



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Universitätsbibliothek Paderborn**

### **Erfahrungsergebnisse über Luftverbrauch und über Reibungswiderstände**

**Schmoll von Eisenwerth, Adolph**

**Wien, 1877**

[urn:nbn:de:hbz:466:1-52252](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-52252)

MITTHEILUNGEN  
ÜBER  
PNEUMATISCHE FUNDIRUNGEN.

---

ERFAHRUNGSRÉSULTATE

ÜBER  
LUFTVERBRAUCH UND ÜBER REIBUNGSWIDERSTÄNDE.

VON  
ADOLPH SCHMOLL v. EISENWERTH  
INGENIEUR UND BAUENTREHMER IN WIEN.

---

(ÜBERSETZUNGSRECHT VORBEHALTEN.)

WIEN 1877.  
IM SELBSTVERLAGE DES VERFASSERS.  
DRUCK VON R. SPIES & CO. IN WIEN.





## Erfahrungs-Resultate

über

### Luftverbrauch und Luftverluste bei pneumatischen Fundirungen.

#### Einleitung.

Aus meiner Praxis, welche in Betreff pneumatischer Fundirungen bis zu Anfang des Jahres 1859, das ist bis zum Bau der Rheinbrücke zwischen Strassburg und Kehl zurückreicht, und welche ich mir bei einer grossen Anzahl, theils in Frankreich, theils in Oesterreich ausgeführten grösseren Brückenbauten und einem Quaibaue in Algerien erworben habe, war mir wohl bekannt, dass zur Versenkung eines gusseisernen Rohrpfieles, oder eines gut genieteten, verstemten und mit innerem Strebmauerwerk versehenen Caisson bis zu circa  $75\text{ m}^2$  Bodenfläche, ein Gebläse von circa  $350\text{ m}^3$  mittlerer Leistungsfähigkeit an atmosphärischer Luft per Betriebsstunde in der Regel ausreicht, und dass man für Caissons von circa  $75$  bis  $100\text{ m}^2$  Bodenfläche entweder zwei solcher Gebläse, deren Leistungsfähigkeit dann allerdings nicht ganz ausgenützt wird, oder aber ein etwas kräftigeres in Betrieb zu setzen hat; kurz, die erforderliche Anzahl Gebläse wurde gewöhnlich nach dem praktischen Gefühle festgesetzt. Bestimmte, auf Erfahrungs-Resultaten basirte Normen existiren meines Wissens hierüber noch nicht.

Als nun vor Inangriffnahme des Steinbaues der Kronprinz Rudolph-Brücke über die Donau in Wien, dessen Ausführung der Bauunternehmung Gebr. Klein, A. Schmöll und E. Gaertner von Seiten der Regierung gegen Ende 1871 übertragen worden war, die Frage an dieselbe herantrat, wie viel von den vorhandenen Gebläsen man zur pneumatischen Versenkung der beiden grossen Portalpfeiler-Caissons von je  $223\cdot6\text{ m}^2$  Bodenfläche benöthige, sah ich mich Anfang Januar 1872 veranlasst, der Sache näher zu treten und fand, durch Berechnung mit Zuhilfnahme einiger spärlicher Daten, welche ich bereits vor Jahren gesammelt hatte, dass drei Gebläse für die alternative Versenkung obgenannter Caissons genügen würden, was sich bei der Durchführung der Arbeit auch bestätigt hat.

Da aber meine diesbezügliche Berechnung auf sehr unsicheren Füssen stand, so war ich damit für die Zukunft durchaus nicht befriedigt und veranlasste die Vornahme von Beobachtungen betreffend den Luftbedarf bei derartigen Fundirungen.

Obgleich von Beginn des Jahres 1872 bis Ende 1876 durch obgenannte Firma circa 74 Brückenpfeiler, worunter 34 pneumatische Fundirungen, ausgeführt worden sind, so war es mir im Drang der Geschäfte und aus anderen Ursachen doch nur möglich, eine relativ geringe Anzahl der in Rede stehenden Versuche zu erzielen, und zu meinem Bedauern erstrecken sich dieselben nur auf Tiefen bis zu  $10\cdot25\text{ m}$  unter dem Wasserspiegel, obgleich innerhalb dieser Versuchsperiode auch Caisson-Versenkungen auf beträchtlichere Tiefen bewerkstelligt worden sind. Diejenigen Herren Fachgenossen, welche selbst Bauunternehmer sind, oder welche ihre Thätigkeit solchen Unternehmungen widmen, werden es in Berücksichtigung der vielerlei Schwierigkeiten, mit denen man bei der Durchführung derartiger Bauwerke, abgesehen von dem Kampf mit den Elementen, tagtäglich zu thun hat, am besten zu würdigen wissen, welche Mühe und Opfer es erfordert, sich auch noch nebenbei mit Experimenten zu befassen, welche man nicht immer persönlich zu machen in der Lage ist, und welche eine mehrjährige Ausdauer erheischen.

Ich erlaube mir nun hiermit die Ergebnisse der bisher in meinem Bereiche zu Stande gebrachten Beobachtungen den geehrten Lesern zur Kenntniss zu bringen

#### Luftbedarf der in den Caissons beschäftigten Arbeiter.

Noch bis zur jüngsten Zeit gab es Ingenieure, welche das zu einer pneumatischen Fundirung erforderliche Luftquantum nach der Anzahl der in comprimierter Luft beschäftigten Arbeiter und nach der zur Beleuchtung nöthigen Anzahl Kerzen berechneten, einen Zuschlag von circa 100% für die Verschleussungen und accidentellen Luftverluste machten, und darnach die Leistungsfähigkeit, oder wenn diese gegeben, die Anzahl der Gebläse präliminirten, ohne die Grösse der zu versenkenden Caissons weiter in Rechnung zu ziehen.

Man rechnete pro Arbeiter und pro Stunde circa  $6\cdot18\text{ m}^3$ , und pro Kerze (12 Stück pro  $kg$ ) circa  $0\cdot32\text{ m}^3$  atmosphärische Luft, welche durch die Athmung, beziehungsweise durch den Verbrennungsprocess und durch die Transpiration verbraucht, und durch reine Luft ersetzt werden sollte.



Abgesehen davon, dass es nicht Jedermanns Sache ist, die Anzahl Arbeiter, welche zur Versenkung erforderlich ist, im Vorhinein zu bestimmen, so wäre ein Calcul, welcher sich in Betreff des fraglichen Luftquantums auf die Anzahl der im Caisson zu beschäftigenden Arbeiter basirte, nicht maassgebend, weil über das Volumen des Luftverbrauches durch die Arbeiter die Ansichten noch sehr auseinander gehen. Während die Einen behaupten, dass das Athmen erleichtert, und das mittlere Athemvolumen und der Luftverbrauch in comprimierter Luft (bis zu  $2\frac{1}{2}$  Atm.) in Folge der fortwährend zunehmenden Athemgrösse oder Ausdehnungsfähigkeit der Lunge (obgleich die Athemzüge langsamer werden und die Pulsfrequenz sowie der Blutdruck abnehmen) gesteigert werden, behaupten die Anderen, sich auf die übereinstimmenden Versuche von Regnault und Reiset einerseits, sowie Pettenkoffer's und Voigt's andererseits stützend, dass bei zwei Atmosphären Druck der Verbrauch an Luft durch die Athmung durchschnittlich um circa  $\frac{1}{3}$ , und durch die Transpiration um circa  $\frac{1}{2}$  geringer ist (weil die Thätigkeit der Haut relativ noch mehr herabgesetzt ist als diejenige der Lunge) als in freier Luft bei 760 mm Quecksilber und 15 Centigrad Celsius.

Dieser Widerspruch entzieht sich der Beurtheilung des Ingenieurs. In vorliegendem Falle ist es aus folgenden Gründen nicht nöthig, näher auf den Luftverbrauch durch Athmung, Transpiration und Verbrennung einzugehen.

Selbst unter der Voraussetzung, dass ein Caisson-Arbeiter pro Stunde ebenso viel Luft verbräuche als ein Arbeiter in freier Luft, würde das dem ersteren stündlich zuzuführende Volumen an reiner atmosphärischer Luft (je nach der Grösse des Caisson und der Anzahl der darin befindlichen Arbeiter) nur circa 17 bis 40% von dem innerhalb einer Stunde durch die Gebläse, in Folge der Luftverluste nothwendigerweise in den Caisson eingepumpten und auf die Arbeiter-Anzahl vertheilten Luftquantum betragen; 60% bis 83% des eingepumpten Luftquantums würden daher unverbraucht ausströmen.

Vorausgesetzt, die Caisson-Wandungen seien so vollkommen luftdicht, dass, wenn das Wasser einmal verdrängt wäre, die Gebläse ausser Thätigkeit gesetzt werden könnten, so würde die im Caisson eingeschlossene comprimerte Luft innerhalb einer gewissen Zeit, durch die Anwesenheit der Arbeiter und das Vorhandensein der zur Beleuchtung dienenden Kerzen oder Lampen, wohl in ihren Bestandtheilen alterirt und zum Athmen unbrauchbar werden, allein der Druck im Caisson selbst würde dadurch nicht abnehmen, und folglich könnte das Grundwasser auch nicht in denselben eindringen. Dem ist aber in der Praxis nicht so. Selbst die bestconstruirten Caissons haben keine luftdichten Wandungen, und in Folge der Luftverluste durch letztere und der Luftausströmungen, welche während der inneren Ausgrabungen unter der Caisson-Schneide stattfinden, müssen die Compressionspumpen während der ganzen Dauer der Versenkungs-Arbeiten, behufs Fernhaltung des Grundwassers, in Gang gehalten werden, wodurch im Caisson eine continuirliche Ventilation erzeugt wird. Es sind daher die im Caisson beschäftigten Arbeiter gegen die Erstickungsgefahr aus Mangel an reiner Luft vollkommen gesichert.

Aus obigen Gründen wird im Verlaufe dieser Besprechung keine weitere Notiz von dem Luftverbrauche der im Caisson befindlichen Arbeiter genommen, sondern nur der Luftbedarf für den Schleussen- und Versenkungsbetrieb, sowie für Ersatz der Luftverluste durch Entweichung in Betracht gezogen.

Im Anschluss an das bezüglich der Sicherheit der Arbeiter Gesagte verdient hier noch erwähnt zu werden, dass sogar unter Fachleuten noch hier und da die irrige Ansicht herrscht (ich hatte mehrfach Gelegenheit, dieselbe aus Zeitungsartikeln und Brochüren, welche über pneumatische Fundirungen sprachen, zu entnehmen), dass bei der Ausführung von pneumatischen Versenkungen auf dem Führer der Gebläs-Maschine eine grosse Verantwortung laste, und dass das Leben der unter Wasser, beziehungsweise im Caisson beschäftigten Arbeiter sozusagen von demselben abhängt, wie etwa dasjenige der Eisenbahnpassagiere vom Locomotiv-Führer. Allerdings trägt der Führer des Gebläses eine gewisse Verantwortung, allein dieselbe übersteigt nicht diejenige, welche z. B. auf jedem Maschinenwärter einer Fabrik lastet. Bei dem Gebläse-Betrieb hat der Führer hauptsächlich auf einen regelmässigen Gang der Maschine zu sehen und die Geschwindigkeit der letzteren mit der zunehmenden Versenkungstiefe zu steigern. Hiezu dient ihm der auf dem Gebläse-Cylinder angebrachte Manometer, welchen er zu beobachten hat, als Richtschnur.

Zeigt z. B., nachdem das Wasser aus dem Caisson verdrängt ist, der Manometer 0.40 Atmosphären an, so hat der Maschinist das Gebläse so zu führen, dass dieser Ueberdruck nicht abnimmt, sondern eher steigt; auf diese Weise steigert sich nach und nach die Geschwindigkeit der Maschine und bleibt der Versenkungstiefe angepasst. So machte eine Gebläse, \*) welches bei 45 Schwungrad-Umdrehungen oder 90 Kolben-Doppelhüben eine mittlere Leistungsfähigkeit, von circa  $378 m^3$  atmosphärische Luft pro Stunde besitzt, bei den in Tabelle II beobachteten Versenkungen zu Anfang 26, dagegen zu Ende 61 Doppelhübe, und förderte je nach Bedarf, beziehungsweise je nach der Versenkungstiefe, 218 bis  $512 m^3$  Luft in den betreffenden Caisson.

Es hängt nicht vom Maschinisten ab, den Luftdruck nach seinem Belieben zu steigern, weil während der Versenkung die Wassersäule den Regulator bildet und das Uebermaass an Luft unter der Caisson-Schneide ausströmen lässt, wogegen während der Betonirung dasselbe durch das auf der Luftschnelle angebrachte und vorher nach der Wassersäule regulirte Sicherheits-Ventil abbläst.

Geht die Maschine zu langsam, so steigt das Wasser nach und nach im Caisson, die Arbeiter in letzterem geben durch Klopfen oder durch andere Signale zu erkennen, dass der Gang der Maschine zu beschleunigen ist. Bleibt das Gebläse durch irgend welchen Umstand plötzlich stehen, oder platzt ein Luftleitungsrohr, so schliesst sich in demselben Moment die im Inneren der Luftschnelle vor der Einmündung der Luftleitung angebrachte Sicherheitsklappe, wodurch das plötzliche Ausströmen der comprimierten Luft

\*) Dieses Gebläse (von F. A. Klusmann, Magdeburg) hat 0.471 m Cylinderdurchmesser, 0.471 m Kolbenhub, und bei 45 Touren eine Kolbengeschwindigkeit von 0.7065 m per 1 Secunde.



verhindert und den Caisson-Arbeitern genügend Zeit gelassen wird, sich aus dem Bereiche des langsam eindringenden Grundwassers in die beständig über dem äusseren Wasserspiegel sich befindliche Luftschleuse zurückziehen zu können.\*) Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Caisson-Arbeiter auch in dieser Richtung keiner ernstlichen Gefahr ausgesetzt sind.

#### Ueber die Luftverluste.

Man kann schon im Vorhinein behaupten, dass die Luftverluste in Folge der undichten Fugen an den Luftleitungsröhren, Luftschleusen und Förderschächten, im Vergleich zu denjenigen in Folge der undichten Wandungen des Caisson sehr gering sind, weil die genannten Apparate vor der ersten Verwendung einer Erprobung, ähnlich denjenigen, welche an neuen oder umgestalteten Dampfkesseln vorgenommen werden, unterzogen worden sind, und weil bei der jedesmaligen Montirung die Flächen der Stossfugen sorgfältig mittelst Kautschukringen verdichtet werden.

Zeigt sich während der Versenkung an den Apparaten eine undichte Stelle, so ist es in den meisten Fällen leicht möglich, dem Uebel abzuweichen, ohne eine Betriebsunterbrechung eintreten lassen zu müssen.\*\*)

Anders verhält es sich dagegen mit den Luftverlusten in Folge der undichten Wandungen eines Caisson. Letzterer kann, aus leicht begreiflichen Gründen, einer vorherigen Druckprobe nicht wohl unterzogen werden und würde, in Anbetracht seiner Form, eine solche, ohne sich zu deformieren, auch kaum aushalten.

Ist der Caisson einmal unter dem Wasserspiegel und sind seine Streben ausgemauert, so ist es gewiss kein Leichtes, den erst dann eventuell sich zeigenden Mängeln in Bezug auf Undichtheit abzuweichen.

Da vor der Submersion die Decke des Caisson in der Regel mit einer circa 50 mm dicken Cementmörtelschichte überzogen, und mit einer der Decken-Trägerhöhe entsprechend dicken Beton-Schichte versehen wird, worauf nach deren Erhärtung sofort, behufs Belastung des Caisson, gemauert wird, so ist die in Rede stehende Decke an und für sich als relativ luftdicht zu betrachten und wird daher in die Aufsuchung der fraglichen Luftverluste nicht einbezogen. Nur da, wo der Rand der Decke die aufrechte Caisson-Wand berührt und mittelst eines horizontalen Winkel-eisens mit letztgenannter verbunden ist (Siehe *a* und *a* Fig. 1), finden oft sehr bedeutende, schwer zu vermeidende Luftausströmungen statt.

\*) Bei dem in Amerika häufig in Anwendung gebrachten pneumatischen Gründungssysteme mittelst Luftschleusen, welche direct unter der Caisson-Decke, also unter dem Niveau des äusseren Wasserspiegels sich befinden, scheint das in comprimierter Luft anwesende Arbeiter-Personal nicht derart gegen eine eventuelle Ueberschwemmungsgefahr in Folge plötzlicher Hemmung der Gebläse, Bruch der Luftleitung etc. gesichert zu sein, wie bei dem hier üblichen System.

\*\*) Nebenbei sei noch bemerkt, dass erfahrungsmässig ein einfaches und billiges Mittel, die undichten Luftschleusen und Förderschächte luftdicht zu machen, darin besteht, die Fugen auf der inneren, der comprimierten Luft ausgesetzten Seite, mit in Wasser verdünntem Lehm, welcher mittelst eines Maurerpinsels aufgetragen werden kann, zu bestreichen; der Lehm wird durch die comprimierte Luft in die Fugen hineingepresst und verstopft dieselben in kurzer Zeit vollkommen.

Die Undichtheit der aufrechten Wandungen des Caisson, trotzdem dieselben auf der inneren Seite mit dem bereits erwähnten Strebemauerwerk, welches gewöhnlich am Fusse 0.10 m und oben 0.75 m bis 1.00 m Dicke hat, verkleidet sind, zeigt sich deutlich daraus, dass das, während der Verdrängung des Wassers, welche einer jeden Versenkungsperiode unmittelbar vorangeht, in den Caisson eingepumpte Volumen an atmosphärischer Luft dasjenige, welches zur Ausfüllung der Hohlräume mit Berücksichtigung des durch den Manometer angezeigten Druckes erforderlich wäre, je nach der mehr oder minder guten Vernietung des Caisson, um circa 20 bis 330% übersteigt, obgleich während dieser Operation und insolange die Wasser-Verdrängung nicht vollständig stattgehabt hat, der Caisson an seiner Basis durch das sich in demselben noch auf einer gewissen Höhe befindliche Wasser einen hermetischen Abschluss hat, folglich die Luft nur durch die undichten Wandungen entweichen kann.

Wenn ein in der Versenkung begriffener Caisson sich mit seiner Basis in einer Tegelschichte befindet, welche die Luftausströmungen unter der Schneide hemmt, oder wenn nach beendigter Versenkung der Caisson-Raum mit Beton ausgefüllt wird und die Grundfläche derart mit einer Schichte dieses Materials belegt ist, dass der Caisson unten gegen die Luftausströmungen abgeschlossen erscheint, so muss das Gebläse dennoch bis zur gänzlichen Beendigung der Betonirung in Gang gehalten werden, widrigenfalls der innere Luftdruck abnimmt und das Grundwasser eindringt, was darauf hinweist, dass in diesen Fällen ein grosser Theil der comprimierten Luft seinen Ausweg durch die undichten Wandungen des Caisson findet.

Nach der Wasserverdrängung und während der normalen Versenkungs-Arbeit wird durch die comprimerte Luft, behufs Bewerkstelligung der inneren Erdabgrabung, der Wasserspiegel im Caisson bis zur Unterkante der Schneide des letzteren und meistens, je nach der Beschaffenheit des Untergrundes, noch um 0.10 m bis 0.20 m und darunter gesenkt. Es fehlt somit dem Caisson in diesem Falle an einem unteren hermetischen Abschlusse, und in Folge dieses nicht zu vermeidenden Umstandes entweicht ein beträchtlicher Theil der comprimierten Luft unter der Schneide durch in's Freie.

Der Richtigkeit und Einfachheit halber sind in den hier beigezeichneten Tabellen sämtliche oben erörterte Luftverluste zusammengefasst und nur auf den Quadratmeter aufrechte Caisson-Umfangfläche bezogen.

#### Einiges über die Fabrication der Caissons.

Die Caisson-Vernietung soll eine gute, derjenigen von gewöhnlichen eisernen Schiffskörpern entsprechende sein. Eine allzugrosse Sorgfalt bei der Anfertigung und Vernietung von Caissons, für welche leider in diversen Bedingnisheften ganz unnöthigerweise die gleiche Bearbeitung wie bei Dampfkesseln vorgeschrieben wird, mit deren Inanspruchnahme sie nichts gemein haben, wäre nicht am Platze, weil der Caisson nur als ein, während der kurzen Zeitdauer der Versenkungs-Arbeiten in Gebrauch stehendes Werkzeug, wie z. B. ein Pilotenschuh, zu be-



trachten ist. Nach beendigter Fundirung hat er keinen Zweck mehr und dürfte in den meisten Fällen, ohne die Solidität des Pfeilers im Geringsten zu beeinträchtigen, ganz entfernt werden. Dies wäre auch beim Bau der Rheinbrücke zwischen Strassburg und Kehl im Jahre 1859 schon geschehen, wo diese von dem damaligen Oberbauleiter, dem französischen Ingenieur Fleur St. Denis, herstammende Idee, während des Baues erstlich ventilirt wurde, wenn nicht die Berechnung ergeben hätte, dass die Kosten der Beseitigung bedeutend höher zu stehen kämen, als der Werth des gewonnenen Caisson, selbst bei mehrmaliger Wiederverwendung, und nicht Gründe anderer Natur dazu beigetragen hätten, von dieser Idee Abstand zu nehmen.

Wollte man aber den Caisson so sorgfältig wie einen Dampfkessel bearbeiten und vernieten (weshalb ersterer doch nicht luftdicht wäre), so würde der hieraus resultirende Mehraufwand an Zeit und Geld die Betriebskosten, welche behufs Deckung der hier als normal bezeichneten Luftverluste bei Caissons von gewöhnlicher (Schiffkörper-) Bearbeitung und Vernietung erwachsen, weit übersteigen.

**Luftbedarf und Luftverluste während der Verdrängung des Wassers vor Beginn der Versenkung.**

Die in Tabelle I verzeichneten Luftverluste sind zweierlei Art, und zwar beziehen sich die in der vorletzten

Spalte enthaltenen Resultate auf das Volumen an atmosphärischer Luft zur Ausfüllung der Hohlräume, entsprechend dem theoretisch aus der Höhe der Wassersäule, beziehungsweise aus der Tiefe der Caisson-Schneide unter dem Wasserspiegel, berechneten Luftdruck; wogegen die in der letzten Spalte enthaltenen Resultate sich auf das Volumen an atmosphärischer Luft zur Ausfüllung der Hohlräume entsprechend dem, während der Wasserverdrängung wirklich erforderlich gewesenem, und durch die, sowohl auf den Gebläsen als auch auf den Luftschleusen, angebrachten Niederdruckmanometer constatirten Luftdruck beziehen.

Die Resultate der vorletzten Spalte enthalten also ausser den Luftverlusten in Folge undichter Wandungen der Caissons und der damit verbundenen Luftapparate, auch noch das zur Ueberwindung der Reibung und des Widerstandes, welchen der Untergrund, worauf der Caisson stand, dem verdrängten Wasser darbot, erforderliche Luftquantum. Es sind daher diese Erfahrungs-Resultate, bei analogen, in Zukunft vorzunehmenden Arbeiten, behufs Berechnung der zur Trockenlegung eines Caisson erforderlichen Zeitdauer, oder, wenn diese a priori bestimmt ist, der erforderlichen Leistung oder Anzahl der Gebläse verwendbar.

Die in der letzten Spalte verzeichneten Resultate enthalten nur die absoluten Luftverluste in Folge undichter

Tabelle I.

Erfahrungs-Resultate über Luftbedarf und Luftverluste während der Verdrängung des Wassers vor Beginn der Versenkung schmiedeeiserner Caissons.

Datum der Beobachtung	Monat	Tag	Bezeichnung der Pfeiler-Nummer	Stand der Caissonschneide		Beschaffenheit des Terrains unter dem Caisson	Caisson-Dimensionen				Luftverluste		Bemerkungen							
				unter Wasserspiegel	im Terrain		Umfang	Lichte Höhe	Umfangfläche	Bodenfläche	per 1 Stunde u. 1 □ Caisson-Umfangfläche	Luftverluste								
				Meter	Meter	lfd. Meter	□ Meter	lfd. Meter	□ Meter	Kubik-Meter	Kub.-Mtr.									
<b>1872. Eisenbahn-Brücke über den Rhein, für die k. k. priv. Vorarlbergbahn bei St. Margarethen (Schweiz).</b>																				
März	27.	IV.	2-10	2-00	0-80	Leichter Schotter u. Sand	23-36	2-20	51-39	83-00	20-67	69-96	0-23	0-25	87-52	92-62	144-90	2-913	2-614	
April	15.	III.	+	0-10	0-30	0-60	Schotter und Sand	"	"	"	"	61-86	9-50	0-10	0-05	11-57	13-07	42-00	3-553	3-378
"	19.	"	3-30	3-55	4-00	" " "	"	"	"	"	"	19-45	56-63	0-30	0-60	82-77	103-27	147-00	2-500	1-702
<b>1872. Kronprinz Rudolph- (Reichsstrassen-) Brücke über den Donaudurchstich in Wien.</b>																				
October	7.	IX.	6-91	6-23	7-61	Gelber schwarzkörniger Sand; auf circa die halbe Bodenfläche ist der feine Teigel ange-schnitten.	63-43	2-20	139-55	223-60	368-57	107-70	0-30	0-68	894-93	431-58	622-76	8-265	2-740	
Novemb.	10.	VIII.	4-70	3-70	2-50	Gewöhnlicher Stromschotter	48-22	2-20	106-80	111-70	22-18	199-13	0-30	0-31	278-88	267-93	351-00	1-360	1-549	
<b>1876. Städtische (Podskal-Smichover) Moldaubrücke in Prag.</b>																				
October	29.	II.	6-71	6-89	5-21	Grober Sand	45-82	2-20	100-80	118-05	17-71	223-21	2-30	0-90	372-09	440-04	1890-00	6-023	5-754	
Novemb.	15.	I.	4-32	4-47	2-82	Sand	"	"	"	"	18-88	211-46	1-10	0-54	288-78	335-84	822-00	5-095	4-644	



Wandungen, mit Bezug auf den jeweiligen Stand des Manometers während der Verdrängung des Wassers. Diese letzteren Resultate finden weiter unten Anwendung, bei Berechnung der procentuellen Vertheilung der in Tabelle II verzeichneten Gesamt-Luftverluste.

Bei Vergleichung der Luftverluste in Tabelle I mit denjenigen in Tabelle II, findet man sofort, dass die ersteren durchgehends bedeutend geringer sind, als die letzteren, und geht daraus hervor, dass während der Wasserverdrängung per Stunde und per 1 m<sup>2</sup> aufrechte Caisson-Umfangsfläche weniger Luft verloren geht, als während dem normalen Versenkungsbetriebe, weil während letzterem zu den Verlusten in Folge der undichten Wandungen, auch noch die Ausströmung der Luft unter der Caisson-Schneide hinzukommt.

Lässt man die Resultate, betreffend die beiden Caissons der Prager Brücke, wegen den daraus hervorgehenden abnormen Luftverlusten, ausser Betracht, so ist aus Tabelle I, vorletzte Columnne, ersichtlich, dass die Luftverluste während der Verdrängung des Wassers, beziehungsweise während der Trockenlegung der Caissons, zwischen 1.360 m<sup>3</sup> und 3.553 m<sup>3</sup> per Stunde und per 1 m<sup>2</sup> Caisson-Umfangsfläche variiren. Nach Ausscheidung dieser beiden letztgenannten extremen Resultate, verbleiben noch drei andere, aus welchen sich ein für die Praxis verwendbarer Mittelwerth ableiten lässt, und zwar ist derselbe für analoge (Sand- und Schotter-) Terrainschichten

$$= \frac{2 \cdot 913 + 2 \cdot 500 + 3 \cdot 265}{3} = 2 \cdot 892 \text{ m}^3 =$$

Luftverlust per Stunde und per 1 m<sup>2</sup> Caisson-Umfangsfläche, \*) während der Trockenlegung gut genieteter Caissons mit ausgemauerten Streben und ausbetonirten Plafonds.

Zur Verdeutlichung der Tabelle I und des hierüber Gesagten diene das folgende Beispiel, welches dem Beobachtungs-Resultate vom 19. April 1872, betreffend die Wasserverdrängung aus dem Caisson Nr. III der St. Margarethener Rheinbrücke, entspricht:

Der Caisson steht mit seiner Schneide 3.55 m unter dem Wasserspiegel. Der über dem letzteren liegende Theil von dem Förderschacht sammt den Schleusenkammern und den Luftleitungsröhren (von letzteren bis zum Gebläse) enthält 19.45 m<sup>3</sup> Hohlraum.

Die unter dem Wasserspiegel gelegenen Theile von dem Förderschacht und dem unteren Arbeitsraum des Caisson enthalten zusammen 56.62 m<sup>3</sup> Hohlraum.

Das Gebläse (circa 25 indicirte Pferdekkräfte, von F. A. Klusemann, Magdeburg, welches im mittleren normalen Gange 45 Doppelhübe per Minute machen kann) arbeitet in dem vorliegenden Falle nur mit 70 einfachen Kolbenhüben per Minute und fördert, bei einem Ueberdruck von zwei Atmosphären, laut speciellen Versuchen, per Hub 0.070 m<sup>3</sup>, d. i. 70 Liter atmosphärische Luft in den Caisson; wie viel Minuten erfordert die Verdrängung des Wassers aus dem Caisson?

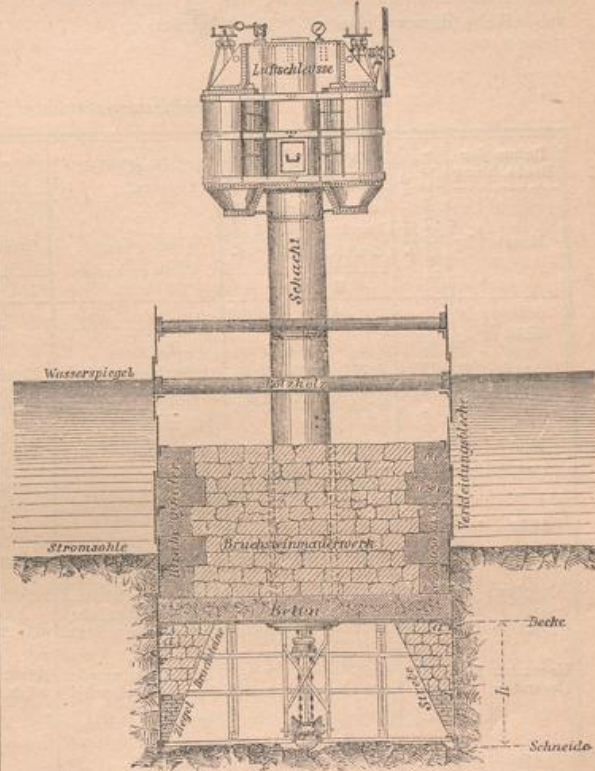
\*) Ich verstehe darunter die aufrechte Caisson-Umfassungswand, von inclusive Schneide bis unter die Caisson-Decke, d. i.  $h \times \text{Umfang}$ . (Siehe nebenstehende Skizze.)

Zur Lösung dieses Problems kann man sich nachstehender Formel bedienen:

$$x = \frac{V}{L - V}$$

worin  $x$  = Zeitdauer der Wasserverdrängung in Stunden;  
 $V$  = Bedarf in Kubikmetern an atmosphärischer Luft zur Ausfüllung der Hohlräume, d. i. der Luftleitungsröhren, der Schleusenkammern, des Förderschachtes und des Caisson.

Fig. 1.  
 Querschnitt eines in Versenkung stehenden Caisson.



Die Wassersäule von 3.55 m entspricht einem Ueberdruck von  $\frac{3.55 \text{ m}}{1.033 \text{ kg}} = 0.3437 \text{ Atm.}$ , und da die über dem Wasserspiegel gelegenen Hohlräume mit dem diesem Ueberdruck entsprechenden Volumen an atmosphärischer Luft auszufüllen sind, so sind hiezu erforderlich:

$$= 19.45 \text{ m}^3 \times 0.3437 \text{ Atm.} \dots \dots \dots = 6.685 \text{ m}^3$$

Die unter dem Wasserspiegel gelegenen Hohlräume sind mit dem, dem oben berechneten Ueberdruck + 1 Atmosphäre entsprechenden Volumen an atmosphärischer Luft auszufüllen, weil das Wasser, abgesehen von dem seiner Tiefe entsprechenden Ueberdruck, durch atmosphärische Luft ersetzt werden muss. Die Ausfüllung dieser letztgenannten Hohlräume erfordert daher

$$56.62 \text{ m}^3 \times 1.3437 \text{ Atm.} \dots \dots \dots = 76.094 \text{ m}^3$$

$$\text{Der Werth von } V \text{ ist in diesem Falle} \dots \dots \dots = 82.779 \text{ m}^3$$

$L$  = Leistungsfähigkeit der Gebläsmaschine per Stunde in Kubikmetern an atmosphärischer Luft.



Wie bereits erwähnt, machte die Maschine in vorliegendem Falle per Minute 70 einfache Kolbenhübe und förderte per Hub 0.07 m<sup>3</sup> atmosphärische Luft, folglich ist hier

$$L = 60 \times 70 \times 0.07 = 294.00 \text{ m}^3.$$

V<sup>1</sup> = Luftverluste während der Wasserverdrängung, per einer Stunde in Kubikmetern, auf die Caissonumfangsfläche.

Laut Tabelle I, vorletzte Columnne, betragen diese Luftverluste per 1 m<sup>2</sup> 2.500 m<sup>3</sup>, und da die aufrechte Umfangsfläche dieses Caisson 51.39 m<sup>2</sup> beträgt, so ist

$$V^1 = 51.39 \times 2.50 = 128.475,$$

folglich ist

$$x = \frac{82.779}{294.00 - 128.475} = 0.50 \text{ Stunden} = 30 \text{ Minuten.}$$

Dieses Resultat ist mit der in Tabelle I angegebenen Zeitdauer, welche zur Verdrängung des Wassers aus dem Caisson Nr. III (St. Margarethen) erforderlich war, übereinstimmend.

Würde es sich bei einer auszuführenden Wasserverdrängung mit gegebener Zeitdauer darum handeln, die

Tabelle  
Erfahrungsergebnisse über Luftverbrauch und Luftverlust während der Versenkung

Datum der Beobachtung	Monat	Tag	Bezeichnung der Pfeiler-Nr.	Stand der Caisson-schneide			Beschaffenheit des Terrains unter der Caisson-schneide	Caisson-Dimensionen				Grundrisse der Caissons	Erfahrungen per 24 Stunden			
				unter Pegel Null	unter Wasserspiegel	im Terrain		Umfang	Lichte Höhe	Umfangsfläche	Bodenfläche		Volumen des unteren Arbeitsraumes u. Abzug d. Strohmannern	der Materialkammer	d. Schlooskammer	Anzahl der im Caisson mitarbeitenden Arbeiter
				Meter			lfd. Meter									
<b>1872 Eisenbahn-Brücke über den Rhein für die k. k. priv.</b>																
April		8.	IV.	4.35	5.25	2.25	Leichter Schotter und Sand	23.36	2.20	51.39	33.00	54.10		26	50	11
"	"	7.	"	8.05	8.25	5.95	Letten	23.36	2.20	51.39	33.00	54.10		32	9	6
"	"	8.	"	8.40	8.65	6.30	"	23.36	2.20	51.39	33.00	54.10		14	7	6
Juni		7.	I.	+0.20	0.90	2.20	Grober Schotter und Sand	23.36	2.20	51.39	33.00	54.10		12	6	7
"	"	12.	"	-3.40	4.90	5.80	" " " "	23.36	2.20	51.39	33.00	54.10		31	6	7
"	"	13.	"	4.40	5.90	6.80	" " " "	23.36	2.20	51.39	33.00	54.10		65	10	7
<b>1872 Kronprinz Rudolph- (Reichsstrassen-) Brücke</b>																
September		24.	IX.	3.21	2.87	3.91	Ziemlich fester Schotter	63.43	2.20	139.55	223.60	423.98		204	20	24
October		7.	"	6.91	6.23	7.61	(über schwarzer Sand, auf circa die halbe Bodenfläche mit der Tegel angeschnitten)	63.43	2.20	139.55	223.60	423.98		195	19	24
"	"	17.	"	8.67	7.97	9.31	Fester blauer Tegel	63.43	2.20	139.55	223.60	423.98		128	19	24
November		20.	VIII.	5.25	4.40	3.05	Feiner Schotter und wenig Sand	48.22	2.20	106.08	111.70	195.36		105	18	16
December		4.	"	9.05	8.15	6.85	feiner blauer sandiger Tegel	48.22	2.20	106.08	111.70	195.36		105	13	16
<b>1876 (Reichs-) Strassen-Brücke über die Salzach</b>																
Juni		10.	II.	1.20	3.08	+1.85	Alte Pilotenköpfe	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		18	12	4
"	"	15.	"	2.80	3.95	-0.25	Sand mit wenig Schotter	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		12	9	12
"	"	18.	"	3.90	5.10	1.35	" " " "	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		26	13	12
Juli		2.	"	7.30	8.85	5.20	(Lehmiger Sand mit wenig, aber grobem Schotter)	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		29	8	12
"	"	4.	"	8.12	9.32	6.02	Hier dasselbe	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		54	11	12
"	"	6.	"	8.75	9.90	6.75	Sand mit wenig Schotter	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		24	10	12
"	"	7.	"	9.00	10.25	7.00	" " " "	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		19	9	12
"		23.	III.	1.35	2.28	+0.55	Alte Baumstämme	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		19	8	10
"	"	26.	"	2.20	3.70	-0.70	Sand mit grobem Schotter	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		14	7	12
"	"	30.	"	4.15	5.30	2.65	Schotter ist lehmig	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		62	11	12
August		4.	"	6.40	7.43	5.00	Lehmiger Sand mit Schotter	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		57	12	13
"	"	7.	"	7.45	8.90	6.05	" " " "	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		25	15	13
"	"	12.	"	9.00	9.65	7.60	" " " "	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		28	6	12
<b>1876 Städtische (Podskal-Smichover)</b>																
October		30.	II.	6.71	6.89	5.21	Grober Sand	45.82	2.20	100.80	118.05	211.39		62	50	16
November		5.	"	7.63	7.81	6.13	Schotter und Sand	45.82	2.20	100.80	118.05	211.39		13	100	16
"		19.	I.	4.80	5.05	3.30	" " " "	45.82	2.20	100.80	118.05	211.39		102	50	12
"		23.	"	5.52	5.82	4.02	" " " "	45.82	2.20	100.80	118.05	211.39		50	60	16



erforderliche Anzahl der Gebläse (deren mittlere Leistungsfähigkeit bekannt ist) zu ermitteln, so wäre die obige Formel demgemäss umzugestalten. Für  $V^3$  könnte alsdann der Mittelwerth von  $2.892 m^3 \times$  mit der Caissonumfangsfläche genommen, und die Bewerthung von  $V$  nach obiger Weise berechnet werden.

Betreffend die Wasserverdrängung beschränke ich mich auf das Vorstehende, und gehe nun zu den in Tabelle II verzeichneten Erfahrungs-Resultaten und auf deren praktische Anwendung über.

II.

von schmiedeisernen Caissons, aus welchen das Wasser bereits verdrängt war.

Luftverbrauch und Luftverluste während dem Versenkungsbetrieb.

Bei Berechnung der Luftverluste habe ich die Vermehrung, respective Verminderung des eingepumpten Luftvolumens in Folge der Temperatur-Differenzen in- und ausserhalb der Caissons nicht berücksichtigt, weil die diesbezüglichen Beobachtungen über die Caisson-Versenkungen der Salzburger Brücke nicht complet sind, und weil überdies auf die fragliche Veränderung des Volumens hier kein besonderer Werth gelegt wird, da es sich ja nur darum

Stand des Manometers auf der Uebertrock in	Stand des Thermometers		Volumen an atmosph. Luft, welches per 1 Stunde in den Caisson eingepumpt wurde	Verbrauch an atmosph. Luft per 1 Betriebsstunde						Versenkungs-Periode Nummer	Luftverluste per 1 Betriebsstunde und			Bemerkungen
	im Freien	im Caisson		zur Verdrängung des Bodensmaterials	zur Ver-schlussung der Arbeiter u. Besatzung	zur Er-gänzung des Luftdruckes in Folge der Tiefen-zunahme	Total	per 1 m <sup>2</sup> Caisson-Bodenfläche	per lll. m Caisson-Umfang		per 1 m <sup>2</sup> Caisson-Umfangsfläche			
Atmosphäre	Réaumur		Kubik-Meter	Kubik-Meter						Periode	Kubik-Meter			
<b>Voralbergbahn bei St. Margarethen (Schweiz).</b>														
0.45	+10.0	+11.0	252.00	0.74	2.10	0.32	3.16	2	7.541	10.652	4.842	Während aller Beobachtungen wurde die Hubanzahl der Gebläse gezählt. Während der Versenkung functionirte nur Ein Gebläse (F. A. Klusemann).		
0.9-1.0	15.0	9.5	235.00	1.57	0.61	0.28	2.46	2	7.046	9.955	4.525			
0.9-1.3	13.0	9.5	235.00	0.72	0.50	0.28	1.50	2	7.076	10.000	4.543			
0.10	16.0	12.0	252.00	0.06	0.05	1.18	1.29	1	7.567	10.732	4.878	Während der Versenkung functionirte nur Ein Gebläse (F. A. Klusemann).		
0.50	14.0	12.0	273.00	0.82	0.25	0.85	1.42	2	8.229	11.626	5.285			
0.60	16.0	12.0	273.00	2.09	0.49	0.38	2.96	2	8.188	11.560	5.255			
<b>über den Donaudurchstich in Wien.</b>														
0.310	9.7	17.5	512.40	3.43	0.48	0.61	4.52	1	2.271	8.009	3.639	Hier genügte Ein Gebläse (F. A. Klusemann). Dieses Resultat ist nicht massgebend, weil sich später herausstellte, dass das Eine der zwei functionirenden Gebläse (dasjenige von P. Claparède & Cie.) in schlechtem Zustande war, in Folge dessen seine Leistungsfähigkeit rapid abnahm. Hier functionirte nur Ein Gebläse (F. A. Klusemann).		
0.820	5.0	14.0	707.74	7.32	0.99	0.92	9.23	2	3.124	10.997	5.006			
0.860	12.0	17.0	436.80	6.15	1.28	0.00	7.43	2	1.921	6.769	3.007			
0.410	1.0	6.0	504.00	2.26	0.48	0.87	3.61	1	4.450	10.377	4.717	Hier functionirte nur Ein Gebläse (F. A. Klusemann). Hier functionirte nur Ein Gebläse (F. A. Klusemann).		
0.820	5.0	10.0	453.00	5.32	0.90	0.30	6.52	2	4.002	9.272	4.214			
<b>in der Stadt Salzburg.</b>														
0.25	17.0		226.80	0.17	0.26	0.22	0.65	1	3.668	5.757	3.598	Während der Versenkung functionirte Ein Gebläse (F. A. Klusemann).  Während der Versenkung functionirte Ein Gebläse (F. A. Klusemann).  Die Caissons zu dieser Brücke wurden ebenfalls in den Ateliers der Baumeisterrechnung Gebr. Klein, A. Schmolz & E. Gaertner in Wien angefertigt.		
0.35	13.0		243.60	0.24	0.27	0.08	0.59	1	3.941	6.186	3.866			
0.45	12.0		252.00	0.66	0.51	0.01	1.18	1	4.066	6.385	3.991			
0.83	11.0		260.00	1.36	0.58	0.27	2.21	2	4.186	6.573	4.108			
0.90	14.5		268.80	2.75	0.86	0.00	3.61	2	4.299	6.751	4.219			
0.95	16.5		273.00	1.29	0.82	0.13	2.24	2	4.389	6.898	4.308			
0.98	16.0		277.00	1.06	0.76	0.14	1.96	2	4.459	7.030	4.395			
0.18	15.5		226.80	0.00	0.13	0.14	0.27	1	3.672	5.767	3.604			
0.30	15.5		243.60	0.24	0.18	0.10	0.52	1	3.941	6.188	3.867			
0.48	19.0		252.00	1.69	0.46	0.34	2.48	1	4.045	6.352	3.970			
0.70	19.5		256.20	2.26	0.73	0.22	3.21	1	4.101	6.441	4.025			
0.85	17.0		277.20	1.20	1.11	0.45	2.76	2	4.449	6.987	4.366			
0.93	18.0		277.20	1.48	0.48	0.13	2.09	2	4.460	7.004	4.377			
<b>Moldaubrücke in Prag.</b>														
0.64	5.0	14.0	756.00	2.39	2.95	0.54	5.88	3	6.354	16.371	7.441	Hier waren 2 Gebläse in Thätigkeit (beide von F. A. Klusemann). Hier waren 2 Gebläse in Thätigkeit (1 von F. A. Klusemann, 1 von P. Claparède & Cie).		
0.73	3.0	15.0	581.28	0.54	4.31	0.14	4.99	3	4.885	12.577	5.717			
0.44	5.0	11.0	588.00	2.54	1.30	0.27	4.11	3	4.946	12.743	5.976	Hier waren 2 Gebläse in Thätigkeit (beide von F. A. Klusemann). Hier waren 2 Gebläse in Thätigkeit (beide von F. A. Klusemann). Wie bereits auf Tabelle I bemerkt, wurden die Caissons zu dieser Brücke durch eine auswärtige Fabrik angefertigt.		
0.53	4.0	10.0	672.00	1.50	2.75	0.30	4.55	3	5.654	14.566	6.621			



handelt, zu wissen, wieviel von der in den Caisson eingepumpten Luft benützt und wie viel davon verloren geht.)\*

Der gesammte Luftverlust, abzüglich des zum Betriebe der Schleussen und zur Versenkung benützten Volumens, ist des Vergleiches halber in Tabelle II wie folgt verzeichnet:

1. per 1 Stunde und per 1 m<sup>2</sup> Caisson-Bodenfläche,
2. " 1 " " " 1 Hfd. m " Umfang und
3. " 1 " " " 1 m<sup>2</sup> " Umfangfläche.

Bei ad 1 und 2 bestehen sehr bedeutende Schwankungen zwischen den Resultaten, welche sich auf die 5 beobachteten Caissons beziehen, so zwar, dass sich wohl nicht ein allgemeines Princip daraus ableiten lässt. So z. B. gibt die zweite Columne den Luftverlust per 1 laufenden Meter Umfang für den Caisson IV der St. Margarethener Brücke, welcher am 3. April 1872 bei 5·25 m unter dem Wasserspiegel und in leichtem Schotter mit Sand versenkt war, mit 10·652 m<sup>3</sup> an, wogegen am 18. Juni 1876 für den Caisson II der Salzburger Brücke, welcher an genanntem Tage auf 5·10 m unter Wasser, also beinahe auf dieselbe Tiefe und in einer analogen Terrainschicht wie der erstere, versenkt war, der Luftverlust per 1 laufenden Meter Umfang nur mit 6·385 m<sup>3</sup>, also um circa 40% weniger als bei dem ersteren angegeben erscheint. Der Caisson der St. Margarethener Brücke hat aber 2·20 m, dagegen derjenige der Salzburger Brücke nur 1·60 m lichte Höhe. Rechnet man die Luftverluste per 1 m<sup>2</sup> Umfangfläche um, so ist das Resultat für den zweitgenannten Caisson nur um 17½% niedriger als bei ersterem, und diese Differenz mag wohl zum grossen Theil von der Verschiedenartigkeit der beiden Terrainsorten herrühren.

Die ad 3 verzeichneten Resultate sind (die beiden Prager Caissons ausgenommen) nicht sehr von einander abweichend, was darauf schliessen lässt, dass die Umfangfläche der aufrechten Caissonhülle eine Hauptrolle bei den Luftverlusten spielt. Lässt man die beiden Caissons der Prager Brücke ausser Betracht, so ergibt die Tabelle II, dass die Gesammt-Luftverluste zwischen 3·007 m<sup>3</sup> und 5·285 m<sup>3</sup> per 1 m<sup>2</sup> Umfangfläche, je nach der Beschaffenheit der Caissons und des Untergrundes, schwanken.

Es würde zu weit führen, hier näher auf die Nuancirungen der Luftverluste der fünfzehn in Tabelle II verzeichneten Terrainsorten einzugehen. Ich beschränke mich

\*) Beispielsweise wird hier die Vermehrung des Luftvolumens in Folge der am 24. September 1872 constatirten Differenz zwischen der Temperatur im Freien und derjenigen im Caisson IX berechnet:

$$V_1 = V \times \frac{1 + 0.00367 t'}{1 + 0.00367 t}$$

$V_1$  = das vermehrte Volumen (bei der Temperatur  $t'$ );

$V$  = das eingepumpte Volumen (bei der Temperatur  $t$ ) = 512·40 m<sup>3</sup>;  
0·00367 = Dilatation der atmosphärischen Luft per 1 Centigrad von 0° bis 100°;

$1 + t$  und  $t + t'$  = Volumen, welches die Einheit der atmosphärischen Luft annimmt, indem letztere von der Temperatur  $t$  zu der von  $t'$  übergeht.

$$t = + 9.7 \text{ Réaumur} = + 12.125 \text{ Celsius}$$

$$t' = + 17.5 \text{ " " " " } = + 21.875 \text{ " " " " }$$

Folglich ist

$$V_1 = 512.40 \text{ m}^3 \times \frac{1 + 0.00367 \times 21.875}{1 + 0.00367 \times 12.125} = 529.92 \text{ m}^3$$

und die Vermehrung beträgt somit = (529·92 — 512·40) = 17·52 m<sup>3</sup>.

darauf hinzuweisen, dass (die Prager Caissons ausgenommen) die Gesammt-Luftverluste in festgelagertem Schotter (Geschiebe), Letten und Tegel, bei Versenkungstiefen von 2·87 m bis 8·25 m unter Wasser zwischen 3·007 m<sup>3</sup> und 4·543 m<sup>3</sup> variiren, und bei einer mittleren Tiefe von 7·18 m unter dem Wasserspiegel durchschnittlich 3·985 m<sup>3</sup> betragen, dagegen in allen leichteren Schotter- und Sandschichten mit und ohne Lehm, bei Versenkungstiefen von 3·70 m bis 10·25 m unter Wasser, zwischen 3·866 m<sup>3</sup> und 5·285 m<sup>3</sup> schwanken, und bei einer mittleren Tiefe von 6·85 m unter dem Wasserspiegel, durchschnittlich 4·373 m<sup>3</sup> per 1 Stunde und per 1 m<sup>2</sup> Umfangfläche für die der Beobachtung unterzogenen Caissons erreichen. Bei Caissons unter 50 m<sup>2</sup> Umfangfläche sind diese Daten nicht anwendbar, weil in diesem Falle die Gebläse, welche verwendet worden sind, sogar bei der bereits erwähnten Minimalleistung, mehr Luft in den Caisson fördern als absolut nöthig ist, und daher die Luftausströmungen unter der Schneide abnorm sind.)\*

Ausserdem ist aus Tabelle II ersichtlich, dass in gleichartigen Terrainschichten die Luftverluste mit der Versenkungstiefe unter Wasser zunehmen.

Diese Zunahme ist die natürliche Folge des zunehmenden Luftdrucks im Caisson und bedarf dieselbe wohl

\*) Handelt es sich um kleine Caissons von z. B. 25 bis 30 m<sup>2</sup> Umfangfläche, so kann man je 2 derselben gleichzeitig und mit Anwendung von einem Gebläse versenken, sogar auch dann, wenn sich dieselben schon bei Beginn in ganz verschiedenen Tiefen unter dem Wasserspiegel befinden und eine variable Tiefendifferenz zwischen beiden bis zu Ende der Versenkung bleiben sollte. Die vom Gebläse ausgehende Hauptleitung verzweigt sich vor den beiden Caissons in 2 Stränge. In den Rohrstrang, welcher die Luft zu dem minder tiefstehenden Caisson leiten soll, schaltet man ein Absperrventil ein. Letzteres ist bei Ingangsetzung des Gebläses insolange geschlossen zu halten, bis die Luft vorerst den tieferstehenden Caisson ausgefüllt und das Wasser aus demselben verdrängt hat. Dann öffnet man nach und nach und nur theilweise das Absperrventil, so dass der Ueberschuss an Luft aus der Hauptrohrleitung durch den auf diese Weise in seinem Querschnitt reducirten Rohrstrang in den zweiten (minder tiefstehenden) Caisson gelangt, sich dort comprimirt und auch aus letzterem das Wasser verdrängt, wonach die Versenkungs-Arbeit in beiden ungehindert vor sich gehen kann. Der Luftdruck, welcher im zweiten Caisson anfänglich niedriger ist als im ersten, kann je nach der fortschreitenden Versenkungstiefe gesteigert werden, indem man das Absperrventil demgemäss öffnet. Auf diese Weise ist es mir gelungen, im Jahre 1867, in Verbindung mit meinem damaligen Collegen Herrn Conradin Zschokke, Civil-Ingenieur aus Aurau, die Versenkung von circa 45 Stück Caissons von je 10·45 m<sup>2</sup> Bodenfläche, welche die Pfeiler der circa 572 m langen Quaimauer von Bóna (Afrika) bilden und deren Ausführung nebst der Ausbaggerung des Hafens dem französischen Unternehmer A. Castor (als dessen Ingenieure wir die Arbeiten leiteten) übertragen worden waren, paarweise mit Anwendung von einem Gebläse einzuleiten. Im Spätherbst von 1868—1869 habe ich für denselben Unternehmer die beiden Flügelmauer-Caissons des rechteckigen Landpfeilers der Eisenbahnbrücke über die Donau, zwischen Wien und Stadlau (k. k. priv. österr. Staats-Eisenbahngesellschaft) auf die oben beschriebene Weise gleichzeitig versenkt.

Die Anregung der Idee gehört Herrn C. Zschokke. Die Priorität der ersten praktischen Verwirklichung dieser Idee, das ist die Anwendung des Absperrventils, um in zwei ungleich tief stehenden Caissons den erforderlichen ungleichen Luftdruck zu erzeugen, beanspruche ich.



keiner weiteren Aufklärung. Die Zunahme der Luftverluste für die Caissons der St. Margarethener und für diejenigen der Salzburger Brücke beträgt per 1 m<sup>2</sup> Caisson-Umfangsfläche und per 1 m Wassertiefe durchschnittlich 0.1075 m<sup>3</sup> atmosphärische Luft.

Es wurde bereits hervorgehoben, dass der gesammte während des Versenkungsbetriebes constatirte Luftverlust (hauptsächlich der Richtigkeit und in zweiter Linie auch der Einfachheit halber) auf den Quadratmeter aufrechte Caisson-Umfangsfläche bezogen ist, und zwar per 1 Stunde und in Kubikmeter atmosphärischer Luft.

Der auf diese Weise zusammengefasste Luftverlust lässt sich jedoch wie folgt zerlegen:

- a) Luftverluste in Folge undichter Fugen und Wandungen der Luftleitungsröhren, der Luftschleusen, der Förderschächte und des Caisson; und
- b) Luftausströmungen unter der Schneide des Caisson, in Folge Senkung des inneren Wasserspiegels bis unter das Niveau der Schneide.

An der Hand der in den Tabellen I und II enthaltenen Beobachtungs-Resultate lassen sich die sub a und b bezeichneten Luftverluste in getrennter Weise, wenn auch nicht genau, so doch annähernd nachweisen und wird dies in Nachstehendem versucht.

I. Caisson Nr. IV der St. Margarethener Brücke.

Am 3. April 1872, als der Caisson die Versenkungstiefe von 5.25 m unter dem Wasserspiegel erreicht hatte, betrug die Gesamt-Luftverluste laut Tabelle II: per 1 Stunde = (252.00 - 3.16) . . . . . = 248.84 m<sup>3</sup>

Während der am 27. März stattgehabten Wasserverdrängung, behufs Beginn der zweiten Versenkungsperiode, betrug die Luftverluste laut Tabelle I (letzte Columne) 2.614 × 51.39 = 136.38 m<sup>3</sup>. Da der Caisson am 27. März sich erst 2.00 m unter dem Wasserspiegel befand, so ist, um der Zunahme der Luftverluste Rechnung zu tragen, ein Zuschlag zu machen von 0.1075 m<sup>3</sup> × 51.39 m<sup>2</sup> × (5.25m - 2.00) = 17.95 m<sup>3</sup>.

Somit war am 3. April die Summe der Luftverluste für undichte Fugen und Wandungen . = 154.33 m<sup>3</sup> und es bleibt für Luftausströmung unter der Caisson-Schneide . . . . . = 94.51 m<sup>3</sup> das ist per 1 Stunde und per 1 lauf. Meter Caisson-Umfang = 94.51 m<sup>3</sup> / 23.36m = 4.046 m<sup>3</sup> oder 40.93 % vom Gesamt-Luftverlust.

2. Caisson Nr. IX der Kronprinz Rudolph-Brücke\*).

Am 7. October 1872 betrug die Gesamt-Luftverluste laut Tabelle II:

\*) Obgleich (aus dem in der diesbezüglichen Anmerkung auf Tabelle II angegebenen Grunde) dieses Beobachtungs-Resultat nicht maassgebend ist, so kann dasselbe doch zur Berechnung der Luftausströmung benützt, und hier als richtig betrachtet werden, weil dieselben Gebläse, welche während der normalen Versenkungs-Arbeit functionirten, auch während der vorherigen Wasserverdrängung in Thätigkeit waren, daher die eventuelle unrichtig (zu hoch) angenommene Leistungsfähigkeit des Claparède'schen Gebläses Nr. 6 in beiden Fällen gleich bleibt, und das hieraus berechnete Resultat der Luftausströmung nicht alterirt wird.

Per 1 Stunde = (707.74 - 9.23) . . . . . = 698.51 m<sup>3</sup> während der vorher, und zwar an dem genannten Tage stattgehabten Trockenlegung des Caisson, behufs Wiederaufnahme der Versenkung betrug die Luftverluste laut Tabelle I = (2.74 m<sup>3</sup> × 139.55 m<sup>2</sup>) . . . . . = 382.37

Rest für Luftausströmung unter der Caisson-Schneide . . . . . = 316.14, das ist per 1 Stunde und per laufenden Meter Caisson-Umfang =  $\frac{316.14 \text{ m}^3}{63.43 \text{ m}} = 4.984 \text{ m}^3$  oder 45.26 % vom Gesamt-Luftverluste.

3. Caisson Nr. II der Prager Brücke.

Am 30. October 1876 betrug die Gesamt-Luftverluste laut Tabelle II = (756.00 - 5.88) . = 750.12 m<sup>3</sup>

Während der am 29. October stattgehabten Trockenlegung des Caisson, behufs Wiederaufnahme der Versenkung, betrug die Luftverluste laut Tabelle I = (5.754 × 100.80) . = 580.00 m<sup>3</sup>

Bleibt für Luftausströmung unter der Caisson-Schneide . . . . . = 170.12 m<sup>3</sup> das ist per 1 Stunde und 1 laufenden Meter Caisson-Umfang =  $\frac{170.12}{45.82} = 3.713 \text{ m}^3$  oder 22.67 % vom Gesamt-Luftverlust.

Bei 2 und 3 ist kein Zuschlag für Zunahme der Luftverluste zu machen, weil die Versenkungstiefen während der Wasserverdrängung dieselben waren, wie bei dem unmittelbar darauf folgenden Beginn der normalen Versenkungs-Arbeiten.

Zufolge obiger Berechnungen beträgt die Luftausströmung unter der Caisson-Schneide bei einer mittleren Versenkungstiefe von 6.35 m unter Wasser und 4.02 m Tiefe im sandigen Boden, im Mittel

$$= \left( \frac{4.05 + 4.98 + 3.71}{3} \right) = 4.25 \text{ m}^3$$

per 1 Stunde und per laufenden Meter Caisson-Umfang, beziehungsweise Caisson-Schneide.

Sowohl aus Tabelle I als auch aus Tabelle II ist ersichtlich, dass die beiden Caissons der Prager Brücke weniger luftdicht waren als diejenigen der anderen Brücken, und daher kommt es auch, dass das oben berechnete Resultat, in Betreff der procentuellen Vertheilung der Luftausströmungen, wesentlich von den beiden anderen abweichend ist. Berücksichtigt man nur die zwei ersten Resultate, so kann angenommen werden, dass circa 43% von den Gesamt-Luftverlusten auf die Ausströmungen unter der Schneide und circa 57% auf die Luftverluste durch die undichten Fugen und Wandungen der Apparate und des Caisson entfallen.

Selbstverständlich können diese, die procentuelle Vertheilung betreffenden Angaben keinen Anspruch auf Genauigkeit machen; immerhin können sie als Anhaltspunkte dienen, bis sie durch umfassendere und genauere Beobachtungs-Resultate ersetzt werden.

Bezeichnet man das ganze Volumen an atmosphärischer Luft, welches während 1 Stunde in den Caisson gepumpt worden ist, mit 100, so



entfallen hievon — abgesehen von den Caissons der Prager Brücke — durchschnittlich, bei einer mittleren Versenkungstiefe von 6.30 m unter dem Wasserspiegel, nur 0.921% auf den Verbrauch durch Verschleissungen des Aushubmaterials und des Arbeiterpersonales, sowie auf die Luftdruck-Zunahme in Folge der nach und nach zunehmenden Versenkungstiefe, und dagegen 99.079% auf die Gesamt-Luftverluste inclusive der Ausströmungen unter der Schneide.

Bei Caisson-Fundierungen in reinen Tegelschichten von einiger Mächtigkeit wird sich der Percentsatz für den Luftschleussenbetrieb — wegen der dann, aus Gesundheitsrücksichten für die in comprimierter Luft beschäftigten Arbeiter eintretenden Nothwendigkeit der öfteren Lufterneuerung im Caisson — steigern; dagegen wird sich derjenige, betreffend die Luftverluste, wesentlich verringern, weil die Luftausströmung unter der Schneide erschwert ist.

Schliesslich wird noch folgendes Beispiel dazu beitragen, das bezüglich Tabelle II Gesagte, sowie die Verwendung der darin enthaltenen Erfahrungs-Resultate zu verdeutlichen.

Annahme: Es handelt sich um die bis zu 15 m unter dem Wasserspiegel zu bewerkstelligende Versenkung eines Caisson von 2.20 m lichter Höhe, 57.45 m Umfang und 130.18 m<sup>2</sup> Bodenfläche, „aus welchem das Wasser bereits verdrängt ist“; das Terrain, in welchem die Versenkung ausgeführt werden soll, besteht aus Schotter mit Sand vermengt; welches ist das gegen Ende der Versenkung des Caisson dem letzteren, während 1 Betriebsstunde zuzuführende Volumen an atmosphärischer Luft, zur Deckung des Gesamt-Luftverlustes und zum Betrieb der Verschleissungen?

Das fragliche Resultat kann vermittelt folgender Formel gefunden werden:

$$V = [(U \times V^1) + (z \times U \times T - 6.85 m)] + c$$

worin:

$V$  = Gesamt-Luftbedarf per 1 Stunde in Kubik-Metern;

$U$  = Umfangsfläche des Caisson =  $57.44 m \times 2.20 m = 126.39 m^2$ ;

$V^1$  = Gesamt-Luftverluste per 1 Stunde und per 1 m<sup>2</sup> aufrechte Caisson-Umfangsfläche, in Schotter und Sand bis zur Versenkungstiefe von 6.85 m unter dem Wasserspiegel durchschnittlich 4.373 m<sup>3</sup>;

$z$  = Zuschlag für jeden Meter Mehrtiefe unter 6.85 m und für 1 m<sup>2</sup> Caisson-Umfangsfläche = 0.1075 m<sup>3</sup>;

$T$  = Versenkungstiefe unter dem Wasserspiegel = 15.00 m;

$c$  = Percentsatz entsprechend dem Verbrauch an atmosphärischer Luft zum Betrieb der Luftschleussen = rot: 1%.

$$V = [(126.39 m^2 \times 4.373 m^3) + (0.1075 m^3 + 126.39 m^2 \times 15.00 m - 6.85 m)] + 1\% = \text{rot: } 670 \text{ cm}^3. *$$

Aehnliche Versuche über Luftbedarf und Luftverluste bei gemauerten Brunnenfundierungen ohne Blechhülle, sind im Zuge, und behalte ich mir vor, später darauf zurückzukommen.

\*) Bei Verwendung von zwei Gebläsen des Systems P. Claparède & Cie. (St. Denis, Seine), welche je eine Leistungsfähigkeit von circa 0.275 m<sup>3</sup> per einfachen Kolbenhub haben, würde jedes derselben  $\frac{670 m^3}{2 \times 0.275 m^3 \times 60'} = 20.30 m$  einfache Hübe oder 10.15 Umdrehungen der Kurbelscheibe per 1 Minute zu machen haben. Die daraus resultierende Kolbengeschwindigkeit von  $\frac{20.30 m}{60'} = 0.3383 m$  per Secunde, ist noch um etwas geringer als diejenige während des normalen Ganges des in Rede stehenden Gebläses; dasselbe hat 0.664 m Cylinderdurchmesser und 1.000 m Hub. Bei Zukunftsberechnungen, betreffend die Anzahl der zu einer pneumatischen Fundierung erforderlichen Gebläse, ist es der Vorsicht halber angezeigt, nur auf deren mittlere Leistungsfähigkeit zu reflectiren, um im äussersten Falle, z. B. zur Deckung von abnormen Luftverlusten, noch die maximale Leistungsfähigkeit der Maschine zur Verfügung zu haben.



## MITTHEILUNGEN

über

# pneumatische Fundirungen und Erfahrungsresultate

über

## die dabei vorkommenden Reibungswiderstände.

### Einleitung.

Bei der Ausführung von pneumatischen Fundirungen zu Brückenpfeilern, Quaimauern u. s. w. ist es für den die Arbeiten direct leitenden Ingenieur interessant und auch von Wichtigkeit zu wissen, welchem Reibungswiderstande die zu versenkenden Röhren oder Caissons in den verschiedenen Terrainschichten und Tiefen unterworfen sind, um danach die zur Bewältigung dieser Reibung erforderliche Belastung, sei es durch Beton, Mauerwerk oder durch ein aus anderen Materialien bestehendes oder auf andere Weise provisorisch anzubringendes Gewicht, rechtzeitig herstellen lassen, und den aus dieser Ursache vorkommenden zeitraubenden und kostspieligen Unterbrechungen während der Versenkung nach Möglichkeit vorbeugen zu können.

Aber nicht allein für den ausführenden Ingenieur, sondern auch für den Projectanten sind die Daten bezüglich des in Rede stehenden Reibungswiderstandes von Nutzen. Sind z. B. in der Trace einer projectirten Flussübersetzung Sondirungen gemacht worden, aus welchen hervorgeht, dass bis zu einer grossen Tiefe des Flussbettes keine sogenannte tragfähige Terrainschicht (Tegel, Letten, Fels), sondern nur angeschwemmtes Material (Sand und Schotter) vorhanden ist, so lässt sich, wenn die Form des Pfeilers, dessen Eigengewicht und die ganze darauf entfallende stetige und zufällige Belastung bekannt sind, mit Berücksichtigung des entsprechenden Reibungswiderstandes leicht ermitteln, bis zu welcher Tiefe der Pfeiler unter der Flusssohle zu versenken ist, um die Belastung theilweise mit dem Reibungswiderstande am Umfange des Fundamentes auszugleichen, ohne ausschliesslich auf die Tragfähigkeit des Untergrundes

zu reflectiren. Selbstredend darf in diesem speciellen Falle der obere Theil des Terrains, welcher allfälligen Auskolkungen unterworfen ist, nicht in Rechnung gebracht, sondern muss von der Reibungsfläche, beziehungsweise von der Versenkungstiefe abgezogen werden.

Die vorliegenden in grossem Maassstabe ausgeführten Versuche, betreffend die bei pneumatischen Fundirungen vorkommenden Reibungswiderstände, dürften aber auch meines Erachtens dazu beitragen, ein neues Licht auf die Theorie des Erddruckes zu werfen, deren Ausarbeitung auf Grund des vorliegenden Materials ich einem Berufenen gern überlasse. In meiner Absicht liegt nur, die von mir seit 1863 gesammelten Versuchsergebnisse hierdurch bekannt zu geben, und den praktischen Nutzen, welcher sich bei auszuführenden analogen Fundirungen aus denselben ziehen lässt, hier in Kürze zu beleuchten.

### Belastung der Objecte während ihrer Versenkung.

Ist während der Versenkung die Belastung eine zu geringe, so wird das zu versenkende Object (Rohr oder Caisson), trotzdem dasselbe untergraben ist und folglich mit seiner Schneide nicht aufsitzt, durch die seitliche Reibung seiner Aussenfläche mit der Terrainschicht schwebend gehalten und am Eindringen in den Boden verhindert; ja es kann der Fall eintreten, dass dasselbe infolge ungenügender Belastung durch den inneren Luftdruck wieder gehoben wird. Ist dagegen die Belastung viel grösser, als zur Ueberwindung der Reibung nothwendig ist, und übersteigt sie die Tragfähigkeit der Arbeitskammer, so können bei letzterer Deformation oder gar Brüche eintreten. Beide Fälle sind mir in meiner Praxis vorgekommen.



Bestehen die zu versenkenden Pfeiler bis unter den eisernen Oberbau einer Brücke aus gusseisernen Röhren, welche innen mit Beton ausgefüllt sind — wie dies z. B. am Viaduct von Argenteuil, und am Viaduct von Orival bei Elbeuf, beide über die Seine, der Fall ist — so lässt sich die erforderliche Belastung im Inneren der Röhren leicht anbringen und nach Belieben reguliren, indem die gusseiserne Hülle, welche gleichzeitig einen Fangedamm bildet, während der Versenkung mit ihrer Oberkante ohnehin immer über dem Wasserspiegel gehalten werden muss, wogegen die Oberkante des im Inneren derselben brunnenförmig angebrachten Betonkörpers, welcher gleichzeitig Belastung bildet, je nach den Umständen über oder unter dem Wasserspiegel gehalten werden kann. (Siehe Fig. 4, Blatt 1.)

Auf ähnliche Weise lässt sich die Belastung durch Beton oder Mauerwerk nach Belieben reguliren, wenn es sich um die Versenkung von schmiedeeisernen Caissons handelt, über deren Arbeitskammern Verkleidungsbleche (hausses) angebracht sind, welche bis über den jeweiligen Wasserspiegel emporragen.

#### **Betrachtungen über pneumatische Fundirungen mit und ohne Verkleidungsbleche.**

Die Verkleidungsbleche, auch Mantelbleche genannt, gewöhnlich 4 mm stark und in Reihen von 1 m Höhe, nach innen mit horizontal laufenden Winkelleisen versteift, dienen nicht allein zum Schutze des Fundamentmauerwerkes gegen den Reibungswiderstand während der Versenkung, sondern auch als Fangedamm gegen das Wasser. Je nach der Güte ihrer Vernietung und Fugenverdichtung ermöglichen dieselben eine mehr oder minder trockene Ausführung des Mauerwerkes in freier Luft, bei einer Tiefe von mehreren Metern unter dem äusseren Wasserspiegel. (Siehe z. B. Fig. 1). Anders dagegen verhält es sich bei sogenannten Brunnenfundirungen ohne Metallhülle, und bei Caissons ohne Anwendung der erwähnten Verkleidungsbleche, bezw. ohne Fangedamm. In diesem Falle und unter der Voraussetzung, dass man die Versenkung nicht auf dem Trockenen, sondern in einem offenen Gewässer auszuführen habe, muss das Mauerwerk, um die Herstellung desselben bewerkstelligen zu können, mit seiner Oberkante beständig über dem Wasserspiegel gehalten werden, und es kann daher von einer beliebigen Belastung im richtigen Verhältniss zur Reibung und zur Widerstandsfähigkeit des Caisson nicht die Rede sein. Bei der Versenkung von Caissons ohne Verkleidungsbleche sind an ersteren nicht allein Deformationen infolge übermässiger Belastung, sondern auch an dem darauf ruhenden Fundamentmauerwerk Risse und theilweise Hebung der oberen Schichten, wenn die Höhendifferenz zwischen letzteren und der Terrainsohle eine ungenügende war, infolge des Reibungswiderstandes eingetreten. Schon das Herablassen eines Caisson oder Brunnens ohne Schutzbleche bezw. ohne Fangedamm, von dem Gerüstboden bis auf die Stromsohle dürfte unter gewissen Stromverhältnissen, wie ich solche u. A. während genannter Operation am rechtsseitigen Portalpfeiler der Kehler Rheinbrücke 1859, dann am Strompfeiler Nr. IV der Eisenbahnbrücke in Arles-sur-Rhône (1865)

und am Strompfeiler Nr. I der Eisenbahnbrücke (für die k. k. priv. Staatsbahn-Gesellschaft) über die Donau zwischen Wien und Stadlau (1868) aus eigener Erfahrung kennen gelernt habe, auf nicht zu unterschätzende Schwierigkeiten stossen. Die Caissons des erstgenannten Pfeilers waren ohne, dagegen die der beiden letztgenannten Pfeiler mit Verkleidungsblechen versehen; die drei vorbenannten Pfeiler stehen im Thalweg der genannten Ströme. Die Caissons der beiden ersteren waren von festen, derjenige des letztgenannten dagegen war von einem schwimmenden Gerüste herabzulassen.

