

Startsystemfindung von Zoomoptiken mit Hilfe der Ilmenauer Software PARAX



B. Mitschunas, S. Sinzinger
Fachgebiet Technische Optik, TU Ilmenau



Motivation

Die Software PARAX dient hauptsächlich dem kollinearen Entwurf komplexer optisch abbildender Systeme. Ist eine Systemstruktur gefunden, so kann sie anschließend weiter analysiert und optimiert werden [1],[2],[3]. Für die Strukturfindung einer Zoomoptik mit mechanischem Ausgleich ist vor allem die Möglichkeit der Parametervariation interessant. So können mehrere Bewertungsgrößen der Modellierung (z.B. die Abstände zwischen den sich bewegenden Systemgliedern) in Abhängigkeit von einem sich ändernden Parameter (z.B. der Vergrößerung) beobachtet werden.

Konkretes Beispiel

Zoomsystem für die medizinische Laserstrahlbearbeitung mit folgenden Kenngrößen und Forderungen:

1. Afokales System bestehend aus drei Einzellinsen
2. Eintrittspupillendurchmesser: $2h_{AP}=10\text{mm}$
3. Variation des Ausgangsstrahldurchmessers:
 $10\text{mm} \geq 2h_{AP} \geq 1.4\text{mm}$
Variationsfaktor: $V = \frac{\Gamma'_A}{\Gamma'_E} = \frac{2h_{AP,A}}{2h_{AP,E}} = 7.14$
4. Kein Fokus innerhalb des Zoomsystems!
5. Durchmesser des Gesamtsystems $2h < 25\text{mm}$
6. Länge des Gesamtsystems $L < 150\text{mm}$

Berechnungsalgorithmus einer dreigliedrigen afokalen Zoomoptik [4]

- Annahmen: 1. Optik feststehend
2. Optik = Variator zur Variation der Vergrößerung
3. Optik = Kompensator zur Realisierung des parallelen Ausgangsstrahls (Beibehaltung der afokalen Abbildung)

- Vorgabegrößen: Variationsfaktor V , Anfangsvergrößerung Γ'_A
 $V = \frac{\Gamma'_A}{\Gamma'_E}$ und $\Gamma'_A = \frac{2h_{EP}}{2h_{AP,A}}$ und $\Gamma'_E = \frac{2h_{EP}}{2h_{AP,E}} = V \cdot \Gamma'_A$
Vorgabeparameter: Abstände: e'_{1A}, e'_{2E} , Brennweite: f'_2

- Berechnung der restlichen Brennweiten und Abstände in Anfangs- bzw. Endstellung:

$$f'_3 = \frac{(e'_{2E} - f'_2) \cdot (e'_{1A} - f'_1) - f'_2 \cdot V}{e'_{1A} - f'_2 + \Gamma'_A \cdot V \cdot f'_2}; f'_1 = \frac{(e'_{1A} - f'_2) - \Gamma'_A \cdot f'_3}{\Gamma'_A \cdot f'_3 + f'_2}$$

$$e'_{1E} = f'_1 + f'_2 + \frac{f'_1 \cdot f'_2}{\Gamma'_E \cdot f'_3}; e'_{2A} = f'_2 + f'_3 + \frac{\Gamma'_A \cdot f'_1 \cdot f'_2}{f'_1}$$

- Berechnung der Extremstellung mit: $\beta'_{2A} = -\frac{\Gamma'_A \cdot f'_3}{f'_1}$

$$e'_{1\text{Extrem}} = f'_2 \cdot \left(\frac{1}{\beta'_{2A}} + 1 \right); e'_{2\text{Extrem}} = f'_2 - \frac{\beta'_{2A} \cdot f'_2 \cdot f'_3}{(f'_1 - e'_{1A}) - f'_2 + f'_3}$$

- Steuerkurve für i-Stellungen mit: $L_i = e'_{1i} + e'_{2i}$
 $\Delta L_i = e'_{1i} - e'_{1A}; \Delta L_i = L_i - L_A$

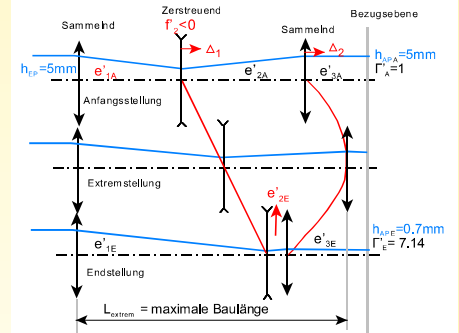


Bild 1: Günstigste afokale dreigliedrige Systemstruktur ohne reelles Zwischenbild mit Darstellung der Bewegungskarakteristik von Variator und Kompensator. (Systemtyp: zerstreuend-sammelnd-zerstreuend würde größeren Durchmesser des Variators erfordern!)

PROBLEM: Auswahl sinnvoller Parameter für den Berechnungsalgorithmus!

- **Lösung:** Optimierung der Vorgabeparameter: e'_{1A}, e'_{2E} = Minimalwert und $f'_2 < 0$ mit Hilfe der Parametervariation von PARAX.
- **Bedingung:** Alle Abstände e'_i ($k=1 \dots 3$) über den gesamten Verstellbereich > 0 !
- **Optimierungskriterien:** Kleine Baulänge, moderate Brennweiten, keine zu großen Empfindlichkeiten in der Steuerkurvencharakteristik.

Umsetzen der Anforderungen in Systemeingabegrößen für das kollineare Dimensionierungsprogramm PARAX (Vernachlässigung des Feldes) und Parametervariation

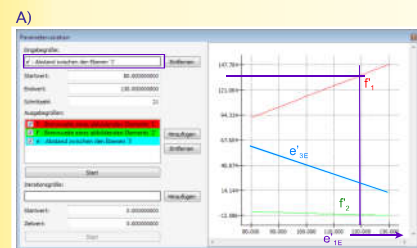
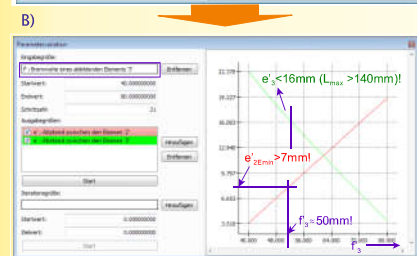


Bild 2: A) Variation von e'_{1E} bei Vorgabe eines Minimalwertes für e'_{2E} in der Endstellung. Forderung: $|f'_2| > 11\text{mm}$
 $e'_{1E} > 120\text{mm}$!
z.B. $f'_2 = -12\text{mm}$, $f'_1 = 138\text{mm}$

- B) Variationsbereich von f'_1 ?
Es existieren für die gewünschte Baulänge nur Lösungen für einen schmalen Bereich von f'_1 .
Auswahl: $f'_1 = 50\text{mm}$!



Mit den Brennweiten sind auch die Abstände über den gesamten Zoombereich definiert!

Abstandssumme = globaler Parameter zur Kontrolle der Baulänge L in i-Stellungen:
 $e'_{1i} = e'_{1A} + e'_{2i} + e'_{3i}$
Systemlänge:
 $L_i = e'_{1i} - e'_{1A}$
Forderung: $L_{\text{max,system}} = 140\text{mm}$

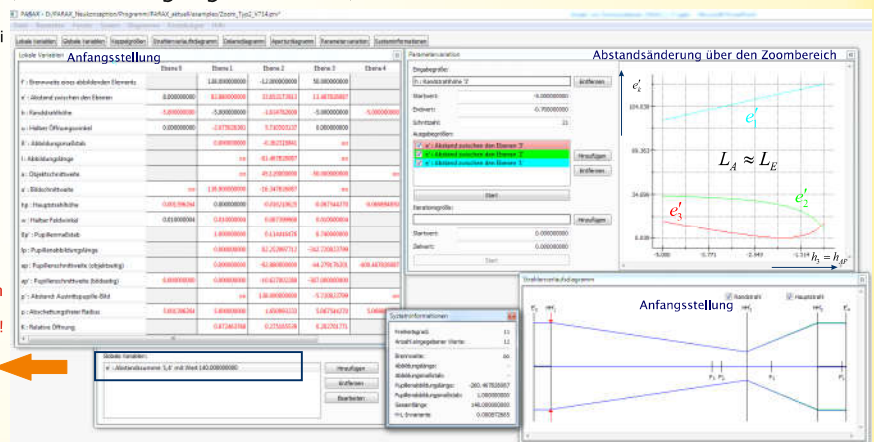


Bild 3: Oberfläche der Software PARAX mit dem Tool „Parametervariation“ zur Kontrolle aller Abstände und damit der Bewegung von Variator und Kompensator über den gewünschten Zoombereich. Die Eingabe- und Ergebnistabelle der lokalen Systembeschreibungsgrößen (Vorgabeparameter schwarz gekennzeichnet) sowie die Darstellung des Strahlenverlaufs beziehen sich auf die Anfangsstellung.

Simulation mit dem Programm ZEMAX

Bild 4: Ersetzen der kollinearen dünnen Linsen durch Kataloglinsen und Optimierung der Abstände für ausgewählte Zoomstellungen sowie für die extreme Stellung zur Ermittlung der realen maximalen Baulänge.

- A) Darstellung des Strahlenverlaufs für drei Stellungen

- B) Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse (Abstände, Baulänge, Vergrößerung und der Abweichungen vom idealen Ausgangsstrahldurchmesser in 100mm Entfernung) für 8 Stellungen.

Wellenlänge: 1064nm	Durchmesser des Ausgangsstrahls		Vergrößerung	Abstand 1 in mm	Abstand 2 in mm	Länge des Systems/mm
	ideal	Real in 100 mm nach dem System				
1	10	9.956	1	90.164	30.671	133.78
2	8	7.982	1.25	97.030	29.658	139.026
3	6	5.977	1.666	104	27.803	144.14
4	4	3.998	2.5	110.868	24.067	147.271
5(extrem)	3.614	3.613	2.767	112.206	22.852	147.394
6	3	3	3.33	114.343	20.247	146.926
7	2	2	5	117.83	12.569	142.733
8	1	1.382	7.14	119.962	2.649	134.931

Literatur

- [1] B. Mitschunas, B. Rudolf, R. Biehl, J. Mitschunas: Kollineare Modellierung komplexer optischer Systeme, Photonik 2, 2016, S. 46-49
- [2] W. Richter, B. Mitschunas: Paraxialer Entwurf optischer Systeme, P & M 100 (1992) 10, 459-463
- [3] B. Rudolf: Untersuchung von Methoden zur kollinearen Startsystemfindung, der ersten Stufe beim Optikdesignprozess, Masterarbeit, TU Ilmenau, 2016
- [4] B. Mitschunas: Methodische Unterlagen zum Ansatz pankratischer Systeme, Dissertation, 1984

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung der Arbeit innerhalb des Projektes VopSys "Verallgemeinerte optische Abbildungssysteme" FKZ: SI 573/9, Ho 2667/1-1.

Kontaktadresse bei Interesse am Kauf von PARAX: Roman.Kleindienst@ilmenau-os.de

Technische Universität Ilmenau
IMN MacroNano®
Fachgebiet Technische Optik
Beate Mitschunas

Telefon: +49 3677 69-1805
Fax: +49 3677 69-1281
beate.mitschunas@tu-ilmenau.de
www.tu-ilmenau.de/optik

th
TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU