

1055 (12)
B e r i c h t

über die

auf der Elberfelder Probeseisenbahn

angestellten Versuche.

V o n

Dr. E g e n,

Professor und Director der höhern Bürger- und Gewerbschule zu Elberfeld.

(Von Einem Hohen Finanzministerium zur Bekanntmachung mitgetheilt.)

Aus den Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbleißes in Preußen besonders abgedruckt.

B e r l i n,

gedruckt auf Kosten des Vereins bei Petsch.

1835.

1815

1815

Antiquarische Bibliothek

ausgegeben



(Antiquarische Bibliothek)

ausgegeben

1815

1815

1815

Vor bemerkung.

Dieser Bericht wurde ursprünglich im Spätherbst 1833 abgefaßt und durch Vermittelung des Hohen Ministeriums der Königl. Ober-Baudeputation zur Begutachtung vorgelegt. Die Bemerkungen dieser hohen Behörde sind, in so weit sie bestimmte Thatsachen betreffen, (im Herbst 1834) dem Bericht einverleibt worden, wobei ich mir erlaubt habe, meine Gegenbemerkungen anzuschließen. — Alle angegebenen Maße und Gewichte sind preussische, wo nicht ausdrücklich ein anderes genannt wird.

Die Bahn wurde im Sommer 1833 auf Befehl eines Hohen Ministeriums des Innern für Handel, Gewerbe und Bauwesen auf dem Engelnberge, einem Kalkhügel in der unmittelbaren Nähe von Elberfeld, 165 Fuß über dem Wupperpiegel beim Schlachthaus, angelegt. Die Länge beträgt 30 Ruthen. Davon sollten nach Vorschrift 15 Ruthen in gerader Linie, mit einem Abfall von 1 Fuß auf 240 Fuß, die übrigen 15 Ruthen horizontal, jedoch in einem Bogen von 50 Ruthen Radius gelegt werden. Die Neigung ist gerade eine solche, bei welcher, nach Vermuthung, die Wagen kaum mit gleichförmiger Geschwindigkeit abwärts laufen würden. Die angebrachte Krümmung ist die bedeutendste, welche bei der projektirten Eisenbahn aus den Ruhr-Kohlenfeldern nach Elberfeld gestattet worden ist. Die Krone der Bahn liegt am Ende der geraden Strecke (östlich) mit dem Terrain in fast gleichem Niveau, an dem entgegengesetzten Ende aber mußten etwa 5 Fuß aufgeschüttet werden, wozu das Material aus den Seitengruben, ein knolliger Kalkstein, verwendet wurde. Die Bahn ist auf der Krone 9 Fuß breit, und hat eine Steindecke von etwa 8 Zoll Tiefe. Das Material wurde bei den Aufschüttungen schichtweis aufgebracht, und jede Schicht sorgfältig niedergestampft.

Die Schienen sind gewalzt und wurden aus Newcastle upon Tyne bezogen. Sie sind dort in dem großen Etablissement von Losh, Wilson und Bell, auf dem linken Tyneufer, welches sehr bedeutende Massen von Schienen für die englischen Bahnen geliefert hat und noch liefert, ausgewalzt. Die sehr sachkundigen Eigner lernte ich im Herbst 1832 kennen. Die Schienen sind, nach Bestellung, von zweierlei Art. Die Hälfte ist ausgebaucht (fish bellied), die andere Hälfte sind Parallelschienen (parallel rails). Jede Schiene ist durchschnittlich 15 englische Fuß lang; doch kommen Ungleichheiten von 4 und 6 Zoll in der Länge vor, selbst bei

den gebauchten Schienen. Die Enden sind glatt abgeschnitten (square ends); die Schienen mit seitwärts übergreifenden Enden (half lap joints) werden in England selten angewendet und sind die Tonne 5 Sh. theurer *). Die 24 ausgebauchten Schienen wiegen = 3809 Pfd. preuß., also jede = 158,7 Pfund, und das Yard = 31,74 Pfund. Die 24 Parallelschienen wiegen = 4240 Pfd., also jede = 176,7 Pfd., und das Yard = 35,34 Pfd. Nach Angabe der Fabrikbesitzer sollen diese Schienen gleiche Tragkraft haben. Der Preis der Schienen stand im Mai 1833 in Newcastle für gebauchte Schienen 9 Pfd. St. 10 Sh., für Parallelschienen 9 Pfd. St. Die gebauchten Schienen werden in England mit derselben Leichtigkeit ausgewalzt, wie die Parallelschienen; der höhere Preis rührt von dem Patent auf die neue Form her. Gußeiserne Schienen und Stühle kosteten 7 Pfd. St. — Die englischen Walzwerke, welche Bahnschienen anfertigen, liefern diese nach Bestellung von 28 bis 40 Pfd. das Yard zu den gewöhnlichen Preisen; ferner noch von 14 bis 28 Pfd. das Yard mit 10 Sh. Preiserhöhung für die Tonne.

Um diese Schienen mit den in England gebräuchlichen vergleichen zu können, theile ich die folgende Tabelle mit, die sich bei 5 Schienen auf Angaben von Wood (On Railroads 2. ed.), bei 3 Schienen auf die Angabe von von Deynhausen und von Dechen (Dartmoor, Clydach), bei den andern auf meine eigenen Messungen an Ort und Stelle gründen.

*) Die gebauchten Schienen haben an den Stellen, wo sie in den Stühlen sitzen, eine kleine Ausbauchung, die in eine Höhlung des Stuhls paßt. Die Befestigung in den Stühlen gewinnt dadurch sehr. Auch ist bei dieser Konstruktion nicht zu fürchten, daß die Schienen an stark geneigten Ebenen vor und nach immer weiter abwärts rutschen. Dieser Fehler hat sich an der Lyoner Bahn schon so merklich zu erkennen gegeben, daß die Schienenenden an manchen Stellen kaum noch in den Stühlen aufliegen. (Minard, Leçons sur les chemins de fer, Paris 1834, p. 61).

Bezeichnung.	Kopfbreite.	Kopfdiät.	Großte Tiefe.	Kleinste Tiefe.	Dicke des Mittels flücks.	Tiefe des Mittels flücks.	Dicke der Rippe.	Großte Tiefe der Rippe.	Länge der Schienenabtheilungen.	Gewicht der Schienenabtheilungen.	Material.	Bemerkungen.
	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Pfd.		
Dartmoor-Bahn	20,4	14,5	69,8	46,6	8,7	—	14,5	11,6	43,5	—	Gußst.	gebraucht.
dgl. ältere Schienen	20,4	—	69,8	46,6	8,7	—	20,4	20,4	34,5	—	"	Laschen.
Elybach-Bahn	23,3	14,5	66,9	46,6	11,6	—	17,5	—	39,5	41,7	"	gebraucht.
Hetton-Bahn	29,1	8,7	69,8	40,8	6,8	—	16,0	16,0	43,5	—	"	Laschen.
Leeds	24,0	7,0	51,0	32,0	10,0	42,0	18,0	5,0	34,9	—	"	gebraucht.
Darlington	26,0	8,0	60,0	36,0	—	—	—	—	—	—	"	"
Stockton	21,0	9,0	60,0	48,0	6,0	—	—	—	46,0	—	"	"
Sheffield	27,0	9,0	60,0	—	6,0	39,0	12,0	12,0	36,0	40,25	"	"
Elberfeld-Probebahn	26,2	11,6	42,7	27,7	7,3	22,5	8,7	8,7	34,7	32,4	Schmiedeeisen.	"
Wood a.	26,2	8,7	36,4	29,1	8,7	16,0	11,8	13,9	34,6	30,5	"	"
" b.	25,5	11,6	41,5	33,5	7,3	13,1	10,2	15,8	34,1	31,4	"	"
" c.	26,2	11,6	47,4	39,3	7,3	20,4	11,6	15,3	35,0	38,0	"	"
" d.	26,2	8,7	45,1	45,1	7,3	22,5	13,9	12,0	34,9	34,9	"	parallel.
Elberfeld-Probebahn	24,0	10,0	42,8	34,0	6,6	15,5	9,8	17,0	34,98	31,7	"	gebraucht.
dsgl.	24,0	10,0	44,8	44,8	7,2	20,3	12,2	11,1	35,81	35,3	"	parallel.
Liverpool-Manchester	26,2	10,0	42,0	30,0	9,5	15,5	11,0	12,0	34,9	34,0	"	gebraucht.
Leeds-Selby	26,2	9,0	48,0	40,0	6,0	31,0	14,0	8,0	35,1	—	"	"
Newcastle auf d. Werft liegend	26,2	8,0	40,0	27,0	7,0	19,0u.	8,0	13,0u.	34,9	29,0	"	"
Darlington	26,2	8,0	39,0	25,0	7,0	17,0	11,0	14,0	34,9	34,0	"	"
Stockton	25,5	8,0	42,0	33,0	7,0	25,0	11,0	9,0	34,9	—	"	Laschen.
Sheffield	26,2	8,0	40,0	27,0	7,0	14,0	8,0	18,0	34,9	29,0	"	theilw.
Edinburgh	26,2	8,0	40,0	27,0	7,0	14,0	8,0	18,0	34,9	29,0	"	Laschen.
Dalkeith	26,2	8,0	40,0	27,0	7,0	14,0	8,0	18,0	34,9	29,0	"	gebraucht.

Die gebauchten Schienen sind in der geraden Strecke, so wie die Parallelschienen in der krummen Strecke verwendet worden. Die Krümmung wurde den Legtern auf dem Bauplatz, durch Schläge mit einem schweren hölzernen Hammer auf die hohl liegende Schiene, erteilt. Zur Vergleichung wurden am Ende der Bahn, um zugleich die Differenz des englischen und preussischen Maßes auf 360 Fuß Länge auszugleichen, 3 Paar gußeiserne Schienen nach der für die Kohleneisenbahn projektirten Form gelegt. — Drei Stähle von jeder Art wurden aus England bezogen, die übrigen lieferte eine hiesige Gießerei. Jeder Stahl wiegt durchschnittlich stark 10 Pfund. — Die verwendeten Steinblöcke haben oben eine behauene Fläche von 12 Zoll Seite; die Tiefe beträgt 15 Zoll und die Seiten der Grundfläche halten gegen 16 Zoll. Die Seitenflächen und die Grundfläche der abgekürzten Pyramide sind rauh gelassen, nur darf die Grundfläche nicht zu uneben sein. Diese Steinblöcke stehen auf einer Lage fleingeschlagener Steine

von etwa 6 Zoll Tiefe. Ihre obere Fläche ragt etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll aus der Oberfläche der Bahn hervor. In jeden Stein sind zweizöllige Löcher von 6 Zoll Tiefe gebohrt. In diese Löcher, und durch die mit ihnen korrespondirenden Löcher der Stähle, ist ein Cylinder von trockenem Holz getrieben und verkeilt. Diese Befestigungsart ist sehr sicher. Die Form des Nagels hätte wohl zweckmäßiger gewählt werden können.

Als die Bahn vollendet war, wurden die Wagen in dem Zeitraum von 14 Tagen, meistens mit starker Ladung, häufig auf der Bahn hin- und hergeführt, damit die Steine, Stähle und Schienen sich setzen möchten. Eine merkliche Veränderung in den gegenseitigen Lagen wurde bei genauer Untersuchung nicht wahrgenommen. Die Versuche auf der Bahn nahmen mit dem 7ten September 1833 ihren Anfang, und dauerten bis zum 30sten September. Doch wurden auch noch mehrere Versuche im Oktober und November auf der Bahn angestellt.

Als beiläufig die Hälfte der Versuche beendet war, wurde die Lage der Schienen aufs genaueste untersucht. Ich wählte dazu gerade diesen Zeitpunkt, damit um so mehr diese Lage als für alle Versuche bestehend angenommen werden dürfe. Theilweis ausgeführte Vermessungen haben mich überzeugt, daß keine bemerkenswerthe Veränderungen an der Bahn während der Versuche statt gefunden haben. Die beiden ersten Schienenpaare der geraden Strecke liegen fast ganz in der für die Wagen erbauten Hütte. Sie sind bei den Messungen unberücksichtigt geblieben.

Die Vermessungsergebnisse sind nun die folgenden:

a) Gefälle der ganzen Bahn. (Vermessen am 20. September.) Gefälle der geraden Strecke,

rechte Linie = 6 Zoll 10,3 Linien

linke „ = 7 „ 4,0 „

Mittel = 7 Zoll 1,15 Linien.

Länge dieser Strecke (10 Schienen) = 143 Fuß 10 Zoll 10 Linien.

Gefälle, rechte Linie = 251,76 : 1 oder 13,650 Minuten

linke „ = 235,48 : 1 oder 14,600 „

Mittel = 243,24 : 1 oder 14,125 Minuten.

Nach Vorschrift sollte das Gefälle sein 240,00 : 1 oder 14,333 Minuten.

Ansteigen der krummen Strecke westlich bis zum Ende des 10ten Schienenpaars,

rechte Linie = 2,1 Linien

linke „ = 4,6 „

Mittel = 3,35 Linien.

Also Ansteigen der rechten Linie = 9868 : 1

linken „ = 4505 : 1

Mittel = 6186 : 1

b) Gefälle der einzelnen Schienenabtheilungen. Linke Linie, gerade Strecke, östlich anfangend. (Vermessen am 18ten September).

Schiene 1. 13,25 Minuten.	Schiene 6. 29,00 Minuten.
12,75	17,00
16,75	10,75
16,75	6,25
23,75	18,00

16,63

16,20

Schiene 2. 14,90
9,75
16,00
19,75
23,10

16,70

Schiene 7. 6,75
7,00
15,75
24,50
27,00

16,20

Schiene 3. 11,25
14,25
15,50
18,75
16,50

15,25

Schiene 8. 15,25
23,50
19,00
15,75
14,25

17,55

Schiene 4. 16,75
23,25
11,50
10,25
10,40

14,43

Schiene 9. 10,50
8,65
17,50
15,25
20,25

14,43

Schiene 5. 28,00
14,70
12,90
15,00
8,50

15,82

Schiene 10. 13,15
8,25
16,75
14,00
26,00

15,63

Also mittlere Neigung nach dem speciellen Nivellement = 15,884 Minuten

nach dem generellen Nivellement = 14,600 „

Differenz = 1,284 Minuten.

Rechte Linie, gerade Strecke.

Schiene 1. 14,75 Minuten.

Schiene 2. 22,75 Minuten.

12,45
5,75
7,90
7,00

9,57

27,75
23,25
15,25
2,75

18,35

22,8 +

22,0 -

Schiene 3. 13,50 Minuten. Schiene 7. 6,00 Minuten.

17,00		12,75	
17,00		20,50	
17,00		16,00	
17,00		28,70	
<u>16,30</u>		<u>16,79</u>	

Schiene 4. 6,00		Schiene 8. 9,50	
4,75		15,25	
4,75		8,55	
3,00		4,85	
6,00		1,75	
<u>4,90</u>		<u>7,98</u>	

Schiene 5. 12,25		Schiene 9. 8,75	
22,00		22,50	
27,50		15,25	
16,25		19,50	
5,65		16,50	
<u>16,73</u>		<u>16,50</u>	

Schiene 6. - 1,00		Schiene 10. 20,75	
+ 1,90		19,75	
4,80		13,00	
3,95		4,00	
15,25		15,00	
<u>4,98</u>		<u>14,50</u>	

Also mittlere Neigung nach dem speciellen Nivellement = 12,650 Minuten.

nach dem generellen Nivellement = 13,650

Differenz = - 1,000 Minuten.

Mittlere Neigung beider Linien nach dem speciellen Nivellement = 14,267 Minuten.

nach dem generellen Nivellement = 14,133

Differenz = 0,134 Minuten.

Linke Linie, krumme Strecke. (Vermessung am 19 September).

Das Zeichen + bedeutet eine westliche Steigung.

Schiene 1. + 17,50 Minuten. Schiene 3. - 7,70 Minuten.

+ 1,25		- 2,25	
+ 9,00		+ 4,25	
- 0,40		+ 6,50	
- 3,65		- 6,72	
<u>+ 4,74</u>		<u>- 1,19</u>	

Schiene 2. + 0,50		Schiene 4. + 13,25	
- 1,65		+ 3,75	
- 1,00		+ 1,50	
+ 4,10		- 0,50	
- 3,60		+ 1,25	
<u>- 0,33</u>		<u>+ 3,85</u>	

Schiene 5. — 7,50 Minuten. Schiene 8. + 7,50 Minuten.

— 18,00

+ 6,30

— 11,50

+ 0,75

— 1,00

— 3,35

— 9,60

— 5,85

— 9,52

+ 1,07

Schiene 6. — 6,35

Schiene 9. — 9,60

— 2,00

— 4,75

+ 0,40

— 1,50

+ 8,50

+ 10,45

+ 4,50

+ 10,35

+ 1,01

+ 0,99

Schiene 7. + 5,25

Schiene 10. + 14,90

+ 5,00

— 1,35

— 0,65

+ 1,70

— 4,50

+ 6,85

— 0,10

+ 7,50

+ 1,00

+ 5,92

Also mittlere Neigung nach dem speciellen Nivellement = + 0,754 Minuten

nach dem generellen Nivellement = + 0,760

Differenz = + 0,006 Minuten.

Rechte Linie, krumme Strecke.

Schiene 1. + 8,80 Minuten.

Schiene 4. + 20,75 Minuten.

+ 5,00

+ 12,90

+ 4,00

+ 7,90

+ 2,10

+ 2,50

— 3,90

+ 11,90

+ 3,20

+ 6,43

Schiene 2. + 8,25

Schiene 5. — 5,75

+ 0,40

— 10,00

— 7,55

— 1,50

+ 0,25

— 0,75

+ 6,25

— 11,25

+ 1,52

— 5,85

Schiene 3. — 5,00

Schiene 6. — 0,00

— 9,75

— 5,65

— 2,75

+ 3,50

— 4,00

+ 3,50

— 9,15

— 1,75

— 6,13

— 0,04

Schiene 7. + 17,00 Minuten. Schiene 9. - 8,40 Minuten.

+ 11,50 - 8,00

+ 12,50 - 3,75

+ 21,00 + 3,50

+ 1,60 + 3,50

+ 12,72 - 2,63

Schiene 8. - 9,00 Schiene 10. + 28,25

- 2,90 + 14,75

+ 1,75 + 9,15

+ 6,70 - 1,50

+ 1,65 - 8,95

- 0,36 + 8,34

Also mittlere Neigung nach dem speciellen Nivellement = + 1,720 Minuten.

nach dem generellen Nivellement = + 0,348 "

Differenz = + 1,372 Minuten.

Mittlere Neigung beider Linien nach dem speciellen Nivellement = + 1,237 "

nach dem generellen Nivellement = + 0,554 "

Differenz = + 0,683 "

c) Schienen-Neigungen in den Querprofilen der Bahn. Diese Neigungen im Querprofil wurden für die Anfangspunkte der Schienen vermessen. (Vermessung am 20. September). Gerade Strecke. Es bezeichnet + eine nördliche Steigung.

Schiene 1. - 15,7 Minuten.

2. + 7,5

3. - 13,0

4. - 22,0

5. + 3,2

6. - 13,3

7. + 14,7

8. + 9,7

9. + 31,6

10. + 12,2

Mittel = + 1,43 Minuten.

Mittlere Abweichung von der horizontalen Lage = 14,29 "

Krumme Strecke.

Schiene 1. + 7,7 Minuten.

2. - 1,2

3. - 6,4

4. - 18,6

5. - 22,7

6. - 8,9

Schiene 7.

Schiene 7. — 10,8 Minuten.

8. + 17,3

9. + 18,2

10. — 1,6

Mittel = — 2,70 Minuten.

Und mittlere Abweichung von der horizontalen Lage = 11,34

d) Abstand der beiden Schienenlinien im Lichten. (Vermessung am 19ten September). Vermessen zwischen den Anfangspunkten der Schienen.

	Gerade Strecke.	Krumme Strecke.
Schiene 1.	48 Zoll 7 Linien.	48 Zoll 6 Linien.
2.	48 „ 8 „	48 „ 8 „
3.	48 „ 4 „	48 „ 10 „
4.	48 „ 6 „	48 „ 10 „
5.	48 „ 6 „	48 „ 7 „
6.	48 „ 5 „	48 „ 8 „
7.	48 „ 6 „	48 „ 6 „
8.	48 „ 6 „	48 „ 9 „
9.	48 „ 5 „	48 „ 6 „
10.	48 „ 8 „	48 „ 4 „

Mittel = 48 Zoll 6,1 Linien. 48 Zoll 7,4 Linien.

Um die Abweichungen der Schienen von der vorgeschriebenen Lage richtig zu beurtheilen, muß man sich erinnern, daß auf jede Schienenabtheilung 1 Minute Neigung = $\frac{1}{2}$ Linie, und in den Querprofilen 1 Minute Neigung = $\frac{1}{2}$ Linie ausmacht. Nun ist die Schienenfläche freilich sehr regelmäßig; doch aber ist die Balznath sehr merklich, und mag in den größten Ungleichheiten leicht mehr als eine Linie betragen. — Bei dem speciellen Nivellement kann ich eine Genauigkeit bis auf $\frac{1}{2}$ Minute sicher verbürgen; bei dem generellen Nivellement glaube ich, da es mit einem vorzüglichen Instrumente und mit großer Sorgfalt ausgeführt wurde, $\frac{1}{2}$ Linie sicher verbürgen zu können.

Nun betragen die größten Abweichungen vom Mittel der einzelnen Schienenabtheilungen

	links	rechts
der geraden Strecke ...	12 Minuten	14 Minuten
der krummen Strecke..	18 „	28 „
der ganzen Schienen		
der geraden Strecke ...	2 „	9 „
der krummen Strecke ..	10 „	13 „

Die linke Linie der geraden Strecke ist mit Sorgfalt gelegt worden. Die linke Linie der krummen Strecke läßt schon mehr zu wünschen übrig. Die rechte Linie ist nach der linken abgeglichen worden, und trägt die unverkennbaren Spuren davon, daß zu ihren eignen Fehlern noch die der Musterlinie hinzugekommen sind.

Auf den Eisenbahnen von Liverpool und Manchester, Mibleton und Leeds, Darlington und

Stockton habe ich ganz auf gleiche Art Nivellemens ausgeführt. Unter etwa 50 bis 60 Schienenabtheilungen der erstern Bahn fand ich den größten Fehler = 20 Minuten. Die auf den beiden andern Bahnen aufgefundenen Fehler betrugen im Maximo nicht völlig 25 Minuten.

Die Fehler in der Richtung der Schienen ergeben sich mit genügender Genauigkeit aus den Abweichungen in ihren gegenseitigen Entfernungen. Diese Abweichungen betragen im Maximo bei der geraden Strecke 3 Linien, bei der krummen Strecke 6 Linien. Wenn ich auf der Liverpool-Manchester Bahn das Nivelirinstrument über einem Schienenzug aufstellte, so wich die Mitte der Schienen auf Strecken von 150 bis 200 Ruthen Länge nie mehr als $\frac{1}{4}$ der Schienenfläche ($6\frac{1}{2}$ Linien) von dem Faden im Fernrohr ab.

Aus den vorstehenden Erörterungen erhellt nun: daß die englischen Bahnen während des Betriebs in derselben Regelmäßigkeit erhalten werden, mit welcher bei uns eine Probeseisenbahn von nur 30 Ruthen Länge gelegt wurde. Daß aber die nachgewiesenen Unregelmäßigkeiten der Probeseisenbahn im Legen und nicht durch den Betrieb entstanden, ist gar nicht zu bezweifeln.

Der Probewagen sind zwei gebaut worden, und zwar auf der Gutenhoffnungshütte zu Sterkerade. Der Wagen Nr. I. ist dem englischen Kohlenwagen auf der Darlington-Bahn nachgebildet, und in wesentlichen Stücken nach den von der Ober-Baubedeputation revidirten Entwürfen ausgeführt. Ich habe mir einige Abweichungen von den vorgelegten Entwürfen erlaubt, die ich im Verlauf meines Berichts namhaft machen werde. Nr. II. ist nach mir eigenthümlichen Entwürfen gebaut, wobei ich jedoch, um jedem Mißverständniß vorzubeugen, ausdrücklich erinnere, daß mir vorher schon die Wagen des Schweden Jacob Jagott, und des preussischen Artillerie-Lieutenants Meander, bekannt waren, so wie ich auch die Wagenkonstruktionen des Herrn von Baader, die derselbe in seiner „Neuen fortschaffenden Mechanik“ bekannt gemacht hat, kannte. Der Wagen soll ein Versuch sein, was getrennte Axen, besonders in Krümmungen, im Vergleich mit den durchgehenden Axen, leisten.

Bei dem Wagen Nr. I. ist alles Zubehör weggeblieben, was bei meinem Versuch nicht erforderlich war, also: die Stützstange, die Verkuppelungsstange, die Vorrichtung zum Anhängen des Wagens an das Bremsbergseil. Ich habe diese Vorrichtungen um so mehr weglassen zu müssen geglaubt, als die Stützstange bei einer zweckmäßigen Bremse ganz unnöthig, und bei den Wagenzügen in vielen Fällen hinderlich ist, und die projektierte Verkuppelung unzuweckmäßig gewählt wurde. Bei Eisenbahnwagen dürfen die Verkuppelungen nie aus Stangen, sondern aus kurzen Ketten bestehen. Wenn nämlich ein Zug von mehreren Wagen in Bewegung gesetzt werden soll, so würde es eine übermäßige Kraftanstrengung kosten, sie alle zugleich in Bewegung zu setzen, wie dies bei der Stangenverkuppelung nothwendig wird. Eben so würde das Moment der sämtlichen Wagen beim Stillhalten jedes Mal sehr lästig und oft gefährlich fortwirken. Bei einer Kettenverkuppelung werden die Wagen vor und nach in Bewegung gesetzt, so wie sich die Ketten vor und nach anspannen; beim Stillhalten hebt sich der größte Theil des Bewegungsmoments in den Stößen zwischen den einzelnen Wagen auf.

Die Axen bestehen aus Schmiedeeisen; sie sind an den Stellen, wo sie im Zapfenlager laufen, und wo sie in der Nabe sitzen, sehr sorgfältig abgedreht. Der Ring in der Schmier-

büchse soll sich mit der Ase, auf welcher er liegt, umbrehen, und die flüssige Schmiere immer wieder nach oben bringen. Dieser Zweck wird vollkommen erreicht, aber die Schmiere dringt nicht leicht seitwärts zu den Stellen, wo das Lager auf der Ase liegt. Der Zweck würde besser erreicht werden, wenn das Lager getheilt würde, und die Schmierbüchse in seiner Mitte zu liegen käme. Die rundgedrehten Brüstungen, seitwärts vom Zapfenlager, verhindern die Verschiebung der Ase, und sind zugleich zur Aufnahme von Leberingen bestimmt, um die Lager vor Staub zu schützen. Freilich werden die Lager durch die Zwischenräume, die nach vorn und hinten zu liegen, viel mehr Staub auffangen, als von der Seite. Die Nabe ist getheilt, damit die Speichen nach dem Guß beim Erkalten keine nachtheilige Spannung annehmen. Die Zwischenräume sind mit schmiedeeisernen Keilen ausgefüllt, und um jede Nabe zwei Ringe gezogen. Die Ausröffnung ist, um sie genau centrisch zu machen, ausgebohrt.

Nach Vorschrift sollten die Lager des Wagens Nr. I. aus Gußeisen bestehen, ich habe jedoch die Lager beider Wagen aus Glockenmetall anfertigen lassen. Die Wagen wurden im Anfang des Jahrs 1832 gebaut. Ich muß gestehen, daß, gestützt auf die Versuche von Coulomb, dessen Genauigkeit und experimentelles Talent ich häufig zu erproben Gelegenheit gehabt habe, ich die neuern englischen Versuche, wonach Schmiedeeisen auf Gußeisen mit weniger Friction als auf Glockenmetall laufen soll, damals mit Mißtrauen ansah. Eine Berathung mit dem Herrn Lueg, dem sehr erfahrenen und kenntnißreichen Direktor des großen Etablissements in Sterkrade, bekräftigte mich in meiner Ansicht. Ich wagte es also, von der Vorschrift der Ober-Baudeputation abzugehen, und die Lager, statt aus Gußeisen, aus Glockenmetall anfertigen zu lassen. Auf meiner Reise durch England im Herbst 1832 habe ich mich nun freilich überzeugt, daß Gußeisen und Glockenmetall in vielen Fällen gleich zweckdienlich als Lager für schmiedeeiserne Zapfen sind. Für Eisenbahnwagen bin ich jedoch noch immer geneigt, dem Glockenmetall vor dem Gußeisen den Vorzug zu geben. Ich fühle mich um so mehr verpflichtet, die Gründe für diese Meinung mitzutheilen, als die Ober-Baudeputation meine Ansicht und meine Abweichung von der Vorschrift mißbilligt hat.

Es ist bekannt, daß die Lager an den Kohlenwagen auf den Eisenbahnen am Tees, Wear und Tyne aus Gußeisen bestehen. Man könnte freilich dafür halten, daß dies aus Sparsamkeit geschehe, wenn nicht Wood Versuche mitgetheilt hätte (On Railroads, sec. edit. p. 225), nach denen dem gußeisernen Lager einiger Vorzug vor dem aus Glockenmetall zuerkannt werden mußte. Er fand nämlich die Frictions-Coefficienten für 2,9 zöllige Axen und Lager von 3 Zoll Länge, bei Belastungen

von 8960 Pfd., 6720 Pfd., 4480 Pfd., 2240 Pfd., 1120 Pfd., Mittel
 in gußeisernen Lagern 0,002218; 0,002061; 0,001978; 0,001854; 0,002033 : 0,002029;
 in messingnen Lagern 0,002304; 0,002120; 0,001926; 0,002042; 0,002134 : 0,002105.
 Hier scheint nun allerdings die Reibung für messingne Lager 5% mehr als für gußeiserne Lager zu betragen. Aber die Versuche für Lager von derselben Art zeigen in ihren Mitteln Differenzen von 20%, so daß jene 5% Unterschied in keiner Art zu verbürgen sind, will man auch die Beobachtungsmethode, gegen welche sich bedeutende Einwendungen machen lassen, nicht weiter

anfechten. Die Beobachtungen zeigen aber davon keine Spur, daß der Fiktions-Coefficient für messingne Lager bei starken Belastungen (258 Pfd. auf den Quadrat Zoll) sich vergrößere.

Die Versuche von Coulomb sind bekannt. Bei 37 Pfd. Belastung für den Quadrat Zoll fand er bei Unschlittschmiere die Reibung von Eisen auf Eisen zu 1:11,8 und von Eisen auf Kupfer zu 1:18,3, bei Geschwindigkeiten von $\frac{2}{3}$ Fuß. (Théorie des machines simples, Paris 1821, p. 90.)

Die genauesten Versuche über die Reibung scheinen mir die von Morin zu sein (Nouvelles Experiences sur le frottement, Paris 1833 et 1834 *). Bei Belastungen von 45 Pfund auf den rheinländischen Quadrat Zoll findet Morin im Mittel die Reibung (Suite des nouvelles experiences, p. 99.)

	Unschlittschmiere.	Baumölschmiere.
bei Stahl auf Bronze	0,056	0,053
bei Eisen auf Bronze	0,103	0,078
bei Eisen auf Gußeisen	0,103	0,066
bei Stahl auf Gußeisen	0,105	0,079

In diesen Versuchen stellt sich die Reibung zwischen Stahl und Bronze um 25% geringer heraus, als zwischen Eisen und Gußeisen. Die Reibungen zwischen Eisen und Bronze, so wie zwischen Eisen und Gußeisen weichen wenig von einander ab.

Die Frachtwagen, auf welche der berühmte Robert Stephenson ein Patent genommen hat, und die ausschließlich auf der Liverpool-Manchester Bahn im Gebrauch sind, haben Zapfenlager von Glockenmetall. Bei allen Dampfwagen, die ich gesehen habe, bestehen die Lager aus Glockenmetall. Das belgische Gouvernement hat sich 12 Frachtwagen von dem bewährten Engineer Edward Bury in Liverpool bauen lassen; auch hier bestehen die Lager aus Glockenmetall. Es muß erinnert werden, daß bei allen diesen Wagen eine Unschlittschmiere angewendet wird. Joseph Glynn, Engineer der großen Maschinenfabrik der Butterley Comp. in Derbyshire, deren Chef der verdienstvolle Jessop ist, sagt in einem vor mir liegenden Bericht vom November 1832: „Die Räder sollten von gehärtetem Eisen gemacht werden, und ihre Axen sollten in messingnen, mit Del getränkten Büchsen laufen; vielleicht möchte es gut sein, sie zu verstählen.“

Die Nadringe sind an beiden Wagen gut abgedreht; sie sind nicht gehärtet (case hardened). Das Härten giebt den Ringen eine bewunderungswürdige Haltbarkeit. Räder, welche gegen $1\frac{1}{2}$ Jahre täglich auf der Liverpool-Manchester Bahn gelaufen hatten, zeigten noch keine Spur von Abnutzung. Zwischen Darlington und Stockton, bei Leeds, bei Sunderland etc., sah ich noch einige ungehärtete Nadringe. Während diese in tiefen Einschnitten sich hohl gelaufen hatten, blieben die gehärteten Ringe ganz eben. In Betracht aber, daß bei den Probewagen es nicht so sehr auf die Haltbarkeit ankomme; daß das Hartgießen für jede Radform

*) Was hier über die Versuche von Morin gesagt worden ist, bildet eine spätere Einschaltung in den ursprünglichen Bericht.

einen Apparat erfordert, der fast so theuer wird, als vier Räder, daß die schickliche Größe der Räder erst noch genauer bestimmt werden sollte; daß das Hartgießen für unsere Hütten ein unbekanntes Verfahren ist, welches, obschon einfach, dennoch bei den ersten Versuchen mißglücken, und also für meinen Zweck unverhältnißmäßig kostspielig werden konnte; ließ ich die Räder der Probewagen nicht hart gießen. Da während der Versuche sich keine Spur von Abnutzung der Radringe zeigen konnte, und da harte gußeiserne, weiche gußeiserne und schmiedeeiserne Ringe, so lange keine Einschnitte entstanden sind, nach Theorie und Erfahrung fast denselben Widerstands-Coefficienten für rollende Reibung haben; so hat das Nichtgehärtetsein der Radringe auf die Versuche keinen merklichen Einfluß. Auf jeden Fall ist die erforderliche Zugkraft für nichtgehärtete Ringe nicht kleiner, als für gehärtete.

Die Axen des Wagens Nr. II. sind verstäht und gehärtet. Der Erfolg davon ist kein günstiger gewesen, weil sie durch die Härtung ihre genaue Rundung eingebüßt haben. Ich schreibe es diesem Umstande vorzugsweise zu, daß der Wagen nicht noch günstigere Resultate geliefert hat, als er lieferte. Da die Axenringe in den Rädern ausgebohrt und die Radringe abgedreht sind, so kann die Excentricität der Räder, wenn nicht grobe Fählrassigkeiten vorgefallen sind, nur so viel betragen, als der Spielraum zwischen Ase und ihrem Sitz ausmacht. Ich habe das eine Rad des Wagens Nr. I. genau in Beziehung auf seine Excentricität untersucht, und diese zu $\frac{1}{2}$ Linie gefunden, so daß sie ganz zu vernachlässigen ist. Die übrigen Räder sind in Beziehung auf die Excentricität eben so sorgfältig bearbeitet und auf die Ase gesteckt.

Die Wagenaxen beim Wagen Nr. II. werden also geschmiert: In die Schmierbüchsen wird Del geschüttet, welches aus diesen vermittelt eines baumwollenen Dochts durch die Röhre den Zapfen zugeführt wird. Der Docht wirkt blos durch Haarröhrenkraft, und leitet dem Zapfen nur dann neues Del zu, wenn das alte verbraucht ist. Diese Art Zapfen zu schmieren ist sehr ökonomisch, sehr bequem und sicher, sie verbreitet sich sowohl in England, als auch in den Rheingegenden immer mehr. Die Radnaben bei dem Wagen Nr. II. sind nicht durchschnitten. Die Löcher zur Aufnahme der Axen sind ausgebohrt.

Der Wagen Nr. I. faßt mit Hilfe der Aufsehbretter 48 Bergscheffel Steinkohlen, die ein Gewicht von 6000 Pfund haben. Der Wagen Nr. II. ist für 50 Scheffel Kohlen berechnet und kann, mit Beihülfe von Aufsehbrettern, 60 Scheffel, also ein Gewicht von 7500 Pfd., fassen. Der erste Wagen hat nur eine Thür, dem andern Wagen habe ich, wie dies jetzt auch bei den neuern englischen Kohlenwagen der Fall ist, zwei Thüren gegeben. Der Wagenkasten bekommt dadurch eine schicklichere Form. Der Hauptvorthail besteht aber in Folgendem: An den Ausladeplätzen muß ein Seitenarm der Bahn hohl liegen, und der Raum unter ihr so geräumig sein, um einen Kohlenkarren, welcher die Kohlen den Konsumenten zubringt, aufzunehmen. Die Thüre wird geöffnet, und nun stürzen die Kohlen durch eine schräg liegende Lutte, die den Fall mäßigt und regelt, in den Kasten des Karrens. Ein solcher Karren kann nun, bei einer guten Straße, wohl mit 25 bis 30 Scheffel, nicht aber mit 50 bis 60 Scheffel beladen werden. Die Wagen mit zwei Thüren werden in der Mitte durchschlagen, und gestatten

bann eine sehr bequeme Umladung. In England ist jetzt diese Einrichtung da, wo die Kohlen nicht in Magazine oder in Schiffe verladen werden, allgemein im Gebrauch.

Gewicht des Wagens Nr. I.

Die beiden Axen	222 Pfd.
die vier Räder	782 „
die vier Lager	88 „
sonstiges Eisenwerk	107 „
der Wagenkasten an Holz	693 „
Summa	1892 Pfd.

Gewicht des Wagens Nr. II.

Die vier Räder nebst Axen	985 Pfd.
die acht Lager	48 „
sonstiges Eisenwerk	370 „
der Wagenkasten nebst Rahmen an Holz	637 „
Summa	2040 Pfd.

Unterschied im Gewicht der Wagen = 148 Pfd.

Der Gewichtsunterschied, anscheinend zum Nachtheil des Wagens Nr. II., beruht in den Rädern, die bei dem Wagen Nr. II. 36 Zoll, und bei dem Wagen Nr. I. nur 30 Zoll hoch sind. Unter Berücksichtigung dieses Umstands, und des andern, daß der zweite Wagen 25 pCt. mehr Ladungsfähigkeit hat, ist der Vortheil der Schwere ganz auf seiner Seite. — Der Preis des ersten Wagens beträgt 169 Thaler, der des andern 170 Thaler. Wenn künftig die Wagen fabrikmäßig angefertigt werden, wenn man die Lager aus Gußeisen macht, wenn die Modellkosten erspart werden können, so werden solche Wagen in hiesiger Gegend für 130 bis 140 Thaler herzustellen sein.

Um die Wagen in Beziehung auf ihre Stärke zu prüfen, habe ich sie schwer beladen, und längere Zeit hindurch beladen stehen lassen. Nr. I. war vom 8. September bis zum 28. September, ferner vom 16. Oktober bis Ende November, also starke 2 Monate lang, mit 8000 Pfd. Steinen beladen, und durchlief während dieser Zeit mehrere hundert Mal die Bahn. Räder und Axen trugen dieses Gewicht vollkommen, ohne irgend eine nachtheilige Formveränderung. Die Räder konnten mit vollkommener Sicherheit wenigstens zwei Speichen missen. Nr. II. war vom 18. bis 28. September, ferner vom 16. Oktober bis Ende November, also nicht volle zwei Monate, mit 8000 Pfd. Steine beladen. Der Wagen zeigte in keinem seiner Theile die geringste Spur von Formveränderung. Die Axen trugen diese Last vollkommen. Der Wagenkasten veränderte durchaus nicht seine Lage in Beziehung auf den Rahmen, und der Rahmen selbst nahm nach keiner Seite eine veränderte Neigung an. Es ist gar keinem Zweifel unterworfen, daß durch Verminderung der Verbindungsstangen im Wagenkasten, durch die Wahl von etwas dünnern Brettern, von schwächern Strebeisen und Verankerungseisen des Rahmens, das Gewicht des Wagens auf 1900 Pfd. zurückgeführt werden kann. Da diese Wagen nun wenigstens 6000 Pfd. Kohlen fassen und tragen können, so verhält sich das Gewicht der Ladung zum Gewicht der Wagen wie 3 : 1.

Es ist das Verhältniß des Axendurchmessers zum Naddurchmesser

bei Nr. I. wie $2\frac{1}{2}$ Zoll : 30 Zoll = 1 : 12;

bei Nr. II. wie $1\frac{1}{4}$ Zoll : 36 Zoll = 1 : 28,8.

Die Engländer haben den Gebrauch eingeführt, die Zugkraft der Wagen im Verhältniß des Gewichts von Wagen und Ladung auszudrücken. Diese Berechnung ist freilich nicht richtig. Es unterliegen nämlich Axen und Räder bloß der rollenden Reibung an der Peripherie des Rades, das übrige Gewicht unterliegt aber zugleich noch der Axenreibung mit. Jene beträgt bei einer Eisenbahn etwa nur $\frac{1}{1000}$, und diese gegen $\frac{1}{1000}$. Man sieht also leicht ein, daß nach solcher Berechnung sich das Verhältniß der Zugkraft zur Last um so günstiger herausstellen muß, je geringer die ganze Last im Verhältniß zum Gewicht von Rädern und Axen ist. Für die Anwendung ist jedoch diese Berechnungsart die übersichtlichste, ich behalte sie also hier bei. Wer jedoch die Versuche genau berechnen will, findet dazu in meinen Mittheilungen die nöthigen Data.

Die Zugkraft wurde vermittelst der Federwage bestimmt, die ich in meinen Untersuchungen über den Effect von Wasserwerken (S. 41 u. f.) beschrieben habe. Die Zugkräfte wirkten hier nur in der Richtung der kleinen Ase, so daß die Kräfte bis auf $\frac{1}{2}$ Pfd. genau unmittelbar abgelesen werden konnten. Ich kenne sehr gut das, was man in England gegen den Gebrauch der Federwagen für solche Versuche eingewendet hat. Man macht ihr einen Vorzug zum Vorwurf. Man hat nämlich ihre großen Schwankungen lästig gefunden, die doch in der Genauigkeit ihren Grund haben. So lange man diese Schwankungen dadurch zu beseitigen sucht, daß man wenig empfindliche Instrumente anwendet, bringt man die Genauigkeit der Gemächlichkeit zum Opfer. Wood und Stephenson (On Railroad p. 197 seq.) haben mit ihrem Quadranten-Dynamometer nichts weiter erreicht. Die Schwankungen eines Dynamometers dadurch zu mäßigen, daß man durch sie irgend eine Flüssigkeit, z. B. Quecksilber, Del u. durch enge Oeffnungen hin und her preßt (Milne's Mercurial Dynamometer), würde ein empfehlenswerthes Verfahren sein, wenn nicht unglücklicher Weise die durchgepreßten Flüssigkeitsmengen den Quadratwurzeln aus dem Druck, also keineswegs dem Druck selbst, proportional wären, aus welchem Grund das Instrument fehlerhafte Resultate liefert*).

*) Mein Urtheil über die Anwendung des Dynamometers bezieht sich bloß auf Versuche auf Eisenbahnen, wo die Schwankungen des Zeigers in so enge Schranken eingeschlossen werden können, daß eine sichere Beobachtung wohl möglich wird. Soll das Dynamometer zur Bestimmung der Zugkräfte auf gewöhnlichen Straßen angewendet werden, so sind die Schwankungen von so großem Umfang, und erfolgen so unregelmäßig, daß an ein genaues Beobachten nicht zu denken ist. Für diesen Fall halte ich die von Mr. Neill zur Ausführung gebrachte Konstruktion eines Dynamometers, bei welchem die Schwankungen durch Anwendung eines Cylinders mit Del, durch welches sich ein durchlöcherter Kolben bei jeder Kraftänderung drängen muß (Parnell, On Roads. p. 330), für die zweckdienlichste. Dürfte man voraussetzen, daß das Anziehen und Nachlassen der Pferde gleichen Momenten entsprächen, so würde das Instrument genaue Resultate geben. Unstreitig findet diese Voraussetzung nicht in aller Schärfe statt; wahrscheinlich aber werden die Fehler nicht bedeutend sein. — Die Federwagen von Mariotte (London, 64 Fleet street), welche in dem Mr. Neill'schen Apparat die Zugkräfte messen, werden jetzt in England sehr häufig angewendet; sie sind sehr bequem, tragen Lasten von mehreren hundert Pfunden, und geben für viele Fälle eine genügende Genauigkeit. In den Poststuben der Posten und der Expeditionen verdienten sie bei uns eingeführt zu werden. Sie

Den Widerstand der Bahnwagen dadurch zu beobachten, daß man sie auf einer geneigten Ebene abwärts rollen läßt, halte ich für eins der sichersten Verfahren. Freilich hält es schwer, dadurch den Widerstand für verschiedene Geschwindigkeiten zu bestimmen. Der Umstand aber, daß für geringe Neigungen die anfängliche Bewegung sehr unsicher zu bestimmen ist, und daß bei beträchtlichen Neigungen die Gewalt des Laufs bei starken Belastungen nachtheilig werden kann, ferner auch der andere Umstand, daß die Versuche eine sehr regelmäßige Lage der Schienen voraussetzen, bewirken es, daß solche Versuche nicht unbedingt empfohlen werden können.

Die Federwage würde die genauesten Resultate gewähren, wenn dieser Meßapparat noch in folgender Art vervollständigt würde. Unter den Stäben, welche den Zeiger tragen und regieren, müßte eine Rolle angebracht werden, mit der kleinen Rye gleichlaufend, auf welche sich langsam ein Streifen Papier wickelte. Die Rolle würde durch einen leicht zu erdenkenden Mechanismus durch die Bewegung des Wagens in Bewegung gesetzt, so daß Bewegung der Rolle und des Wagens in konstantem Verhältniß bleiben. Von den genannten beiden Stäben liegt der eine in fester Lage zur Rolle, der andere trägt einen Zeichenstift, welcher auf dem sich aufwickelnden Papier eine Kurve zeichnet, welche die Zugkraft in ihrer Zu- und Abnahme genau graphisch darstellt. Es sind nun die Methoden hinlänglich bekannt, danach den Werth der mittlern Zugkraft genau zu bestimmen^{*)}. — Ich würde zu dieser sehr genauen, freilich aber auch sehr umständlichen Methode, meine Zuflucht genommen haben, wenn ich nicht durch die Versuche selbst gefunden hätte, daß ihre Genauigkeit für den vorliegenden Fall völlig ausreiche, und daß Nebenumstände, welche bei Eisenbahnen dem täglichen Wechsel unterworfen sind, viel größere Veränderungen in den Zugkräften hervorbringen, als die Fehler sind, welche nach meiner Beobachtungsmethode begangen werden können.

Die Federwage wurde bei meinen Versuchen nicht, wie bei den englischen, auf einem ledigen Wagen befestigt, der durch Menschen wäre gezogen worden, um so den beladenen Wagen durch Verbindung mit dem Dynamometer in Bewegung zu setzen. Bei diesem Verfahren wird freilich der Zeiger der Federwage in so starke Schwankungen gesetzt, daß der mittlere Stand schwer zu erkennen ist. Wenn man aber die Federwage mit etwas gewandter und kräftiger Hand selbst führt, so bringt man es leicht dahin, dem Wagen eine gleichmäßige Bewegung zu ertheilen, und doch dabei die Schwankungen des Zeigers in sehr enge Grenzen einzuschließen. Es ist mir bei allen Versuchen gelungen, die Schwankungen bis auf höchstens

5 Grad,

sind auf das Prinzip des Regnierschen Dynamometers gegründet, und Hr. Mariotte, der eine sehr große Werkstätte allein mit Anfertigung solcher Wagen beschäftigt, verhehlte gegen mich nicht, daß er dies Prinzip vom Auslande entlehnt habe. Die elliptische Feder setzt bei ihrer Formveränderung durch eine Zahnstange ein Getriebe in Drehung, deren Größe durch einen Zeiger auf einem metallnen Zifferblatt angezeigt wird. Feder, Zahnstange und Getriebe liegen in einer metallnen Büchse; bloß der Zeiger liegt frei. Ihr Preis steigt von 1½ bis 3 Pfd. St., je nachdem sie klein oder groß sind. — Beobachtungen mit dem M'Neillschen Apparat auf den preussischen Chaussees würden unstreitig für den Straßenbau von durchgreifender Wichtigkeit werden können.

^{*)} Dieser Vorschlag wurde im Herbst 1833 niedergeschrieben, als ich das oben näher bezeichnete Werk von Morin noch nicht kannte. Ich finde nun später, daß Morin sich eines ganz ähnlichen Verfahrens bedient hat, um die Zugkraft bei der Reibung zu bestimmen. Da diese Versuche schon im Jahr 1831 angestellt worden sind, so kann ich Herrn Morin die Priorität der Aufstellung dieses Verfahrens nicht streitig machen.

5 Grad, welche 11 Pfund Kraft entsprechen, zu reduciren, und zwischen diesen Grenzen bleibt der mittlere Stand des Zeigers auf keinen ganzen Grad unsicher. Bei Zugkräften bis 50 Pfd. vermochte ich den Wagen mit Geschwindigkeiten von 1 bis 8 Fuß in der Sekunde selbst zu führen, wenn ihm vorher durch Beihülfe diese Bewegung mitgetheilt worden war. Bei größern Zugkräften halfen ein oder zwei starke Männer mitziehen, so daß mir selbst dann nur übrig blieb, die Schwankungen des Zeigers auszugleichen. Es wurde zu dem Ende eine geschätzte Zugkraft als die richtige angenommen, und die Federtwage nun im Zug so gehandhabt, daß der Zeiger um den angenommenen mittlern Stand möglichst kleine Schwankungen machte. Ob diese Kraft zu groß oder zu klein war, zeigte sich bald in der beschleunigten oder verzögerten Bewegung des Wagens. Jeder Versuch wurde wenigstens zehnmal wiederholt. Das Mittel aus einer solchen Versuchsreihe enthält schwerlich einen Fehler von $\frac{1}{2}$ Pfund in der Zugkraft.

Zur Kontrolle dieser Versuche habe ich das Herabrollen der Wagen auf der Ebene von 1:243 Gefälle benützt, zu welchem Zweck ich der Ebene gerade diese Neigung hatte geben lassen. Beide Wagen rollen nämlich die Ebene, meistens mit sehr geringer Beschleunigung, abwärts. Nur in einigen Fällen bedarf es noch einer geringen Zugkraft, um sie abwärts zu führen. Hier bildet also der Bruch $\frac{1}{243}$ bei weitem den größten Theil des Widerstands. Coefficienten, so daß, wenn der andere Theil mit nur einiger Genauigkeit bestimmt wird, dies für die ganze gesuchte Größe eine große Genauigkeit giebt. Die geringern Zugkräfte bis zu 30 und 35 Pfund maß ich mit einer guten englischen Federtwage von der Art, wie sie zur Belastung des Sicherheitsventils bei Dampfwagen jetzt allgemein zwischen Liverpool und Manchester gebraucht werden. Größere Zugkräfte wurden mit einem oben erwähnten Dynamometer gemessen.

Die Ladungen der Wagen bestanden in Steinen, die unter meinen Augen auf das sorgfältigste abgewogen wurden. Die Schienen wurden vor jeder Versuchsreihe von gröberem Schmutz gereinigt. Ebenso wurden vor den Versuchen die Axen mit gutem Baumöl geschmiert, und zwar wurde das Öl bei dem Wagen Nr. I. nicht allein in die Schmierbüchse gefüllt, sondern den Axen an den Reibungsstellen unmittelbar zugeleitet.

Ich lasse nun die Versuchsergebnisse hier folgen. Die Wagen wurden zuerst westlich, darauf zurück östlich, und so ferner regelmäßig abwechselnd geführt.

I. Versuche mit dem Wagen Nr. I.

1) Am 7. September Morgens. — Feiner Regen, also nasse Schienen. Wenig Wind aus Osten. Leichter Wagen, also 1892 Pfund Last.

Zugkraft. Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit in der Sekunde.

— 4 Pfd.	+ 9 Pfd.	4 Fuß.
+ 16	+ 12	4
+ 4	+ 8	4
+ 15	+ 11	4
+ 4	+ 8	6
+ 15	+ 11	4

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit in der Sekunde.
 + 16 12 5 Fuß. 5 Fuß. 5 Fuß.
 + 16 12 5 Fuß. 5 Fuß. 5 Fuß.
 + 16 12 5 Fuß. 5 Fuß. 5 Fuß.
 Mittel = + 5,7 Pfd. englisch. + 9,9 Pfd. englisch.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn = 1 : 344.
 in der krummen Bahn = 1 : 197.

Der Einfluß der Geschwindigkeit auf die Zugkraft blieb unmerklich. Der Wind hielt die leeren Wagenkasten sehr merklich zurück; die Versuche lehren, daß der Widerstand gegen 2 Pfd. betrug.

2) Am 7. September. Vormittags die Versuche auf der krummen Strecke, Nachmittags auf der geraden Strecke. Der Regen wurde stärker, so daß der Wagen sehr naß wurde. Der Wind hatte sich fast ganz gelegt. Ladung 3000 Pfund, also 4892 Pfund Last.

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit in der Sekunde.

+ 7	33	5 Fuß.
+ 46	34	5 Fuß.
+ 8	33	5 Fuß.
+ 48	35	5 Fuß.
+ 8	35	5 Fuß.
+ 47	36	5 Fuß.
+ 7	36	5 Fuß.
+ 46	36	5 Fuß.
+ 6	35	5 Fuß.
+ 47	36	5 Fuß.

Mittel = 27,0 Pfd. preuß. 34,9 Pfd. englisch.
 = 33,9 preußisch.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn = 1 : 181.
 in der krummen Bahn = 1 : 144.

Es wird hier ausdrücklich bemerkt, daß der Wagen, besonders Nachmittags, sehr naß war. Morgens lief er, in Bewegung von 5 Fuß Geschwindigkeit gesetzt, ohne weitere Zugkraft so stark die geneigte Ebene hinab, daß er auf der horizontalen Strecke noch über 4 Schienen fortrollte. Nachmittags kam er schon auf der geneigten Ebene zur Ruhe.

3) Am 8. September wurde der Wagen mit 8000 Pfund beladen. Sowohl an diesem als auch am folgenden Tage, wo keine eigentlichen Versuche angestellt werden konnten, lief der Wagen, in Bewegung gesetzt, nicht bis zur horizontalen Strecke abwärts. An beiden Tagen stand er meistens in dem Wagenschuppen, und konnte also wieder austrocknen. Am 10ten bei heiterem Wetter, und am 11ten Morgens früh, lief der Wagen wieder, immer gleich stark beladen.

den, mit gleichförmiger Geschwindigkeit den Abhang hinab. Daß durchaus keine Rasse bis zu den Zapfenlagern drang, und daß stets gleich gut geschmiert wurde, wird hier noch ausdrücklich erinnert. Am 11. September Mittags. Der Wagen hatte Vormittags 1½ Stunde lang im starken Regen gestanden. Mittags kein Regen mehr, trockne Schienen, fast gar kein Wind, Ladung 8000 Pfund, also ganze Last 9892 Pfund.

Zugkraft. Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit.

Gerade Bahn.	Krumme Bahn.	Geschwindigkeit.
28	88	4 Fuß.
109	87	" 0
29	88	" 02
105	89	" 0
26	90	" 07
107	89	" 07
26	90	" 07
105	88	" 07

Mittel = 66,6
Mittel = 88,8

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn = 1 : 149.
in der krummen Bahn = 1 : 111.

5) Am 12. September Morgens früh. Der Wagen ist noch sehr feucht von gestern, kein Regen, trockne Schienen, starker Westwind. Ladung 8000 Pfund, also Last 9892 Pfund. Nach zweien gut übereinstimmenden Versuchen bedarf es einer Zugkraft von 18 Pfund, um den Wagen auf der geneigten Ebene mit gleichförmiger Bewegung abwärts zu führen. Also relative Zugkraft in der geraden Bahn = 1 : 169.

6) Am 17. September. Der Wagen war nun völlig wieder ausgetrocknet. Ein heiterer Tag. Ladung 8000 Pfund, also ganze Last 9892 Pfund.

Zugkraft.

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit.

Gerade Bahn.	Krumme Bahn.	Geschwindigkeit.
0	86	4 Fuß.
79	73	" 07
0	86	5 —
78	73	" 07
0	80	6 —
79	75	" 07
0	84	3 —
78	78	" 07
0	82	" 07
78	75	" 07
Mittel = 39,2	79,2	4,2 Fuß. 3*

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn = 1 : 253.
in der krummen Bahn = 1 : 125.

Der Wagen läuft auf der geneigten Ebene, in eine Bewegung von 5 Fuß in der Sekunde versetzt, auf der horizontalen Strecke noch über 3 Schienen fort. Die Geschwindigkeit übt auf die Zugkraft keinen merklichen Einfluß aus.

7) Am 18. September Morgens früh. Bedeckter Himmel, doch kein Regen. Am vorigen Abend hat es geregnet. Die Schienen sind feucht. Ladung 8000 Pfd., Last 9892 Pfd.

Zugkraft.

Gerade Bahn.	Krumme Bahn.	Geschwindigkeit.
0	79	4 Fuß.
90	75	"
0	79	"
79	73	"
Mittel = 39,5	76,5	4 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn = 1 : 251.

in der krummen Bahn = 1 : 129.

8) Am 25. September Morgens. Sehr heiter, auch war der vorige Tag sehr heiter. Kein Wind. Ladung 8000 Pfund, also ganze Last 9892 Pfund. Der Wagen wurde mit Knochenöhl geschmiert. Der Wagen lief mit etwas beschleunigter Kraft die geneigte Bahn abwärts. Diese Beschleunigung war aber so gering, daß ich es nicht unternehmen zu dürfen glaubte, sie der Beobachtung zu unterwerfen. Ich würde Versuche darüber angestellt haben, wenn die Schienen eine regelmäßige Lage gehabt hätten.

Zugkraft.

Gerade Bahn.	Krumme Bahn.	Geschwindigkeit.
78	84	5 Fuß.
—	77	"
—	85	"
77	64	"
—	79	"
78	64	"
—	79	"
78	64	"
—	77	"
77	64	"
Mittel = 77,6	73,7	5 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn aufwärts = 1 : 268.

in der krummen Bahn = 1 : 135.

Wird dem Wagen auf der geneigten Bahn eine Geschwindigkeit von 4 Fuß mitgetheilt, so läuft er auf der horizontalen Bahn noch über 4 Schienen fort. Bei geringerer und größerer Geschwindigkeit scheint der Wagen auf der geneigten Bahn seinen Lauf gleich stark zu beschleunigen.

9) Am 28. September Morgens. Sehr heiter. Kein Wind. Ladung 6000 Pfund, also ganze Last 7892 Pfund. Es wurde wieder mit gewöhnlichem Dehl geschmiert. Der Wagen läuft bei kleinen und größern Geschwindigkeiten mit kaum merklicher Beschleunigung die geneigte Ebene abwärts.

Zugkraft.

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit.

—	75	4 Fuß.
67	64	"
—	68	"
63	58	"
—	66	"
65	56	"
—	66	"
62	58	"
—	62	"
65	56	"

Mittel = 64,4 62,9 4 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn aufwärts = 1 : 218;

in der krummen Bahn = 1 : 126.

10) Am 30. September Morgens. Sehr heiter. Kein Wind. Ladung 4000 Pfund, also ganze Last 5892 Pfund. Der Wagen läuft mit einiger Beschleunigung die geneigte Ebene abwärts.

Zugkraft.

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit.

—	52	4 Fuß.
49	50	"
—	53	"
47	50	"
—	52	"
47	52	"
—	52	"
47	50	"
—	52	"
47	50	"

Mittel = 47,4 51,3 4 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn aufwärts = 1 : 254;

in der krummen Bahn = 1 : 115.

Da schon während der Versuche mir die Größe der Zugkraft in der krummen Bahn auf-
fiel, so habe ich auf die letztern Versuche der Reihe eine mehr als gewöhnliche Sorgfalt ver-
wendet, und kann also ihre Richtigkeit verbürgen.

11) Am 16. Oktober wurde der Wagen aufs neue mit 8000 Pfund beladen. Zugleich wurden die Axen gut mit Baumöl geschmiert. Am 19. Oktober lief der Wagen mit einer geringen Beschleunigung die geneigte Ebene abwärts. Der Wagen blieb jetzt bis zu den ersten Tagen im November stehen. Ohne vorher geschmiert worden zu sein, lief er dann mit kaum merklicher Beschleunigung die geneigte Ebene abwärts. Derselbe Versuch wurde am 27. und 29. November, am letztern Tage in Gegenwart des Herrn Regierungs-Bauraths Umpfenbach, und zwar mit demselben Erfolg, wiederholt. Wurde dem Wagen aber auf der Bahn eine Bewegung von 4 Fuß mitgetheilt, so lief er noch auf der horizontalen Bahn über 3 Schienen. Die Schmiere war an den Zapfen noch ziemlich dünnflüssig geblieben.

II. Versuche mit dem Wagen Nr. II.

1) Am 11. September Morgens früh. Es regnete ziemlich stark. Lebhafter Westwind. Lebiger Wagen, also Last 2040 Pfund. Die Axenenden klemmen sich etwas gegen das Wagengestell.

Zugkraft.

Gerade Bahn.	Krumme Bahn.	Geschwindigkeit.
2	14	4 Fuß.
17	8	4
4	14	5
17	9	5
3	15	6
18	9	6
4	15	5
18	8	5
4	15	5
16	8	5
Mittel = 10,3	11,5	5 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn = 1 : 198;
in der krummen Bahn = 1 : 180.

2) Am 12. September Morgens früh. In der vorigen Nacht Regen. Die Schienen sind feucht. Starker Westwind. Die Axen sind noch nicht verändert. Ladung 3000 Pfund, also Last 5040 Pfund.

Zugkraft.

Gerade Bahn.	Krumme Bahn.	Geschwindigkeit.
10	33	4 Fuß.
45	24	"
9	34	"
44	23	"
10	33	3
44	25	"
10	34	"
44	24	"

Zugkraft.

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit.

9 33 3 Fuß.

43 24 3

Mittel = 26,8 28,7 3,4 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn = 1 : 188;
 in der krummen Bahn = 1 : 176.

3) Am 17. September Vormittags. Ein heiterer Tag. Trockne Schienen. Wenig Wind. Ladung 3000 Pfund, also Last 5040 Pfund. Die Hemmungen an den Rren sind entfernt.

Zugkraft.

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit.

— 26 4 Fuß.

41 25 "

— 26 "

40 24 "

— 25 "

40 24 "

— 24 "

41 23 "

— 25 "

41 23 "

Mittel = 20,3 24,5 4 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn = 1 : 248;
 in der krummen Bahn = 1 : 207.

Der Wagen läuft auf der geraden Strecke fast genau mit konstanter Geschwindigkeit abwärts. Wird ihm auf dieser Strecke eine Geschwindigkeit von 4 Fuß mitgetheilt, so läuft er in der krummen Strecke noch über 4 Schienen fort.

4) Am 17. September Nachmittags. Sehr heiter, trockne Schienen, wenig Wind. Ladung 6020 Pfund, also ganze Last 8060 Pfund.

Zugkraft.

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit.

— 39 4 Fuß.

68 38 "

— 40 "

67 : 1 = 37 "

— : 1 = 39 "

68 36 "

— 39 5

67 36 "

Zugkraft.

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit.

—	39	5 Fuß.
68	36	„
Mittel = 33,8	37,9	4,4 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn = 1 : 239;

in der krummen Bahn = 1 : 213.

Der Wagen läuft in der geraden Strecke mit gleichbleibender Geschwindigkeit abwärts.

5) Am 18. September Morgens früh. Bedeckter Himmel, doch kein Regen. Feuchte Schienen. Ladung 6020 Pfund, also Last 8060 Pfund.

Zugkraft.

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit.

—	40	4 Fuß.
67	36	„
—	40	3 „
66	36	„
Mittel = 33,2	38,0	3,5 „

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn = 1 : 243;

in der krummen Bahn = 1 : 212.

6) Am 18. September Vormittags. Bedeckter Himmel. Kein Wind. Trockne Schienen. Ladung 8000 Pfund, also Last 10040 Pfund.

Zugkraft.

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit.

—	43	4 Fuß.
80	41	„
—	41	„
80	41	„
—	40	„
79	40	„
—	42	„
78	40	„
—	42	„
79	40	„
Mittel = 79,2	41,0	4 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn aufwärts = 1 : 264;

in der krummen Bahn aufwärts = 1 : 244

Der Wagen läuft mit merklicher Beschleunigung die gerade Strecke abwärts, und kommt dann in der krummen Strecke auf der 7ten Schiene erst zur Ruhe.

7) Am 25. September Vormittags. Sehr heiter. Trockne Schienen. Kein Wind. Ladung 8000 Pfund, also Last 10040 Pfund.

Zug.

Zugkraft. Geschwindigkeit.

Gerade Bahn. Krumme Bahn.

—	45	08	4 Fuß.
80	41	22	" 10
—	43	22	" —
80	41	08	" 22
—	45	08	" —
78	39	08	" 16
—	43	22	" —
79	39	08	" 08
—	41	22	" —
78	39	08	" 08

Mittel = 79,0 41,6 4 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Bahn aufwärts = 1 : 266;

in der krummen Bahn aufwärts = 1 : 241.

Der Wagen läuft auf der geraden Strecke mit Beschleunigung abwärts, und setzt dann seinen Lauf auf der krummen Bahn noch über 6 Schienen fort.

8) Am 28. September Vormittags. Sehr heiter. Kein Wind. Ladung 6000 Pfund, also Last 8040 Pfund.

Gerade Bahn.	Krumme Bahn.	Geschwindigkeit.
—	36	4 Fuß.
66	38	"
—	34	"
68	34	"
—	34	"
64	36	"
—	34	"
68	34	"
—	34	"
64	32	"

Mittel = 33,0 34,8 4 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Strecke = 1 : 244;

in der krummen Strecke = 1 : 230.

Der Wagen läuft auf der geraden Strecke mit konstanter Geschwindigkeit abwärts.

9) Am 30. September Vormittags. Sehr heiter. Kein Wind. Ladung 4000 Pfund, also Last 6040 Pfund.

Zugkraft.

Gerade Bahn. Krumme Bahn. Geschwindigkeit.

—	30	4 Fuß.
51	28	"
—	28	"
52	30	"
—	30	"
51	30	"
—	28	3
50	30	"
—	28	"
50	30	"

Mittel = 25,4

29,2

4,2 Fuß.

Also relative Zugkraft in der geraden Strecke = 1 : 238;

in der krummen Strecke = 1 : 207.

Der Wagen läuft auf der geraden Strecke von selbst abwärts.

10) Am 16. Oktober wurde der Wagen wieder mit 8000 Pfund beladen, und die Axen wurden zugleich gut geschmiert. Am 27. und 29. November lief der Wagen, der am 16. Oktober zuletzt geschmiert worden war, und seit diesem Tage nur einmal die Bahn durchlaufen hatte, mit konstanter Geschwindigkeit die gerade Strecke abwärts, und blieb dann in der krummen Strecke erst auf der 5ten Schiene stehen.

Um die Uebersicht zu erleichtern, stelle ich hier noch die Beobachtungsergebnisse geordnet zusammen.

Beobachtungen den Wagen Nr. I. betreffend.

Datum.	Beladung.	Belastung der Axen.	Ganze Last.	Relative Zugkraft in der		Verhältniß dieser Kräfte.	Bemerkungen.
	Pfund.	Pfund.	Pfund.	geraden Bahn.	krummen Bahn.		
7. Septbr.	—	888	1892	1 : 344	1 : 197	1 : 1,7	Der Wagen ist trocken.
7. Septbr.	3000	3888	4892	1 : 181	1 : 144	1 : 1,3	Der Wagen ist naß.
11. Septbr.	8000	8888	9892	1 : 149	1 : 111	1 : 1,4	Der Wagen ist naß.
12. Septbr.	8000	8888	9892	1 : 169	—	—	Der Wagen ist naß.
17. Septbr.	8000	8888	9892	1 : 253	1 : 125	1 : 2,0	Bei diesen u. den folgenden Versuchen ist der Wagen trocken.
18. Septbr.	8000	8888	9892	1 : 251	1 : 129	1 : 1,9	
25. Septbr.	8000	8888	9892	1 : 268	1 : 135	1 : 2,0	Der Wagen wurde mit Knochenfett geschmiert.
28. Septbr.	6000	6888	7892	1 : 248	1 : 126	1 : 2,0	
30. Septbr.	4000	4888	5892	1 : 254	1 : 115	1 : 2,2	
27. Novbr.	8000	8888	9892	1 : 243	—	—	Der Wagen war seit 6 Wochen nicht geschmiert worden.
29. Novbr.	8000	8888	9892	1 : 243	—	—	

Beobachtungen den Wagen Nr. II. betreffend.

Datum.	Beladung.	Belastung der Aren.	Ganze Last.	Relative Zugkraft in der		Verhältniß dieser Kräfte.	Bemerkungen.
				geraden Bahn.	krummen Bahn.		
11. Septbr.	—	1055	2010	1 : 198	1 : 180	1 : 1,10	Die Arenenden sind geklemmt.
12. Septbr.	3000	4055	5040	1 : 188	1 : 176	1 : 1,06	Ebenso.
17. Septbr.	3000	4055	5040	1 : 248	1 : 207	1 : 1,20	Die Arenenden sind von hier
17. Septbr.	6020	7075	8060	1 : 239	1 : 213	1 : 1,12	an frei.
18. Septbr.	6020	7075	8060	1 : 243	1 : 212	1 : 1,14	
18. Septbr.	8000	9055	10040	1 : 264	1 : 244	1 : 1,08	
25. Septbr.	8000	9055	10040	1 : 266	1 : 241	1 : 1,10	Der Wagen wurde mit Kno- chenöhl geschmiert.
28. Septbr.	6000	7055	8040	1 : 244	1 : 230	1 : 1,06	
30. Septbr.	4000	5055	6040	1 : 238	1 : 207	1 : 1,15	
27. Novbr.	8000	9055	10040	1 : 243	—	—	Der Wagen war seit 6 Wo-
29. Novbr.	8000	9055	10040	1 : 243	—	—	chen nicht geschmiert.

Die beiden Wagen geben also in der geraden Bahn fast dieselben Leistungen. Für starke Ladungen von 6000 bis 8000 Pfund kann man in runder Zahl annehmen, daß 1000 Pfund Last durch 4 Pfund Zugkraft in Bewegung gesetzt werden. Diese 1000 Pfd. Last bestehen aus 250 Pfd. tochter Last und 750 Pfd. Ladung, so daß für 1000 Pfd. Ladung $5\frac{1}{2}$ Pfd. Zugkraft erforderlich sind. Auf das Schmieren, das Reinigen der Schienen und Radringe, das Abhaken von Staub ist absichtlich wenig Sorgfalt verwendet worden, es unterliegt daher gar keinem Zweifel, daß die Wagen bei dem täglichen Gebrauch, so lange sie nicht schadhast geworden sind, dieselben Leistungen geben werden.

An den englischen Wagen, welche in den nördlichen Kohlendistrikten gebraucht werden, sind die Pfannen weniger sorgfältig gearbeitet, als bei unsern Probewagen. Vor Stockton schwenkt sich ein Seitenarm von der Hauptbahn ab; er geht über den Dees und verlängert sich noch weit Fluß abwärts, um die Ausladeplätze zu erreichen, wohin tiefgehende Seeschiffe noch gelangen können. Der Fluß ist durch eine sehr leicht gebaute Kettenbrücke überspannt. Einer Strecke von einigen hundert Ruthen, von welcher die Brücke noch einen Theil ausmacht, hat man eine Steigung von 4 Zoll auf die Chain, also von $\frac{1}{125}$ gegeben. Daß diese Steigung die richtige sei, habe ich durch ein sorgfältiges Nivellement selbst untersucht. Die Wagen laufen hier, nach genauer Beobachtung an etwa 50 bis 60 Zügen von je 2 Wagen, ohne merkliche Beschleunigung abwärts. Daß der Wagen Nr. I. so günstige Resultate geliefert, liegt an der Vorzüglichkeit der Ausführung, auf welche man beim großen Verkehr schwerlich wird rechnen dürfen. Wie schon bemerkt worden, sind die Aren des Wagens Nr. II. sehr merklich unregelmäßig und es ist vorstehend angeführt, daß die Aren sich klemmen, indem sie mit ihren innern Köpfen sich

gegen die Wagenkasten anbrängten. Dieser Fehler wurde jedoch verbessert. Auch sind die Nadringe an diesem Wagen nicht so sauber abgedreht, als an dem andern. Die Leistungen dieses Wagens werden also später wahrscheinlicher übertroffen, als bloß erreicht werden. Eine Folge der sehr genauen Konstruktion des Wagens Nr. I. ist es, daß, wenn der Wagen naß wird, die zu seiner Bewegung erforderliche Zugkraft außergewöhnlich zunimmt, wie dies die Beobachtungen vom 7ten, 11ten und 12ten September lehren. Die Lager passen nämlich so genau auf die abgedrehten Theile der Axe, daß bei der geringsten Ausdehnung des Wagenkastens durch Rässe eine Klemmung zwischen den Brüstungen der Axe, auf welchen die Staubleiber sitzen statt findet, wodurch die erforderliche größere Zugkraft bedingt wird.

Außer den mitgetheilten Versuchen habe ich noch mehrere andere angestellt, um zu erforschen, welchen Einfluß die Geschwindigkeit auf die Zugkraft habe. Es wurde den Wagen zu dem Ende auf der geraden Bahn eine Geschwindigkeit von 1 bis 8 Fuß in der Sekunde mitgetheilt und beobachtet, ob diese Geschwindigkeit sich beschleunige, gleich bleibe, oder sich verzögere. Die gerade Bahn ist nicht lang genug, und nicht regelmäßig genug gelegt, um sehr genaue Versuche dieser Art auf ihr anzustellen. So weit meine Beobachtungsmittel reichten, konnte ich keinen Unterschied in der Zugkraft bemerken. Eben so wenig ist es mir, trotz der sorgsamsten Aufmerksamkeit, bemerkt worden, daß die Zugkraft sich verändere, wenn die Schienen aus dem trocknen Zustand in den feuchten oder nassen übergehen. Ich muß gestehen, daß mir die Versuche anderer Beobachter, welche eine solche Veränderung nachweisen wollen, sehr verdächtig vorkommen.

Nach Versuchen von Wood (On Railroads, p. 217 seq.) beträgt der Widerstand an dem Umfange von 30 bis 40zölligen Eisenbahnrädern nicht über $\frac{1}{1000}$ der Last. Nehmen wir nun den gesammten Widerstand bei den Versuchswagen zu $\frac{1}{250}$ oder $\frac{1}{1000}$ an, so beträgt der Widerstand an den Axen $= \frac{1}{1000}$. Nun kann der Umstand, daß die Schienen trocken oder naß sind, aus Gußeisen oder Schmiedeeisen bestehen; daß die Nadringe gehärtet sind oder nicht, daß diese aus Gußeisen oder Schmiedeeisen bestehen, unstreitig den Widerstand an der Peripherie nur um wenige Procente verändern, so daß sie, in dem ganzen Widerstand auf ein Viertel reducirt, nur bei sehr genauen Versuchen wieder zu erkennen sein werden. Versuche von so großer Genauigkeit, daß das einzelne Procent verbürgt werden kann, sind, so viel ich weiß, bisher noch nicht ausgeführt worden. Es scheint mir also, als seien die Versuche dadurch nicht beeinträchtigt worden, daß ich die Nadringe nicht habe härten lassen, welches die Ober-Vaudeputation empfohlen hatte. Zudem hat die Erfahrung auf der Liverpool- und Manchesterbahn gelehrt, daß bei schnellen Bewegungen die gußeisernen Räder zu viele Gefahr bringen. Die Räder werden darum dort sämmtlich, sowohl an den Personen- als an den Frachtwagen, mit schmiedeeisernen Ringen umzogen. Sollten also auch weiche oder harte Nadringe auf die Zugkraft einen geringen Einfluß üben, so werden meine Versuchsergebnisse den künftigen Erfahrungen im Großen mehr sich anpassen, als wenn ich die Versuche mit gehärteten Nadringen angestellt hätte, die wahrscheinlich in vielen Fällen wieder außer Gebrauch kommen werden.

Nach den vorhin entwickelten Daten beträgt die absolute Reibung an den Axen bei dem Wagen Nr. I. $\frac{1}{25}$, und bei dem Wagen Nr. II. $\frac{1}{12}$ der Belastung. Die Gesetze der Reibung

sind bei weitem noch nicht genug aufgeklärt, um aus diesen Resultaten mit Sicherheit allgemeine Folgerungen zu ziehen. Die Coulomb'schen Versuche, so wichtig und vortrefflich sie zu ihrer Zeit waren, haben bei den neuern Fortschritten der Mechanik ihren Werth verloren. Die Versuche von Rennie haben für unsere Zeiten durchaus nicht den Werth, den die Coulomb'schen Versuche für ihre Zeit in Anspruch nahmen^{*)}. Und so bleibt es also wünschenswerth, daß die praktische Mechanik durch neue, umfassende Versuche über die Reibung bereichert werde. Nach unserer jetzigen Kenntniß der Reibungsgesetze scheint es mir, daß der große Reibungs-Coefficient beim Wagen Nr. II., abgesehen von der unregelmäßigen Form der Axen, vermindert werden würde, wenn die Axen auf $\frac{3}{4}$ Zoll verstärkt, und die wirkenden Enden von $2\frac{1}{2}$ Zoll auf 3 Zoll verlängert würden. Sowohl in der Dicke als in der Länge der Axen habe ich absichtlich das Minimum gewählt, um durch die Versuche den Werth der Grenze festzusetzen. Es scheint mir keinem Zweifel unterworfen, daß bei dieser Abänderung durch Verminderung des Reibungs-Coefficienten mehr werde gewonnen, als durch Vergrößerung des Verhältnisses der Durchmesser von Ase und Rad eingebüßt werden.

Die Durchschnittsflächen der 8 Axen des Wagens Nr. II., so weit sie in den Lagern liegen, betragen $22\frac{1}{2}$ Quadrat Zoll. Bei 8000 Pfd. Ladung sind die Axen mit 9055 Pfd., also ist jeder Quadrat Zoll mit 400 Pfd. belastet. Daß diese Belastung noch keine ungewöhnlich starke Reibung hervorbringt, leuchtet daraus ein, daß der Wagen Nr. II. bei starken Belastungen einen entschieden günstigeren Effect giebt, als bei geringern Ladungen. Werden die Axen nach dem obigen Vorschlag verstärkt, so erweitert sich die Durchschnittsfläche auf 36 Quadrat Zoll, so daß dann jeder Quadrat Zoll mit 250 Pfd. belastet sein wird. An den Wagen auf der Liverpool- und Manchesterbahn sind die Zapfen 2 Zoll dick und $3\frac{1}{2}$ Zoll lang; ihre gesammte Durchschnittsfläche beträgt also 28 Quadrat Zoll; und da sie oft Frachten von 8000 bis 10000 Pfd. tragen, so ist jeder Quadrat Zoll mit 300 bis 400 Pfd. belastet. — Mein obiger Vorschlag zielt mehr dahin ab, den Rädern durch die stärkern und längern Axen mehr Stabilität in der Bewegung zu geben, als die Reibungsfläche zu vergrößern. Der Wagen Nr. I. verdankt seine ausgezeichneten Leistungen seiner ausgezeichneten Ausführung. Bei derselben Konstruktion und denselben Verhältnissen werden bei großem Verkehr sich diese Leistungen etwas vermindern. Dagegen ist allerdings zu bemerken, daß durch Vergrößerung der Räder von 30 Zoll auf 36 Zoll, welcher keinerlei Uebelstand entgegen steht, der Widerstands-Coefficient ziemlich bedeutend vermindert werden kann. Der Wagen Nr. II. mag also in der geraden Bahn nach seiner weitem Ausbildung vor dem Wagen Nr. I. nicht sehr bedeutende Vorzüge haben. Ganz anders stellt sich aber das Verhältniß für die krumme Bahn heraus. Hier sind die Vorzüge des Wagens Nr. II. sehr groß. Bei einer Krümmung von 50 Ruthen Radius vergrößert sich nämlich im Mittel die Zugkraft für den Wagen Nr. I. um 100 pro Cent, und für den Wagen Nr. II. nur um 12 pro Cent.

^{*)} Die Versuche von Morin sind sehr vortrefflich durchgeführt, aber sie beziehen sich bloß auf den Fall, daß reibende Ebenen sich auf einander hinbewegen. Die Reibung in den Rädern und an den Zapfen ist von Morin gar nicht untersucht worden. Es bleibt also noch immer eine große Lücke durch fernere Beobachtungen auszufüllen. Morin findet bei allen seinen Versuchen die geringste Reibung zu $\frac{1}{20}$ (Stahl auf Bronze mit Oelschmiere). Zu einer allgemeinen Theorie der Reibung haben ihn seine Versuche ebenfalls noch nicht gelangen lassen.

Der Haupt-Konstruktionsfehler des Wagens Nr. I. liegt in der Form der Radringe. In der geraden Bahn laufen die Wagen nie mit dem Radrand an die Schienen. Die durchaus nothwendige konische Form der Ringe verhindert dieses Anlaufen. Wären die Ringe cylindrisch, so würden die Ränder stets anstreifen, indem die Räder nie so genau denselben Durchmesser haben können, daß der Lauf des Wagens den Schienen ganz genau parallel bliebe. Aus einem ähnlichen Grund muß die Oberfläche der Schienen durchaus gewölbt sein, denn die Schienen können nie so genau gelegt werden, daß die Oberfläche, wenn sie eben wäre, sich flach an den Radring legte. Man darf nicht übersehen, daß hartes und glattes Eisen auf hartem und glattem Eisen hinrollen soll. Der Wagen Nr. I. hat solche konische Radringe, welche das Schief- laufen auf der geraden Bahn ganz verhüten. In der krummen Bahn werden aber bei jedem vierrädrigen Wagen, dessen Axen die parallele Lage nicht ändern können, die Räder an die Schienen laufen. Nun ist bei dem Wagen Nr. I. der Rand innen auf den Ring fast rechtwinklich aufgesetzt, die Räder streifen also stark an den Schienen vorbei, wodurch eine starke Abnutzung sowohl der Räder, als der Schienen entsteht. Bei den hier beschriebenen Versuchen ist diese Abnutzung schon sehr merklich eingetreten, und hierin liegt der Hauptfehler des Wagens Nr. I. Wenn die Ränder durch eine passende Rundung mit dem Randring verbunden sind, wie dies bei dem Wagen Nr. II. statt findet, so werden diese Ränder von den Schienen abgewiesen, bevor sie höher hinauf zur Berührung kommen. Die Versuche bestätigen diesen Satz vollkommen. Mögen nun auch beide Arten von Rädern gleich stark an die Schienen gedrängt werden, so wird doch die letztere Art bei weitem den geringern Widerstand veranlassen, weil für denselben ein viel kleinerer Hebelarm für die Last in Betracht kommt. In ganz England sieht man auf guten Bahnen keine andern Räder, als die nach der zweiten Konstruktion gebauten. Bei Leeds sahe ich einige Materialwagen mit so ungünstig geformten Radringen, wie die des Wagens Nr. I. sind; freilich kommen aber auch auf der Leeds-Selbybahn nur Krümmungen mit sehr großen Radien vor. Im Allgemeinen aber muß der Radrand mit dem flachen Theil des Kranzes in einem Bogen von etwas größerm Radius, als der des Schienenkopf-Randes ist, sich verbinden.

Die Räder des Wagens Nr. I. an der einen Seite auf den Axen nicht fest zu keilen, konnte gar nichts nützen. Denn sollte nicht die große Genauigkeit der Konstruktion, der allein die günstigen Resultate zu verdanken sind, verloren gehen, so mußten die Axen so genau in die Naben passen, daß auch ohne Verkeilung an kein Umdrehen der Räder um die Axen zu denken ist. Sollten die Räder sich um die Axen drehen können, so müßte diese Genauigkeit geopfert werden. Ferner wäre erforderlich, der ganzen Nabe eine andere Konstruktion zu geben, weil bei der jetzigen Konstruktion die Reibung an der innern Brüstung der Axen und an dem Vorstecknagel zu bedeutend sein würde, als daß sich das Rad drehen könnte. Ich gebe hier zu bedenken, daß die Reibung weniger als $\frac{1}{4}$ betragen muß, wenn das Rad sich um die Axen drehen soll. Und die Reibung im Innern der Nabe wird nie auf diese Größe vermindert werden können, man möge Rad und Axen konstruiren, wie man wolle*).

*) Das Gutachten der Ober-Bau-Deputation macht es mir zum schweren Vorwurf, daß ich nicht die Räder des Wagens Nr. I. an der einen Seite unverkeilt gelassen, weswegen ich mich bewogen finde, auf diesen Gegenstand

Bei 600 Fuß Radius und 4 Fuß Spurweite verhält sich die Länge der innern Schiene zur Länge der äußern Schiene wie 150 : 151. Dies Verhältniß macht auf Räder von 15 Zoll Halbmesser = 1,2 Linien aus. Wenn also die Radringe sich um 0,6 Linie verjüngen, und der eine Radring dicht an dem Rande auf der Schiene läuft, während der Radring an der andern Seite mit dem äußern Theil auf der Schiene fortrollt, so wird der Unterschied zwischen beiden Schienenlängen durch die Räder völlig ausgeglichen. Nun beträgt aber die Verjüngung der Radringe am Wagen Nr. I. gegen 1 Linie und am Wagen Nr. II. gegen 2 Linien, man sieht also, daß kein Rad geschleift zu werden braucht, damit der Wagen sich in Krümmungen von 50 Ruthen Halbmesser fortbewegen könne. Freilich haben die getrennten Axen des Wagens Nr. II. den Vortheil voraus, daß ihre Umdrehungsgeschwindigkeit der Fortbewegung in den Krümmungen ganz genau kann angepaßt werden, während bei den verbundenen Axen ein Schleifen nie ganz vermieden werden kann.

Der zweite wesentliche Vortheil der kurzen getrennten Axen besteht aber darin, daß dieselben nie so genau in die Lager passen, daß die Räder sich nicht etwas schief stellen können. Diese Schiefe braucht nur sehr gering zu sein, damit sich der Wagen ohne großen Widerstand in Krümmungen fortbewegen könne. Und diese beiden Umstände bewirken es, daß der Widerstand in Krümmungen bei dem Wagen Nr. II. nur so wenig zunimmt.

Sollen Eisenbahnen durch unsere Gebirgsgegenden hingeführt werden, so müssen sie sich an den Bergwänden hinschlängeln; es sind dabei sehr viele Krümmungen nöthig, und es kommen leicht Krümmungen von 40 Ruthen Radius vor, die nur durch bedeutende Geldopfer beseitigt werden können. Für England finden diese schwierigen Verhältnisse fast gar nicht statt. Der Wagen Nr. II. ist allerdings wohl noch der Vervollkommnung bedürftig, aber er ist ihrer auch fähig. Und dann möchte er sich mehr für unsere Eisenbahnen eignen, als der englische Bahnwagen, selbst in der verbesserten Konstruktion, wie er jetzt zwischen Liverpool und Manchester im Gebrauch ist.

Wie schon oben bemerkt worden ist, brachten Fagott und Neander Wagen mit getrennten

hier noch näher einzugehen. Das viereckige Axenloch, welches den Vorstecknagel aufnimmt, setzt sich in das Innere der Nabe fort, so daß das Rad durch den Nagel so fest an die innere Brüstung gedrückt wird, daß keine Umdrehung des Rades um die Ase statt finden kann, wenn auch die Verkeilung nicht vorhanden wäre. Sollten sich die Räder an der einen Seite um die Ase drehen, so müßte die vorgeschriebene Konstruktion, von der abzugehen ich keine Befugniß hatte, eine ganz andere sein. Aber auch eine veränderte Konstruktion würde ihres Zwecks verfehlt haben, da es, so weit man die Reibungsgesetze kennt, für unmöglich gehalten werden muß, die Reibung in den Naben auf $\frac{1}{4}$ zu ermäßigen. Ich habe mich bei unserm Wagen durch direkte Versuche davon überzeugt. Ich ließ an dem einen Rad die Verkeilung wegnehmen, und den Nabensitz sehr gut einschmieren. Wenn man nun, nachdem der Wagen in die Höhe gewunden war, so daß das bezügliche Paar Räder frei wurde, an den Speichen des lose aufsitzenden Rades drehte, so drehte sich stets die Ase in ihren Lagern, nicht das Rad auf seinem Sitz. Nun aber drückte auf die Lager ein Gewicht von 502 Pfd. (die Ase mit beiden Rädern), auf den Nabsitz nur ein Gewicht von 195½ Pfd. (ein Rad). Die Reibung auf dem Nabsitz betrug also wenigstens $\frac{502}{195\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{28} = \frac{1}{11}$. Zu dieser Reibung kommt auf der Bahn noch auf jedem Fall die Reibung an der Axenbrüstung und an dem Vorstecknagel, die ziemlich bedeutend werden kann. Es ist also nicht zu erwarten, daß der Widerstand in Bahnkrümmungen dadurch vermindert werden könne, daß man an der einen Seite die Räder lose auf die Axen steckt.

ten Axen für gewöhnliche Straßen in Vorschlag. Die Gründe sind sehr einleuchtend, warum dies Bestreben mißglücken mußte. Es darf aber keineswegs der Schluß gemacht werden, daß ein Prinzip für den Bau von Frachtwagen, welches sich bei gewöhnlichen Straßen nicht bewährte, auch für Eisenbahnen zu keinem befriedigenden Resultat führen könne. Auf der Eisenbahn ist die Reibung an den Axen, auf gewöhnlichen Straßen ist der Widerstand an der Peripherie der Räder überwiegend; dort kommen nur geringe, hier sehr starke Stöße vor; dort brauchen nur Biegungen in flachen Bogen gemacht zu werden, hier sind scharfe Wendungen nöthig. Diese Unterschiede üben den durchgreifendsten Einfluß auf die Wagenkonstruktion aus. Der Stephenson'sche Wagen hat sich auf den Eisenbahnen vollkommen bewährt, auf gewöhnlichen Straßen würde er gegen die gebräuchlichen Wagen sehr zurückstehen. Die hier erörterten Versuche werden wenigstens den Beweis geliefert haben, daß selbst für Krümmungen mit kleinem Radius Frictionsräder gar nicht nöthig sind *).

Es würde, nach der ausgesprochenen Ansicht der Ober-Baudeputation, von Werth gewesen sein, wenn durch die Versuche die Fehlergrenze, die beim Legen der Schienen dürfte vorgeschrieben werden, so wie die Zunahme der Zugkraft bei fehlerhaft gelegten Schienen, hätten ermittelt werden können. Bei einem einmaligen Legen der Schienen auf einer so kurzen Strecke konnten natürlich die Beobachtungen über die Fehlergrenze keine sichern Anhaltspunkte gewähren. Nach meinen bisherigen Erfahrungen scheint es mir, als ob Fehler im Legen der Schienen von 12 bis 15 Minuten wohl könnten vermieden werden. — Wenn beabsichtigt wird, den Einfluß von Unregelmäßigkeiten in den Schienenlagen, von dem Feuchtigkeitszustand ihrer Oberfläche, oder von dem beschmutzten Zustand derselben, auf die Zugkraft genau nachzuweisen, so ist durch aus eine viel längere Bahnstrecke erforderlich, als die mir zu Gebote stand. Auch müssen dann noch genauere Beobachtungsmethoden angewendet werden.

Ich bescheide mich gern, daß durch meine Versuche noch nicht alle Fragen erledigt wurden, die über den sehr weitschichtigen Gegenstand der Eisenbahnen von Interesse sind.

Wir kommen jetzt zu den Versuchen über die Tragkraft der Schienen. Ich habe diese in doppelter Art ausgeführt. Zuerst habe ich diese Tragkraft auf der Bahn selbst untersucht, wobei die Schienen also in derjenigen Lage waren, worin sie beim Gebrauch die Lasten zu tragen haben. Derartige Versuche sind, so viel ich weiß, noch nicht angestellt worden. Sie bieten außer den gewöhnlichen Schwierigkeiten, welche die genaue Bestimmung von so geringen Durchbiegungen bei sehr bedeutenden Belastungen mit sich führen, noch besondere dar, die nicht viel geringer sind und welche solche Versuche bisher verhindert haben mögen. Als Gegenversuch habe ich dann ferner noch die Tragkraft der Schienen auf die gewöhnliche Weise einer genauen Prü-

*) Bei den Versuchen, die mit den v. Baader'schen Wagen am 2. Juni 1826 zu Nymphenburg angestellt wurden, bedurfte es der Anstrengung von drei starken Männern, um 5 Wagen, die nebst Ladung 266 Centner wogen, auf einer geneigten Ebene von $\frac{1}{4}$ Fall abwärts zu bewegen. (Ueber die Vortheile einer verbesserten Bauart von Eisenbahnen und Wagen, von J. v. Baader, S. 63). Der Widerstand wird also unstreitig über $\frac{1}{10}$ betragen haben.

Prüfung unterworfen. Die Durchbiegungen der Schienen habe ich, wie bei meinen frühern Versuchen über die Tragkraft der gußeisernen Schienen, durch Neigungswinkel gemessen. Das Prinzip dieser Messungsweise besteht darin, daß die Durchbiegung der Schiene einer, um eine feste Axe beweglichen, Ebene diejenige Neigung mittheilt, deren Sinus der Durchbiegung proportional ist. Die Neigungen wurden durch ein eigenthümliches Nivellirinstrument gemessen, welches die Winkel auf 12 Sekunden zuverlässig genau anzeigt. Die Genauigkeit, mit welcher die Durchbiegungen selbst daraus berechnet werden können, soll weiter unten erörtert werden.

Die Belastung der Schienen geschah durch die Wagen selbst. Die Wagen wurden mit 8000 Pfd. Steinen beladen, die möglichst gleichförmig in dem Kasten vertheilt wurden. Da die Wagen sehr regelmäßig und nach allen Seiten symmetrisch gebaut sind, so kann mit ziemlicher Sicherheit angenommen werden, daß jedes Rad die Schiene mit $\frac{1}{2}$ des Gesamtgewichtes belastet. Daß die Schienenflächen nicht ganz genau parallel sind, übt nur einen geringen Einfluß aus, indem die Wagenlasten und Gestelle leicht so viel nachgeben, um diese Unregelmäßigkeiten auszugleichen. Bei dem Wagen Nr. I. übt also jedes Rad einen Druck von 2473 Pfd., und bei dem Wagen Nr. II. einen Druck von 2510 Pfd. aus.

Die Radmittelpunkte stehen bei dem Wagen Nr. I. 39 Zoll und bei dem Wagen Nr. II. 42 Zoll von einander ab. Es kann also jede Schienenabtheilung nur mit einem Rade belastet werden. Es wurde bei den Schienen die erste und dritte oder mittlere Abtheilung in ihrer Tragkraft untersucht. Die verschiedenen Lagen der Wagenräder zu den Schienen will ich auf folgende Art bezeichnen. Lage 1: das Vorderrad steht mitten auf der untersuchten Schienenabtheilung, das Hinterrad auf der nächstanliegenden Schiene, wenn die erste Abtheilung untersucht wird, und wenigstens auf einer andern Schienenabtheilung, wenn die mittlere Abtheilung untersucht wird. Lage 2: das Hinterrad steht auf der Mitte der untersuchten Schienenabtheilung, das Vorderrad auf einer andern Abtheilung derselben Schiene. Lage 3: das Vorderrad steht auf dem Anfangspunkt der Schiene und derjenigen Schienenabtheilung, deren Depression in der Mitte untersucht wird, das Hinterrad steht auf der andern Schiene. Lage 4: das Vorderrad steht auf dem Ende der ersten Schienenabtheilung, deren Depression in der Mitte untersucht wird, also das Hinterrad noch auf einer andern Schiene. Lage 5: das Hinterrad steht auf der Mitte der zweiten Schienenabtheilung, während die Depression der Mitte der ersten Abtheilung untersucht wird. Lage 6: das Vorderrad steht auf der Mitte der zweiten Schienenabtheilung, während die Depression der Mitte der dritten Abtheilung untersucht wird. Lage 7: das Vorderrad steht auf dem Anfangspunkt der dritten Schienenabtheilung, während die Depression der Mitte dieser Abtheilung untersucht wird. In den drei letzten Lagen hat die Schiene, welche der Untersuchung unterworfen wird, die Last von 2 Rädern zu tragen. Dasselbe findet statt in dem zweiten Fall der ersten und zweiten Lage. In allen übrigen Lagen trägt die Schiene nur den Druck von einem Rade. Der Bewegungsradius des zum Messen angewendeten Instruments, senkrecht auf die Richtung der Bewegung gemessen, beträgt 98,86 Linien, so daß jede Minute Neigung einer Depression von 0,02966 Linie, und $\frac{1}{2}$ Minute, die bei den Messungen noch verbürgt werden kann, einer Depression von 0,00593 Linie entspricht.

Ich habe mich auf das genaueste davon überzeugt, daß die untersuchten Schienen fest auf dem Boden der Stuhleinschnitte auflagen, so wie daß diese Stühle unbeweglich auf den Lagersteinen standen. Dennoch drücken sich die Schienen über den Stühlen etwas nieder, wenn sie stark belastet werden. Meine Versuche lehren dies, so wie es auch ohne solche sicher gefolgert werden kann. Diese Niederdrückung der Stühle ist, nach der Art meiner Versuche, bei der Niederdrückung der Mittelpunkte der Schienenabtheilungen mit inbegriffen, so daß die letztere nicht rein als Durchbiegung der Schiene angesehen werden kann. Die Niederdrückung der Stühle war bei meinen Versuchen eine vollkommen elastische; nach Aufhebung der Belastung verschwand sie vollständig, auch wiederholte Belastungen ließen keine bleibende Spur von ihr zurück. Die spätern Versuche über die Tragkraft der Schienen geben die reinen Durchbiegungen, so daß die Versuche über die Tragkraft der Schienen auf der Bahn selbst durch sie völlig verständlich werden. Ferner habe ich noch Versuche darüber angestellt, wie stark sich die Schienen durchbiegen, wenn die Wagen mit einer Geschwindigkeit von 8 Fuß die Sekunde über sie hinlaufen. Alle Beobachtungen sind doppelt gemacht, die größte Differenz zwischen beiden Beobachtungen beträgt 0,5 Minute. Ich beschränke mich darauf, die Mittel aus beiden Beobachtungen in den Tabellen aufzustellen.

1) 21. September. Die 5te der gebauchten Schienen im linken Zuge, erste Abtheilung. Länge = 31,17 Zoll (zwischen den Stählen).

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen I. Lage 1. = 18,7 Minuten. 0,555 Linien.

2. = 19,9 0,590

II. Lage 1. = 19,5 0,578

2. = 18,9 0,560

I. im Laufe = 20,2 0,599

Bleibende Depression = 0,4 0,012 zweifelhaft.

2) 21. September. Die 5te der gebauchten Schienen im linken Zuge, mittlere Abtheilung. Länge = 31,53 Zoll.

Depression im Winkel, in der Linie

Wagen I. Lage 1. = 12,5 Minuten. 0,371 Linien.

2. = 9,2 0,273

II. Lage 1. = 12,7 0,377

2. = 8,5 0,252

I. im Laufe = 13,0 0,386

Bleibende Depression = 0 0

3) 21. September. Die 5te der gebauchten Schienen im rechten Zuge, erste Abtheilung. Länge = 30,69 Zoll.

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen I. Lage 1. = 26,8 Minuten. 0,795 Linien.

2. = 27,5 0,816

II. Lage 1. = 25,0 0,742

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen II. Lage 2. = 27,8 Minuten. 0,825 Linien.

Wagen I. im Laufe = 30,0 = 0,890

bleibende Depression = 0 = 0

4) 21. September. Die 5te der gebauchten Schienen im rechten Zuge, mittlere Abtheilung. Länge = 30,69 Zoll.

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen I. Lage 1. = 13,4 Minuten. 0,397 Linien.

2. = 15,5 = 0,460

II. Lage 1. = 12,7 = 0,377

2. = 17,8 = 0,528

I. im Laufe = 18,0 = 0,534

bleibende Depression = 0 = 0

5) 24. September. Die 6te der gebauchten Schienen im linken Zuge, erste Abtheilung. Länge = 30,68 Zoll.

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen I. Lage 1. = 12,8 Minuten. 0,380 Linien.

2. = 15,4 = 0,457

II. Lage 1. = 12,9 = 0,383

2. = 15,4 = 0,457

3. = 3,6 = 0,107

4. = 9,3 = 0,276

5. = 5,3 = 0,157

I. im Laufe = 15,2 = 0,451

bleibende Depression = 0 = 0

6) 24. September. Die 6te der gebauchten Schienen im linken Zuge, mittlere Abtheilung. Länge 30,92 Zoll.

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen I. Lage 1. = 9,5 Minuten. 0,282 Linien.

2. = 10,6 = 0,314

II. Lage 1. = 9,0 = 0,267

2. = 10,0 = 0,297

6. = 0 = 0

7. = 1,4 = 0,042

I. im Laufe = 11,2 = 0,332

bleibende Depression = 0 = 0

7) 23. Septbr. Die 4te der Parallelschienen im linken Zuge, erste Abtheilung. Länge = 28,13 Zoll.

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen I. Lage 1. = 13,1 Minuten. 0,388 Linien.

2. = 9,9 = 0,294

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen II. Lage 1. = 11,2 Minuten. 0,332 Linien.

2. = 10,5 = 0,311

II. im Laufe = ... = ...

Bleibende Depression = 0 0

8) 23. Septbr. Die 4te der Parallelschienen im linken Zuge, mittlere Abtheilung. Länge = 31,65 Zoll.

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen I. Lage 1. = 22,4 Minuten. 0,664 Linien.

2. = 24,5 = 0,727

II. Lage 1. = 17,7 = 0,525

2. = 21,5 = 0,638

II. im Laufe = 20,7 = 0,614

Bleibende Depression = 0 0

9) 23. Septbr. Die 4te der Parallelschienen im rechten Zuge, erste Abtheilung. Länge = 30,07 Zoll.

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen I. Lage 1. = 13,6 Minuten. 0,403 Linien.

2. = 13,5 = 0,400

II. Lage 1. = 13,8 = 0,409

2. = 13,1 = 0,389

I. im Laufe = 16,3 = 0,483

Bleibende Depression = 0 0

10) 23. September. Die 4te der Parallelschienen im rechten Zuge, mittlere Abtheilung. Länge 32,01 Zoll.

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen I. Lage 1. = 21,2 Minuten. 0,629 Linien.

2. = 16,1 = 0,478

II. Lage 1. = 20,1 = 0,596

2. = 17,0 = 0,504

II. im Laufe = 20,1 = 0,596

Bleibende Depression = 0 0

11) 24. September. Die 2te der Parallelschienen im rechten Zuge, erste Abtheilung. Länge = 31,17 Zoll.

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen I. Lage 1. = 14,4 Minuten. 0,427 Linien.

2. = 8,9 = 0,264

II. Lage 1. = 13,7 = 0,406

2. = 11,7 = 0,347

I. Lage 3. = 3,9 = 0,116

Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen II. Lage 3. = 3,9 Minuten. 0,116 Linien.

I. im Laufe = 17,6 0,522

Bleibende Depression = — —

12) 24. September. Die 2te der Parallelschienen im rechten Zuge, mittlere Abtheilung.
Länge = 31,17 Zoll. Depression im Winkel, in der Linie.

Wagen I. Lage 1. = 15,6 Minuten. 0,463 Linien.

2. = 19,4 0,575

II. Lage 1. = 17,4 0,516

2. = 16,9 0,501

6. = 4,1 0,122

7. = 9,7 0,288

II. im Laufe = 18,1 0,537

Bleibende Depression = — —

Es sind also drei gebauchte und drei Parallelschienen in ihrer Tragkraft untersucht worden, und zwar von jeder die erste und dritte oder mittlere Abtheilung. Zur leichtern Uebersicht sollen hier die mittlern Resultate der Beobachtungen zusammengestellt werden.

Bezeichnung der		Länge.	Depression für den Wagen Nr. I.		Depression für den Wagen Nr. II.		Depression 1000 Pfd. Last für das Rad	
Schiene.	Schienenab- theilung.		im Winkel.	in der Linie.	im Winkel.	in der Linie.	in der Ruhe.	in der Be- wegung.
Gebauht	erste	Zoll.	Minuten.	Linien.	Minuten.	Linien.	Linien.	Linien.
		31,17	19,30	0,572	19,20	0,569	0,229	0,242
		30,69	27,15	0,805	26,40	0,783	0,319	0,360
	mittlere	30,68	14,10	0,418	14,15	0,420	0,168	0,182
		31,53	10,85	0,322	10,60	0,314	0,128	0,156
		30,69	14,45	0,429	15,25	0,452	0,177	0,216
Parallel	erste	30,92	10,05	0,298	9,50	0,282	0,116	0,138
		28,13	11,50	0,341	10,85	0,322	0,133	—
	mittlere	30,07	13,55	0,402	13,45	0,399	0,161	0,195
		31,17	11,65	0,346	12,70	0,377	0,145	0,211
		31,65	23,45	0,696	19,60	0,581	0,256	0,245
		32,01	18,65	0,553	18,55	0,550	0,221	0,237
		31,17	17,50	0,519	17,15	0,509	0,206	0,214
		Mittel						
Gebauht	erste	30,85	20,18	0,599	19,92	0,591	0,239	0,261
	mittlere	31,05	11,78	0,349	11,78	0,349	0,140	0,170
Parallel	erste	29,79	12,23	0,363	12,33	0,366	0,146	0,203
	mittlere	31,61	19,87	0,589	18,43	0,547	0,228	0,232
Hauptmittel								
Gebauht	—	30,95	15,98	0,474	15,85	0,470	0,189	0,216
Parallel	—	30,70	16,05	0,476	15,38	0,456	0,187	0,217

Wir können aus diesen Beobachtungen die folgenden Hauptergebnisse herausziehen.

1) Auf der Bahn drücken sich auch die Stühle und Steine um eine sehr merkliche Größe nieder; diese Senkung verschwindet aber vollständig nach Aufhebung des Drucks.

2) Bei den gebauchten Schienen drückt sich die Mitte der ersten Abtheilung 1,71 Mal so stark durch, als die Mitte der dritten Abtheilung.

3) Bei den Parallelschienen findet gerade der umgekehrte Fall statt. Es biegt sich hier die Mitte der mittlern Abtheilung 1,55 Mal so stark durch, als die Mitte der ersten Abtheilung*).

4) Die Durchbiegung der Schienen ist für den Wagen Nr. I. durchschnittlich 1,026 Mal so groß, als für den Wagen Nr. II., obschon auf jedes Rad des letztern Wagens ein um $1\frac{1}{2}$ pro Cent stärkerer Druck ausgeübt wird. Der Grund davon scheint mir mehr in zufälligen Ursachen, als in der verschiedenen Entfernung der Radmittelpunkte von einander (bei Nr. I. = 39 Zoll und bei Nr. II. = 42 Zoll) zu liegen**).

5) Die Durchbiegungen betragen durchschnittlich 16 pro Cent mehr für den sich bewegenden, als für den ruhenden Wagen.

6) Die beiden Arten von Schienen scheinen auf der Bahn durchaus gleiche Stärke zu haben. Diese Ansicht ist auch in England die gangbare, und wurde namentlich von dem Hause Loth, Wilson und Bell ausgesprochen. Da nun für gleiche Länge das Gewicht der Parallelschienen 11,1 pro Cent mehr als das der gebauchten Schienen beträgt; da beide Arten von Schienen sich gleich gut auswalzen lassen; da ferner die gebauchten Schienen besser in den Stählen befestigt werden können, als die Parallelschienen: so scheint mir der Vorzug der ausgebauchten Form entschieden***).

Um nun noch die Tragkraft der Schienen möglichst genau und rein von allen fremden Einflüssen zu bestimmen, ließ ich die 12te linksseitige gebauchte und die erste linksseitige Parallel-

*) Ich habe Veranlassung, hier auf das bestimmteste zu erklären, daß, so sehr das vorstehende Resultat der Beobachtung anomal zu sein scheint, doch an Fehler in den Beobachtungen, oder an eine Verwechslung derselben, nicht gedacht werden darf. Das hier in Rede stehende Verhältniß wurde mir natürlich schon während der Beobachtungen bekannt, und mußte mich bewegen, diesen nun eine doppelte Sorgfalt zuzuwenden. Ich darf das ausgesprochene Faktum darum völlig verbürgen.

**) Ich muß hier darauf aufmerksam machen, daß der absolute Unterschied in den Durchbiegungen der Schienen $\frac{1}{10}$ Linie, also nur eine mikroskopische Größe, beträgt. Der Grund dieser Anomalie in den Beobachtungsergebnissen mag in folgenden Verhältnissen zu suchen sein. Auf der Probefahrbahn standen die Stühle nicht genau gegen einander über. Wenn nun das eine Rad auf dem Mittelpunkt der zu untersuchenden Schienenstrecke ruhte, so stand das Gegenrad nicht genau auf dem Mittelpunkt der gegenüberliegenden Schienenstrecke. Die erste Schienenstrecke bog sich nun stärker durch, als die zweite. Sollte also die erste ihre gehörige Belastung behalten, so mußte sich der Wagen durchbiegen. Je weniger sich nun der Wagen durchbog, desto weniger war die untersuchte Schienenstrecke belastet. Bog sich der Wagen Nr. II. etwas weniger durch, als der Wagen Nr. I., so ist die in Rede stehende Erscheinung erklärt. — Auch kam hier in Betracht kommen, daß wegen unrichtiger Lage der Schienen die vier Ruhepunkte für die Räder nicht genau in derselben Ebene lagen, also auch aus diesem Grund die Schienenbelastung zum Theil von der Durchbiegung der Wagen abhing. Dieser Grund giebt auch die Erklärung für die ziemlich bedeutenden Unterschiede in den Durchbiegungen der Schienen für die beiden Räder desselben Wagens.

***) Die Parallelschienen haben allerdings den Vorzug, daß, sollten sie in einem Theile der Bahn für zu schwach befunden werden, man sie dadurch beträchtlich verstärken kann, daß man ihnen 6 statt 5 Unterstützungspunkte giebt, wodurch also eine kostbare Auswechslung solcher zu schwachen Schienen unnöthig würde.

Schiene, welche ich beide ohne sichtbare Mängel fand, von der Bahn wegnehmen, die Stühle auf einen 16 Fuß langen, 6 Zoll kantigen eichenen Balken nageln, und in diese die Schienen genau so befestigen, wie dies auf der Bahn selbst geschieht. Auf die Befestigung wurde große Sorgfalt verwendet. Von jeder Schiene wurde die Tragkraft jeder der fünf Abtheilungen, die ich der Reihenfolge nach mit Nummern bezeichne, untersucht. Die Längen dieser Abtheilungen, so wie die Breiten der Stühle, betragen:

Tragende Stuhlbreite	Nr. I.	Stuhl.	Nr. II.
Gebauchte Schiene 2 Zoll 0,0 Linien.	31 Zoll 1,5 Linien.	3 Zoll 5,0 Linien.	31 Zoll 2,4 Linien.
Parallelschiene	4,0 " 33 " 3,0 " 3 " 0,1 "		31 " 8,5 "
Stuhl.	Nr. III.	Stuhl.	Nr. IV.
Gebauchte Schiene 3 Zoll 7,0 Linien.	32 Zoll 0,0 Linien.	3 Zoll 5,4 Linien.	31 Zoll 6,0 Linien.
Parallelschiene 3 " 1,7 "	32 " 3,6 "	3 " 1,4 "	31 " 10,3 "

Stuhl.	Nr. V.	Tragende Stuhlbreite.
Gebauchte Schiene 3 Zoll 4,5 Linien.	31 Zoll 10,7 Linien.	1 Zoll 4,5 Linien.
Parallelschiene 3 " 1,1 "	32 " 0,2 "	1 " 5,0 "
Also ganze Länge der ersten Schiene = 14 Fuß 6 Zoll 11,0 Linien.		Gewicht = 161 Pfd.
und ganze Länge der zweiten Schiene = 14 " 7 " 2,9 "		= 174 "

Die Tragkraft der Schienenabtheilungen wurde nun ganz in derselben Art untersucht, wie ich früher die Tragkraft der gußeisernen Schienen untersucht habe. Der Balken nämlich, auf welchem die Schiene vermittelst der Stühle befestigt war, wurde so unterstützt, daß in keinem Theile eine den Versuchen fremde Spannung eintreten konnte. Auf die Mitte der zu untersuchenden Schienenabtheilung wurde ein eisernes dreiseitiges Prisma von $1\frac{1}{2}$ Zoll Länge gelegt. Auf diesen brückte der mittlere Kraftpunkt eines starken Hebels. Der Hebel griff hinten unter die Schneide eines festen Prismas, und vorne hing an ihm ein Wagebalken, der die genau abgeglichenen Gewichte aufnahm. Nun beträgt

die Länge des kurzen Hebelarms = 185 Linien.

" " des ganzen Hebels = 1416 "

Verhältniß wie 1 : 7,66 oder wie 1 : $7\frac{2}{3}$.

Gewicht des ganzen Hebels = 410 Pfund.

Gewicht des Belastungspunkts, wenn der Hebel in seinem Druckpunkt unterstützt ist = 115,9 Pfund.

Gewicht der Wagschale nebst Zubehör = 141,5 Pfund.

Die Belastung der Schiene durch Hebel und Wagschale beträgt also:

an Gewicht des Hebels = 410,0 Pfund.

Gegendruck für den Hebel = 772,7 "

Druck bewirkt durch die Wagschale = 1084,8 "

in Summa = 2267,5 Pfund.

Die Durchbiegungen wurden auch hier durch Neigungswinkel gemessen. Es wurde nämlich zu beiden Seiten des Hebels ein hölzerner Balken von 168,0 Linien Länge, 1 Zoll Breite und $1\frac{1}{2}$ Zoll Höhe, mit genau abgeschliffener Oberfläche, aufgelegt. Die Lage dieser Balken

wurde auf der Schiene, und die Lage des Fußes des Nivellirinstrumentes auf den Balken genau bezeichnet, um alle Messungen bei derselben gegenseitigen Lage auszuführen. Die Enden dieser Balken reichten bis zu dem Punkt, wo die Stühle angingen; sie ließen zwischen sich nur so viel Raum, um nicht mit dem Hebel zusammen zu stoßen. Jede Minute Neigung entspricht also einer Durchbiegung von 0,04887 Linien; da nun $\frac{1}{2}$ Minute Neigung verbürgt werden kann, so beträgt das Maximum der Messungsfehler 0,009774 Linien. Bei jeder irgend zweifelhaften Beobachtung wurde doppelt abgelesen^{*)}. Die Belastungen wurden etwa alle halbe Viertelstunden gewechselt. Ich habe mich zu wiederholten Malen überzeugt, daß die Durchbiegung unmittelbar nach jeder Belastung eintrat, und daß sie sich während der Dauer der Beobachtungen nicht veränderte. Selbst in einem Zeitraume von mehr als einer Stunde trat keine Veränderung ein.

Die Belastungen der Schienen wurden bei den Versuchen bis zum Maximum fortschreitend vermehrt, und dann in derselben Folge bis zur völligen Entlastung vermindert. Bei der Berechnung der Durchbiegungen für 1000 Pfd. Belastung ist bis zum Maximum der Belastung die anfängliche Gestalt der Schiene, und von da ab bis zur völligen Entlastung die dann bleibende Gestalt der Schiene als Normalgestalt angesehen worden. Die erstern Durchbiegungen schließen also die bleibenden Durchbiegungen mit ein, die andern gehören dagegen völlig den Gesetzen der Elasticität an.

I. Versuche über die Tragkraft der gebauchten Schienen.

A. 10. November 1833. Gebauchte Schiene, Abtheilung I.

Nr.	Gewicht auf der Wagschale.	Belastung der Schiene.	Abgelesene Winkel		Durchbiegung der Schiene		Durchbie- gung für 1000 Pfd. Belastung.	Bemerkungen.
			links.	rechts.	im Winkel.	in Linien.		
1	—	0,0	+ 35,5	— 36,2	0,0	0,000	0,0000	
2	—	2267,5	26,5	36,2	4,50	0,220	0,0970	
3	300	4567,5	23,0	37,8	7,05	0,345	0,0755	
4	700	7574,2	18,8	42,0	12,25	0,599	0,0791	
5	1000	9874,2	16,7	47,0	14,80	0,723	0,0732	
							0,0724	
6	1300	12174,2	14,4	51,0	17,95	0,877	0,0638	
7	1000	9874,2	17,0	46,8	14,55	0,711	0,0619	
8	700	7574,2	18,5	44,8	12,80	0,626	0,0694	
9	300	4567,5	21,8	40,2	8,85	0,432	0,0705	
10	—	2267,5	25,0	36,5	5,40	0,264	0,0723	
11	—	0,0	32,2	37,0	2,05	0,100		

B.

^{*)} Da nach meiner Methode von beiden Seiten die Neigungen der Schienenfläche von den Stühlen bis zur Mitte gemessen werden, so bleibt es ohne Einfluß auf das Vermessungsergebnis, wenn sich die Stühle in die Un-

B. 10. November 1833. Gebaute Schiene, Abtheilung II.

Nr.	Gewicht auf der Bagschale.	Belastung der Schiene.	Abgelesene Winkel		Durchbiegung der Schiene		Durchbie- gung für 1000 Pfd. Belastung.	Bemerkungen.	
			links.	rechts.	im Winkel.	in Linien.			
12	Pfund.	Pfund.	Minuten.	Minuten.	Minuten.				
12	—	0,0	+ 35,3	— 35,0	0,0	0,000	0,0000	—	82
13	—	2267,5	28,3	32,5	2,25	0,110	0,0485	—	72
14	300	4567,5	24,2	35,3	5,70	0,279	0,0611	002	82
15	700	7574,2	18,0	38,5	10,40	0,508	0,0672	007	82
16	1000	9874,2	4,5	33,5	14,65	0,716	0,0725	0001	01
17	1300	12174,2	2,0	39,4	18,85	0,921	0,0757	0001	11
							0,0711		
18	1000	9874,2	5,0	36,0	15,65	0,765	0,0718	0001	21
19	700	7574,2	6,0	31,8	13,05	0,638	0,0768	007	31
20	300	4567,5	10,0	27,5	8,90	0,435	0,0830	002	11
21	—	2267,5	14,5	24,2	5,00	0,214	0,0829	—	31
22	—	0,0	19,0	21,0	1,15	0,056		—	81

C. 10. November 1833. Gebaute Schiene, Abtheilung III.

Nr.	Gewicht auf der Bagschale.	Belastung der Schiene.	Abgelesene Winkel		Durchbiegung der Schiene		Durchbie- gung für 1000 Pfd. Belastung.	Bemerkungen.	
			links.	rechts.	im Winkel.	in Linien.			
23	Pfund.	Pfund.	Minuten.	Minuten.	Minuten.				
23	—	0,0	+ 7,4	— 11,9	0,0	0,000	0,0000	—	71
24	—	2267,5	— 0,5	8,8	2,40	0,117	0,0516	—	81
25	300	4567,5	4,1	11,7	5,65	0,276	0,0604	—	10
26	700	7574,2	7,0	17,5	10,00	0,489	0,0646	002	01
27	1000	9874,2	11,3	19,7	13,25	0,648	0,0656	007	02
28	1300	12174,2	19,5	18,4	16,70	0,816	0,0670	0001	12
29	1500	13707,5	22,5	21,5	19,75	0,965	0,0704	0001	22
							0,0661		
30	1300	12174,2	19,9	19,4	17,20	0,841	0,0642	0001	22
31	1000	9874,2	16,5	15,9	14,15	0,692	0,0641	000	22
32	700	7574,2	12,1	15,1	11,35	0,555	0,0635	007	12
33	300	4567,5	6,5	12,5	7,25	0,354	0,0646	002	22
34	—	2267,5	— 0,5	13,3	4,65	0,227	0,0741	—	22
35	—	0,0	+ 7,9	14,0	1,20	0,059		—	72

terlage eindrücken, oder die eine oder andere Unterlage sich senkt. Darin und in die große Genauigkeit setze ich den Vorzug meiner Methode. Bei ihrer Anwendung kann man ohne kostbare Zurüstungen dennoch sehr genaue und sichere Resultate erlangen.

D. 10. November 1833. Gebaute Schiene, Abtheilung IV.

Nr.	Gewicht auf der Wagfschale.	Belastung der Schiene.	Abgelesene Winkel		Durchbiegung der Schiene		Durchbiegung für 1000 Pfd. Belastung.	Bemerkungen.	
			links.	rechts.	im Winkel.	in Linien.			
	Pfund.	Pfund.	Minuten.	Minuten.	Minuten.				
36	—	0,0	+ 31,8	— 32,0	0,00	0,000	0,0000	—	21
37	—	2267,5	27,9	35,2	3,55	0,173	0,0763	—	21
38	300	4567,5	22,2	35,8	6,70	0,327	0,0716	000	11
39	700	7574,2	16,0	37,6	10,70	0,523	0,0691	000	21
40	1000	9874,2	11,0	39,8	14,30	0,699	0,0708	0001	31
41	1300	12174,2	6,0	41,5	17,65	0,863	0,0709	0001	71
							0,0689		
42	1000	9874,2	11,0	39,8	14,30	0,699	0,0684	0001	21
43	700	7574,2	15,0	38,5	11,65	0,569	0,0720	000	21
44	300	4567,5	20,2	36,5	8,15	0,398	0,0819	000	02
45	—	2267,5	26,5	35,4	4,35	0,213	0,0834	—	12
46	—	0,0	3,23	33,5	0,50	0,024		—	22

E. 11. November 1833. Gebaute Schiene, Abtheilung V.

Nr.	Gewicht auf der Wagfschale.	Belastung der Schiene.	Abgelesene Winkel		Durchbiegung der Schiene		Durchbiegung für 1000 Pfd. Belastung.	Bemerkungen.	
			rechts.	links.	im Winkel.	in Linien.			
	Pfund.	Pfund.	Minuten.	Minuten.	Minuten.				
47	—	0,0	— 17,0	+ 28,5	0,00	0,000	0,0000	—	22
48	—	2267,5	17,0	21,3	3,60	0,176	0,0776	000	22
49	300	4567,5	19,8	16,4	7,45	0,364	0,0797	000	22
50	700	7574,2	24,5	10,5	12,75	0,623	0,0823	0001	22
51	1000	9874,2	29,0	8,0	16,25	0,794	0,0804	0001	22
52	1300	12174,2	34,0	4,2	20,65	1,009	0,0829	0001	22
							0,0779		
53	1000	9874,2	29,5	6,4	17,30	0,854	0,0794	000	21
54	700	7574,2	26,8	8,2	15,05	0,735	0,0889	000	22
55	300	4567,5	20,6	11,8	10,15	0,496	0,0953	000	22
56	—	2267,5	16,0	15,7	5,90	0,288	0,1001	—	12
57	—	0,0	16,5	25,5	1,25	0,061		—	22

II. Versuche über die Tragkraft der Parallelschienen.

A. 13. November 1833. Parallelschiene, Abtheilung I.

Nr.	Gewicht auf der Wagschale.	Belastung der Schiene.	Abgelesene Winkel		Durchbiegung der Schiene		Durchbie- gung für 1000 Pfd. Belastung.	Bemerkungen.	
			links.	rechts.	im Winkel.	in Linien.			
	Pfund.	Pfund.	Minuten.	Minuten.	Minuten.				
1	—	0,0	+ 52,3	— 64,7	0,00	0,000	0,0000	—	22
2	—	2267,5	47,5	64,2	2,15	0,105	0,0463	002	22
3	300	4567,5	43,5	65,6	4,80	0,235	0,0515	007	30
4	700	7574,2	39,2	68,5	8,40	0,411	0,0543	0001	11
5	1000	9874,2	36,8	71,8	11,25	0,550	0,0557	0001	22
6	1300	12174,2	34,8	75,6	14,15	0,692	0,0568	0001	22
7	1500	13707,5	33,0	80,4	17,45	0,853	0,0622	0001	11
							0,0553	0001	22
8	1300	12174,2	34,0	77,5	15,50	0,757	0,0544	007	22
9	1000	9874,2	35,6	74,5	13,20	0,645	0,0557	000	22
10	700	7574,2	37,2	71,0	10,65	0,520	0,0561	000	22
11	300	4567,5	40,0	67,6	7,55	0,369	0,0600	—	22
12	—	2267,5	43,5	65,2	4,60	0,225	0,0573	—	22
13	—	0,0	49,8	66,2	1,95	0,095			22

B. 12. November 1833. Parallelschiene, Abtheilung II.

Nr.	Gewicht auf der Wagschale.	Belastung der Schiene.	Abgelesene Winkel		Durchbiegung der Schiene		Durchbie- gung für 1000 Pfd. Belastung.	Bemerkungen.
			links.	rechts.	im Winkel.	in Linien.		
	Pfund.	Pfund.	Minuten.	Minuten.	Minuten.			
14	—	0,0	— 2,0	— 8,5	0,00	0,000	0,0000	
15	—	2267,5	5,4	9,2	2,05	0,100	0,0441	
16	300	4567,5	9,0	10,8	4,65	0,227	0,0497	
17	700	7574,2	11,2	14,2	7,45	0,364	0,0481	
18	1000	9874,2	12,6	17,5	9,80	0,479	0,0485	
19	1300	12174,2	14,4	20,5	12,20	0,596	0,0490	
20	1500	13707,5	15,0	22,8	13,65	0,667	0,0487	
							0,0440	
21	1300	12174,2	14,4	20,6	12,25	0,599	0,0439	
22	1000	9874,2	12,2	18,8	10,25	0,501	0,0443	
23	700	7575,2	10,8	16,2	8,25	0,403	0,0448	
24	300	4567,5	9,2	13,5	6,10	0,298	0,0512	
25	—	2267,5	6,2	10,4	3,05	0,149	0,0375	
26	—	0,0	1,5	11,6	1,30	0,064		

C. 12. November 1833. Parallelschiene, Abtheilung III.

Nr.	Gewicht auf der Balgshale.	Belastung der Schiene.	Abgelesene Winkel		Durchbiegung der Schiene		Durchbie- gung für 1000 Pfd. Belastung.	Bemerkungen.	
			links.	rechts.	im Winkel.	in Linien.			
	Pfund.	Pfund.	Minuten.	Minuten.	Minuten.				
27	—	0,0	+ 20,8	— 40,5	0,00	0,000	0,0000		
28	—	2267,5	16,2	42,1	3,10	0,151	0,0666		
29	300	4567,5	12,5	43,5	5,65	0,276	0,0604	—	1
30	700	7574,2	9,4	46,4	8,65	0,423	0,0559	—	2
31	1000	9874,2	6,4	47,5	10,70	0,523	0,0530		3
32	1300	12174,2	3,0	49,5	13,40	0,655	0,0538		4
33	1500	13707,5	1,5	50,5	14,65	0,716	0,0522		5
							0,0167		6
34	1300	12174,2	2,7	49,8	13,70	0,669	0,0487		7
35	1000	9874,2	4,8	47,4	11,45	0,560	0,0490		
36	700	7574,2	6,5	46,3	10,05	0,491	0,0548		8
37	300	4567,5	10,0	44,4	7,35	0,359	0,0622		9
38	—	2267,5	12,5	41,5	4,65	0,227	0,0666		10
39	—	0,0	17,8	40,2	1,55	0,076			11

D. 12. November 1833. Parallelschiene, Abtheilung IV.

Nr.	Gewicht auf der Balgshale.	Belastung der Schiene.	Abgelesene Winkel		Durchbiegung der Schiene		Durchbie- gung für 1000 Pfd. Belastung.	Bemerkungen.
			links.	rechts.	im Winkel.	in der Linie.		
	Pfund.	Pfund.	Minuten.	Minuten.	Minuten.			
40	—	0,0	+ 7,0	— 13,5	0,00	0,000	0,0000	
41	—	2267,5	5,9	16,9	2,25	0,110	0,0485	
42	300	4567,5	3,2	20,2	5,25	0,257	0,0563	
43	700	7574,2	— 0,2	22,4	8,05	0,393	0,0519	
44	1000	9874,2	4,0	21,8	11,16	0,545	0,0552	
45	1300	12174,2	7,5	27,0	14,00	0,684	0,0562	
46	1500	13707,5	11,2	29,0	16,85	0,823	0,0600	
							0,0554	
47	1300	12174,2	9,7	27,8	15,50	0,757	0,0569	
48	1000	9874,2	6,8	26,8	13,55	0,662	0,0606	
49	700	7574,2	3,0	24,6	10,55	0,516	0,0597	
50	300	4567,5	+ 1,8	23,2	7,45	0,364	0,0657	
51	—	2267,5	5,2	20,5	4,40	0,215	0,0666	
52	—	0,0	7,5	16,6	1,30	0,064		

E. 13. November 1833. Parallelschiene, Abtheilung V.

Nr.	Gewicht auf der Wagschale.	Belastung der Schiene.	Abgelesene Winkel		Durchbiegung der Schiene		Durchbie- gung für 1000 Pfd. Belastung.	Bemerkungen.
			links.	rechts.	im Winkel.	in der Linie.		
	Pfund.	Pfund.	Minuten.	Minuten.	Minuten.			
53	—	0,0	+ 44,5	— 37,8	0,00	0,000	0,0000	
54	—	2267,5	40,5	40,5	3,35	0,164	0,0723	
55	300	4567,5	35,5	40,8	6,00	0,293	0,0641	
56	700	7574,2	32,2	42,0	8,25	0,403	0,0532	
57	1000	9874,2	28,4	42,6	10,45	0,511	0,0518	
58	1300	12174,2	25,5	44,5	12,85	0,628	0,0516	
59	1500	13707,5	21,2	47,6	16,55	0,809	0,0590	
							0,0517	
60	1300	12174,2	22,8	46,0	14,95	0,731	0,0518	
61	1000	9874,2	26,0	46,2	13,35	0,652	0,0559	
62	700	7574,2	29,5	44,2	10,70	0,523	0,0556	
63	300	4567,5	34,8	43,4	7,65	0,374	0,0600	
64	—	2267,5	38,5	42,2	5,20	0,254	0,0679	
65	—	0,5	42,4	39,8	2,05	0,100		

Die Durchbiegungen für 1000 Pfund Belastung schreiten hier mit wenig Regelmäßigkeit fort. Die Anomalien liegen aber nicht in den Beobachtungsfehlern, sondern in den Eigenthümlichkeiten solcher Durchbiegungen. Die Tragkraft der Schienen hängt nämlich wesentlich von den Befestigungen der Schiene in den Stählen, und von den Befestigungen der Stähle auf ihrer Unterlage ab, und diese Befestigungen leisten, wie leicht einzusehen ist, nicht einen Widerstand, der den Druckkräften proportional ist. Solche Versuche werden also um so größere Anomalien darbieten, je mehr die Tragkraft der Schienen durch die Befestigung derselben verstärkt wird. Daher sind diese Anomalien hier auch weit bedeutender, als in meinen Versuchen über die Tragkraft gußeiserner Schienen, wo jede Schiene nur aus einer Abtheilung besteht, die Befestigung also bei weitem so kräftig nicht einwirkt, als bei einer Schiene mit 5 Abtheilungen und 6 Befestigungen. Die Versuche der Engländer (Wood, On Railroads p. 168 seq.) bieten noch etwas größere Anomalien dar. Sollen die Versuche für die Anwendung im Großen brauchbar bleiben, so dürfen sie auf keine andere Art, als die hier in Anwendung gebrachte, angestellt werden. Die Anomalien sind aber auch von so geringer Bedeutung, daß sie einen sichern Schluß in jeder praktischen Beziehung zulassen, und selbst wissenschaftliche Folgerungen nicht abschneiden.

Um auch hier die Uebersicht zu erleichtern, sollen die gewonnenen Beobachtungsergebnisse in ihren mittlern Werthen geordnet aufgestellt werden:

Die gewonnenen Beobachtungsergebnisse in ihren mittlern Werthen geordnet aufgestellt werden:

Bezeichnung der Schiene und ihrer Abtheilung.	aus der Rückbie- gung ge- schlossen.	Mittlere Durchbiegung für 1000 Pfund Belastung, bei Belastungen bis						Bleibende Biegung nach dem Maximum der Belastung.
		2000 Pfd.	5000 Pfd.	8000 Pfd.	10000 Pfd.	12000 Pfd.	14000 Pfd.	
Gebauchte Schiene.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.
Abtheilung I. u. V.	0,0780	0,0873	0,0776	0,0807	0,0768	0,0776	—	0,080
„ II. „ IV.	0,0760	0,0624	0,0663	0,0681	0,0716	0,0733	—	0,010
„ III.	0,0797	0,0516	0,0604	0,0646	0,0656	0,0670	0,0704	0,059
Parallelschiene.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.	Linien.
Abtheilung I. u. V.	0,0568	0,0593	0,0578	0,0538	0,0518	0,0542	0,0606	0,097
„ II. „ IV.	0,0525	0,0463	0,0530	0,0500	0,0519	0,0526	0,0544	0,064
„ III.	0,0547	0,0666	0,0604	0,0559	0,0530	0,0538	0,0522	0,076
Mittel für die gebauch- ten Schienen	0,0779	0,0671	0,0681	0,0711	0,0713	0,0726	0,0704	0,060
Mittel für die Parallel- schienen	0,0547	0,0574	0,0571	0,0532	0,0522	0,0535	0,0557	0,079

Diese Aufstellung führt zu folgenden Bemerkungen:

1) Die Parallelschienen erscheinen in dem Verhältniß von 4 : 5 stärker als die gebauchten Schienen. Das Gewichtsverhältniß ist = 12 : 13. Die Parallelschienen erscheinen also hier in einem größern Verhältniß stärker, als sie schwerer sind gegen die gebauchten Schienen. Die Ursache liegt in der Gestalt des mittlern Querschnitts der beiderseitigen Schienenabtheilungen. Bei einer zweckmäßigen Anordnung dieses Querschnitts werden die gebauchten Schienen ihren Vorzug auch hier behaupten.

2) Die bleibenden Durchbiegungen der Schienen sind geringer bei den gebauchten Schienen, selbst wenn man auch die stärkere Belastung der letztern Schienen in Betracht zieht. Dieser Umstand ist für die Anwendung sehr wichtig.

3) Bei welcher Belastung die bleibenden Durchbiegungen ihren Anfang nehmen, ist schwer, oder vielmehr gar nicht, zu entscheiden. Die Grenze wird um so enger, je schärfer die Beobachtungsmethoden sind, und man kann immer nur davon sprechen, wo die merklich bleibenden Durchbiegungen aufhören. Wenn aber auch bei einer einzelnen Belastung die bleibende Durchbiegung unmerklich bleibt, so kann sie leicht bei oft wiederholten, oder lange andauernden Belastungen, merklich hervortreten.

4) Die untersuchten Schienen sind unstreitig stark genug, um häufig wiederholte Belastungen von 3000 Pfund für ein Rad und einzelne Belastungen von 8000 Pfund für ein Rad und mehr zu tragen. Sie werden also für Eisenbahnen mit Pferdeförderung in allen Fällen eine hinlängliche Tragkraft haben. Wenn aber Dampfwagen von 8 bis 9 Tonnen Gewicht auf

den Schienen laufen sollen, so würde ich rathe, sie nie leichter als die Schienen auf der Liverpool-Manchesterbahn (35 Pfb. das Yard), vielmehr dieselben noch etwas stärker zu nehmen.

5) Bei den gebauchten Schienen sind die mittlern Abtheilungen entschieden stärker, als die äußern, und der Unterschied ist ziemlich bedeutend. Bei den Parallelschienen tritt ein solcher Unterschied gar nicht hervor.

6) Die gebauchten Schienen biegen sich etwas stärker, als den Belastungen proportional, durch; jedoch ist der Unterschied so gering, daß die Grenze der Elasticität, diese in dem gewöhnlichen, wissenschaftlich nicht zu rechtfertigenden, Sinne genommen, schwer aus ihnen zu bestimmen sein möchte.

7) Die Parallelschienen weisen in ihren Durchbiegungen bis zu Belastungen von 14000 Pfund kein Ueberschreiten der Proportionalität mit den Belastungen nach.

Ich beschränke mich hier auf diese wenigen Bemerkungen über die vorstehenden Beobachtungsergebnisse über die Schienendurchbiegungen, und behalte es mir vor, umständlicher auf diesen Gegenstand zurück zu kommen.

Zum Schluß muß ich noch ein paar Worte über die Stühle sagen. Dieselben haben, wie gesagt, ein Gewicht von beiläufig 10 Pfund. Dieses Gewicht könnte, nach meiner Ansicht, sehr wohl auf 8 Pfund vermindert werden, ohne dadurch irgend einen wesentlichen Zweck zu beeinträchtigen. Freilich streitet gegen diese Ansicht die Anwendung von 15pfündigen Stühlen auf der Liverpool- und Manchesterbahn. Die Bodenplatte, die aufstehenden Backen, so wie deren Rippen könnten schwächer gemacht werden, ohne daß häufige Brüche zu befürchten ständen. Der Boden des Einschnitts ist bei weitem der schwächste Theil des Stuhls, und er könnte leicht, ohne die Masse beträchtlich zu vermehren, stärker gemacht werden. Durch das Festkellen der Schienen wird nach den Erfahrungen auf der Bahn zwischen Liverpool und Manchester, so wie auch auf unserer Probefahrbahn, mancher Stuhl zersprengt.

