ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN.

N^o 2981.

Ueber die Bewegungen im Fixsternsysteme.

Von *H. Kobold*.

In den folgenden Zeilen möchte ich mir gestatten die wesentlichen Resultate einer Arbeit mitzutheilen, die ich schon vor mehreren Jahren ausgeführt habe, aber nur als eine Vorbereitung zu einer umfassenderen Untersuchung betrachte, die ich auszuführen gedachte, sobald die dazu erforderlichen Daten mir zugänglich sein würden; obwohl diese letztere Bedingung nun in der That schon längere Zeit erfüllt ist, ist es mir doch nicht möglich gewesen, die Arbeit derart in Angriff zu nehmen, dass ich ihrer Vollendung in einer bestimmten Zeit entgegensehen dürfte, und da ich von unbedingt massgebender Seite in der Ansicht bestärkt wurde, dass schon die Resultate der vorläufigen Arbeit nicht ohne Interesse sein würden, so habe ich mich entschlossen dieselben an dieser Stelle zu veröffentlichen. Gewiss kann nur durch Heranziehung eines möglichst ausgedehnten Materials die Frage, zu deren Lösung diese Zeilen beizusteuern wünschen, gefördert werden; wenn ich selbst demnach auch weit entfernt bin den erzielten Resultaten einen zwingenden Charakter zuzugestehen, so scheint doch der Umstand, dass diese Resultate auf einem von dem bisher wenigstens bei grösseren Arbeiten betretenen völlig verschiedenen Wege erzielt wurden, und dass sie sich mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen kaum vereinigen lassen, einige Beachtung zu verdienen.

Der Zielpunkt der eigenen Bewegung unseres Sonnensystems ist seit W. Herschel's Zeiten häufig aus den beobachteten Eigenbewegungen der Fixsterne bestimmt, und die Einzelresultate gruppieren sich bekanntlich um einen etwa in $266^{\circ}7$ AR. und $+31^{\circ}0$ Decl. gelegenen Punkt in so befriedigender Weise, dass man annehmen darf, es sei diese Bewegung mit einer in naher Zukunft kaum noch zu vergrössernden Genauigkeit bekannt, wenn man nicht etwa gegen die Art der Bestimmung Bedenken geltend machen will. Von den beiden Methoden, die bei diesen Untersuchungen angewandt wurden, der Argelander'schen und der Airy'schen, scheint für eine vollständige Lösung die letztere den Vorzug zu verdienen, weil sie in einfacher Weise gestattet die beobachteten Bewegungen der Fixsterne von der aus der Bewegung der Sonne folgenden parallaktischen Verschiebung zu trennen, und so die Prüfung der Voraussetzung beider Lösungen, dass die absoluten eigenen Bewegungen der Sterne die beobachteten Bewegungen wie zufällige Fehler beeinflussen, ermöglicht. Diese Prüfung ergab nun bei der von Dunkin ausgeführten Bearbeitung der Eigenbewegung von 1167 Sternen nur eine geringe Verminderung der Fehlersumme durch die Einführung der

parallaktischen Verschiebung und musste Zweifel an der Richtigkeit der erwähnten Voraussetzung wachrufen.

In der That gelang es auch schon Proctor die Gleichartigkeit der Bewegung der Sterne an bestimmten Stellen des Himmels, die bis dahin nur für einzelne Sterngruppen, wie die Plejaden, bekannt war, nachzuweisen. Später wandte sich Klinkerfues derselben Aufgabe zu, und es sind die von ihm in Vorschlag gebrachte Methode und die im persönlichen Verkehre noch vielfach erweiterten Gesichtspunkte, die ihm vorschwebten, welche den Verfasser bei seinen Arbeiten leiteten.

Klinkerfues gründet seine Betrachtungen auf das zuerst von Bessel vorgeschlagene und in den Fundamentis angewandte Verfahren, die Pole der Eigenbewegung der Sterne zu berechnen und chartographisch zu verzeichnen, um aus der Gruppierung dieser Pole die Zusammengehörigkeit einzelner Sterne zu Systemen zu erkennen. Nach dieser Methode berechnete der Verfasser schon im Jahre 1879 die Pole der Eigenbewegung der Bradley'schen Sterne nach dem Mädler'schen Cataloge. Eine weitere Verfolgung des Gegenstandes unterblieb aber damals. Heute sind wir nun durch die neue Reduction der Bradley'schen Beobachtungen durch Auwers im Besitze eines Systems von Eigenbewegungen, die jedenfalls für längere Zeit als die möglichst sicheren anerkannt werden müssen. Zur Zeit der Ausführung dieser Untersuchung waren diese Resultate aber nur in den Positionen und Eigenbewegungen der 622 Sterne der beiden Fundamentalcataloge der Astronomischen Gesellschaft bekannt, und auf diese beschränken sich daher auch die jetzigen Untersuchungen, deren Ausdehnung auf das gesamte Material indess vorbehalten und auch schon in Angriff genommen ist.

In Ermangelung der Kenntniss der mittleren Fehler der bei der Bestimmung der Eigenbewegung von Auwers verglichenen Positionen der Sterne für die Epochen 1755 und 1865, wurde, um ein Urtheil über die Genauigkeit der berechneten Pole der Eigenbewegung zu erlangen, eine Vergleichung der nach der erwähnten älteren Rechnung bekannten Pole der Mädler'schen Eigenbewegung mit den neuen ausgeführt. Bei der Verschiedenartigkeit der Grundlagen beider Systeme darf man annehmen, dass ein systematischer Unterschied beider nicht vorhanden oder doch nur untergeordneter Bedeutung sei. Ordnet man die Sterne nach der Grösse der Eigenbewegung und fasst dann je 20 aufeinanderfolgende zu einem Mittel zusammen, so ergibt sich folgende Tabelle.

Mittlere Eigenbew.	Abstand der Pole	B—R
1.346	1.47	+ 0.4
0.543	3.90	+ 0.4
0.349	5.42	— 0.3
0.261	5.42	— 2.4
0.222	8.43	— 0.8
0.189	10.27	— 0.6
0.160	17.45	+ 4.4
0.144	10.62	— 3.8
0.124	18.36	+ 1.6
0.112	22.38	+ 4.0
0.100	16.24	— 4.6
0.088	23.44	— 0.3
0.078	29.99	+ 3.3
0.069	42.03	+ 11.9
0.061	28.43	— 5.6
0.051	33.33	— 7.1
0.043	47.04	— 0.6
0.035	48.05	— 9.7
0.026	88.20	+ 12.1
0.016	114.43	— 2.1

Nennt man Δs die Eigenbewegung, so werden die in der Tabelle enthaltenen Werthe für den Abstand der Pole durch die Formel

$$-0.49 + 2.183 \frac{1}{\Delta s} - 0.0050 \frac{1}{\Delta s^2}$$

unter Zurücklassung der in der 3. Columne aufgeführten Grössen dargestellt. Nach dieser Formel wurden nun die Sterne in 7 Klassen in folgender Weise vertheilt:

Classe	Gewicht	Δs	$\epsilon (p)$
I	≥ 1	> 0.547	± 2.00
II	$1/2$ bis 1	0.292 bis 0.547	± 4.01
III	$1/3$ » $1/2$	0.198 » 0.292	± 5.96
IV	$1/4$ » $1/3$	0.150 » 0.198	± 8.02
V	$1/5$ » $1/4$	0.120 » 0.150	± 10.03
VI	$1/6$ » $1/5$	0.100 » 0.120	± 12.04
VII	$\leq 1/6$	< 0.100	—

