

# Linsenlose Schmidt-Kameras

## Vier Varianten

Die Schmidt-Kamera geht auf den genialen Bernhard Schmidt zurück, der sie Anfang der 1930er Jahre in Hamburg-Bergedorf entwickelt hat. Diese Kamera ist wegen ihres extrem großen und komafreien Bildfeldes berühmt. Die weltweit größte von ihnen steht in Tautenburg nördlich von Jena. Sie hat einen 2-m-Spiegel und eine "Schmidt-Platte" von 1,4 m Durchmesser. Erleichternd ist bei Schmidt-Kameras, dass sie mit einem sphärischen Spiegel auskommen. Berücksichtigt sind sie - wie auch die Schmidt-Cassegrainsysteme - wegen ihrer vertrackten Schmidt-Platte. Notfalls geht es allerdings auch ohne diese Platte ("the poor man's Schmidt"), nur - wie zu erwarten - nicht umsonst. Die förderliche Öffnung einer "linsenlosen Schmidt-Kamera" ist wesentlich geringer, weil der Öffnungsfehler (sphärische Aberration) unkorrigiert bleibt. Oder andersherum, man kann die Öffnung an den zugelassenen Öffnungsfehler anpassen. Da es sich um ein reines Spiegelsystem handelt, gibt es keinerlei Farbfehler. Nachteilig ist hier wie bei den originalen Schmidt-Kameras mit Platte, dass das Instrument doppelt so lang wie die Brennweite und seine Bildfläche gekrümmt ist. Um letzterem abzuhelpen, kann man entweder den Film auf eine gekrümmte Fläche spannen (Beispiele 1 und 3), wie das meistens gemacht wurde. Oder man setzt kurz vor den Fokus eine Bildebnungslinse (Beispiel 4).

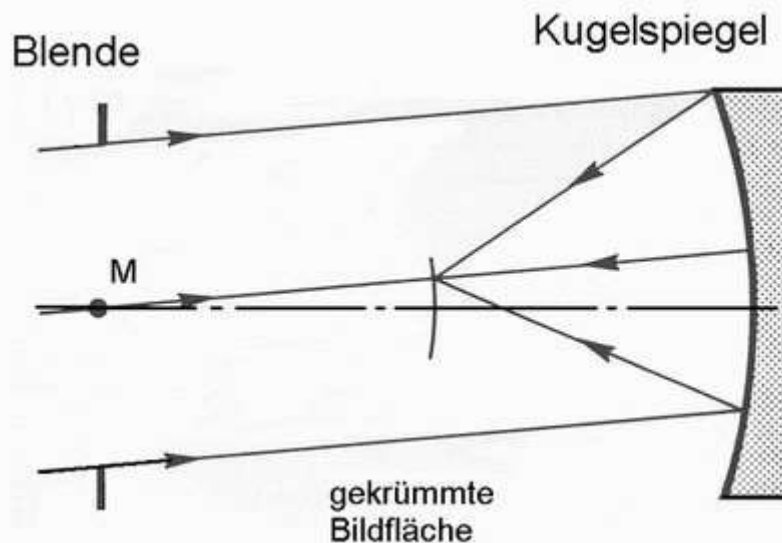


Abb. 1: Schema der linsenlosen Schmidt-Kamera

Die vier nachfolgend vorgestellten Varianten haben alle eine Brennweite von 1000 mm, die Blendenöffnungen betragen  $D = 100, 120$  und  $150$  mm, was sich zunehmend auf den Öffnungsfehler auswirkt. Bei allen Fällen sieht man, wie die Bildschärfe bei größer werdendem Achsabstand vollständig erhalten bleibt.

Zu den Durchstoßdiagrammen (Spotdiagrammen): Man denkt sich eine große Anzahl von Lichtstrahlen, die gleichmäßig verteilt die Eintrittsöffnung einer Optik treffen und rechnet sie durch das optische System hindurch. Die Durchstoßdiagramme zeigen dann, was aus dieser Verteilung im Fokus und in seiner Umgebung geworden ist. Zu beachten ist hier, dass die Blende beim Krümmungsmittelpunkt M des Spiegels steht

und dass die Bildfläche gekrümmt ist. Der Krümmungsmittelpunkt der Bildfläche liegt ebenfalls im Krümmungsmittelpunkt M des Spiegels, also im Zentrum der Blende.

## 1. Durchstoßdiagramme für 100/1000 (Öffnung/Brennweite)

Surface #	Type	Height	Radius	Eccentricity	Thickness	Glass
1 Obj	STOPSURF	50.00000	0.00000	0.00000	0.00000	AIR
2 MS	SPHRSURF	395.68338	-2000.00000	0.00000	2000.00000	AIR
3 Img	SPHRSURF	173.68597	-1000.00000	0.00000	-1000.00000	AIR

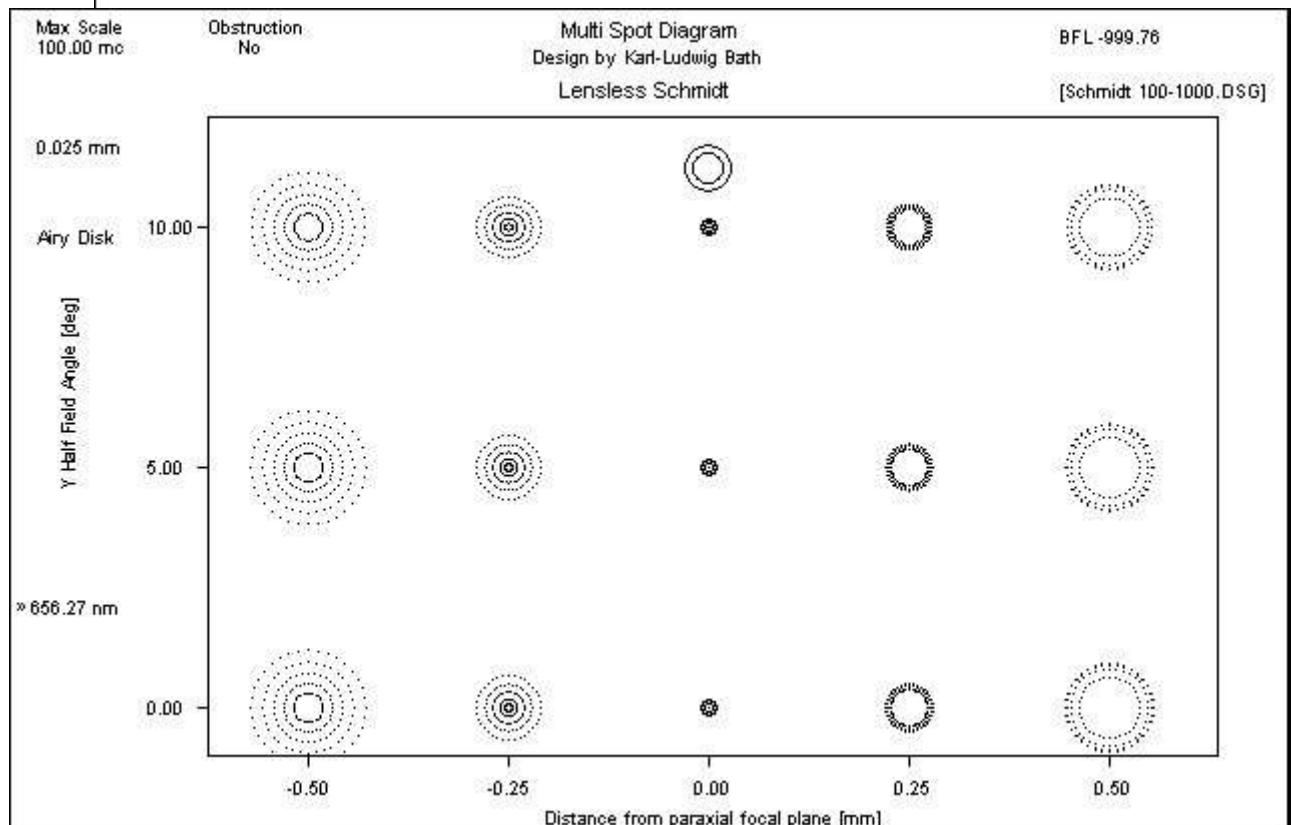


Abb. 2: In der Mitte ist oben eine Scheibe mit  $D = 0,025$  mm (Filmauflösung, äußerer Kreis) dargestellt und das Airy-Scheibchen (kleinstmögliches Beugungsscheibchen, innerer Kreis). Das Zerstreungsscheibchen einer Sternabbildung (dreimal übereinander in der Mitte) ist auch bei  $10^\circ$  Achsabstand auf der gekrümmten Bildfläche ( $R = -1000$  mm) kleiner als das Airy-Scheibchen und so rund, wie bei keinem anderen Teleskop. Innerhalb und außerhalb des Fokus (rechts bzw. links der Bildmitte) erkennt man die sphärische Unterkorrektur, die hier aber noch nicht stört.

## 2. Durchstoßdiagramme für 120/1000 (Öffnung/Brennweite)

Surface #	Type	Height	Radius	Eccentricity	Thickness	Glass
1 Obj	STOPSURF	60.00000	0.00000	0.00000	0.00000	AIR
2 MS	SPHRSURF	270.20847	-2000.00000	0.00000	2000.00000	AIR
3 Img	FLATSURF	105.01550	0.00000	0.00000	-1000.00000	AIR

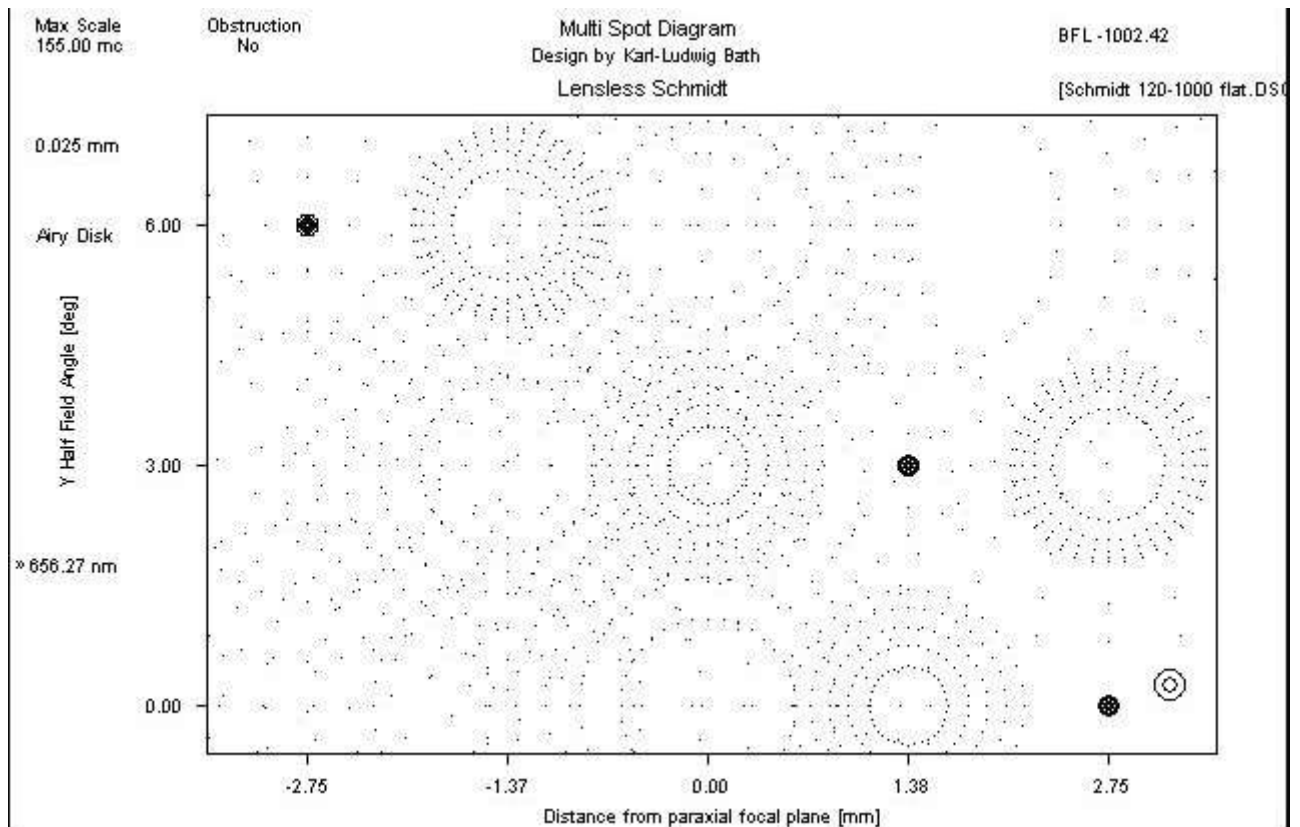


Abb. 3: Auch bei 120 mm Öffnung ist das Zerstreuungsscheibchen noch kleiner als die Filmauflösung mit z.B. 0,025 mm. In diesem Beispiel sieht man zusätzlich, wie das Zerstreuungsscheibchen auf einer ebenen Bildfläche (Film, CCD) nach außen hin rasant größer wird und wie der Fokus abseits der Achse nach außen wandert (im Bild nach links). - Der axiale Fokus wurde in der Graphik an den rechten Bildrand verlegt, damit der Fokus bei 3° und 6° Achsabstand noch mit im Bild ist. In 6° Abstand liegt der Fokus bereits 5,5 mm hinter der ebenen Bildfläche (bei einem Bildfeld von unrealistischen 20 cm Durchmesser). Radius  $R = 0$  steht hier für unendlich (Konvention in Optikprogrammen).

### 3. Durchstoßdiagramme für 150/1000 (Öffnung/Brennweite)

Surface #	Type	Height	Radius	Eccentricity	Thickness	Glass
1 Obj	STOPSURF	75.00000	0.00000	0.00000	0.00000	AIR
2 MS	SPHRSURF	283.09204	-2000.00000	0.00000	2000.00000	AIR
3 Img	SPHRSURF	104.47672	-1000.00000	0.00000	-1000.00000	AIR

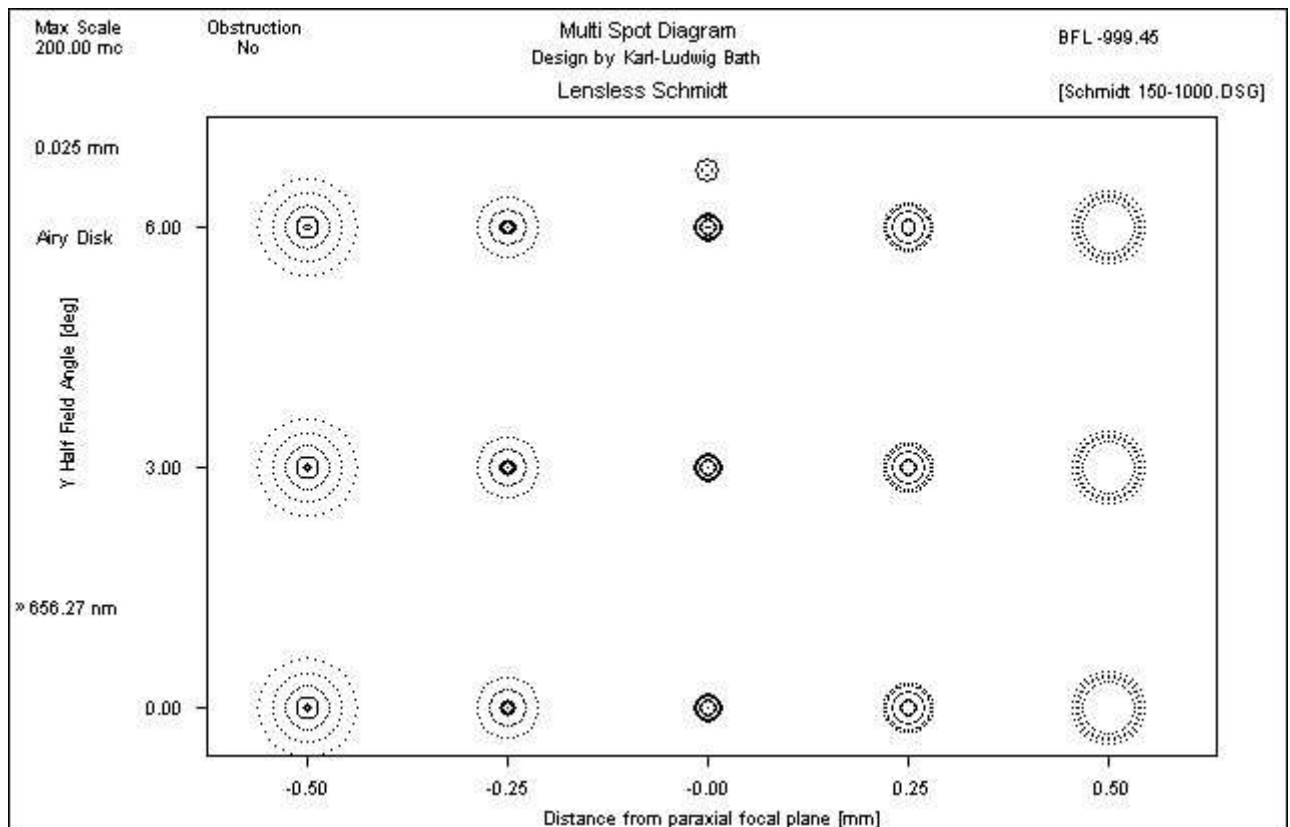


Abb. 4: Bei 150 mm Öffnung ist das Zerstreungsscheibchen ca. 0,03 mm groß, aber nach wie vor auf der gesamten gekrümmten (!) Bildfläche gleichmäßig rund.

#### 4. "Linsenlose" Schmidt-Kamera mit Bildebnungslinse

Surface #	Type	Height	Radius	Eccentricity	Thickness	Glass
1 Obj	STOPSURF	75.00000	0.00000	0.00000	0.00000	AIR
2 M5	SPHRSURF	338.30499	-2000.00000	0.00000	2000.00000	AIR
3 S	SPHRSURF	134.33701	-350.00000	0.00000	-990.00000	AIR
4 F	FLATSURF	133.17325	0.00000	0.00000	-10.00000	BK7
5 Img	FLATSURF	131.77283	0.00000	0.00000	-2.69000	AIR

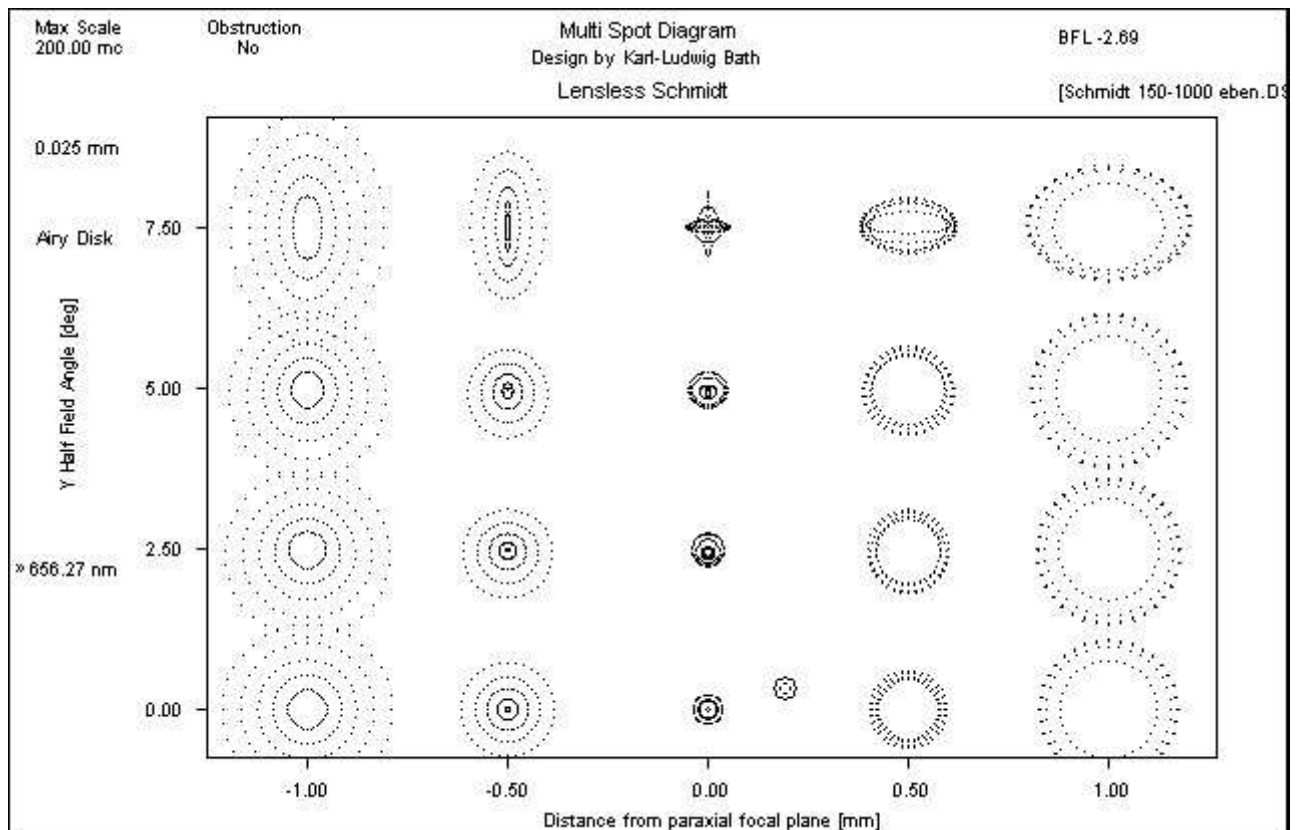


Abb. 5: Damit man den Film nicht verbiegen muss, ist hier 2,7 mm vor dem Fokus eine Bildebnungslinse (Plankonvexlinse) eingefügt. Das nutzbare ebene Bildfeld hat jetzt (unrealistische) 15° bzw. 25 cm Durchmesser und ist damit immer noch nicht durch Bildfehler eingeschränkt. Die durch die Linse eingeführten Farbfehler sind zu vernachlässigen (hier nicht dargestellt).

Eine konkrete Realisierung wäre ein System 120/1000 mit einem Planspiegel zum Auslenken und einem gängigen Fotoapparat. Hier ist die linsenlose Schmidt-Kamera dem Parabolspiegel deutlich überlegen. Bis 10 mm Bilddurchmesser liegen die Zerstreuungsscheibchen bei beiden unter 0,025 mm. Bei 35 mm Bilddurchmesser bleiben sie bei der Schmidt-Kamera immer noch unter diesem Wert, beim Parabolspiegel sind es 0,1 mm.

Wenn sich jemand an einer linsenlosen Schmidt-Kamera versuchen will, möge er die angegebenen Literaturstellen anschauen und sich bei mir melden, damit die Daten an den konkreten Fall angepasst werden können. Die Berechnungen wurden mit dem Optik-Programm MODAS durchgeführt.

#### Literatur:

H. Rutten & M. van Venrooij, Telescope Optics, Willmann-Bell 1988, S. 71, 78  
 K. Wenske, Spiegeloptik, Sterne & Weltraum Taschenbuch Nr. 7, 1978, S. 91ff.  
 Lensless Schmidt Camera, Sky & Telescope, May 1974, 333-337  
 Weitere Literatur, auch Bauanleitungen über Google "Lensless Schmidt"

Karl-Ludwig Bath

Last Update: 2. Januar 2006

*Martin Federspiel* (e-mail: clearskies"at"sternfreunde-breisgau"punkt"de)