

Hyperchromate - Theorie und Modellierung einer speziellen hyperchromatischen Optik

Kontakt: Beate Mitschunas Tel.: (0 36 77) 69 1805 Fax: (0 36 77) 69 1281 E-mail: beate.mitschunas@tu-ilmenau.de

Was sind Hyperchromate

Der klassische Ansatz eines 2-linsigen **Achromaten** als Simpletvariante [1] wird durch die Formeln (1) und (2) beschrieben.

$$1 = F'_1 + F'_2 \quad (1)$$

$$0 = \frac{F'_1}{v_1} + \frac{F'_2}{v_2} \quad (2)$$

F'_1, F'_2 sind „normierte“ Brechkraften (d.h. Gesamtbrechkraft $F'=1$) und v_1, v_2 sind die entsprechenden Abbe'schen Zahlen der dünnen Linsen. Bei geeigneter Auswahl der Abbe'schen Zahlen (z.B. $v_1 = 60, v_2 = 30$) folgt aus den Formeln (1) und (2) eine konkrete Brechkraftverteilung (in diesem Falle z.B. $F'_1 = 2, F'_2 = -1$), für die sich erfahrungsgemäß der Öffnungsfehler hinreichend kompensieren lässt.

Variiert man für die berechnete Brechkraftverteilung die Abbe'schen Zahlen (Bild 1) lässt sich für den „normierten“ Farblängsfehler nach Formel(3) Folgendes interpretieren.

$$FF = \frac{F'_1}{v_1} + \frac{F'_2}{v_2} \quad (3)$$

Einmal verschwindet natürlich mit den oben angenommenen Abbe'schen Zahlen der Farblängsfehler. Andererseits ergibt sich bei Vertauschen der Abbe'schen Zahlen ein maximaler Farblängsfehler. Diese optische Lösung wird im Folgenden als **Hyperchromat** bezeichnet. Diese Interpretation des Hyperchromaten als „inverser“ Achromat ist natürlich nur eine methodische Interpretation. Um den Einfluss der Brechkraften auf den erreichbaren Farblängsfehler zu verdeutlichen, sind in Bild 2 für mehrere Brechkraftkombinationen für die Gläser BK7 und SF10 dargestellt. Die Aufteilung der Brechkraft der sammelnden und zerstreuen Linsen wurde hierbei so vorgenommen, dass stets eine theoretische Gesamtbrechkraft von 10dpt erreicht wird.

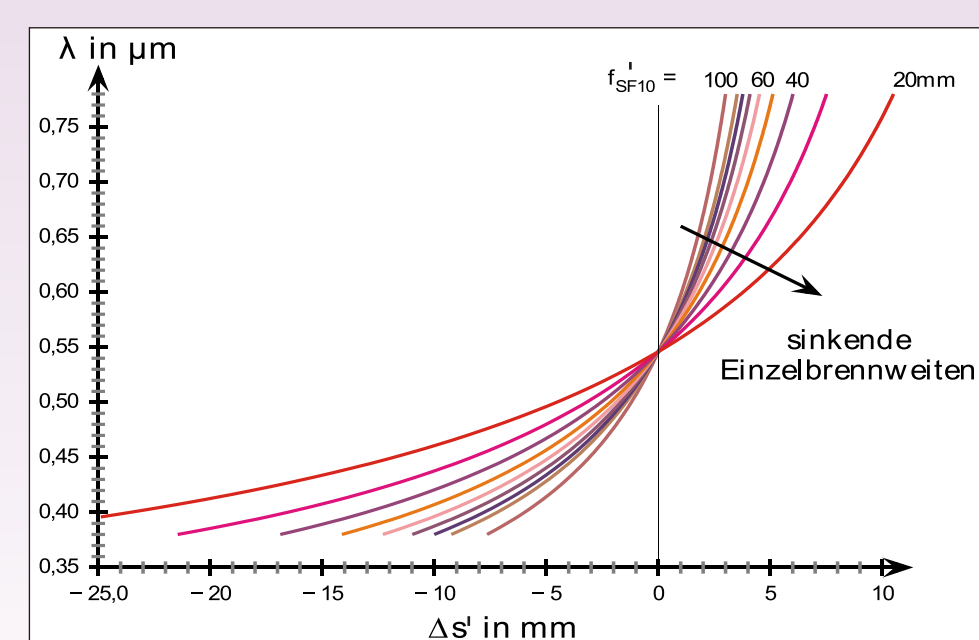
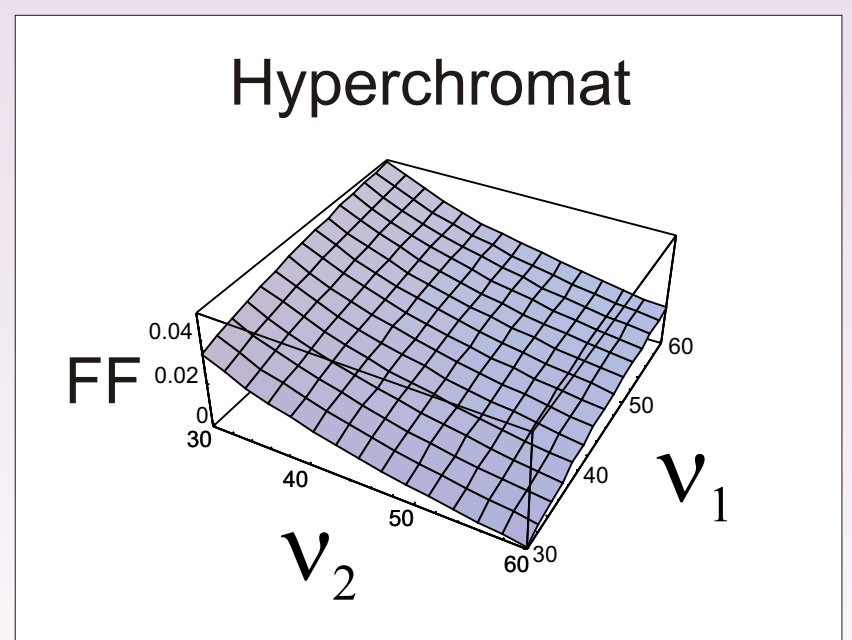


Bild 1: Variation der Abbe'schen Zahlen für $F'_1 = 2$ und $F'_2 = -1$.

Bild 2: Farblängsfehler in Abhängigkeit von der Einzelbrechkraft der Sammellinse bei konstanter Gesamtbrechkraft von 10dpt

Refraktive, diffraktive und hybride Hyperchromate

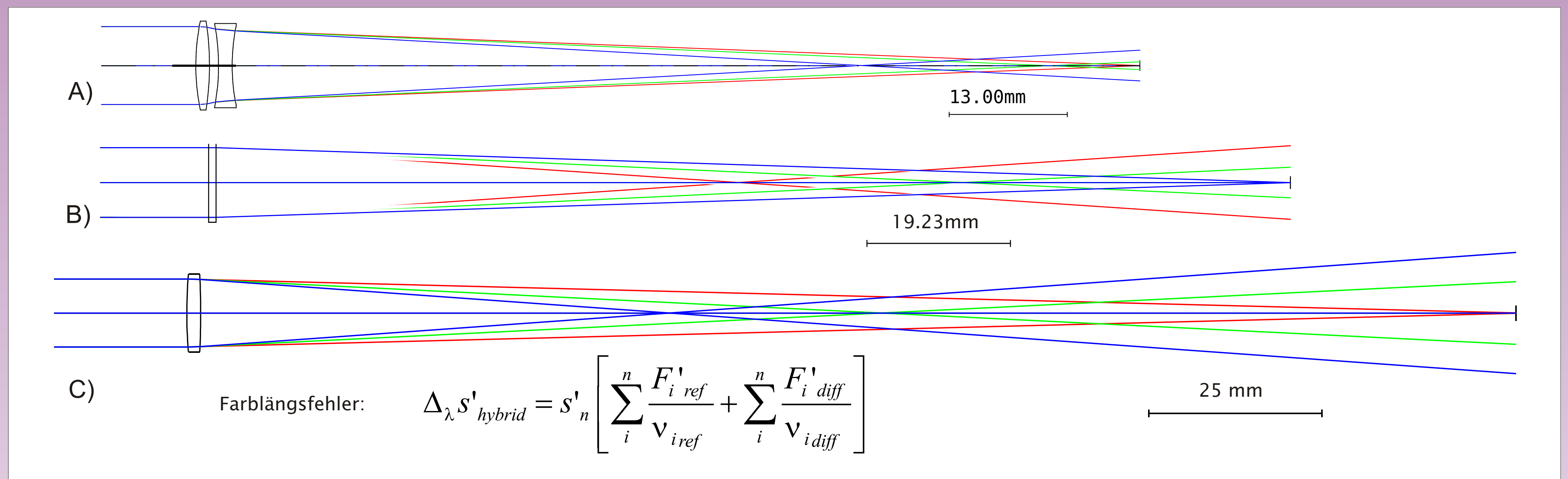


Bild 3: Strahldurchrechnung durch einen A)refraktiven, B)diffraktiven und C)hybriden Hyperchromaten

Äquivalente Beziehungen für:
refraktive Simplets diffraktive Simplets

Abbe'sche Zahl:

$$v_e = \frac{n_e - 1}{n_F - n_C}$$

$$v_e = \frac{\lambda_e}{\lambda_F - \lambda_C}$$

Relative Teildispersion:

$$P_{\lambda_1, \lambda_2} = \frac{n_{\lambda_1} - n_{\lambda_2}}{n_F - n_C}$$

$$P_{\lambda_1, \lambda_2} = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_F - \lambda_C}$$

Brechkraft:

$$F'_\lambda = F'_\lambda \frac{n_\lambda - 1}{n_{\lambda_0} - 1}$$

$$F'_\lambda = F'_\lambda \frac{\lambda}{\lambda_0}$$

Farblängsfehler:

$$\Delta_\lambda s'_{refraktiv} = s'_n \left[\sum_i \frac{F'_i}{v_{i,ref}} \right]$$

$$\Delta_\lambda s'_{diffraktiv} = s'_n \left[\sum_i \frac{F'_i}{v_{i,diff}} \right]$$

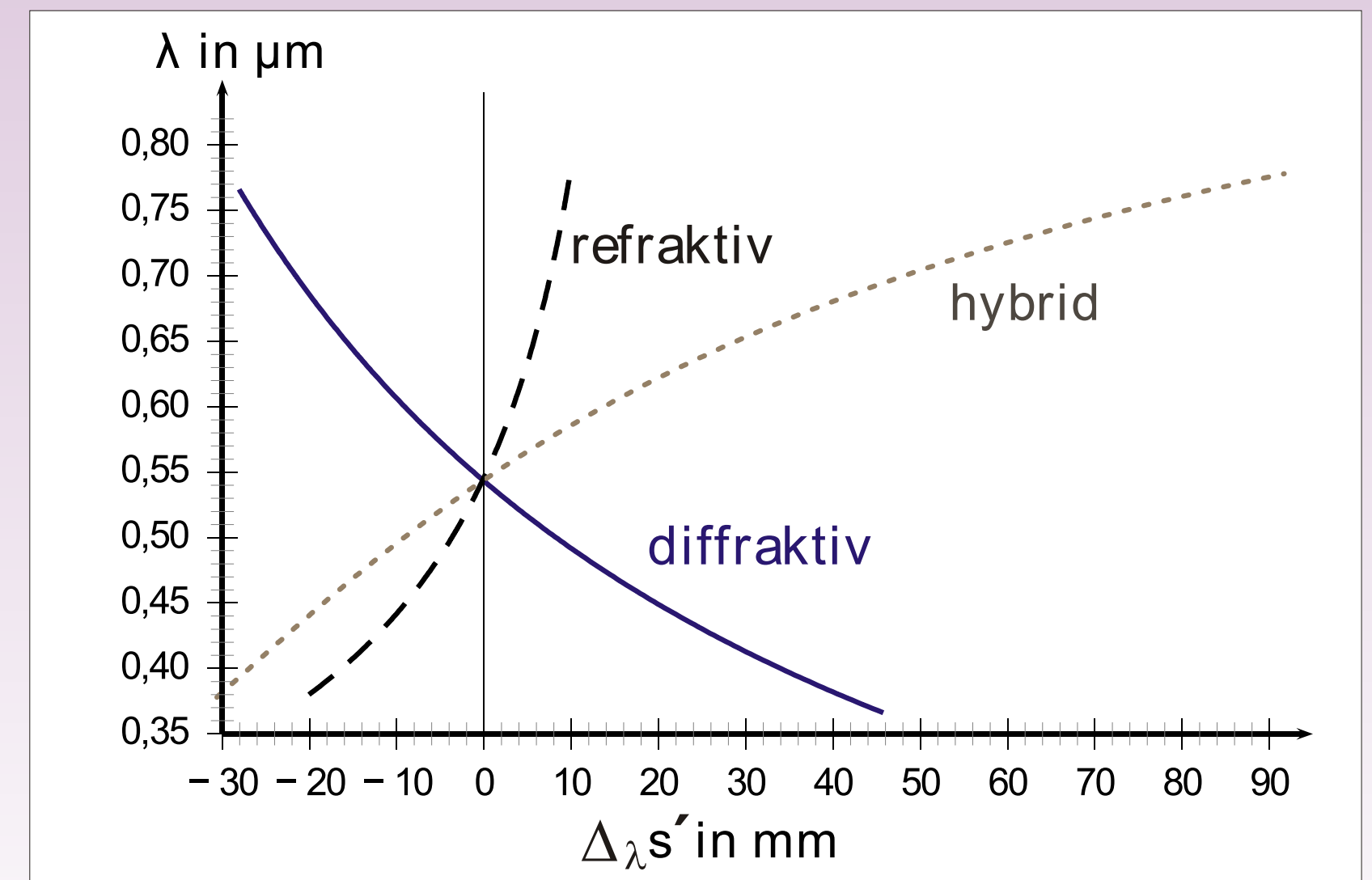


Bild 4: Farblängsfehler für einen refraktiven, diffraktiven und hybriden Hyperchromaten

Messtechnischer Aufbau zur konfokalen chromatischen Abstandsmessung

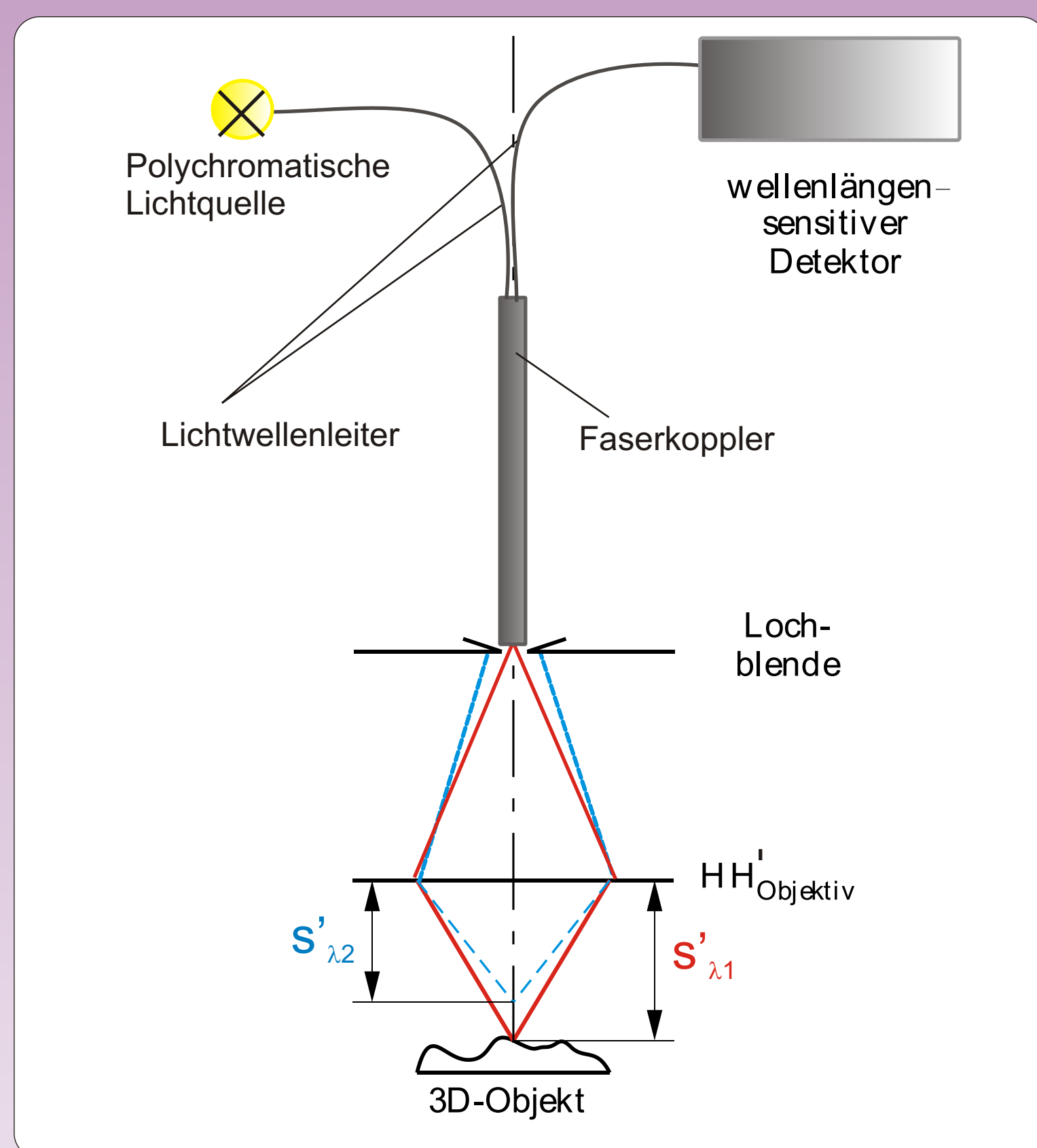


Bild 5: Prinzipskizze zur konfokalen chromatischen Abstandsmessung

Zum Prinzip:
Die hyperchromatische Optik zerlegt das polychromatische Lichtbündel so, dass entlang der Messachse jede Wellenlänge des Spektrums in einem anderen Abstand zum Objektiv fokussiert wird. Jeder spektralen Wellenlänge ist ein bestimmter Abstand zugeordnet. Nur die Wellenlänge, die exakt auf die Messoberfläche fokussiert wird, erzeugt am wellenlängensensitiven Sensor ein maximales Signal. Alle anderen Wellenlängen werden vor oder hinter dem Messobjekt fokussiert, und zunehmend von diesem gestreut. In Bild 5 wird das von der Oberfläche zurückgestreute Licht der Wellenlänge λ_2 von der Lochblende zum größten Teil abgeschattet.

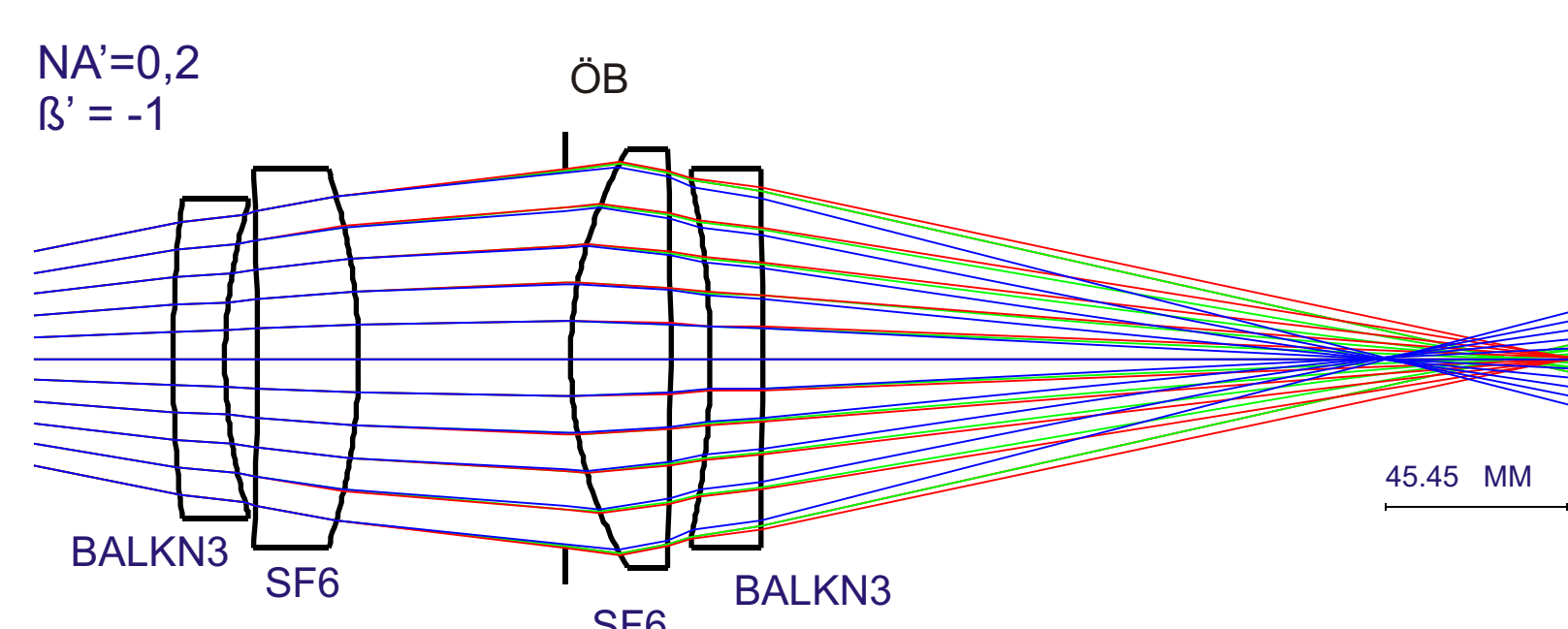
Modellierung einer speziellen hyperchromatischen Optik

Forderungen an den Messaufbau:

- Messbereich: $\Delta_\lambda s' > 40 \text{ mm}$
- Entfernung zur Messoberfläche: $s' > 150 \text{ mm}$
- Zulässiger Zerstreungskreisradius: $\Delta r' < 1 \mu\text{m}$
- Maximal zulässige Neigung: $\alpha = \pm 10^\circ$

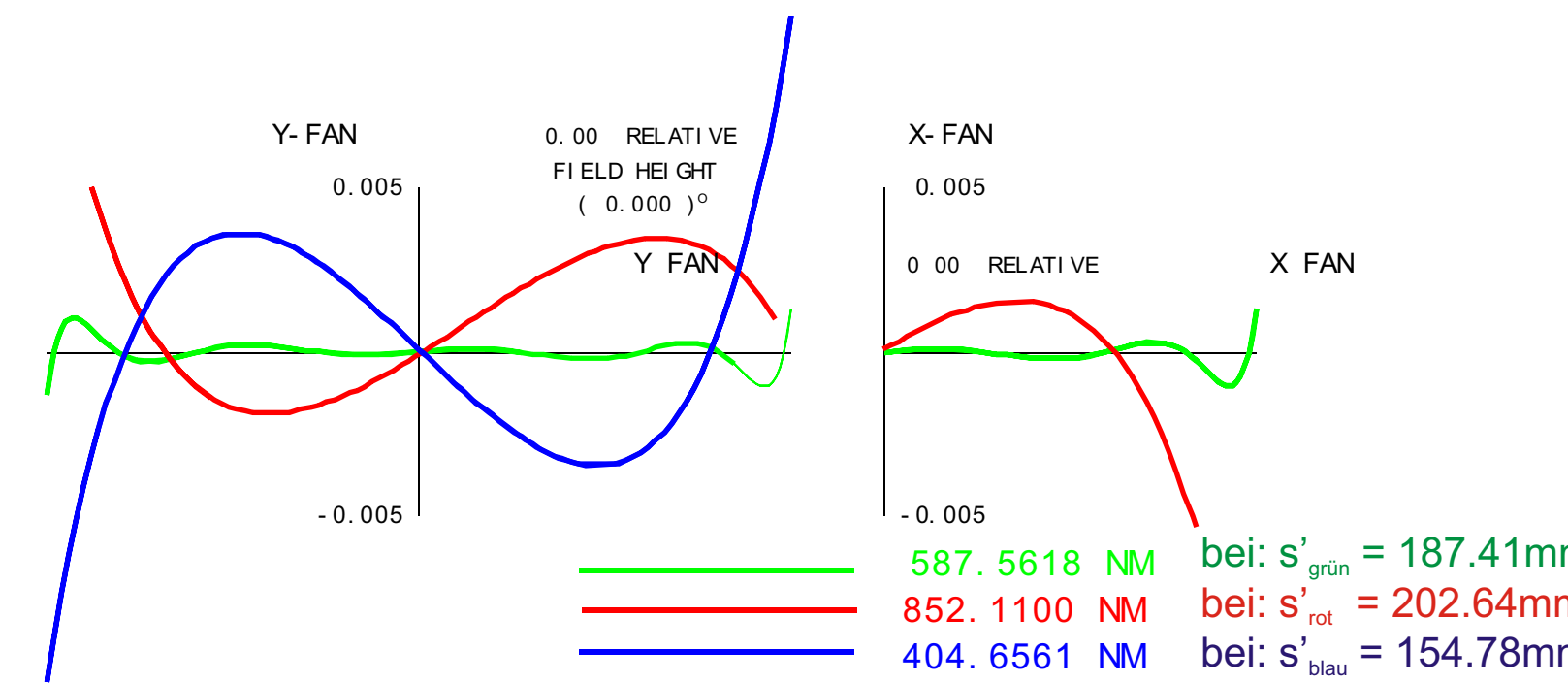
LÖSUNG:

Refraktiver Doppelhyperchromat

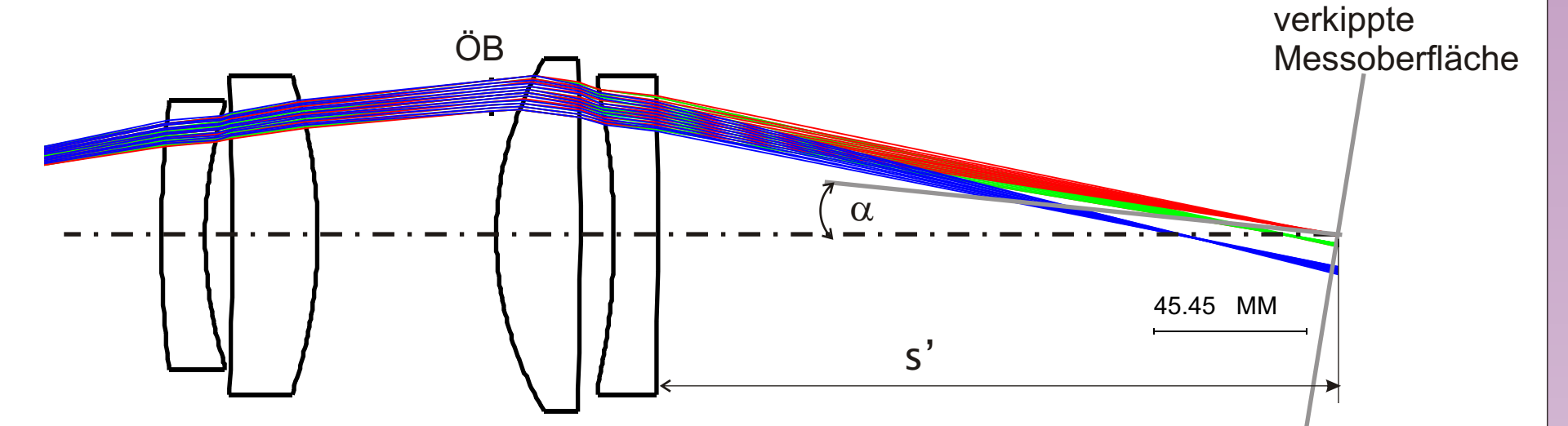


Bei Aufspalten des Hyperchromaten in 2 Hyperchromate addieren sich die Farblängsfehler. Im Beispiel wird ein Farblängsfehler von ca. 49mm erreicht.

Queraberrationen in der jeweils besten Aufgabenebene

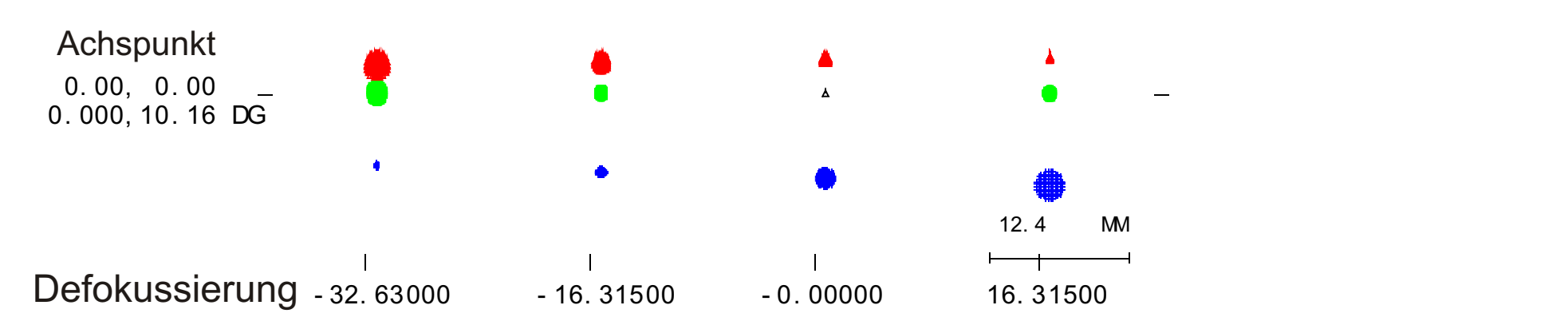


Strahlengang bei ca 10° verkippter Messoberfläche

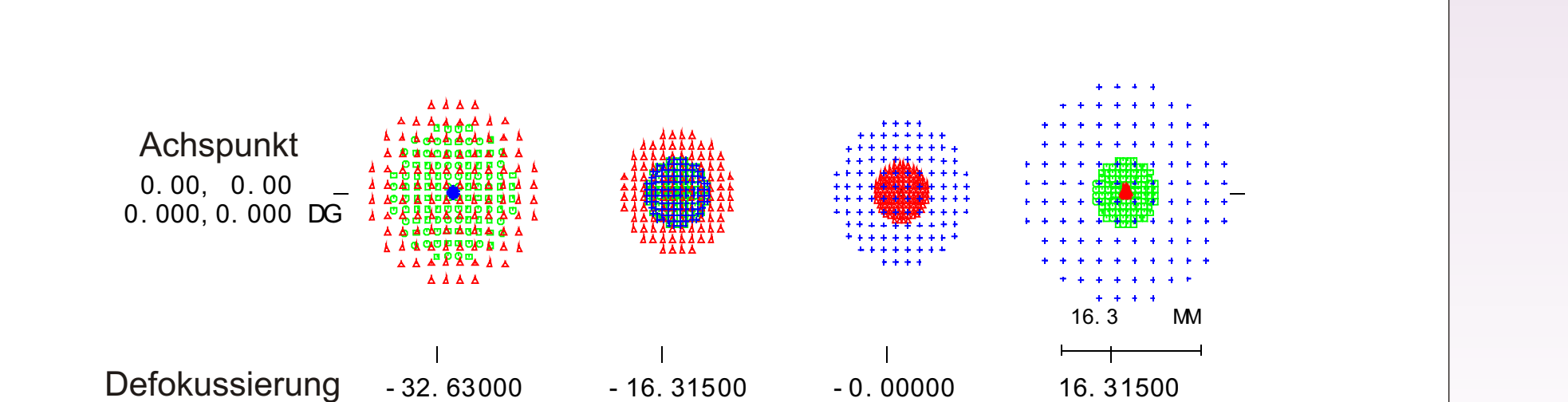


- Simulation der Verkipfung durch Dezentrierung der Öffnungsblende (ÖB).
- Intensitätsverlust durch Verkleinerung der Apertur von $NA'=0.2$ auf $NA' = 0.02$ als Folge der Verkipfung bei Beibehaltung der freien Höhen der Linsen.
- Keine Überlagerung der Spots verschiedener Wellenlängen, wodurch ein eindeutiges Messsignal auch bei geringer Intensität garantiert wird.

Spotdiagramm bei ca 10° verkippter Messoberfläche, $NA' = 0.02$



Spotdiagramm bei unverkippter Messoberfläche, $NA' = 0.2$



Literaturhinweise

- H. Haferkorn, W. Richter: Synthese optischer Systeme. Deutscher Verlag der Wissenschaften Berlin 1984
- M. Hillenbrand: Hybride diffraktive optische Systeme - Theorie, Berechnung und spezielle Anwendungen, Diplomarbeit, TU-Ilmenau, 2008
- St. Lehmann, VMA(Visuelle Messtechnik/Automatisierung) GmbH, 98704 Wümbach/Ilmenau