Die 4. Columne giebt die Unsicherheit des Poles der geringsten Eigenbewegung der betreffenden Classe. Die den 6 ersten Classen zugehörigen Pole wurden nun in Karten eingetragen, die der Projection der Sphäre auf einen sie im Nord- und Südpole und in 4 Punkten des Aequators berührenden Würfel entspricht. Da bei dieser Projection jeder grösste Kreis der Kugel in eine gerade Linie übergeht und da die Pole paralleler Bewegungen am Himmel in einen grössten Kreis fallen müssten, so würde sich solche Bewegung in der Projection dadurch verrathen, dass ihre Pole in einer geraden Linie liegen. Dies Kriterium

kann also einerseits zur Auffindung von Partialsystemen mit paralleler Bewegung im Raume dienen, andererseits aber wird es auch die parallaktische Verschiebung aller Sterne in Folge der Bewegung der Sonne verrathen. Denn wenn allein die Sonne sich bewegte, so müssten sämtliche Pole der Eigenbewegung auf einem grössten Kreise liegen, dessen einer Pol durch den Zielpunkt der Sonnenbewegung bestimmt ist. Das Hinzutreten der absoluten eigenen Bewegung der Sterne wird ein Abweichen der Pole von diesem grössten Kreise bewirken, und die Abweichung wird um so grösser sein, je grösser der von den Richtungen der beiden Bewegungen, der eigenen Bewegung der Sonne und derjenigen des betrachteten Sterns, gebildete Winkel ist. Würden die absoluten eigenen Bewegungen der Sterne die beobachteten Bewegungen nur wie zufällige Fehler beeinflussen, so müsste der grösste Kreis, dessen einer Pol der Zielpunkt der Sonnenbewegung ist, und der der parallaktische Aequator genannt wird, die Kugel in zwei Hälften mit gleicher Anzahl von Polen theilen und die mittlere Dichtigkeit der Pole müsste nach der Trennungslinie zu in einer bestimmten Progression, die nur durch eine Annahme über die relative Grösse der Sonnenbewegung zu bestimmen wäre, zunehmen. Betrachtet man nun unter diesen Gesichtspunkten die Karte, so erkennt man sofort, dass die Pole in der That nicht gleichförmig über die Sphäre vertheilt sind; es zeigen sich bedeutende Anhäufungen von Polen in der Nähe der Himmelspole und in der Gegend 0° und 180° des Aequators; es entsteht so ein Gürtel, innerhalb dessen die Dichtigkeit der Pole eine auffallend grosse ist; doch ist die Vertheilung in diesem Gürtel durchaus keine gleichförmige. Theilt man die Sphäre durch einen grössten Kreis, dessen einer Pol in 266.7 AR. und $+31.0$ Decl. fällt, der also dem parallaktischen Aequator nach der zuverlässigsten bisherigen Bestimmung entspricht, in 2 Hälften, und zählt die in den beiden Hälften enthaltenen Pole ab, so erhält man folgende Zahlen:

Classe	I	II	III	IV	V	VI	Summe
Nördliche Halbkugel	18	16	15	15	15	18	97
Südliche »	14	19	32	30	22	22	139

Unter der nördlichen Halbkugel ist dabei diejenige verstanden, die den vorhin angegebenen Zielpunkt der Sonnenbewegung enthält. Um eine gleichförmige Vertheilung zu erreichen, müsste man, wie diese Zahlen und die Karte selbst zeigen, die Declination des Zielpunktes erheblich verringern. Zur Ermittlung der unserer Karte der Polpunkte entsprechenden Lage des parallaktischen Aequators wurden diejenigen Pole einer Berechnung unterworfen, welche in einem 60° breiten zum Declinationskreise $0^\circ - 180^\circ$ symmetrisch liegenden Gürtel in der Projection liegen. Die Anzahl der in diese Zone fallenden Pole giebt die folgende Tabelle:

Classe	I	II	III	IV	V	VI	VII	I bis VI
Ueberhaupt vorhandene Pole	32	35	47	45	37	40	386	236
In die Zone fallende Pole	24	24	32	33	29	27	212	169
d. h. in Procenten	75	69	68	73	78	68	55	72

