

Messung der Fixsternparallaxe des Sterns Ross 248

Erwin Schwab und Rainer Kresken
Starkenbourg-Sternwarte Heppenheim

Auf der Starkenburg-Sternwarte Heppenheim haben sich in den Jahren 1999 bis 2002 mehrere Beobachter* mit der Astrometrie des Sterns Ross 248 beschäftigt, mit dem Ziel dessen Entfernung durch trigonometrische Parallaxe zu bestimmen. Es wird in diesem Artikel gezeigt, dass auch mit den Geräten der Amateurastronomen die Messung von Fixsternparallaxen naher Sterne möglich ist (der Stern Ross 248 gehört zu den zehn nächsten Sternen).

*** Beteiligte Beobachter der Starkenburg - Sternwarte Heppenheim:**

A. Busch, M. Busch, P. Geffert, A. Heller, F. Hormuth, S. Klügl, S. Kraus, R. Kresken, J. Rothermel, E. Schwab, R. Stoss

Die trigonometrische Parallaxe ist die Veränderung der Blickrichtung zu einem nahen Stern gegenüber dem Himmelshintergrund, die durch den Lauf der Erde um die Sonne hervorgerufen wird. Es „spiegelt“ sich in der Bewegung des Sterns am Firmament die Erdbahn wider. Er beschreibt im Laufe eines Jahres je nach Himmelsposition eine Ellipse, einen Kreis oder eine Linie an der Sphäre. Wobei der Kreis und die Linie die Extremkurven sind, wenn sich der Stern exakt am Pol der Ekliptik oder in Richtung der Ekliptik befindet. Die Parallaxe ist der Betrag der großen Halbachse der Ellipse. Der erste sichere Nachweis einer Fixsternparallaxe gelang Friedrich W. Bessel (1784-1846). Seine Ergebnisse über die Parallaxe des Sterns 61 Cygni veröffentlichte er im Jahr 1838.

An der Starkenburg-Sternwarte Heppenheim¹ wurde im Jahr 1999 bis 2002 der Stern Ross 248 an 32 Nächten jeweils 3 bis 6 mal pro Nacht fotografiert. Als Teleskop diente ein Newton-Reflektor mit 450 mm Durchmesser und 2000 mm Brennweite. Fotografiert wurde mit einer professionellen Digitalkamera, der AP7 des Herstellers Apogee². Diese sehr lichtstarke Digitalkamera mit über 80 % Quanteneffizienz wurde 1999 angeschafft und aufgrund der Aktivitäten der Beobachter der Starkenburg-Sternwarte Heppenheim auf dem Gebiet der Kleinplaneten-Astrometrie teilweise durch das hessische Ministerium für Wissenschaft und Kunst finanziert. Der CCD-Chip dieser Kamera ist der SITe SI-502 mit 512 x 512 Pixel auf 12,3 x 12,3 mm bei einer Pixelgröße von 24µm. Am genannten Teleskop ergibt sich somit ein Gesichtsfeld von 21 x 21 Bogenminuten.

Da der Stern Ross 248 eine Helligkeit von 12,3 Magnitude hat, konnte mit einer relativ kurzen Belichtungszeit gearbeitet werden. Die Belichtungszeit ist so gewählt worden, dass genügend Vergleichssterne abgebildet werden. An der beschriebenen Teleskop-Digitalkamera-Kombination reicht eine Belichtungszeit von 10 Sekunden, um bei guter Wetterlage und Horizonthöhe eine Grenzhelligkeit von mindestens 16. Magnitude zu erreichen.

¹ www.starkenbourg-sternwarte.de

² <http://www.ccd.com>

Bereits beim ersten Vergleich eines unserer Fotos mit einer Sternkarte des gleichen Gebietes fällt auf, dass sich der Stern Ross 248 nicht mehr an der Position der Sternkarte befindet. Noch deutlicher wird diese Positionsveränderung sichtbar beim Vergleich mit einer Aufnahme aus dem Jahr 1952, die am Palomar Mountain Observatory³ entstand. Grund dieser offensichtlichen Positionsveränderung ist die Eigenbewegung des Sterns Ross 248. Die Fixsternparallaxe ist nicht durch bloßes Betrachten der Fotos erkennbar.

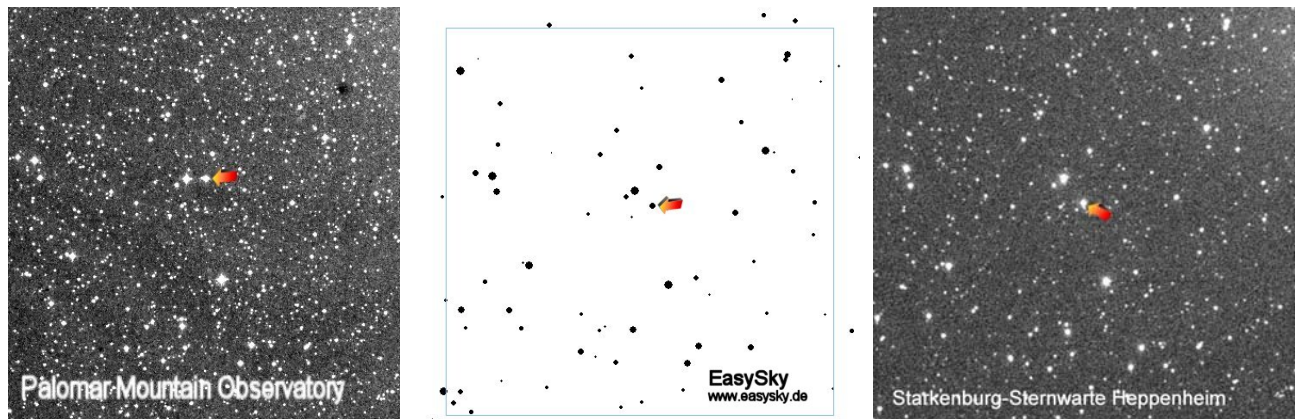


Foto vom Palomar Mountain Observatory am 19.8.1952, Sternkarte des gleichen Gebietes auf Grundlage des GSC-Katalogs und eines unserer Fotos, aufgenommen auf der Starkenburg-Sternwarte Heppenheim am 16.9.2002. Gesichtsfeld 21 x 21 Bogenminuten, Norden oben, Osten links. Deutlich ist eine Veränderung der Position von Ross 248 zu erkennen.

Position auf der Sternkarte (GSC Stern 3244.0165): Rekt.: 23h 41m 54,89s Dekl.: +44° 11' 3,6", Äquinoktium J2000
Position auf unserer Aufnahme vom 16.9.2002: Rekt.: 23h 41m 55,076s Dekl.: +44° 10' 34,66", Äquinoktium J2000

Um die Fixsternparallaxe erkennen zu können bedurfte es einer exakten astrometrischen Auswertung unserer insgesamt 158 Fotos aus 32 Nächten. Aus den Ergebnissen der 3 bis 6 Positionsmessungen einer Nacht wurde der Mittelwert gebildet (siehe Tabelle der Positionsmessungen). Vermessen haben wir die Aufnahmen mit der Astrometrie-Software Astrometrica⁴ unter Benutzung des Referenzstern-Katalogs UCAC2⁵. Bei der Astrometrica-Software muss für die Ermittlung der Positionen eine Ausgabe-Genauigkeit von 0,01" eingestellt werden, da im Normalmodus nur mit 0,1" ausgegeben wird. Bei unserem Gesichtsfeld von 21 x 21 Bogenminuten verwendeten wir über 180 Referenzsterne von 10. bis 16. Magnitude. Eine zur Kontrolle vorgenommene zusätzliche Auswertung mit dem Sternkatalog GSC-ACT⁶ unter Verwendung von 48 Referenzsternen im Bereich von 10. bis 15. Magnitude ergab eine stärkere Streuung der Messwerte, weshalb diese hier nicht gezeigt wird. Unsere ursprüngliche Meinung war, dass es unabhängig vom Referenzstern-Katalog ausreiche, konsequent den gleichen Sternkatalog und daraus möglichst die gleichen Referenzsterne zu verwenden. Weshalb nun mittels UCAC2-Katalog bessere Ergebnisse erzielt werden, als mittels GSC-ACT ist uns nicht ganz klar. Sicher ist, dass es nicht an der höheren Anzahl der Referenzsterne liegt. Kontrollmessungen unter Verwendung der 30 hellsten Sterne (bis 13. Magnitude) des UCAC2 Katalogs auf unseren Aufnahmen, ergab keine signifikante Abweichung zu den Messungen mit über 180 Referenzsternen (bis 16. Magnitude).

Der Verlauf der Bewegung des Sterns Ross 248 am Firmament wird nach Auftragen der aus unseren Aufnahmen ermittelten Positionen im ersten Diagramm sichtbar. Im wesentlichen ist die Bewegung dominiert von der bei nahen Sternen üblichen schnellen scheinbaren Eigenbewegung. Die Bewegung aufgrund der jährlichen Fixsternparallaxe ist hier nur durch die periodische Schwankung erkennbar. Die zusammen mit den Messwerten dargestellte Kurve ist die Überlagerung der jährlichen Parallaxe und der Eigenbewegung. Zur Darstellung dieser Kurve

³ Foto des Palomar Mountain Observatory aus dem Digitized Sky Survey: <http://archive.eso.org/dss/dss>

⁴ <http://www.astrometrica.at>

⁵ <http://ad.usno.navy.mil/ucac/>

⁶ <http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/gscact.html>

haben wir ein Modell entworfen und die drei Parameter Entfernung, sowie Eigenbewegung in Rektaszension und Deklination variiert, bis die Kurve am besten unseren Messwerten entsprach. Die Parameter, die wir somit aus unseren Messungen erhielten sind folgende:

Entfernung von Ross 248: 8,6 Lj
 Eigenbewegung von Ross 248 in Rektaszension: + 0,25"/Jahr
 Eigenbewegung von Ross 248 in Deklination: - 1,58"/Jahr

