

J o u r n a l

für

d i e B a u k u n s t.

I n z w a n g l o s e n H e f t e n.

Herausgegeben

v o n

Dr. A. L. C r e l l e,

Königlich-Preussischem Geheimen-Ober-Baurathe, Mitgliede der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Correspondenten der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg und der Königlichen Akademien der Wissenschaften zu Neapel und Brüssel, auswärtigem Mitgliede der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Stockholm, Ehrenmitgliede der Hamburger Gesellschaft zur Verbreitung der mathematischen Wissenschaften.

Zwei und zwanzigster Band.

In vier Heften.

Mit dreizehn Figurentafeln.

B e r l i n.

B e i G. R e i m e r.

1 8 4 5.

Inhalt des zwei und zwanzigsten Bandes.

Erstes Heft.

1. Über die Mittel, welche angewendet werden, um die in Sand gegrabenen Theile des Ludwigcanals wasserdicht zu machen. Von Herrn Freih. v. Pechmann, Königl. Baierischem Geheimen-Ober-Baurath. (Fortsetzung der im 15ten Bande dieses Journals unter dem nemlichen Titel enthaltenen Abhandlung No. 8. S. 160 etc.) Seite 1
2. Über die verschiedenen Arten, die Spannkraft der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen, von welchen eine die der sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen ist. Vom Herausgeber dieses Journals. (Fortsetzung des Aufsatzes No. 2. im ersten, No. 9. im zweiten und No. 17. im vierten Heft ein und zwanzigsten Bandes.) . . . — 15
3. Einfaches Verfahren in Holland, Pfähle unter Wasser ab- und Zapfen daran zu schneiden. — 76
4. Notiz über Wasser- und Gasröhren aus Glas. — 78
5. In England patentirte eiserne Fensterladen. Aus dem „Civil-Engineer and Arch. Journal“ von 1844 S. 111. — 79
6. In England patentirter Vorschlag zur Vervollkommnung der Schornsteinröhren. Aus dem „Civil-Engineer and Arch. Journal“ von 1844 S. 153. — 82
7. Zur Feuerfestigkeit der Gebäude. Schreiben des Herrn *Charles Dyer* an die Redaction des „Civil-Engineer and Arch. Journal“, gedruckt im 5ten Bande dieser Zeitschrift S. 333. — 84
8. Über asphaltirte Straßen. Von Herrn *de Coullaine*, ingénieur des ponts et chaussées. Aus der „Revue générale de l'architecture“ des Herrn *Daly*, von 1843 S. 305. Mit Anmerkungen Desselben und des Herausgebers des gegenwärtigen Journals. — 87

Zweites Heft.

9. Übersicht der Geschichte der Baukunst, mit Rücksicht auf die allgemeine Culturgeschichte. Von Herrn Regierungs- und Baurath *C. A. Rosenthal* zu Magdeburg. (Fortsetzung der Abhandlung No. 2. im 1ten, No. 6. im 2ten, No. 8. im 3ten Hefte 13ten, No. 1. im 1ten, No. 7. im 2ten, No. 8. im 3ten, No. 12. im 4ten Hefte 14ten, No. 1. im 1ten, No. 9. im 2ten, No. 11. im 3ten, No. 15. im 4ten Hefte 15ten, No. 10. im 3ten Hefte 16ten, No. 3. im 1ten, No. 5. im 2ten, No. 10. im 3ten Hefte 17ten, No. 4. im 2ten Hefte 18ten und No. 2. im 1ten Hefte 20ten Bandes.) — 97
10. Über die verschiedenen Arten, die Spannkraft der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen, von welchen eine die der sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen ist. Vom Herausgeber dieses Journals. (Fortsetzung des Aufsatzes No. 2. im ersten, No. 9. im zweiten, No. 17. im vierten Heft ein und zwanzigsten und No. 2. im ersten Hefte dieses Bandes.) — 133
11. Einige Nachrichten von der beabsichtigten Straßenverbindung des mittelländischen mit dem rothen Meere. — 174

D r i t t e s H e f t.

12. Einige Nachrichten von den Entwürfen zu einem Schiffahrts-Canal durch die Land-Enge von Panama. S. 201
13. Über die verschiedenen Arten, die Spannkraft der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen, von welchen eine die der sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen ist. Vom Herausgeber dieses Journals. (Fortsetzung des Aufsatzes No. 2. im ersten, No. 9. im zweiten, No. 17. im vierten Hefte ein und zwanzigsten und No. 2. im ersten und No. 10. im zweiten Hefte dieses Bandes.) — 227
14. Historisch-hydrographische Nachrichten von den Häfen und andern Schiffahrts-Anstalten Ostfrieslands bei der Stadt Emden und in den Emsmündungen, nebst practischen Vorschlägen zur Verbesserung des Fahrwassers, zur völligen Sicherung der Stadt und Umgegend gegen Zerstörung durch hohe Sturmfluthen, und zur Vermehrung der innern Entwässerungs-Anlagen des Binnenlandes zum Besten der Landwirthschaft. Von D. Reinhold, Königl. Hannöverschem Wasserbau-Inspector. (Fortsetzung der Abhandlung No. 1. im ersten, No. 8. im zweiten und No. 16. im vierten Hefte ein und zwanzigsten Bandes.) — 276

V i e r t e s H e f t.

15. Einiges über Tunnels zu Eisenbahnen. (Aus dem Englischen.) . . . — 297
16. Einiges von Futtermauern statt der Erd-Böschungen tiefer Erd-Einschnitte. (Aus dem Englischen.) — 308
17. Über die verschiednen Arten, die Spannkraft der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen, von welchen eine die der sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen ist. Vom Herausgeber dieses Journals. (Schluß des Aufsatzes No. 2. im ersten, No. 9. im zweiten, No. 17. im vierten Hefte ein und zwanzigsten und No. 2. im ersten, No. 10. im zweiten, No. 13. im dritten Hefte dieses Bandes.) — 321
18. Einige Nachrichten von den Entwürfen zu einem Schiffahrts-Canal durch die Land-Enge von Panama. (Fortsetzung des Aufsatzes No. 12. im vorig. Hefte.) — 377

Einige wesentliche Druckfehler im zweiten Hefte dieses Bandes.

- | | |
|---|--|
| S. 177 Z. 7 v. o. lese man: ehemals st. ebenfalls | S. 188 Z. 11 v. o. welcher st. welchem |
| - 178 - 16 v. o. Aggeroud st. Aggeroud und Ajeroud | - 189 - 5 v. o. muss „aber“ wegfallen. |
| st. Ajeroud | - — - 8 v. u. l. m. mannigfachen st. einfachen |
| - 179 - 11 v. u. war st. etwa | - — - 14 v. u. aber st. eben |
| - — - 18 v. u. Arbeiter st. Arbeiten | - 190 - 3 v. u. trieben st. treiben |
| - 180 - 17 v. u. nach st. das | - 193 - 5 v. o. nach st. in |
| - 181 - 43 v. o. das Land st. der Boden | - 195 - 14 v. u. würden st. würde |
| - — - 45 v. o. in seiner grössten Höhe st. und seine grösste Höhe | - 196 - 11 v. o. der Great-Britain st. das G. B. |
| - — - 48 v. o. der st. den | - — - 2 v. u. 2500 st. 250 |
| - — - 49 v. o. Sümpfe st. Sumpfen | - 197 - 7 v. o. 210 st. 110 |
| - — - 6 v. u. Faramoh st. Faramah | - 198 - 4 v. o. sei st. ist |
| - 183 - 4 v. o. sollte „erhalten“ gesperrt gedruckt sein. | - — - 7 v. u. Gewalt, diese st. Gewalt. Diese |
| - — - 10 v. o. lese man befürchten st. besänftigen | - — - 8 v. u. Strasse st. Strassen |
| - 184 - 7 v. u. sollte „etwas“ gesperrt gedruckt sein. | - 199 - 5 v. o. welches st. welchem |
| - 185 - 8 v. o. l. m. Ras el Moyeh st. Ras el Moyeh | - — - 7 v. u. Schleusensätze st. Schleusenvorsätze |
| - — - 13 v. o. dann st. denn | - — - 8 v. u. hebe st. hebt |
| - 186 - 10 v. o. den See st. dem See | - — - 9 v. u. führe st. fährt |
| - 187 - 8 v. o. Streifens st. Streifes | - 200 - 5 u. 6 v. o. meistens st. wenigstens. |

J o u r n a l

für

d i e B a u k u n s t.

I n z w a n g l o s e n H e f t e n.

Herausgegeben

von

Dr. A. L. C r e l l e,

Königlich-Preussischem Geheimen-Ober-Baurathe, Mitgliede der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Correspondenten der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg und der Königlichen Akademien der Wissenschaften zu Neapel und Brüssel, auswärtigem Mitgliede der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Stockholm, Ehrenmitgliede der Hamburger Gesellschaft zur Verbreitung der mathematischen Wissenschaften.

Zwei und zwanzigster Band.

Erstes Heft.

Mit vier Figurentafeln.

B e r l i n.

B e i G. R e i m e r.

1 8 4 5.

1.

Über die Mittel, welche angewendet werden, um die in Sand gegrabenen Theile des Ludwigcanals wasserdicht zu machen.

(Von Herrn *Freih. v. Pechmann*, Königl. Baierischem Geheimen-Ober-Baurath.)

(Fortsetzung der im 15ten Bande dieses Journals unter dem nemlichen Titel enthaltenen Abhandlung
No. 8. S. 160 etc.)

§. 29. *)

Ich habe bereits vor ungefähr vier Jahren in der unter obigem Titel im Bande XV. dieses Journals enthaltenen Abhandlung die in den Umgebungen von München gemachten Beobachtungen beschrieben, welche mich veranlaßt haben, das mit Thon getrübe Wasser für das allen andern vorzuziehende Mittel zu halten, um Sandboden wasserdicht zu machen; so wie die Versuche, welche ich hierüber in Nürnberg, zuerst im Kleinen, dann im Größeren, in mehreren dieser Stadt nahe liegenden Canalhaltungen gemacht habe, und deren Erfolg meine wohlbegründete Meinung zur Überzeugung erhob. Dieser Erfolg war allerdings geeignet, auch in Andern diese Überzeugung hervorzubringen: doch mag er in den meisten Lesern jener Abhandlung noch manche Zweifel gegen die vollkommene Zweckmäßigkeit meines Verfahrens zurückgelassen haben; denn jene Versuche konnten damals noch nicht so ununterbrochen und so lange fortgesetzt werden, daß die Canalhaltungen, in welchen sie gemacht wurden, die möglicherweise erreichbare Wasserdichtigkeit hätten erlangen können. Auch war die Meinung, daß ein in tiefen Sandboden zu grabender Canal mit Erfolg ausgeführt werden könne, wenn man sein Bett nicht mit einer hinlänglich dicken Schicht einer das Wasser besser haltenden Masse irgend einer Art bekleide, zu fest gewurzelt, als daß ich hätte erwarten können, daß sie so leicht aufgegeben werden würde. Hatte doch, als die Ausführung des Ludwigcanals beschlossen, aber noch nicht angefangen worden war, ein damals in München noch leben-

*) Die Nummern der Paragraphen sind eine Fortsetzung der im Bande XV. enthaltenen ersten Abtheilung. Die Citationen der §§. 1. bis 28. beziehen sich also auf diese Abtheilung.

der Hydrotekt von ehemals großem Rufe in einer Sr. M. dem Könige übergebenen Vorstellung ausführlich zu zeigen sich bemüht, daß dieser Canal nach meinem Plane nicht ausgeführt werden könne, weil er größtentheils in Sand gegraben werden müsse, in welchen das hineingeleitete Wasser versiegen, und ihn leer zurücklassen werde. Als die Vorstellung nach einem darüber von Sachverständigen eingeholten Gutachten stillschweigend zu den Acten gelegt worden war, legte der Verfasser seine Ansichten dem Publicum in einer kleinen, von ihm sorgfältig verbreiteten Druckschrift vor. Ich führe diesen Umstand hier an, weil diese Druckschrift bei Vielen, auch bis jetzt noch, Glauben fand. Aber auch viele Baubeamten bezweifelten die Zweckmäßigkeit meines Verfahrens; daher die Versuche, welche ich §. 27. angeführt habe und nach welchen man in der Folge mehrere Canalhaltungen mit dem Aufwande von vielen Tausenden zu verdichten sich bestrebte, und zwar mit vergeblichem Erfolge, den ich vorausgesehen und vorausgesagt hatte, denn sie mußten alle erst nach meiner Weise mit getrübttem Wasser verdichtet werden. Jetzt ist der Erfolg meiner Verdichtungsweise schneller und vollkommner als ich erwartet hatte eingetreten, und ich glaube nunmehr ihn öffentlich bekannt machen zu müssen, da er für die Kunst schiffbare Canäle zu bauen ungemein wichtig ist und als eine Erweiterung derselben betrachtet werden kann. Ehe ich aber zur Darstellung desselben schreite, ist es nothwendig, die Sandstrecken, durch welche der Canal gegraben werden mußte, ihre Ausdehnung und die Beschaffenheit derselben zu beschreiben.

§. 30.

Das südliche Ende der mehr als 82 000 Fufs langen, größtentheils in Thonschiefer und Thon-Erde gegrabenen Theilungshaltung des Canals ist in einer Länge von ungefähr 16 000 Fufs in tiefem Sandboden ausgegraben, und zwar etwa 10 000 Fufs derselben bis zu einer Tiefe von 20 bis 37 Fufs. Dieser Sand ist so fein und leicht, daß er von den zu beiden Seiten des Canals davon aufgeworfenen Hügeln vom Winde aufgehoben und in den Canal zurückgeworfen werden konnte. Über dieses ist er so rein und frei von irgend einer Vermengung mit Thon oder anderer Erde, daß er, da wo er des eindringenden Wassers wegen in demselben ausgegraben werden mußte, es kaum zu trüben vermochte. Dieser Sandboden setzt sich noch weit abwärts längs dem Canale fort. Die nächsten Canalhaltungen, die in einer Länge von 15 000 Fufs in diesem Sande ausgegraben sind, erhalten nicht den geringsten Zufluss von

Wasser, und müssen ganz allein mit dem, welches aus der Theilungshaltung herabkommt, gefüllt werden. Die nächstfolgenden Haltungen, bis in die Gegend des Weilers Wegscheid, sind, eine kurze in Thonschiefer gegrabene Strecke ausgenommen, in einer Länge von nahe an 30 000 Fufs in ähnlichem Sandboden ausgegraben, erhalten aber einige Zuflüsse, welche da, wo sie in den Canal aufgenommen werden, oder als Quellen im Canalbette selbst hervordringen, nicht ganz unbedeutend zu sein scheinen, werden indessen bei trockner Witterung, weil ihr Wassergehalt sich dann sehr vermindert, oder zum Theil auch ganz versiegt, nur so eben hinreichen, um den, theils in diesen, theils in den nächstfolgenden Canalhaltungen durch Versickerung und Verdunstung stattfindenden unvermeidlichen Verlust zu ersetzen; denn von der letzten Haltung, in der Nähe des Weilers Wegscheid, bis zur nächsten, welche wieder eigenen, ausreichenden und nie versiegenden Wasserzuflufs hat, ist eine Entfernung von mehr als 37 000 Fufs. Auch diese Canalstrecke ist größtentheils in Sand gegraben. Sie haben folglich die Versickerung und Verdunstung einer Canallänge von mehr als drei deutschen Meilen zu decken.

§. 31.

Von dem nördlichen Ende der Theilungshaltung bis zum Übergange des Canals über die Schwarzach ist eine Entfernung von nahe an 32 000 Fufs. Diese ganze Reihe von Canalhaltungen sind, die ersten drei, in Thonboden gegrabenen, nur 3000 Fufs langen Strecken ausgenommen, alle in Sandboden gegraben, und nur an wenigen Stellen wurde mit der Sohle des Canals Thon-Erde erreicht, welche ich ausgraben und so weit sie reichte auf die Sohle der übrigen Haltungen verbreiten liefs, um, wenn der Canal mit Wasser gefüllt werden würde, sie aufrühren und das Wasser damit trüben zu können. Diese ganze Canalstrecke erhält nur an ihrem Ende einen unbedeutenden Wasserzuflufs, der kaum hinreichend ist, die Versickerung in den nächsten, zusammen über 8000 Fufs langen und ganz in Sandboden gegrabenen Canalhaltungen zwischen der Schwarzach und dem Geuchsbach zu decken. Ich liefs, da diese letzten Canalhaltungen ganz in reinen Sandboden ausgegraben sind und Thon-Erde in demselben nirgends erreicht wurde, eine ansehnliche Menge derselben aus einiger Entfernung herbeiführen und auf die Canalsohle verbreiten, um zu seiner Zeit das Wasser darin trüben zu können.

Ich mufs meine Leser bitten, den in diesen beiden Paragraphen beschriebenen Canalhaltungen vorzugsweise ihre Aufmerksamkeit zu schenken,

denn sie sind, wie wir bald sehen werden, in Hinsicht auf die schnell und vollkommen bewirkte Verdichtung des Canalbettes, die merkwürdigsten.

§. 32.

Es folgt nun die über 68 000 Fufs lange Canalstrecke bis an die Pegnitz unterhalb Nürnberg. Es ist die nemliche, in welcher die Versuche gemacht wurden, die ich in der im Bande XV. dieses Journals enthaltenen Abhandlung beschrieben habe. Sie ist, die wenigen und kurzen Stellen ausgenommen, in welchen die Canalsohle den Thonboden erreichte, und welche den Stoff zum Trüben des Wassers gaben, durchaus in tiefen, und zwar an vielen Stellen in grobkörnigen Sand, welcher dem Wasser um so leichter den Durchgang gestattet, gegraben. Jenseits der Pegnitz ist der Canal ungefähr 20 000 Fufs weit in Thonboden gegraben; dann folgt wieder Sandboden, der beinahe ohne Unterbrechung in einer Länge von ungefähr 30 000 Fufs bis Erlangen fortgeht. Nach einer ungefähr 2000 Fufs langen Strecke sehr dichten Thonbodens, in welchen bei Erlangen der Canal gegraben ist, erreicht dieser die Stelle, an welcher er Wasser aus der Regnitz empfängt, und von wo an bis oberhalb Bamberg, wo der Canal in die Regnitz tritt, wegen Überflufs an Wasser, das ihm aus diesem Flusse zugeführt werden kann, kein Mangel an selben mehr zu befürchten ist: doch will ich noch anführen, dafs von der zwei Meilen langen Canalstrecke zwischen Erlangen und Vorchheim eine Länge von ungefähr 40 000 Fufs, und von der übrigen, von Vorchheim bis Bamberg sich ausdehnenden, über 70 000 Fufs langen Canalstrecke noch ungefähr ein Drittheil, beiläufig 24 000 Fufs, ebenfalls in Sand gegraben ist.

Wenn wir nun die angeführten, durch Sandboden gegrabenen Canalstrecken zusammenzählen, so erhalten wir eine Länge von ungefähr 297 000 Fufs oder nahe an 12 deutschen Meilen, d. i. zwei Drittheile des von der Altmühl bis in die Regnitz ungefähr achtzehn deutsche Meilen langen Canals: eine Länge, welche Leute, die die Schwierigkeiten, einen in Sandboden gegrabenen Canal gehörig wasserdicht zu machen, für gröfser als sie sind, oder wohl gar für unüberwindlich halten, allerdings beunruhigen konnte.

§. 33.

Ehe ich zur Darstellung des ähnlichen Erfolges meiner Verdichtungsweise übergehe, wird es zweckmäfsig sein, zuerst den Betrag der Versickerung, welcher nach erreichter möglicher Verdichtung des Canalbettes nach meiner

Berechnung noch als unabwendbar übrig bleiben würde, anzugeben. Er ist in meinem Entwurfe des Canals zur Verbindung der Donau mit dem Main, in §. 41. angegeben. Leider sind in der Litteratur des Canalbaues befriedigende Angaben über den Betrag der Versickerung und Verdunstung in Canälen sehr selten, und wir haben sie beinahe nur von dem Canale von Languedoc; nach Beobachtungen, die ungefähr erst ein Jahrhundert nach seiner Vollendung, als er längst wasserdicht geworden war, an demselben gemacht worden sind. Nach den Ergebnissen derselben habe ich sie für den Ludwigcanal, mit Berücksichtigung der in Deutschland kürzeren Schiffsfahrtszeit als im südlichen Frankreich, der geringeren Tiefe des Canals, der an jenem Canale mit Wasser bedeckten und mit Wasserpflanzen besetzten Bermen, welche sehr vieles Wasser verzehren, und der in einem wärmern Himmelsstriche größern Verdunstung, auf die zweifache, in dem Canale enthaltene Wassermasse während des Schiffsfahrtsjahres von 240 Tagen berechnet. Ich hielt dieses nur für die Theilungshaltung und die an dieselbe grenzenden Canalhaltungen, welche nur von dieser Wasser erhalten können, für nothwendig, aber nicht für die übrigen Theile des Canals, weil die Verdunstung und Versickerung in denselben durch neue Zuflüsse hinlänglich gedeckt ist. Die Länge jener Haltungen, welche allein aus der Theilungshaltung Wasser erhalten können, beträgt, mit dieser, 125 000 Fufs; und die Verdunstung und Versickerung in denselben, wenn sie ihr Minimum erreicht haben wird, 2,65 Cubikfufs in der Secunde. Im ganzen Canale würde sie für die 25 400 Fufs betragende Länge einer deutschen Meile 46 566 Cubikfufs in einem Tage, 1940 Cubikfufs in einer Stunde und 0,55 Cubikfufs in der Secunde betragen. Es versteht sich übrigens von selbst, dafs ich nicht bestimmen konnte, wann dieses Minimum erreicht sein würde, und ich mußte stillschweigend voraussetzen, dafs bis dahin vielleicht zwei bis drei Jahre nach der Eröffnung des Canals vorübergehen könnten.

§. 34.

Aber, war auch dafür gesorgt, dafs es dem Canale bis dahin nicht an Wasser fehlen könne, wenn während dieser Zeit die Versickerung und Verdunstung mehrmals so viel als jenes Minimum betragen würde? Wir wollen sehen.

In §. 45. des angeführten Entwurfs ist die Wassermenge angegeben, welche für die Füllung des Canals und den Betrieb der Schifffahrt auf demselben zu Gebot steht. Sie ist nach Beobachtungen bestimmt, welche einige Jahre vor dem Anfange des Canalbaues gemacht wurden, und ich habe der

Sicherheit wegen die Verminderung dieser Wassermenge, welche in noch trockneren Sommern eintreten könnte, zu einem Viertheile der gefundenen Wassermenge angenommen, wonach noch $17\frac{3}{4}$ Cubikfuß für die Secunde übrig blieben. Ich habe in diesem nemlichen Paragraph gezeigt, dafs wenn auch während des Schiffahrtsjahres eine Centnerzahl, deren Gröfse kaum wahrscheinlich ist, durch die Theilungshaltung geführt würde, doch kein Wassermangel zu befürchten sein könne: allein in dem ungemein trocknen Sommer von 1836 zeigte sich, dafs die Verminderung von einem Viertheile der gefundenen Wassermasse zu gering angenommen sei, und dafs sie wohl die Hälfte betragen könne. Diese Schwierigkeit wurde durch die schon vorher aus andern Gründen beschlossene Aufnahme der in jenem Paragraphen angeführten vordern Schwarzach, statt der Sulz, oder, wie sie an ihrem Ursprunge genannt wird, des Wipfelsbaches, entfernt; und dieses allein wäre hinreichend gewesen, jedem möglichen Wassermangel vorzubeugen. Allein, als der nahe tiefe Einschnitt durch das Seitzermoos, den ich schon §. 30. erwähnt habe, ausgeführt wurde, fand der Wipfelsbach, da er dort höher als der Canal liegt, durch den Sandboden seinen Weg in denselben und versiegte; das Seitzermoos vertrocknete, indem die Quellen, die es im Sumpfstande erhielten, ebenfalls in den Canal sanken; und auf diese Weise erhielt die Theilungshaltung einen so reichlichen Zuflufs an Wasser, dafs, hätte die anfängliche Versickerung sich auch niemals vermindert, nie ein Wassermangel zu besorgen gewesen wäre.

§. 35.

Ehe ich zur Darstellung der Ergebnisse der regelmässigen, ununterbrochenen und bis zum Ziele geführten Anwendung meiner Verdichtungsweise übergehe, will ich vorher noch einige Beobachtungen anführen, welche ich bei den frühern Verdichtungs-Arbeiten zu machen Gelegenheit hatte.

Der Canal zwischen Nürnberg und Erlangen enthält zwei für die Verdichtung desselben merkwürdige Stellen. Bei dem Dorfe Eltersdorf, andert-halb Stunden oberhalb Erlangen, und bei dieser Stadt selbst, mußte der Canal in ansehnlicher Länge über den umliegenden Boden *erhöht* werden, so dafs sein Wasserspiegel um ungefähr 12 Fufs höher als der Boden liegt. Das Canalbett wird an diesen Stellen von hohen Uferdämmen gebildet. Bei Eltersdorf sind dieselben aus blofsem Sande aufgeführt. Als hier Wasser in den Canal geleitet wurde, drang es, als es noch kaum die Hälfte seiner Höhe, d. i. 5 bis 6 Fufs erreicht hatte, in grofser Menge durch die Uferdämme auf die umlie-

genden Felder und verursachte an der äußern Böschung des linkseitigen oder westlichen Dammes eine Abrutschung. Der Ingenieur, welcher diese Arbeiten auszuführen hatte, dadurch beunruhigt und einen Dammbruch befürchtend, liefs die abgerutschte Böschung so schnell als möglich ergänzen und ihren Fufs mit einem Pflaster befestigen. Ich konnte diesen Eifer nur billigen; aber nicht das Pflaster; denn gegen den von innen herauswirkenden Druck konnte es nicht schützen. Jedoch als das zwischen diese hohen Uferdämme fließende Wasser getrübt wurde, verminderten sich die Durchsickerungen binnen wenigen Tagen in so weit, dafs keine schlimme Wirkung mehr davon zu besorgen war.

§. 36.

Längs der Stadt Erlangen ist der Canal über Wiesen in der im vorigen Paragraph angeführten Höhe des Wasserspiegels von wenigstens 12 Fufs geführt. Mehr als die Hälfte seiner Länge liegt ebenfalls zwischen aus blofsem Sande aufgeführten Dämmen; die Dämme des übrigen Theils aber bestehen aus fester Thon-Erde. Ich liefs, ehe jener Theil angefangen wurde, in der ganzen Breite, welche hier der Canal mit seinen Dämmen einnimmt, die obere, zwar ebenfalls größtentheils aus Sand bestehende, aber mit vielem, wahrscheinlich von den Überschwemmungen der Regnitz niedergelegten Thon vermengte Schicht abheben, in der Mitte aufhäufen und damit die Uferdämme, so wie sie sich ihrer Vollendung näherten, auf der innern Seite bekleiden. Diese Erdschicht, obwohl um vieles wasserhaltender als blofser Sand, konnte jedoch nicht hindern, dafs das Wasser, sobald diese Canalstrecke gefüllt wurde, allenthalben in grofser Menge durchdrang und die anliegenden Wiesen überschwemmte. In der oberhalb liegenden Canalhaltung wurde auf eine Länge von ungefähr 1000 Fufs bei der Ausgrabung derselben eine feste Thonlage erreicht. Ich liefs diese, etwa einen halben Fufs hohe Schicht zwar aufhacken, aber nicht herauswerfen, um sie, wenn Wasser dahin geleitet werden würde, aufzurühren, und sie in die untere, bis zu 12 Fufs tiefe Canalhaltung schwemmen zu können. Auf diese Weise wurde diese mit vollkommen durch Thon getrübttem Wasser gefüllt; die Durchsickerungen verminderten sich binnen wenigen Tagen so sehr, dafs die anliegenden Wiesen trocken wurden, und noch vor Eintritt des Winters zeigten sich diese Dämme vollkommen wasserdicht.

§. 37.

Die 28 000 Fufs lange Canalhaltung, welche von Erlangen bis Baiersdorf, und noch eine Viertelstunde über dieses Städtchen hinausreichte, wurde schon in den Jahren 1837 und 1838 ausgegraben. Sie mußte von Erlangen an über eine Stunde weit durch einen ziemlich hohen Damm gegen die Überschwemmungen der Regnitz geschützt werden. Der Canal war bis nahe an Baiersdorf ausgegraben, als es nothwendig wurde, die für die Fortsetzung jenes Dammes noch fehlende Erde von oben herab aus der Nähe von Erlangen herbeizuführen. Die Unternehmer dieser Arbeit hielten es für vortheilhaft, diese Erde auf dem Canale selbst herbeizubringen. Da die Sohle des Canals hier tiefer liegt, als die um wenige Klafter entfernte Regnitz, und eben darum aus ihr reichliche Quellen hervordrangen, so konnten sie ihn hier leicht 3 Fufs hoch mit Wasser füllen. Ich kam am Morgen, nachdem dieses geschehen war, auf einer Reise nach Bamberg dahin, und bemerkte, dafs eine halbe Stunde oberhalb Baiersdorf durch das westliche sandige Ufer des Canals in einer ziemlich langen Strecke so vieles Wasser drang, dafs es die nahe liegenden Wiesen überschwemmte und ich lebhaft Klagen der Eigenthümer derselben und Entschädigungs-Ansprüche erwartete. Ich setzte meinen Weg nach Bamberg fort und kehrte am Morgen des zweiten Tages wieder nach Erlangen zurück. Ich sah nun zu meiner Verwunderung, dafs kein Wasser mehr durch das Ufer drang und die Wiesen trocken waren. Diese Veränderung war während nur zwei Tagen ganz allein durch das Wasser im Canale bewirkt worden, welches durch die Bewegung der hin- und herfahrenden Schiffe getrübt worden war.

§. 38.

Die fernern Verdichtungs-Arbeiten zwischen Erlangen und Bamberg hielten, die Stellen, die ich im folgenden Paragraph anführen werde, ausgenommen, nichts besonders Bemerkenswerthes dar, und ich finde nur zu bemerken, dafs ich, um das in denselben zu leitende Wasser trüben zu können, zwischen Vorchheim und Bamberg mit dem auf beiden Seiten der Strafse liegenden Strafsenkothe die Sohle des Canals bedecken liefs. Diese Strafse wird mit Kalksteinen erhalten, und ich hatte schon vor dem Anfange des Canalbaues in den Umgebungen von München zu beobachten Gelegenheit gehabt, dafs dieser zerriebene Kalkstein, vorzüglich wenn er einen gröfsern Antheil von Thon enthält, beinahe eben so wirksam ist als Thon, um sandigen

Boden wasserdicht zu machen. Die Richtigkeit dieser Beobachtung bewährte sich auch hier auf das vollkommenste.

§. 39.

Der Canal zieht ganz nahe zwischen Vorchheim und Bamberg an den beiden großen Dörfern Altendorf und Hirschhaid vorüber. Die meisten Keller dieser Dörfer liegen tiefer als der nahe Canal, und ich besorgte nicht ohne Grund, daß sobald der Canal mit Wasser gefüllt werden würde, es durch den sandigen Untergrund in die Keller dringen werde. Dies geschah auch bei dem ersten Versuche, den Canal zu füllen, und das Wasser in demselben hatte noch nicht die Höhe von 2 Fufs erreicht, als es schon das Bodenpflaster vieler Keller 1 bis 2½ Fufs hoch bedeckte. Es war mir nicht schwer, die Eigenthümer dieser Keller dadurch einigermassen zu beruhigen, daß ich sie auf das vollkommen klare Wasser in denselben und das zu gleicher Zeit ganz trübe im Canale aufmerksam und ihnen begreiflich machte, daß das in die Keller dringende Wasser nur dadurch hell werden könne, daß es die Stoffe, wodurch es trüb gemacht würde, auf seinem Wege durch den Sand in demselben zurücklasse, und dieser dadurch bald wasserdicht und die Keller wasserfrei werden müßten. Wirklich verminderte es sich bald; doch in diesem Jahre noch nicht ganz, und während des folgenden Winters bleiben noch viele Keller mit Wasser gefüllt. Doch waren der Klagen darüber nur wenige; denn diese Keller sind größtentheils zur Aufbewahrung von Wurzelgewächsen und Gemüsen bestimmt, die in diesem wasserarmen Jahre (1842), der ungewöhnlichen und lange anhaltenden Dürre wegen, gänzlich mißrathen waren, daher es in diesem Winter wenig oder nichts in den Kellern aufzubewahren gab. Im folgenden Jahre endlich wurden sie vollkommen wasserfrei. Dieser günstige Erfolg, so wie die Verdichtung des ganzen Canales zwischen Erlangen und Bamberg, wurde sehr durch das bei Erlangen in denselben geleitete Wasser der Regnitz befördert, welches durch seit vorigem Herbste eingetretenen Regen sehr oft trüb war, dann immer viele, fein zertheilte Thon-Erde mit sich führte und jetzt eine größere Menge von Wasser an den Canal abgeben konnte, als in dem verfloßenen, trocknen und wasserarmen Jahre.

§. 40.

Ich gehe nun zur Darstellung des bis zum Herbste des vorigen Jahres längs dem ganzen Canale eingetretenen, unerwartet günstigen Erfolges meiner

Verdichtungsweise über, und enthalte mich dabei aller *eigenen* Angaben, um dem Verdachte vorzubeugen, als hätte irgend eine Vorliebe für mein Werk einigen Einfluß auf diese Darstellung gehabt. Ich führe bloß die hierauf sich beziehenden Stellen eines an die Staatsregierung, *nicht von mir* erstatteten amtlichen Berichtes wörtlich an. Es mußte jedes Jahr vor dem Zusammenritte der Besitzer der Ludwigcanal-Actien ein Bericht über den Zustand und die Fortschritte des Canalbaues erstattet werden. Dieser wurde der Versammlung mitgetheilt und in den Protocoll-Auszügen derselben abgedruckt. Dies geschah auch im vorigen Jahre mit dem am 6ten October erstatteten Berichte; er wurde in den am 21ten bis 23ten October gehaltenen Sitzungen der Versammlung vorgetragen und in den noch im nemlichen Jahre erschienenen Protocoll-Auszügen abgedruckt. Ich theile nun daraus die hieher sich beziehenden Stellen wörtlich mit.

§. 41.

„In der Canalstrecke zwischen Griesstatten und der Theilungshaltung „wurde im verflossenen Jahre mit den Verdichtungs-Arbeiten eifrig fortgefah-
ren *). Das Resultat derselben ist über alle Erwartung günstig und läßt mit „Zuversicht erwarten, daß die Versickerung weit unter der früher als normal „angenommenen Größe zurückbleiben werde,” (S. 49 der Protocoll-Auszüge). Dieses ist die Canalstrecke, welche ich §. 30. beschrieben habe; nur ist in dem angeführten Berichte noch die Canallänge von nahe an 18 000 Fufs durch das Ottmaringer Thal bis an die Altmühl begriffen, welche ich in jenem Paragraph nicht mit angeführt habe, weil sie in wasserhaltendem Boden ausgegraben ist und reichliche eigne Zuflüsse hat, welche ihr von oben herabkommendes Wasser entbehrlich machen.

„Sobald es möglich geworden war, das Canalspeisewasser von dem „Leitgraben der Schwarzach bei Neumarkt in größern Quantitäten über die „hohen Dämme der Theilungshaltung und in den nördlichen Arm zu führen, „wurden auch hier die Verdichtungs-Arbeiten, und zwar insbesondere in den „Haltungen 27 bis 52, mit allem Eifer und mit vollständigem Erfolge betrieben.

*) Es wurde am ganzen Canale durchaus keine andere Verdichtungsweise, als die mit getrübttem Wasser, so wie ich sie §. 16. beschrieben habe, angewendet, da die übrigen, den Versuchen bei Neumarkt zufolge angewendeten Verdichtungsweisen alle als unzureichend befunden wurden und alle Canalhaltungen, in welchen man sie angewendet hatte, ebenfalls erst mit trübem Wasser wasserdicht gemacht werden mußten.

„Diese, über drei Stunden lange, in ganz groben Sand gegrabene Canalstrecke „(die in §. 31. beschriebene) ist durch die angewendeten Mittel, namentlich „durch das Einführen von Letten und fortwährende Aufrüben des Wassers, „bereits in so hohem Grade verdichtet, dafs sämtliche Haltungen schon seit „längerer Zeit auf die Normalhöhe von 5 Fufs gefüllt sind und das aus der „Theilungshaltung empfangene Speisewasser fast ohne Verlust an die unten „folgende Canalstrecke abzugeben vermögen (S. 51 der Protocoll-Auszüge).“

§. 42.

Dies sind die Canalstrecken, die ich §. 30. und 31. beschrieben habe. Sie erstrecken sich in längerer und ununterbrochener Ausdehnung durch Sand, und zwar grosentheils tiefen, groben und schwer zu verdichtenden Sand, und gaben Denen, welche die Schwierigkeit, den Canal wasserhaltend zu machen, für sehr grofs oder wohl gar für unüberwindlich hielten, am meisten Veranlassung zu Besorgnissen; und nun haben sie, und zwar schon am Anfange des Octobers, das von mir berechnete Maximum der Wasserdichtigkeit theils beinahe erreicht, theils sogar übertroffen; nur die etwa 11 000 Fufs langen drei Canalhaltungen zwischen der Schwarzach und der Schleuse bei Röthenbach, welche man viel später mit trübem Wasser zu verdichten anfang, war um diese Zeit noch etwas von der vollkommenen Wasserdichtigkeit entfernt; besonders in der Nähe dieser Schleuse selbst, wo sich unter der Canalsohle, als man diese Haltung mit Wasser zu füllen begann, eine zerklüftete Lage von Sandstein fand, drang das Wasser durch und füllte die Keller des nahen Dorfes Röthenbach. Wir haben oben in §. 39. gesehen, wie leicht die Keller in den Dörfern Altendorf und Hirschhaid, die in dem nemlichen Falle waren, wieder trocken wurden. Ich könnte leicht die befriedigendsten Nachrichten über die Fortschritte, welche die Verdichtung des Canals seit dem October des vorigen Jahres bis jetzt gemacht hat, geben, wenn ich nicht der Versicherung, die ich am Anfange des 40ten Paragraphen gab, getreu, nur solche ertheilen wollte, welche sich auf amtliche, öffentlich bekannt gemachte Berichte gründen. Meine Leser werden übrigens aus dem bisher angeführten, ganz unerwarteten und glänzenden Erfolge meiner Verdichtungsweise, gerade in den für die Verdichtung schwierigsten Canalhaltungen, leicht ermessen können, welche Fortschritte der Canal seit dem October vorigen Jahres bis jetzt gemacht haben kann, und gemacht haben mufs.

§. 43.

Zerklüftete Steinschichten, welche dem Wasser einen Weg aus dem Canale öffneten, hatten sich schon drei Jahre früher in der 33 000 Fufs langen, von Berching bis in das Ottmaringerthal reichenden Canalhaltung gefunden. Als man diese Haltung zu füllen anfang, entstanden an mehreren Stellen, wo sie in den Berg-Abhang eingeschnitten ist, tiefer unten im Thale und einige 100 Fufs vom Canale entfernt, mehrere Quellen, deren trübes Wasser keinen Zweifel liefs, dafs das Wasser sich gröfsere Öffnungen gebahnt habe, welche durch Trübung desselben nicht geschlossen werden konnten. Als der Canal wieder trocken gelegt war, zeigten viele kleine, trichterförmige Öffnungen auf der Sohle des Canals die Stellen, wo das Wasser sich einen Ausweg gebahnt hatte. Sie wurden aufgegraben und man fand zerklüftete Steinschichten, welche auf keine andere Weise wasserdicht gemacht werden konnten, als dafs man sie 2 bis 3 Fufs tief ausgrub und die dadurch entstandenen Vertiefungen mit diesen nemlichen Steinen, aber mit Erde und Sand vermengt, wieder ausfüllte. Der Zweck wurde dadurch vollkommen erreicht. Da an noch mehreren andern Stellen ähnliche trichterförmige Öffnungen, aber in geringerer Anzahl entstanden waren, und ich das etwas kostbare und zeitraubende Ausgraben der untenliegenden Steinschichten, wenn nicht ganz vermeiden, doch nach Möglichkeit vermindern wollte, so liefs ich Sand darüber ausbreiten, welcher, als man wieder Wasser in den Canal leitete, mit hölzernen Krücken aufgerührt wurde, um ihn durch die in der Tiefe verborgenen Ritzen zu führen und diese dadurch zu verstopfen; worauf in der Folge der sie verstopfende Sand durch trübes Wasser verdichtet werden sollte. Nur die Stellen, an welchen dieses Mittel unzureichend sein würde, sollten dann aufgegraben und auf die so eben beschriebene Weise behandelt werden. Ich erreichte meinen Endzweck gröfstentheils, ~~und~~ nur an wenigen Stellen blieb für jetzt das Aufgraben nothwendig. Als aber das Wasser im Canale die Tiefe von 3 Fufs und darüber erreichte, entstanden neue Quellen auf den neben dem Canale liegenden Grundstücken, und man entdeckte bald ähnliche trichterförmige Öffnungen auf den Böschungen der Ufer. Hier war es schwieriger, Sand mit gleichem Erfolge anzuwenden, aber leichter, als auf der Sohle die zerklüfteten Steinlagen an dieser Stelle auszugraben und mit Erde und Sand vermengt wieder einzufüllen. Diese Arbeit mufste, so wie das Wasser im Canale stieg, öfter wiederholt werden: denn so wie der Druck des Wassers durch das Steigen desselben zunahm, öffneten sich immer mehrere Klüfte unter der Sohle

und es mußten noch im vorigen Jahre bedeutende Ausgrabungen und Wiederausfüllungen, sowohl an den Ufern, als auf der Sohle des Canals, vorgenommen werden, bis diese Canalhaltung vollkommen wasserdicht gemacht werden konnte. Ähnliche Fälle mögen wohl bei der Ausführung der meisten Canäle vorkommen, und ich glaube, in solchen Fällen die hier beschriebene Anwendung des Sandes und die kostbaren Ausgrabungen nach Möglichkeit zu vermindern und auf das unumgänglich Nothwendige zu beschränken, empfehlen zu dürfen.

§. 44.

Der Canal von Röthenbach bis Nürnberg und von Nürnberg bis Bamberg wird schon seit der zweiten Hälfte des Jahres 1843 befahren. Im Anfange und bis gegen den Sommer des Jahres 1844 hatte er zwar nicht immer die Normaltiefe von 5 Fufs, wohl aber seit der zweiten Hälfte desselben Jahres, ungeachtet er das Wasser nur durch die mäfsigen Zuflüsse von der im vorigen Paragraph angeführten Schleuse bei Röthenbach an, wo er den Gauchsbach aufnimmt, und aufser diesem durch einige kleine, unbedeutende Zuflüsse bis Erlangen hin erhält; denn das ihm von der Theilungshaltung herab zugeleitete Wasser wurde noch größtentheils von den noch nicht hinlänglich wasserdichten Canalhaltungen zwischen dem Brückcanale über die Schwarzach und der Schleuse bei Röthenbach absorhirt. Die Leser sehen an Dem, was ich bisher, größtentheils auf einen amtlichen, öffentlich bekannt gemachten Bericht mich stützend, angeführt habe, dafs der ganze Canal, die einzige kurze, nur 4000 Fufs lange Strecke, der ich im vorigen Paragraph gedacht habe, ausgenommen, schon im Anfange des Octobers des vorigen Jahres nicht nur befriedigend war, sondern bereits in den für die Erreichung der vollkommenen Wasserdichtigkeit schwierigsten Stellen weniger Wasser durch Versickerung verlor, als ich das vielleicht erst nach Jahren erreichbare Minimum berechnet hatte; und zwar ganz allein durch das von mir zuerst in dieser Ausdehnung angewendete getrübe Wasser.

§. 45.

Die in den Paragraphen 30. und 31. beschriebenen Canalstrecken enthalten zwischen sich die Theilungshaltung, welche schon vor drei Jahren so wasserdicht war, dafs sie in mehreren ihrer Theile, bei einer Wassertiefe von 3 Fufs, wenn aller Zuflufs von denselben abgeschnitten war, durch Versickerung und Verdunstung binnen 24 Stunden nur noch eine Linie an Tiefe verlor.

Nach dem von mir in meiner Berechnung des Wasserbedarfs angenommenen Minimum der Versickerung durfte der Verlust binnen dieser Zeit bei der Wassertiefe von 5 Fufs einen halben Zoll betragen. Nach den in §. 41. angeführten Stellen des amtlichen Berichtes vom 6ten October vorigen Jahres waren jene beiden Canalstrecken an Wasserdichtigkeit so weit fortgeschritten, dafs sie das von mir berechnete Maximum derselben nicht nur erreichten, sondern theils sogar übertrafen, theils es bald zu übertreffen hoffen liefsen. Der Canal war von Röthebach bis Bamberg seit beinahe zwei Jahren der Schifffahrt bereits geöffnet und liefs nichts mehr zu wünschen übrig. Es war folglich im October vorigen Jahres der ganze 18 Meilen lange Canal von der Altmühl bis in die Regnitz, mit Ausnahme der kurzen, nur 11 500 Fufs langen Strecke zwischen der Schwarzach und Röthenbach, vollkommen wasserdicht; und auch diese Strecke liefs, allen vorausgegangenen Erfahrungen zufolge, ihre vollkommene Wasserdichtigkeit binnen kurzer Zeit mit Zuverlässigkeit erwarten. Der beinahe zu zwei Drittheilen in Sand gegrabene Canal ist folglich noch vor seiner Eröffnung vollkommen wasserdicht geworden. Gewifs werden nur wenige Canäle, oder vielleicht gar keine, wenn sie auch in einem der Verdichtung minder ungünstigem Boden gegraben wurden, dieses Ziel noch vor ihrer Eröffnung erreicht haben. Aber es wurde am Ludwigcanale erreicht, und zwar ganz allein durch die von mir angewendete Verdichtungsweise, und ich dürfte, ohne darum einer Unbescheidenheit beschuldigt werden zu können, mir wohl schmeicheln, dafs die Kunst, schiffbare Canäle zu bauen, dadurch eine wesentliche Vervollkommnung erhalten hat. Auch für andere Zwecke wird die Weise, Sand wasserdicht zu machen, nicht selten mit grossem Nutzen angewendet werden können; und vorzüglich dürften Länder, welche weite Sandstrecken haben, wesentliche Vortheile davon erzielen. Auch giebt es Canäle, die mehrere Jahre nach ihrer Eröffnung noch nicht befriedigend wasserdicht geworden sind: es ist nicht unmöglich, dafs sie es durch die Anwendung meiner Verfahrungsweise leicht und bald werden können.

Der Ludwigcanal soll im nächsten Frühlinge der Schifffahrt eröffnet werden. Ich werde nicht ermangeln, eine umständliche Nachricht davon und das Ergebnifs der Beobachtungen über den Zustand und vorzüglich über die Wasserdichtigkeit desselben in diesem Journale mitzutheilen, und diese Mittheilung wird den Schlufs der gegenwärtigen Abhandlung bilden.

Im Jänner 1845.

2.

Über die verschiedenen Arten, die Spannkraft der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen, von welchen eine die der sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen ist.

(Vom Herausgeber dieses Journals.)

(Fortsetzung des Aufsatzes No. 2. im ersten, No. 9. im zweiten und No. 17. im vierten Heft ein und zwanzigsten Bandes.)

(Über den Inhalt dieser Fortsetzung hat der Herausgeber der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin in ihrer Gesamtsitzung vom 6ten März 1845 einen Vortrag gemacht.)

I. Vergleichung der Spannkraft des Dampfes und der Luft im Allgemeinen.

1.

Der Wasserdampf und die atmosphärische Luft sind beides *elastische Flüssigkeiten*. Sie haben als solche die Eigenschaft gemein, sich *auszudehnen* und gegen Flächen, die sich ihrer Ausdehnung widersetzen, eine *Spannkraft* auszuüben, welche im allgemeinen in geradem Verhältniß mit der Dichtigkeit der beiden Flüssigkeiten wächst; jedoch bei beiden durch den Grad der Temperatur verändert wird. Da die Dichtigkeit immerfort vergrößert werden kann, so läßt sich auch die Spannkraft *beider* Flüssigkeiten bis zu einem beliebigen Grade verstärken.

Die *Spannkraft* oder *ausdehnende Kraft* des *Wasserdampfes* ist es, welche die *Dampfmaschinen* in Bewegung setzt, durch welche man auf den Eisenbahnen Lasten fortschafft, oder sonst zu andern Zwecken; und zwar im Allgemeinen auf die Weise, daß man den Dampf auf bewegliche Kolben in Röhren, die an ihrem Ende verschlossen sind, wirken, dadurch die Kolben fortreiben und sie so die verlangte Wirkung hervorbringen läßt: also muß auch *Luft*, da sie die Spannkraft oder ausdehnende Kraft mit dem Dampfe *gemein* hat, ganz eben so sich benutzen lassen können. Die Wirkung muß dieselbe sein; der Unterschied ist nur, daß die Spannkraft des Dampfes durch die *Erhöhung der Temperatur*, und dagegen die aus der vergrößerten Dichtigkeit

entstehende Spannkraft der Luft durch eine beliebige andere, *äußere* mechanische Gewalt hervorgebracht werden muß.

2.

Der *Wasserdampf* hat in Rücksicht seiner Benutzung für Maschinen vor der *Luft* das voraus, daß er und seine Spannkraft durch das Feuer auch da erzeugt werden kann, wo eine mechanische Gewalt zur Verdichtung oder Zusammenpressung der Luft nicht wohl zu haben ist; also insbesondere auch auf *Schiffen*; obgleich es noch die Frage wäre, ob und in wie fern nicht die Kraft des Windes auf dem Meere und diese, zusammen mit der der Strömung des Wassers auf Flüssen, auch da noch zum Zusammenpressen der Luft und also zur Hervorbringung von Triebkraft zu benutzen sein dürfte.

In allen andern Fällen dagegen, wo andere äußere Kräfte zur Hervorbringung der Spannung der Luft vorhanden und zu haben sind, hat die *Luft* für die Benutzung ihrer Spannkraft vor dem *Wasserdampf* mehrere und verschiedene *Vorzüge*, vorausgesetzt, daß sich sonst die technischen Schwierigkeiten dabei überwinden lassen. Diese Vorzüge, insbesondere bei der Fortbewegung von Lasten auf *Eisenbahnen*, welcher Fall der Gegenstand dieses Aufsatzes ist, sind etwa folgende.

Erstlich ist nicht unbedingt *Feuer* und also *Brennstoff* nöthig, um die Spannkraft oder die bewegende Kraft der Luft zu erzeugen, sondern jede andere mechanische Kraft, z. B. die Kraft von Wassergefällen, die Kraft des Windes, die Kraft von Zugthieren u. s. w. läßt sich dazu ganz eben so wohl benutzen; und dies ist sehr wichtig; denn einestheils ist die Heizung etwas Verzehrendes; sie *vernichtet* einen kostbaren Stoff, der anders, z. B. zur Erwärmung der Wohnungen, zur Bereitung der Speisen u. s. w. nützliche Dienste leisten kann; anderntheils ist der Brennstoff kostbar, die Kraft des Windes dagegen kostet an sich nichts, die Kraft unbenutzter Wassergefälle ebenfalls meistens nur wenig, und die Kraft der Zugthiere kann häufig wohlfeiler sein, als die des Brennstoffes.

Zweitens sind Maschinen, die durch das *Feuer* in Bewegung gesetzt werden, *weniger dauerhaft*, und folglich kostbarer als andere. Das Feuer zerstört sie unvermeidlich schnell. Besonders ist dies der Fall, wenn die Feuermaschinen nicht *feststehen*, sondern selbst mit fortbewegt werden; wie in dem Fall der Fortbewegung von Lasten auf Eisenbahnen.

Drittens. Ist die *Feuersgefahr* ein nicht unbedeutendes Übel, und sie ist doppelt groß, wenn die Feuermaschinen, wie auf den Eisenbahnen,

mit fortrücken. Alsdann ist sie nicht blofs für die Nachbarschaft stehender Maschinen, sondern längs der ganzen Eisenbahn vorhanden; für die Personen und Güter aber, welche durch die Maschinen fortbewegt werden, ist sie in *hohem Grade* drohend. Benutzt man dagegen die Spannung der *Luft* als bewegende Kraft, so ist die Feuersgefahr für die Personen und Güter gar nicht und, selbst wenn man stehende Feuermaschinen zur Hervorbringung der Triebkraft dienen lassen muß, oder will, doch nur noch für die Nachbarschaft dieser vorhanden; wo dann Sicherheitsmaafsregeln leicht sind. In wie fern die andere, aus einer starken Spannung der Luft allerdings entstehende und an die Stelle der Feuersgefahr tretende Gefahr des *Zerspringens der Luftbehälter* der Feuersgefahr zu vergleichen sei, wird weiter unten zu erörtern sein.

Viertens vermindert die Erniedrigung der Temperatur die Kraft der einmal gespannten Luft nur wenig, und fast nur unmerklich, die Spannung des Wasserdampfes dagegen sehr stark. Jedenfalls sind deshalb die Feuermaschinen, um die Wirkung der Erniedrigung der Temperatur zu hindern, künstlicher nöthig, und ihre Behandlung ist schwieriger, als es Luft-Vorrichtungen und deren Benutzung sein würden.

Fünftens ist die *Luft* zum Träger oder Vermittler der bewegenden Kraft durchaus unerschöpflich und überall und vollkommen *kostenfrei* zu haben: das *Wasser* zu dem Wasserdampf ist es freilich ebenfalls, wiewohl doch nur beinahe: dagegen der *Brennstoff* ist weder unerschöpflich, noch kostenfrei. Soll das *Brennholz*, welches allein wieder *zuwächst*, nicht unerschöpflich sein, so erfordert es grofse Flächen Landes, die Nützlicheres tragen könnten.

Die Spannkraft der Luft hat also vor der des Wasserdampfes, besonders für Eisenbahnen, schon im Allgemeinen entschiedene und grofse Vorzüge.

3.

Dafs die Spannkraft der Luft an sich als bewegende Kraft zur Fortschaffung von Lasten auf Eisenbahnen tauglich sei, ist den obigen Bemerkungen zufolge unzweifelhaft, und gleichsam *mathematisch* gewifs. Es kommt immer nur auf eine Kraft von hinreichender Stärke an, die geeignet ist, einen Kolben in einer Röhre fortzutreiben. Eine solche Kraft besitzt die Luft, wenn sie zusammengedrückt ist, eben wie der Dampf; und ob es Luft oder Dampf sei, was den Kolben fortreibt, ist offenbar für die Wirkung gleichgültig, während es practisch selbst leichter ist, einen dauerhaften und tauglichen *Luftkolben* zu machen, als einen *Dampfkolben*. Die Frage an sich, *ob* die Spannkraft

der Luft die Stelle derjenigen des Dampfes auf Eisenbahnen vertreten könne, findet daher gar nicht Statt. Sie verneinen, hiefse physicalische Gesetze bezweifeln und leugnen, die seit Jahrhunderten bekannt und bestätigt sind.

Es kommt also nur darauf an, *wie* die Spannkraft der Luft hier zu benutzen *technisch* möglich sei, und dann: *wie am besten und vortheilhaftesten*.

Beim ersten Anblick *scheint* die Benutzung der Luft grofse technische Schwierigkeiten zu haben; aber es ist glücklicherweise nicht mehr an der Zeit, wo hier der Schein dem Fortschritte sich entgegenstemmen könnte. Die *Erfahrung* und die *Wirklichkeit* hat *bewiesen*, dafs die Benutzung der Luft auf Eisenbahnen auf eine der verschiedenen Arten, die thunlich sein dürften, *technisch* wirklich *möglich ist*. Die Eisenbahn bei Dublin, von Kingstown nach Dalkey, ist in vollem *Betriebe*, und die *Spannkraft der atmosphärischen Luft* ist es dort, die einen Kolben, *vor* welchem man die Luft in einer längs der Eisenbahn laufenden Röhre auspumpt, und mit ihm schwere Wagenzüge, mit grofser Geschwindigkeit, sogar stets bergauf und einen ziemlich steilen Abhang hinan, fortreibt.

Nun ist aber die besondere Art der Benutzung der Spannkraft der Luft bei Dublin, wie sich zeigen wird, fast von allen sogar gerade die *unvortheilhafteste* und die *schwierigste*. Auch sind die Vorrichtungen zu dieser Benutzung ungemein complicirt und künstlich. Es beweiset daher dieser erste Versuch *nicht* blofs die technische Möglichkeit der Benutzung der Luft auf Eisenbahnen, sondern *mehr*: nemlich dafs, da die Benutzung auf diese *schwierige* Art wirklich schon möglich ist, sie es auch wohl noch auf andere, *einfachere* und gleichsam *natürlichere* Arten sein werde. Man hat die Dubliner Eisenbahn durch die Erfahrung schon so vortheilhaft gefunden, dafs man in England damit umgeht, mehrere neue Eisenbahnen nach diesem Systeme zu bauen: also ist es mehr als wahrscheinlich, dafs auf *andere* Arten und durch *einfachere* und *zweckmüfsigere* Vorrichtungen noch viel gröfsere Vortheile zu erzielen sein dürften. Einige Ingenieurs haben sogar die Meinung aufgestellt, dafs die atmosphärischen Eisenbahnen, nach Art der Dubliner, *überall* und unter allen Umständen, auch in Rücksicht der *Kosten*, vortheilhafter sein würden, als Dampfwagenbahnen. Allein es wird sich zeigen lassen, dafs *dem* nicht also ist und dafs die *Gegner* der Meinung Recht haben. Es ist zwar ganz wahrscheinlich, ja beinahe gewifs, dafs die Benutzung der Luft überall und unter allen Umständen vortheilhafter sein dürfte, als die Spannkraft des Dampfes; nemlich in Rücksicht der in §. 3. aufgezählten Vorzüge der Luft

vor dem Dampf: aber, damit sie es auch in Absicht der *Kosten sei*, dürften *andere* Vorrichtungen als die bei Dublin nöthig sein.

Wir werden alles Dieses in Folgendem näher zu erörtern versuchen und Erwägungen darüber anstellen, *welche* Arten von Vorrichtungen technisch am leichtesten ausführbar und zugleich in Absicht der Kosten die vortheilhaftesten sein dürften.

II. Verschiedene Arten die Spannkraft der Luft auf Eisenbahnen zu benutzen.

4.

Die verschiedenen Arten, wie die Spannkraft der Luft zur Forttreibung von Lasten auf Eisenbahnen sich dürfte benutzen lassen, wenigstens diejenigen, welche theils schon wirklich ausgeführt, theils vorgeschlagen und mehr oder weniger dringend empfohlen wurden, sind etwa folgende.

I. Man kann längs der Eisenbahn, mitten zwischen die Schienen, eine Röhre legen, in welcher sich ein Kolben bewegt, *vor* welchem man die Luft mehr oder weniger auspumpt, so dafs der Druck der atmosphärischen Luft *hinter* dem Kolben das Übergewicht bekommt und den Kolben und mit ihm den vordersten Wagen des Zuges, der mit dem Kolben durch eine senkrechte Stange verbunden ist, und dann weiter die an den vordersten Wagen angehängten übrigen Wagen, also den ganzen Wagenzug fortreibt. Damit die Stange von dem Kolben nach dem vordersten Wagen gelangen könne, mufs die Röhre längsaus einen *Schlitz* haben, den eine längsauslaufende Klappe *vor* dem Kolben luftdicht verschlossen hält und welche erst die Stange selbst, oder der Wagenzug, so wie er fortrückt, öffnet. Die luftdichte Klappe aber, und sie allein, ist die sehr grofse technische Schwierigkeit. Einen Wagen, der nicht mit Gütern oder Personen beladen werden könnte, wie Dampfwagen und Tender auf Dampfwagenbahnen, giebt es hier nicht; denn auch der vorderste Wagen, der durch die Stange mit dem Kolben zusammenhängt, kann noch beladen werden. Es braucht blofs der Führer, mit Dem was ihm nöthig ist, darauf Platz zu finden.

Diese Art der Vorrichtung ist die Dubliner sogenannte *atmosphärische Eisenbahn*.

II. Während Alles ganz wie vorhin ist, kann man die Luft, statt sie *vor* dem Kolben zu *verdünnen*, *hinter* dem Kolben *zusammenpressen*. So

viel ich weiß, ist diese Art noch nicht näher vorgeschlagen worden; allein die Veränderung liegt so nahe, daß sie kaum etwas Neues zu nennen ist. Es ist dazu nichts weiter nöthig, als eine andere Einrichtung der Klappe auf dem Schlitz für die Verbindungsstange des Kolbens in der Triebröhre mit dem vordersten Wagen. Statt daß diese Klappe bei No. I. von *aussen* nach *innen* luftdicht schließsen muß, muß sie es hier von *innen nach aussen*; was sich auch, wie sich zeigen wird, ganz gut ausführen lassen dürfte.

III. Man kann, statt eine feste eiserne Röhre mit einem Schlitz zwischen die Schienen zu legen und einen Kolben darin sich fortbewegen zu lassen, eine Röhre *ohne Kolben* zwischen die Schienen legen, die, so wie die Luft hineingepumpt wird, hinter einem *Rade* am vordersten Wagen sich *aufbläht*, welches Rad mitten zwischen den Schienen auf der Decke der Röhre hinrollt und so den vordersten Wagen und mit ihm die übrigen Wagen forttreibt. Dieses wäre die Ausführung eines Vorschlages, welchen kürzlich ein Ungenannter in No. 17. des „Journal des chemins de fer“ von 1844 gemacht hat und dessen Grund-Idee schon vor mehreren Jahren unter andern ein Preussischer Ingenieur hatte, der sie zum Heben des Wassers benutzen wollte.

IV. Man kann, wie in No. I. und II., zwischen die Schienen eine feste eiserne Röhre legen, in dieser Röhre die Luft zusammenpressen, darauf aus der Röhre, als einem festliegenden *Luftbehälter*, den vordersten Wagen, der ganz wie ein Dampfswagen eingerichtet ist, mit zwei Cylindern, Kolben, Kurbeln etc., aber ohne Dampfkessel und Esse, auf irgend eine Weise die nach Bedürfnis nöthige Luft schöpfen und diese nun ganz so auf die Kolben in den Cylindern des *Luftwagens* wirken lassen, wie den Dampf in *Dampfswagen*. Diese Einrichtung ist die des Herrn *Pecqueur*. Sie ist bis jetzt erst im Modell versucht worden, wird aber dem Vernehmen nach im Großen geprüft werden.

V. Man kann die Luft in Behälter zusammenpressen, diese Behälter auf den vordersten Wagen setzen, der wiederum ganz so eingerichtet ist, wie der *Luftwagen* in No. IV., und nun wieder diese zusammengepresste Luft aus den *mitfahrenden* Behältern auf die Kolben in den Cylindern ganz eben so wirken lassen, wie den Dampf in Dampfswagen. Diese Einrichtung ist diejenige, welche meines Wissens zuerst Herr *v. Baader* in München vorgeschlagen hat. Der Herr Oberbergrath *Henschel* in Cassel hat sie im Jahr 1833 von neuem angeregt. Ich habe davon im Jahr 1838 in der der hiesigen Königl. Akademie vorgelesenen Abhandlung „Über die Ausführbarkeit

2. Über die Benutzung der Spannkraft der Luft auf Eisenbahnen. §. 5. 21

von Eisenbahnen in bergigen Gegenden" gesprochen, und im August 1844 hat Herr *Andraud* zu Paris auf einer der Eisenbahnen nach Versailles Versuche mit einem von ihm im Großen ausgeführten *Luftwagen* angestellt; vorläufig ohne angehängte Lastwagen, weil es ihm noch an dem Mittel gefehlt hat, die Luft hinreichend zusammenzupressen. Die Versuche sind vollkommen gelungen und werden dem Vernehmen nach mit stärker zusammengepresster Luft und mit angehängten Lastwagen fortgesetzt werden.

III. Technische Vorrichtungen zu den obigen verschiedenen Arten der Benutzung der Luft.

5.

Ehe wir zwischen den hier aufgezählten fünf verschiedenen Arten von Eisenbahnen rücksichtlich der Anlagekosten und der Transportkraft, so wie über ihre sonstigen Vorzüge und Nachtheile gegen einander und gegen die gewöhnlichen Dampfwagen-Eisenbahnen Vergleichen anstellen dürfen, wird es angemessen sein, erst *technisch* oder *practisch* anzugeben, wie und auf welche Weise nach unserer Meinung am besten die verschiedenen Constructionen ins Werk zu richten sein dürften: denn man kann natürlich nicht eher mit Grund über technische Gegenstände Vergleichen und Berechnungen ihrer Wirkungen anstellen, ehe man nicht nachgewiesen hat, daß und wie sie practisch ausführbar sein würden.

Die obigen fünf verschiedenen Constructionen lassen sich, einer der Hauptsachen nach, in nur *zwei* verschiedene Arten theilen. Die *erste* Art ist die, welche eine zwischen den Schienen längsauslaufende *Triebröhre* von dieser oder jener Construction hat. Dieses ist bei No. I. II. III. und IV. der Fall. Die *andere* Art ist die No. V., welche *keiner* solchen Röhre bedarf.

Von der ersten Art bedarf wieder No. III. für die Triebröhre keines längsauslaufenden Schlitzes mit Klappe. Auch No. IV. bedarf, *nach der Pecqueurschen Art*, für die Triebröhre keinen Schlitz. Aber da No. IV. in dieser Art gar zu complicirt und die Erlangung der Luftdichtigkeit bei derselben *noch* schwieriger zu sein scheint, als wenn ein Schlitz vorhanden ist, so setzen wir auch für diese Art einen Schlitz voraus.

Wir haben also jetzt die drei Arten No. I. II. und IV. mit längsauslaufender *geschlitzter* Triebröhre, wo der Schlitz nebst Klappe, wie sich zeigen wird, bei allen dreien im wesentlichen auf eine und dieselbe Weise dürfte

eingerrichtet werden können; sodann No. III. mit längsauslaufender *ungeschlitzter* Triebbröhre, und No. V. *ohne* Triebbröhre.

Wir fangen mit No. I. II. und IV. an; und zwar mit No. IV., da dieser Fall der schwierigste ist und No. I. und II. blofse Vereinfachungen desselben sind.

6.

Es kommt bei No. IV., wo die Luft in der ganzen Triebbröhre vor dem Anfange der Bewegung zusammengeprefst werden und dann der *Luftwagen* aus der Röhre die zusammengeprefste Luft nach Bedürfnifs ausschöpfen soll, darauf an, dem Schlitz der Röhre eine Klappe zu geben, die sich *vor* der Stange, welche den *Triebkolben* mit dem Luftwagen in Verbindung setzt, und die wir *Triebstange* nennen wollen, nach dem Innern der Röhre hin öffnet und *hinter* dem Kolben wieder von Innen nach Aufsen verschliesst; denn die Luft hat hier im Innern der Röhre eine *stärkere* Spannung als aufserhalb, und mufs abgehalten werden, von Innen nach Aufsen *durch die Klappe* und anders als durch die Schöpfbröhre des Luftwagens zu entweichen. Die Klappe mufs also von *Innen nach Aufsen luftdicht* schliessen. Die Construction einer Klappe, welche allmähig längs der Röhre sich öffnen lasse, dabei aber vor und hinter dem Kolben *luftdicht* schliesse, ist die einzige, aber auch eine *grofse* technische Schwierigkeit.

Bei der Dubliner Eisenbahn, wo die Klappe ebenfalls, wenigstens vor dem Kolben, luftdicht schliessen mufs, dort zwar von Aufsen nach Innen, statt wie bei No. IV. von Innen nach Aufsen, was indessen keinen wesentlichen Unterschied macht, wird die Luftdichtigkeit der Klappe dadurch hervorgebracht, dafs sie sich von oben nach unten in einen Falz legt, der mit einer aus Wachs und Öl zusammengesetzten Masse gefüllt ist; und da diese Masse nur dann einen luftdichten Verschluss giebt, wenn sie bis zur Flüssigkeit *erwärmt* ist, so führt die Triebstange einen mit glühenden Kohlen gefüllten Behälter mit sich fort, über die verdichtende Masse hin, welche nun die Kohlen schnell erwärmen und flüssig machen müssen. Dieses Mittel liefse sich vielleicht auch hier bei No. IV. anwenden; denn man könnte den durch die Kohlen erhitzten Behälter vielleicht *im Innern des Kolbens* anbringen; aber die Art des Verschlusses ist doch unstreitig nur sehr unvollkommen; denn die Kohlen können vor der Zeit erlöschen, und, wenn dies auch nicht geschieht, so erfolgt doch die Erwärmung und Flüssigmachung der Masse jedenfalls immer nur sehr un-

vollkommen, indem der erwärmende Behälter gar zu *schnell* über die zu erwärmende Masse hinstreicht. Nimmt man nemlich auch nur eine Geschwindigkeit von 4 Meilen in der Stunde an, was $26\frac{2}{3}$ F. in der Secunde ausmacht, und den erwärmenden Behälter 6 F. lang (bei Dublin ist er nur 3 F. lang), so bleibt jeder Punct der zu erwärmenden Verdichtungsmasse nur $\frac{1}{2} \cdot 26\frac{2}{3}$, also noch nicht *eine Viertel-Secunde* mit dem erwärmenden Behälter in Berührung, und in dieser so ungemein kurzen Zeit kann die Erwärmung gewifs nur sehr unvollkommen geschehen. Auch schließt die Klappe bei Dublin, den *Mallets*chen Versuchen zufolge, undicht genug. In etwa 10 Minuten hat sie wieder ganz die äufßere Luft in die Röhre, die etwa bis auf $\frac{1}{2}$ der Luftmasse ausgeschöpft war, eindringen lassen. Ob die Undichtigkeit bei dieser Art des Verschlusses gröfser oder geringer sein würde, wenn die Klappe, wie hier bei No. IV., einem *stärkern* Luftdrucke, vielleicht von 4 bis 5 Atmosphären, zu widerstehen hat, während bei Dublin nur höchstens $\frac{5}{8}$ Atmosphären darauf drücken, läßt sich im Voraus nicht sagen; schwerlich aber würde wohl die Undichtigkeit *geringer* sein. Auch ist jedenfalls die stete Erneuerung der Verdichtungsmasse und der erwärmenden Kohlen unbequem, beschwerlich, und selbst kostbar. Wir schlagen daher folgende andere Art der Anordnung der Klappe und ihres Verschlusses, und zwar sogleich für den schwierigsten Fall No. IV. *ohne* Verdichtungsmasse vor; welcher Verschlufs allem Anschein nach dichter und haltbarer sein dürfte.

7.

Die Figuren 1, 2, 3, 4, 5 und 6 Taf. I. und II. stellen diese Constructionen vor; und zwar *zwei verschiedene Arten* der Anordnung der Klappe und ihres Verschlusses; Fig. 1, 2 und 3 die eine, Fig. 4, 5 und 6 die andere Art.

Es ist eine Triebröhre von 14 Zoll im Durchmesser im Lichten weit, ungefähr so weit wie die bei Dublin, angenommen. Der Längsdurchschnitt Fig. 3 stellt nur die halbe Länge des *Kolbens* vor, und die Linie *ab* geht durch die *Mitte* der *Triebstange T*. Die andere nicht gezeichnete Hälfte des Kolbens ist ganz der gezeichneten Hälfte gleich, nur natürlich in *entgegengesetzter* Lage. Für die *ganze* Länge des Kolbens ist 12 F. angenommen, so dafs $kc = 6$ F. ist. Die Theile des Kolbens *K, K* an den beiden Enden desselben, welche *eigentlich* zum Verschlufs der ganzen *Röhre*, (bei No. I. und II.), hier bei No. IV. nur zum Verschlufs der *Klappe* bestimmt sind, mögen jeder 6 Zoll lang sein, so dafs zwischen ihnen noch 11 F. Länge

bleiben. Diese Theile des Kolbens, oder die *eigentlichen Kolben*, mit ihrer Verliederung, sind nur andeutungsweise gezeichnet, und man kann sie nach Belieben auf eine oder die andere der verschiedenen bekannten Arten noch besser und dichter einrichten.

Hier bei No. IV., wo die Luft in der *ganzen* Röhre *vor* und *hinter* dem Kolben *gleich stark* zusammengeprefst sein soll, verschliessen die Theile *K, K* an den beiden Enden des Kolbens die Röhre *nicht ganz*, sondern nur die *obere Hälfte* derselben. Durch die *untere Hälfte R* strömt die Luft, so wie der Kolben sich fortbewegt, frei hindurch. Bei No. I. und II. müssen natürlich die Kolbentheile *K, K* die Röhre *ganz* verschliessen. Bei No. IV. wird nemlich der Kolben nicht durch *den Druck der Luft* auf sein eines Ende fortgetrieben, wie bei No. I. und II., sondern durch den *Luftwagen*, der die zusammengeprefste Luft aus der Röhre schöpfen soll.

Dieses Ausschöpfen geschieht mittels der Röhren *S, S*, in der Triebstange *T* Fig. 2 und 3, welche unten bei *s, s* offen sind und daselbst *keine* Klappen haben. Sie haben ihre Verschlussklappen oben im Luftwagen. Die Triebstange ist 30 Zoll lang und 2 Zoll dick angenommen. Jede der beiden Röhren *S, S*, welche die Luft aus der *untern* Hälfte der Triebstange schöpfen, ist 6 Zoll lang und $1\frac{1}{2}$ Zoll breit; die eine biegt sich nach rechts, die andere nach links. Der obere Theil des Kolbens ist durch den festen Boden *B, B* von dem untern getrennt, durch welchen Boden die Schöpfrohren *S, S* bei *s, s* hindurchgehen. Die *obere* Hälfte des Kolbens ist also durch den Boden *B, B* und die Kolbentheile *K, K* an den Enden des Kolbens dem Zutritt der zusammengeprefsten Luft gänzlich verschlossen.

Es läßt sich hier zunächst das Bedenken aufstellen, dafs von dem Kolben, indem er sich in der die Röhre anfüllenden zusammengeprefsten Luft mit grofser Geschwindigkeit fortbewegt, der obere verschlossene Theil einen sehr bedeutenden Widerstand an der Luft finden werde, welcher die Bewegung hemme. Aber dieser Widerstand ist nicht eben sehr grofs. Stöfst nemlich die *atmosphärische* Luft eine Fläche von *a* Quadratfufs mit *v* F. Geschwindigkeit in der Secunde, so ist der Stofs gleich $0,0017583av^2$ Pfund. (Man sehe z. B. Band 10. dieses Journals S. 267.) Hat die Luft die Spannung oder Dichtigkeit von *n* Atmosphären, und ist also specifisch *n*mal so schwer, so beträgt der Stofs *n*mal so viel, folglich

$$1. \quad 0,0017583nav^2 \text{ Pfund.}$$

Es bewegt sich hier zwar nicht die Luft, sondern die obere Fläche des Kol-

bens fort; was aber einerlei ist. Nun ist hier die gestofsene Fläche a erst ein Halbkreis von 14 Zoll im Durchmesser, also von 77 Q. Zoll, und dann noch der halbe Ring am untern Theile des Kolbens von 10 Q. Z. Fläche, also ist $a = \frac{87}{144} = 0,604$ Q. F. Nimmt man eine Geschwindigkeit von 6 Meilen in der Stunde an, so ist $v = 40$ F.; und nimmt man an, die Luft in der Röhre solle bis zu der Spannung von 6 Atmosphären zusammengeprefst sein, so ist $n = 6$. Dieses giebt zufolge (1.) einen Stofs von

$$2. \quad 0,0017583 \cdot 6 \cdot 0,604 \cdot 40^2 = 10,195 \text{ Pfund.}$$

Dieser Widerstand von etwa 10 Pfd. ist nicht bedeutend, da der Luftwagen, um einen mäßigen Wagenzug von nur 1000 Ctr. schwer auf horizontaler Bahn fortzuziehen, schon wenigstens 450 Pfd. Zugkraft haben mufs, von welcher die obigen 10 Pfund nur ein sehr kleiner Theil sind.

Das Obige wäre im Allgemeinen für No. IV. die Einrichtung des Kolbens und der Triebstange mit der Schöpfröhre. Wir kommen jetzt zu dem Schlitz der Triebröhre und ihrer Klappe.

8.

Der *Schlitz* oben in der Triebröhre ist für die *erste Art* der Klappe, Fig. 2. und 3., 3 Zoll breit angenommen. Die Zusammensetzung der *Klappe* zeigen Fig. 1. und 2. im Querschnitt und Fig. 3. im Längsdurchschnitt. Die Klappe ist aus 3 Zoll langen Stücken Eisen, deren je drei über einander liegen, zusammengesetzt. Das untere Stück r ist $4\frac{1}{2}$ Zoll breit, in der Mitte 6 Linien dick, unten nach dem Bogen der Röhre geformt, und legt sich in die Falze der Röhre f . Das mittlere Stück ist 18 Linien und das obere 9 Linien dick. Das mittlere Stück ist *ganz* mit starkem, dichtem Leder *umgeben*, nach Fig. 1. und 2., so dafs dieses Leder sowohl zwischen den untern und mittlern, als zwischen den mittlern und obern eisernen Stücken der Klappe liegt, dergleichen die Seiten des mittleren Stücks bedeckt; und zwar geht dieses Leder *continuirlich* durch die ganze Länge der Klappe hindurch, so dafs es also zugleich alle *Fugen* zwischen den eisernen Stücken der Klappe *zweimal* bedeckt. Die Schrauben b , mit versenkten Köpfen, pressen, mäßig angezogen, alle drei Eisenstücke der Klappe zusammen und das zwischen ihnen liegende Leder etwas fest. So entsteht für die Klappe, die nun, zusammen mit den beiden Lederstreifen, 3 Zoll dick ist, ein *Continuum*, welches aber, so weit es nöthig, vermöge der beiden Leder *biegsam* und *dehnbar* ist. Beides ist nothwendig; denn so wie die Triebstange T mit dem Kolben K , K vorrückt,

z. B. von der Rechten nach der Linken in Fig. 3., drücken die drei Rollen *g, g, g*, welche in dem an der Triebstange *T* befestigten Arm *A* laufen, die Klappe allmählig bis *unter* die Triebstange, nemlich bis in die in Fig. 2. und 3. gezeichnete Lage *L nieder*, während zugleich die zwei Rollen *h, h* auf der *andern* Seite der Triebstange, in der *nicht* gezeichneten Hälfte des Kolbens rechts, die Klappe wieder an ihren Ort bringen. Sollte sich der Kolben bloß nach *einer* Richtung, z. B. nur von rechts nach links bewegen, so wären die Rollen *g, g, g*, nur für die linkseitige und die Rollen *h, h* nur für die rechtseitige Hälfte des Kolbens nöthig. Soll dagegen der Kolben, wie es in der Regel der Fall sein wird, hin und zurück sich bewegen können, so müssen sowohl die drei Rollen *g, g, g*, als die zwei Rollen *h, h*, an *jeder* der beiden Seiten der Triebstange vorhanden sein. Bei der Bewegung von rechts nach links sind dann nur die Rollen *g, g, g* links und die Rollen *h, h* rechts von der Triebstange *wirksam*; die Rollen *h, h* links und die Rollen *g, g, g* rechts sind *müßig*. Bei der Bewegung in entgegengesetzter Richtung verhält es sich umgekehrt.

Da also nun die Klappe von den Rollen *g* bis in die Lage *L* Fig. 2. und 3. *unter* die Triebstange niedergedrückt wird, so muß sie so viel, als dazu nöthig ist, *biegsam* und zugleich um so viel *dehnbar* sein, als die krumme Linie *vvv* Fig. 3. *länger* ist, als die Entfernung von dem Kolbentheile *K* bis zur Triebstange *T*. Beide Eigenschaften wird sie durch die zwischen die Eisenstücke gelegten Leder erlangen. Die Entfernung von der innern Seite von *K* bis zur linken Seite von *T* beträgt nemlich in Fig. 3. 6 F. weniger 15 und 6 Zoll, also 51 Zoll. Die Klappe wird nach Fig. 2. und 3. nicht ganz 6 Zoll tief herabgedrückt. Hienach berechnet, ist die krumme Linie, welche die Klappe in Fig. 3. bildet, etwa um 4 *Linien* länger, als sie, in dem Schlitz der Röhre liegend, sein würde. Um so viel muß sich also die Klappe *dehnen* können. Es beträgt dies, auf $\frac{51}{3} = 17$ Eisenstücke vertheilt, von einem Schraubenbolzen *b* bis zum nächsten, etwa $\frac{1}{4}$ Linie; um welche sich das Leder auf 3 Zoll lang dehnen muß. Dies dürfte wohl geschehen, da es nur den $\frac{1}{3.12.4} = 144$ ten Theile der Länge beträgt. Fürchtete man etwa, daß dies noch zu viel sein werde, so dürfte man den Kolben nur noch länger als 12 F. machen. Doch wird man die Befürchtung ungegründet finden, wenn man erwägt, daß sich bei der Dubliner Klappe das Leder sogar scharf um die Ecke fortwährend um einen Winkel von 45 Graden biegen muß, und wirklich biegt; welches eine bei weitem stärkere Dehnung und Wiederzusammenziehung erfordert.

Die *Biegsamkeit* erhält die Klappe dadurch, daß die einzelnen Eisenstücke, wie es die Zeichnung andeutet, der Länge noch nicht ganz scharf zusammenstoßen, sondern Fugen zwischen sich lassen, die etwa $\frac{1}{4}$ Linie breit sein müssen. Durch diese Fugen wird allerdings von oben etwas Nässe in die Klappe bis auf das obere Leder hineindringen können; aber dies ist um so weniger von Belang, da die Nässe durch den Gebrauch und die Biegung der Klappe immer bald wieder hinausgeprefst wird. Die Klappe wird also auch nicht, wie die *Dubliner*, noch einen besonderen Schutz gegen Regen und Schnee von oben nöthig haben, sondern es wird hinreichend sein, den obern Eisenstücken *e* Fig. 1. und 2. eine kleine Abdachung zu geben, damit das Wasser abfließen könne.

9.

Die den *luftdichten Verschlufs* der Klappe bezweckende Anordnung zeigen ebenfalls Fig. 1. und 2. Auf die obere gerade Fläche der Ränder der gegossenen Triebröhre sind nemlich zu beiden Seiten des Schlitzes zunächst eiserne, 6 Linien dicke, 3 Zoll breite Stangen *m, m* gelegt, oben, unten und nach innen von Leder umgeben. Auf diesen Stangen *m, m* liegen andere, 16 Linien hohe eiserne Stangen *n, n*, jede mit einem Ausschnitt *l*. Die Stangen *m* und *n* werden unter einander und mit der Triebröhre durch die Schraubenbolzen *p, p* fest zusammengeschraubt und dadurch zugleich die Lederstreifen zwischen ihnen eingeprefst.

In die Ausschnitte *l, l* der obern Stangen *n, n* sind zwei *lederne luftdichte Röhren* gelegt, welche die Ausschnitte ganz ausfüllen. In diese Röhren wird *Luft geprefst*, bis zu einer Spannung, welche die der Luft in der Triebröhre etwa um eine Atmosphäre *übersteigt*. Vermöge dieser Pressung werden sich die Wände der ledernen Röhre *oben, unten* und nach *außen* fest an das sie umgebende Eisen legen: die Wände *q* Fig. 2. nach innen dagegen werden gegen das Leder der *Klappe* geprefst. Befindet sich die Klappe *in* dem Schlitz, wie in Fig. 1., so preßt sie die innere Wand *q* der ledernen Röhre *l* gerade: befindet sie sich dagegen *außerhalb* des Schlitzes, wie in Fig. 2., so preßt die Luft in *l* die Wand bogenförmig hinaus und in den Schlitz hinein; nach *q, q* Fig. 2. Diese Form behält sie, bis die Klappe wieder den Schlitz füllt und die Wand wieder gerade preßt. Da nun die Wand *q* um eine Atmosphäre *stärker* gegen die Klappe geprefst wird, als die Kraft, mit welcher die Luft aus der Triebröhre, wenn sie ja bis nach *q* durchdringen sollte, sie zurückdrücken würde, so kann die Luft aus der Röhre nicht

durch die Fuge dringen, und die lederne Röhren *l, l* verschließen die Klappe nothwendig *luftdicht*.

Eine starke *Abnutzung* des Leders am Verschlusse ist schwerlich zu fürchten, da nur Leder auf Leder sich reibt; und nur langsam; auch nur auf einige Zoll breit. Allem Anschein nach läßt sich also dieser Art des Verschlusses, *ohne eine jedesmal flüssig zu machende Verdichtungsmasse, vollkommene Luftdichtigkeit* zutrauen. Ob es gut sein werde, das sich reibende Leder durch Öl geschmeidig zu erhalten, oder es trocken bleiben zu lassen, würde die Erfahrung lehren müssen.

10.

Die *zweite* Anordnung der Klappe und ihres Verschlusses machen Fig. 4., 5. und 6. vorstellig. Hier besteht die Klappe wieder, ganz wie bei der ersten Art, aus 3 Zoll langen, über einander gelegten Eisenstücken; nur mit dem Unterschiede, daß die mittleren, ganz von Leder umgebenen Stücke nicht fest, sondern *hohl* sind. Sie haben oben und unten feste Böden, nach den Seiten des Schlitzes hin durchbrochene Wände, wie es Fig. 6. zeigt, und nach der Länge der Klappe hin gar keine Wände. So bildet das die mittleren Stücke umgebende Leder eine fortlaufende lederne *Röhre*, in welche nun Luft geprefst wird, mit einer Spannung, die wieder um etwa eine Atmosphäre stärker ist, als die der Luft in der Triebröhre. Die hier gegen die mittleren Stücke der Klappe treffenden, an drei Seiten mit Leder umgebenen untern Stücke *m, m* auf der Triebröhre sind, eben so wie die obern Stücke *n, n*, anders wie bei der ersten Art, fest, und ohne weitere Erklärung ist leicht zu sehen, daß eine ähnliche Wirkung erfolgen wird, wie bei der ersten Art. Befindet sich die Klappe *aufserhalb* des Schlitzes, wie in Fig. 5., so bläht sich die lederne Röhre, welche die mittleren Stücke der Klappe umgiebt, wie bei *q, q* Fig. 5., bogenförmig auf: befindet sich dagegen die Klappe *in* dem Schlitz, nach Fig. 4., so preßt die Luft in der Klappenröhre die Wände *q, q* stark gegen das Leder der Schlitzwandstücke *m, m* und verschließt so die Klappe luftdicht. Alles Übrige ist Dasselbe, wie bei der ersten Art. Welche von den beiden Arten der Klappe und ihres Verschlusses die bessere sei, würde wieder die Erfahrung lehren müssen. Daß beide Arten einen vollkommen luftdichten und lange haltbaren Verschluss geben werden, ist sehr wahrscheinlich. Den luftdichten Verschluss der Klappe insbesondere dadurch hervorzu- bringen, daß man zusammengeprefste Luft die Wand einer ledernen Röhre

gegen eine andere feste Wand pressen läßt, ist eine Nachahmung des Vorschlages des Herrn *Hallette* zu einem andern luftdichten Verschluss der Längsklappe der Triebröhre bei atmosphärischen Eisenbahnen; nur würde bei der gegenwärtigen Art die Reibung und die Abnutzung geringer sein.

11.

Wie in §. 6. bis 10. beschrieben, würde es sich mit No. IV. (§. 4.) verhalten.

Für No. II., wo ebenfalls die Luft in der Triebröhre *zusammengepresst* werden soll, aber nicht gleich vom Anfang in der *ganzen* Röhre, sondern nur *hinter* dem Kolben, ändert sich an der Einrichtung von No. IV. nichts weiter, als dafs hier die *Kolbenköpfe* *K, K* Fig. 3. an den Enden des Kolbens nicht mehr blofs die obere *Hälfte* der Triebröhre, sondern ihren *ganzen* Querschnitt verschliessen, dafs die Saugröhren *S, S* in der Triebstange *T* wegfallen, so dafs diese Stange nicht mehr hohl, sondern fest ist, also hier dünner und weniger schwer sein kann, und dann, dafs auch der feste Boden *BB* (Fig. 3.) im Kolben wegfällt und die Kolbenköpfe, statt durch ihn, blofs durch zwei starke eiserne Stangen und vielleicht noch durch eine dritte, mitten unter den beiden, mit einander verbunden werden. Nach den beiden obern Stangen biegt sich die untere, wieder gabelförmige Triebstange hin, und die Stangen tragen zugleich die Rollen *h, h*. Die Längsklappe und ihr Verschluss, nach der einen oder der andern der oben beschriebenen Arten, bleibt völlig dieselbe. Die Construction von II. ist also im wesentlichen die von No. IV., aber einfacher.

12.

Auch die Construction für No. I., nemlich für die eigentlich sogenannte atmosphärische Eisenbahn mit *verdünnter* Luft *vor* dem Kolben, geht unmittelbar und durch eine blofse Vereinfachung aus der von No. IV. hervor. Auch hier verschliessen wieder die Kolbenköpfe *K, K* nicht, wie bei No. IV., blofs den *halben* Querschnitt der Triebröhre, sondern, wie bei No. II. (§. 11.), den *ganzen* Querschnitt. Der feste Boden *BB* fällt weg und die Kolbenköpfe werden, statt durch ihn, durch drei starke eiserne Stangen mit einander verbunden, deren obere die Triebstange fafst und zugleich die zum *Heben* der Klappe nöthigen Rollen trägt. Auch die Saugröhren *S, S* in der Triebstange fallen weg und die Stange ist nicht mehr hohl, sondern fest, und kann dünner

und leichter sein. Die Einrichtung der Längsklappe und ihres Verschlusses ist ebenfalls, nach der einen oder der andern der oben beschriebenen Arten, im *wesentlichen* der bei No. IV. im Princip gleich, und bekommt nur, weil hier die Klappe nicht *von innen nach außen*, sondern *von außen nach innen* von der Luft angedrückt wird, die dazu nöthigen Veränderungen, die auch ohne besondere Zeichnungen und Erörterungen leicht zu erachten sind. Die beiden Luftröhren *l, l* in Fig. 1. und 2. und die eine in Fig. 4. und 5. liegen nemlich hier tiefer in den Falzen *f, f*, und befinden sich *außen* statt *innen*. Die Triebstange biegt sich nicht *innerhalb* der Triebröhre *halb* um die Klappe herum, sondern *aufserhalb* der Röhre, dicht über den Lippen des Schlitzes, *ringförmig ganz*, so daß die Klappe wie durch ein Loch in der Triebstange durch dieselbe hindurchgeht. Die Rollen *g, g, g* endlich, welche hier die Klappe *aufheben* müssen, befinden sich im *Innern* der Triebröhre an der Stelle der Rollen *h, h* Fig. 3. und werden von der obern, mittlern, die Kolbenköpfe verbindenden Stange getragen; die Rollen *h, h* dagegen, welche die Klappe wieder andrücken, befinden sich *aufserhalb* der Triebröhre und werden entweder von einem Arm *A* an der Triebstange, oder sonst von dem vordern Wagen getragen.

13.

Die Construction von No. III. stellen die Figuren 7., 8. und 9. vor.

Auf die Querhölzer *Q, Q*, welche die Schienen der Eisenbahn tragen, werden in der Mitte zwischen den Bahnschienen, 1 F. von einander entfernt, 9 Zoll breite, 6 Zoll dicke Längshölzer *L, L* gekämmt. Auf diese Längshölzer wird ein 2 $\frac{3}{4}$ F. breiter Boden *B, B* aus 2 Zoll dicken, 4 Zoll breiten, gespundeten, oben ganz glatt behobelten eichenen Bohlen gelegt, die auf die Längshölzer *L, L* nicht *angenagelt*, sondern jede auf jeden Längsbalken mit zwei Holzschrauben mit versenkten Köpfen *angeschraubt* sind. Dieses, und daß man den Bohlen nur die geringe Breite von 4 Zoll gebe, ist nöthig, damit sich die Bohlen nicht *werfen* können und der Boden stets völlig eben und glatt bleibe.

Die Triebröhre *T*, welche durch die eingetriebene Luft vor dem Triebrade *R* aufgebläht werden soll, um dadurch das Rad und den Wagenzug fortzutreiben, ist aus starkem Leder gemacht. In Fig. 7. sieht man, im Längsdurchschnitt, wie sich die Röhre vor dem Rade allmählig aufbläht; in Fig. 8. sieht man sie ganz aufgeblasen im Querschnitt, und in Fig. 9., wie sie ganz zusammengefalzt und unaufgebläht unter dem Rade liegt. *w, w* sind lederne,

an der Röhre innerhalb befestigte, 1 Zoll, oder auch noch etwas mehr im Durchmesser haltende Wulste, deren Zweck ist, zu verhindern, daß das Leder der Röhre, wenn das Rad sie auf dem Boden zusammenprefst, nicht zu scharfe Biegungen machen dürfe, durch welche es bald brüchig werden würde. Die Röhre ist 2 F. im Lichten weit und 6 Zoll hoch angenommen, so daß sie *Einen Quadratfuß* lichten Querschnitt hat. Soll sie etwa größer oder kleiner sein, so ändert sich danach die Breite des Bodens **BB**. Doch wird die Röhre nicht leicht *größer* nöthig sein. Mit 1 Q. F. Querschnitt bringt schon, wie sich weiter unten zeigen wird, eine mäfsige Luftspannung so viel Triebkraft hervor, als je nöthig sein kann. Immer aber wird es gut sein, die Röhre *viel breiter als hoch* und also möglichst *niedrig* zu machen; nemlich damit die Biegung vor dem Rande bei *b* Fig. 7. so gering als möglich sei.

Die *untere* Fläche oder der *Boden* der ledernen Röhre ist auf den hölzernen Boden **BB** durch Nägel mit breiten, flachen und dünnen Köpfen befestigt, und zwar in *schräg* quer über den Boden laufenden Linien, damit das Rad immer *nur auf einen* Nagel zugleich treffe. Auf der *obern* Fläche oder der *Decke* der Röhre sind dicht neben einander, nur etwa $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt, eiserne, 2 Zoll breite, $\frac{3}{4}$ Zoll dicke und 2 F. 8 Zoll lange eiserne Schienen *ss* mittelst durchgehender Niete befestigt, welche oben und unten dünne, flache Köpfe haben, die wieder möglichst nicht ganz in geraden querüber laufenden Linien sich befinden. Auf diese Schienen rollt das Triebrad hin.

Das Triebrad **R** besteht aus *drei* Rädern neben einander, jedes 4 Zoll breit und jedes der äußern $7\frac{1}{2}$ Zoll von dem mittleren entfernt (Fig. 9.). Alle drei stecken auf derselben Achse fest und befinden sich in der Mitte der Breite und der Länge des vordern Zugwagens. Sie sind in der Zeichnung, gleich den Triebrädern am Dampfwagen, 5 F. im Durchmesser angenommen.

Man sieht aus dieser Beschreibung, daß der in §. 4. No. III. gedachte Vorschlag des Ungenannten zu einer durch Luft aufzublähenden Triebröhre auf Eisenbahnen ganz wohl practisch ausführbar sein dürfte.

14.

Der *Luftwagen* für No. V. §. 4. würde, was die Cylinder, die Kolben, das Gleitventil, die Kurbeln an der Trieb-Achse, die Lenkung, die Vorrichtungen um vor- und rückwärts zu fahren, und die Triebräder betrifft, genau *dieselbe* Einrichtung bekommen, welche alle diese Theile an den *Dampfwagen*

haben. Nur fallen hier der Schornstein, der Dampfkessel und die Esse weg, und an deren Stelle treten Behälter für die *zusammengepresste Luft*, deren Spannung hier die bewegende Kraft ist, statt der Spannung des Dampfes.

Die Hauptfrage ist, ob sich eine hinreichende Masse zusammengepresster Luft, von einer nicht gefahrbringenden Spannung, und ohne dafs der Wagen gar zu schwer wird, mit fortführen lasse, um durch ihre Spannkraft unter den verschiedenen Umständen einen hinreichend beträchtlichen Wagenzug eine namhafte Strecke Weges fortzutreiben. Diese Frage wird weiter unten erörtert werden. Wir setzen hier einstweilen bei der Beschreibung der Anordnung des Wagens die *Möglichkeit* davon voraus.

Es kommt zunächst auf die den Luftbehältern zu gebende *Form* an. Offenbar würde die *Kugelform* die beste sein, weil die Kugel einen Raum mit der geringsten Fläche einschließt und also die wenigste Eisenmasse und das geringste Gewicht hat. Aber kugelförmige Luftbehälter, möge man nur einen machen, oder die Luft auf mehrere Kugeln vertheilen, würden sich nur unbequem auf den Wagen laden und darauf befestigen lassen. Besser dürfte es sein, den Behältern die *Cylinderform mit halbkugelförmigen Böden* zu geben.

Es fragt sich weiter, ob es besser sein werde, *nur einen*, grofsen Behälter zu machen, oder die Luft auf *mehrere* Behälter von der eben beschriebenen Form zu vertheilen. Für die nöthige Eisenmasse, und folglich für die Kosten und das Gewicht, ist beides ungefähr *gleich*. Denn die zum Widerstande gegen eine gleiche Luftspannung nöthige Dicke des Eisens nimmt in geradem Verhältnifs des Durchmessers des Cylinders zu; der Umfang des Cylinders ebenfalls: also mufs die *Masse* der *Wände* des Cylinders in geradem Verhältnifs des *Quadrats* des Durchmessers zunehmen. *In demselben* Verhältnifs nimmt der *Raum-Inhalt* des Cylinders zu, und folglich ist es in Absicht des Gewichts und der Kosten ungefähr *gleich*, ob man die Luft in *nur einen*, oder in *mehrere* Behälter einschließt. Aber ein einzelner, grofser Cylinder hat Unbequemlichkeiten beim *Aufladen* und bei der *Befestigung*, und ausserdem auch die Schwierigkeit, ihn aus so dickem Eisen zu *verfertigen*, als nöthig sein würde. *Mehrere* Cylinder sind daher schon deshalb besser, als *einer*; aus andern Ursachen aber (weiter unten) sind sie *nothwendig*. Es wird wahrscheinlich am angemessensten sein, den Cylindern, welche man 15 bis 20 F. lang machen könnte, nur 1, höchstens 2 Fufs lichten Durchmesser zu geben. Solche Cylinder würden 15 bis 60 Cub. F. Raum-Inhalt haben. Quer über den Wagen würden drei oder vier senkrechte Wände von Holz

mit kreisförmigen Ausschnitten zu errichten sein, in welche Ausschnitte die Cylinder gelegt werden; oder man könnte auch die Cylinder durch eiserne Gitterwerke unterstützen.

Aber aufer diesen Cylindern muſs noch *ein zweiter, kleinerer* Behälter vorhanden sein. Da nemlich die Spannung der zusammengepressten Luft in dem groſsen Behälter anfangs vielleicht *bei weitem* stärker sein wird, als gerade am Anfange zum Forttreiben der Kolben in den Cylindern der Maschine nöthig ist, auch die Spannung allmählig *abnimmt*, so wie die Luft nach und nach verbraucht wird, mithin einerseits die Spannung abnehmend *veränderlich* ist, während andererseits die Stärke der Kraft, welche die Kolben in den Cylindern bedürfen, nach einer ganz andern, von der Spannung der Luft in dem groſsen Behälter *unabhängigen* Regel sich abwechselnd ändert, je nachdem der Wagenzug bergan, oder horizontal, oder bergab zu treiben ist: so darf die Luft aus dem groſsen Behälter durchaus nicht *unmittelbar* auf die Kolben in den Maschinen-Cylindern geleitet werden, sondern man muſs sie erst in einen andern kleinen Behälter treten lassen, in welchem ihr diejenige Spannung gegeben wird, die gerade jede Wegestrecke fordert; was leicht durch einen Hahn in der Röhre geschehen kann, welche die Cylinder mit dem kleinern Behälter verbindet. Diesen Hahn lenkt die Hand des Wagenführers. Der Führer öffnet ihn ein wenig, so wie die Geschwindigkeit verstärkt werden soll, und verschließt ihn ein wenig mehr, wenn die Bewegung zu mäſsigen ist. Er verschließt ihn *ganz*, sobald die Fahrt *so stark* bergab geht, daſs die Kraft der Schwere allein den Wagenzug fortreibt. Hier findet sich dann auch noch, wie sich weiter unten zeigen wird, der vortheilhafte, eigenthümliche Umstand, daſs, wenn der Abhang der Bahn so sehr stark ist, daſs die Schwere *mehr* Triebkraft hervorbringt, als zur Fortbewegung nothwendig ist, die Maschine selbst von auſsen Luft in den kleinen Behälter wieder *einpresst*, und also der Überschufs der bergabtreibenden Kraft, wenigstens zum Theil, *während* der Fahrt für die folgenden Strecken *benutzt* wird: ein Vorthail, der der Bewegung durch *Dampfkraft* ganz abgeht. Der zweite kleine Behälter wird hinreichend groſs sein, wenn er etwa 50 bis 60 Triebcylinder voll Luft faſt.

Da man Luft von der *stärksten* Spannung bis ans *Ende* der Fahrt nöthig haben kann, so müssen die Cylinder, welche die zusammengepresste Luft enthalten, nicht alle, sondern nur theilweise unter *einander*, und dann diese Theile *einzeln* mit dem kleinen, die Spannung nach Bedürfnis regelnden Be-

hält in Verbindung stehen, so daß sich die Cylinder allmählig *gruppenweise* ausschöpfen lassen, bis zuletzt nur noch einige, und wenigstens ein Cylinder voll Luft von der *stärksten* Spannung übrig bleibt.

Dieses ungefähr wäre die Beschreibung der in §. 4. aufgezählten Constructionen zu der verschiedenartigen Benutzung der Spannung der Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen. Wir hoffen und glauben, daß die Beschreibung zunächst die *technische Ausführbarkeit* der verschiedenen Constructionen nachgewiesen haben werde, und schreiten also nun zu der Berechnung und Vergleichung der Wirkungen der verschiedenen Anordnungsarten. Diese Berechnungen werden weniger unsicher sein, als es wohl sonst häufig in der Technik der Fall ist, da, wo man zu dem Resultate nicht anders gelangt, als mit Hülfe von mehr oder weniger *Hypothesen*. Hier kommen dergleichen beinahe nicht vor; vielmehr gehen die Rechnungen fast nur von unbestrittenen Sätzen der Mechanik und Physik aus, und die Neben-Einflüsse auf die Resultate, welche ohne Hypothesen nicht in Rechnung zu bringen sein würden, sind nicht so bedeutend, daß sie die Resultate wesentlich ändern könnten.

IV. Verdünnung und Verdichtung der Luft in der Triebröhre.

15.

Eine erste Frage wäre für No. I. und II. §. 4., ob es *vortheilhafter* sei, die Luft *vor* dem Kolben in der Triebröhre *auszupumpen*, oder vielmehr zu *verdünnen*, oder, sie *hinter* dem Kolben *zusammenpressen*; nemlich: welches von beiden den *geringsten Kraft-Aufwand* erfordere. Für die *Wirkung* ist es offenbar gleich, man mag die Luft *vor* dem Kolben bis z. B. auf *eine halbe* Atmosphäre Spannung *verdünnen*, oder sie hinter dem Kolben bis auf *anderthalb* Atmosphären Spannung *verdichten*; der *Ueberschuß*, und folglich die bewegende Kraft, ist in beiden Fällen *eine halbe* Atmosphäre.

Wird die Luft vor dem Kolben ausgepumpt, so muß es zunächst *vor* dem Anfange der Bewegung, und also aus der *ganzen* Röhre geschehen. Zugleich muß die während *dieser* Zeit, also schon *vor* dem Anfange der Bewegung durch das immer nicht *vollkommen* dichte Längsventil wieder eindringende Luft ausgehoben werden. Dann aber muß ferner auch *während* der Bewegung des Kolbens die Luft vor demselben, nebst der wiederum durch die Klappe während der Bewegung eindringenden Luft, ausgepumpt werden; und zwar *gerade so schnell*, als die Bewegung erfolgt; denn unterbliebe *dieses*.

Auspumpen, so würde, da der Raum vor dem Kolben nicht *luftleer* war, sondern noch Luftmasse enthielt, diese, so wie der Kolben fortrückt, wieder verdichtet werden, und also die bewegende Kraft stetig *abnehmen*. Wäre z. B. die Luft vor dem Anfange der Bewegung bis auf eine halbe Atmosphäre Spannung ausgepumpt gewesen, so würde die übrig gebliebene Luft, nachdem der Kolben seinen *halben Weg* zurückgelegt hat, wieder bis auf eine ganze Atmosphäre verdichtet sein und also die bewegende Kraft dann schon auf dem halben Wege aufhören.

Wird dagegen die Luft *hinter* dem Kolben *verdichtet*, so muß es so schnell geschehn, daß die Luft in dem stets zunehmenden Raume hinter dem Kolben immer diejenige Spannung bekommt, die zu der Triebkraft des Kolbens nöthig ist.

Nehmen wir an, es seien μ Atmosphären Triebkraft nöthig und der Raum-Inhalt der Triebröhre $= p$, so müssen, wenn man die Luft *vor* dem Kolben verdünnt, erst vor dem Anfange der Bewegung μp Cub. F. Luftmasse aus der Röhre gepumpt werden, wozu τ Secunden Zeit nöthig sein mögen, und dann *während* der Bewegung, welche t Secunden dauern mag, der *Rest* der Luftmasse. Zusammen also müssen immer, welcher echte Bruch auch μ sein mag, zusammen p Cub. F. atmosphärische Luft ausgepumpt werden, auch außerdem noch diejenige, welche während der Zeit $\tau + t$ durch die Klappe wieder eindringt.

Wird dagegen die Luft hinter dem Kolben verdichtet, so muß in der Zeitdauer t der Bewegung $(1 + \mu)p$ Cub. F. Luft eingepumpt werden, und dann noch die, welche in der Zeit t während der Bewegung durch das Ventil wieder entweicht.

Hiernach wäre die zu dem Einen und dem Andern nöthige *Kraft* zu berechnen.

a. Erster Fall. Das Auspumpen der Luft aus der Triebröhre.

16.

Beim Anfange des Auspumpens hat die Luft in der Triebröhre die Spannung der Atmosphäre 1, und es befinden sich in der Röhre p Cub. F. atmosphärische Luft. Von dieser Luft sind *vor* dem Kolben μp Cub. F. aus-zupumpen, damit die Luft *hinter* dem Kolben das *Uebergewicht* μ bekomme. Da aber weiter unten der Fall zu erwägen sein wird, wo in einem aus-zupumpenden Raum beim Anfange der Bewegung *die Luft schon verdünnt ist*, so setzen wir, um diesen Fall sogleich mit zu umfassen, die Luft habe

schon Anfangs nicht mehr die Spannung 1, sondern nur noch die Spannung $1 - \lambda$, so als wenn schon λp Cub. F. ausgepumpt wären und nun das Auspumpen so lange fortgesetzt werden sollte, bis die Spannung *vor* dem Kolben nur noch $1 - \mu$ beträgt. Die Anwendung auf den gegenwärtigen wirklichen Fall geschieht dann bloß dadurch, daß man $\lambda = 0$ setzt.

A. Beim Anfange des Auspumpens also hat angenommenemalßen die Luft in der Röhre die Spannung und folglich die Dichtigkeit $1 - \lambda$, und es befinden sich also in der Röhre $(1 - \lambda)p$ C. F. atmosphärische Luft. Setzt man den Raum-Inhalt eines Kolbenhubes $= k$, so nimmt der erste Kolbenhub $k(1 - \lambda)$ C. F. atmosphärische Luft aus der Röhre hinweg. Es bleiben demnach noch $p(1 - \lambda) - k(1 - \lambda) = (1 - \lambda)(p - k)$ Cub. F. übrig, welche in den Raum p verbreitet sind. Die Luft in der Röhre hat also nach dem *ersten* Kolbenhube nur noch die Dichtigkeit $(1 - \lambda) \frac{p - k}{p}$. Demnach nimmt der zweite Kolbenhub $(1 - \lambda)(p - k) \frac{k}{p}$ atmosphärische Luft hinweg und es bleiben noch $(1 - \lambda)(p - k) - (1 - \lambda)(p - k) \frac{k}{p} = (1 - \lambda)(p - k) \left(1 - \frac{k}{p}\right) = (1 - \lambda) \frac{(p - k)^2}{p}$ übrig, welche in dem Raum p verbreitet sind. Die Luft in der Röhre hat also nach dem *zweiten* Kolbenhube noch die Dichtigkeit $(1 - \lambda) \left(\frac{p - k}{p}\right)^2$, und folglich nimmt der dritte Kolbenhub $(1 - \lambda) \left(\frac{p - k}{p}\right)^2 k$ atmosphärische Luft hinweg, und es bleiben noch $(1 - \lambda) \frac{(p - k)^2}{p} - (1 - \lambda) \frac{(p - k)^2}{p} \cdot \frac{k}{p} = (1 - \lambda) \frac{(p - k)^3}{p^2}$ atmosphärische Luft übrig. Die Luft nach dem *dritten* Kolbenhube hat in der Röhre noch die Dichtigkeit $(1 - \lambda) \left(\frac{p - k}{p}\right)^3$. Und so weiter. Nach n Kolbensschlägen bleiben demnach noch

$$3. \quad (1 - \lambda)p \left(\frac{p - k}{p}\right)^n \text{ C. F. atmosphärische Luft}$$

in der Röhre übrig, von

$$4. \quad (1 - \lambda) \left(\frac{p - k}{p}\right)^n \text{ Spannung oder Dichtigkeit.}$$

Nun soll die Spannung der Luft in der Röhre bis auf $1 - \mu$ gebracht werden, damit der Kolben die Triebkraft μ bekomme: also muß

$$5. \quad 1 - \mu = (1 - \lambda) \left(\frac{p - k}{p}\right)^n$$

sein, woraus $\sqrt[n]{\left(\frac{1 - \mu}{1 - \lambda}\right)} = \frac{p - k}{p} = 1 - \frac{k}{p}$ und

$$6. \quad k = \left(1 - \sqrt[n]{\left(\frac{1 - \mu}{1 - \lambda}\right)}\right)p, \quad \text{oder auch } p - k = p \sqrt[n]{\left(\frac{1 - \mu}{1 - \lambda}\right)}$$

folgt, wenn λ und n nächst p und μ gegeben sind; desgleichen $\log(p-k) = \frac{1}{n} [\log(1-\mu) - \log(1-\lambda)] + \log p$, also

$$7. \quad n = \frac{\log(1-\lambda) - \log(1-\mu)}{\log p - \log(p-k)},$$

wenn λ und k nächst p und μ gegeben sind.

Für den hier vorhandenen Fall $\lambda = 0$ giebt (6. und 7.)

$$8. \quad p - k = p \sqrt[n]{1-\mu} \quad \text{und}$$

$$9. \quad n = \frac{-\log(1-\mu)}{\log p - \log(p-k)}.$$

Die Triebröhre der Dubliner Eisenbahn hat nach Herrn *Mallet* 15 Engl. Zoll im Durchmesser und ist 2490 Yards lang, enthält also 9171 C. F. Engl. oder 8400 C. F. Pr. Für das Eindringen der Luft durch die Längsklappe während des Ausschöpfens werde nach Herrn *Samuda* 5 pr. C. also 420 C. F. gesetzt; also ist $p = 8820$. Die dortige Luftpumpe macht nach Herrn *Mallet* 22 Schläge in der Minute. Soll also die Röhre durch sie z. B. bis auf $1 - \mu = \frac{1}{2}$ Atmosphären Spannung in 5 Minuten, folglich durch 110 Kolbensschläge ausgeschöpft werden, so müßte nach (8.) $p - k = p \sqrt[110]{\frac{1}{2}}$ sein. Dies giebt $k = 56$; also müßte der Luftpumpenstiefel 56 C. F. Raum-Inhalt haben. Für $n = 66$, oder wenn die Luft in 3 Minuten ausgeschöpft werden soll, ergiebt sich $k = 93$; für die Ausschöpfung in 2 Minuten $k = 138$. Der dortige Luftpumpenstiefel hat nach Herrn *Mallet* 67 Zoll Engl. im Durchmesser und 66 Zoll Hub, also 123 C. F. Preufs. Inhalt. Folglich kann durch denselben in etwas mehr als 2 Minuten die Luft aus der Triebröhre bis auf etwa $\frac{1}{2}$ Atmosphären Spannung ausgeschöpft werden; was auch bei den Versuchen des Herrn *Mallet* ungefähr geschehen ist.

B. Nachdem *vor* dem Anfange der Bewegung des Wagenzuges die Luft in der Triebröhre durch das Auspumpen von der Spannung $1 - \lambda$ auf die Spannung $1 - \mu$ gebracht worden ist, müssen nun weiter *während* der Fahrt die noch übrigen $(1 - \mu)p$ Cub. F. atmosphärische Luft herausgezogen werden. Soll sich der Wagenzug auf einerlei Abhang mit *gleichförmiger* Geschwindigkeit bewegen, so muß die Luft in der Triebröhre stets *dieselbe* Spannung behalten; denn nähme ihre Spannung ab, oder zu, so würde sich der Wagenzug geschwinder oder langsamer, also *ungleichförmig* bewegen. Jeder Kolbenhub muß also jetzt $(1 - \mu)k$ C. F. atmosphärische Luft hinwegnehmen, und folglich ist die Zahl der Kolbensschläge, welche die noch übrigen

$(1 - \mu)p$ Cub. F. Luft hinwegnehmen müssen, und welche n_1 sein mag,

$$10. \quad n_1 = \frac{(1 - \mu)p}{(1 - \mu)k} = \frac{p}{k}.$$

In dem obigen Beispiel an der Dubliner Eisenbahn, wo $p = 8820$ und $k = 123$ war, giebt dies $n_1 = \frac{8820}{123} = 72$, und da die Luftpumpe 22 Schläge in der Minute machte, so mußte die Fahrt $\frac{72}{22} = 3\frac{3}{11}$ Minuten dauern; was ebenfalls bei den Versuchen des Herrn *Mallet* ungefähr der Fall gewesen ist.

C. Für den n ten Kolbenschlag, oder vor demselben, beträgt die Dichtigkeit oder Spannung der Luft in der Trieböhre noch $(1 - \lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^{n-1}$ (4.). Von innen also drückt die Luft auf den Kolben der Luftpumpe mit der Spannung $(1 - \lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^{n-1}$, von außen mit der Spannung 1 auf die Einheit der Fläche. Bezeichnet man daher die Fläche des Kolbens durch x und durch σ den Druck der Atmosphäre in Pfunden auf die Einheit der Fläche, so sind

$$11. \quad x\sigma\left[1 - (1 - \lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^{n-1}\right] \text{ Pfund Kraft}$$

nöthig, um den Kolben zu heben. Bezeichnet h die Höhe des Kolbenhubes, v die Geschwindigkeit des Kolbens oder den Raum, welchen er in 1 Sec. durchläuft, und τ die Zahl der Secunden, welche auf einen Kolbenschlag vergehen, so daß $v = \frac{h}{\tau}$ ist, so giebt die Kraft (11.), mit v multiplicirt, das *Moment* dieser Kraft für 1 Secunde, und noch mit τ , also im Ganzen mit $v\tau = h$ multiplicirt, das Moment für einen Kolbenschlag. Es ist also, da $hx = k$ ist,

$$12. \quad hx\sigma\left[1 - (1 - \lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^{n-1}\right] = k\sigma\left[1 - (1 - \lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^{n-1}\right]$$

das *Moment der Kraft für einen Kolbenschlag*. Dieses Moment bleibt dasselbe, wenn auch die Kolbenschläge nicht gleich geschwind geschehen, denn es ist die Kraft (11.) immer mit h zu multipliciren, was auch τ und v sein mögen.

Das *gesammte* Moment für die n Kolbenschläge, welches durch M_1 bezeichnet werden mag, ist die *Summe der Reihe*, welche sich ergibt, wenn man in (12.) $n = 1, 2, 3 \dots n$ setzt. Diese Summe ist

$$M_1 = k\sigma\left[n - (1 - \lambda)\left(1 - \left(\frac{p-k}{p}\right)^n\right) : \left(1 - \frac{p-k}{p}\right)\right] \text{ oder}$$

$$13. \quad M_1 = k\sigma\left[n - (1 - \lambda)\frac{p}{k}\left(1 - \left(\frac{p-k}{p}\right)^n\right)\right].$$

Hierin aus (6.) $\left(\frac{p-k}{p}\right)^n = \frac{1-\mu}{1-\lambda}$ gesetzt, giebt