

Verzeichnungsarmes Abbildungsobjektiv für die Lasermaterialbearbeitung

Eckhard Langenbach
FISBA OPTIK AG, St. Gallen
mailto:eckhard.langenbach@fisba.ch

Für die Belichtung von thermischen Druckplatten ist ein Objektiv entwickelt worden, das ein Diodenlaserarray mit beugungsbegrenzter Bildgüte und sehr niedriger Verzeichnung abbildet. Durch die Bewegung nur einer Linse kann die Optik schnell umfokussiert werden und bleibt dabei beidseitig telezentrisch.

1 Einleitung

Die in diesem Artikel vorgestellte Optik soll ein ca. 11 mm langes Diodenlaserarray mit sehr niedriger Verzeichnung und großem Arbeitsabstand auf eine Druckplatte abbilden. Bewegungen der Bildebene erfordern eine schnelle Fokussierbarkeit. Dabei muss der Abbildungsmaßstab in engen Grenzen unverändert bleiben und das Bild muss weitgehend verzeichnungsfrei bleiben. Jede Emissionszone des Diodenlaserarray wird vergrößert abgebildet, der Abstand der Zonen zueinander entspricht genau dem Abstand ihrer Bilder in der Bildebene.

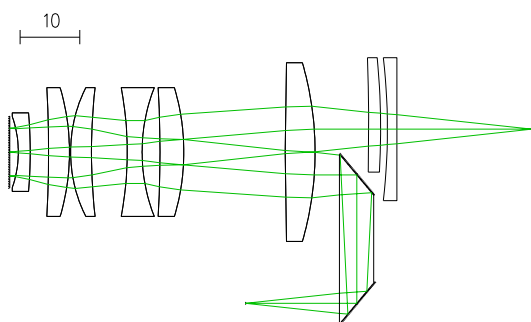


Fig. 1 Seitenansicht von Makro-Optik und "Zoom-Brille"

2 Modularer Aufbau des Systems

Das optische System für diese Aufgabe ist modular aufgebaut und besteht aus den folgenden Baugruppen:

Lichtquelle: Array einzeln adressierbarer Diodenlaser

Mikro-Optik: individuelle, virtuelle Abbildung der einzelnen Emitter

Makro-Optik: 1 : 1-Abbildung der gesamten Zeile

"Zoom-Brille": Feinabstimmung des Abbildungsmaßstabs um wenige 0.1%

Vor jedem einzelnen Diodenlaser befindet sich eine kleine, anamorphotische Lupe der Mikro-Optik, die

die Emitterfläche auf die gewünschten Lichtfleckabmessungen in der Bildebene vergrößert.

Abbildung 1 zeigt den Strahlverlauf in Makro-Optik und "Zoom-Brille". Dabei wird das Licht zwischen der Mikro- und der Makro-Optik mit zwei Reflexionen in einem Prisma umgelenkt. Dadurch kann die Lichtquelle mit der Mikro-Optik platzsparend unter der Makro-Optik untergebracht werden. Die Makro-Optik besteht aus einem 6-linsigen Objektiv, bei dem mit einem Planspiegel der Strahlengang gefaltet wird und das Licht zweimal durch die Linsengruppe verläuft. Die beiden Linsen über dem Faltprisma bilden die "Zoom-Brille": Durch die Veränderung ihres Abstands lässt sich die Bildgröße um $\pm 0.3\%$ anpassen. Ein Foto von Lichtquelle mit Mikro-Optik, Umlenkprisma und Makro-Optik zeigt Abbildung 2.

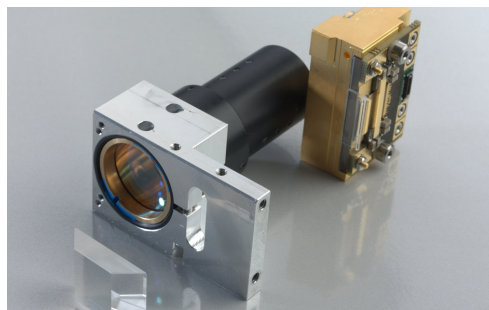


Fig. 2 Diodenlaser, Mikro- und Makro-Optik

3 Telezentrie und Fokussierbarkeit

Auf der Objektseite wird durch die Lichtquelle ein telezentrischer Strahlengang vorgegeben. Bildseitige Telezentrie wird dann erreicht, wenn sich der zentrale Makro-Optik-Faltspiegel im Brennpunkt der 6-linsigen Baugruppe befindet, denn dann verlaufen alle Strahlenbündel der einzelnen Diodenlaser durch das Zentrum dieses Spiegels und damit auch symmetrisch durch das Linsensystem. Ein derartig symmetrisches optisches System erfüllt weitere wichtige Anforderungen für die vorgesehene Anwendung:

- Abbildungsmaßstab –1

- verzeichnungsfrei
- ohne Koma-Fehler

Diese Eigenschaften sollen auch beim Umfokussieren der Optik erhalten bleiben. Damit das Umfokussieren genügend schnell erfolgen kann, darf nur ein optisches Element verschoben werden. Dabei muss das Fernfeld der Diodenlaser unverändert auf den Faltspiegel abgebildet werden. Dies lässt sich dann erreichen, wenn die Fokussierlinse im optischen System ein (ggf. virtuelles) Zwischenbild des Fernfelds mit Längsvergrößerung $+1$ abbildet, denn dann bleibt bei kleinen Linsenverschiebungen der Objekt-Bild-Abstand konstant. Da die Längsvergrößerung das Quadrat des Abbildungsmaßstabs ist, muss die Fokussierlinse das Fernfeld im Maßstab $+1$ oder -1 abbilden. In der hier vorgestellten Makro-Optik wird diese Aufgabe von der kleinen Linse unmittelbar vor dem Faltspiegel übernommen, bei der die beiden Hauptebenen als Objekt- und Bildebene für eine Fernfeldabbildung im Maßstab $+1$ dienen. Durch die Meniskusform der Linse liegt die Bildebene außerhalb des Linsenkörpers auf der Oberfläche des Faltspiegels.

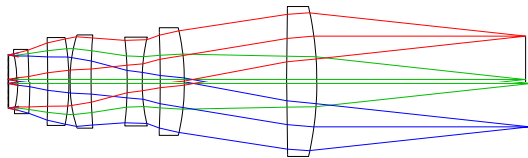


Fig. 3 Makro-Optik in 2 Fokuseinstellungen

Die Abbildung 3 zeigt in der oberen und unteren Bildhälfte jeweils eine der beiden extremen Fokuseinstellungen. Der Verlauf der Lichtstrahlen wird dabei nur vom Faltspiegel bis zur Bildebene dargestellt. Mit einer Bewegung der kleinen Linse um 0.15 mm lässt sich die Bildebene innerhalb von wenigen Millisekunden um 0.6 mm verschieben.

4 Bildgüte des Systems / Toleranzen

Die Punktbildgüte liegt im gesamten Bildfeld und für alle Fokuspositionen deutlich im beugungsbegrenzten Bereich. Als kritisch und in der Fertigung schwierig haben sich die engen Forderungen an die Bildgeometriefehler

- Bildgröße / Abbildungsmaßstab
- Bildlageverschiebung beim Fokussieren
- Verzeichnung

gezeigt. Der Abbildungsmaßstab kann mit der "Zoom-Brille" genau eingestellt werden, und die Bildlageverschiebung lässt sich mit engen Toleranzen für den Fokussierantrieb beherrschen. Bei der Verzeichnung unterscheidet man die in Abbildung 4 schematisch dargestellten Fehler

Pitch P: lokale Bildverschiebung entlang der Bildzeile

Smile S: lokale Bildverschiebung senkrecht dazu



Fig. 4 Pitch- (P) und Smile-Fehler (S)

Wie Abbildung 5 zeigt, betragen die theoretischen Verzeichnungsfehler P und S im gesamten Fokussierbereich nur wenige nm.

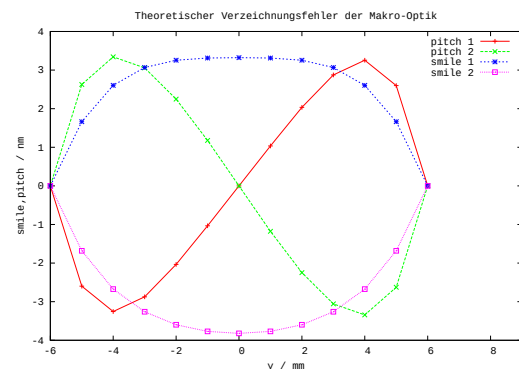


Fig. 5 Theoretische Verzeichnungsfehler P und S in den extremen Fokuslagen

Aber bereits kleine Zentrierfehler von wenigen μm lassen die Verzeichnung unakzeptabel ansteigen. Die Verzeichnung reagiert dabei zwar unterschiedlich empfindlich auf Zentrierfehler der einzelnen Linsen, aber die Art der Verzeichnung ist für alle Zentrierfehler gleichartig. Damit lassen sich Verzeichnungsfehler des optischen Systems durch die gezielte Dezentrierung eines einzelnen Elements bei der Montage korrigieren. Die dabei auftretenden Dezentrierungen bleiben so klein, dass sich die Punktbildgüte nicht merklich verschlechtert.

5 Zusammenfassung

Das vorgestellte Abbildungsobjektiv für die Belichtung von thermischen Druckplatten

- hat eine beugungsbegrenzte Bildgüte,
- kann sehr präzise die Bildgröße einstellen,
- lässt sich durch die Bewegung einer einzelnen Linse schnell umfokussieren,
- bleibt beim Umfokussieren beidseitig telezentrisch
- und ist extrem verzeichnungsfrei.

Das Objektiv wird seit einigen Jahren in Serie gefertigt und hat sich in der Anwendung bewährt.