

109  
116  
120  
124  
128  
132  
135  
  
136  
147  
  
150

## Die Bestimmung der Wandstärke der Röhren.

152

### Berechnung der Wandstärken nach empirischen Formeln.

159  
162  
164  
167  
174  
182  
190  
199

Als ich im September des Jahres 1864 zur Mitwirkung bei der Verfassung des Detail-Projectes für die Wiener Hochquellenwasserleitung berufen wurde, ward mir die Aufgabe zu Theil, das Röhrennetz für die Vertheilung des Wassers zu entwerfen und die Construction der zur Ausföhrung desselben erforderlichen Bestandtheile festzustellen. Als Haupttrichschnur für den einen wie für den andern Theil dieser Arbeiten lag ein Elaborat vor, welches der damalige Leiter der II. Oberingenieurs-Abtheilung für die Wasserversorgung von Wien, der Stadtbauamts-Vicedirector Gabriel im Mai 1864 verfaßt hatte und dessen Resultate im Anhang VI des „Berichtes über die Erhebungen der Wasserversorgungs-Commission des Gemeinderathes der Stadt Wien“, S. 268 bis 283, niedergelegt sind.

Der erste Theil der oben erwähnten Aufgabe, die Berechnung des Röhrennetzes für die Vertheilung des Wassers, das ist die Bestimmung der Durchmesser der einzelnen Röhren, der Geschwindigkeit des Wassers in denselben, der durch die Reibung des Wassers an den Röhrenwänden erzeugten Widerstände u. s. w., beschäftigten mich fast ausschließlich im Winter 1864/65, und erst nach Vollendung dieser Arbeiten begann ich mich mit dem zweiten Theile meiner Aufgabe, den constructiven Details, zu befassen. Das Dringendste in dieser Beziehung war die Bestimmung der Dimensionen der gußeisernen Röhren, denn von diesen war das Gewicht der Röhren abhängig, und so lange letzteres nicht bekannt war, konnte kein Kostenvoranschlag für das Röhrennetz ausgearbeitet werden.

Das Material, welches mir zur Lösung dieser Aufgabe zunächst zu Gebote stand, war einerseits das oben erwähnte Elaborat Gabriel's, andererseits meine eigenen Erfahrungen in diesem Gebiete der Hydraulik und die Erhebungen, welche ich während eines längeren Aufenthaltes in Paris, London und Brüssel über die Wasserleitungen dieser Städte selbst gepflogen hatte. Der approximative Kostenvoranschlag für das Röhrennetz von Gabriel (S. 282 des Commissionsberichtes im Jahre 1864) stützte sich auf eine Preisanalyse für die Herstellung von Röhrenleitungen, welche als Beilage (F) zur ersten Denkschrift des Stadtbauamtes über die Wasserversorgung von Wien (Staatsdruckerei 1861) verfaßt worden war. Dieser Preisanalyse lag eine andere Beilage (e) zu Grunde, enthaltend die Gewichts Berechnung für die geraden Muffenröhren aller Durchmesser, und zwar unter der Annahme einer Baulänge von 5' 6" (1<sup>m</sup>74) und einer Wanddicke von:

7 Wiener Linien (15,4 mm.) f. d. Röhren v. 16—36 Z. Durchm. (421—948mm.)					
6 " " 13,2 " " " " " " 5 15 " " 132—395 =					
5 " " 11,0 " " " " " " 4 " " 105 =					
4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " " 9,9 " " " " " " 2 u. 3 " " 52 u. 79 <sup>1</sup> ) =					

1) Ueber die Begründung dieser Wandstärken spricht sich das Stadtbauamt in der genannten Denkschrift S. 60 folgendermaßen aus: Zur Ermittlung der Kosten für die eventuelle Herstellung dieser Wasserleitungen dienen folgende Zusammenstellungen:

Das Ausmaß c über die Ausführung des Wasserreservoirs.

Das Ausmaß d über die Längen der Röhren — — — — —

Die Tabelle e über die Gewichte der gußeisernen Röhren; vor Ermittlung dieser Gewichte wurde in die Berechnung der erforderlichen Röhrenwanddicke nach der Formel:

$$e = 0.0007 n d + 0.38,$$

wo e = Wanddicke in Zoll  
n = Druck in Atmosphären  
d = Durchmesser in Zoll

eingegangen; es wurde hierbei n, d. i. die Zahl der Atmosphären  $\frac{70.75}{32} = 2.21$ , der Sicherheit wegen mit 4.5, also mit doppelter Sicherheit angenommen, und gefunden, daß ein Rohr von

36"	Diameter	eine	Wanddicke	von	5.9	Linien
30"	"	"	"	"	5.7	"
16"	"	"	"	"	5.16	"
5"	"	"	"	"	4.75	"
4"	"	"	"	"	4.7	"
3"	"	"	"	"	4.5	"

erhalten müßte. Weil aber bei derlei Röhren die Inanspruchnahme der relativen

Um nun die Zulässigkeit dieser Wandstärken, welche ursprünglich für die Wasserversorgung aus dem Wiener-Neustädter Canale, mithin für einen ungemein geringen hydrostatischen Druck berechnet worden, später aber von Gabriel zuerst für das Project der Fische-Dagnitz, und dann für das Hochquellenproject adoptirt worden waren, zu prüfen, beschloß ich, die Wandstärken nach anderen Methoden zu berechnen und dann mit Erfahrungseresultaten zu vergleichen. Zur Zeit, als ich diese Rechnungen anstellte, war mir der Maximaldruck, dem die Röhrenleitungen ausgesetzt sein würden, nicht vollständig genau bekannt. Es lagen mir zwar bereits beiläufige Nivellements der Röhrentragen vor, aus welchen ich die Höhenlage der tiefsten Punkte ziemlich genau entnehmen konnte, aber die Höhenlage der Wasserbehälter war damals noch nicht definitiv festgestellt, und konnte es auch nicht sein, weil eine erste vorläufige Berechnung der Druckhöhenverluste in dem projectirten Röhrennetze den Beweis geliefert hatte, daß man die Durchmesser einiger Hauptröhrenstränge etwas verringern könne, die zweite exacte Rechnung aber noch nicht zu Ende geführt war. Ich nahm deshalb, um sicher zu gehen, für alle innerhalb der Stadt Wien liegenden Röhren einen Maximaldruck von 8 Atmosphären (261 Wiener Fuß), für die außerhalb der Stadt Wien liegenden Hauptröhrenstränge einen Druck von 6 Atmosphären (195 Fuß) an.

Zunächst kam die Formel von Geniey an die Reihe, nach welcher Gabriel, wie aus obigem zu ersehen ist, ursprünglich die Röhren berechnet hatte. Dieselbe lautet:

$$\delta = 0,0007 \ n \ d + 10$$

wo der Rohrdurchmesser  $d$  und die Wanddicke  $\delta$  in Millimeter, der Druck  $n$  in Atmosphären einzusetzen ist. Analog seinem Vorgange, für  $n$  den doppelten Werth des hydrostatischen Maximaldruckes anzunehmen, wurde

Festigkeit gegen das Zerbrecen durch Setzung oder Druck größer ist, als die Inanspruchnahme durch den Wasserdruck von eigentlich nur  $2\frac{1}{2}$  Atmosphären, dann weil die Ausführung des Gusses bei zu kleiner Wanddicke schwierig ist, wurden dieselben für Röhren von:

36"	bis	16"	Diameter	mit	7	Linien
15"	"	5"	"	"	6	"
4"	"	"	"	"	5	"
3"	"	"	"	"	4 $\frac{1}{2}$	"

angenommen und hiernach die Gewichte berechnet.

für die Röhren von 3—28 Zoll Durchmesser  $n = 16$ , für die großen  $n = 12$  Atmosphären in die Formel substituirt. Die Motive für diese Annahme werden später besprochen werden, wenn der Leser über das Entstehen der Formel unterrichtet sein wird. Die Resultate dieser Berechnung sind in der nachfolgenden Tabelle I, in der ersten Colonne, enthalten und zwar einmal nach der Berechnung in Millimeter und daneben reducirt auf Wiener Linien.

Zunächst wurde alsdann die Berechnung nach der Formel von Redtenbacher vorgenommen, welche dieser von Morin acceptirt hatte. In dieser (S. 81 seiner Resultate für den Maschinenbau, Mannheim 1852, angegebenen) Formel

$$\delta = 0,00238 \ n \ d + 8,5$$

soll, wie Redtenbacher sagt,  $n = 10$  gesetzt werden, weil man gewöhnlich die Röhren auf diesen Druck probirt. Logischer Weise muß man also, um den Intentionen des Autors zu entsprechen,  $n = 16$  resp. 12 Atmosphären annehmen, wenn man, wie dies zur Zeit der Projectsverfassung der Fall war, die Absicht hat, den Probedruck bis zu dieser Grenze auszudehnen. Die Wandstärken, welche die Redtenbacher'sche Formel unter dieser Annahme ergibt, sind in der siebenten Colonne enthalten. In der 8. Colonne sind jene Rohrwanddimensionen eingeschrieben, welche Redtenbacher in der auf Seite 340 seines oben erwähnten Werkes befindlichen Tabelle über die Metalldicke und das Gewicht gußeiserner Röhren für Wasser- und Gasleitungen angiebt.

Weiter wurden die Wanddicken noch nach den Formeln von d'Aubuisson, Dupuit und endlich noch nach einer von Hagen aufgestellten Formel berechnet, die aber, zur Unterscheidung von andern von demselben mitgetheilten Formeln „als Wicksteed'sche Formel“ bezeichnet wurde, weil sie auf Erfahrungen dieses englischen Ingenieurs basirt ist. Sowol in der Formel von d'Aubuisson

$$\delta = 0,015 \ d + 10$$

als in jener von Wicksteed

$$\delta = 0,013 \ d + 11$$

ist der supponirte Atmosphärendruck bereits im Coëfficienten des ersten Gliedes enthalten.

Dupuit giebt in seinem im Jahre 1854 erschienenen Werke: „les eaux de Paris“ zwei Formeln zur Berechnung der Rohrwandstärken an, die Formel

$$\delta = 0,016 \ d + 8 \text{ Millimeter}$$

nach welcher die alten Pariser Röhren berechnet wurden, und weiter als allgemein für jeden Druck geltende Formel

$$\delta = 0,00016 d (80 + h) + 0,008 \text{ in Metermaß}$$

oder 
$$\delta = 0,00016 d h + 0,0128 d + 8$$

wo **d** und  $\delta$  in Millimeter, **h** aber in Meter zu verstehen ist. Substituiert man in letzterer Formel die Probedrücke, wie sie für Wien intentionirt waren, mit 16 resp. 12 Atmosphären, so erhält man für Röhren von

3 bis 28 Zoll Durchmesser  $\delta = 0,0384 d + 8$

30 bis 36 " "  $\delta = 0,0320 d + 8$

Die nachfolgende Tabelle giebt die Resultate dieser Berechnung der Wandstärken für die bei der Wiener Wasserleitung projectirten Durchmesser, unter den vorstehend bei den einzelnen Formeln besprochenen Voraussetzungen.

Tabelle I.

Röhren-Durchmesser	Geniey		Widsteed		d'Ambuisson		Dupuit Pariser Formel		Dupuit Allgemeine Formel		Redtenbacher		Redtenbacher Tabelle in den Resultaten		
	$\delta = 0,007$ nd + 10	$\delta = 0,012$ d + 11	$\delta = 0,015$ d + 10	$\delta = 0,016$ d + 8	$\delta = 0,00016(80 + h)d + 8$	$\delta = 0,000238$ nd + 85	m/m	Lin.	m/m	Lin.	m/m	Lin.	m/m	Lin.	
3	79	10,88	4,9	11,75	5,3	11,18	5,1	9,26	4,2	11,03	5,0	11,50	5,2	10,5	4,8
4	105	11,17	5,0	12,08	5,4	11,57	5,3	9,68	4,4	12,03	5,5	12,50	5,7	10,7	4,8
5	132	11,68	5,3	12,43	5,6	11,98	5,5	10,11	4,6	13,07	6,0	13,52	6,1	10,9	5,0
6	158	11,77	5,4	12,77	5,8	12,37	5,6	10,53	4,8	14,07	6,4	14,51	6,6	11,1	5,0
7	184	12,06	5,5	13,11	6,0	12,76	5,7	10,94	5,0	15,70	7,1	15,50	7,0	11,3	5,1
8	211	12,36	5,6	13,46	6,1	13,16	6,0	11,37	5,2	16,10	7,3	16,54	7,5	11,5	5,2
9	237	12,65	5,8	13,80	6,3	13,55	6,1	11,74	5,4	17,10	7,8	17,32	7,8	11,6	5,3
10	263	12,94	5,9	14,14	6,4	13,94	6,3	12,21	5,5	18,10	8,2	18,51	8,4	11,8	5,4
11	290	13,25	6,0	14,49	6,6	14,35	6,5	12,64	5,7	19,13	8,7	19,55	8,9	12,0	5,5
12	316	13,54	6,2	14,83	6,8	14,74	6,7	13,05	5,9	20,13	9,1	20,53	9,3	12,2	5,5
14	369	14,13	6,4	15,52	7,0	15,53	7,0	13,90	6,4	22,17	10,0	22,55	10,2	12,6	5,7
15	395	14,42	6,6	15,86	7,2	15,92	7,2	14,32	6,5	23,27	10,5	23,54	10,7	12,8	5,8
16	421	14,71	6,7	16,19	7,3	16,31	7,4	14,73	6,7	24,18	11,0	24,53	11,2	12,9	5,9
20	527	15,19	7,2	17,57	7,9	17,90	8,1	16,43	7,5	18,24	12,8	28,56	13,0	13,7	6,2
24	632	17,08	7,7	18,93	8,6	19,48	8,9	18,11	8,2	32,27	14,6	32,56	14,8	14,4	6,6
25	658	17,34	7,8	19,27	8,7	19,87	9,0	18,53	8,4	33,27	15,1	33,55	15,2	14,6	6,7
26	685	17,67	8,0	19,62	8,9	20,27	9,2	18,96	8,6	34,30	15,6	34,58	15,7	14,8	6,8
28	737	18,25	8,3	20,30	9,2	21,05	9,6	19,79	9,0	36,30	16,5	36,56	16,6	15,2	6,9
30	790	16,64	7,6	20,99	9,5	21,85	10,0	20,64	9,8	33,28	15,2	31,06	14,1	15,5	7,0
33	869	17,30	7,8	22,02	10,0	23,03	10,5	21,90	10,0	35,81	16,4	33,31	15,1	16,1	7,3
36	948	17,96	8,2	23,04	10,5	24,22	11,0	23,17	10,5	38,33	17,3	37,57	16,1	16,6	7,6

Aus der vergleichenden Betrachtung der in dieser Tabelle berechneten Wandstärken für Röhren nach verschiedenen Formeln und verschiedenen Autoren, ergibt sich für einen und denselben größeren Röhrendurchmesser bei Annahme eines und desselben Druckes eine ungemein verschiedene Wandstärke. Eine Erklärung dafür kann man nur durch eine kritische Untersuchung der Entstehung der verschiedenen Formeln finden, und diese wird sich hauptsächlich auf die Epoche, in der sie entstanden, und auf die Erfahrungen, welche den Verfassern derselben zu Gebote standen, erstrecken müssen. Stellen wir zunächst diejenigen Daten zusammen, welche über die Einführung und Verbreitung der gußeisernen Wasserleitungsrohre vorliegen.

### Geschichte der Röhrenerzeugung.

In allen jenen Fällen, wo man in früherer Zeit Röhren zur Leitung des Wassers verwendete, war das Material derselben Holz oder Blei, später kamen thönerne Röhren und solche von Kupfer in Verwendung. Gußeiserne Röhren überhaupt wurden zuerst in Deutschland bei Bergwerksanlagen verwendet, aber speciell für Wasserleitungen wurden dieselben zuerst in Frankreich im Jahre 1672 zu erzeugen versucht (von Francin)<sup>1)</sup>, und als dies gelang, sofort bei der für die damalige Zeit bewundernswürdigen Maschinenanlage von Marly in Anwendung gebracht. Die gußeisernen Druckrohre dieser Maschinen zur Speisung der Wasserkünste von Versailles, welche 1682 in Betrieb gesetzt wurden, hatten 8 Zoll und 6 Zoll Durchmesser und 3 Fuß Länge<sup>2)</sup>; ihre Verbindung geschah durch Flantschen mit dazwischen gelegten Blei- und Lederscheiben. Daß man damals nicht gewagt hat, diese Röhren in größeren Durchmessern herzustellen, geht unzweifelhaft aus dem Umstande hervor, daß zur Beförderung des mit dieser Maschinenanlage gepumpten Wassers 6 solche nebeneinander liegende Stränge verwendet wurden, so wie, daß zur Weiterführung des Wassers im Parke von Versailles selbst unter andern ein Bleirohr von 15 Zoll Durchmesser in Gebrauch war.<sup>3)</sup>

1) Belidor, Architecture hydraulique. Paris 1739. Theil II., Cap. IV. S. 350.

2) Belidor, Architecture hydraulique. Paris 1739. Theil II., Cap. IV. S. 200.

3) Leupold, Theatrum machinarum hydrotechnicarum. Leipzig 1774. Band 2, S. 81.

Ein Beweis, daß diese Anwendung eine vereinzelt war und noch durch lange Zeit keine weitere Verbreitung fand, wird dadurch geliefert, daß nur Belidor (1739) die gußeisernen Wasserleitungsröhren ausführlich bespricht, während andere gleichzeitige Schriftsteller, welche über Hydraulik, Wasserwerksanlagen u. sehr ausführlich berichten, wie Wahl<sup>1)</sup>, Bernoulli<sup>2)</sup>, Bossut<sup>3)</sup> u. der Verwendung des Gußeisens zu Röhren gar keine Erwähnung thun, obwohl sie über Blei- und Kupferröhren und deren Wandstärken sprechen. Bossut spricht auch von Röhren aus Eisenblech. Belidor erwähnt zwar, daß einige Hütten in der Normandie und Champagne Röhren aus Eisen gießen und führt Angaben von M. de l'Épine, dem Controleur de la machine de Marly, an, wornach man bereits 12" Röhren mit nur 8" Wandstärke erzeugt hätte, sagt aber, daß diejenigen, die er selbst gesehen habe, nur 3" Durchmesser gehabt hätten und pr. Toise 180 livres wogen, woraus sich die Wanddicke derselben beiläufig mit 8 Linien berechnet. Weiter erzählt er (S. 377), daß alle Röhren, die man in Paris verwendet, von Blei seien, daß man sich zwar früher solcher von Gußeisen bedient habe, aber dieselben aufgeben mußte, weil sie der Last der Wagen nicht widerstehen konnten und, einmal gebrochen, völlig werthlos waren. Uebrigens haben sie noch den Nachtheil, daß, wenn man Abzweigungen machen wolle, man doch nicht umhin könne, sich der Bleiröhren zu bedienen. (S. 351.)

Martins<sup>4)</sup> berichtet, daß man im Jahre 1762 in Frankreich angefangen habe, die Röhren in Sand zu formen, während bis dahin die Erzeugung ausschließlich durch Lehmguß geschah, aber in Bezug auf Durchmesser und Baulänge bleiben die Angaben von Leopold, 1774, und Walter<sup>5)</sup>, 1765, nahezu unverändert dieselben, wie jene der älteren Autoren. Walter bespricht die kupfernen und hölzernen Röhren für Wasserleitungen und deren Verbindungsarten, und erwähnt schließlich (S. 22) in Form einer Anmerkung, daß man auch dergleichen Röhren von Eisen gieße, jedoch nur 5 Schuh lang.

1) Wahl, J. F., *Traité de l'élevation des eaux*. 1716.

2) Bernoulli, Daniel, *Hydrodynamica*, Argentorati. 1738.

3) Bossut, *Traité d'hydrodynamique*. Paris 1787.

4) Martins, *Zur Geschichte der Eisengießerei* u. siehe *Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen*. Berlin 1824. S. 222.

5) Walter, Caspar, *Architectura hydraulica oder Anleitung zu Brunnenkünstn*. Augsburg 1765.

Leupold ist viel ausführlicher; er sagt, die eisernen Röhren sind selten in Gebrauch, theils ihrer Schwere wegen, theils weil sie zu kostspielig sind (S. 78); giebt weiter eine Abbildung eines 3 Fuß langen und 6" weiten Rohres mit Flantschen, und empfiehlt, für 2" oder 3" gußeiserne Röhren als Verbindung die glatten Enden derselben in eine ausgebohrte hölzerne Muffe, die mit eisernen Ringen versehen ist, hineinzutreiben; „übrigens sei es eine böse Sache, weil in den eisernen Röhren das Wasser gelb wird.“

Derselbe Autor berichtet auch auf S. 79: daß bei den großartigen Wasserkünsten zu Herrenhausen, nächst Hannover, welche der englische Ingenieur Clifft<sup>1)</sup> im Jahre 1716 angelegt hat, der Versuch, die Zuleitung mittelst gußeiserner Röhren auszuführen, mißglückte, weshalb man wieder zu Bleiröhren seine Zuflucht nahm. Diese alten gußeisernen Röhren, welche theilweise noch vorhanden sind, hatten (wie ich einem mir gütigst zur Disposition gestellten Schreiben des Herrn Oberhofbaurathes Schuster, dermaligen Directors von Herrenhausen entnehme) 9" Durchmesser und  $\frac{3}{4}$ " Wanddicke, bei 3' 6" Baulänge. Dieselbe Wandstärke hatten auch 6zöllige gußeiserne Röhren, welche beiläufig im Jahre 1750 in Herrenhausen zur Verwendung kamen.

Am Schlusse des 18. und im Beginn des 19. Jahrhunderts waren die Gießereien so überwiegend mit der Erzeugung von Kanonen und anderem Kriegsmaterial beschäftigt, daß sie den Bedürfnissen des Friedens nur geringe Aufmerksamkeit zuwenden konnten, und in diesem Umstande liegt die Erklärung, warum die Röhrenfabrikation auf dem Continente in dieser Periode keinen weiteren Aufschwung nahm.

Als man in Paris im Jahre 1802 eine vermehrte Wasserzufuhr durch den Canal de l'Ouroq ins Werk setzte, legte man, in der ausgesprochenen Absicht, die Anwendung größerer Röhrendurchmesser zu vermeiden<sup>2)</sup>, den Canal de ceinture an, und bewirkte die weitere Vertheilung des Wassers durch gußeiserne Röhren, von welchen die größten nur  $9\frac{1}{2}$  Zoll Durchmesser (25 C.) hatten. Etwas weiter fortgeschritten war der Röhrenguß zu dieser Zeit in England, wo die Wasserversorgung der Städte überhaupt schon in größerem Maßstabe in Angriff genommen war. Dessen ungeachtet lagen in London bis zum Beginne unseres Jahrhunderts fast

1) Poppe, Geschichte aller Erfindungen u. Stuttgart 1837, S. 409.

2) Borgnis, Traité complet de mécanique etc. Des machines hydrauliques. Paris 1819. S. 136.



ausschließlich hölzerne Röhren, deren die Newriver-Company zu dieser Zeit beiläufig 400 engl. Meilen im Gebrauche hatte <sup>1)</sup>, und erst im Jahre 1809 wurden gußeiserne Röhren in London in größerem Maßstabe angewendet. <sup>2)</sup>

Eine weit größere Bedeutung aber gewann der Röhrenguß nach Ablauf der ersten Decennien unseres Jahrhunderts, und zwar wesentlich durch die Erfindung der Gasbeleuchtung. Durch die rasche Verbreitung derselben steigerte sich der Bedarf an Röhren in hohem Grade und die Fabrication von Röhren größerer Durchmesser, die vorher selbst in England als Kunststück betrachtet worden war, gewann einen immer größeren Umfang. Während im Jahre 1815, wo die Totallänge aller in London für die Zwecke der Gasbeleuchtung gelegten gußeisernen Röhren nur circa 3 deutsche Meilen betrug, der Durchmesser der größten Röhren, die fabriksmäßig erzeugt wurden, nur 10, höchstens 11 Zoll war <sup>3)</sup>, berichtet Perkston <sup>4)</sup> im Jahre 1819, daß die Weite der gußeisernen Röhren in den Straßen von 2 bis 14 Zoll variire, und mit diesen Angaben stimmt eine Tabelle über Größe und Gewicht der in England gegossenen Röhren, welche sich in einem im Jahre 1822 erschienenen Werke von Tabor <sup>5)</sup> befindet.

Die Baulänge der in Paris bei der Durcq-Wasserleitung verwendeten Haupttröhren betrug circa 8 Fuß <sup>6)</sup>, die Baulänge der in England gegossenen Röhren war in der Regel 9 Fuß, während die deutschen Hüttenwerke noch beträchtlich später nur Röhren von weit geringerer Länge erzeugten. Tabor giebt die Länge derselben mit 3—4 Fuß an. Vollhann <sup>7)</sup> erwähnt, daß man die gußeisernen Röhren bis zu 10" Durchmesser, mit 4—5 Fuß Baulänge, giesse.

Es ergibt sich aus dieser historischen Skizze, daß im 18. Jahrhundert, und selbst im Beginne des 19., gußeiserne Wasserleitungsröhren nur bis zu etwa 1 Fuß Durchmesser in Gebrauch waren. Ihre Baulänge war sehr gering, gewöhnlich nur 3 bis 4 Fuß. In der Zeit von 1800 bis 1830 machte die Fabrication gußeiserner Röhren in Deutschland gar keine Fort-

1) Drisdale Dempsey, Drainage of towns and buildings.

2) Engineer. Jahrgang 1866, Band II., S. 179.

3) Accum, A practical treatise on Gas-light. London 1815.

4) Perkston, The theory and practice of Gas-lightening etc. London 1819.

5) Tabor, Vollständiges Handbuch d. Gasbeleuchtungskunst. Frankfurt a. M. 1822.

6) Borgnis. S. 138.

7) Vollhann, Beiträge zur neuern Geschichte des Eisenhüttenwesens. 1825.

schritte, in Frankreich sehr geringe, in England hingegen gab, wie wir erwähnt, insbesondere die Einführung der Gasbeleuchtung den Anlaß zu einer massenhaften Erzeugung dieses Artikels. Deutschland und Frankreich erzeugten während dieses Zeitraums in größeren Mengen keine Röhren über 12 Zoll Durchmesser, deren Baulänge im ersteren Lande constant 4—5 Fuß blieb, während sie in Frankreich auf 8 Fuß stieg. England aber goß Wasserleitungsröhren von 2" bis zu 28" Durchmesser mit 6—9 Fuß Baulänge und zwar in ganz enormen Quantitäten, weil es nicht bloß den eigenen Bedarf im Lande für die Erweiterung der Wasserwerke und die Gasbeleuchtung zu decken hatte, sondern in letzterer Beziehung bereits anfang, seine Colonien und den Continent damit zu versorgen.

### Entstehungsgeschichte der alten empirischen Formeln.

Das waren die praktischen Erfahrungen, die zu jener Zeit vorhanden waren, als Geniey und d'Aubuisson daran gingen, für die Wandstärke der Wasserleitungsröhren Formeln aufzustellen. Beide gingen hierbei von denjenigen Principien aus, welche Mariotte <sup>1)</sup> ein Jahrhundert vorher aufgestellt hatte, nämlich, daß die Wandstärke der Röhren direct proportional dem Durchmesser derselben und dem im Innern wirkenden Drucke, hingegen verkehrt proportional der Festigkeit des Materials sein müsse, aus welchem die Röhren hergestellt werden. Geniey <sup>2)</sup> kleidete diese Regel in die Form

$$\delta f = \frac{P d}{2}$$

wo  $\delta$  die Wanddicke in Millimeter,

„  $f$  die größte Inanspruchnahme der man das Material aussetzen will, in Kilogr. pr. 1 □ mm.,

„  $P$  den inneren Druck auf die Rohrwand in Kilogr. pr. 1 □ mm. und

„  $d$  den Röhrendurchmesser in Millimeter bedeutet,

und führte zunächst anstatt  $P$  die Zahl der Atmosphären  $n$  ein, wodurch

$$\text{er, da } P = \frac{n}{100}$$

$$\delta = 0,005 \frac{nd}{f} \text{ erhielt.}$$

Für  $f$  nahm Geniey = 7 Kil. pr. 1 □ mm., welche außerordentlich hohe

1) Mariotte, Tractatus de motu aquarum etc. Vinnæ 1729.

2) Geniey, Essai sur les moyens de conduire, d'élever et de distribuer les eaux. Paris 1829.

unberechtigte Inanspruchnahme des Gußeisens dadurch compensirt wurde, daß er als Regel aufstellte, man solle für die Berechnung von  $\delta$  den hydrostatischen Druck, resp. den Werth von  $n$  3—5 mal so hoch nehmen, als er beim Betriebe wirklich vorhanden sein werde. Ferner fügt er dem so berechneten Werthe von  $\delta$  unter allen Umständen eine constante Dicke von 10 Millimeter hinzu, „weil es schwer hält, Gußeisen von homogenem Korn zu erhalten.“ Hierdurch gelangt er schließlich zu der Formel

$$\delta = 0,0007 n d + 10.$$

Man sollte nun meinen, daß Geniey, als er diese Formel construirte, als Ziel vor Augen gehabt haben müsse, daß die Resultate derselben mit denen der damaligen Praxis harmoniren. Dies ist aber durchaus nicht der Fall, denn wenn man  $n = 10$  annimmt, also 5 mal so groß als der damals bei den Pariser Wasserleitungen vorhandene Maximaldruck war, und für die bei denselben vorhandenen Rohrdurchmesser die Wandstärke berechnet, so kommt man zu ganz anderen Dimensionen, als jenen, die damals wirklich in Paris ausgeführt waren und die Geniey selbst anführt, wie dies die nachfolgende Zusammenstellung zeigt.

Tabelle II.

Durchmesser der Wasserleitungsröhren, welche anno 1829 in Paris vorhanden waren	Thatsächliche Wandstärke derselben nach den Angaben von Geniey	Berechnete Wandstärke nach der Formel von Geniey
m/m	m/m	m/m
54	10,5	10,38
81	11,3	10,57
108	12,3	10,76
135	14,0	10,95
162	15,0	11,14
216	16,0	11,51
250	17,0	11,75
320	18,8	12,24

Die empirische Formel von Geniey führt also, selbst bei der Annahme eines 5 fachen Probedruckes, zu Resultaten, die sich nicht in Uebereinstimmung mit jenen Erfahrungen befinden, die dem Autor derselben jedesfalls zu Gebote standen.

d'Aubuisson <sup>1)</sup> ist bei der Construction seiner Formel ähnlich, aber

1) d'Aubuisson de Voisins, Handbuch der Hydraulik, deutsch von Fischer, Leipzig 1835.

mit größerer Willkür zu Werke gegangen. Für  $f$ , die zulässige Inanspruchnahme des Gußeisens, substituirt er  $10^{3/4}$  Kilogr. (wobei er sich auf Tretgold beruft), einen Werth, der der Bruchfestigkeit eines minder guten Eisens entspricht und als inneren Druck, welchen man bei der Berechnung der Röhren voraussetzen soll, nimmt er die Höhe einer Wassersäule von 100 Meter an, unbekümmert darum, wie groß der Druck ist, dem das Rohr in Wirklichkeit ausgesetzt sein werde. (Daß in dieser Beziehung ehemals enorme Differenzen stattfanden, daß speciell die Druckhöhen bei den alten Wasserfontänen, Springbrunnen u. s. w. oft viel höher waren, als sie jetzt bei der Wasserversorgung der Städte üblich sind, ist bekannt). Ferner verstärkt er, ohne Rücksicht auf den Rohrdurchmesser, die Wanddicke um eine Constante, die er ebenso, wie Geniey, mit 10 m m. annimmt, um hierdurch die Unvollkommenheit des Gußes, die Wirkungen der Stöße in den Röhrenleitungen und den Einfluß des Kofses zu paralyisiren. Dadurch geht die allgemeine Formel

$$\delta f = \frac{P d}{2},$$

in welcher die einzelnen Buchstaben dieselbe Bedeutung wie früher haben, weil der Druck  $P$  einer Wassersäule von 100 Meter Höhe =  $\frac{1}{10}$  Kilo pr. □ Millimeter ist, über in:

$$\delta = 0,00465 d + 10,$$

wofür, der Abrundung halber, zunächst

$$\delta = 0,005 d + 10$$

gesetzt wird. Diese Formel hat d'Aubuisson, weil sie ihm zu geringe Wanddicken gab, die damals nicht ausführbar gewesen wären, noch einmal verändert und zwar half er sich, „indem er alle Schwierigkeiten der Kunst des Schmelzens in Betracht zog und den Coëfficienten des ersten Gliedes verdoppelte,“ wodurch er die Formel

$$\delta = 0,01 d + 10 \text{ m m. erhielt.}$$

Auch eine Verdreifachung des Coëfficienten, statt der Verdoppelung derselben, wurde von ihm in Vorschlag gebracht, und es findet sich als d'Aubuisson'sche Formel auch

$$\delta = 0,015 d + 10 \text{ m m.}$$

in verschiedenen Werken <sup>1)</sup> angegeben.

Aber weder die eine noch die andere dieser Formeln stimmt für die größeren Durchmesser mit den damals in Paris üblichen Röhren und mit

1) Dupuit, *Traité des eaux de Paris*. 1854. S. 117. — Hagen, *Handbuch der Wasserbaukunst*. Königsberg 1841. Bd. I. S. 313.

den in England gebräuchlichen überein, sondern beide geben schwächere Dimensionen. Sie stimmt aber auch nicht mit denjenigen Röhren, die d'Aubuisson selbst früher in Toulouse angewendet hatte, überein, auch diese hatten stärkere Dimensionen.

Die dem Alter nach nächstfolgende Formel hat Hagen<sup>1)</sup> aufgestellt, indem er die wahrscheinlichsten Werthe des Coëfficienten für das erste Glied und der Constanten auf Grundlage der Wandstärken von englischen Röhren berechnete. Wicksteed hatte nämlich im Jahre 1834, oder etwas früher Röhren von

3, 5 und 18 Zoll engl. Durchmesser, d. i. 76, 127 und 458 mm. Diam. mit  $\frac{3}{8}$ ,  $\frac{1}{2}$  und  $\frac{3}{4}$  Zoll engl. Wanddicke, das ist 9,5 12,7 und 19 mm. gießen lassen und selbe einem Wasserdrucke von 733 Fuß (22 Atmosphären) ausgesetzt, ohne daß die Rohre barsten. Hieraus berechnete Hagen für preuß. Zollmaß die Formel

$$\delta = 0,013 d + 0,41''$$

welche (reducirt auf Millimeter) lautet

$$\delta = 0,013 d + 10,72 \text{ m m.}$$

Berechnet man aber nach dieser Formel

für die drei Durchmesser . . . . .	d =	76	127	458
die Wanddicke . . . . .	$\delta =$	11,7	12,37	16,67
so ergeben sich für die kleinsten und größeren Röhren beträchtliche Differenzen gegen die Dimensionen von Wicksteed . . . . .		$9\frac{1}{2}$	12,7	19

während man ganz entsprechende Resultate erhalten würde, wenn man

$$\delta = 0,02 d + 10,$$

annimmt, denn dann wird . . . . .  $\delta = 11,52 \quad 12,54 \quad 19,16.$

Es ist somit der Nachweis geliefert, daß auch die Wicksteed-Hagen'sche Formel nicht in Uebereinstimmung mit jener Erfahrungsergebnissen ist, die dem Verfasser derselben bekannt waren.

Diese Thatsache, daß drei berühmte Hydrauliker Formeln für die Berechnung der Wandstärken der Röhren aufstellen, die mit den Erfahrungsergebnissen der damaligen Zeit, welche ihnen, wie es Jeder ausdrücklich erwähnt, wohl bekannt sind, nicht übereinstimmen, sondern regelmäßig schwächere Wandungen ergeben, ist so auffallend, daß man sich wohl veranlaßt fühlt, der Ursache nachzuforschen. Sie liegt einfach in dem Umstande, daß jeder dieser Männer erkannt hat, daß die vor oder zu seiner Zeit in der

1) Hagen, Handbuch der Wasserbaukunst. Königsberg 1841, Bd. I. S. 316.

Praxis angewendeten Fleischstärken übertrieben stark sind, und daß jeder dieser Männer den Beruf in sich gefühlt hat, diesem Mißbrauche entgegenzutreten.

Hören wir, wie sie sich selbst in dieser Beziehung aussprechen. Geniey macht (in § 299 seines Werkes) darauf aufmerksam, daß die Gießler alle horizontal formen, obwohl es besser wäre, die Röhren vertical zu gießen, und constatirt, daß man kaum mehr als  $\frac{2}{3}$  der von ihnen gelieferten Röhren bei der Probe brauchbar finde. d'Aluiffon erzählt (§ 180), daß die Hüttenleute in ihrem Interesse eine Regel aufgestellt hatten, wonach man die Wanddicke der Röhren für jeden Zoll ihres Durchmessers um eine Linie verstärken solle, und darauf hielten, die Röhren kurz, weit und dick zu machen. Am allerdeutlichsten aber spricht sich in dieser Beziehung Hagen aus, und die Stelle ist so charakteristisch, daß wir sie ihrem vollen Wortlaute nach anführen wollen.

Hagen sagt S. 316: „In früherer Zeit hielt man es für unmöglich, „die Wandstärken geringer als 1 Zoll anzunehmen und dabei gab man den „einzelnen Röhren nur die Länge von 3 Fuß; indem die Lieferung der „Röhren aber nach dem Gewichte geschah, so lag es im Interesse der Hütten- „besitzer, eine Veränderung der Wandstärken als ganz unausführbar darzu- „stellen. Die Concurrnz allein würde wahrscheinlich nicht so bald eine „solche Vervollkommnung des Gusses, wie wirklich eingetreten ist, erzielt „haben, wenn man nicht das Interesse der Hüttenbesitzer hiermit in Ver- „bindung gebracht hätte, nämlich man fing in England an, die Lieferung „von Gußröhren in Entreprise zu geben, ohne irgend eine bestimmte Wand- „stärke, noch ein bestimmtes Gewicht festzustellen. Es wurde ausbedungen, „daß die Röhren regelmäßig gefornt und von einer gewissen Weite sein „sollten, besonders aber wurde die Bedingung festgestellt, daß sie auf einen „bestimmten Druck, und zwar gemeinhin auf 10 Atmosphären, geprüft wer- „den sollten. Die Bezahlung geschah nur nach der Länge des gelieferten „Röhrenstranges. Durch dieses Verfahren wurden die Hüttenbesitzer in „ihrem eigenen Interesse dahin geführt, einen recht feinen und dabei fehler- „freien Guß herzustellen, und da die Concurrnz zwischen den verschiedenen „Hüttenbesitzern den Preis bald in demselben Maße herabdrückte, wie das „Gewicht der Röhren vermindert war, so hatten die Anlagelkosten für guß- „eiserne Röhrenleitungen sich bald auf die Hälfte und den dritten Theil „des früheren Betrages vermindert, wozu noch kam, daß die Hüttenbesitzer „sich auch bemühen mußten, die einzelnen Röhrenstücke recht lang zu machen, „denn die Ränder und sonstigen Vorrichtungen wurden gar nicht besonders „bezahlt. Die Röhren hatten hierdurch aber keineswegs an Güte verloren,

„vielmehr durch die Einführung des Verfahrens, daß jedes einzelne Rohr mit der hydraulischen Presse geprüft wurde, wesentlich gewonnen.“

Diese Bemühungen der Männer der Wissenschaft hatten allmählig, wenn auch zunächst nur in Frankreich, den gewünschten Erfolg. Die Pariser Röhren wurden, wie uns eine nachfolgende Tabelle zeigen wird, von Jahrzehent zu Jahrzehent mit schwächeren Wanddicken angefertigt und dieses Beispiel wurde in vielen anderen Städten Frankreichs nachgeahmt.

Wir wollen nunmehr auch die Formeln, welche später aufgestellt wurden, besprechen und werden den Nachweis liefern, daß dieselbe oben besprochene Tendenz auch bei diesen zum Ausdruck kam. Geniey und d'Aubuisson hatten, wie schon erwähnt wurde, sich auf die sehr mangelhaften Erfahrungsergebnisse über die Festigkeit des Gußeisens, welche zu ihrer Zeit vorlagen, gestützt und eben deshalb zu allerlei Willkürlichkeiten ihre Zuflucht nehmen müssen.

Morin<sup>1)</sup> war in dieser Beziehung weit besser daran, als er (beiläufig ein Jahrzehent später) seine Formel aufstellte. Er bildete sie ebenfalls nach der allgemeinen Gleichung

$$\delta = \frac{p d}{2 f} + C = \frac{10330 n d}{2 f} + C,$$

indem er für  $f$  als zulässige Inanspruchnahme den 6. Theil der absoluten Festigkeit des Gußeisens mit 2,17 Kilogr. pr. Quadratmillimeter substituirt und den Werth der Constanten  $C$  mit  $8\frac{1}{2}$  m. m. annahm. Hierdurch entstand die bekannte Formel

$$\delta = 0,00238 n d + 8,5$$

welche Redtenbacher, Weisbach und viele Andere adoptirt haben. Die Wandstärke der pariser Röhren, welche eine Zeit lang nach dieser Formel angefertigt wurden, sind bereits beträchtlich schwächer, als jene, die zu Geniey's Zeit in Gebrauch waren. Aber Morin hatte (1843), als Basis seiner Berechnung, jenen Festigkeitscoefficienten genommen, der, wie er selbst ausdrücklich bemerkt (S. 354), für das allerschwächste Gußeisen und für horizontalen Guß gilt. Es war daher sehr begreiflich, daß Dupuit, der Jahre lang die Pariser Wasserleitungen administrierte, die Röhren, zur Erweiterung des Röhrennetzes, welche er vertical und gewiß nicht aus dem Eisen der schwächsten Qualität gießen ließ, nicht mit so starken Wandstärken versah, als dies nach der Morin'schen Formel der Fall gewesen wäre.

Dupuit machte die Röhren schwächer, und zwar mit denjenigen Wandstärken, welche sich aus der von ihm aufgestellten Formel

1) Morin, Aide mémoire de mécanique pratique. Paris 1843.

$$\delta = 0,0016 \, n d + 8$$

ergeben. Diese Formel, welcher eine Inanspruchnahme des Materials mit 3 Kilogr. pr. Quadratmillimeter zu Grunde liegt, hat auch Morin <sup>1)</sup> sofort nicht nur (1858) acceptirt, sondern er ist wieder einen Schritt weiter gegangen und hat <sup>2)</sup> (1862) für verticalen Guß mit Eisen von sehr guter Beschaffenheit die Berechnung der Wandstärken nach der Formel

$$\delta = 0,001033 \, d n + 7$$

für zulässig erklärt. Morin motivirt (S. 99) diese weitere Reduction des Coefficienten des ersten Gliedes und der Constanten theils mit der Vervollkommnung der Fabrication in den Gießereien, theils mit dem Umstande, daß man nachgerade bereits gelernt habe, wie eine Wasserleitung einzurichten sei, um die heftigen Stöße zu vermeiden.

Das Resultat dieser Bemühungen in Frankreich, resp. der fortwährenden Verringerung der Wandstärken, ergibt sich in übersichtlicher Weise aus der nachfolgenden Tabelle, in der die Dimensionen der Rohrwandungen der Pariser Röhren zu verschiedenen Zeiten zusammengestellt sind.

Tabelle III.

Wandstärken der Pariser Wasserleitungsröhren zu verschiedenen Zeiten.

Durchmesser der Röhren in Millimeter . . . . .	54	81	108	135	162	190	216	250	300	320 bis 325	350	400	500	600
Wandstärken der Röhren in Millimeter														
Geniey ca. 1829 <sup>3)</sup>	10,5	11,3	12,3	14,0	15,0	—	16,0	17,0	—	18	—	—	—	—
Morin „ 1843 <sup>4)</sup>	—	10,4	11,1	11,7	12,3	—	13,6	14,5	—	16,1	—	—	—	—
Dupuit „ 1854 <sup>5)</sup>	—	9,5	10,0	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	13,0	13,5	14,0	14,5	16,0	18,0

Weitere Berechnungen nach empirischen Formeln.

Das Endergebniß aller dieser Studien und Forschungen über die Entziehung der verschiedenen Formeln zur Berechnung der Rohrwandstärken war

- 1) Morin, Arthur, *Léçons de mécanique pratique, Hydraulique*. Paris 1858.
- 2) „ „ *Résistance des matériaux*. Paris 1862.
- 3) Nach Angabe von Geniey, S. 176, § 295.
- 4) „ „ „ Morin, *Résistance des matériaux*. S. 94.
- 5) „ „ „ Dupuit, *les eaux de Paris*.



für mich zwar in mehrfacher Beziehung sehr interessant, aber durchaus nicht geeignet, ein besonderes Vertrauen zu einer oder der andern Formel zu erwecken. Sie haben alle zusammen den großen Fehler der Undurchsichtigkeit; es ist nicht möglich, aus denselben die Inanspruchnahme des Materials zu ersehen und weil man dies nicht kann, ist es nur schwer möglich, zu beurtheilen, ob die Suppositionen, welche man in sie hineingelegt hat, angemessen sind. So war es z. B. sicherlich fehlerhaft, in die allgemeine Formel von Dupuit für  $h$  den doppelten effectiven Druck zu substituiren, weil diese Annahme sich allenfalls bei den andern Formeln damit motiviren läßt, ein Aequivalent für die hydraulischen Stöße zu bieten, aber nicht bei dieser, welche in dieser Beziehung durch das Glied  $0,0128 d$  ohnedies schon vorgesorgt hat. Auch bei der Morin-Redtenbacher'schen Formel ist die Annahme  $n =$  dem Probedruck zu setzen, wenn man diesen doppelt so hoch wie den effectiven Maximaldruck annimmt, jedenfalls übertrieben, denn der Coefficient des ersten Gliedes  $0,00238$  basirt

- 1) auf der Voraussetzung eines Eisens von sehr geringer Festigkeit;
- 2) auf der Voraussetzung, daß dieses Eisen nur mit dem 6. Theile seiner Bruchfestigkeit in Anspruch genommen werde;
- 3) auf der Voraussetzung eines horizontalen Gusses.

Ich versuchte deshalb die Anwendung der beiden Formeln unter der Annahme des effectiven Druckes von 8 resp. 6 Atmosphären, und berechnete unter derselben Voraussetzung auch die Wanddicken nach Trautwine<sup>1)</sup> welcher von der Barlow'schen Formel

$$\delta = \frac{p \cdot d}{2(f - p)}$$

ausgeht,  $f = 5000$  Pfd. engl. pr. 1" engl. annimmt und mit Rücksicht auf alle Gefahren beim Transport und Verlegen, so wie auf die Ungleichheiten des Gusses und auf das Verrosten eine Constante

von  $\frac{1}{2}$  Zoll engl. für alle Röhren bis 12"

"  $\frac{5}{8}$  " " " " " " " 30"

"  $\frac{3}{4}$  " " " " " " " 48"

hinzugiebt. Reducirt auf Millimeter erhält man folgende Formeln:

Für die Röhren von 3" (79 m m.) bis 11" (290 m m.)  $\delta = 0,0113 d + 12,7$

" " " " 12" (316 m m.) " 28" (737 m m.)  $\delta = 0,0113 d + 15,9$

" " " " 30" (790 m m.) " 36" (948 m m.)  $\delta = 0,0087 d + 19,1$

Die nachstehende Tabelle giebt die Resultate dieser drei Berechnungen.

1) Siehe: Civil Engeneer and Architects journal 1853. S. 87.  
Wert heim, Wiener Wasserleitung.

Tabelle IV.

Durchmesser der Röhren		Redtenbacher		Dupuit allg. Formel		Trantwine	
Zoll	m/m	m/m	Linien	m/m	Linien	m/m	Linien
3	79	10,0	4,5	10,0	4,5	13,6	6,2
4	105	10,5	4,8	10,7	4,8	13,9	6,4
5	132	11,0	5,0	11,4	5,2	14,2	6,5
6	158	11,5	5,2	12,0	5,4	14,5	6,6
7	184	12,0	5,5	12,7	5,8	14,8	6,7
8	211	12,5	5,7	13,4	6,1	15,1	6,9
9	237	13,0	5,9	14,1	6,4	15,4	7,0
10	263	13,5	6,1	14,7	6,7	15,7	7,1
11	290	14,0	6,4	15,4	7,0	16,0	7,3
12	316	14,5	6,6	16,1	7,3	19,5	8,9
14	369	15,5	7,0	17,4	7,8	20,0	9,1
15	395	16,0	7,3	18,1	8,3	20,4	9,3
16	421	16,5	7,5	18,8	8,6	20,6	9,4
20	527	18,5	8,4	21,5	9,8	21,8	9,9
24	632	20,5	9,3	24,2	11,0	23,0	10,5
25	658	21,0	9,6	24,8	11,3	23,3	10,6
26	685	21,5	9,8	25,5	11,6	23,6	10,8
28	737	22,5	10,2	26,9	12,3	24,2	11,0
30	790	19,8	9,0	25,7	11,7	26,0	11,8
33	869	20,9	9,5	27,5	12,5	26,7	12,1
36	948	22,0	10,0	29,2	13,3	27,3	12,4

Durch diese und viele ähnliche Berechnungen, welche ich unter den mannigfaltigsten Voraussetzungen durchgeführt habe, deren Wiedergabe Zeit und Raum allzusehr in Anspruch nehmen würde und weiter doch keinen Werth hätte, bin ich zur Ueberzeugung gelangt, daß alle diese empirischen Formeln keinen sichern Anhaltspunkt zu Bestimmung der Wanddicken gewähren, weil die Voraussetzungen, auf denen sie aufgebaut, zu unsicher, die Annahmen, welche man zur Durchführung der Rechnung mit denselben machen muß, zu willkürlich sind.

### Erfahrungsergebnisse.

Ganz zu demselben Ergebnis bin ich leider bei der Sammlung und Zusammenstellung der Erfahrungsergebnisse gelangt, denn die Wanddicken der ausgeführten Wasserleitungen in aller Herren Länder zeigen wo möglich noch größere Differenzen, speziell für die großen Rohrdurchmesser, als die Rechnung nach empirischen Formeln ergibt. Die bereits bekannte historische Studie hatte mir einen Theil der diesbezüglichen Daten auch aus der neueren Zeit geliefert. Die Wasserleitungen von Paris, Dijon, Lyon,

Brüssel, New-York, Philadelphia u. s. w. lieferten mir, wenn ich auch von manchen Städten nur die Wanddicke für einzelne Durchmesser oder nur das Gewicht der Röhren besaß, einen weiteren Beitrag hierzu.

Die Wanddicken der Röhren in Paris, wie sie von Jahrzehent zu Jahrzehent schwächer gemacht wurden, sind bereits oben in einer Tabelle mitgetheilt, aber die Dimensionen der letzten Reihe daselbst, wie sie zu Dupuit's Zeiten gemacht worden, haben seitdem wieder eine Verringerung erfahren. Den Anlaß hierzu bot die Ausschreibung der Arbeiten für das Röhrennetz der Dhuis-Wasserleitung im Jahre 1864. <sup>1)</sup> Während die alten Pariser Muffenröhren von 250 mm. Durchmesser und 2,50 m. Baulänge, die 12 mm. Wandstärke haben, 215 Kilos wogen, wiegen die neuen Röhren von gleichem Durchmesser, aber von 3 m. Baulänge, nur 240 Kilogr. Da die Muffe eines solchen Rohres, nach Dupuit's Angabe, 35 Kilogr. wiegt, so läßt sich leicht berechnen, daß die neuen Röhren nur 11 mm. Wanddicke haben.

Die Röhren in Paris sind bekanntlich einem sehr geringen Drucke ausgesetzt, aber Röhren von 80 bis 850 mm. Durchmesser, von ganz derselben Wandstärke, sind für die Vertheilung des Wassers in Madrid in Anwendung, und daselbst in den tiefsten Theilen der Stadt einem Drucke von 6 bis 6½ Atmosphären ausgesetzt. Während aber die größten Röhren in der Stadt Madrid 850 mm. Durchmesser und 22 mm. Wandstärke haben, sind bei der Zuleitung des Wassers zum Reservoir Röhren von 920 mm. Durchmesser, welche nur 18 mm. Wandstärke haben, eingebaut und diese Röhren functioniren unter einem Drucke, der bis zu 60 m. geht, seit dem 24. Juni des Jahres 1858. <sup>2)</sup>

Wir haben hier ein Beispiel von sehr dünnen Rohrwänden, die in einer französischen Gießerei (Birgues Bambourg et Comp. à Fourchambault et à Torteron) im Jahre 1852 erzeugt wurden; die englischen und amerikanischen Gießereien bieten uns Beispiele von sehr starken Röhren bei-  
läufig desselben Durchmessers. So sind die 36" Haupttröhren der Brooklyn Water works 28 bis 38 mm. stark <sup>3)</sup>, obwohl die Druckhöhe

1) Siehe: Distribution des eaux de source. Détail estimatif des travaux à exécuter pour l'établissement des reservoirs et des conduites de distribution. Paris 1864.

2) Briefliche Mittheilung der Direction der Madrider Wasserwerke.

3) Report made by John H. Rodes. Journal of the Franklin Institute. Band 71, Jahr 1861.

dieser Wasserwerke nur 160 bis 190 Fuß beträgt.<sup>1)</sup> In New-York existiren 16zöllige Röhren, die ( $\frac{3}{4}$  Zoll engl.) 19 mm. Wanddicke haben, andererseits ist daselbst im Jahre 1855 ein 30zölliger Röhrenstrang gelegt worden, dessen einzelne Röhren, bei 9' Baulänge, durchschnittlich nur 3088 Pfd. engl. wogen, somit höchstens 22 bis 23 mm. Wandstärke haben können.

Schon die angeführten Beispiele würden genügen, um die oben ausgesprochene Behauptung zu bestätigen, daß auch die ausgeführten Wasserleitungen, bezüglich der Wanddicke der Röhren, keine sicheren Anhaltspunkte bieten. Noch mehr wird dies durch die tabellarische Zusammenstellung (siehe die eingestechte Tabelle V.) der Wandstärken von 22 verschiedenen Wasserleitungen ersichtlich gemacht, welche fast durchwegs auf Mittheilungen der respectiven Verwaltungen beruhen.<sup>2)</sup>

### Ergebniß der bisherigen Studien.

Daß die Zeit der Anfertigung der Röhren von großem Einfluß auf ihre Wanddicke gewesen sei, haben wir aus den historischen Studien gesehen. Die Reflexion ergiebt, daß die Verwendung der Röhren, die Druckhöhe der Wasserleitung bei Bestimmung der Wandstärken gebührend in Betracht gezogen werden müsse, ebenso der Ort der Anfertigung, weil die verschiedenen Gießereien verschiedene Eisensorten verwenden von ungleicher Festigkeit, Gießbarkeit u. s. w. Aber wie ist es zu erklären, daß in den Gießereien eines Landes, ja sogar in derselben Gießerei, zu derselben Zeit Wasserleitungsröhren für nahezu gleiche Reservoirhöhen, mit ganz verschiedenen Wandstärken hergestellt werden, wie dies namentlich in englischen Gießereien häufig der Fall ist? Der Ingenieur wird sich vergeblich bemühen, dafür technische Erklärungsgründe zu finden; denn es sind nur geschäftliche Motive, die einem solchen Vorgehen zu Grunde liegen. Wenn es sein kann, das heißt, wenn es bezahlt wird, macht jede Gießerei die Röhren so dick als möglich; wenn es sein muß, das heißt, wenn sie auf eine andere Art und Weise kein Geschäft machen kann, macht sie sie, vorausgesetzt, daß sie die erforderlichen Einrich-

1) Hughes, Samuel, A treatise on waterworks etc. London 1859. S. 206.

2) Der größte Theil dieser Mittheilungen datirt vom Jahre 1871 und wurde anlässlich des ausgebrochenen Streites über die Wandstärke der Wiener Röhren eingeholt.



tungen besitzt, so dünn, daß sie auch in dieser Beziehung mit allen andern Ländern concurriren kann, wie wir dies in einem flagranten Falle an den Röhren der Madrider Wasserleitung sehen, von denen der größte Theil in Glasgow gegossen wurde.

Auf Grundlage aller dieser Resultate der Praxis hat sich in mir die Ueberzeugung Bahn gebrochen, daß nicht die Wasserleitungsröhren mit den größten Wanddicken oder mit den Durchschnittdimensionen, sondern jene mit den schwächsten Dimensionen, die überhaupt ausgeführt werden, und sich in der Praxis bewähren, die Basis für ein rationelles Vorgehen bei der Bestimmung der Wanddicken bieten.

Als Endergebniß aller meiner Studien über die besprochenen Formeln zur Berechnung der Wandstärke hatte ich andererseits, wie bereits oben erwähnt, die Ueberzeugung gewonnen, daß sie alle miteinander nur einen geringen Werth haben, weil sie keine klare Einsicht gestatten, bis zu welchem Maße das Material beim künftigen Betriebe und bei den Proben in Anspruch genommen sei. Die Ursachen hiervon bei den älteren Formeln sind schon zur Genüge besprochen worden, aber auch die neueren empirischen Formeln, welche mit Benützung von ganz zuverlässigen Festigkeitscoëfficienten gebildet wurden, leiden an demselben Fehler, weil sie alle ein constantes Glied haben, dessen Einfluß, bei den verschiedenen Durchmessern, abzuschätzen geradezu unmöglich ist.

In dieser Nothlage richtete ich mein Augenmerk auf die rein wissenschaftlichen Berechnungsmethoden, von welchen ich mich bisher gänzlich fern gehalten hatte. Unter den überhaupt vorhandenen rationalen Formeln über die Wanddicke cylindrischer Gefäße, welche einem im Innern derselben wirkenden Drucke ausgesetzt sind, schien mir die Lamé'sche Formel die geeignetste zu sein. Scheffler <sup>1)</sup> hat dieselbe mit der alten, in dieser Schrift bereits mehrfach citirten Grundformel aller empirischen Formeln, ferner mit den Formeln von Brix und Barlow, verglichen und ist zu dem Ergebnisse gelangt, daß die Lamé'sche Formel die rationellste sei, und auch Reuleaux <sup>2)</sup> hat in der 3. Auflage seines Constructeurs diese Formel als „die zuverlässigste, das wahrscheinliche Verhalten der Stofftheilchen am genauesten ausdrückende Berechnungsmethode bezeichnet“.

1) Scheffler, Dr. Hermann, Die Elasticitätsverhältnisse der Röhren, welche einem hydrostatischen Drucke ausgesetzt sind, insbesondere die Bestimmung der Wanddicke derselben. Wiesbaden 1859.

2) Reuleaux, Der Constructeur. Braunschweig 1868.

### Rechnungen mit der Lamé'schen Formel.

Die Lamé'sche Formel lautet:

$$\delta = \frac{d}{2} \left\{ \sqrt{\frac{\frac{1}{n} f + p_0}{\frac{1}{n} f - p_0 + 2 p_1}} - 1 \right\}$$

wo  $\delta$  = die Wanddicke,

$d$  = den inneren Durchmesser,

$f$  = die absolute Festigkeit des Materials,

$n$  = den Sicherheits Coëfficient,

$p_0$  = den innern Druck gegen die Röhrenwand im Kilo pr. 1 □C.,

$p_1$  = den äußern Druck gegen die Röhrenwand bedeutet.

Tabelle VI.

f =	1000	1100	1200	1300					
n =	10	8	8	10					
Röhren-Durchmesser	Berechnete Wandstärke der Röhren								
Zoll	m/m	m/m	Lin.	m/m	Lin.	m/m	Lin.	m/m	Lin.
3	79	2,9	1,4	2,12	0,96	1,94	0,9	2,23	1,00
4	105	3,9	1,8	2,81	1,27	2,57	1,2	2,97	1,35
5	132	4,9	2,3	3,53	1,61	3,23	1,5	3,73	1,71
6	158	5,8	2,7	4,23	1,93	3,87	1,7	4,47	2,04
7	184	6,8	3,1	4,93	2,24	4,51	2,0	5,21	2,3
8	211	7,8	3,6	6,05	2,75	5,17	2,3	5,97	2,7
9	237	8,8	4,0	6,35	2,89	5,81	2,6	6,71	3,0
10	263	9,8	4,5	7,05	3,42	6,44	2,9	7,44	3,4
11	290	10,7	4,9	7,77	3,54	7,10	3,2	8,21	3,7
12	316	11,7	5,3	8,65	3,93	7,74	3,5	8,94	4,0
14	369	13,7	6,2	9,89	4,51	9,04	4,1	10,44	4,7
15	395	14,6	6,6	10,58	4,82	9,67	4,4	11,18	5,1
16	421	15,6	7,1	11,28	5,01	10,31	4,7	11,91	5,4
20	527	19,5	8,9	14,12	6,42	12,91	5,9	14,91	6,8
24	632	23,4	10,6	16,94	7,71	15,48	7,1	17,88	8,1
25	658	24,4	11,1	17,63	8,03	16,12	7,3	18,62	8,5
26	685	25,4	11,5	18,36	8,35	16,78	7,6	19,38	8,8
28	737	27,3	12,4	19,75	8,99	18,06	8,2	20,85	9,5
30	790	29,7	13,4	21,21	9,67	19,44	8,8	22,44	10,2
33	869	32,7	14,6	23,11	10,55	21,12	9,5	24,46	11,1
36	948	34,8	15,6	24,61	11,21	22,50	10,1	26,05	11,8

Ich machte zunächst für  $n$  und  $f$  mehrere willkürliche Annahmen und berechnete, unter der Voraussetzung eines inneren Druckes von 8 resp. 6 Atmosphären, die entsprechenden Wanddicken. Die Resultate dieser Berechnung sind in der vorstehenden Tabelle wiedergegeben.

Da aber die so berechneten Wanddicken, abgesehen davon, daß sie für die kleinen Durchmesser unausführbar waren, für die größeren Durchmesser je nach den für  $f$  und  $n$  angenommenen Werthen ebenfalls sehr verschieden ausfielen, so handelte es sich zunächst darum, diese Größen zweckmäßig anzunehmen, und dann — unter allen Umständen ausführbare Dimensionen zu erhalten.

Für die Bestimmung des anzunehmenden Werthes von  $n$  lag es nahe, in der Weise vorzugehen, daß man für ausgeführte Röhren, die sich in der Praxis bewährt hatten, mit Hilfe der Lamé'schen Formel das  $n$  berechnete. Bezeichnet man in dieser Formel

$$\frac{2 \delta}{d} + 1 = a$$

so ergibt sich als Werth für  $n$

$$n = \frac{f(a^2 - 1)}{p_0(a^2 + 1) - 2a^2 p_1}$$

Nach dieser Formel habe ich nun die Inanspruchnahme einer großen Anzahl von ausgeführten Röhren berechnet, wobei ich in jedem einzelnen Falle mich bemühte, den wahrscheinlichsten Werth für  $f$  zu benützen. Hierbei haben sich als Werthe von  $n$  für die kleinen Durchmesser, und bei geringen Druckhöhen Zahlen zwischen 400 und 100, für große Durchmesser bei geringem Druck zwischen 100 und 50, und endlich für große Röhren und große Druckhöhen Werthe von 20 bis 10, ja selbst bis 8 ergeben. Die Thatsache, daß die allerschwächsten Röhren, welche erfahrungsgemäß den Anforderungen, die an sie gestellt werden, genügen, hierbei nur mit dem 10. Theile ihrer Festigkeit in Anspruch genommen sind, mithin durchaus nicht an der äußersten Grenze ihrer Haltbarkeit stehen, war maßgebend für mein weiteres Vorgehen. Eine 10fache Sicherheit des Materials wird allenthalben im Maschinenbau und bei Bauconstructions, wenn es sich um die Anwendung von Metallen handelt, vollständig genügend befunden und angewendet, ja man geht sogar häufig noch unter dieses Maß hinab.

Morin<sup>1)</sup> sagt in seiner Lehre von der Festigkeit der Materialien, man könne die Metalle bis auf  $\frac{1}{6}$  ihrer Bruchfestigkeit permanent belasten.

1) Morin, Résistance des matériaux, 1862. S. 129, 130.



Weissbach<sup>1)</sup> stimmt mit Morin in dieser Beziehung vollständig überein.

Reuleaux<sup>2)</sup> giebt, als zulässige Materialspannung für Gußeisen, 4—5 Kilo pr. Quadratmillimeter an, d. i.  $\frac{1}{3}$  ihrer absoluten Festigkeit.

Redtenbacher erklärte es für zulässig, Metalle bis zum 5. Theile ihrer Festigkeit in Anspruch zu nehmen.

Love<sup>3)</sup> nimmt den Sicherheitsgrad speciell für Wasserleitungsröhren mit 3 bis 6 an.

Indessen darf man nicht außer Acht lassen, daß in unserem speciellen Falle zwei Motive dafür sprechen, den Sicherheitsgrad nicht allzu gering anzunehmen. Einmal ist Gußeisen kein so homogenes Material, wie andere Metalle, und dann müssen Wasserleitungsröhren genügend stark sein, um nicht bloß den statischen Pressungen, die auf die Rohrwände wirken, sondern auch den hydraulischen Wirkungen, die sich nie ganz vermeiden lassen, Widerstand zu leisten. Aus diesen Gründen schien mir eine beiläufig 10fache Sicherheit zweckentsprechend zu sein.

Ein weiteres Moment, welches vor Beginn der Rechnung in Betracht gezogen werden mußte, war die voraussichtliche Zugfestigkeit des Materials, aus welchem die Röhren angefertigt werden sollten. Wäre von vornherein eine bestimmte Gießerei zur Anfertigung der Wiener Wasserleitungsröhren berufen gewesen, so würde selbstverständlich die Festigkeit des Eisens dieser Gießerei allein maßgebend gewesen sein, und wenn diese Festigkeit nicht bekannt gewesen wäre, so würde es die Wichtigkeit des Gegenstandes erheischen haben, dieselbe durch Versuche zu ermitteln. Das war nun nicht der Fall, und konnte nicht der Fall sein, weil man von vornherein die Absicht hatte, der Concurrenz freien Spielraum zu gewähren. Aber trotz dieser Absicht durfte man mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit annehmen, daß die gesammte Lieferung vom Inlande gedeckt, somit vorzugsweise österreichisches Eisen zur Verwendung kommen werde.

Zur Begründung der Richtigkeit dieser Annahme ist es nothwendig, die Zeit, zu welcher das Project verfaßt wurde (1865) und den damaligen Zustand der österreichischen Eisenindustrie in Erinnerung zu bringen. Sämmtliche Eisenwerke hatten damals sehr wenig zu thun und lechzten nach

1) Weissbach, Ingenieur- und Maschinenmechanik, 1845, S. 197.

2) Reuleaux, Constructionslehre für den Maschinenbau, 1862, S. 833.

3) Love, Des diverses résistances et autres propriétés de la fonte etc. Paris 1859.

Bestellungen, um mindestens einen Theil ihrer Defen im Gang erhalten zu können. Ein indirecter Beweis dafür sind die außerordentlich gedrückten Preise des Marktes zu jener Zeit <sup>1)</sup>, ein directer Beweis wurde durch die wiederholten Anfragen vieler Eisenwerke geliefert, ob sie nicht bald eine Röhrenbestellung zu erwarten hätten. Mehrere Gießereien sprachen sogar die Absicht aus, auch ohne Bestellung und ohne Preisvereinbarung Röhren in Vorrath zu gießen, und baten dringend um Zeichnungen zur Anfertigung der Modelle. Wir werden später Gelegenheit haben, auf diesen Umstand zurückzukommen und einige dieser Offerten mitzutheilen.

Bei dieser Sachlage handelte es sich darum, über die absolute Festigkeit des Gußeisens überhaupt, insbesondere aber über jene des österreichischen Materials, positive Daten zu erhalten. Das war aber weit schwieriger, als man hätte denken sollen. Die Gießereien waren nicht im Stande, darüber verlässliche Auskunft zu geben, und die Literatur erwies sich als äußerst lückenhaft. So zahlreich derartige Untersuchungen über Schmiedeeisen und Stahl angestellt worden sind, so eingehend die relative Festigkeit der Metalle geprüft worden war, so mangelhaft waren die Untersuchungen über absolute Festigkeit des Gußeisens von jeher gepflogen worden. Dieser Vorwurf trifft nicht die österreichischen Eisenwerke allein, denn dieselbe Thatsache wiederholt sich in allen Ländern. Ich habe mich bemüht, alles diesbezügliche Material zu sammeln, und stelle die Hauptergebnisse meiner Studien nachfolgend zusammen.

Ältere Versuche mit Gußeisenarten von Brown und Rennie <sup>2)</sup> haben die absolute Festigkeit derselben mit 1144, 1279 und 1305 Kilogr. ergeben, wobei zu bemerken, daß letztere Zahl sich auf vertical gegossenes Eisen bezieht.

Burg <sup>3)</sup> giebt als Mittelwerth einer Anzahl österreichischer Eisenarten 15693 Wien. Pfd. pr. 1□" = 1266 Kilogr. pr. 1□ C. und speziell für Mariazeller Kanoneneisen, aus dem Hohofen gegossen, noch viel höhere Werthe.

1) So wurden beispielsweise die 15- und 20zölligen Röhre für die Wiener Ringstraßenwasserleitung loco Depotplatz um 5 Fl. 32 Kr. öst. W. pr. Wiener Centner geliefert.

2) Peter Barlow, A treatise on the strength of timber, cast iron etc. London 1837.

3) Jahrbücher des k. k. polytechnischen Institutes in Wien, 1837, Bd. 19, S. 41.

Flachat <sup>1)</sup> nimmt für Roheisen der besten Qualität 1200 Kilo als Bruchgrenze für Zugbelastung an, und sagt, man solle dasselbe keiner höheren constanten Spannung, als 300 Kilogr. pr. □C., aussetzen.

Morin <sup>2)</sup> giebt die durchschnittliche Festigkeit des französischen Gußeisens, gestützt auf ältere und neuere Untersuchungen, mit 1564 Kilos pr. 1 □C. an und beruft sich auf Hodgkinson, daß die durchschnittliche Zugfestigkeit verschiedener englischer Eisenforten nur 1123 Kilos pr. 1 □C. betrage. An einer andern Stelle seines Werkes (S. 130) giebt Morin den zulässigen Durchschnittswerth der Bruchbelastung

für das stärkste vertical gegossene Eisen mit 1350 K.

„ „ schwächste horizontal gegossene Eisen mit 1250 K. an.

Weisbach <sup>3)</sup> erklärt den Durchschnittswerth von  $f = 1900$  alten preuß. Pfd. pr. 1 □Zoll = 1298 Kilogr. pr. 1 □C. als zulässig.

Love <sup>4)</sup> hat sich eingehend mit der Zerreißungsfähigkeit der Metalle beschäftigt, und eine große Anzahl von Erfahrungen über die Festigkeit französischer Eisenforten gesammelt. Er giebt, als Mittelwerthe der Gußeisenforten von Marquis und Bessèges, 1800 bis 1832, von Mazières und Comentry 1446, von Landes 1342 bis 1555 Kilogr. pr. □C. an, und macht darauf aufmerksam, wie großen Einfluß die Dimension der Versuchsstäbe auf den Festigkeits-Coefficienten habe. Er führt ein specielles Beispiel an, in welchem bei einer und derselben Eisenforte der Zugfestigkeits-Coefficient zwischen 1400 und 2000 Kilogr. variiert, je nach dem stärkeren oder schwächeren Querschnitt der Versuchsstäbe.

Cardly-Wilmot <sup>5)</sup> hat eine Reihe von Versuchen veröffentlicht, welche die englische Regierung im Arsenal von Woolwich mit 850 verschiedenen Proben englischen Gußeisens angestellt hat. Als Mittelwerth von 51 Proben wird die absolute Festigkeit des englischen Gußeisens mit 23357 Pfd. pr. 1 □" = 1635 Kilogr. pr. 1 □C. angegeben.

Stellt man alle diese Angaben zusammen und berücksichtigt noch viele andere einzelne zerstreute Notizen in den Journalen, so gelangt man bei-

1) Flachat, Barrault Petiet, *Traité de la fabrication du fer.* Paris 1842. S. 71.

2) Morin, *Résistance des matériaux.* Paris 1862. S. 88.

3) Weisbach, *Ingenieur u. Maschinenmechanik.* Braunschweig 1845. S. 197.

4) Love, H., *Des diverses résistances et autres propriétés de la fonte etc.* Paris 1859. Siehe auch *polyt. Centralblatt* 1860.

5) *Mechanics Magazin* N. S. Bd. 2, S. 162, Jahrg. 1859.

läufig zu demselben Resultate wie Winkler <sup>1)</sup>, welcher als Mittelwerth für die absolute Festigkeit des Gußeisens 1320 Kilogr. pr. 1 □C. angegeben hat. Der Ingenieur-Kalender von Stühlen, das Taschenbuch der „Hütte“, das Portefeuille für Ingenieure von Marin, geben für die absolute Festigkeit des Gußeisens, reducirt auf Kilogrammes pr. □C. 1242, 1305, 1290. Als Mittelwerth aller dieser vorstehenden Zahlenreihen ergibt sich 1300 Kilogr. pr. □C. = 16,100 Wiener Pfund pr. Wiener □“ und diese Zahl wurde bei allen weiteren Rechnungen mit der Lamé'schen Formel als Werth von  $f$  eingeführt.

Noch eine weitere Eigenschaft des Eisens, außer der Festigkeit, mußte in Betracht gezogen werden, das ist die Gießbarkeit desselben, weil die Annahme einer zehnfachen Sicherheit bei den kleinen Rohrdurchmessern zu Wandstärken führt, die aus Gußeisen praktisch unausführbar sind. Zu diesem Behufe mußte das geringste Maß der Wanddicke, das überhaupt praktisch ausführbar war, aufgesucht, und dieses Maß noch etwas erhöht werden, um dem Umstand Rechnung zu tragen, daß gerade für den kleinsten Rohrdurchmesser eine Massenfabrikation erforderlich sein werde. Bekanntlich ist man bei einer solchen nicht im Stande, jene Gleichmäßigkeit der erzeugten Waare zu erzielen, die bei einer geringen Production erreichbar ist. Die Rücksprache mit verschiedenen Praktikern führte mit specieller Rücksicht auf die österreichische Eisenindustrie dahin, diese Minimalwandstärke mit  $4\frac{1}{2}$  Linien = 10 mm. anzunehmen.

Es ist bereits früher erwähnt worden, daß mehrere österreichische Eisenwerke sich während der Projectsverfassung um Bestellungen bewarben, und aus eigenem Antriebe diesbezügliche Offerten machten. Im October 1864 übersandte der kaiserl. königl. Verweser Prudner des ärarischen Eisenwerkes St. Stefan eine Preis- und Gewichtstabelle für gußeiserne Röhren von 1 bis 36“ Durchmesser und 3 bis 5 Fuß Baulänge, nach welcher die Röhren eine außerordentlich geringe Wanddicke erhalten sollten, und in einem, dieser Tabelle beiliegenden, Schreiben wird darauf hingewiesen, daß, wie man aus dem Gewichte der Röhren entnehmen werde, kein Gußwerk des In- und Auslandes die Röhren billiger liefern könne, weil das Gewicht derselben bedeutend geringer sei, als das übliche in anderen Gußwerken, und daß dessenungeachtet die mit Asphalt überzogenen Röhren einen Druck von 80 und mehr Atmosphären aushalten. Sie seien daher den, in der Denkschrift des Stadtbauamtes vom Jahre 1861 S. 57

1) Der Civilingenieur. 1863, S. 406.

erwähnten sogenannten Chamroy-Röhren aus Paris entschieden vorzuziehen, denn diese Blechröhren seien zwar auch mit Asphalt überzogen, aber nur 2<sup>'''</sup> stark, während die gußeisernen Röhren von 1 bis 36 Zoll Durchmesser des Werkes 3 bis 6<sup>'''</sup> Wandstärke besäßen. Im December des Jahres 1864 übersandte die k. k. Gewerkschaft Mariazell durch ihren damaligen Vertreter ein gußeisernes Wasserleitungsrohr von 36" Durchmesser, 6 Fuß Baulänge mit 6 Wiener Linien Wandstärke, welches 1095 Pfd. wog. Dieses Rohr, welches nach den erhaltenen Auskünften nicht speciell zur Anstellung eines Versuches gegossen wurde, sondern von einer für das k. k. Bergwerk Idria bestimmten Lieferung übrig geblieben war, wurde am 19. Juni 1865 im Maschinenhause der Kaiser-Ferdinand-Wasserleitung nächst der Ruzsdorfer Linie in Gegenwart einer Commission, der unter andern auch der damalige Professor der Physik am polytechnischen Institute in Wien, Dr. Heßler, angehörte, mit einer hydraulischen Presse geprüft. Bei dieser Probe, welche in der Absicht das Rohr zu zersprengen angestellt wurde, wurde der Druck im Innern des Rohres bis zu 20 Atmosphären getrieben, bei welcher Spannung eine der Dichtungsplatten zersprang. Das während und nach der Probe sorgfältig untersuchte Rohr zeigte nirgends eine defecte Stelle. Im Laufe des Jahres 1865 kamen weitere Röhren-offerten von dem fürstlich Salm'schen Gußwerke zu Blansko, von Kladno, von der Gräflich Christallnigg'schen Gießerei zu St. Johann am Brückl, und noch von mehreren andern Werken, welche ich namentlich aufzuführen unterlasse, weil mir die diesbezüglichen Briefe und Akten nicht zur Disposition stehen.

Gestützt auf alle diese vorstehend besprochenen Anhaltspunkte nahm ich nunmehr für die einzelnen Rohrdurchmesser die Wanddicken willkürlich an, und berechnete nach der Lamé'schen Formel die Sicherheit des Materiales. Ergab die Rechnung für  $n$  einen beträchtlich höheren Werth als 10, so wurde die angenommene Wanddicke reducirt, im umgekehrten Falle erhöht. Es wäre vollständig unnütz, all' diese Versuchsrechnungen, von denen übrigens nur mehr der kleinste Theil existirt, hier zu wiederholen; ein Beispiel wird vollkommen genügen, um die Anwendung der Methode zu zeigen:

Für  $d = 400$  mm. nahezu = 15 Wiener Zoll

hatte man in Paris  $\delta = 14,5$  mm.

in Lyon  $\delta = 13,0$

in Brüssel  $\delta = 14$

in London  $\delta = 19$  mm. =  $\frac{3}{4}$  Zoll engl. ausgeführt.

Substituirt man diese Werthe von  $d$  und  $\delta$  in die Lamé'sche Formel und nimmt

$$f = 1300 \text{ Kilogr. pr. 1 } \square\text{C. an}$$

$$p_0 = 8,264 \quad \text{'' '' '' '' ''}$$

$$p_1 = 1,033 \quad \text{'' '' '' '' ''}$$

so ergibt die nachstehend durchgeführte Berechnung folgende Resultate:

	$d$	$\delta$	$a$	$a^2$	$f(a^2-1)$	$p_0(a^2+1)$	$2a^2 p_1$	$\frac{p_0(a^2+1)}{-2a^2 p_1}$	$n$
Paris . .	400	14,5	1,072	1,150	195,0	17,768	2,376	15,392	12,7
Lyon . . .	400	13,0	1,065	1,134	174,2	17,635	2,343	15,292	11,4
Brüssel .	400	14,0	1,070	1,145	188,5	17,725	2,366	15,359	12,2
London .	400	19,0	1,095	1,199	260,0	18,180	2,479	15,701	16,5

Nachdem die kleinste der ausgeführten Wandstärken noch immer eine mehr als 10fache Sicherheit ergab, nahm ich für  $d = 15$  Wiener Zoll  $= 395$  mm.  $\delta = 6'' = 13,17$  mm. an, wodurch sich für Wien  $n = 12,0$  ergibt. In derselben Weise wurde die Rechnung für die anderen Durchmesser durchgeföhrt und ergab beispielsweise für

den Durchmesser von	{ Zoll . . . . .	5	8	10	15	20	28	36
		132	211	263	395	527	737	948
unter der Annahme der Wand-	{ Linien . . . . .	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
		9,8	11,0	12,1	13,2	14,3	15,4	16,5
als Werthe von $n$ . . . . .		23	18	16	12	9,5	7,5	8,7

Nachdem der Sicherheitsgrad, bei den größeren Röhren, speciell bei den 28'' etwas kleiner als 10 war, würde mich dieses Resultat veranlaßt haben, die bezüglichen Wandstärken zu erhöhen, wenn die in die Rechnung gelegten Voraussetzungen völlig unanfechtbar gewesen wären. Dies war aber nicht der Fall.

Ich habe im Eingange dieser Schrift erwähnt, daß mir beim Beginne dieser ganzen Berechnung die Niveauverhältnisse der einzelnen Röhrenstränge und die Höhenlage der Wasserbehälter noch nicht genau bekannt waren. Während des Jahres 1865 aber waren die Nivellements eifrig fortgesetzt, die Höhenlage der Wasserbehälter bestimmt und die Längenprofile der Haupt-Röhrenstränge angefertigt worden. Dadurch erhielt ich (zur rechten Zeit) die erforderlichen Daten, um die Berechnung der Röhrenwandstärken mit dem richtigen, jedem Durchmesser entsprechenden, Werthe von  $p_0$  durchföhren zu können. Ich hatte, wie bereits erwähnt, bisher alle Rechnungen unter der Voraussetzung vorgenommen, daß der Maximaldruck für sämtliche Röhren innerhalb der Linie 8, für die 30, 33 und 36zölligen Rohre, die

außerhalb der Stadt zur Verwendung kommen, 6 Atmosphären betrage. Die Längenprofile zeigten aber, daß diese Annahmen für alle Durchmesser etwas, für einzelne Röhrenstränge aber beträchtlich zu hoch gegriffen waren. Die nachfolgende Tabelle giebt die richtige Maximaldruckhöhe in Fuß Wasserfäule, und die correspondirenden Maximalwerthe von  $p_0$  für jeden Röhrendurchmesser des im Jahre 1865 ausgearbeiteten Projectes für das gesammte Röhrennetz, und den, mit diesen Werthen von  $p_0$  berechneten, Sicherheitsgrad  $n$ .

Tabelle VII.

Röhren-Durchmesser		Angenommene Wandstärke		Druckhöhe der Wasserfäule in Fuß	Druck dieser Wasserfäule auf die innere Rohrwand in Kilogr. per □ C.	Sicherheitsgrad $n$	
$d$		$\delta$				berechnet	abgerundet
Zoll	m/m	m/m	Lin.				
3	79	8,9	4,5	238	7,52	41	41
4	105	8,9	4,5	238	7,52	32	32
5	132	8,9	4,5	238	7,52	25	25
6	158	11,0	5,0	238	7,52	26	26
7	184	11,0	5,0	201	6,35	28	28
8	211	11,0	5,0	238	7,52	20	20
9	237	12,1	5,5	235	7,43	19	19
10	263	12,1	5,5	232	7,33	18	18
11	290	13,2	6,0	232	7,33	18	18
12	316	13,2	6,0	238	7,52	15,8	16
14	369	13,2	6,0	210	6,64	16,1	16
15	395	13,2	6,0	238 <sup>1)</sup>	7,52	12,7	13
16	421	14,3	6,5	238	7,52	12,9	13
20	527	14,3	6,5	238	7,52	10,4	10
24	632	15,4	7,0	238	7,52	10,2	10
25	658	15,4	7,0	212	6,70	10,3	10
26	685	15,4	7,0	238	7,52	8,8	9
28	737	15,4	7,0	207	6,54	9,7	10
30	790	16,5	7,5	107	3,37	22,5	22
33	860	16,5	7,5	149	4,71	12,9	13
36	948	16,5	7,5	186 <sup>1)</sup>	5,87	9,35	9

Man sieht aus den letzten Zahlen dieser Tabelle, daß die für jeden Durchmesser angenommenen Wandstärken den beiden vorher besprochenen

1) Einem noch etwas größeren Drucke sind die Röhren unter der Sohle des Wienflusses und Donaukanales ausgesetzt. Für diese Siphons von circa 60 Klafter (120 m.) Länge waren aber damals gußeiserne Röhren besonderer Construction mit viel stärkeren Wandungen, projectirt.

Bedingungen Genüge leisten; sie sind genügend für die Gießbarkeit der Röhren, ein Moment, welches vorwiegend bei den kleinen Durchmessern in Betracht zu ziehen ist; sie bieten aber auch für die großen Durchmesser eine mindestens 9 fache, mithin reichlich genügende Sicherheit unter den ungünstigsten Voraussetzungen, d. h. selbst an jenen Stellen, wo die auf sie wirkende Wasserfäule ein Maximum ist.

Es lagen überdies schon damals, im Jahre 1865, für die kleinen und mittleren Durchmesser Erfahrungen in großem Maßstabe von anderen Städten vor, in welchen Röhren mit ähnlichen Wandstärken seit Jahren verwendet worden waren, wie sich dies aus der Betrachtung der Tabelle V. ergibt. Hierher gehören namentlich Brüssel, Lyon, Madrid und Braunschweig und seither sind derartige Erfahrungen noch in anderen Städten gesammelt worden, wo Wasserleitungen mit dünnwandigen Röhren angelegt wurden, z. B. in Zürich, Basel, Bern u. s. w. Diese Städte, welche seit einer Reihe von Jahren Wasserleitungen mit so geringen Wandstärken besitzen, hatten zur Zeit der Herstellung derselben keine Muster, welche sie nachahmen konnten, denn alle vorher und gleichzeitig hergestellten Wasserleitungen waren mit dickeren Röhren gebaut worden. Die Erfahrung hat aber gezeigt, wie rationell diese Städte vorgingen, als sie, zum Zwecke einer Capitalersparung, den bisher üblichen Weg verließen und neue Bahnen einschlugen; denn die, im Vergleich mit andern Städten, so dünnen Röhren aller dieser Städte haben sich vollkommen bewährt. Wenn aber diese Städte für ihre Röhrenneze mit gutem Erfolge so vorgegangen waren, so lag gewiß kein Grund vor, dieses Beispiel nicht nachzuahmen, und wenn der von diesen Wasserleitungen betretene Weg bei der Wiener Wasserleitung auch für größere Durchmesser eingeschlagen wurde, so waren hierbei das Beispiel der Madrider Wasserleitung, die mehrfachen Oefferten der Gießereien und die angestellten Versuche, maßgebend. Der Erfolg, nämlich die mit Röhrensträngen größter Durchmesser im weitem Verlaufe des Jahres 1871 vorgenommenen vollkommen gelungenen Proben, hat bewiesen, daß die besprochenen, zur Anwendung gebrachten Principien richtig sind. Weil ich aber, gestützt auf meine Studien, diese Ueberzeugung schon vor diesen Proben gewonnen hatte, konnte ich mit gutem Gewissen die in der Tabelle VII. angegebenen Wandstärken als entsprechend ansehen und habe sie der weiteren Ausarbeitung des Projectes im Jahre 1865 zu Grunde gelegt. Nach diesen Wandstärken wurden demnach die Zeichnungen der Röhren angefertigt und die Gewichte derselben berechnet.



### Berechnung der Materialspannungen.

Außer diesen vorstehenden Berechnungen habe ich im Laufe der nachfolgenden Jahre bei verschiedenen Veranlassungen, und theilweise selbst noch im Jahre 1871, als der Streit über die Wanddicke der Röhren bereits entbrannt war, noch weitere Berechnungen derselben nach verschiedenen Formeln von Brix, Reuleaux, Boy, Love und anderen angestellt, welche ich aber, weil sie nachträglich vorgenommen, für die Bestimmung der Wandstärken der Röhren der Wiener Hochquellenwasserleitung nicht mehr maßgebend waren, hier nicht besprechen will. Wohl aber scheint es mir angezeigt, noch einer andern Rechnung Erwähnung zu thun, und zwar des wissenschaftlichen Interesses wegen, welches sie bietet. Die Inanspruchnahme des Materials, sowol bei der Prüfung der Röhren auf 15 Atmosphären Spannung, als während des Betriebes an jenen Stellen, die dem größten Drucke ausgesetzt sind, wurde von mir in zweifacher Weise berechnet: einmal nach der Lamé'schen Formel, in welcher aber das Rohr als glatter Cylinder in Rechnung genommen werden muß, und ein zweites Mal mit Rücksicht auf jene Querschnittsverstärkung, die durch die Muffe und den sogenannten Mandelring im Rohre bewirkt wird.

Die Lamé'sche Formel, nach der die Berechnung vorgenommen wurde, lautet:

$$s = \frac{\left[ \left( \delta + \frac{d}{2} \right)^2 + \left( \frac{d}{2} \right)^2 \right] p_0 - 2 \left( \delta + \frac{d}{2} \right)^2 p_1}{\left( \delta + \frac{d}{2} \right)^2 - \left( \frac{d}{2} \right)^2}$$

wo  $s$  die Spannung des Materials pr.  $\square$  m m.

$d$  den Rohrdurchmesser im Lichten in m m.

$\delta$  die Wandstärke in m m.

$p_0$  und  $p_1$  den Druck auf die innere und äußere Rohrwand pr.  $\square$  m m. bezeichnet.

Für die 2. Berechnungsmethode wurde zunächst der Gußeisenquerschnitt jedes Rohres mit Rücksicht auf dessen Wanddicke, Baulänge, Muffendimensionen, Verstärkungsringe u. s. w. berechnet, und weiter die Horizontalprojection der inneren Röhrenoberfläche, resp. ein Querschnitt im Lichten durch die Röhrenaxe. Bezeichnet man den Gußeisenquerschnitt mit  $2 \omega$ , den Röhrenlängenschnitt im Lichten mit  $Q$ , den Druck auf die Flächeneinheit der in-

neren Rohrwand mit  $p$  und die Materialspannung des Gußeisens pr. Flächeneinheit mit  $s$ , so ist

$$s = \frac{Q p}{2 \omega}$$

Die nach diesen beiden Methoden berechneten Werthe von  $s$  für den Probedruck von 15 Atmosphären, dem jedes Rohr auf der hydraulischen Presse auf kurze Zeit ausgesetzt wird, sind in der nachfolgenden Tabelle Nr. VIII. berechnet. Ebenso sind in der Tabelle Nr. IX die Werthe von  $s$  für die Maximal-Znanspruchnahme der Röhren an den tiefsten Punkten (zur Nachtzeit) berechnet.

Tabelle VIII.  
Materialspannung bei 15 Atmosphären Probedruck.

Röhren-Durchmesser		Wandstärke		Einfacher Gußeisenquerschnitt		Horizontal Rohr-Längenschnitt		Materialspannung für 15 Atmosphären		
d		δ		ω		Q		nach der Formel	nach der Formel	
d		δ		ω		Q		$s = \frac{Q p}{2 \omega}$		
von Lamé										
Lin.	m/m	Lin.	m/m	□''	□ m m	□''	□ Centimeter	Wr. Centn. pr. □''	Kilogr. pr. □ m/m	Kilogr. pr. □ m/m
3	79	4,5	8,9	29,4	20448	233	1617	7,59	0,612	0,710
4	105	4,5	8,9	29,4	20448	309	2144	10,07	0,812	0,919
5	132	4,5	8,9	43,1	29931	566	3928	12,59	1,016	1,138
6	158	5,0	11,0	47,8	33184	678	4705	13,61	1,093	1,104
7	184	5,0	11,0	48,0	33314	793	5503	15,86	1,279	1,274
8	211	5,0	11,0	48,0	33314	906	6287	18,12	1,462	1,451
9	237	5,5	12,1	52,6	36539	1018	7064	18,56	1,498	1,513
10	263	5,5	12,1	53,6	37209	1139	7904	20,39	1,645	1,635
12	316	6,0	13,2	57,9	40225	1365	9472	22,61	1,824	1,794
14	369	6,0	13,2	58,7	40760	1591	11041	26,01	2,098	2,083
15	395	6,0	13,2	58,7	40760	1704	11825	27,85	2,247	2,226
16	421	6,5	14,3	63,0	43753	1817	12609	27,67	2,232	2,191
20	527	6,5	14,3	63,3	43921	2275	15788	34,51	2,784	2,726
24	632	7,0	15,4	68,4	47488	2729	18938	38,28	3,089	3,028
25	658	7,0	15,4	68,6	47642	2850	19777	39,86	3,216	3,150
26	685	7,0	15,4	68,6	47642	2963	20562	41,44	3,344	3,277
30	790	7,5	16,5	52,8	36669	2354	16335	44,58	3,597	3,522
33	869	7,5	16,5	52,8	36669	2588	17959	49,01	3,955	3,867
36	948	7,5	16,5	52,8	36669	2822	19583	53,44	4,312	4,214

Diese Tabellen sind in mehrfacher Beziehung instructiv; zunächst ergibt sich, daß die größten Materialspannungen während des Betriebes nicht mehr als 1 bis 1½ Kilogr. pr. □ m m. betragen, mithin die Znanspruchnahme

Wertheim, Wiener Wasserleitung.

Tabelle IX.

Materialspannung während des Betriebes an den tiefsten Punkten  
(zur Nachtzeit).

Röhren- Durchmes- ser		Wand- stärke		Maximaldruck (zur Nachtzeit)		Materialspannung			
						nach der Formel $s = \frac{p Q}{2 \omega}$		nach der Formel von Lamé	
Zoll	m/m	Lin.	m/m	in Fuß Wasser- säule	in Kilogr. pr. □ Cen- timeter	in Pfd. pr. □ Zoll	in Kilogr. pr. □ m/m	in Kilogr. pr. □ m/m	in Kilogr. pr. □ m/m
12	316	6,0	13,2	238	7,52	10,97	0,885	0,806	0,954
15	395	6,0	13,2	238	7,52	13,52	1,091	0,965	1,134
16	421	6,5	14,3	238	7,52	13,43	1,084	0,957	1,125
20	527	6,5	14,3	238	7,52	16,75	1,351	1,189	1,395
24	632	7,0	15,4	238	7,52	18,58	1,499	1,381	1,618
25	658	7,0	15,4	212	6,70	17,23	1,391	1,257	1,503
26	685	7,0	15,4	238	7,52	17,49	1,411	1,202	1,450
30	790	7,5	16,5	107	3,37	9,30	0,751	0,564	0,831
33	869	7,5	16,5	149	4,71	14,29	1,153	0,969	1,262
36	948	7,5	16,5	186	5,87	19,42	1,567	1,407	1,725

des Gußeisens eine ungemein kleine ist. Aber auch bei der Probe auf 15 Atmosphären, wo die Inanspruchnahme nur wenige Minuten anhält, ist die Materialspannung nicht zu groß. Sie schwankt für die größeren Durchmesser zwischen 2 und 4 Kilogr. pr. □ mm., bleibt mithin weit unter der Elasticitätsgrenze des Gußeisens. Weiter ergibt sich aus den vorstehenden Tabellen, daß die approximative Berechnungsmethode etwas größere Werthe für s ergibt, als die genaue Berechnung nach der Lamé'schen Formel. Der Grund liegt hauptsächlich darin, daß bei letzterer der Druck der Atmosphäre auf die äußere Rohrwandung in Abrechnung gebracht wird, während dies bei der Berechnung nach der Formel

$$s = \frac{p Q}{2 \omega}$$

nicht der Fall ist. Indessen ist der Unterschied sehr unbedeutend. Nimmt man in der Lamé'schen Formel den äußeren Druck  $p_1 = 0$ , wodurch

$$s = \frac{\left(\delta + \frac{d}{2}\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2}{\left(\delta + \frac{d}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} p_0$$

wird und rechnet unter übrigens gleichen Annahmen die Werthe von s, so

erhält man die Zahlen der letzten Colonne in der Tabelle Nr. IX. Diese Werthe von  $s$  sind durchgehends etwas größer als jene nach der Formel

$$s = \frac{Q p}{2 \omega}$$

berechneten, was sich einfach dadurch erklärt, daß in letzterer der große Eisenquerschnitt der Muffe und der Verstärkungsringe mit in Rechnung gezogen ist.

Im Ganzen genommen zeigt es sich aber, daß alle diese verschiedenen Berechnungsmethoden und Annahmen keinen wesentlichen Einfluß auf die Werthe von  $s$  haben, und dieses Resultat ist in so fern von Wichtigkeit, als es indirect den Beweis liefert, daß es für die Berechnung der Rohrwandstärke oder für den Sicherheitsgrad derselben von keiner praktischen Bedeutung ist, ob man den Druck auf die äußere Röhrenwand vernachlässigt oder nicht. Theoretisch genommen sollte man als inneren Druck  $p_0$  jenen der Wassersäule und den Druck der Atmosphäre, die auf die Oberfläche des Wasserspiegels im Reservoir wirkt, in Rechnung nehmen, als äußeren Druck  $p_1$  jenen der Atmosphäre und die Belastung, welche durch die Anschüttung des Röhrengrabens bewirkt wird; praktisch aber ist es viel entsprechender, sowohl den letzterwähnten Umstand ganz zu vernachlässigen, als auch den Druck der Atmosphäre auf den Wasserspiegel im Reservoir; denn bei einem großen im Betriebe stehenden Röhrennetz wird nie (auch zur Nachtzeit nicht) der Fall vorkommen, daß alle Ausläufe gleichzeitig geschlossen wären, und es ist klar, daß der Druck auf den Reservoirwasserspiegel seine Bedeutung verliert, sobald der Gegendruck der Atmosphäre bei irgend einem Auslaufe stattfinden kann.<sup>1)</sup>

1) Es ist hier der geeignete Platz, um eines, an und für sich ganz nebensächlichen Umstandes Erwähnung zu thun, weil demselben späterhin eine weittragende Bedeutung beigelegt wurde. Die gesammten, ausführlich besprochenen Studien und Rechnungen über die Wanddicke der Röhren sind weder in einem Continuum vorgenommen worden noch sind die Resultate derselben in einer regelmäßigen Aufeinanderfolge in den Studienheften zu Papier gebracht worden. Die Arbeit mußte oftmal unterbrochen und in der Zwischenzeit diverse Stizzen angefertigt und überhaupt Material gesammelt werden, um dem schreibenden und zeichnenden Personale die erforderlichen Vorarbeiten zu liefern; meine Studienhefte und Notizbücher geben deshalb wohl ein sehr klares Bild der Vielseitigkeit meiner Thätigkeit in der damaligen Zeit, dafür aber ein um so unvollständigeres und zusammenhangloseres über jeden einzelnen Zweig derselben, speciell über die Berechnung der Wandstärken. Die verschiedenen Rubriken einer und derselben Tabelle sind oft zu ganz verschiedenen Zeiten berechnet worden, sei es um die Vergleichung

### Die Hilfstabellen.

Beiläufig im Frühjahr 1865 wurde der Beschluß gefaßt, das gesamte Operat nach seiner Vollendung öffentlich auszustellen, und zu diesem Behufe wurden sämtliche Pläne, Berechnungen, Voranschläge copirt. Für die Durchführung der Berechnung des Röhrennetzes, der Durchmesser, Geschwindigkeiten, Druckhöhenverluste, hatte ich mir Hilfstabellen verfertigt, die nach Vollendung der Rechnungen meiner Auffassung nach keine weitere Verwendung zu gewärtigen hatten, weil denselben, so wie den Berechnungen selbst, leider nicht das Metermaß, sondern das österr. Maß zu Grunde gelegt war. Oberingenieur Gabriel ließ trotzdem diese Tabellen copiren, um damit zu zeigen, wie die Rechnungen gemacht worden seien und wie viel Mühe die Nebenarbeiten verursacht haben (es war damals auch seine Absicht, die sämtlichen Nivellementsprotocolle abschreiben zu lassen) und in derselben Absicht ließ er auch über die Berechnung der Wanddicke der Röhren und über die Gewichtsberechnung derselben Tabellen anfertigen. Die Tabelle über die Wanddicke der Röhren kam in der Weise zu Stande, daß man einige der Berechnungen nach empirischen Formeln, eine der Berechnungen nach Lamé, und einige Erfahrungsergebnisse zusammenstellte, und zum Schlusse die für Wien angenommenen Wandstärken beifügte. Daß eine solche unvollständige Tabelle, ohne ausführlichen Commentar, nicht geeignet sei, ein klares Bild des ganzen vorstehend beschriebenen Vorganges bei der Feststellung der Wandstärken zu geben, war mir klar, und ich bemühte mich, Gabriel davon zu überzeugen. Leider ohne Erfolg<sup>1)</sup>, und es wurde in das Heft, welches den Titel „Hilfstabellen“ erhielt, auch die nachfolgende Tabelle aufgenommen.

mit den älteren nebenstehenden Rechnungsergebnissen zu erleichtern, mitunter auch nur, um die Mühe einer neuen Rastrirung zu ersparen.

1) Bezüglich der Bemerkungen des Herrn Friedrich Stach in der Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins, 1871, S. 273, habe ich zu erwidern, daß aus demjenigen, was der verstorbene Stadtbauamts-Vicedirektor im Jahre 1865 schrieb, höchstens entnommen werden kann, was er (Gabriel) glaubte, nicht aber, wie Herr Stach unterstellt, was auch er (Gabriel) glaubte. Diese absichtlich zweideutig gewählte Ausdrucksweise soll zum Glauben verleiten, 1) daß Gabriel die in der 6. Rubrik der Tabelle X. angegebenen Zahlen wirklich für die aus Redtenbacher's Formel abgeleiteten gehalten habe, während das Wahrscheinlichste ist, daß diese, nur für die Ausstellung bestimmte Copie, keiner weiteren Revision von seiner Seite gewürdigt wurde, wodurch der Fehler, den

Tabelle X.

Uebersicht der Wandstärken gußeiserner Röhren.  
In Wiener Linien.

Durchmesser der Röhren in Zollen	Berechnet nach der Formel von Lamé unter der Annahme 8facher Sicherheit	Berechnet nach den empirischen Formeln von				Dupuit Pariser Röhren	Delperdange Dijoner Röhren	Angenommene Wandstärke für Wien
		d'Aubuisson	Wicksteed	Geniey	Kedtenbacher			
3	1	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	5	4 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
4	1 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5	5	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
5	1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	5	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
6	1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	5 <sup>3</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>5</sup> / <sub>6</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	5	4 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	4 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	5
7	2 <sup>1</sup> / <sub>6</sub>	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5	5	—	5
8	2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6	6	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	—	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	5
9	2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>6</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	—	—	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
10	3 <sup>1</sup> / <sub>12</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	6	5 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
11	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	—	6
12	3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>5</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6	6	6
14	4 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	7	6 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	—	—	6
15	4 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	6
16	5	7 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	6 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6	—	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
20	6 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	8 <sup>1</sup> / <sub>6</sub>	8	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
24	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	8 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>	8 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	7 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	8 <sup>1</sup> / <sub>5</sub>	8 <sup>1</sup> / <sub>5</sub>	7
25	7 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	9	8 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	8	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	—	7
26	8 <sup>1</sup> / <sub>12</sub>	9 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	8 <sup>10</sup> / <sub>11</sub>	8	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	—	7
28	8 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	9 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	9 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	8 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	7	—	—	7
30	7	10	9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	7	—	—	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
33	7 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	10	8	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	—	—	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
36	8 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	11	10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	8 <sup>1</sup> / <sub>5</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—	—	7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>

Bei der Anfertigung dieser Tabelle, deren einzelne Rubriken den verschiedenen, in den Studienheften befindlichen tabellarisch durchgeführten Berechnungen entnommen wurden, kamen überdies mehrere Copirfehler vor. Die Colonne, welche die Wandstärken der Tabelle in Kedtenbacher's Resultaten enthielt, wurde mit der Ueberschrift „berechnet nach Kedtenbacher's Formel“ versehen, welche in der Originaltabelle I (Seite 6 dieser Schrift) unmittelbar daneben steht. Weiter enthält die vorletzte Colonne die Ueberschrift „Delperdange Dijoner Röhren“, während es heißen sollte „Delperdange Brüsseler Röhren“, weil die bezüglichlichen

Gabriel wohl sonst bemerkt hätte, stehen blieb; 2) daß auch ich diesen vermeintlichen Irthum getheilt hätte. Wie unlogisch insbesondere letztere Folgerung ist, springt in die Augen.

Daten, die sich auf Dijon, wo die größten Röhren nur 350 mm. = 13" haben, unmöglich beziehen können, einem Aufsatze über eine Röhrenverbindung von Delsperdange<sup>1)</sup> entnommen sind, in welchem, nebst verschiedenen andern, auch die Wandstärken der alten Brüsseler Röhren angegeben sind.

### Die erste Expertise (1866).

Das in allen seinen Theilen zu Ende geführte Project für die Hochquellen-Wasserleitung wurde im November des Jahres 1865 öffentlich ausgestellt und alsdann Experten zur Prüfung und Begutachtung übergeben. Die Männer, welchen diese Aufgabe zugefallen war<sup>2)</sup>, nahmen sie (der Mehrzahl nach) so ernst, wie es erforderlich war, und studirten das gesammte Operat in allen seinen Theilen (jenes der zweiten Abtheilung allein bestand aus 190 Plänen, 36 Ausmaßen und Kostenvoranschlägen, und 49 Tabellen) durch 3 Monate, und beriethen darüber in einer Reihe von Sitzungen. Nachdem die Berathungen über das Project der I. Obergeringieur-Abtheilung, welche die Quellauffammlung und die Pläne für den Aquädukt entworfen hatte, zu Ende geführt war,

„legte (laut Protokoll der Sitzung vom 3. Januar 1866) der Obmann, „Ministerialrath von Schmid, ein Programm vor, nach welchem bei der „Begutachtung des Röhrennetzes vorzugehen wäre. Die Herren Experten „erklärten sich mit diesem Programm einverstanden.“

In der Sitzung vom 8. Januar kam die 4. Frage dieses Programms zur Berathung. Dieselbe lautete:

„Entsprechen die einzelnen Theile des Röhrennetzes einer jeden der „beiden Sectionen in Beziehung auf ihre Zusammensetzung, dann Leitungs- „und Widerstandsfähigkeit dem aufgestellten Programme für die Wasser- „vertheilung mit Rücksicht auf die erhobenen statistischen Daten über den „örtlichen Bedarf an Wasser, auf die vorausgesetzte variable Conjunction „und auf die Niveauverhältnisse?“

Diese Frage wurde in der Sitzung vom 8. Januar eingehend besprochen und die Commission sprach sich schließlich, laut Protokoll dieser Sitzung, dahin aus, „daß sie den ganzen Vorgang bei der Berechnung des Röhrennetzes

1) Dingler, polyt. Journal, Band 144, S. 15.

2) Es waren dies die Herren Obergeringieur Eduard Heider, Ministerialrath Moritz Löhr, Professor G. Rebhann, Ministerialrath R. v. Rittinger, Ministerialrath Adalbert R. v. Schmid, Professor Franz Schneider, Oberinspector Schnirch, Professor Westmann und Oberbaurath Wex.