



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Universitätsbibliothek Paderborn

Erfahrungsergebnisse über Luftverbrauch und über Reibungswiderstände

Schmoll von Eisenwerth, Adolph

Wien, 1877

Erfahrungs-Resultate über Luftverbrauch und Luftverluste bei
pneumatischen Fundierungen.

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

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 m^2 Bodenfläche, ein Gebläse von circa 350 m^3 mittlerer Leistungsfähigkeit an atmosphärischer Luft per Betriebsstunde in der Regel ausreicht, und dass man für Caissons von circa 75 bis 100 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 lastet, 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 Luftschleuse 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 Luftschleuse 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 (Schiffskörper-) 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

Columnen 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 Columnen 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 Columnen 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 à priori bestimmt ist, der erforderlichen Leistung oder Anzahl der Gebläse verwendbar.

Die in der letzten Columnen 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 schmiedeiserner Caissons.

Datum der Beobachtung	Monat Tag	Bezeichnung der Pfeiler-Nummer	Stand der Caissonschneide		Beschaffenheit des Terrains unter dem Caisson	Caisson-Dimensionen				Luftbedarf an atmosphärischer Luft zur Füllung der Hohlräume u. zur Verdrängung des Wassers		Luftverluste pro Stunde u. 1 \square Caisson-Umfangsfäche	Bemerkungen							
			unter Wasserpiegel	im Terrain		Umfang	Lichte Höhe	Umfangsfäche	Bodenfläche	Kubik-Meter	Kub.-Mtr.									
1872. Eisenbahn-Brücke über den Rhein, für die k. k. priv. Vorarlbergbahn bei St. Margarethen (Schweiz).																				
März 27.	IV.		2:10	2:00	0:80	Leichter Schotter u. Sand	23:36	2:20	51:39	33:00	20:67	69:96	0:23	0:25	87:52	92:62	144:90	2:013	2:614	Während der Verdrängung des Wassers, das ist während der Trockenlegung dieser Caissons, functionirte nur je ein Gebläse (v. P. A. Klusemann, Magdeburg). Dieser Caisson war unmittelbar vor der Beobachtung durch gänzlich Ablassen des Luftdrucks versenkt worden, beim Wiederanstehen der 3 Gebläse (2 von F. A. Klusemann und 1 von P. Claparède & Cie., St. Denis) stand der innere Wasserspiegel 0:50 m über der Schneide oder 0:75 m unter dem Stromspiegel. Hier functionirten 2 Gebläse (1 von P. A. Klusemann und 1 von P. Claparède & Cie.).
April 15.	III.		+ 0:10	0:30	0:60	Schotter und Sand	"	"	"	"	61:36	9:50	0:10	0:05	11:57	13:07	42:00	3:553	3:373	
" 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	
1872. Kronprinz Rudolph- (Reichsstrassen-) Brücke über den Donaudurchstich in Wien.																				
October 7.	IX.		6:91	6:23	7:61	Gelber scharfkörniger Sand; auf circa die halbe Bodenfläche ist der feine Teigel angeschnitten.	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	Hier waren 2 Gebläse in Thätigkeit (beide von F. A. Klusemann). Während allen Beobachtungen wurde die Hubanzahl der Gebläse gezählt. Die Caissons d. St. Margarethener u. der Kronprinz Rudolph-Brücke wurden in den Ateliers der Bauunternehmung Gebr. Klein, A. Schmoll & E. Gaerner in Wien, dagegen diejen. d. Prager Brücke durch eine auswärtige Fabrik angefertigt, jedoch durch genannte Bauunternehmung versenkt.
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	278:38	267:93	351:00	1:360	1:549	
1876. Städtische (Podskal-Smichover) Moldaubrücke in Prag.																				
October 29.	II.		6:71	6:59	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	Hier waren 2 Gebläse in Thätigkeit (beide von F. A. Klusemann). Während allen Beobachtungen wurde die Hubanzahl der Gebläse gezählt. Die Caissons d. St. Margarethener u. der Kronprinz Rudolph-Brücke wurden in den Ateliers der Bauunternehmung Gebr. Klein, A. Schmoll & E. Gaerner in Wien, dagegen diejen. d. Prager Brücke durch eine auswärtige Fabrik angefertigt, jedoch durch genannte Bauunternehmung versenkt.
Novemb. 15.	I.		4:32	4:47	2:32	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 m² 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 m³ und 3.553 m³ per Stunde und per 1 m² 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 m² 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 m³ Hohlraum.

Die unter dem Wasserspiegel gelegenen Theile von dem Förderschacht und dem unteren Arbeitsraum des Caisson enthalten zusammen 56.62 m³ 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 m³, d. i. 70 Liter atmosphärische Luft in den Caisson; wie viel Minuten erfordert die Verdrängung des Wassers aus dem Caisson?

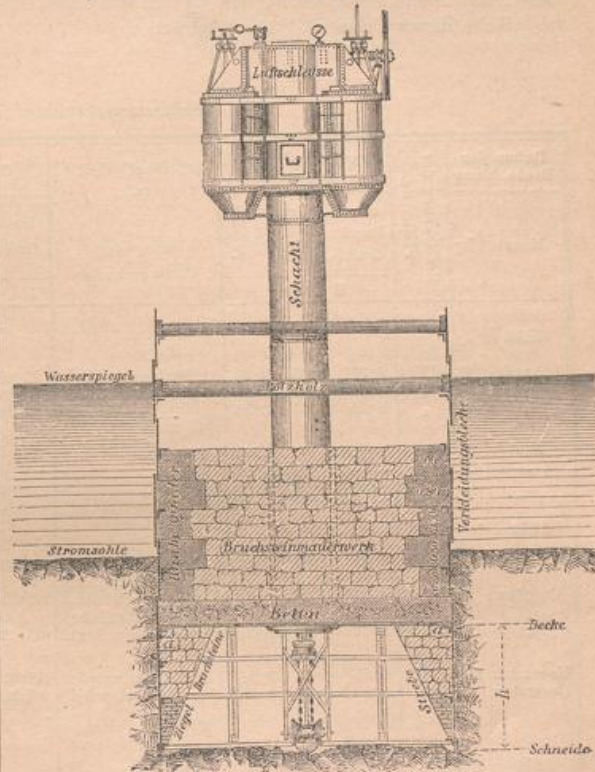
*) Ich verstehe darunter die aufrechte Caisson-Umfassungswand, von inclusive Schneide bis unter die Caisson-Decke, d. i. $h \times \text{Umfang}$. (Siehe nebenstehende Skizze.)

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 m³ atmosphärische Luft, folglich ist hier

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

V¹ = Luftverluste während der Wasserverdrängung, per einer Stunde in Kubikmetern, auf die Caissonumfangsfläche.

Laut Tabelle I, vorletzte Columnne, betragen diese Luftverluste per 1 m² 2.500 m³, und da die aufrechte Umfangsfläche dieses Caisson 51.39 m² 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		Bezeichnung der Pfeiler-Nr.	Stand der Caisson-schneide			Beschaffenheit des Terrains unter der Caisson-schneide	Caisson-Dimensionen					Grundrisse der Caissons	Erfahrungen per 24 Stunden		
Monat	Tag		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		□ Meter							
1872 Eisenbahn-Brücke über den Rhein für die k. k. priv.															
April	3.	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		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
1872 Kronprinz Rudolph- (Reichsstrassen-) Brücke															
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
1876 (Reichs-) Strassen-Brücke über die Salzach															
Juni	10.	II.	1.20	3.08	+1.35	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.	" 26.	III.	1.35	2.28	+0.55	Alte Baumstämme	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		19	8	10
			2.20	3.70	-0.70	Sand mit grobem Schotter	39.28	1.60	62.85	61.68	74.72		14	7	12
			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	
1876 Städtische (Podskal-Smichover)															
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 Uebersicht in	Stand des Thermometers		Verbrauch an atmosph. Luft per 1 Betriebsstunde							Versenkungs-Periode Nummer	Luftverluste per 1 Betriebsstunde und			Bemerkungen
	im Freien	im Caisson	Volumen an atmosph. Luft, welches per 1 Stunde in den Caisson eingepumpt wurde	zur Verdrängung des Bodensmaterials	zur Verbesserung der Arbeit der Mannen	zur Erhellung des Caissons in Folge der Tiefen-zunahme	Total	per 1 m ² Caisson-Bodenfläche	per lll. m Caisson-Umfang		per 1 m ² Caisson-Umfangsfläche			
Atmosphäre	Réaumur		Kubik-Meter								Kubik-Meter			
Voralbergbahn bei St. Margarethen (Schweiz).														
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			
über den Donaudurchstich in Wien.														
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			
in der Stadt Salzburg.														
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 Baumernachung Gebr. Klein, A. Schmoll & 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			
Moldaubrücke in Prag.														
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 m² Caisson-Bodenfläche,
2. " 1 " " " 1 Hfd. m " Umfang und
3. " 1 " " " 1 m² " 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 m³ 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 m³, 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 m² 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 m³ und 5·285 m³ per 1 m² 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 m³;
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 m³.

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 m³ und 4·543 m³ variiren, und bei einer mittleren Tiefe von 7·18 m unter dem Wasserspiegel durchschnittlich 3·985 m³ 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 m³ und 5·285 m³ schwanken, und bei einer mittleren Tiefe von 6·85 m unter dem Wasserspiegel, durchschnittlich 4·373 m³ per 1 Stunde und per 1 m² Umfangfläche für die der Beobachtung unterzogenen Caissons erreichen. Bei Caissons unter 50 m² 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 m² 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 Aarau, die Versenkung von circa 45 Stück Caissons von je 10·45 m² 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 m² Caisson-Umfangsfläche und per 1 m Wassertiefe durchschnittlich 0.1075 m³ 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 m³

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 m³. 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 m³ × 51.39 m² × (5.25m - 2.00) = 17.95 m³.

Somit war am 3. April die Summe der Luftverluste für undichte Fugen und Wandungen . = 154.33 m³ und es bleibt für Luftausströmung unter der Caisson-Schneide = 94.51 m³ das ist per 1 Stunde und per 1 lauf. Meter Caisson-Umfang = 94.51 m³ / 23.36m = 4.046 m³ 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 m³ 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 m³ × 139.55 m²) = 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 m³

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 m³

Bleibt für Luftausströmung unter der Caisson-Schneide = 170.12 m³ 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 bewerkstellende Versenkung eines Caisson von 2.20 m lichter Höhe, 57.45 m Umfang und 130.18 m² 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 m² aufrechte Caisson-Umfangsfläche, in Schotter und Sand bis zur Versenkungstiefe von 6.85 m unter dem Wasserspiegel durchschnittlich 4.373 m³;

z = Zuschlag für jeden Meter Mehrtiefe unter 6.85 m und für 1 m² Caisson-Umfangsfläche = 0.1075 m³;

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 m³ 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.