Das Verhältniss des Areal des benutzten Gürtels zur Oberfläche der ganzen Kugel ist gegeben durch 1.840 : 4. Bei gesetzloser Vertheilung dürften also nur 46 Procente der Pole in die Zone fallen; die beobachtete Zahl ist so bedeutend grösser, dass an eine Zufälligkeit nicht gedacht werden kann. Die Berechnung der Lage des parallaktischen Pols für die in die Zone fallenden Pole der einzelnen Classen ergibt folgende Werthe:

Classe	A			D		
I	259°	26'5	± 4° 31'	— 0°	30'3	± 4° 57'
II	270	19.2	3 20	+ 2	38.2	3 25
III	266	54.4	3 52	— 1	17.4	3 21
IV	262	55.4	3 15	+ 4	5.3	3 19
V	267	43.6	4 17	— 0	29.9	4 9
VI	269	15.4	3 54	— 2	10.4	2 59

und im Mittel $A = 266^{\circ} 6'$ $D = +0^{\circ} 21'$.

Für die der Berechnung unterworfenen Pole fällt also der parallaktische Aequator nahezu mit der Mittellinie der

durch die grösste Dichtigkeit ausgezeichneten Zone zusammen. Die Lage der von der Rechnung ausgeschlossenen Pole ist aber eine solche, dass bei ihrer Mitbenutzung der parallaktische Pol jedenfalls in höhere Breiten rücken würde; auf der südlichen Halbkugel liegen die ausgeschlossenen Pole ziemlich gleichmässig über den ganzen Raum ausserhalb der Zone vertheilt, auf der nördlichen Halbkugel gruppieren sie sich aber in ausgesprochener Weise um einen Punkt in AR. 90° Decl. + 25°. Ist also das Ausschliessen der betreffenden Sterne nicht dadurch gerechtfertigt, dass sich durch weitergehende Untersuchung herausstellt, dass sie zu einem Partialsystem gehören, so hätte man den parallaktischen Pol jedenfalls in eine um einige Grade nördlichere Breite zu versetzen. Theilt man die Kugeloberfläche durch Parallelkreise, deren Pol mit dem gefundenen Pole des Gürtels grösster Dichtigkeit zusammenfällt, in 10 Zonen gleichen Flächeninhalts und vereinigt dann noch je zwei zum Aequator symmetrisch liegende dieser Zonen, so ergibt sich die Anzahl der in diese Zonen fallenden Pole, wie folgt:

	Classe I—VI	I	II	III	IV	V	VI
Zone 1 (Polarzonen)	17	1	5	4	3	1	3
» 2	28	4	5	7	5	5	2
» 3	33	6	1	9	5	4	8
» 4	58	8	7	5	13	15	10
» 5 (Aequatorealzone)	100	13	17	22	19	12	17

Aus diesen Zahlen spricht sehr deutlich die Bedeutung der ausgezeichneten Zone, die namentlich für die ersten Classen die weit überwiegende Anzahl der Pole enthält.

Berechnet man nun auch die Abstände der Sterne selbst von dem angenommenen parallaktischen Pole und theilt die Kugeloberfläche wie vorhin in 5 Zonen gleichen Flächeninhalts, so ergibt sich für die mittlere Eigenbewegung der Sterne der einzelnen Zonen folgendes:

Zone	Mittlere Eigenbewegung	Anzahl der Sterne
1	0.366	38
2	0.246	28
3	0.288	34
4	0.257	39
5	0.322	28

Hierbei sind die beiden Sterne 61 Cygni und Br. 3077 mit aussergewöhnlich grosser Eigenbewegung ausgeschlossen. Es beweisen diese Zahlen, dass für die bei der Berechnung benutzten Sterne der Einfluss der projectivischen Verkürzung

der aus der Bewegung der Sonne hervorgehenden parallaktischen Bewegung unmerklich ist, da sonst die beobachtete Bewegung mit der Annäherung an die parallaktischen Pole abnehmen müsste; weiter müssen wir hieraus schliessen, dass die Grösse der beobachteten Bewegung im Wesentlichen nur durch die Entfernung und durch die absolute eigene Bewegung der Sterne bedingt sein kann.

Weiteren Aufschluss darüber, wie sich in den beobachteten Bewegungen der Sterne die parallaktische Bewegung und die absolute eigene Bewegung zusammensetzen, erhalten wir dadurch, dass wir die Richtungen beider Bewegungen vergleichen. Die Differenz beider ist für die in die Rechnung aufgenommenen Sterne naturgemäss entweder von kleinem positiven oder negativen Betrage oder sie ist nahe 180°. Gerade diese letzteren Fälle, die also der Annahme, dass die beobachteten Bewegungen allein in einer eigenen Bewegung der Sonne ihren Grund haben, geradezu widersprechen, verdienen eine besondere Beachtung. Die Rechnung ergibt, dass solcher retrograden Bewegungen in den einzelnen Classen ihren Zahlen nach vorkommen:

Classe	1	Retrograde Bewegungen	10 unter	24 untersuchten;	in Procenten	42 %
»	2	»	3	» 24	»	13
»	3	»	4	» 32	»	13
»	4	»	4	» 33	»	12
»	5	»	4	» 29	»	16
»	6	»	7	» 27	»	26

Während die grössere Zahl für die 6. Classe wohl durch die Unsicherheit der beobachteten Bewegung zu erklären sein möchte, verlangt doch das gleiche Verhalten in der

1. Classe ohne Zweifel die Annahme bedeutender absoluter Bewegungen der Sterne selbst. Sucht man die auf diese Weise ausgezeichneten Pole auf der Karte auf, so erkennt

man sofort, dass ihre Mehrzahl (20 von 32 vorhandenen) in der Umgebung des der Rectascension 0° entsprechenden Punktes des Aequators sich zusammendrängt. Die Mitte dieser Gruppe liegt ziemlich genau diametral gegenüber der grossen Gruppe von Polen rechtläufiger Bewegung.

Es bleibt nun noch die Beantwortung der Frage übrig, ob sich nicht aus der Anordnung der Pole auf der Karte Schlüsse ziehen lassen über die Zusammengehörigkeit der Sterne zu Sondersystemen. In dieser Beziehung ist zunächst hervorzuheben, dass in den einzelnen Anhäufungen von Polen meistens Sterne vorkommen, die auch nach ihrer Stellung am Himmel zusammen zu gehören scheinen. So finden wir z. B. in der Nähe des Südpols an Polen der 3 ersten Classen folgende: γ Virginis, δ Virg., ζ Virg., α Ophiuchi, χ Leonis, ε Hydrae, α Leonis, σ Virginis, ε Virginis, und in der so auffälligen Gruppe von Polen in AR. = 180° Decl. = $+32^\circ$ stehen folgende Pole der 2 ersten Classen: β Cassiopejae, η Cassiopejae, 61 Cygni, Br. 3077, δ Cassiopejae, θ Persei, α Lyrae, ε Cygni, 6 Persei. Berechnen wir aber für diese Sterne die Pole der parallaktischen Bewegung, so ergibt sich, dass diese auf zwei Bögen zwischen

AR. $176^\circ 36'$ Decl. $-54^\circ 29'$ u. AR. $223^\circ 39'$ Decl. $-89^\circ 21'$ beziehungsweise

AR. $176^\circ 1'$ Decl. $+14^\circ 46'$ u. AR. $175^\circ 44'$ Decl. $+46^\circ 40'$

vertheilt sein müssten; die Schwerpunkte dieser Bögen liegen in AR. $178^\circ 3'$ Decl. $-79^\circ 40'$ und AR. $175^\circ 53'$ Decl. $+33^\circ 1'$. Wir haben also jene Anhäufungen uns dadurch zu erklären, dass die benannten Sterne eine eigene

Bewegung besitzen, die mit der Bewegung der Sonne nahezu zusammenfällt, oder haben anzunehmen, dass ihre beobachtete Bewegung allein durch die Bewegung der Sonne entstanden ist. Ein weiterer Grund für das nahe Zusammenfallen der Pole von Sternen, die am Himmel benachbart sind, kann natürlich noch darin liegen, dass die jener Stelle entsprechenden Eigenbewegungen durch systematische Fehler der verglichenen Cataloge ganz oder doch im Wesentlichen hervorgerufen sind. In dieser Beziehung kann nur eine Festsetzung der unteren Grenze der zuverlässigen Eigenbewegungen nach den Grundlagen derselben entscheiden. Wenn so nach dem behandelten Material für die gruppenförmige Anordnung der Pole keinerlei sichere Anhaltspunkte sich ergeben, so dürfte es noch gewagter sein durch die Aufsuchung von geradlinig angeordneten Polen Sterne mit paralleler Eigenbewegung im Raume suchen zu wollen; denn im Fundamentalcatalog ist ja auf eine gleichförmige Vertheilung der Sterne über den ganzen Himmel Bedacht genommen, und wir werden also meistens von zusammengehörigen Sternen nur einen einzigen oder nur wenige vorfinden. Vielleicht wird, wenn die Rechnung auf den ganzen Bradley'schen Catalog ausgedehnt sein wird, die Untersuchung einzelner Systeme möglich sein. Vor der Hand ist den Versuchen, die in dieser Beziehung vom Verfasser gemacht sind, kein Gewicht beizulegen, doch scheinen dieselben zu der Hoffnung zu berechtigen, dass es möglich sein wird auf dem eingeschlagenen Wege zu der Kenntniss von oft viele Glieder umfassenden Sternenschwärmen zu gelangen, die dann bei der Bestimmung der Richtung der Sonnenbewegung nur eine einzige Bedingungsgleichung liefern dürften.

Strassburg 1890 Mai.

H. Kobold.

Fixstern-Parallaxe und Aberration.

Von H. Klock.

Wenn A die Entfernung eines Sterns und μ die Lichtgeschwindigkeit bedeutet, so wird nach bekannten Formeln:

$$\text{Parallaxe in } \alpha = + \sin \alpha \sec \delta \frac{1}{A} x - \cos \alpha \sec \delta \frac{1}{A} y$$

$$\text{Aberration in } \alpha = - \sin \alpha \sec \delta \frac{1}{\mu} \frac{dx}{dt} + \cos \alpha \sec \delta \frac{1}{\mu} \frac{dy}{dt}$$

$$\text{Parallaxe in } \delta = + \cos \alpha \sin \delta \frac{1}{A} x + \sin \alpha \sin \delta \frac{1}{A} y - \cos \delta \frac{1}{A} z$$

$$\text{Aberration in } \delta = - \cos \alpha \sin \delta \frac{1}{\mu} \frac{dx}{dt} - \sin \alpha \sin \delta \frac{1}{\mu} \frac{dy}{dt} + \cos \delta \frac{1}{\mu} \frac{dz}{dt}$$

woraus

Parallaxe + Aberration in $\alpha =$

$$- \sin \alpha \sec \delta \left(- \frac{1}{A} x + \frac{1}{\mu} \frac{dx}{dt} \right) + \cos \alpha \sec \delta \left(- \frac{1}{A} y + \frac{1}{\mu} \frac{dy}{dt} \right)$$

Parallaxe + Aberration in $\delta =$

$$- \cos \alpha \sin \delta \left(- \frac{1}{A} x + \frac{1}{\mu} \frac{dx}{dt} \right) - \sin \alpha \sin \delta \left(- \frac{1}{A} y + \frac{1}{\mu} \frac{dy}{dt} \right) + \cos \delta \left(- \frac{1}{A} z + \frac{1}{\mu} \frac{dz}{dt} \right)$$

Wenn die Aberration im Verhältniss zur Parallaxe klein ist, so wird man diese Gleichungen so schreiben: