement.	
	—	100	200	300	„	Plaidter Trass.	
	1800	1800	1800	1800	„	normalkörniger	
						[Rheinsand.	
	<u>9¹/₂</u>	<u>10</u>	<u>10¹/₂</u>	<u>11 ⁰/₁₀</u>	„	Wasser.	
7 Tage	13,16	11,92	10,53	8,06	} kg Zug- festigkeit. }	16,36 ⁰ C.	} mittlere Wasser- wärme.
28 „	16,76	19,05	21,53	18,44			

oder im Verhältniss wie:

7 Tage	100	:	91	:	80	:	61
28 „	100	:	114	:	129	:	110

Versuchsreihe 18.

Cementmarke II.

Gleiche Mischung wie vorstehend.

7 Tage	14,64	12,74	9,82	8,34	} kg Zug- festigkeit. }	17,52 ⁰ C. 17,97	} mittlere Wasser- wärme.
28 „	17,50	22,86	19,53	18,77			

oder im Verhältniss wie:

7 Tage	100	:	87	:	67	:	57
28 „	100	:	131	:	112	:	107

Werden die zu vergleichenden Proben mit **150** Schlägen hergestellt, so ist nicht nur die Erhärtung eine grössere, sondern auch die günstige Einwirkung des Trasszusatzes eine rascher wirkende, wie dies aus nachstehender Versuchsreihe hervorgeht.

Versuchsreihe 19.

Cementmarke II.

600	500	400	300	Gewichtstheile	Cement.
—	100	200	300	„	Plaidter Trass.
1500	1500	1500	1500	„	normalkörniger [Rheinsand.]

7 Tage	16,66	14,67	12,09	9,11	kg bei 25 Schlägen	} 17,98 ⁰ C. 18,06	} mittlere Wasser- wärme.
„	20,08	19,44	15,82	13,30			

oder im Verhältniss wie:

7 Tage	100	:	88	:	73	:	55	bei 25 Schlägen
„	100	:	96	:	78	:	66	„ 150 „

28 Tage	21,99	23,47	20,98	18,71 kg bei 25 Schlägen	} 17,39° C) mittlere Wasser- wärme.
"	24,77	32,70	29,63	26,04 " " 150 "		

oder im Verhältniss wie:

28 Tage	100	: 107	: 95	: 85	bei 25 Schlägen.
"	100	: 132	: 119	: 105	" 150 "

Dieses günstigere Verhältniss für die Cement-Trass-Mörtel bei 150 Schlägen findet seine Ursache wohl darin, dass bei 150 Schlägen Trass und Cement in innigere Verbindung zu einander gebracht werden, als bei nur 25 Schlägen.

Die in vorstehenden Versuchsreihen angeführten Cement- und Cement-Trass-Proben sind sämmtlich mit normalkörnigem Rheinsand hergestellt, und machte ich nun weitere Versuche mit gemischtkörnigem Rheinsand. Dieser Sand wurde zusammengesetzt aus:

- $\frac{1}{2}$ normalkörnig.
- $\frac{1}{4}$ zwischen 120 und 360 Maschen.
- $\frac{1}{4}$ " 360 " 900 "

Bei diesen Proben suchte ich zu ermitteln, wie Trasszusatz auf Cement wirkt, wenn man bei den Mörtelmischungen die Sandmenge steigen lässt.

Die Mörtel wurden mit Seewasser von 3 0/0 Salzgehalt angesetzt und erhärteten 3 Monate lang in Seewasser von gleichem Salzgehalt (1. Tag Luft).

Versuchsreihe 20.

Cementmarke I.

Mischung nach Gewichtstheilen. Mittlere Wasserwärme $17\frac{3}{4}^{\circ}$ C.

Zugfestigkeit in Kg. pro □ Ctm.