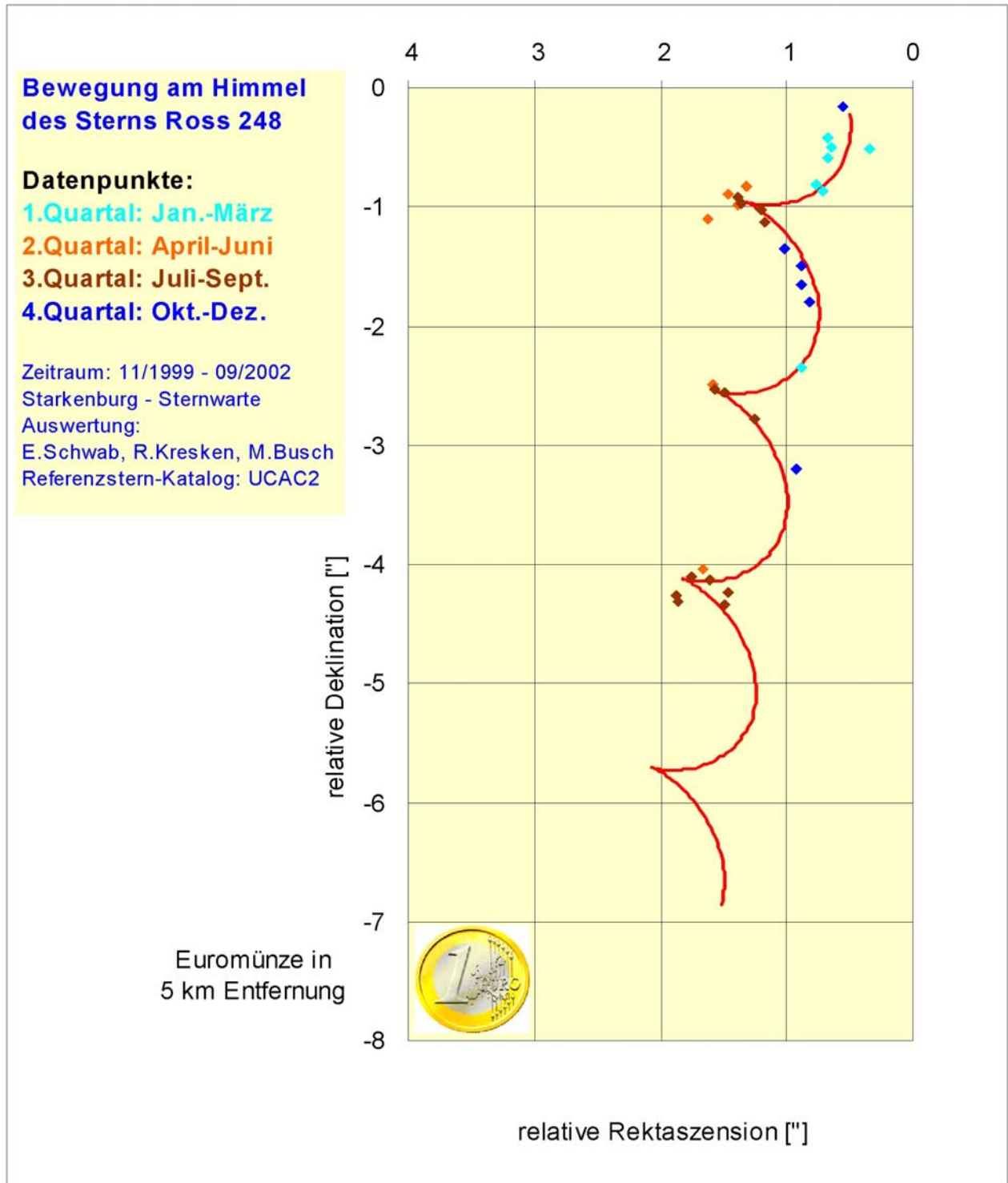


Diagramm 1: Bewegung des Sterns Ross 248 am Firmament, hervorgerufen durch die Überlagerung der Fixsternparallaxe und der Eigenbewegung. Zusätzlich zu unseren Messwerten, die nach Quartal farblich gekennzeichnet sind, ist die Kurve des Modells eingezeichnet, auf Grundlage dessen wir die Parameter Entfernung sowie Eigenbewegung in Rektaszension und Deklination ermittelt haben.

Nach Abzug der aus unseren Messungen ermittelten Eigenbewegung wird die Ellipse der Fixsternparallaxe gut sichtbar (siehe Diagramm 2: „Parallaxe des Sterns Ross 248“). In dem Bereich, in dem sich keine Datenpunkte in der Nähe der Ellipsen-Kurve befinden (Mitte Februar bis Ende April) wurden keine Fotos gemacht, da der Stern Ross 248 zu nahe am Horizont war. Die Form der Parallaxen-Ellipse ist wie in der Einleitung bereits erwähnt abhängig von der Höhe des Sterns über der Ekliptikebene. Das Verhältnis der kleinen zur großen Halbachse der Ellipse ist somit der Sinus des ekliptikalen Breitengrads. Für den Stern Ross 248, der auf 41,5 Grad ekliptikaler Breite liegt, ergibt sich somit ein Verhältnis von kleiner zur großen Halbachse von 0,66. Die Neigung der Parallaxen-Ellipse beträgt -32,0 Grad (0 Grad Norden und +90 Grad ist Osten), da das ekliptikale Koordinatennetz in Bezug zum äquatorialen Koordinatennetz an der Position von Ross 248 um diesen Winkel gedreht ist.

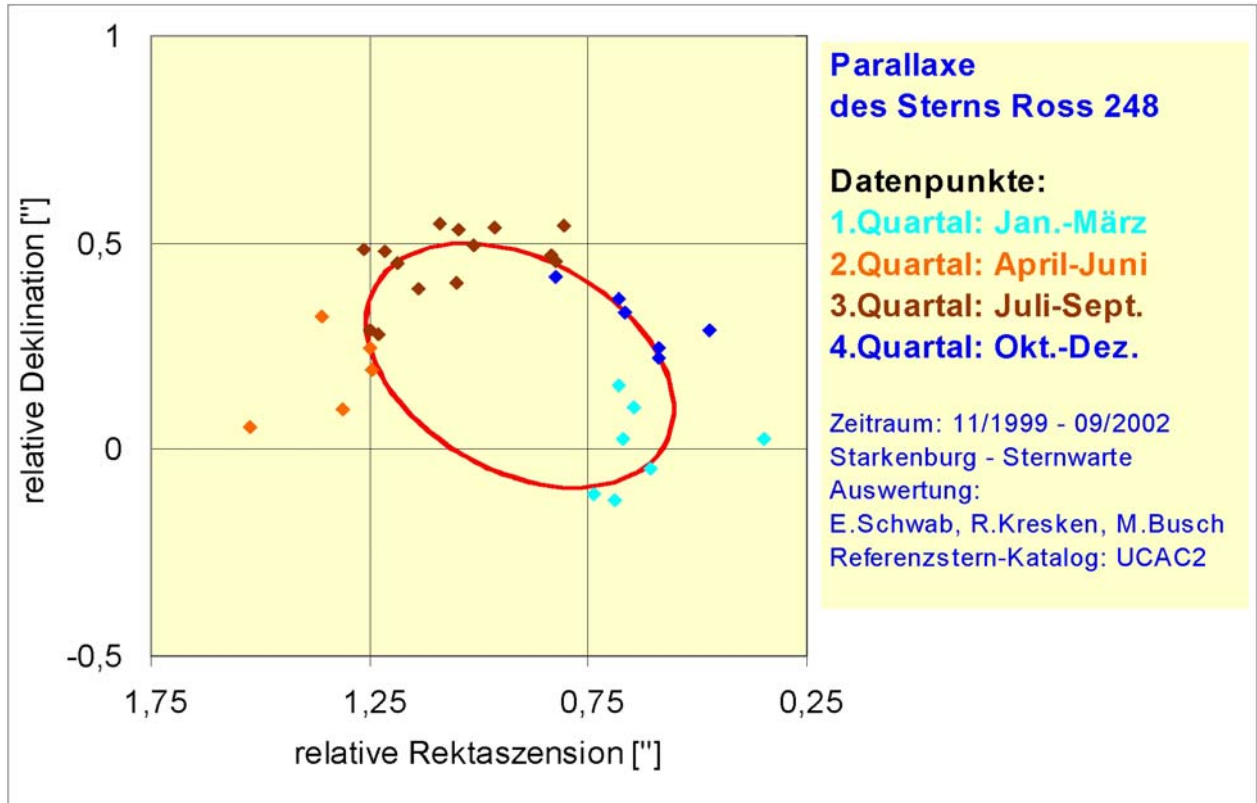


Diagramm 2: Ellipse der Fixsternparallaxe des Sterns Ross 248. Unsere Messungen nach Quartal farblich gekennzeichnet sowie die Ellipsen-Kurve mit den Parametern Entfernung = 8,6 Lj, Verhältnis kl.Halbachse / gr.Halbachse = 0,66 und Neigung = -32,0 Grad (0 Grad Norden und +90 Grad ist Osten). Von Mitte Februar bis Ende April sind wegen zu geringer Horizonthöhe keine Messungen vorhanden.

Im folgenden sind unsere Ergebnisse im Vergleich mit den Werten von Ross 248 aus der Literatur⁷ zusammengefasst:

	Entfernung	Parallaxe	Eigenbewegung	Positionswinkel*
Starkenburg-Sternwarte (E. Schwab, R. Kresken, M. Busch)	8,6 Lj	0,372"	1,599"/Jahr	171,01°
Literaturwert (W. Gliese)	10,32 Lj	0,316"	1,617"/Jahr	177,00°

* Positionswinkel der Bewegungsrichtung: 0 Grad Norden und +90 Grad ist Osten

Wir erhalten also eine Entfernung, die um rund 18% und eine Eigenbewegung, die sogar nur um 1% vom Literaturwert abweicht. Der gemessene Positionswinkel der Bewegungsrichtung weicht um rund 6° von der Literaturangabe ab. Es hat sich somit gezeigt, dass selbst mit Amateurmitteln passable Ergebnisse erzielt werden können.

⁷ Catalog of Nearby Stars (CNS), W.Gliese.

Anmerkungen zur Messgenauigkeit

Bemerkenswert für diejenigen Leser, die sich nicht mit der Positionsmessung von Himmelsobjekten beschäftigen, ist die Tatsache, dass das "Gesichtsfeld" eines einzelnen Pixels bei unserer verwendeten Teleskop-Digitalkamera-Kombination eine Größe von $2,5 \times 2,5$ Bogensekunden hat, wogegen die astrometrische Messgenauigkeit unserer Ergebnisse bei $0,05$ Bogensekunden liegt. Die Messgenauigkeit in unserem Fall ist also rund $1/50$ der Breite eines Pixels! Die ermittelte Parallaxen-Ellipse mit einer Ausdehnung von rund $0,7$ Bogensekunden ist kleiner als $1/3$ der Abmessung eines einzigen Pixels der Digitalkamera! Wie es zu dieser so genannten Subpixel-Messgenauigkeit in der Astrometrie kommt, soll im folgenden verdeutlicht werden.

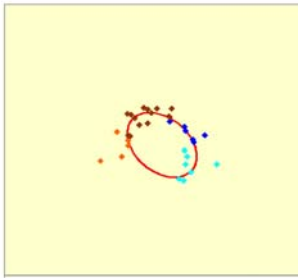


Diagramm 3: Die Größe eines CCD-Pixels ($2,5 \times 2,5$ Bogensekunden) bei unserer Teleskop-Digitalkamera-Kombination im Vergleich mit der von uns gemessenen Fixsternparallaxe

Eine bei längeren Belichtungszeiten durch die Luftunruhe "verschmierte" Abbildung eines Sternscheibchens kann mathematisch durch eine zweidimensionale Gauß-Verteilung (Glockenkurve) beschrieben werden. Die Intensitätsverteilung dieser Funktion wird von den Pixel der Digitalkamera registriert. In der hier gezeigten schematischen Darstellung befindet sich zur einfacheren Beschreibung der Maximalwert dieser Gauß-Verteilung eines Sternscheibchens zunächst exakt zwischen zwei Pixel. Es fallen somit genauso viele Lichtquanten auf das linke, wie auf das rechte Pixel, in unserem Beispiel jeweils 50. Verschiebt sich nun, wie in der nächsten schematischen Darstellung gezeigt das Sternscheibchen um nur $1/5$ der Abmessung eines Pixels, dann verändert sich das Verhältnis der auf dem linken und rechten Pixel einfallenden Lichtquanten in diesem Beispiel auf 55 zu 45.

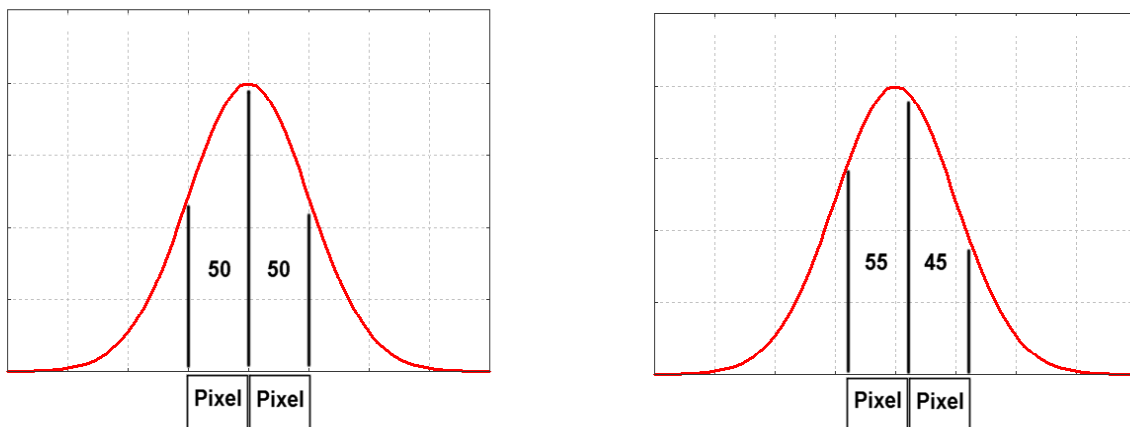


Diagramm 4: Vereinfachtes Beispiel zur Beschreibung der Subpixel - Messgenauigkeit. Durch Verschiebung des Sternscheibchens, um z.B. nur $1/5$ der Größe eines Pixels verändert sich die Anzahl der empfangenen Lichtquanten auf den einzelnen Pixel deutlich.

Die erreichbare Subpixel - Messgenauigkeit ist in erster Linie abhängig vom Verhältnis zwischen Signalthöhe zum Untergrund. Das kann man sich verdeutlichen, indem man in unserem Beispiel anstatt ein Verhältnis von 50 zu 50 Lichtquanten nur 5 zu 5 Lichtquanten annimmt. Nach der Verschiebung dieses Sternscheibchens um die gleiche Strecke beträgt das Verhältnis dann 5,5 zu 4,5 Lichtquanten. Halbe Lichtquanten gibt es aber nicht, es kann also bei dieser niedrigen Signalthöhe sein, dass selbst nach der Verschiebung des Sternscheibchens sowohl auf das linke

wie auf das rechte Pixel jeweils 5 Lichtquanten auftreffen. Bei dieser geringeren Signalhöhe kann also die Verschiebung des Sternscheibchens um 1/5 der Abmessung eines Pixels nicht festgestellt werden, die Messgenauigkeit ist somit geringer.

Wer noch tiefer in die Theorie der Erfassung und Vermessung von Punktquellen einsteigen möchte, dem seien die Artikel von Herbert Raab im VdS-Journal Nr.10⁸ und VdS-Journal Nr.11⁹ empfohlen.

Tabelle der Positionsmessungen von Ross 248

Starkenburger Sternwarte Heppenheim

Auswertung: E. Schwab, R. Kresken, M. Busch

#	Datum	Rekt.			Dekl.		
		h	m	s	°	'	"
1	30.11.1999	23	41	54,989	44	10	38,84
2	06.01.2000	23	41	54,969	44	10	38,49
3	14.01.2000	23	41	55,000	44	10	38,58
4	19.01.2000	23	41	54,998	44	10	38,50
5	25.01.2000	23	41	55,000	44	10	38,41
6	14.02.2000	23	41	55,008	44	10	38,18
7	21.02.2000	23	41	55,004	44	10	38,14
8	26.04.2000	23	41	55,060	44	10	38,17
9	10.05.2000	23	41	55,066	44	10	38,02
10	29.05.2000	23	41	55,088	44	10	37,89
11	10.06.2000	23	41	55,073	44	10	38,11
12	23.07.2000	23	41	55,067	44	10	38,08
13	02.08.2000	23	41	55,063	44	10	38,04
14	26.08.2000	23	41	55,049	44	10	37,98
15	11.09.2000	23	41	55,047	44	10	37,88
16	17.10.2000	23	41	55,032	44	10	37,64
17	06.11.2000	23	41	55,019	44	10	37,51
18	03.12.2000	23	41	55,020	44	10	37,35
19	18.12.2000	23	41	55,014	44	10	37,21
20	16.02.2001	23	41	55,019	44	10	36,65
21	26.05.2001	23	41	55,085	44	10	36,51
22	22.07.2001	23	41	55,083	44	10	36,47
23	19.08.2001	23	41	55,076	44	10	36,45
24	23.09.2001	23	41	55,054	44	10	36,22
25	16.11.2001	23	41	55,024	44	10	35,80
26	26.06.2002	23	41	55,092	44	10	34,96
27	08.07.2002	23	41	55,100	44	10	34,89
28	20.07.2002	23	41	55,112	44	10	34,74
29	30.07.2002	23	41	55,110	44	10	34,69
30	17.08.2002	23	41	55,087	44	10	34,87
31	09.09.2002	23	41	55,074	44	10	34,77
32	16.09.2002	23	41	55,076	44	10	34,66

Äquinoktium J2000

Referenzsternkatalog: UCAC-2

Astrometrie-Software: Astrometrica für Windows

Erwin Schwab
Westendstr. 8
63329 Egelsbach
e.schwab@gsi.de

Rainer Kresken
Oberstr. 12
64297 Darmstadt
Rainer.Kresken@esa.int

⁸ Herbert Raab, Erfassung und Vermessung lichtschwacher Punktquellen Teil 1, VdS-Journal Nr.10, S27-29

⁹ Herbert Raab, Erfassung und Vermessung lichtschwacher Punktquellen Teil 2, VdS-Journal Nr.11, S56-58