

I. *Akustische Versuche auf der Niederländischen Eisenbahn, nebst gelegentlichen Bemerkungen zur Theorie des Hrn. Prof. Doppler¹⁾; vom Dr. Buijs Ballot zu Utrecht.*

Sobald mir das Schriftchen des Hrn. Doppler in die Hände gekommen war, reizte mich der Scharfsinn der darin entwickelten Theorie; es wurden aber auch Zweifel in mir erregt über die Anwendbarkeit dieser Theorie auf die Farben der Doppelsterne. Ich faßte schon damals den Vorsatz, einige Versuche dieserhalb anzustellen und zugleich die Anwendung der Theorie an anderen bekannten Thatsachen zu prüfen, allein, durch Umstände daran verhindert, begnügte ich mich, am Schlusse meiner Dissertation²⁾ eine Thesis aufzustellen, welche mir auch zu der folgenden Discussion als Motto dienen kann:

Theoriam Doppleri probandam existimo; ad stellarum autem duplicium colores explicandos non sufficientem dico.

Obgleich man schwerlich berechtigt ist, die Aussage einer wohlbegründeten Theorie zu bezweifeln, — und wer möchte dieses bei der Theorie des Lichts oder des Schalls, — so hielt ich es doch nicht für überflüssig, den von Hrn. Doppler zuerst zur Sprache gebrachten Einfluß der relativen Geschwindigkeit eines tönenden Instruments auf die wahrgenommene Tonhöhe durch directe Versuche nachzuweisen, besonders da einige Musiker, denen ich diese Theorie mittheilte, die Haltbarkeit derselben bestimmt verneinten. Sie stützten sich dabei un-

1) Ueber das farbige Licht der Doppelsterne u. s. w. Prag 1842.

2) *De Synaphia et Prosaphia. Truject. ad Rhen.* 1844.

ter anderem auf die Thatsache, daß man das Geräusch eines rasch vorbeifahrenden Wagens nicht anders höre, wenn er sich nähert, als wenn er sich entfernt; auf die Erklärung dieser Thatsache werde ich weiterhin zurückkommen.

Mit dem Licht in dieser Hinsicht zu experimentiren ist nicht möglich, da uns keine Geschwindigkeit zu Gebote steht, die nur einigermaßen mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts vergleichbar wäre. Es ist aber auch nicht nothwendig, da man volles Recht hat, Resultate akustischer Beobachtungen auf das Licht zu übertragen. Ueberdies lag mir die Gelegenheit zur Anstellung eines solchen Versuchs ganz nahe, da mir eine Locomotive auf der Eisenbahn bei Utrecht ein treffliches Mittel dazu darzubieten schien. Ich wandte mich deshalb an den Director der Rhein-Eisenbahn, Hrn. L. J. A. van der Kun, der den Vorschlag überaus günstig aufnahm, mir von Sr. Excellenz dem Minister des Innern die Erlaubniß der kostenfreien Benutzung einer Locomotive zu dem vorgesetzten Zwecke auswirkte, und überdies mit der größten Bereitwilligkeit jede Gelegenheit verschaffte, die Theorie des Schalls, welche bereits so viele Proben glücklich überstanden hat, auch in dieser Hinsicht zu bewähren. Es ist mir ungemein angenehm, durch den guten Erfolg meiner Versuche sein Wohlwollen belohnt zu sehen; seine Güte verpflichtet mich ihm zum aufrichtigsten Dank.

Ich werde meinen Aufsatz in zwei Theile zerfällen, in der Anordnung, daß ich zunächst die Bestätigung der Doppler'schen Theorie gebe, und dann die Untauglichkeit der Anwendung derselben auf die Farben der Doppelsterne erweise.

§. 1.

Die isochronen Schwingungen eines tönenden Instruments werden nach gleichen Zeitintervallen zum Ohre des Wahrnehmers gelangen, und darin also die Empfindung

eines und desselben Tones, der hervorgebracht war, erregen. Der subjective Ton wird für den Beobachter dem objectiven Tone gleich seyn, wenn Instrument und Beobachter ihre Stellen nicht oder gleichviel ändern, also relativ in Ruhe bleiben. Wenn sie aber in relativer Bewegung sind, so findet etwas anderes statt. Es sey das Instrument in Bewegung: so geht jede Schwingung von einem anderen Punkt aus als die vorherigen; sie wird also längere oder kürzere Zeit brauchen, um zum Beobachter zu gelangen, je nachdem die Bewegung von ihm ab, oder auf ihn zu gerichtet ist. Die Gröfse der Verzögerung oder Beschleunigung, welche dadurch jede folgende Schwingung erfährt, wird gleich seyn der Geschwindigkeit der Bewegung dividirt durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls und multiplicirt mit dem Cosinus des Winkels, welchen die Richtung der Bewegung mit der Linie vom Instrument zum Beobachter macht.

In meinen Versuchen habe ich die Standorte der Beobachter immer so gewählt, dafs dieser Cosinus möglichst grofs war, und nur im Vorbeifahren seinen Werth merklich änderte. Während nämlich die Locomotive auf den Schienen hin und her fuhr, standen die Beobachter auf der Eisenbahn 1 bis 2 Meter von den Schienen entfernt. Wenn man auch $2\frac{1}{2}$ Meter für diese Entfernung annimmt, so war doch, sobald die Locomotive über 20 Meter Abstand erlangt hatte, der Cosinus immer gröfser als $1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} + \dots$, also nahe der Einheit gleich. Dieser Cosinus war also nur in dem Falle, dafs die Locomotive sich innerhalb eines Abstandes von 20 Metern befand, ein Factor von einigem Einflufs; ich werde also seiner nicht weiter erwähnen.

Die Verzögerung also, um auf diese Gröfse zurückzukommen, ist, wenn v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls und a die Geschwindigkeit des Instruments, beide auf die Secunde reducirt, bedeuten, gleich $\pm \frac{a}{v}$,

worin das untere Vorzeichen für den Fall einer Beschleunigung oder einer Annäherung des Instruments zum Beobachter gilt. Die auf einander folgenden Schwingungen eines Tons, der n Schwingungen in der Secunde macht, werden einander nunmehr nicht nach $\frac{1}{n}$ Secunde folgen,

sondern nach $\frac{1}{n} \left(1 \pm \frac{a}{v} \right)$. Der wahrgenommene Ton wird

also $\frac{n}{1 \pm \frac{a}{v}}$ Schwingungen in der Secunde zu machen schei-

nen, und dieß ist seine subjective Höhe.

Wenn nicht das Instrument, sondern der Beobachter in Bewegung ist (ein Fall, welcher stattfindet, wenn auf dem Wege geblasen und auf der Locomotive beobachtet wird), so gehen zwar die Schwingungen von einem selben Punkte aus, aber sie müssen den Beobachter, der sich mit der Geschwindigkeit a bewegt, einholen oder ihm entgegen kommen, und sie erreichen ihn daher später oder früher als nach $\frac{1}{n}$ Secunde, nämlich, wie eine leichte Berech-

nung zeigt, nach der Zeit $\frac{1}{n} \left(\frac{v}{v \pm a} \right)$. Der subjective Ton

ist also von $n \left(1 \pm \frac{a}{v} \right)$ Schwingungen. Das obere $+$ Zeichen gilt hier wieder für den Ton, welcher beim Entfernen gehört wird und in dem Folgenden immer *gehender Ton* genannt seyn soll, während ich mit *kommenden Ton* denjenigen bezeichnen will, der bei Verringerung des Abstandes zwischen Instrument und Beobachter vernommen wird. Dieser ist immer der höhere, jener der tiefere. Man sieht aus den Formeln, dafs, wenn $a = v$,

der kommende Ton als die höhere Octave, der gehende gar nicht vernommen wird, falls der Beobachter sich mit dieser Geschwindigkeit bewegt; dafs dagegen der kommende Ton unendlich hoch, der gehende die tiefere

Octave seyn wird, im Fall das Instrument die Bewegung erleidet.

Um die Wahrnehmungen sogleich dem Calcul zu unterwerfen, hat man nur die Werthe von a und v zu kennen. Bei meinen Versuchen sind die von a sehr genau beobachtet worden, da nach Angabe zweier Chronometer der Zeitpunkt aufgezeichnet ward, wo jedesmal hinter einer festen in dem Wagen gewählten Linie eine Milliarie oder ein Zehntel derselben verschwand; so besafs man jedesmal die Zeit, während welcher die Locomotive 100 Meter durchlaufen hatte. Die Werthe von v sind für jeden Baro, Thermo- und Hygrometerstand aus den Beobachtungen von Moll und v. Beek bekannt¹⁾; sie mufs aber vergrößert werden um die Geschwindigkeit des Windes, zerlegt nach der Richtung vom Instrumente zum Beobachter.

§. 2.

Nachdem ich einige vorläufige Versuche angestellt, um mich von der Tauglichkeit der zu Hülfe gezogenen Musikanten zu überzeugen, gelang es mir am 3. und 5. Juni d. J. die Sache genauer zu untersuchen²⁾. Die

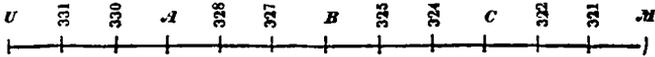
1) Man sehe diese *Annal.* Bd. V, S. 351 und 469, auch *Simons* *ibid.* Bd. XIX, S. 115. Zur historischen Uebersicht aller der zur Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls gemachten Versuche vergleiche man *Bravais, Ann. de chim. et de phys.* 1845 *Janv.* oder *Biblioth. univers. de Genève* No. 109 p. 149 (im folgenden Aufsatz mitgetheilt. *P.*), worin besonders die eben citirten Versuche hervorgehoben und gewürdigt werden. Gelegentlich sey es mir erlaubt zu bemerken, dafs wenn in der Formel für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit statt des Gay-Lussac'schen Ausdehnungscoefficienten die Rudberg'sche Zahl 0,00366, und statt des g von Borda 9,8284 das g nach Poisson gleich 9,8088 gesetzt wird, man für das Verhältnifs der beiden Wärmecapacitäten der Luft, d. h. für die Gröfse k , den Werth 1,4122 findet, was bis auf ein Zehntausendstel mit der Dulong'schen Bestimmung übereinkommt.

2) Wer dies umständlicher zu lesen wünschen sollte, kann es in der *Nederlandsch Muzykaal Tydschrift Caecilia*, vom 1. April, 15. Juli und 1. Aug. 1845.

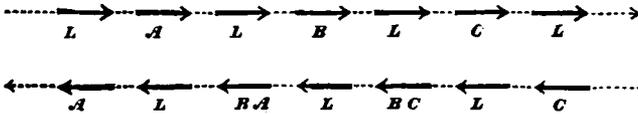
Locomotive hatte nur einen, möglichst offenen Wagen hinter sich, und in diesem befanden sich die Personen, welche mich zu unterstützen bereit waren. An drei Stationen, die am ersten Tage 400 Met., am zweiten aber 300 Met. aus einander lagen, und die, in Richtung auf Maarsen, so weit von Utrecht entfernt waren, daß die Locomotive, bevor sie die erstere erreichte, eine hinlängliche Geschwindigkeit erlangt hatte, setzte ich drei dieser Personen aus: einen Musikanten, der blasen, einen Musiker, der den Tonunterschied beobachten, schätzen und aufzeichnen sollte, und einen meiner Freunde, der, genau nach einem von mir entworfenen Plan, zu blasen und zu hören befohl, auch seine Aufzeichnungen machte. Auf der Locomotive befanden sich natürlich ebenfalls drei solche Personen, am zweiten Tage sogar zwei Musikanten, um nöthigenfalls unaufhörlich blasen zu lassen; ich selbst war auch auf der Locomotive, deren Geschwindigkeit wie gesagt genau aufgezeichnet wurde. Es waren also vierzehn Personen in steter Wirksamkeit und fest stationirt; die übrigen, worunter noch mancher Musiker und Liebhaber, hatten sich längs der Bahn vertheilt, um da aufzuzeichnen und etwaige Mittheilungen von einer Station zur andern zu überbringen.

§. 3.

Ich hatte zur Absicht recht viele Beobachtungen zu sammeln, und traf demnach eine Anordnung, die aus der folgenden Zeichnung verständlich werden wird. Es bezeichnet darin die voll ausgezogene Linie *UM* den zwischen Utrecht und Maarsen gelegenen Theil der Eisenbahn, *A*, *B* und *C* die Standpunkte der drei Gruppen von Beobachtern, und die Ziffern die Anzahl der Milliarren und deren Untertheile. Die beiden punktirten Linien geben an, wann auf den Stationen *A*, *B*, *C* oder auf der Locomotive *L* geblasen wurde, während letztere, in der einen oder anderen Richtung auf der Bahn hinfahrend, sich an den durch diese Buchstaben bezeichneten Orten befand.



Es wird geblasen in:



Während demnach die Locomotive, in Richtung von Utrecht nach Maarsen, an den Stationen *A*, *B*, *C* vorbeifuhr, konnte man die Abänderungen der daselbst angestimmten Töne beobachten. So wie man sich *A* näherte und der Ton von dort merklich wurde, begaun er höher zu werden, und wenn man sich darauf von *A* in Richtung nach *B* entfernte, hörte man ihn tiefer werden. Dasselbe geschah bei *B* und *C*. Auf der Locomotive selbst wurde geblasen, während sie sich zwischen *A* und *B* oder zwischen *B* und *C* befand, damit der Ton sowohl in *A* als in *B* oder sowohl in *B* als in *C* vernommen würde und der Unterschied klar hervorträte. Es wurden also während man von *U* und *M* fuhr fünf Beobachtungen gemacht.

Auf der Rückfahrt fand das Gegentheil statt. Im Vorbeifahren vor jeder Station blies der auf der Locomotive befindliche Musikant, und der Unterschied des kommenden und gehenden Tons unter sich und mit dem objectiven Ton wurde von den ruhenden Musikern aufgezeichnet. Zu dem Ende sollten *C* und *B* oder *B* und *A* jedesmal, wenn die Locomotive zwischen *C* und *B* oder *B* und *A* war, einen und denselben Ton anstimmen, weil dadurch der Unterschied der beiden gleichzeitig vernommenen Töne sehr scharf hätte festgesetzt werden können. Aus zwei Ursachen habe ich aber diese Methode nicht so ausführen lassen; erstlich weil wegen des Geräuschs der

Maschine die Töne nicht weit genug gehört werden konnten, und zweitens, weil die Musikanten nicht genau genug *a tempo* bliesen und hörten. Hätte ich den Abstand der Stationen verringert, um besser hören zu lassen, so würden die Versuche noch rascher auf einander gefolgt seyn, und somit wäre es noch nothwendiger gewesen, mit dem Blasen im rechten Augenblick anzufangen.

Ich habe deshalb das Blasen auf der Locomotive zwischen den Stationen unterlassen gemusst und nur im Vorüberfahren Beobachtungen anstellen gekonnt, erwähne indefs der fehlgeschlagenen Versuche, weil sie mir überaus günstig und fein zu seyn scheinen und ich also Jemanden, der über stärkere Instrumente oder disciplinirtere Personen zu verfügen hat, sehr rathen möchte, die Versuche auch in dieser Weise zu wiederholen. Als nämlich die Locomotive von *C* nach *B* fuhr, hatte ich, während die auf derselben befindlichen Musiker nichts davon wußten, bei *B* etwa einen halben Ton tiefer, und als sie von *B* nach *A* fuhr, etwa einen halben Ton höher als verabredet war, blasen lassen, hatte also dadurch die Töne, welche von *B* und *C* oder von *B* und *A* zugleich zum Ohre des Wahrnehmers gelangten, beinahe gleich und einen kleinen Unterschied derselben merkbar gemacht; auch erlangte ich den Vortheil, dafs die Beobachter nicht immer das Nämliche zu beobachten brauchten, und dadurch weniger leicht in einen constanten Fehler verfielen. Da ich nun aber diefs Verfahren nicht ausführen konnte, mußte ich mich auf die folgenden Beobachtungen beschränken, welche am 3. Juni mit Klapphörnern (Ventiltrompeten) gemacht, und am 5. mit Signaltrompeten wiederholt wurden.

§. 4.

Ich schreite nun zur Beschreibung der Vorsichtsmaafsregeln und Schwierigkeiten bei den Beobachtungen.

Zuerst müssen die Instrumente gut mit einander abgestimmt seyn, was leicht zu erreichen, aber schwerer

auf die Dauer zu unterhalten ist; denn obgleich das Wetter warm war, schienen doch ein Paar derselben sich etwas verstimmt und einen höheren Ton gegeben zu haben. Auch ist zu bemerken, daß bei Sonnenschein und 18 bis 20° Wärme, besonders wenn die Instrumente nicht sehr vorzüglich sind, leicht eine kleine Differenz stattfinden kann. Wir werden dies aus den Beobachtungen ersehen können, wenn wir sie prüfen. Es hält sehr schwer, den Ton gut zu vernehmen, weil die Locomotive nicht allein ein starkes Geräusch macht, sondern auch sehr viel Wind erregt; nur unter günstigen Umständen gelingt es, die Tondifferenz richtig zu schätzen. Das erwähnte Geräusch war am 3. Juni, wo ich noch die etwas schwächeren Klapphörner anwandte, mehrmals Ursache, daß der kommende Ton, der doch nicht allein der höhere, sondern auch der stärkere seyn sollte, gar nicht vernommen wurde. Wenn daher auch ein musikalisches Ohr bei ruhiger Beobachtung noch ein Komma kleiner als $\frac{9}{11}$ zu unterscheiden vermag, so wird doch Keiner sich wundern, wenn ich sage, daß es unter obigen Umständen kaum möglich war den Unterschied bis auf ein Achtel- oder Viertelton zu bestimmen. Man muß übrigens bedenken, daß ein Achtelton ein Verhältniß von nahe $\frac{6}{11}$ ist, also einen Unterschied darstellt, den man in der Musik vernachlässigt.

Ist die relative Geschwindigkeit der Instrumente gering, so ist auch der Unterschied klein und ein Fehler von $\frac{1}{8}$ oder $\frac{1}{16}$ Ton hat großen Einfluß; und doch läßt sich, wie gesagt, ein Fehler von dieser Größe nicht vermeiden, obgleich man in diesem Fall den Ton längere Zeit hindurch beobachten kann. Vergrößert man die Geschwindigkeit, was nothwendig ist, um das Gesetz, nach welchem die Tondifferenz von der Geschwindigkeit abhängt, zu entdecken oder zu bestätigen, so verstärkt man auch das Geräusch und verkürzt die Zeit außerordentlich. Man kann den Ton nur aus einer Entfernung

von etwa 50 Meter vernehmen, und da er bei 20 Meter bereits merklich abzunehmen anfängt, so hat man nur eine Secunde (wenn die Geschwindigkeit 25 Meter beträgt) um die Höhe des kommenden Tones wahrzunehmen, während noch dazu ein Geräusch anderen Ursprungs die reine Beobachtung beeinträchtigt. Wenn man die Pfeife der Locomotive selbst ansprechen läßt, wie ich einmal gethan habe, so ist freilich die erste Schwierigkeit beseitigt, und wenn man nicht nur das Instrument, sondern auch den Beobachter auf einer zweiten Locomotive mit größtmöglicher Geschwindigkeit fortführte, so würde es leicht seyn, eine relative Geschwindigkeit von über 50 Meter zu erhalten und die Tondifferenz auf eine Terz zu steigern; allein die Pfeife der Locomotive ist noch kein reiner Ton und bis jetzt liegt auf der Rhein-Eisenbahn auch noch kein Doppelgleise.

Durch die Veränderung der Tonhöhe innerhalb 20 Meter wird der Unterschied zwischen dem kommenden Ton und dem objectiven leicht etwas zu gering gefunden, da ersterer in der Zwischenzeit, daß der Musikant denselben zur Bestimmung mit seinem Instrument vergleicht, immer etwas abnimmt. Dieser Nachtheil findet sich nicht bei der Bestimmung des gehenden Tons; dieser sinkt tiefer bis die Locomotive auf eine solche Entfernung vom Beobachter gekommen ist, daß man annehmen darf, sie entferne sich geradlinig; dann bleibt er constant derselbe, so daß also genau festgesetzt werden kann. Ein kleiner Unterschied ist vielleicht dadurch hervorgebracht worden, daß die Instrumente, um den Ton möglichst stark zum Ohre des Beobachters gelangen zu lassen, jedesmal demselben zugewandt werden mußten, wodurch er denn das eine Mal wider und das andere Mal mit dem Wind ging. Ich weiß nicht, wie die hiedurch entstehende Modification des Tones am besten in Rechnung zu ziehen ist, glaube indess, daß sie, obgleich klein, doch merklich sey.

§. 5.

Die Schätzungen der Musiker sind in Achtel-, selten nur in Sechszehnteltönen angegeben; einige haben nicht anders aufgezeichnet als: nahe $\frac{1}{4}$ mehr, mehr als $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{4}$ u. s. w. Die zweite und dritte Spalte der folgenden Tafel enthalten die geschätzte Anzahl der Sechszehnteltöne. Wenn also die Musiker den Unterschied gleich einem halben Ton angaben, habe ich 8 eingeschrieben. Immer haben sie den kommenden Ton höher, und den gehenden tiefer gehört als den objectiven, und daher war es nicht nöthig, die Zahlen jeder ersten Zeile mit + und die jeder zweiten mit — zu bezeichnen.

Die vierte Spalte enthält die Anzahl der Schwingungen der subjectiven Töne nach der Theorie, die Anzahl der Schwingungen des objectiven Tons gleich 1000 gesetzt. Eine dritte Zeile, die hinzugefügt worden, enthält den Unterschied im Vorbeifahren, also den Unterschied des kommenden und gehenden Tons unter sich; in ihr bezeichnet die theoretische Zahl die Anzahl der Schwingungen des kommenden Tons, bezogen auf den gehenden, wenn die Anzahl der Schwingungen des letzteren gleich 1000 angenommen wird. Auf diese Weise ist das Nichtstimmen der Instrumente und der Einfluß der Windrichtung eliminirt. In dieser Zeile sind denn auch, wie zu erwarten, die Unterschiede kleiner, wenn man nur den guten Werth für einen halben Ton nimmt.

Um das genaue Verhältniß zweier Töne, die um einen halben Ton differiren, anzugeben, hatte ich Chladni's Akustik zu Rathe gezogen. Es konnte mir aber nicht viel helfen, da ich in meinem Fall zu wissen wünschte, nicht wie das theoretische Verhältniß war, sondern was die Musiker einen halben Ton nannten, ob sie, wann *g* geblasen wurde, *ges* oder *g¹_s* für einen halben Ton tiefer oder höher hielten, oder ob sie das gleich schwebende Verhältniß $\sqrt[13]{2}$ annahmen. Ich mußte also die Musiker selber dieserhalb befragen, konnte aber von allen keine

bestimmte Antwort erhalten; da nun der eine unmöglich für den andern sprechen konnte, so entschloß ich mich, ihre Angaben nach beiden Hypothesen zu berechnen. Die fünfte Spalte giebt also den Unterschied der theoretischen Schwingungs-Anzahl mit der Mittelzahl aus den Angaben beider Beobachter, berechnet nach dem Verhältniß $\sqrt[1]{2}$. Die sechste enthält den Unterschied mit derselben Mittelzahl, aber berechnet nach dem Verhältniß $\frac{2}{3}$ für den kommenden, und nach $\frac{3}{2}$ für den gehenden Ton.

Am 3. Juni befand sich nur ein Beobachter auf jeder Station; ich brauchte also damals die theoretische Zahl nicht mit der Mittelzahl aus zwei Beobachtungen zu vergleichen, da nur eine einzige Angabe vorhanden war. An diesem Tage mißglückten die Beobachtungen auf der Station *C*, und die auf der Locomotive gingen verloren, so daß nur zwei Reihen übrig blieben. An den Reihen selbst wird man leicht erkennen, welchen Werth die Musiker dem halben Ton gegeben haben, da die eine viel besser der ersten, die andere viel besser der zweiten Hypothese genügt. Es ist eine Reihe von Beobachtungen darunter, welche sich durch Genauigkeit und Consequenz auszeichnet; sie stammt von Hrn. Dannen. Dieser ausgezeichnete Musiker befand sich am 3. Juni einmal auf der Station *C*, ward aber am 5. Juni mit auf die Locomotive genommen, weil ich ihn aus seinen Beobachtungen sogleich als den geschicktesten erkannt hatte, und weil überdies eine Vertauschung der Standorte von Nutzen war. Leider zeichnete er dießmal nur das Mittel aus den im Vorbeifahren an den drei Stationen beobachteten Tondifferenzen auf, und nicht jede für sich, was offenbar nicht nöthig gewesen wäre, wenn die Locomotive eine ganz gleichförmige Geschwindigkeit gehabt hätte; allein am 5. Juni war dieß sehr wünschenswerth, da die an diesem Tage benutzte Locomotive von anderer Construction wie die frühere war und sie von

dem Maschinisten nicht mit gleicher Geschwindigkeit an den verschiedenen Stationen vorbeigeführt ward.

§. 6.

Beobachtungen am 3. Juni.

Thermometer 20°,8 C., Barometer 750^{mm},09. Dampfdruck 9^{mm},16.
Schallgeschwindigkeit = 346 Met.

[Es bedeutet *K* die Beobachtung im Kommen, *G* die im Gehen,
V die im Vorbeifahren.]

Station A.					Station B.				
Geschwindigkeit.	Beobachteter Unterschied.	Theor. Schwingungs-Anzahl.	Unterschied zw. theoret. u. beobacht. Zahl für		Geschwindigkeit.	Beobachteter Unterschied.	Theor. Schwingungs-Anzahl.	Unterschied zw. theoret. u. beobacht. Zahl für	
			$\frac{12}{\sqrt{2}}$	$\frac{24}{25}$				$\frac{12}{\sqrt{2}}$	$\frac{24}{25}$
Die erste Beobachtung mißlang gänzlich, weil nichts gehört wurde.									
II. { <i>G.</i> 14,8	5	957	- 8	- 19	II. { <i>K.</i> 15,3	5	1044	- 7	+ 18
					{ <i>G.</i> 15,5	5	955	- 10	- 20
					{ <i>V.</i> 15,4	10	1093	+ 20	+ 41
III. { <i>K.</i> 14,5	5	1042	+ 5	+ 16	{ <i>K.</i> 12,8	5	1037	0	+ 11
{ <i>G.</i> 14,1	5	959	- 6	- 16	{ <i>G.</i> 12,2	5	965	0	- 10
{ <i>V.</i> 14,3	10	1086	+ 13	+ 30	{ <i>V.</i> 12,5	10	1074	0	+ 22
IV. { <i>G.</i> 17,9	6	948	- 10	- 22	{ <i>K.</i> 15,8	7	1046	- 5	+ 9
					{ <i>G.</i> 15,0	5	957	- 8	- 18
					{ <i>V.</i> 15,4	12	1093	+ 5	+ 31
V. { <i>G.</i> 16,7	7	952	0	- 13	{ <i>K.</i> 15,6	8	1045	- 14	+ 3
					{ <i>G.</i> 15,2	5	956	- 9	- 19
					{ <i>V.</i> 15,4	13	1093	- 3	+ 25
VI. <i>G.</i> 20,0	8	939	- 5	- 21	VI. <i>G.</i> 19,5	5	941	- 14	- 34

Beobachtungen am 5. Juni.

Thermometer 18°,4 C., Barometer 755^{mm},6. Dampfdruck 10^{mm},83.
Schallgeschwindigkeit = 344,7 Met.

Station C.

Geschwindigkeit.	Beobachteter Unterschied.		Theoret. Schwingungs-Anzahl.	Unterschied zw. theor. Zahl u. Mittelzahl für den halb. Ton =	
	1	2		$\frac{12}{\sqrt{2}}$	$\frac{24}{25}$
I. { <i>K.</i> 8,3	6	4	1024	- 13	- 2
{ <i>G.</i> 10,6	8	8	969	+ 25	+ 9
{ <i>V.</i> 9,4	14	12	1057	- 38	- 11

Geschwindigkeit.	Beobachteter Unterschied.	Theoret. Schwingungs- Anzahl.		Unterschied zw. theor. Zahl u. Mittelzahl für den halb. Ton =		
		1	2	$\frac{12}{\sqrt{2}}$	$\frac{24}{23}$	
II. {	K. 12,5	6	4	1036	- 1	+10
	G. 14,3	8	8	958	+14	- 2
	V. 13,4	14	12	1081	-14	+12
III. {	K. 9,1	8	8	1026	-33	-16
	G. 10,1	6	4	971	+ 6	+ 4
	V. 9,6	14	12	1056	-39	-12
IV. {	K. 9,6	8	8	1028	-31	-14
	G. 11,8	8	8	966	+22	+ 6
	V. 10,7	16	16	1066	-52	-20
V. {	K. 12,5	2	8	1036	- 1	+10
	G. 12,6	2	8	963	- 2	-12
	V. 12,5	4	16	1075	+ 1	+22
VI. {	K. 9,5	—	—	1027	—	—
	G. 11,1	—	—	968	—	—
	V. 10,3	9	12	1057	-19	+ 9

Station B.

I. {	K. 9,5	7	8	1027	-28	-15
	G. 10,6	1	0	969	-27	-28
	V. 10,1	8	8	1059	0	+17
II. {	K. 14,3	7	7	1043	- 8	+ 6
	G. 13,3	4	2	961	-18	-24
	V. 13,8	11	9	1085	+11	+33
III. {	K. 11,1	7	7	1032	-19	- 5
	G. 10,5	4	4	969	- 3	-11
	V. 10,8	11	11	1065	-16	+ 8
IV. {	K. 11,1	7	7	1032	-19	- 5
	G. 13,3	5	0	961	-11	-16
	V. 12,2	12	7	1074	- 8	+13
V. {	K. 14,3	0	0	1042	+42	+42
	G. 14,3	14	12	958	+49	+23
	V. 14,3	14	12	1088	- 8	+22
VI. {	K. 11,1	8	8	1032	-27	-10
	G. 11,1	6	2	967	- 5	-13
	V. 11,1	14	10	1067	-19	+ 5

Station A.

I. {	K. 9,5	2	8	1027	-10	+ 1
	G. 8	8	6	978	+27	+13
	V. 8,8	10	14	1050	-38	-12
II. {	K. 14,3	2	8	1043	+ 6	+17
	G. 16	8	8	953	+ 9	- 7
	V. 15,1	10	16	1094	- 2	+25

Geschwindigkeit.	Beobachteter Unterschied.		Theoret. Schwingungs-Anzahl.	Unterschied zw. theor. und mittlerer Zahl für den halb. Ton =		
	1	2		$\frac{12}{V^2}$	$\frac{24}{V^2}$	
III.	K. 11,1	0	0	1032	+32	+32
	G. 12,5	9	12	963	+35	+15
	V. 11,8	9	12	1072	-3	+17
IV.	K. 12,5	8	8	1036	-23	-6
	G. 15,4	8	8	955	+11	-5
	V. 14	16	16	1085	-33	0
V.	K. 16,7	4	2	1051	+29	+36
	G. 14,3	8	9	958	+17	0
	V. 15,5	12	11	1097	+13	+37
VI.	K. 11,1	8	1	1032	-1	+9
	G. 12,5	1	8	963	-6	-14
	V. 11,8	9	9	1074	+7	+26

L o c c o m o t i v e .

I.	K. 14,4	6	6	1043	-1	+11
	G. 14,2	6	6	958	0	-12
	V. 14,3	12	12	1089	-1	+27
II.	K. 15,0	5	5	1044	+7	+18
	G. 15,8	8	8	954	+10	-6
	V. 15,4	13	13	1094	-2	+26
III.	K. 5,5	4	4	1016	-13	-4
	G. 5,5	4	4	984	+12	+4
	V. 5,5	8	8	1035	-25	-7
IV.	K. 5,1	4	4	1015	-14	-5
	G. 4,9	4	4	986	+14	+6
	V. 5	8	8	1031	-28	-11
V.	K. 14,3	8	8	1042	-13	0
	G. 14,1	8	8	959	+15	-1
	V. 14,2	16	16	1088	-28	+2
VI.	K. 18,3	8	8	1053	-6	+11
	G. 18,4	8	8	947	+3	-13
	V. 18,3	16	16	1106	-10	+20

§. 7.

Man sieht also, daß im Allgemeinen die Theorie bestätigt wird. Die Unterschiede schwanken in Plus und Minus: meist sind sie in den beiden Hypothesen von entgegengesetztem Zeichen oder verschwinden fast in einer von ihnen. Man bedenke nur, daß selbst ein Unterschied von 10 Schwingungen verschwindend klein ist.

Einige Unregelmäßigkeiten lassen sich vielleicht durch

Folgendes beseitigen. Eine erste ist darin begründet, daß einige der Musiker läugneten, der kommende Ton sey auf große Entfernungen höher als der objective. Sie schrieben die Erhöhung, wie sie sagten, der vorüberfliegenden Luft zu, gestanden aber alle, daß der gehende Ton in jeder Entfernung tiefer bleibe, und schon darin liegt eine Inconsequenz. Diese Ansicht gründete sich auf Beobachtungen entweder der Töne von Signaltrompeten oder der, welche die Pfeife der Locomotive einmal angab, und welche darauf von einem Musiker auf derselben Höhe gehalten ward. Im ersten Falle ist sehr zu vermuthen, daß man den Ton der Trompete von den andern Stationen mit dem der Locomotive verwechselte, und dann mußte sich freilich der Ton nicht verändern; im anderen Fall weiß ich nicht, ob der Ton der Pfeife rein genug, frei von begleitendem Geräusche war. Die Musiker auf der ersten Station *C* konnten gar nicht darüber entscheiden, da die Locomotive auch in großer Entfernung noch lange nicht die Geschwindigkeit erlangt hatte, mit der sie hernach vorbeifuhr. Die Beobachter der Station *B* haben es nicht angegeben; die Angaben von *A* würden von großer Autorität seyn, wenn nicht alle für den kommenden Ton zu gering wären. Dies erweckt die Vermuthung, daß die Instrumente dieser Station sich verstimmt hatten. Ich wollte dies nur erwähnen, weil mehre es behaupteten, glaube aber doch, daß jene Angabe auf einer Täuschung beruht.

Eine zweite Anomalie ist darin zu bemerken, daß man den kommenden Ton weniger erhöht, als den gehenden erniedrigt gehört hat. Es ist dies weniger aus den obigen Angaben zu ersehen, als es aus den mündlichen Mittheilungen anfangs hervorging. Dieser Umstand erklärt sich aber, da er nicht bei allen Beobachtungen stattgefunden hat, aus einem leichten Verstimmen des Instruments (immer das auf der Station *A*), aus der beinahe immer im Zunehmen begriffenen Geschwindigkeit

der Locomotive und aus einem physiologischen Gegensatz. Man hörte den kommenden Ton etwas höher, dann unterhalb 20 Meter ein bisschen weniger höher und darauf schneller abnehmen bis auf den tiefsten Ton; man verglich ihn aber dann vielleicht nicht mit dem objectiven Ton, sondern mit dem, welchen man einen Augenblick zuvor gehört hatte. Dieß würde zugleich erklären, weshalb man die Unterschiede durchgängig etwas zu groß hörte; man hatte nämlich das Steigen des kommenden Tons bereits angegeben und fügte nun einen zu großen Unterschied für den gehenden hinzu, wodurch auch die Summe zu groß ward. Ich gebe diese Erklärung gern für eine bessere hin, besonders da ich selbst nicht über die Unterschiede entscheiden kann; ich habe wohl jedesmal die Verschiedenheit der beiden subjectiven Töne gehört, bin aber nicht musikalisch genug, um die Unterschiede zu schätzen, geschweige denn, um den Unterschied von Unterschieden angeben zu können.

Die Basis der Doppler'schen Theorie bestätigen, heißt noch nicht mit der Anwendung derselben auf die Farben der Doppelsterne einverstanden seyn; so kann ich es nicht, weil mir der aus dieser Theorie gezogene Schluss nicht richtig zu seyn scheint. Um nämlich denselben mit voller Gewißheit ziehen zu können, müßten folgende Prämissen als bewiesen anzusehen seyn:

- 1) Dafs man berechtigt sey, die obigen Resultate vom Schall auf das Licht zu übertragen;
- 2) dafs die Sterne in einigen Theilen ihrer Bahn eine hinlängliche Geschwindigkeit besitzen, um eine merkbare Färbung und Farbenänderung zu erfahren;
- 3) dafs die Doppelsterne wirklich eine solche Färbung und Farbenänderung erleiden, wie sie nach dem besagten Satze erfahren müßten;
- 4) dafs kein anderer Erklärungsgrund eben so leicht vorhanden sey;

- 5) dafs keine Thatsache die Anwendung der Doppler'schen Theorie auf die Farben der Doppelsterne widerspreche.

§. 8.

Nur die erste dieser Bedingungen gebe ich unmittelbar zu. Was die zweite betrifft, so scheint auch sie mir keine bedeutende Schwierigkeit darzubieten, aber mich dünkt doch, dafs die Sterne nur selten eine hinlängliche Geschwindigkeit haben werden, um uns das Farbenphänomen zu zeigen; es fällt diefs sogleich in die Augen, wenn man bedenkt, dafs sowohl Dr. Bolzano ¹⁾ als Prof. Doppler in der Beurtheilung dieser Hinlänglichkeit zu weit gegangen sind: der Erste, weil er den Sternen im Allgemeinen eine zu grofse Geschwindigkeit beilegt; der Andere, weil er dem menschlichen Auge eine zu grofse Empfindlichkeit für das Licht zutraut.

Nicht dafs ich den Sternen alle eigene Bewegung absprechen und wieder zu Fixsternen machen will: ich meine nur, dafs der Dr. Bolzano durch einen falschen Schluß auf eine zu grofse Geschwindigkeit gerathen sey. Nach ihm soll nämlich die Geschwindigkeit der Hauptplaneten gröfser seyn, als die der Satelliten, und darnach vermuthet er, dafs die Geschwindigkeit der Fixsterne auch gröfser sey als die der Hauptplaneten. Ersteres ist aber ohne Ausnahme nicht ganz der Fall. Jeder der Jupiterstrabanten bewegt sich schneller als der Uranus, der zweite dieser Trabanten schneller als die beiden letzten Planeten, und der erste Trabant des Jupiters, so wie der erste des Saturns, schneller als der respective Hauptplanet. Die Satelliten des Uranus sind noch nicht genugsam beobachtet; wahrscheinlich giebt es deren noch nähere als wir kennen, und dann könnten auch einige darunter seyn, die schneller gingen als ihr Hauptplanet. Freilich mufs man zugeben, dafs bereits die Erde sich mit gröfserer Geschwindigkeit bewegt als selbst der schnellste

1) Dies. Annal. Bd. 60, S. 83.

der Satelliten; aber man hat darum noch kein Recht den Schluß allgemein auf die Fixsterne auszudehnen, deren gegenseitige Abstände, falls sie nicht physische Doppelsterne sind, ein weit größeres Verhältniß haben zu den Abständen der Hauptplaneten, als die Halbaxen der Bahnen dieser zu den Abständen der Satelliten, und folglich müßten sie auch ein weit größeres Verhältniß von Masse haben, was nicht wahrscheinlich ist und nicht mit den Annahmen von Argelauder, Bravais und Mädler übereinstimmt ¹⁾. Es verhält sich also mit der Geschwindigkeit ganz so wie Prof. Doppler sagt, und die Voraussetzung des Dr. Bolzano ist eine Uebertreibung.

§. 9.

Glaubte ich in dieser Hinsicht von Hrn. Dr. Bolzano's Meinung abweichen zu müssen, so kann ich doch andererseits auch Hrn. Prof. Doppler nicht beistimmen, wenn er sagt, schon das Austreten von einem Hundertel der zum weißen Licht gehörigen rothen Strahlen sey merkbar für das menschliche Auge. Ich erinnere mich nicht, solches bei Herschel, der dafür als Autorität angeführt wird, gelesen zu haben, habe es auch in dessen *Traité de la Lumiere*, von welchem ich die Ausgabe von Quetelet und Verhulst, mit den Zusätzen dieser Gelehrten, besitze, nicht auffinden können, wohl aber eine Stelle (p. 309 §. 510), welche zu einem entgegengesetzten Schlusse führt. Herschel sagt nämlich daselbst, daß man 1,000,000 Tinten erlange, wenn man die drei Farben, Roth, Gelb und Blau (in der Brewster'schen Hypothese) in verschiedenen Verhältnissen von 1 bis 100 menge; und er fügt hinzu: *ce qui est plus que suffisant*

1) Da man vielleicht nicht geneigt ist, die ausführlichen Abhandlungen der genannten Gelehrten nachzulesen, so will ich beispielsweise anführen was Prof. Kaiser in seinem Werke: *De sterrenhemel verklaard* p. 283 sagt: „*De ster, welke de snelste eigen beweging heeft, beweegt zich in een uur 33500 D. G. mijlen etc.*“, was noch nicht 10 Meilen in der Secunde beträgt.

pour exprimer toutes les nuances que l'oeil peut distinguer On dit que les romains imitaient dans leurs mosaïques plus que 30000 tintes: en supposant même que la nature nous offre un nombre dix fois plus grand, elles se trouveront toutes dans nôtre échelle.

Es fragt sich nun noch, ob man, bei ruhiger Betrachtung und genügend starker Beleuchtung, die supponirten 300000 Nuancen würde unterscheiden können; es hätten besonders die Maler darüber zu entscheiden. Hiezu brauchte man aber bereits das Austreten von 0,03 der rothen Strahlen, und also wenigstens eine dreifache Geschwindigkeit, wie Hr. Prof. Doppler annimmt. Zieht man dazu noch in Betracht, daß die Sterne selten ruhig genug stehen, um nicht beim Funkeln ein wenig gefährdet zu seyn, daß sie bereits durch die Dispersivkraft der Atmosphäre Farben zeigen ¹⁾, daß sie nicht gleichzeitig, nicht einmal von derselben Person mit sich selbst verglichen werden können; erwägt man, daß selbst die absolute Lichtstärke, welche doch noch leichter als die Farbe bestimmbar zu seyn scheint, schwerlich ohne Hilfe von Instrumenten bis auf $\frac{1}{100}$ bestimmt werden kann ²⁾, und daß man in der chromatischen Photometrie noch immer sehnsuchtsvoll auf die Untersuchungen und Instrumente Arago's zu warten hat, obwohl derselbe neuerlich wieder Hoffnungen darauf angeregt hat ³⁾, so wird man sich nicht wie Hr. Dr. Bolzano wundern, daß man bei den übrigen Fixsternen solche Unterschiede noch nicht wahrgenommen hat, wird auch nicht mit Hrn. Prof. Doppler eine Geschwindigkeit von 33 Meilen in der Secunde für genügend halten, um jenen Farbenunterschied hervorzurufen. Somit würden also nur die physischen Doppelsterne zu betrachten übrig bleiben.

1) Bessel, *Comptes rend. T. XV*, p. 181.

2) Argelander, in Schumacher's astronom. Jahrbuche für 1844, S. 185 und 206.

3) Arago, *Compt. rend. T. XX*, p. 1704.

§. 10.

Untersuchen wir demnach, ob es wahr sey, dafs die Doppelsterne wirklich solche Färbung und Farbenänderung erleiden, wie aus dem in Rede stehenden Satz würde erklärt werden können.

Es ist nicht genug zu sagen: die Farben einiger Doppelsterne ändern sich, viele stehen zu einander im Gegensatz, sind complementar, also müssen sie aus der Bewegung erklärt werden; vielmehr muß untersucht werden, in welchem Zahlenverhältniß solche Doppelsterne zu den übrigen stehen, um einigermaßen entscheiden zu können, ob man ihrer Bewegung mit einiger Wahrscheinlichkeit zuschreiben könne, was ihnen selbst vielleicht angehört. Um Zahlen von Autorität anzuführen, würde ich hier den competentesten Richter ¹⁾ selber sprechen lassen können; es wäre dieß besser als, nach meinem früheren Plane, aus der Abhandlung von Herschel und South in den *Transactions der Royal Astronomical Society T. I und III* etc. die farbigen Sterne aufzuzählen; allein, der Raumersparung wegen, werde ich mich doch damit begnügen, nur auf die Abhandlung von Struve zu verweisen; man wird bei Lesung derselben gestehen müssen, dafs sie, so viel Angaben, so viel auch Widersprüche gegen den Doppler'schen Fundamentalsatz enthält ²⁾.

Dafs beide Sterne einerlei Farben haben, ist bei weitem der häufigere Fall, sagt der große Beobachter. Aber in diesem Fall ist die Farbe nur aus der relativen Bewegung des Sternenpaars und unseres Planetensystems zu erklären, und die Doppelsterne stehen in dem nämlichen Verhältniß zu uns, wie die einzelnen Sterne, haben also keine hinlängliche Geschwindigkeit, dafs von 476 gleich gefärbten Paaren, lediglich durch Bewegung

1) Struve, über die Doppelsterne nach den Dorpater Mikrometer-Beobachtungen. Bericht an Sc. Excell. v. Uwaroff. S. 34—36.

2) Doppler a. a. O. §. 7.

118 gelblich oder röthlich und 63 bläulich erscheinen. Auch wäre es nicht leicht einzusehen, aus welchem Grunde sich denn fast zweimal so viel Sterne von uns entfernen, als sich uns nähern sollen. Dagegen kommen 16 Paare mit sehr großer Geschwindigkeit auf uns zu, deren Hauptstern grün und deren Begleiter blau ist; man weise nun die Kraft nach, durch welche sie mit Wahrscheinlichkeit eine solche Geschwindigkeit erlangt haben.

Die Färbung spricht also nicht gar sehr für die Anwendbarkeit der Theorie des Hrn. Prof. Doppler, wenn es wahr ist, wie wir §. 10 gezeigt haben, daß uns nur die physischen Doppelsterne solche Geschwindigkeit darbieten können, indem sich die oben erwähnten Färbungen nur aus der Bewegung des Sternenpaares, nicht aus der gegenseitigen Bewegung der beiden Sterne erklären lassen. Aber auch die Sternenpaare, welche complementäre oder fast complementäre Farben zeigen, sprechen nicht sehr dafür, denn wir müssen dann annehmen, daß fast alle Hauptsterne sich von uns entfernen, alle Begleiter sich uns nähern; bei 157 solchen Paaren sind 53 Hauptsterne weiß, 52 hellgelb, 52 gelb oder röthlich, die Begleiter alle blau oder bläulich, und es giebt nur wenige Paare, 13, in denen der Begleiter purpurfarben ist.

§. 11.

Auch die Farbenänderung ist Hrn. Prof. Doppler weit weniger günstig, als man nach seinen Worten erwarten würde. „Kein Wunder also, lesen wir S. 12, wenn sich neuere Beobachter (Siehe Mädler's populäre Astronomie, S. 493) zu der Frage aufgefordert fühlen, ob sich denn in der That die Farben der Doppelsterne während der letzten 50 Jahre so gar bedeutend sollten geändert haben.“ Wenn wir aber Mädler aufschlagen, so finden wir S. 500: „Haben diese Sterne (die beiden von γ Delphini) ihre Farbe seit 50 Jahren so stark verändert,“ und S. 493 heißt es ¹⁾: „Es kommen zwar zwi-

1) Der erste nun folgende Satz stimmt fast wörtlich mit der Aufse-

schen Herschel und Struve manche kleine Verschiedenheiten der Farbenbezeichnung vor, jedoch meist so, daß bei Herschel die Sterne um ein Geringes mehr in's Rothe spielen, was durch eine Eigenthümlichkeit des Teleskops zu erklären seyn dürfte. Hier aber zeigt sich, und zwar bei einem Sternenpaar, dessen Farben sich mit Bestimmtheit aussprechen, das Gegentheil, und man muß demnach vermuthen, daß es seine Farbe seit jener Zeit merklich geändert habe, was übrigens in der Fixsternwelt nicht gänzlich ohne Beispiel ist." Das klingt doch wenigstens etwas schwächer.

Das Schönste von allem aber ist, daß gerade auf die zwei Sternenpaare, γ Leonis und γ Delphini, auf welche diese Worte anwendbar seyn sollten, die Theorie des Hrn. Doppler in keinem Falle passen kann, denn sie haben in diesen 50 Jahren ihre gegenseitigen Abstände nicht geändert, und was die Positionswinkel betrifft, so hat γ Leonis diesen um $22''$ und γ Delphini den seinigen gar nicht geändert. Es kann sich also die Richtung und Größe der Bewegung keinesweges in der Weise geändert haben, daß daraus eine solche Farbenänderung würde hervorgehen können.

Auch Sirius wird wohl nicht viel beweisen, und (S. 17) die Bahnen der sogenannten neuen und verschwundenen Sterne so einzurichten, daß sie alle Farben des Regenbogens durchlaufend endlich mit kupferrothem Lichte verschwinden, würde doch auch schwer halten. Abgerechnet, daß ich diesen Farbenwechsel nicht von allen angeführt finde, möchte ich auch fragen, ob sie angefangen haben, uns mit einem grün- oder bläulichen Lichte sichtbar zu werden. Dieß mag genügen, um zu zeigen, daß die Färbung und Farbenänderung, die wir hie und da an den Doppelsternen wahrnehmen, uns nicht nöthigen, ihre Erklärung in der Bewegung zu suchen.

rung von Struve a. a. O., S. 36, überein, widerspricht dagegen schnurstraks Hrn. Doppler S. 12.

§. 12.

Zuvörderst müssen wir nun untersuchen, ob es nicht einen anderen bekannten Erklärungsgrund gebe, zumal die Bewegung, wie wir im folgenden Paragraphen zeigen werden, nicht einmal im Stande ist, merkliche Farbenänderungen hervorzubringen. Es ist, wie mich dünkt, eine ganz willkürliche Annahme, daß die Farbe aller Sterne weiß und unveränderlich sey. Es ist doch nicht leichter, jedem Stern diejenige Richtung und Geschwindigkeit anzudichten, welche er, in der Hypothese einer weisen objectiven Farbe, haben muß, um diejenige Farbe zu zeigen, welche wir an ihm wahrnehmen, als anzunehmen, daß die Fixsterne alle möglichen Farben besitzen können. Daß sie jedenfalls nicht alle weiß sind, beweisen die Beobachtungen genugsam, und läugnet auch Prof. Doppler nicht. Am Ende muß man denn doch seine Zuflucht zu der Voraussetzung nehmen, daß die verschiedenen Sterne nicht alle eine gleiche objective Farbe haben. Es liegt nichts Ungereimtes in der Annahme, daß verschiedene Sterne verschiedene Farben hervorzubringen fähig seyn. Ueberdies haben wir auch directe Beweise, daß sie wirklich nicht einerlei Farbe haben. Nach den Beobachtungen von Fraunhofer zeigt das Sonnenspectrum andere dunkle Linien als die Spectra mehrer Sterne, und da nun also das Licht solcher Sterne, ungeachtet es durch dieselbe Atmosphäre unserer Erde gegangen ist, wie das Sonnenlicht, sich doch von diesem verschieden zeigt, so sind wir zu schliesen berechtigt, daß es in der That von diesem verschieden ist. Aber wie denn die Veränderlichkeit der Farbe und die veränderlichen Sterne erklären? Ich sehe hier keine große Schwierigkeit, diese Veränderlichkeit den Sternen selbst zuzuschreiben. Es würde interessant sein, Fraunhofer's Messungen auf solche Sterne auszudehnen, die wohl periodisch ihre Intensität, aber nicht ihre Farbe ändern. Uebrigens möchte das periodische Verschwin-

den der veränderlichen Sterne eben so leicht durch die sonstigen Hypothesen, wie unwahrscheinlich sie auch an sich seyn mögen, als durch die sinnreiche und im ersten Augenblick wahrscheinliche, aber hier unzulässige Theorie des Hrn. Doppler erklärt werden.

§. 13.

Man wird dieses um so leichter eingestehen, als endlich die Bewegung nicht Ursache des Farbenwechsels seyn kann. Bereits die Analogie bei dem Schalle lehrt es. Als ich zu Anfange dieses Jahres einen Musiker nach dem mutmaßlichen Erfolg der von mir beabsichtigten Versuche befragte, sagte er mir und Andere sagten es ihm nach: „Sie dürfen nicht hoffen, dafs dieselben ein Resultat geben werden, denn ich habe in dem Geräusche eines vorbeifahrenden Wagens niemals eine Aenderung gehört.“ Auch die Musikanten, als sie zum erstenmale auf der Eisenbahn waren und der gewöhnliche Wagenzug uns mit grofser Geschwindigkeit vorbeifuhr, sagten mir, obgleich ich sie vorher darauf aufmerksam gemacht hatte, sie hätten keinen Tonunterschied bemerkt, denn es sey ein Geräusch, kein Ton. Eben so ist die Farbe der Doppelsterne ein Gemisch von Farben, keine einfache Farbe. Was mufs also in beiden Fällen stattfinden?

Bekanntlich ist ein Geräusch als ein Gemisch verschiedener Töne zu betrachten, wie Ohm diefs dargethan zu haben scheint, oder man mufs annehmen, es sey gar kein Ton darin, sondern bestehe aus Wellen von verschiedener Länge, deren keine sich so oft regelmäfsig folge, dafs sie im Ohre die Wahrnehmung eines Tons hervorrufe. Diefs ist mir gleich; in jedem Falle haben wir Wellen von verschiedener auf einander folgender Länge. Bei Annäherung also werden die längeren Wellen zu kürzeren, diese wieder zu noch kürzeren, und jede nimmt die Stelle der ihr in Kürze folgenden ein, so dafs am Ende das gesammte Geräusch keine andere Veränderung erlitten hat, als dafs die längste Welle auf-

gehört hat, als solche wahrnehmbar zu seyn, und eine aller kürzeste hinzugekommen ist.

Aber darin eben ist der Grund zu suchen, daß die Sterne eine Farbenänderung erleiden, wird man mir entgegen, und das reicht auch hin sie zu erklären: die rothen Wellen werden zu orangefarbenen, diese zu gelben, u. s. w., bis endlich die violetten unsichtbar, unwahrnehmbar werden; es fehlen also in dem Spectrum die rothen Strahlen und die Farbe des Sterns ist nicht mehr rein weiß, sondern in's Violette oder Blaue spielend. Das Gegentheil findet beim Entfernen statt.

Bei oberflächlicher Betrachtung des Gegenstandes mag dieser Einwurf richtig scheinen; aber er ist es nicht, denn man darf die Analogie nicht weiter treiben, als sie wirklich besteht, und darum ist auch die Anwendung eine falsche. Für das Auge sind nur sehr wenig Lichtwellen sichtbar: die Längengrößen, zwischen welchen sie wahrnehmbar sind, liegen einander sehr nahe. Wenn beim Geräusch ein neuer Ton hinzukommen kann und eine Welle, welche früher die längste war, bei der Annäherung aufhört als solche wahrgenommen zu werden und in eine etwas kürzere übergeht, so muß man dagegen beachten, daß beim Lichte die neue Farbe auch unsichtbar ist, und, beim Entfernen, die Stelle des Violetts durch eine kürzere, früher unsichtbare Welle eingenommen wird, mithin das Spectrum in seiner Reinheit wiederhergestellt ist, d. h. ganz zu dem geworden ist, was es früher war. Auch selbst wenn die Geschwindigkeit so groß wäre, daß die vormals violetten Strahlen zu rothen, oder umgekehrt diese zu jenen würden und der ganze übrige Theil des Spectrums verschwände, so wären doch immer noch genug unsichtbare, aus kürzeren oder längeren Wellen bestehende Strahlen da, um das übrig gebliebene Licht zum vollkommenen Spectrum zu ergänzen. Diefes nun eben findet im Allgemeinen bei dem Geräusche nicht statt, und dennoch ist selbst bei ihm die Veränderung nicht merkbar.

§. 14.

Es wird leicht zu erweisen seyn, dafs dieser Satz keine blofse Annahme, sondern in der Natur begründet ist, denn erstlich würde das Gegentheil unwahrscheinlich seyn, und zweitens auch der bisherigen Erfahrung geradezu widersprechen.

In der Theorie der Bildung von Aetherwellen liegt kein Grund, warum vorzugsweise Schwingungen von einer gegebenen Länge erregt werden sollten, eben so wenig wie diefs bei den Schallwellen stattfindet. Es hängt nur von der Natur des schwingenden Körpers ab, ob schnellere oder langsamere Schwingungen erregt werden. Es würde demnach sehr sonderbar seyn, wenn nur diejenigen Schwingungen hervorgerufen würden, welche für das menschliche Auge sichtbar sind. Ueberdiefs widerspricht es der Analogie mit dem Schalle, denn in der Luft können bestimmt Wellen erregt werden, die für die Wahrnehmung durch das Ohr zu lang oder zu kurz sind.

Das Gegentheil ist also sehr unwahrscheinlich; es ist aber auch der Erfahrung zuwider. Ich werde, um mich nicht in Hypothetisches zu verwickeln, unberücksichtigt lassen, dafs diefs- und jenseits des Lichtspectrum chemische, wärmende oder anderweitige Strahlen vorhanden sind, zumal ich es für sehr wahrscheinlich halte, dafs diese Strahlen nicht in leuchtende übergehen können, sondern von den Lichtstrahlen durch eine solche Modification der Wellen unterschieden sind, wie wir beim Schalle *Klang* nennen, — vielmehr will ich mich nur auf die Lichtstrahlen beschränken.

Herschel, und Einige mit ihm, haben aufserhalb des für uns unsichtbaren Violetts noch Strahlen von Lavendelfarbe gesehen. Diese Strahlen müssen also nothwendig zu violetten werden, und vielleicht könnte ein Anderer noch jenseits dieser Lavendelstrahlen eine andere Farbe wahrnehmen. Besonders wird meine Behauptung verstärkt durch die vor etwa dreissig Jahren

von Arago gemachte Beobachtung, daß der Brechungsindex des von Gestirnen auf die Erde gesandten Lichts ungeändert bleibt, die Erde mag sich ihnen nähern oder von ihnen entfernen ¹). Diese Beobachtung ist nun nicht anders zu erklären als durch die Annahme Arago's ²): „*que les corps lumineux emettent des rayons avec toutes les vitesses possibles et que dans l'ensemble de ces vitesses une seule produit la sensation de lumière, ce qui rend compte aussi de l'égalité de vitesse apparente des rayons de toutes les étoiles.*“ Wenn man dieß in die Sprache der Undulationstheorie übersetzt, und bedenkt, daß es im freien Aether nur Eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit geben kann ³), so muß man annehmen, daß die Gestirne Wellen von unendlich verschiedener Oscillationsgeschwindigkeit aussenden, und daß von der Gesamtheit dieser Oscillationsgeschwindigkeiten nur diejenigen die Empfindung des Lichts und einer bestimmten Farbe erregen, welche wir als solche im Sonnenspectrum haben kennen gelernt. Sind dann auch die Strahlen, welche bei relativer Ruhe der Erde sichtbar waren, in Folge der Bewegung mehr oder weniger abgelenkt als früher, so ist doch auch zugleich die Oscillationsgeschwindigkeit eine andere geworden: sie haben dadurch ihre Farbe geändert, und andere, früher unsichtbare Strahlen haben ihre Stelle und Natur genau ein- und angenommen.

Nur eine Schwierigkeit bleibt mir noch zu beseitigen; sie entspringt daraus, daß man den verschiedenen Farben

1) Man findet sie auseinandergesetzt in Biot's *Traité d'Astronomie physique* Edit. III, T. III, p. 139 et 141.

2) Die Erklärung, welche Fresnel in Auforderung von Arago gegeben hat, ist nicht haltbar. *Ann. de phys. et de chimie* T. IX, p. 58; auch gegen die Erklärung Cauchy's (*Compt. rend.* T. VIII, p. 327) ist einzuwenden, daß auch das Verhältniß der relativen Geschwindigkeit sich bei der Bewegung ändert. Arago hat seine Erklärung wiederholt in den *Compt. rend.* T. VIII, p. 326.

3) Cauchy, *Dispersion de la lumière.*

des Spectrums verschiedene Intensitäten zugeschrieben hat, namentlich den gelben und blauen Strahlen die grösste. Wenn dem wirklich so wäre, so könnte man sagen, es würde, bei Stellvertretung einer Farbe durch die andere, in dem veränderten Spectrum das intensive Gelb in intensives Orange, das schwache Grün in schwaches Gelb u. s. w. übergehen, und folglich das Spectrum eine ganz andere Tinte annehmen. Allein, wenn man auch außer Acht lassen will, daß es beinahe die complementären Farben sind, welche eine gleiche Intensität zu haben scheinen, so muß es doch als ein kräftiges Argument gegen jenen Einwurf angesehen werden, daß die erwähnten Farbenintensitäten höchst wahrscheinlich subjectiv, von dem Auge selbst abhängig sind. Ich will hier nur an das erinnern, was Melloni in diesen Annalen gesagt hat ¹⁾. Ist dieses richtig, so ist auch sogleich jener Einwurf beseitigt, denn dann werden schwache grüne Strahlen zu intensiven gelben, und intensiv gelbe zu schwach orangefarbenen.

§. 15.

Ich kann nicht umbin hier noch mit wenigen Worten der zweiten schönen Abhandlung des Hrn. Professor Doppler zu gedenken ²⁾. Gegen diese mag wohl nichts einzuwenden seyn, da schwerlich Jemand die oben erwähnte Annahme Fresnel's billigen wird. Außer daß Hr. Prof. Doppler viele astronomische Beobachtungen angegeben hat, durch welche die Theorie geprüft werden kann, hat er auch einige interessante Folgerungen gezogen, und gezeigt, daß sie auch für spätere Entdeckungen fruchtbar seyn kann, sobald sie nur einmal erst ganz bestätigt ist.

1) Melloni, *Compt. rend.*, *XIV*, p. 328, und diese Ann. Bd. 56, S. 574.

2) Christian Doppler: Ueber eine bei jeder Rotation des Fortpflanzungsmittels eintretende eigenthümliche Ablenkung der Licht- und Schallstrahlen. Prag, 1844.

Hierauf kommt es nun aber eben an, und es wundert mich darum, daß gerade diejenige astronomische Beobachtung, welche am leichtesten diesen Beweis liefern kann, nicht ausdrücklich angeführt ist. Ich meine die Bedekung der Jupiterstrabanten nicht durch den Kernschatten des Planeten, sondern durch den Planeten selbst, welche letztere Beobachtung, wenn sie auch eben so schwierig als die erste seyn möchte, doch den Vorzug hat, daß sie einen doppelt so großen Unterschied giebt. In der Annahme nämlich, daß die Bahn des Trabanten genau in der Ebene des Jupiter Aequators läge, würde der Satellit erst hinter seinem Hauptplaneten verschwinden, wann er bereits 26,86 Raumsecunden hinter demselben fortgerückt ist, und würde schon wieder sichtbar werden, wenn er noch eben so viele Secunden fortrücken müßte, um, im Fall die rotatorische Ablenkung nicht vorhanden wäre, sichtbar zu seyn. Zu solchen Beobachtungen hat man oftmals Gelegenheit und ist unabhängig von einer genauen Zeitbestimmung. Ich glaube, es würde auf diese Weise leichter seyn die rotatorische Ablenkung darzuthun, als durch das sogleich erwähnte Instrument, welches zu viele practische Schwierigkeiten hat, um in Anwendung kommen zu können, selbst wenn man einen Künstler hätte, wie Hr. Arago in Hrn. Bruguet gefunden hat. Es würde immer noch leichter seyn, die von Arago zur Entscheidung über die Emissions- und Undulationstheorie ersonnenen, sich 2000 Mal in einer Secunde undrehenden Spiegel darzustellen ¹⁾, als einen Glascylinder anzufertigen, welcher, bei einem Meter Durchmesser, 1000 Mal, oder bei $\frac{1}{2}$ Meter Durchmesser, 2000 Mal in der Secunde um eine horizontale Axe rotirte, dabei eine genau cylindrische Oberfläche darböte, aus homogenen Glase bestände, und höchst genau centrirt wäre, um dem Lichtstrahl, der ihn in einer auf der Axe senkrechten Ebene durchlief, eine rotatorische Ablenkung von $\frac{5}{6}$ Secunden

1) Arago, *Compt. rend.*, T. VII, p. 954. Dies. Ann. Bd. 46, S. 28.

einzuprägen, eine Größe, welche immer noch nicht leicht zu messen seyn würde. Ich gebe auch darum nur die Idee, nicht die Details.

Utrecht, den 5. August 1845.

II. *Von der Geschwindigkeit des Schalls zwischen zwei Standpunkten von gleicher oder ungleicher Höhe über dem Meere;*
von den HH. A. Bravais und Ch. Martins.

(*Ann. de chim. et de phys., Ser. III, T. XIII, p. 5.*)

I. Schallgeschwindigkeit zwischen zwei Standpunkten von gleicher Höhe über dem Meere.

Die ersten Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft zwischen zwei Standpunkten, deren Höhenunterschied Null oder unbedeutend ist, stammen von Mersenne und Gassendi her; sie wurden von vielen Physikern wiederholt, unter andern von denen der *Accademia del Cimento*, von Rob. Boyle, Bianconi, Flamsteed und Halley. Allein der Widerspruch zwischen den von ihnen erhaltenen Zahlen beweist genugsam, daß die experimentellen Methoden damals noch nicht weit genug waren, um genaue Resultate zu erlangen; auch hat es die Pariser Academie der Wissenschaften für ihre Pflicht gehalten, Versuche zu unternehmen, um die Gesetze dieser Fortpflanzung scharf zu bestimmen. Es wurde eine Commission ernannt, bestehend aus Lacaille, Maraldi und Cassini de Thury, denen mehre Gehülfen hinzutraten ¹⁾. Die Sternwarte, die Pyramide von Montmartre, die Mühle von *Fontenay-aux-Roses* und das Schloß *Lay* waren die von den Acade-

1) *Sur la propagation du son, par Mr. Cassini de Thury* (*Mém. de l'acad., année 1738, p. 128.*)