Da während der in Rede stehenden Arbeit der mittelst starker Ketten am oberen Gerüstboden hängende Caisson behufs seiner successiven Einsenkung in das Wasser mit Mauerwerk belastet werden muss, welches an Gewicht demjenigen des verdrängten Wasservolumens zu entsprechen hat, und die Herstellung dieses Mauerwerkes oder die Aufbringung einer andern analogen Belastung auch bei der möglichst thunlichen Beschleunigung immerhin eine gewisse Zeit beansprucht, während welcher die Kolkungen unter dem Caisson ganz erschreckende Dimensionen annehmen — dieselben betrogen während des Herablassens des rechtsseitigen Portalpfeilers der Kehler Rheinbrücke 430 m und am Pfeiler IV der Eisenbahnbrücke über den Rhône in Arles nach Fig. 1, Blatt 1', 4.75 m — so liegt bei festen Gerüsten die Gefahr der gänzlichen Entkolkung der inneren Pilotenreihe sehr nahe. Partielle Setzungen der Gerüste treten in solchen Fällen gewöhnlich ein. Man darf dann auf die Tragfähigkeit der Gerüste, trotz der rechtzeitigen Anbringung von Steinwürfen um die entwurzelten Piloten, kein grosses Vertrauen setzen, d. i. man darf dieselben nicht zu viel belasten. Diese Vorsichtsmaassregel lässt sich wohl dann beobachten, wenn auf dem betreffenden Caisson eiserne oder hölzerne Schutzwände (Fangedämme) angebracht sind, nicht aber ohne letztere und, wenn infolge dessen das Mauerwerk, in welchem man allerdings, behufs Gewichtsverminderung brunnenförmige, nachträglich auszumauernde oder mit Beton auszufüllende Aushöhlungen anbringen kann, mit seiner Oberkante absolut über dem jeweiligen Wasserspiegel gehalten werden muss.

Bei grossen Wassertiefen und felsiger Stromsohle, wo die Anwendung von schwimmenden Gerüsten geboten ist (wenn überhaupt Gerüste unentbehrlich sind), wäre das Herablassen von Caissons oder gemauerten Brunnen ohne Verkleidungsbleche bezw. ohne Fangedämme sicherlich auch mit mehr Gefahr verbunden, als bei solchen mit Verkleidungsblechen, weil dem Pontongerüst unter gewissen und möglicherweise eintretenden Umständen zuviel zugemuthet werden könnte.

Es muss hier noch hervorgehoben werden, dass an den aus gusseisernen Röhren bestehenden Pfeilern und an den mit Verkleidungsblechen versehenen Caissons, sobald sie von den Gerüsten herabgelassen und nachdem sie mit ihrer Basis je nach den Stromverhältnissen und der Beschaffenheit der Flusssohle um einige Meter im Terrain versenkt sind und vertical stehen, die Führungsketten ganz entfernt werden können, wodurch bei genügender Belastung die weitere Versenkung rascher voranschreitet, und das Eindringen von



aufgelockertem Erdmaterial in die Arbeitskammern auf ein Minimum beschränkt wird. Dagegen geht die Versenkung von Caissons ohne Verkleidungsbleche, d. i. bei solchen, wo die Oberkante des Belastungs- bzw. Fundamentmauerwerkes immer über dem äusseren Wasserspiegel gehalten wird, langsamer von Statten, weil die Arbeitskammer in gewissen Fällen des Mauerwerkes halber bis zu beendigter Versenkung an den Ketten befestigt bleiben muss, letztere aber dazu beitragen, dass die Senkung des Caisson mit der inneren Ausgrabung nicht immer gleichen Schritt hält, wodurch viel aufgelockertes Erdmaterial von aussen unter der Schneide der Arbeitskammer in die letztere eindringt, und ein weit grösseres als das wirklich durch den Pfeiler verdrängte Volumen an Aushub zu bewältigen ist. Das durch die vier Stropfweiler der Rheinbrücke zwischen Strassburg und Kehl (Stropfweiler, welche unter diesen Verhältnissen versenkt wurden) verdrängte — d. i. im Abtrag gemessene — Volumen betrug etwa  $10\,458\text{ m}^3$  mit Sand vermischten Schotters, wogegen die zu Tage geförderte, d. i. in der Anschüttung gemessene und dem Unternehmer bezahlte Masse rund  $16\,000\text{ m}^3$  ergab. Das Verhältniss zwischen dem verdrängten und dem zu Tage geförderten Volumen variierte an den vier Pfeilern zwischen 1:1.21 und 1:2.28 und war durchschnittlich wie 1:1.53 einschl. der Auflockerung.

Es liegt nicht in meiner Absicht, hier alle Vortheile, welche erfahrungsmässig für die Anwendung von Verkleidungsblechen sprechen, und alle Nachtheile, welche deren Weglassung nach sich zieht, näher zu erörtern; ich hoffe bei Gelegenheit einer späteren Besprechung hierauf zurückkommen zu können.

#### Reibungswiderstand und dessen Ermittlung bei pneumatischen Fundrungen.

Der Reibungswiderstand ist verschieden je nach der Beschaffenheit der zu durchdringenden Terrainschichten und des mit denselben in Contact kommenden Verkleidungsmaterials des zu versenkenden Objectes; auch die Form des letzteren ist hierbei von wesentlichem Einfluss. Bei gleichartiger Beschaffenheit des Terrains und unter gleichen Umständen ist, laut meinen Erfahrungen, der Reibungswiderstand bei Versenkung von gusseisernen Cylindern und quadratischen Caissons bedeutend geringer als bei Caissons mit länglicher Grundfläche.

Ich beschränke mich hier auf die Ermittlung des Reibungswiderstandes bei pneumatischen Versenkungen von gusseisernen Cylindern, und von schmiedeeisernen genieteten Caissons mit verticalen Umfangswänden und mit Verkleidungsblechen bis über den Wasserspiegel, in denjenigen Terrainschichten, welche hauptsächlich in der Seine, im Rhein und in der Donau vorkommen.

Zur Feststellung des Reibungswiderstandes sind während der Versuche und Beobachtungen folgende Bedingungen zu erfüllen:

1. muss der in Versenkung befindliche Gegenstand (Rohr oder Caisson) vertical stehen;
2. darf derselbe nicht mehr an den Führungsketten befestigt, sondern muss sich selbst überlassen, d. i. äusserlich vollkommen frei sein;

3. die Schneide muss an ihrem inneren Umfange auf mindestens  $0.15\text{ m}$  untergraben und das Aushubmaterial aus der Arbeitskammer entfernt sein, so zwar, dass das Object nicht unten aufsteht, sondern lediglich durch die Reibung an seiner äusseren Umfangsfläche und durch den inneren Luftdruck, welcher letzterer der verdrängten Wassersäule entspricht, schwebend gehalten wird;

4. das Totalgewicht des Objectes muss geringer sein, als das zur Ueberwindung der Reibung erforderliche Gewicht plus demjenigen der verdrängten Wassersäule, widrigenfalls die Senkung auch eintritt, ohne dass Luft abgelassen wird, und ohne dass die Schneide untergraben ist, ja dass sich die letztere sogar in das Terrain eindrückt; es muss folglich der Versuch dann gemacht werden, wenn das Object nicht mehr durch sein eigenes Gewicht, und nicht ohne Verminderung des inneren Luftdruckes sinkt.

Wenn obige Bedingungen erfüllt und die Arbeiter aus der Luftschleuse herausgestiegen sind, nimmt der in unmittelbarer Nähe des Gegenstandes befindliche Beobachter genaue Notiz vom inneren Luftdruck nach Anzeige des auf der Luftschleuse angebrachten Manometers, lässt einen zuverlässigen Arbeiter auf die Luftschleuse steigen, um auf ein vereinbartes Zeichen, behufs Ablassens comprimierter Luft, das Sicherheitsventil zu öffnen und um, nachdem sich das Rohr oder Caisson in die sinkende Bewegung gesetzt hat, das Ventil wieder rasch zu schliessen. Sobald nun der zum Handhaben genannten Ventils bestimmte Arbeiter an seinem Posten ist, lässt der Beobachter vorerst die Gebläsemaschine abstellen, und dann kann das Sicherheitsventil auf der Schleuse geöffnet werden. Der Zeiger des Manometers geht dann gleichzeitig mit der Druckabnahme rückwärts, und sobald der innere Gegendruck infolge der ausströmenden Luft so weit vermindert worden ist, dass dessen nach aufwärts wirkendes Kraftmoment, einschl. der Reibungswiderstände an der Umfangsfläche des in der Erde steckenden Theiles des Objectes, um ein Geringes kleiner geworden ist, als das nach abwärts wirkende Totalgewicht desselben, wird die Senkung des letzteren beginnen. In diesem Momente ist der restirende innere Druck auf dem Manometer genau abzulesen und das Ventil zu schliessen. Behufs Controle wäre es angezeigt, durch eine selbstthätige Vorrichtung, oder in Ermanglung einer solchen durch einen Caisson-Arbeiter, welcher sich sofort verschleusst, beispielsweise mittelst eines Senkbleies constatiren zu lassen, wie hoch unterdessen das Grundwasser im Arbeitsraume gestiegen ist.

Je nachdem die Terrainschichten, in welchen die Versenkung vor sich geht, sandig oder lehmig sind, dringt während der Abnahme des Luftdruckes das Grundwasser schneller oder langsamer in den unteren Arbeitsraum ein. Besteht das angeschnittene Terrain aus Schotter und Sand so hält der Wasserandrang in der Arbeitskammer so ziemlich gleichen Schritt mit der Abnahme des Luftdruckes, besonders bei geringen Versenkungstiefen und langsamer Luftablassung. Besteht die unterste Schichte dagegen aus Lehm oder Tegel, so ist es nicht selten, dass wenn die comprimerte Luft schnell und total abgelassen wird, das Wasser erst nach einer gewissen Zeit, oft erst nach Verlauf von mehreren Stunden, anfängt, in die Arbeitskammer einzudringen. Gleichzeitig



mit dem Grundwasser wird auch Erdmaterial von aussen in die Kammer gedrängt.

Trotz der stattlichen Reihe von Röhren- und Caisson-versenkungen, mit welchen ich mich seit etwa 18 Jahren unmittelbar zu befassen hatte, ist es mir doch verhältnissmässig selten gelungen, die eben beschriebenen Versuche mit Erfolg machen zu können, und zwar einerseits aus dem Grunde, weil es die Umstände selten erlaubten, ein in Versenkung befindliches Object, welches allen oben aufgezählten Bedingungen vollkommen entspricht, zur Verfügung zu haben und andererseits aus Gründen, deren Darlegung nicht hierher gehört. Wie sich die Reibungswiderstände bei Versenkungen von gemauerten Brunnen und Caissons ohne Schutzwände oder mit solchen aus Holz, zu denjenigen bei pneumatischen Fundirungen mit Verkleidungsblechen verhalten, konnte ich bisher aus eigenen Beobachtungen noch nicht ermitteln. Schon während der Versenkungsperiode der vier Strompfeiler der Rheinbrücke zwischen Strassburg und Kehl (vom 22. März bis 24. December 1859) wäre wohl zu derartigen Versuchen Gelegenheit geboten gewesen, allein abgesehen davon, dass die damaligen Luftsclüssen weder mit Sicherheitsventilen noch mit Manometern versehen waren, und dass die Caissons bis zur vorgeschriebenen und auch erreichten Versenkungstiefe von 20 m unter dem niedrigsten Rhein-Wasserstande vom Jahre 1848 an den Führungsketten hängen bleiben mussten, so würden die Neuheit des pneumatischen Verfahrens mit Caissons und der Mangel an Erfahrungen auf diesem Gebiete, Umstände, welche dem in

Diensten der französischen Ostbahn-Gesellschaft stehenden Baupersonal (dem während 6 Jahren anzugehören ich die Ehre hatte) zur Pflicht machten, mit aller Vorsicht zu Werke zu gehen, es damals nicht zugelassen haben, einen Caisson durch plötzliches Ablassen der comprimierten Luft ruckweise zu versenken. Ein solches Experiment wäre unter obigen Verhältnissen, wo nicht als gefährlich, doch mindestens als sehr bedenklich erschienen. In Ermanglung specieller Versuche behufs Feststellung des Reibungswiderstandes habe ich in folgender Tabelle für jeden der vier Pfeiler dieser Brücke die während der Versenkung vorgekommenen geringsten Belastungen pro Quadratmeter Reibungsfläche verzeichnet.

Es wird hier vorausgeschickt, dass die schmiedeeisernen Caissons der Rheinbrücke zwischen Strassburg und Kehl 3.40 m äussere Wandhöhe haben, dass derjenige des Pfeilers I (Portalpfeiler der linken Stromseite) mit einer Schutzwand von Tannenh Holz bis zum oberen Fundamentabsatz, und diejenigen der Pfeiler II, III und IV mit nur 3 m hohen und etwa 3 mm dicken Verkleidungsblechen versehen sind, über welche letzteren die roh bearbeiteten Quaderverkleidungen des Beton-Fundamentmauerwerkes während der Versenkung direct mit der Erde (Schotter mit Sand vermisch) in reibender Berührung standen.

Die beiden Portalpfeiler I und IV haben Caissons von 7.00 m Breite, 23.35 m Länge und 163.45 m<sup>2</sup> Grundfläche; die Caissons der beiden Mittelpfeiler II und III haben 7.00 m Breite, 17.50 m Länge und 122.50 m<sup>2</sup> Grundfläche.

Rheinbrücke zwischen Strassburg und Kehl. Minimalbelastungen bei Versenkung der Strompfeiler.

Pfeiler-Nummer	Zeit der Beobachtung	Caisson-Tiefe			Stand des Manometers Ueberdruck in Atm.	Totalgewicht der Caissons sammt Beton und Mauerwerk an diesem Tage	Auftrieb des verdrängten Wassers	Belastung nach Abzug des Auftriebes	Reibungsfläche des Pfeilers an seinem Umfange im Boden	Minimal-Belastung pro Quadratmeter Reibungsfläche im Boden	Beschaffenheit des Terrains
		im Boden	unter (Pegel-Null) Niederwasser v. 1848	unter dem Wasserspiegel							
I	1859 28. Mai	18.37	20.06	22.18	2.10	6 075 059	3 444 554	2 630 505	1 121	2 347	Bis 6.00 unter 0 Schotter, dann eine Lage Faschinen mit Tegel, dann Schotter bis 20.06 unter Null.
II	15. Novemb.	18.12	20.05	22.10	2.20	4 690 400	2 512 770	2 177 630	889	2 451	Bis 14.50 unter 0 nur Schotter, von 14.50 bis 17.50 feiner Schotter mit Tegel, von 17.50 bis 20.05 feiner Sand mit Schotter.
III	23. Decemb.	18.39	20.00	21.00	2.00	4 567 940	2 387 700	2 180 234	901	2 417	Bis 16.00 unter 0 nur Schotter, von 16.00 bis 20.00 nur feiner Sand.
IV	14. Septemb.	14.72	20.00	21.45	2.025	6 692 666	3 361 481	3 361 481	898	3 743	Bis 20.00 unter 0 gleichmässiger Schotter, nur in der linken stromabwärtigen Ecke feiner Sand.

Da die Versenkungen unter den oben verzeichneten Minimalbelastungen, deren jede an dem betreffenden Pfeiler nur einmal und zwar unmittelbar, bevor die Tiefe von 20 m unter Null des Pegels erreicht worden war, vorgekommen ist, noch vor sich gehen konnten, ohne dass man in den Caissons den Gegendruck der comprimierten Luft vermindert hatte, so ist wohl anzunehmen, dass der Reibungswiderstand geringer war als diese Minimalbelastungen.

In den im September 1859 von Seiten der Bauleitung der

französischen Ostbahngesellschaft aufgestellten Berechnungen behufs Projectirung der Caissons zur Kehler Rheinbrücke hat man sich zur Bestimmung des zu bewältigenden Reibungswiderstandes folgender Formeln und Werthe bedient:

$$Q = \frac{ph^2}{2} \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}$$

darin bedeutet:

$Q$  den normalen Erddruck pro Hd. Meter Länge am Umfang des Caisson.



$p$  das Gewicht von 1 Kubikmeter Schotter und Sand =  $1600 - 0.75 \cdot 1000 = 850 \text{ kg.}^*)$

$h$  die Tiefe des Caisson im Boden nach beendigter Versenkung =  $18.00 \text{ m.}$

$\alpha$  den Ergänzungswinkel vom natürlichen Böschungswinkel =  $45^\circ$ .

$$\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2} = 0.17.$$

Die durchgeführte Berechnung ergibt  $Q = 23.409 \text{ kg}$  als Normaldruck pro lfd. Meter am Umfang des Caisson. Der Reibungscoefficient wurde mit  $0.40$  angenommen, woraus sich dann die dem Eindringen des Caisson entgegenwirkende Reibung ergab mit

$$23\,409 \cdot 0.40 = 9363.60$$

Kilogramm pro Meter Umfangslänge des Caisson und  $18.00 \text{ m}$  Tiefe in der Erde.

Aus dieser Berechnung ergab sich der Reibungswiderstand pro Quadratmeter Umfangsfläche des Pfeilers in der Erde mit nur  $\frac{9364}{18} = 520 \text{ kg.}$

Aus directen Versuchen, welche ich später an anderen Caissons vorgenommen habe, ersah ich, dass der Reibungswiderstand in Wirklichkeit bedeutend grösser ist, als der aus obiger Berechnung resultirende. Es ist daher auch erklärlich, warum die eisernen Caissons am Pfeiler I der Kehler Rheinbrücke, nachdem die Versenkung erst  $3.59 \text{ m}$  in der Erde oder  $5.30 \text{ m}$  unter dem Pegel-Null betrug, sich zu deformiren begannen und behufs weiterer Versenkung durch im Inneren angebrachte Sprengwerke von Eichenholz und Eisenbahnschienen, unter wesentlicher Gefahr und beträchtlichem Aufwand von Arbeitskräften und Kosten verstärkt werden mussten, wie dies aus Fig. 2 zu ersehen ist. An einigen Stellen, namentlich an den Ecken, Fig. 3, war die eiserne Umfangswand bis zu  $0.20 \text{ m}$  durch den Erddruck nach einwärts gebogen worden, und waren mehrere verticale Vernietungen derart geöffnet, dass das Wasser und das Geschiebe in die Arbeitskammern eindrangen.

Die Caissons der drei anderen Pfeiler entgingen demselben Schicksale nur dadurch, dass die Schneiden derselben beträchtlich verstärkt wurden und dass man, sobald sie von den Gerüsten herabgelassen waren und auf der Flusssohle standen, die Wände und Decken durch im Inneren der Arbeitskammern angebrachte Gewölbchen aus Ziegelmauerwerk in Cementmörtel versteifte. Dieses Mauerwerk wurde in comprimierter Luft ausgeführt.

Abgesehen davon, dass obige Formel für den vorliegenden Fall nicht anwendbar ist, so ist aber auch der in dieselbe eingesetzte Werth für  $p$  viel zu gering angenommen; auch dürfte meines Dafürhaltens die Annahme einer Gewichtsverminderung des Erdmaterials unter Wasser eine unrichtige sein.

#### Gewichtsermittelungen einiger in der Donau bei Wien vorkommenden Erdmaterialien.

Die durch die Bauunternehmung Gebr. Klein, Ad. Schmoll & E. Gaertner während des Monats April 1875

\*) Bei der Berechnung wurde also ein Gewichtsverlust des Erdreichs angenommen.

in Wien ausgeführten Versuche, betreffend das Gewicht einiger Erdmaterialien, haben folgende Resultate ergeben:

1 m <sup>3</sup> Wellaand, erdfeucht, aus über dem Grundwasser gelegenen Terrain gewonnen, in der Anschüttung gemessen . . . . .	1 085 bis 1 200 kg
1 m <sup>3</sup> Wellaand über Feuer getrocknet	1 300 — 1 376 "
1 m <sup>3</sup> " mit Wasser gesättigt	1 750 — 1 820 "
1 m <sup>3</sup> Schlamm " " "	1 645 — 1 731 "
1 m <sup>3</sup> " über Feuer getrocknet	1 150 kg
1 m <sup>3</sup> Schlammbröckel, erdfeucht, aus über dem Grundwasser gelegenen Terrain gewonnen, aber häufig überschwemmt gewesen . . . . .	1 815 "
1 m <sup>3</sup> Schotter mit Sand, gebaggert, noch nass. . . . .	1 875 "
1 m <sup>3</sup> Schotter mit Sand, vollständig mit Wasser gesättigt . . . . .	2 190 "
1 m <sup>3</sup> Schotter mit Sand, erdfeucht, über dem Grundwasserterrain gewonnen	1 830 "

#### Versuche des Verfassers über Reibungscoefficienten.

Reibungscoefficienten, welche auf diejenigen Materialien und Berührungsflächen, wie solche bei pneumatischen Versenkungen hauptsächlich vorkommen, Anwendung finden, waren mir früher nicht bekannt, und habe ich, um diese Lücke auszufüllen, die in nachfolgender Tabelle verzeichneten Coefficienten durch directe, im Monat März 1876 in Wien angestellte Versuche mittelst Dynamometer bestimmt.

Im Gegensatz zu den vom General Morin gemachten umfassenden und auf andere Materialien sich beziehenden Versuchen, geht aus den hier in Rede stehenden hervor, dass für die rauhen Materialien der Reibungswiderstand der Ruhe, sowohl bei trockenen als bei nassen Berührungsflächen, auf Schotter (Geschiebe) mit Sand vermennt durchgehends erheblich geringer ist als derjenige der Bewegung.

Dasselbe ist der Fall für die der Beobachtung unterzogenen Materialien mit trockenen Berührungsflächen auf trockenem Wellaand.

Da es sich, wie erwähnt, um Materialien mit rauhen Berührungsflächen handelt, so lässt sich die eben hervorgehobene Thatsache durch die Annahme erklären, dass während der Bewegung die kleinen Vertiefungen und Unebenheiten der Blech-, Gusseisen-, Holz- und Steinflächen sich mit trockenem Sand ausfüllen und letzterer mit fortgezogen wird, so dass es beinahe darauf hinauskäme, als wären zwei trockene Sandflächen mit einander in reibender Berührung.

Dagegen tritt bei nassen Berührungsflächen genannter Materialien, mit Ausnahme des Granits, auf nassem Wellaand das Gegentheil der hervorgehobenen Thatsache ein, d. i. die Reibung der Bewegung ist in diesem Falle geringer als diejenige der Ruhe.

Wahrscheinlich bildet hier der mit Wasser gesättigte Sand eine festere Unterlage für die darüber gleitenden nassen Körper, und es werden dann die Unebenheiten und



Bezeichnung der Materialien	Reibungs-Coefficienten				Bemerkungen
	der Ruhe	der Bewegung	der Ruhe	der Bewegung	
	f. trockene Materialien		für nasse Materialien		
Eisenblech (ohne Nieten) auf Schotter mit Sand	0·4015	0·4583	0·3348	0·4409	Jedes einzelne Resultat ist das mittlere Ergebnis aus mindestens 10 Versuchen. — Zwischen je 2 Versuchen war eine Pause von 8 bis 10 Minuten. — Sämtliche Materialien waren vorn schliffenförmig abgerundet und wurden ihrer Länge nach horizontal über das Schotter- bzw. Sandbett gezogen; letzteres war gut geebnet und so fest gelagert, als es sich in seinem natürlichen (gewachsenen) Zustande befinden dürfte. Das mit Nietköpfen versehene Eisenblech hatte deren 25 Stück auf einer Fläche von $0·77 \cdot 0·51 = 0·393 \text{ m}^2$ ; die Nietköpfe waren halbrund, geschellt und hatten 20 mm Durchmesser.
Eisenblech (mit Nieten) „ „ „ „	0·3965	0·4911	0·4677	0·5481	
Gusseisen (ungehobeltes) „ „ „ „	0·3677	0·4668	0·3646	0·4963	
Granit (rauh bearbeiteter) auf „ „ „ „	0·4266	0·5368	0·4104	0·4800	
Tannenholz (geschnittenes) „ „ „ „	0·4088	0·5109	0·4106	0·4985	
Eisenblech (ohne Nieten) auf Wellaand . . .	0·5361	0·6313	0·3655	0·3247	
Eisenblech (mit Nieten) „ „ . . .	0·7269	0·8391	0·5156	0·4977	
Gusseisen (ungehobeltes) „ „ . . .	0·5636	0·6063	0·4744	0·3796	
Granit (rauh bearbeiteter) auf „ „ . . .	0·6473	0·7000	0·4728	0·5291	
Tannenholz (geschnittenes) „ „ . . .	0·6633	0·7340	0·5787	0·4793	

kleinen Vertiefungen der letzteren sich nicht so leicht mit Sand ausfüllen als im trockenen Zustande der Berührungsflächen.

Bei Berechnung des Erddruckes am Umfange eines pneumatischen Fundamentes ist der Reibungscoefficient der Ruhe entsprechend dem nassen Erdmaterial und dem mit letzterem in Berührung befindlichen Verkleidungsmaterial des betreffenden Fundamentes anzunehmen, und kann derselbe aus obiger Tabelle entnommen werden.

#### Berechnung des Reibungswiderstandes bei pneumatischen Fundirungen.

##### 1. Beispiel.

Versuch, ausgeführt am 2. Juni 1863 um 10 Uhr Früh an der stromaufwärtigen Säule des Pfeilers V am Eisenbahn-Viaduct über die Seine zu Orival bei Elbeuf in der Normandie.

Sobald die in einer mächtigen und ziemlich gleichmässigen Schotterschicht stehende, in Fig. 4 dargestellte gusseiserne Säule, welche sich seit 32 Stunden nicht mehr bewegt hatte, allen zu einem derartigen Versuche erforderlichen Bedingungen vollkommen entsprach und um etwa 0·75 m unterminirt war, liess ich die Arbeiter aussteigen und das Sicherheitsventil auf der Luftschleuse behufs Luftablassung öffnen. Als der innere Luftdruck von 1·20 Atm. Ueberdruck bis auf 1 Atm. gefallen war, setzte sich die Säule in die sinkende Bewegung, ging in einem Ruck um 0·33 m vertical abwärts und wäre noch tiefer gegangen, wenn ich nicht sofort bei Beginn der Bewegung der weiteren Luftausströmung durch schnelles Schliessen des Sicherheitsventils Einhalt gethan hätte. Das Grundwasser war bis zum Moment der Senkung um 0·87 m Höhe in den unteren Ring eingedrungen.

Einige Minuten nach diesem ersten Versuche machte ich an derselben Säule einen zweiten und dritten, wobei dieselbe um 0·33 m bzw. 0·32 m, also in drei unmittelbar auf einander folgenden Rucken im Ganzen um 0·98 m sank.

Berechnen wir beispielsweise den aus dem ersten Versuch resultirenden Reibungswiderstand.

Die Säule war aus folgenden Theilen zusammengesetzt:

1 unterer Ring von 1·00 m Höhe im Gewichte von 5 840 kg	
Gusseisentheile der Crinoline sammt Bolzen. . .	2 166 kg
12 Fundamentringe von je 1·00 m Höhe zu 3·900 kg	46 800 kg
Gusseiserne Unterlagplatte der Luftschleuse. . .	1 366 kg
520 Verbindungsschrauben der Ringe unter sich	8 74 kg
Schmiedeeiserne Luftschleuse sammt Zubehör. . .	6 450 kg
Holzverkleidung des Steiggeschachtes 6·65 m zu 100	6 65 kg
Beton einschl. Crinoline-Mauerwerk 67·725 m <sup>3</sup> zu	
2 330 kg . . . . .	158 060 kg
Totalgewicht der Säule am 2. Juni 1863	222 231 kg

Hiervon abzuziehen:

Auftrieb des verdrängten Wassers bezw. Gewichtsverlust des unter dem äusseren Wasserspiegel stehenden Theiles der Säule in dem Momente, als der Reibungswiderstand überwunden war und die Senkung begann:

$$[(10 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 1788) + (1 \cdot 00 \cdot 10 \cdot 3491) - (0 \cdot 87 \cdot 9 \cdot 7868)] \cdot 1000 = 105 659 \text{ kg}$$

folglich waren zur Ueberwindung der Reibung erforderlich . . . . . 116 572 kg  
oder für einen verticalen Streifen Umfangsfläche der Säule in der Erde von 1·00 m Breite und 7·75 m Höhe

$$\frac{116 572}{11 \cdot 31} = 10 307 \text{ kg,}$$

oder pro Quadratmeter Reibungsfläche der Säule

$$\frac{116 572}{87 \cdot 65} = 1330 \text{ k.}$$

Dasselbe Resultat wird erzielt, wenn man den bei Beginn der Senkung in der Säule restirenden Luftdruck per Quadratcentimeter mit der horizontalen Querschnittsfläche der als voll betrachteten Säule multiplicirt und zuzüglich des Gewichtes des durch die unter dem inneren Wasserspiegel eintauchenden Wandung des unteren Ringes verdrängten Grundwassers, von dem oben berechneten Totalgewicht der Säule abzieht, also:

$$222 231 - [(10 \cdot 1788 \cdot 1 \cdot 033) + (0 \cdot 87 \cdot 11 \cdot 247 \cdot 0 \cdot 05 \cdot 1000)] = 116 584 \text{ kg.}$$

Die Differenz zwischen beiden Resultaten ist zu gering, (sie



beträgt nur 0.00103 Percent), um uns auf das Aufsuchen der Ursache derselben einzulassen.

Zu erwähnen ist noch, dass die einzelnen aus einem Stück bestehenden und auf der Baustelle an ihren Flanschen abgedrehten und mit gebohrten Bolzenlöchern versehenen Ringe der Säule vor der Montirung mit einem zweifachen Menniganstrich allseitig überzogen worden waren. Es ist jedoch anzunehmen, dass dieser zum grossen Theil gewiss nutzlose Anstrich infolge der Reibung während der Versenkung nicht intact geblieben ist.

## 2. Beispiel.

Versuch, ausgeführt am 5. November 1868 um 12 Uhr Mittags an dem vorderen Caisson des rechtsseitigen Widerlagers der Eisenbahnbrücke über die Donau zwischen Wien und Stadlau (k. k. Staatsbahn-Gesellschaft).

Der in Fig. 5 dargestellte Caisson befand sich in einer nur durch den Leinpfad vom Ufergrate der Donau getrennten und vor Installirung der pneumatischen Versenkung bis auf 0.53 m über dem Nullwasserstand im Trockenem ausgehobenen Baugrube.

Das Terrain bestand aus verschiedenen mit mehr oder weniger Sand vermischten Schotterschichten.

Der Caisson ist von länglich-viereckiger Grundform mit senkrechten Umfassungswänden; die vier Ecken sind im horizontalen Sinne nach dem Radius von 0.25 m abgerundet.

Nachdem der frei und vertical stehende Caisson um etwa 0.15 m untergraben war, und die Arbeiter sich aus der comprimirtten Luft entfernt hatten, liess ich durch das Öffnen eines der auf beiden Luftschleussen befindlichen Sicherheitsventile langsam Luft ausströmen. Als der innere Luftdruck von 0.50 Atm. Ueberdruck bis auf 0.05 Atm. gefallen war, sank der Caisson mit einem Ruck um 0.17 m. Das Grundwasser hatte bis zum Beginn der sinkenden Bewegung den unteren Arbeitsraum ganz und die beiden Schachte auf je 2.19 m Höhe über der Caissondecke angefüllt, war also im Ganzen um 4.39 m hoch über die Schneide des Caisson gestiegen.

Es betrug das Gewicht

des Caisson selbst . . . . .	23 700 kg
der beiden Schachtrohre . . . . .	2 930 kg
der beiden Luftschleussen . . . . .	7 000 kg
der 5 Reihen Verkleidungsbleche . . . . .	7 880 kg
des Strebemauerwerkes im Arbeitsraum	= 30.18.2225 = 67 150 kg
des Beton au der Caissondecke . . . . .	= 27.71.2250 = 62 348 kg
des Mauerwerkes = 274.54.2225 = . . . . .	610 852 kg
Totalgewicht des Pfeilers	781 860 kg

Hievon gehen ab:

Auftrieb des verdrängten Wassers, bezw. Gewichtsverlust des unter dem Wasserspiegel der Donau, welcher in der Baugrube auf derselben Höhe stand, befindlichen Theiles	= 63.40.4.91.1000 = 311 294 kg
minus dem Gewichte des eingedrungenen Grundwassers	[(63.40.2.20 - 30.18) + (2.0.860.2.19)]. 1000 = 113 093 kg
bleibt Gewicht des verdrängten Wasser	198 201 kg

Zur Ueberwindung der Reibung waren erforderlich 583 659 kg oder für einen verticalen Streifen von 1.00 m Breite und 5.53 m Höhe am Umfange des Pfeilers

$$\frac{583\ 659}{36.77} = 15\ 873.24\ kg.$$

oder für jeden Quadratmeter Reibungsfläche am Umfange des Pfeilers in der Erde

$$\frac{583\ 659}{203.34} = 2870.36\ kg$$

Auch hier wird bei genauer Berechnung dasselbe Resultat erzielt, wenn man den im Moment der Senkung constatirten inneren Luftdruck, welcher wie der Kolben einer hydraulischen Presse direct auf der Oberfläche des bis in den Förderschacht eingedrungenen Grundwassers lastet, und somit auch durch das letztere nach allen Seiten sich geltend machenden Druckes auf die ganze Deckenfläche des Caisson nach aufwärts zurückwirkt, mit der Grundfläche des Caisson in Quadratcentimeter multiplicirt und plus dem Gewichtsverluste des unter dem inneren Grundwasserspiegel eingetauchten Theiles des Pfeilers von dem berechneten Totalgewicht des letzteren in Abzug bringt:

$$781.860 - [(634.000.0.05.1033) + (63.40.4.39.1000 - 113.093)] = 583\ 881\ kg.$$

Die Differenz zwischen diesem und dem vorhergehenden Resultate beträgt nur 222 kg oder 0.00038 Percent, und da dieselbe auf das Endresultat keinen nennenswerthen Einfluss auszuüben im Stande ist, so können wir beruhigt darüber hinweggehen.

Wie bereits erwähnt worden ist, kann es vorkommen, dass, wenn sich ein Caisson in einer Tegelschicht befindet, dann trotz der inneren Druckverminderung durch theilweises oder auch durch gänzlichliches Ablassen der comprimirtten Luft das Grundwasser nicht in die untere Arbeitskammer eindringt. Dies war unter anderem der Fall bei den Versuchen, welche ich während der Versenkung des Pfeilers Nr. I (Haupt-Strompfeiler) der Wien-Stadlauer Donaubrücke am 31. December 1868 sowie am 2. und 4. Jänner 1869 anstellte.

Dringt bei eingetretener Senkung des Caisson, infolge theilweiser Verminderung des inneren Luftdruckes, das Grundwasser nicht in den unteren Arbeitsraum ein, so ist behufs Berechnung des Reibungswiderstandes der Auftrieb auf zweierlei Weise zu ermitteln und zwar vorerst dadurch, dass man den restirenden inneren Luftdruck, in Kilogramm pro Quadratcentimeter, mit der Grundfläche des Caisson (vorausgesetzt, dessen Umfassungswand sei nicht geböschet), ebenfalls in Quadratcentimeter, multiplicirt; dann zweitens dadurch, dass man annimmt, die Säule des durch das in Versenkung stehende Object verdrängten Wassers habe nur die der Niveaudifferenz zwischen der Oberfläche der als wasserdicht betrachteten Tegelschicht und dem äusseren Wasserspiegel entsprechende Höhe; denn wenn das Wasser nicht unter die Oberfläche der genannten Erdschicht dringen kann, so kann auch in der Tiefe dieser Erdschicht von einem Displacement des Wassers füglich nicht die Rede sein. Von den beiden derart berechneten Resultaten ist das grössere als dem wirklichen Auftrieb bezw. als das dem Gewichts-



verluste des eingetauchten Theiles des Objectes entsprechende anzusehen und vom Totalgewichte des letzteren abzuziehen; der Rest bezieht den Reibungswiderstand.

3. Beispiel.

Mit Bezug auf das oben Gesagte berechnen wir beispielsweise hier den Reibungswiderstand, welcher sich aus dem am 4. Januar 1869 um 12 Uhr Mittags am Strompfeiler Nr. I (zunächst dem rechtsseitigen Donauer) der Stadlauer Donaubrücke vorgenommenen Versuch ableiten lässt:

Das Gewicht der Eisenbestandtheile des Caisson sammt den darauf montirten Verkleidungsblechen, Schachtröhren und Luftschleussen betrug 56 082 kg

Das Gewicht des Beton und des Mauerwerkes auf der Caissondecke einschl. der Strebenausmauerung in der Arbeitskammer war . . . 1,270 050 kg

Totalgewicht des Fundamentes am 4. Jänner 1869 . . . . . 1,326 132 kg

Als nun nach Oeffnung der Sicherheitsventile auf beiden Luftschleussen der innere Luftdruck von 1 Atm. bis auf 0·85 Atm. gefallen war, fing der Caisson an, sich zu senken und sank infolge weiterer Luftausströmung nach und nach im Verlauf von etwa einer Minute um 0·47 m Tiefe. Das Grundwasser war in den Caisson, welcher sich schon vor der in Rede stehenden Senkung in einer festen und nur mittelst Hacken lösaren Tegelschicht von 1·14 m Dicke befand, nicht eingedrungen. Diese Tegelschicht, deren Mächtigkeit eine sehr bedeutende zu sein scheint, lag mit ihrer Oberfläche bei 8·21 m unter dem Nullwasser bzw. 8·34 m unter dem am genannten Tage constatirten Wasserspiegel, welcher letzterer 0·13 m über dem alten Null-Pegel stand.

Das Gewicht der durch den Pfeiler verdrängten Wassermasse, deren verticale Höhe zwischen Wasserspiegel

und Tegelschicht hier mit 8·34 m angenommen wird, war = 72·38 · 8·34 · 1000 = 603 649 kg, wogegen der Auftrieb der im Caisson restirenden comprimirt. Luft im Momente der Senkung

$$723 800 \cdot 0\cdot85 \cdot 1\cdot033 = 635 532 \text{ kg.}$$

betrug. Dieses letztere Resultat ist, als das grössere von den beiden eben ermittelten, vom Totalgewichte des Objectes abzuziehen. Der Reibungswiderstand am Umfange des Fundamentes auf eine mittlere Tiefe \*) von 5·72 m in der Erde betrug somit

$$1,326 132 - 635 532 = 690 600 \text{ k.}$$

Dringt auch bei gänzlicher Ablassung der comprimirt. Luft aus dem Caisson das Grundwasser nicht in den Arbeitsraum des letzteren ein, so ist das Gewicht der durch das Pfeilerfundament verdrängten Wassermasse, und zwar nur auf die der Niveaudifferenz zwischen dem Wasserspiegel und der wasserdichten Erdschicht entsprechenden Höhe vom Totalgewichte des in Versenkung stehenden Pfeilers in Abzug zu bringen; der Rest ist als Reibungswiderstand zu betrachten. Unter der Voraussetzung, dass die obigen Zahlenbeispiele den Vorgang, welchen ich bei den Versuchen und bei Berechnung der Reibungswiderstände befolgt habe, zur Genüge verdeutlicht haben, erlaube ich mir nun zur Vorführung der tabellarischen Zusammenstellungen der bis jetzt in meinem Wirkungskreise zu Stande gebrachten diesbezüglichen Resultate überzugehen.

\*) Die Terrainoberfläche (Stromsohle) war am Umfang dieses Pfeilers sehr uneben und wechselte mit jedem Tag; am 4. Jänner 1869 lag beispielsweise der höchste Punkt des Terrains um den Caisson bei 2·08 m und der tiefste bei 4·92 m unter dem Nullwasser. Bei jedem Versuche erneuerte ich meine Sondirungsprofile.

Laufende Nummer der Beobachtung	Epoche der Beobachtung			Stand des Caisson bzw. Rohres. Tiefen			Höhe des Mauerwerkes über der Decke des Arbeitsraumes	Stand des Manometers. Ueberdruck in Atmosphären			Totalgewicht d. Objectes an Eisen, Beton, Mauerwerk u.s.w.	Im Moment der Senkung betrug			Reibungswiderstand pro		Senkung des Objectes im Momente der angegebene Depression
	Monat	Datum	Tagesszeit	mittlere in der Erde	unter Pegel-Null	unter Wasser-spiegel		vor Ab-lassung comprimirt. Luft	im Moment der Senkung	De-pression		der Auftrieb d. verdrängten Wassers bzw. der comprimirt. Luft	die Belastung nach Abzug des Auftriebes	Reibungsfläche des Pfeilers an seinem Umfange in der Erde in Quadratmeter	Reibungsfläche des Pfeilers in der Erde	Meter Pfeilerumfang in der Erde	
<b>A. Viaduct über die Seine zu Orival (Eisenbahn von Serquigny nach Rouen).</b>																	
a) Pfeiler Nr. V, stromaufwärtige Säule.																	
1	1863	Juni	2 10 Uhr Morgens	7·75	9·70	11·20	6·91	1·200	1·000	0·200	222 231	105 659	116 572	87·65	1329·97	10 307	0·33
2	do.	do.	do.	8·08	10·03	11·53	6·91	1·200	0·800	0·400	222 231	97 600	124 631	91·38	1363·87	11 020	0·33
3	do.	do.	do.	8·41	10·36	11·86	6·91	1·230	0·600	0·600	222 231	98 647	123584	95·12	1299·24	10 927	0·32
b) Pfeiler Nr. V, stromabwärtige Säule.																	
4	do.	do.	do.	7·94	9·39	10·30	7·00	1·100	0·950	0·150	222 231	100 273	121 958	89·80	1358·11	10 783	0·50
5	do.	do.	5 2 Uhr Nachm.	8·79	10·24	11·19	7·00	1·200	0·400	0·800	222 231	90 497	131 734	99·41	1325·26	11 649	0·56
6	do.	do.	do.	12·20	13·65	14·30	7·00	1·450	0·500	0·950	246 348	120 250	126 098	137·98	913·88	11 149	0·50
7	do.	do.	23 6 Uhr Abends	13·15	14·60	15·15	7·00	1·600	0·500	1·100	246 348	128 093	118 255	148·73	795·09	10 455	0·10



Laufende Nummer der Beobachtung	Epoche der Beobachtung			Stand des Caisson bzw. Rohres. Tiefen			Höhe des Mauerwerkes über der Decke des Arbeitsraumes	Stand des Manometers. Ueberdruck in Atmosphären			Totalgewicht d. Objects an Eisen, Beton, Mauerwerk u.s.w.	Im Moment der Senkung betrug		Reibungswiderstand pro	Senkung des Objects im Moment der angegebene Depression		
	Monat	Datum	Tageszeit	mittlere in der Erde	unter Pegel	unter Wasser-spiegel		vor-Ab-lassung comprimirt. Luft	im Moment der Senkung	De-pression		der Auftrieb d. verdrängten Wassers bzw. der comprimirt. Luft	die Belastung nach Abzug des Auftriebes			Quadratmeter Reibungsfläche des Pfeilers in der Erde	Meter Pfeilerumfang in der Erde
				Meter				Kilogramm				Kilogramm				Kilogramm	
<b>c) Rechtsseitiger Landpfeiler, stromabwärtige Säule.</b>																	
8	September	3	2 Uhr Nachm.	16.45	16.10	16.75	9.50	1.800	0.500	1.300	300 176	142 861	157 315	186.05	845.55	13 909	0.18
9	do.	3	10 Uhr Abends	16.67	16.28	17.53	9.50	1.800	0.400	1.400	300 176	141 270	153 906	188.54	842.82	14 050	0.22
10	do.	4	10 Uhr Morgens	16.86	16.51	17.66	9.50	1.800	0.300	1.500	300 176	131 423	168 753	190.69	884.96	14 921	0.12
<b>d) Rechtsseitiger Landpfeiler, stromaufwärtige Säule.</b>																	
11	do.	17	6 Uhr Abends	15.10	14.90	16.00	5.82	1.700	0.800	1.400	226 563	98 572	127 991	170.78	749.45	11 317	0.20
12	do.	18	2 Uhr Nachm.	15.80	15.60	16.45	5.82	1.800	0.500	1.300	226 563	118 654	107 909	178.70	603.86	9 541	0.15
13	do.	18	10 Uhr Abends	15.95	15.75	17.35	5.82	1.800	0.500	1.300	226 563	119 150	107 403	180.39	595.39	9 497	0.20
14	do.	21	6 Uhr Morgens	16.58	16.38	17.40	10.12	1.800	0.300	1.500	312 837	136 752	176 085	187.52	939.02	15 569	0.17

Anmerkungen.

Versuch Nr. 1 fand statt, nachdem die Säule während 32 Stunden sich nicht bewegt hatte. Zwischen den Versuchen Nr. 1, 2 und 3 waren nur Pausen von einigen Minuten eingetreten.

Versuch Nr. 4 fand statt, nachdem die Säule während 4 Stunden sich nicht bewegt hatte.

" " 5 " " " " " " " 4 " " " " "

" " 6 " " " " " " " 4 " " " " "

Trotzdem beim Versuch Nr. 7 die Säule stark unterminirt und anscheinend unten ganz frei war, trotzdem ferner nur noch 1/2 Atm. Luftdruck darin war, senkte sie sich nicht weiter und musste behufs Beendigung der Versenkung nochmals mit Beton belastet werden.

Versuch Nr. 8 fand statt, nachdem die Säule während 18 Stunden sich nicht bewegt hatte.

" " 9 " " " " " " " 8 " " " " "

" " 10 " " " " " " " 12 " " " " "

Das Resultat des Versuches Nr. 14 ist nicht maassgebend, weil die Säule sich mit ihrem unteren Theil in einer mächtigen, kreideartigen Mergelschicht, bestehend aus Geröll und Blöcken, welche letztere mit Anwendung von eisernen Keilen und Krampen zertheilt werden mussten, befand, und es öfter vorkam, dass die Senkung durch einzelne grosse Steine verhindert oder erschwert wurde. Die sämtlichen Säulen dieses Viaductes (14 Stück zu 5 Mittel- und 2 Landpfeilern) haben unter dem Nullwasser 3.60 m und über demselben, d. i. ausserhalb des Fundamentes, 3.20 m äusseren Durchmesser.

Laufende Nummer der Beobachtung	Epoche der Beobachtung			Stand des Caisson bzw. Rohres. Tiefen			Höhe des Mauerwerkes über der Decke des Arbeitsraumes	Stand des Manometers. Ueberdruck in Atmosphären			Totalgewicht d. Objects an Eisen, Beton, Mauerwerk u.s.w.	Im Moment der Senkung betrug		Reibungswiderstand pro	Senkung des Objects im Moment der angegebene Depression		
	Monat	Datum	Tageszeit	mittlere in der Erde	unter Pegel	unter Wasser-spiegel		vor-Ab-lassung comprimirt. Luft	im Moment der Senkung	De-pression		der Auftrieb d. verdrängten Wassers bzw. der comprimirt. Luft	die Belastung nach Abzug des Auftriebes			Quadratmeter Reibungsfläche des Pfeilers in der Erde	Meter Pfeilerumfang in der Erde
				Meter				Kilogramm				Kilogramm				Kilogramm	
<b>B. Wien-Stadlauer Donaubrücke der k. k. priv. Staatsbahn-Gesellschaft.</b>																	
<b>a) Vorderer Caisson des rechtsseitigen Landpfeilers.</b>																	
15	1868 November	5	12 Uhr Mittags	5.53	5.35	4.91	4.95	0.500	0.050	0.450	781 860	198 201	583 659	203.84	2870.86	15 873	0.17
16	do.	12	8 Uhr Morgens	5.62	6.80	5.98	5.53	0.585	0.100	0.485	927 130	265 069	662 061	243.12	2719.83	18 005	0.08
17	do.	13	do.	7.05	7.28	6.46	5.53	0.635	0.100	0.535	945 431	294 674	650 757	259.33	2509.34	17 691	0.15
18	do.	14	do.	7.30	7.55	6.73	5.53	0.660	0.100	0.560	945 431	311 337	634 094	268.42	2365.32	17 267	0.20
19	do.	16	4 Uhr Nachm.	7.45	7.95	7.10	5.53	0.695	0.400	0.295	929 120	339 506	589 614	273.94	2152.35	16 035	0.05



Laufende Nummer der Beobachtung	Epoche der Beobachtung			Stand des Caisson bzw. Rohres. Tiefen			Höhe des Manometerwerks über der Decke des Arbeiterraumes	Stand des Manometers. Ueberdruck in Atmosphären			Totalgewicht d. Objects an Eisen, Beton, Mauerwerk u.s.w.	Im Moment der Senkung betrug		Reibungsfläche des Pfeilers an seinem Umfang in der Erde in Quadratmeter	Reibungswiderstand pro		Senkung des Objects im Moment der angegebenen Depression	
	Monat	Datum	Tageszeit	mittlere in der Erde	unter Pegel Null	unter Wasser Spiegel		vor Ablassung comprimirt Luft	im Moment der Senkung	De-pression		der Auftrieb d. verdrängten Wassers bzw. der comprimirt. Luft	die Belastung nach Abzug des Auftriebes		Reibungsfläche des Pfeilers in der Erde	Quadratmeter		Meter Pfeilerumfang in der Erde
<b>b) Stromaufwärtiger Eck-Caisson des rechtsseitigen Landpfeilers.</b>																		
20	1869	März	7	4 Uhr Nachm.	7.44	7.79	7.17	5.05	0.705	0.000	0.705	196.281	67.584	128.697	100.96	1274.73	9.484	0.21
<b>c) Stromabwärtiger Eck-Caisson des rechtsseitigen Landpfeilers.</b>																		
21		März	10	4 Uhr Nachm.	7.40	7.80	7.07	5.05	0.695	0.000	0.695	204.299	66.440	137.859	100.42	1372.82	10.159	0.20
<b>d) Strompfeiler-Caisson Nr. I, im Thalweg.</b>																		
22	1868	December	28	8 Uhr Abends	3.62	7.89	8.62	5.68	0.850	0.700	0.150	1,077.794	538.800	538.994	138.95	8879.05	14.042	0.32
23	do.		31	4 Uhr Nachm.	4.31	8.63	9.19	6.55	1.000	0.750	0.250	1,168.023	560.764	607.259	165.25	8674.79	15.838	0.16
24	1869	Januar	2	8 Uhr Morgens	4.47	8.79	9.17	6.72	0.950	0.850	0.100	1,194.415	635.532	558.883	171.38	8261.07	14.576	0.31
25	do.		4	12 Uhr Mittags	5.72	9.35	9.48	7.56	1.000	0.850	0.150	1,326.182	635.532	690.600	219.36	8148.70	18.010	0.40

Anmerkungen.

Die drei Caissons des rechtsseitigen Landpfeilers wurden auf der bei 0.53 m über dem Nullpegel gelegenen Sohle einer Baugrube montirt und darin versenkt. Da bei den Versuchen von Nr. 15 bis einschl. Nr. 21 das Gewicht des auf einer gewissen Höhe über der Caisson-Decke, behufs späterer Aufbringung der Sockelquaderschichten, abglichenen Fundamentmauerwerkes nicht immer genügte, so musste Schotter mit Sand vermisch als Belastung darauf verwendet werden, und habe ich deren Gewicht damals mit 2000 kg pro Kubikmeter in obigen Berechnungen angenommen.

Zu den Versuchen No. 23, 24 und 25 ist zu bemerken, dass während der Depression kein Grundwasser in den Arbeitsraum eingedrungen war, weil der Caisson sich in einer starken Tegelschicht befand. Letztere war an ihrer Oberfläche weich und plastisch, mit der Tiefe nahm sie jedoch an Härte zu, so zwar, dass sie nur mühsam mittelst Krampen gelöst werden konnte. Vielleicht dürfte in der felsartigen Beschaffenheit dieser Schicht, welche das freie Sinken des untergrabenen Caisson beeinträchtigte, die theilweise Ursache des abnorm grossen Reibungswiderstandes zu suchen sein. Da der Tegel während der Abgrabung bei senkrechten Wänden stehen blieb, so konnte derselbe an und für sich am Umfange des Caisson keinen Erddruck und keine aus letzterem hervorgehende Reibung ausüben, es sei denn, dass der (durch das von oben und längs der Caisson-Wände nachsickernde Wasser) breiartig aufgelöste und klebrige Tegel am Caisson haften blieb und infolge dieses Umstandes einen Reibungswiderstand erzeugte.

Obgleich die Versenkung dieses Caissons erst bei 16.24 m unter dem Nullpegel abgeschlossen wurde, konnten keine weiteren Versuche mehr vorgenommen werden, weil sich derselbe während der Senkung am 4. Jänner 1869 ziemlich stark nach vorn und nach der Stromseite (infolge des einseitigen Erddruckes) geneigt hatte, welche Neigungen erst im Verlauf der folgenden Senkungen nach und nach durch Anwendung von Unterlagen unter der Schneide und von verticalen Verpöhlungen unter der Caisson-Decke beseitigt werden konnten. Sowohl diese als auch die Caissons der sub C, D und E bezeichneten Brücken waren nicht angestrichen.

Laufende Nummer der Beobachtung	Epoche der Beobachtung			Stand des Caisson bzw. Rohres. Tiefen			Höhe des Manometerwerks über der Decke des Arbeiterraumes	Stand des Manometers. Ueberdruck in Atmosphären			Totalgewicht d. Objects an Eisen, Beton, Mauerwerk u.s.w.	Im Moment der Senkung betrug		Reibungsfläche des Pfeilers an seinem Umfang in der Erde in Quadratmeter	Reibungswiderstand pro		Senkung des Objects im Moment der angegebenen Depression	
	Monat	Datum	Tageszeit	mittlere in der Erde	unter Pegel Null	unter Wasser Spiegel		vor Ablassung comprimirt Luft	im Moment der Senkung	De-pression		der Auftrieb d. verdrängten Wassers bzw. der comprimirt. Luft	die Belastung nach Abzug des Auftriebes		Reibungsfläche des Pfeilers in der Erde	Quadratmeter		Meter Pfeilerumfang in der Erde
<b>C. Donaubrücke bei Steyeregg (Ober-Oesterreich) auf der Strecke von Linz nach Budweis; k. k. priv. Elisabethbahn-Gesellschaft.</b>																		
<b>a) Rechtsseitiger Inundationspfeiler (in einem toten Arm).</b>																		
26	1870	Juni	29	12 Uhr Mittags	5.82	5.30	6.12	5.90	0.600	0.800	0.300	457.130	120.726	336.404	127.63	2635.77	15.840	0.25
27		Juli	6	do.	9.18	8.66	9.16	8.00	0.900	0.200	0.700	590.384	198.408	391.976	201.32	1947.02	17.874	0.12



Laufende Nummer der Beobachtung	Epoche der Beobachtung			Stand des Caisson bzw. Rohres. Tiefen			Höhe des Mastwerkes über der Decke des Arbeitsraumes	Stand des Manometers. Ueberdruck in Atmosphären			Totalgewicht d. Objects an Eisen, Beton, Mauerwerk u.s.w.	Im Moment der Senkung betrag			Reibungswiderstand pro		Senkung des Objectes im Vergleich zu dem gegebenen Drogcaisson
	Monat	Datum	Tageszeit	mittlere in der Erde	unter Pegel Null	unter Wasser Spiegel		vor-Ablassung comprimirter Luft	im Moment der Senkung	De-pression		der Auftrieb d. vordrängten Wassers bzw. der comprimirt. Luft	die Belastung nach Abzug des Auftriebes	Reibungsfläche des Pfeilers zu seinem Umfange in Quadratmeter	Quadratmeter Reibungsfläche des Pfeilers in der Erde	Meter Pfeilerumfang in der Erde	

b) Mittelpfeiler Nr. V (auf der rechtsseitigen Berme).

28	August	4	6 Uhr Abends	3·53	2·75	3·35	2·00	0·325	0·225	0·100	856 900	134 025	222 876	103·19	2060·03	7 272	0·12
29	do.	27	12 Uhr Mittags	10·35	9·55	10·55	7·25	1·021	0·800	0·721	1,106 000	480 478	625 522	317·23	1971·82	20 408	0·27

c) Strompfeiler Nr. II (auf einer Sandbank im Strombett).

30	1871 April	8	1 Uhr Mittags	11·96	11·86	12·04	7·80 1·50 Wasser	1·166	0·000	1·166	1,195 000	556 240	638 760	366·57	1742·53	20 841	0·14
----	------------	---	---------------	-------	-------	-------	---------------------	-------	-------	-------	-----------	---------	---------	--------	---------	--------	------

D. Donaubrücke bei Wien, für die k. k. priv. Oesterr. Nordwestbahn.

a) Rechtsseitiger Landpfeiler.

31	1870 November	14	6 Uhr Abends	4·85	7·65	8·44	6·20	0·830	0·730	0·100	1,053 400	552 606	500 794	184·54	2718·74	13 162	0·10
32	do.	15	do.	5·10	7·90	8·66	6·35	0·860	0·740	0·120	1,078 800	560 244	518 556	194·05	2672·21	13 628	0·14
33	do.	16	12 Uhr Mittags	5·33	8·04	8·65	6·45	0·855	0·705	0·150	1,094 600	553 746	560 854	202·81	2765·91	14 742	0·41
34	do.	17	do.	5·92	8·45	9·05	6·55	0·895	0·715	0·180	1,110 400	541 316	569 084	225·26	2526·34	14 956	0·16
35	do.	17	6 Uhr Abends	6·15	8·61	9·21	6·60	0·910	0·710	0·200	1,118 300	537 531	580 769	234·01	2481·81	15 263	0·38
36	do.	20	12 Uhr Mittags	7·25	9·12	9·70	7·15	0·950	0·770	0·180	1,206 900	582 296	624 604	275·86	2364·21	16 416	0·24
37	do.	21	6 Uhr Abends	7·60	9·36	9·86	7·50	0·975	0·795	0·180	1,262 200	601 783	660 417	289·18	2283·76	17 357	0·26
38	do.	22	6 Uhr Morgens	7·67	9·62	10·17	7·60	1·005	0·805	0·200	1,278 000	609 454	668 546	291·84	2230·79	17 570	0·27
39	do.	23	6 Uhr Abends	7·70	9·89	10·49	8·00	1·035	0·835	0·200	1,341 200	632 167	709 033	292·98	2420·01	18 634	0·29
40	do.	24	12 Uhr Mittags	7·80	10·18	10·83	8·25	1·075	0·875	0·200	1,350 700	662 450	718 250	296·79	2420·06	18 876	0·26
41	do.	26	6 Uhr Morgens	8·00	10·62	11·32	8·35	1·120	0·880	0·240	1,398 200	655 591	712 608	304·40	2341·02	18 728	0·25
42	do.	26	6 Uhr Abends	8·30	10·87	11·57	8·50	1·145	0·895	0·250	1,422 000	700 374	721 626	315·81	2284·99	18 965	0·38
43	do.	27	6 Uhr Morgens	8·70	11·25	11·96	8·50	1·190	0·910	0·290	1,422 000	720 192	701 808	331·04	2120·01	18 444	0·35
44	do.	28	12 Uhr Mittags	9·06	11·60	12·26	8·60	1·215	1·015	0·200	1,439 500	768 442	671 058	344·73	1946·62	17 636	0·19
45	do.	28	6 Uhr Abends	9·25	11·79	12·46	8·70	1·240	0·970	0·270	1,455 300	761 303	693 997	351·96	1971·79	18 239	0·08
46	do.	29	6 Uhr Abends	9·51	12·01	12·51	9·00	1·245	1·005	0·240	1,502 700	777 919	724 780	361·85	2002·98	19 048	0·09
47	do.	30	6 Uhr Morgens	9·63	12·10	12·57	9·00	1·245	0·995	0·250	1,502 700	774 892	727 808	366·42	1986·21	19 127	0·05
48	do.	30	12 Uhr Mittags	9·70	12·15	12·65	9·20	1·250	0·990	0·270	1,534 300	802 044	732 256	369·08	1984·00	19 245	0·23
49	December	1	Mittag	10·10	12·56	13·04	9·50	1·290	0·990	0·300	1,581 700	830 275	751 425	384·30	1955·31	19 749	0·19
50	do.	1	Mitternacht	10·29	12·75	13·15	9·60	1·305	0·975	0·330	1,597 500	837 997	759 503	391·53	1939·83	19 961	0·21
51	do.	2	Mittag	10·51	12·96	13·36	9·70	1·320	0·920	0·400	1,613 300	852 404	760 896	399·90	1902·72	19 998	0·04
52	do.	3	6 Uhr Morgens	10·54	13·04	13·34	9·90	1·330	0·930	0·400	1,644 900	851 103	793 797	401·05	1979·29	20 872	0·11
53	do.	3	Mittag	10·65	13·15	13·43	9·95	1·340	0·840	0·500	1,654 500	856 439	798 061	405·23	1969·40	20 974	0·20
54	do.	3	6 Uhr Abends	10·74	13·35	13·65	10·00	1·360	0·810	0·500	1,662 400	871 871	790 529	408·65	1934·49	20 776	0·05
55	do.	9	9 Uhr Abends	12·04	14·60	14·46	10·70	1·455	0·000	1·445	1,774 700	919 667	855 033	458·12	1866·40	22 714	0·26
	do.	9	do.	12·30	14·86	14·72	Versenkung ist beendet.										

E. Kronprinz Rudolph- (Reichsstrassen-) Brücke über die Donau in Wien.

Strompfeiler Nr. VIII.

56	1872 December	4	—	6·85	9·05	8·15	5·38	0·789	0·710	0·079	1,523 774	786 135	737 639	330·31	2233·17	15 297	—
----	---------------	---	---	------	------	------	------	-------	-------	-------	-----------	---------	---------	--------	---------	--------	---



## Anmerkung.

In dem die Fundirungsarbeiten der Nordwestbahn-Brücke betreffenden Versenkungsjournal der Bauunternehmung ist hervorgehoben, dass während der Versuche von Nr. 31 bis einschl. Nr. 47 nach eingetretener Depression, bezw. im Moment der Senkung, kein Grundwasser in den Arbeitsraum des Caisson eingedrungen war, so dass nach stattgehabter Senkung die Arbeit in comprimierter Luft sofort wieder begonnen werden konnte. Es dürfte dies, meiner Erfahrung gemäss, richtig sein, insofern die Luft möglichst schnell abgelassen und während dieser Operation das Gebläse unausgesetzt in Gang gehalten worden ist, und solange die Depression in analogen Terrainschichten nicht  $\frac{2}{10}$  Atm. übersteigt. Uebrigens ist es ohne Zuhilfenahme von hierzu geeigneten selbstthätigen Apparaten nicht leicht möglich, genau zu constatiren, ob die Depression ein Eindringen des Grundwassers und bis zu welcher Höhe zur Folge hatte oder nicht, weil zwischen Abschluss der Luftablassung und Ankunft der Arbeiter in dem unteren Arbeitsraum immerhin eine gewisse Zeit verstreicht, welche für das Gebläse je nach den obwaltenden Umständen genügt, um den zur Trockenlegung des Caisson erforderlichen Luftdruck wieder herzustellen. Daher ist in obiger Tabelle der jedesmalige Auftrieb für die Versuche Nr. 41, 42, 43, 45, 46 und 47, während welcher die Depression mehr als  $\frac{2}{10}$  Atm. betrug, das mittlere Resultat aus den für beide Fälle durchgeführten Berechnungen, einmal unter der Annahme, es sei kein Grundwasser, und das andere Mal, letzteres sei entsprechend der Depression (minus der Differenz zwischen der factischen Höhe der Wassersäule und derjenigen, welche sich aus dem Stande des Manometers vor Ablassung der comprimierten Luft berechnen lässt) in den Caisson eingedrungen. Der durch Annahme dieser mittleren Resultate bei den in Rede stehenden 6 Beobachtungen eventuell begangene Fehler ist nicht von Belang, und beträgt höchstens  $\frac{3}{4}$  Percent, indem die für beide Fälle durchgeführten Berechnungen gezeigt haben, dass wenn wirklich kein Grundwasser eingedrungen wäre, der Reibungswiderstand durchschnittlich um 137.53 kg pro Quadratmeter Reibungsfläche grösser gewesen sein würde als im entgegengesetzten Falle.

Bei Berechnung des Reibungswiderstandes der Versuche von einschl. Nr. 48 bis 55 ist dem Versenkungsjournal gemäss angenommen, dass das Grundwasser entsprechend der Depression (minus der oben erwähnten Höhendifferenz zwischen der factischen und theoretischen Wassersäule) in den Arbeitsraum eingedrungen war.

Schliesslich wird noch bemerkt, dass die Versuche von Nr. 1 bis einschl. Nr. 25 durch den Verfasser selbst, die anderen dagegen nach seinem Schema durch die während der betreffenden Bauperioden unter seiner Leitung gestandenen Ingenieure gemacht worden sind.

Aus den obigen Erfahrungsergebnissen geht deutlich hervor, dass in gleichartigen Erdschichten mit der zunehmenden Tiefe des versenkten Gegenstandes in der Erde der Reibungswiderstand pro Quadrateinheit der Reibungsfläche nach einem bestimmten Gesetze abnimmt, woraus der Schluss gezogen werden kann, dass mit der zunehmenden Tiefe diese Erdschichten an Consistenz und Cohäsion zunehmen und infolge dessen einen geringeren Normaldruck auf die Wände des Objectes ausüben, als dies

in den oberen Ablagerungen der Fall ist, und dass der natürliche Böschungswinkel mit der zunehmenden Versenkungstiefe gewissen Alterationen unterworfen ist.

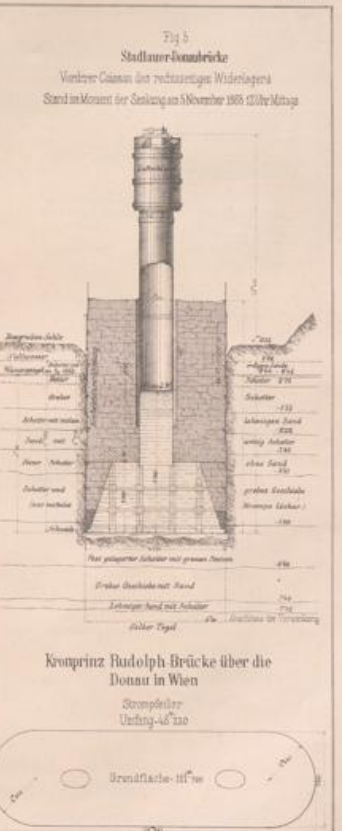
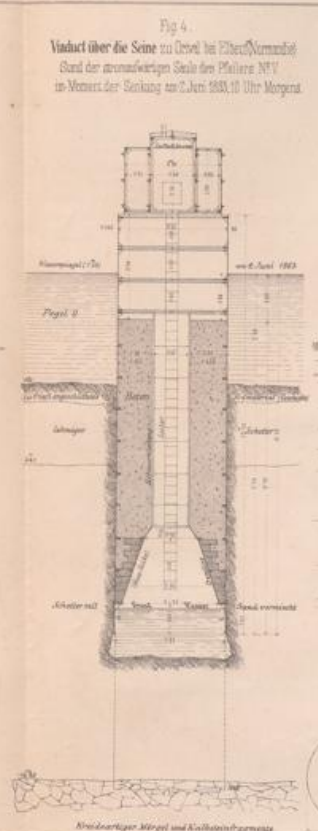
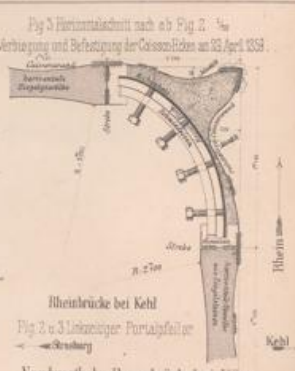
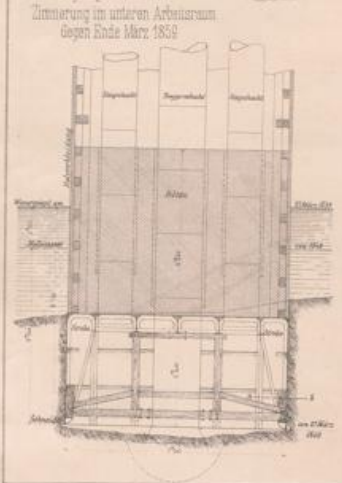
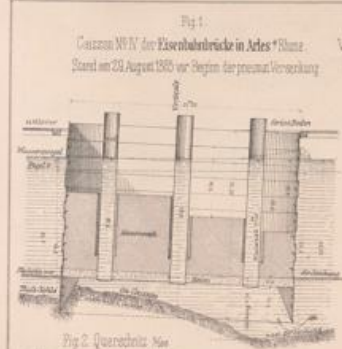
Auf Blatt 2 folgen noch die Darstellung der Bodenermittelungen während der pneumatischen Versenkungen, und auf beiden Blättern 1 und 2 die Grundrisse der Röhren und Caissons, auf welche sich die hier bekannt gegebenen Erfahrungsergebnisse beziehen.

Wien, im Februar 1877.













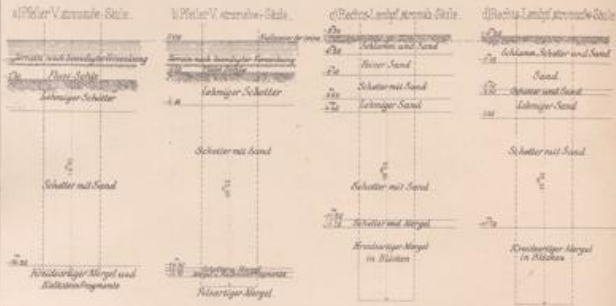






Darstellung der Bodenermittlungen während der pneumatischen Verschiebung

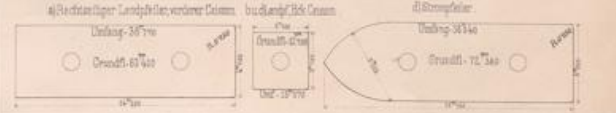
A Viadukt über die Seine zu Orval (Normandie)



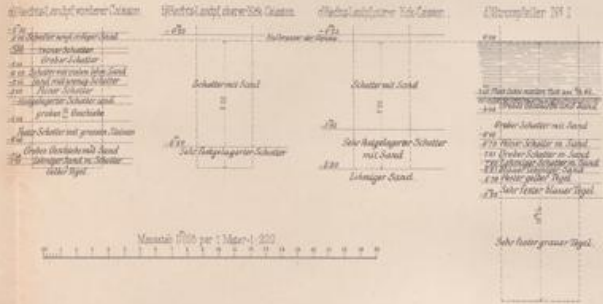
C. Donaubrücke bei Steyregg (Donaureg) 1874



B Wien-Stadlauer Donaubrücke



B. Wien-Stadlauer Donaubrücke



B. Nordwestbahn Donaubrücke bei Wien



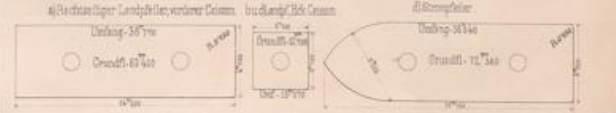
E. Kronprinz Rudolph-Brücke in Wien



A Viadukt über die Seine zu Orval (Normandie)



Grundrisse der beobachteten Pfeiler.



Adolph Schmolli:  
Mitteilungen über pneumatische Fundierungen  
und Erfahrungsergebnisse über die dabei vorkommenden Reibungswiderstände.