Cement:	600	450	400	350	300	Gramm.
Trass:	—	150	200	250	300	„
Sand:	1200	1200	1200	1200	1200	„
	<u>23.35</u>	<u>34.65</u>	<u>34.25</u>	<u>32.15</u>	<u>31.85.</u>	
	23.85	34.95	34.40	32.45	32.15.	
	24.45	35.—	34.65	32.65	32.40.	
	24.80	35.10	34.70	32.70	32.45.	
	<u>25.—</u>	<u>35.15</u>	<u>35.45</u>	<u>32.80</u>	<u>32.70.</u>	
im Mittel:	24.29	34.97	34.69	32.55	32.31.	

Cement:	600	450	400	350	300	Gramm.
Trass:	—	150	200	250	300	„
Sand:	1500	1500	1500	1500	1500	„
	<u>21.40</u>	<u>28.85</u>	<u>27.65</u>	<u>27.40</u>	<u>26.85.</u>	
	22.—	29.40	27.70	27.45	27.20.	
	22.30	29.65	28.00	27.55	27.45.	
	22.40	29.90	28.05	27.65	27.50.	
	<u>22.50</u>	<u>30.—</u>	<u>28.35</u>	<u>28.—</u>	<u>27.60.</u>	
im Mittel:	22.12	29.56	27.95	27.61	27.32.	

Cement:	600	450	400	350	300	Gramm.
Trass:	—	150	200	250	300	„
Sand:	1800	1800	1800	1800	1800	„
	<u>19.05</u>	<u>25.55</u>	<u>25.35</u>	<u>25.40</u>	<u>23.95.</u>	
	20.—	25.90	25.40	25.15	24.10.	
	20.20	26.—	25.40	25.50	24.30.	
	20.40	26.15	25.40	24.95	24.55.	
	<u>20.95</u>	<u>26.85</u>	<u>25.85</u>	<u>25.40</u>	<u>24.60.</u>	
im Mittel:	20.12	26.09	25.48	25.28	24.30.	

Cement:	600	450	400	350	300	Gramm.
Trass:	—	150	200	250	300	„
Sand:	2100	2100	2100	2100	2100	„
	<u>17.60</u>	<u>24.55</u>	<u>22.65</u>	<u>22.05</u>	<u>21.90</u>	
	17.85	24.35	22.90	22.55	22.40	
	18.15	24.65	23.15	22.75	22.55	
	18.40	24.70	23.20	22.80	22.65	
	<u>18.55</u>	<u>25.10</u>	<u>23.45</u>	<u>22.90</u>	<u>22.80</u>	
im Mittel:	18.11	24.61	23.07	22.61	22.46.	

Cement:	600	450	400	350	300	Gramm.
Trass:	—	150	200	250	300	„
Sand:	2400	2400	2400	2400	2400	„
	<u>14.65</u>	<u>21.95</u>	<u>20.45</u>	<u>19.90</u>	<u>19.55.</u>	
	14.70	22.25	21.20	20.40	19.70	
	14.90	22.25	21.30	20.60	20.—	
	14.95	22.40	21.40	20.70	20.25	
	<u>15.—</u>	<u>22.50</u>	<u>21.55</u>	<u>20.80</u>	<u>20.40.</u>	
im Mittel:	14.84	22.27	21.18	20.48	19.98.	

Zusammenstellung

der vorstehenden Festigkeitszahlen im Mittel:

Cement:	600	450	400	350	300	Gramm.
Trass:	—	150	200	250	300	„
Sand:						
1200 Gr.	24.29	34.97	34.69	32.55	32.31.	
1500 „	22.12	29.50	27.95	27.61	27.32.	
1800 „	20.12	26.09	25.48	25.28	24.30.	
2100 „	18.11	24.61	23.07	22.61	22.46.	
2400 „	<u>14.84</u>	<u>22.27</u>	<u>21.18</u>	<u>20.48</u>	<u>19.98.</u>	
Mittel:	19.90	27.50	26.47	25.71	25.27.	
Verhältniss:	100	: 138	: 133	: 129	: 127.	

Ich nehme hier Bezug auf die Verhandlungen des Cementfabrikanten-Vereins vom Februar 1896, bei denen Herr Toepffer bekannt giebt, dass er bei den Mischungen:

1 Cement	5 Sand	157 kg
und 1 „	4 „	1 Trass
		316 kg

Druckfestigkeit nach 180 Tagen Erhärtung in Seewasser erhalten habe.

Hierauf wurde gefragt, wie die Zahl ausgefallen sein würde, wenn anstatt 1 Theil Trass $\frac{1}{2}$ Theil Cement genommen worden wäre. Diese Frage blieb unbeantwortet, weil kein dahin gehender Versuch gemacht worden war.

Aus vorstehender Versuchsreihe 20 geht nun mit voller Klarheit hervor, dass die Vermehrung des Cementzusatzes entfernt nicht die gleiche Verbesserung des Mörtels veranlasst haben würde, als der Zusatz von Trass.

Werden beispielsweise aus vorstehender Versuchsreihe 20 verglichen:

a.	b.
600 Cement	300 Cement
0 Trass	300 Trass
1200 Sand	1200 Sand
<hr/>	<hr/>
24 kg	32,31 kg Zugfestigkeit

bei Herstellung mit 25 Schlägen, so hat die Mischung a. trotz doppelter Cementmenge doch geringere Festigkeit als b., und dies wiederholt sich in Versuchsreihe 20 auch bei sämtlichen Vergleichen mit höheren Sandzusätzen.

Die vorstehende Versuchsreihe 20 zeigt ausnahmslos höhere Festigkeiten bei allen Cementmörteln, denen Trass zugesetzt war, und bei vielen dieser Cement-Trass-Mischungen sind die Festigkeitssteigerungen sogar recht erhebliche.

Bei Seebauten an den Küsten der Nord- und Ostsee wohin Trass auf dem Wasserwege billig verfrachtet werden kann, namentlich wenn die Verschiffung in grossen Parthien geschieht, ist die Verwendung von Trass-Kalk-Mörtel für die meisten Fälle wohl das Zweckmässigste, soll aber aus besonderen Gründen Cementmörtel Anwendung finden, so ist ein Zusatz von Trass jedenfalls zu empfehlen, sowohl wegen der dadurch geschaffenen Verbesserung des Mörtels, als auch aus Gründen der Geldersparniss.

Zum Vergleiche führe ich nachstehend einige auf vorstehende Versuchsreihe 20 Bezug habende Mörtelberechnungen auf und bemerke, dass hierbei die Mörtel-Ergiebigkeit in gleicher Weise festgestellt wurde wie auf Seite 13 dieser Schrift angegeben.

Bemerken will ich noch, dass Trass specifisch leichter ist als Cement. Ersetzt man eine Gewichtsmenge Cement durch eine gleich grosse Gewichtsmenge Trass, so nimmt der Trass in Folge seines geringeren specifischen Gewichts im Mörtel mehr Raum ein, und wird dadurch eine grössere Mörtelergiebigkeit erreicht.

Ohne Trass:	1 cbm =	Preis pro cbm	
a. 600 kg Cement	— 1500 kg	M. 45.—	= M. 18.—
1200 „ Sand	1500 „	3.—	2.40
216 „ Wasser	= 12 %		
2016 kg Mischung kosten		M. 20.40	
und ergeben 0,832 cbm Mörtel.			
Es kostet also 1 cbm Mörtel		M. 23.13	
Festigkeit: 24,29 kg.			

Ohne Trass:

	1 cbm =	Preis pro cbm	
b. 600 kg Cement	— 1500 kg	<i>M.</i> 45.—	= <i>M.</i> 18.—
1500 „ Sand	1500 „	3.—	3.—
231 „ Wasser	= 11 ⁰ / ₁₀		
<hr/>			
2331 kg Mischung	kosten		<i>M.</i> 21.—

und ergeben 1,033 cbm Mörtel.

Es kostet also 1 cbm Mörtel *M.* 20.30

Festigkeit: 22,12 kg.

	1 cbm =	Preis pro cbm	
c. 300 kg Cement	— 1500 kg	<i>M.</i> 45.—	= <i>M.</i> 9.—
300 „ Plaidter Trass	1000 „	20.—	6.—
1500 „ Sand	1500 „	3.—	3.—
260 „ Wasser	= 12 ³ / ₈ ⁰ / ₁₀		
<hr/>			
2360 kg Mischung	kosten		<i>M.</i> 18.—

und ergeben 1,065 cbm Mörtel.

Es kostet also 1 cbm Mörtel *M.* 16.90

Festigkeit: 27,32 kg.

	1 cbm =	Preis pro cbm	
d. 300 kg Cement	— 1500 kg	<i>M.</i> 45.—	= <i>M.</i> 9.—
300 „ Plaidter Trass	1000 „	20.—	6.—
1800 „ Sand	1500 „	3.—	3.60
282 „ Wasser	= 11 ³ / ₄ ⁰ / ₁₀		
<hr/>			
2682 kg Mischung	kosten		<i>M.</i> 18.60

und ergeben 1,22 cbm Mörtel.

Es kostet also 1 cbm Mörtel *M.* 15.25

Festigkeit: 24,30 kg.

		1 cbm =	Preis pro cbm	
e.	300 kg Cement	— 1500 kg	<i>M.</i> 45.—	= <i>M.</i> 9.—
	300 „ Plaidter Trass	1000 „	20.—	6.—
	2100 „ Sand	1500 „	3.—	4.20
	300 „ Wasser	= 11 $\frac{1}{8}$ $\frac{0}{0}$		
<hr/>				
3000 kg Mischung kosten				<i>M.</i> 19.20

und ergeben 1,37 cbm Mörtel.

Es kostet also 1 cbm Mörtel *M.* **14.01**

Festigkeit: **22,46** kg.

Es verhalten sich also nach den vorstehenden Berechnungen die Mörtelpreise zu den Festigkeiten sehr zu Gunsten der Mörtel mit Trasszusatz.

Ohne Trass:	Mörtelpreis pro cbm:	Festigkeit:
a.	<i>M.</i> 23.13	24,29 kg
b.	20.30	22,12
Mit Trass:		
c.	16.90	27,32
d.	15.25	24,30
e.	14.01	22,46

Weiter versuchte ich nun auch noch das Verhalten von **Cement-Trass-Mörtel** in Seewasser bei Verwendung von **Dünensand**, weil dieser Sand bei Bauten an der See meist der billigste sein wird.

Ich verwendete 2 Vorkommen von Dünensand mit verschiedener Körnung, wovon:

bei a. 0 % das 5000-Maschensieb passirten
 73 $\frac{1}{2}$ % „ 900 „ „ „
 26 $\frac{1}{2}$ % Rückstand auf dem 900-Maschensieb blieben.

bei b. 11 % das 5000-Maschensieb passirten
 88,6 % zwischen 5000- und 900-Maschensieb
 0,4 % Rückstand auf dem 900-Maschensieb blieben.

Diese Proben mit Dünen sand sind unter Zusatz von Süßwasser mit 25 Schlägen hergestellt und unter Seewasser von 3 % Salzgehalt erhärtet.

Versuchsreihe 21.

Dünensand a.

Cementmarke III.

	600	500	400	300	Gewichtstheile	Cement.
	—	100	200	300	„	Plaidter Trass.
	1600	1600	1600	1600	„	Sand.
7 Tage	11,13	10,47	7,42	6,45	} kg Zug- festigkeit. }	19,02° C. } mittlere Wasser- wärme.
28 „	16,24	17,10	16,78	16,01		

oder im Verhältniss wie:

7 Tage	100	:	91	:	67	:	58
28 „	100	:	105	:	103	:	99

Versuchsreihe 22.

Dünensand a.

Cementmarke IV.

Gleiche Mischung wie vorstehend.

7 Tage	12,42	11,14	8,33	7,21	} kg Zug- festigkeit. }	18,61° C. } mittlere Wasser- wärme.
28 „	16,14	17,70	15,07	13,70		

oder im Verhältniss wie:

7 Tage	100	:	90	:	67	:	58
28 „	100	:	110	:	93	:	85

Der Dünensand b. (feinkörniger) ergab durchweg geringere Festigkeiten als der zu den Proben vorstehender Versuchsreihen verwendete gröbere Dünensand a.

Zu den Vergleichen der beiden Sorten Dünensand a. und b. wurden die gleichen Mischungsverhältnisse genommen wie vorstehend und alle Proben mit 25 Schlägen hergestellt, mit Süßwasser angemacht und zur Erhärtung in Seewasser gelegt.

Versuchsreihe 23.

Cementmarke III.

	600	500	400	300	Gewichtstheile	Cement.	
	—	100	200	300	„	Plaidter Trass.	
	1600	1600	1600	1600	„	Sand.	
7 Tage	11,13	10,13	7,42	6,45	kg Dünensand a.	19,02 ° C.	} mittlere Wasser- wärme.
„	9,35	8,32	6,42	4,92	„ b.	18,48	
28 Tage	16,24	17,10	16,78	16,04	„ a.	18,68 ° C.	} mittlere Wasser- wärme.
„	12,37	11,88	12,35	11,46	„ b.	18,25	

Versuchsreihe 24.

Cementmarke IV.

7 Tage	12,42	11,14	8,33	7,21	kg Dünensand a.	18,61 ° C.	} mittlere Wasser- wärme.
„	8,72	7,16	5,50	4,93	„ b.	17,24	
28 „	16,04	17,70	15,07	13,70	„ a.	18,68 ° C.	} mittlere Wasser- wärme.
„	12,62	12,05	13,43	12,56	„ b.	17,22	

Bei Cementmörtel hat die Körnung des Sandes einen grossen Einfluss auf die Erhärtungsfähigkeit, so zeigte beispielsweise Mörtel in der Mischung

1 Cement

3 Sand

bei Verwendung der gleichen Cementmarke nach 1 Jahr unter Seewasser (25 Schläge) folgende Festigkeiten:

Versuchsreihe 25.

25,91 kg gemischtkörniger Rheinsand.

23,46 „ normalkörniger „

21,10 „ ungesiebter „

19,45 „ feinkörniger „

16,36 „ Dünensand.

Es geht hieraus hervor, dass der in bestimmtem Mengen-Verhältniss zusammengemischte Sand, namentlich für die porösen Cement-Sand-Mörtel, die besten Resultate giebt, aber dieser Sand durchaus nicht dem gemischtkörnigen (ungesiebten) Sand entspricht, wie er in der Natur vorkommt und in der Praxis angewendet wird.

Mit den vorstehend näher bezeichneten 2 Sorten Dünen-sand a. und b. machte ich noch vergleichende Versuche mit Proben, die 6 Stunden nach Anfertigung in Seewasser gelegt wurden, und solche, die in der üblichen Weise erst 24 Stunden an der Luft erhärteten, bevor sie unter Wasser kamen.

Die Mischungen und sonstige Behandlungsweise sind den vorstehenden Versuchsreihen gleich, und betrug die Erhärtungsdauer 28 Tage.

Versuchsreihe 26.

Nach 6 Stunden unter Seewasser gelegt.

Cement-Märke:	600	500	400	300	Gewichtstheile	Cement.
—	100	200	300	„	Plaidter	Trass.
1600	1600	1600	1600	„	Sand.	
III	16,17	16,41	16,77	14,74	kg Dünen sand a.	18,67° C.
IV	17,24	17,70	15,43	15,87	„ a.	18,36 „
III	12,01	12,19	12,99	12,78	„ b.	17,86 „
IV	12,07	11	12,21	12,64	„ b.	16,75 „
im Mittel:	14,37	14,32	14,37	14,01	kg Zugfestigkeit.	

mittlere
Wasser-
wärme.

Versuchsreihe 27.

Nach 24 Stunden unter Seewasser gelegt.

III	16,24	17,10	16,78	16,04	kg Dünen sand a.	18,08° C.
IV	16,04	17,70	15,07	13,70	„ a.	18,68
III	12,37	11,88	12,33	11,46	„ b.	18,25
IV	12,62	12,05	13,43	12,56	„ b.	17,22
im Mittel:	14,32	14,68	14,40	13,44	kg Zugfestigkeit.	

mittlere
Wasser-
wärme.

Es besteht sonach kein nennenswerther Unterschied zwischen den Proben, die schon nach 6 Stunden, und solchen, die erst nach 24 Stunden unter Seewasser gelegt wurden, vorausgesetzt, dass die Wasserwärme nicht zu niedrig ist.

Zum Schlusse füge ich noch einige Mörtelmischungen bei, bei deren Zusammensetzung als Voraussetzung angenommen wurde, dass der dem Cement zugesetzte Trass nur zur Hälfte als Vermehrung des Bindemittels und zur anderen Hälfte als Sand wirke. (Nach Dr. Michaëlis.)

Es würde darnach z. B. eine Mischung von

$\frac{1}{2}$	Gewichtstheil	Cement
$\frac{1}{2}$	„	Trass
$\frac{1}{2}$	„	Sand

entsprechend sein einer Mischung von

$\frac{1}{2}$	Cement	+	$\frac{1}{4}$	Trass	=	$\frac{3}{4}$	Bindemittel
$\frac{1}{2}$	Sand	+	$\frac{1}{4}$	„	=	$\frac{3}{4}$	Sand
							oder 1 Bindemittel
							und 1 Sand

und ist dementsprechend dieser Mischung die Mischung

* 1	Cement
1	Sand
ohne Trasszusatz	

gegenüber gestellt.

Die unter den Festigkeitszahlen angeführten Mörtel-
preise sind in derselben Weise ermittelt wie auf Seite 13
dieser Schrift beschrieben.

Versuchsreihe 28.

Cementmarke I.

Zugfestigkeit nach 1+27 Tagen.

Seewasser auf 5 0/0 Salzgehalt erhöht.

25 Schläge	25 Schläge	150 Schläge	16,91 ⁰ C.
1	$\frac{1}{2}$		Gewichtsth. Cement.
0	$\frac{1}{2}$		„ Plaidter Trass.
1	$\frac{1}{2}$		„ gemischtkörn. [Rheinsand.]
32,71	39,07	kg Festigkeit.	
<i>M.</i> 32.11	30.49	Preis für 1 cbm Mörtel.	

25 Schläge	25 Schläge	150 Schläge	17,72 ⁰ C.
1	1/2		Gewichtsth. Cement.
0	1/2		„ Plaidter Trass.
2	1 1/4		„ gemischtkörn. [Rheinsand.]
<hr/>	<hr/>		
26,80	32,33	kg Festigkeit.	
<i>M.</i> 23 13	22.70	Preis für 1 cbm Mörtel.	

25 Schläge	25 Schläge	150 Schläge	17,78 ⁰ C.
1	1/2	1/2	Gewichtsth. Cement.
0	1/2	1/2	„ Plaidter Trass.
3	2	2	„ gemischtkörn. [Rheinsand.]
<hr/>	<hr/>	<hr/>	
19,61	27,54	31,32	kg Festigkeit.
<i>M.</i> 17.72	18.49	Preis für 1 cbm Mörtel.	

25 Schläge	25 Schläge	150 Schläge	16,97 ⁰ C.
1	1/2	1/2	Gewichtsth. Cement.
0	1/2	1/2	„ Plaidter Trass.
4	2 3/4	2 3/4	„ gemischtkörn. [Rheinsand.]
<hr/>	<hr/>	<hr/>	
16,64	22,44	27,36	kg Festigkeit.
<i>M.</i> 15.32	15.38	Preis für 1 cbm Mörtel.	

Cement-Trass-Mörtel in Süßwasser.

Einige wenige Versuche machte ich noch, um zu ermitteln, ob Trasszusatz auch den Cementmörtel in Süßwasser günstig beeinflusse.

Als Druckfestigkeit an Würfeln von 50 □ cm Seite, mit 25 Schlägen hergestellt, ergab sich nach 3 monatlicher Erhärtung in Süßwasser (1. Tag Luft):

Versuchsreihe 29.

Cementmarke I.

600	500	400	300	Gewichtstheile	Cement.
—	100	200	300	„	Plaidter Trass.
1800	1800	1800	1800	„	normalkörniger [Rheinsand.]
—	—	—	—		
104,67	130,33	137	103,33	kg	17,27° C. mittlere Wasser- wärme.

oder in Verhältnisszahlen:

100 : 125 : 131 : 99

und für Zugproben, ebenfalls mit 25 Schlägen hergestellt, nach 3 Monaten:

Versuchsreihe 30.

Cementmarke I.

600	500	400	300	Gewichtstheile	Cement.
—	100	200	300	„	Plaidter Trass.
1200	1200	1200	1200	„	normalkörniger [Rheinsand.]
—	—	—	—		
27,59	29,88	29,71	25,21	kg	16,66 ° C. mittlere Wasser- wärme.

oder in Verhältnisszahlen :

$$100 : 108 : 108 : 91$$

600	500	400	300	Gewichtstheile	Cement.
—	100	200	300	„	Plaidter Trass.
2400	2400	2400	2400	„	normalkörniger [Rheinsand.]
—	—	—	—		
15,62	16,83	18,74	14,12	kg	17,65 ° C. mittlere Wasser- wärme.

oder in Verhältnisszahlen :

$$100 : 108 : 120 : 93$$

Bei Vergleichung der Süßwasser- mit den Seewasser-
Proben fand sich nach 3-monatlicher Erhärtung folgendes
Ergebniss bei 25 Schlägen:

Versuchsreihe 31.

Cementmarke I.

Seewasser.		Süsswasser.		
600	300	300	300	Gewichtstheile Cement.
—	300	300	300	„ Plaidter Trass.
1800	1800	1800	1800	„ gemischtkörniger [Rheinsand.]
<u>20,12</u>	<u>24,30</u>	<u>25,40</u>	kg	
13,40	13,66	16,08	° C.	mittlere Wasserwärme.

Von Dr. Stutzer in Bonn wird in der „Zeitschrift für angewandte Chemie“ (vergl. auch „Thonindustrie-Zeitung“ 1896 Nr. 25) mitgetheilt, dass er aus dem Wasserbehälter einer städtischen Wasserleitung am Rhein Cement entnommen habe, der durch die Einwirkung des Wassers sich in einen bräunlichen weichen Schlamm umgewandelt hatte.

Es geht hieraus hervor, dass je nach der Beschaffenheit des Quellwassers auch dieses im Laufe längerer Zeit zersetzend auf Cement einwirken kann, und wird es sich aus diesem Grunde empfehlen, auch bei Verwendung des Cementes in Süsswasser (Quellwasser) dem Mörtel Trass beizumischen.



S. 61

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

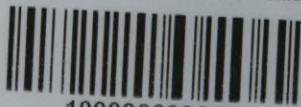
Biblioteka Politechniki Krakowskiej



L. II-351708

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299612