

7. Strahlteiler



Strahlteiler dienen der Teilung oder Zusammenführung von Lichtstrahlen. Der Effekt der Strahlentrennung kann durch optisch aktive Materialien oder Strahlteilerschichten erfolgen. Abhängig von der Aufgabenstellung muß die Art der strahlteilenden Komponente, ihre Form und das Material ausgewählt werden.

Hinsichtlich der funktionalen Wirkung werden drei Grundarten der Strahlteilung unterschieden:

- Intensitätsaufteilung
- Spektrale Aufteilung
- Trennung von Polarisationszuständen

Oftmals sind auch Kombinationen aus den drei Grundarten umzusetzen bzw. es ist zu beachten, dass die Aufteilung hinsichtlich einer physikalischen Größe die anderen Parameter nicht beeinflusst. Ein Beispiel dafür ist die Intensitätsaufteilung eines Strahls ohne dessen Polarisationszustand zu ändern.

Eine andere Unterscheidung für die Strahlteiler ist durch die Bauform gegeben :

- Strahlteilerplatten
- Strahlteilerwürfel
- Spezielle Bauform

Intensitätsstrahlteiler können sowohl monochromatisches als auch polychromatisches Licht (weiß oder ein anderes Band des Spektrums) teilen. Der einfallende Lichtstrahl wird dabei in einen transmittierten und reflektierten Anteil getrennt.

Typische Teilungsverhältnisse sind 20:80, 40:70, 50:50 oder 70:30. Das Teilungsverhältnis wird in jedem Fall durch eine Strahlteilerschicht bestimmt.

Es lassen sich zwei Arten von Strahlteilerschichten klassifizieren :

- A. metallische Strahlteilerschichten
- B. dielektrische Strahlteilerschichten

Metallische Schichten wirken unabhängig von der Wellenlänge und sind für beliebige Einfallswinkel anwendbar. Der Polarisationszustand des einfallenden Lichtes wird verändert, wobei die Änderung mit zunehmendem Einfallswinkel stärker wird. Allerdings ist dieser Effekt klein im Vergleich zu dielektrischen Teilungsschichten.

Es ist zu beachten, dass metallische Schichten einen Teil der Strahlung absorbieren. Oftmals wird die Metallschicht mit einer dünnen dielektrischen Schicht (MgF_2 oder SiO_2) überzogen, um die mechanische Stabilität zu erhöhen.

Dielektrische Mehrfachsichten bieten die Möglichkeit, das Teilungsverhältnis beliebig einzustellen, ohne dass Absorptionsverluste auftreten. Die Teilung ist stark abhängig von der Wellenlänge und dem Einfallswinkel.

Der Polarisationszustand spielt eine wesentliche Rolle und kann von der Teilerschicht beeinflusst werden. Das gibt die Möglichkeit, auf Grundlage dielektrischer Schichten Polarisatoren herzustellen (siehe Kapitel 8.1.). Auf der anderen Seite kann durch eine spezielle Schichtfolge eine Polarisation vermieden werden, allerdings trifft dieses dann nur für eine Wellenlänge zu. Diese Art spezieller Intensitätsstrahlteiler wird auch als Nichtpolarisierender Strahlteiler bezeichnet. Für diesen Typ sind die Teilungsverhältnisse von 20:80 und 50:50 lieferbar.

Selektive Strahlteiler dienen der Trennung des Lichtes in Anteile unterschiedlicher Wellenlängen. Diese Gruppe der Strahlteiler wird im Kapitel 9, Filter, beschrieben.

Polarisierende Strahlteiler trennen die Polarisationszustände s und p voneinander, so dass ein nichtpolarisierter Strahl in seine senkrecht zueinander stehenden Polarisationsanteile aufgeteilt wird. Detaillierte Informationen finden Sie im Kapitel 8, Polarisatoren.

7.1. Strahlteilerplatten

Strahlteilerplatten bestehen aus einer planparallelen Platte aus Glas, Quarz oder einem einachsigen Kristall (z.B. CaF₂) mit einer dielektrischen oder metallischen Beschichtung. Bei Strahlteilerplatten ist zu beachten, dass ein Strahlversatz in Abhängigkeit von der Plattenstärke und dem Einfallswinkel auftritt.

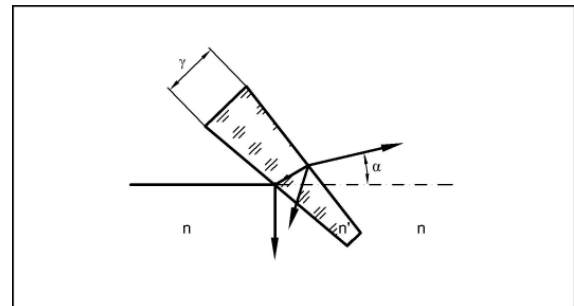
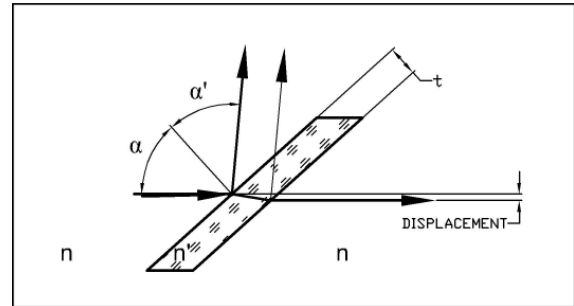
Versatz beim Durchgang durch eine Strahlteilerplatte :

$$v = d \cdot \frac{\sin(\alpha - \alpha')}{\cos \alpha'}$$

Für die Strahlableitung bei 45° Lichteinfall gilt :

$$\alpha = \gamma(n' - 1)$$

Zur Vermeidung von störenden Reflexionen an der Rückseite kann diese mit einer AR-Schicht versehen werden, oder die Platte wird mit einem geringen Keilwinkel gefertigt.



Technische Daten – Strahlteilerplatten	
	Standardwerte
Material	Kundenspezifikation
Maßbereich (Kantenlänge)	5 ÷ 100 mm
Maßtoleranz	± 0,1 mm
Aktive Fläche (Freie Apertur)	90 %
Planität (633 nm)	1 λ pro Zoll
Oberflächenqualität (scratch – dig)	60 – 40
Teilungsverhältnisse (metallisch)	20:80 bis 90:10
Teilungsverhältnisse (dielektrisch)	Breitband : 30:70, 50:50, 70:30 ± 5 %
	V-Typ : 10:90 bis 90:10 ± 2 %
Spektralbereich	Metallisch : 400 nm ÷ 6 μm
	Dielektrisch : 300 nm ÷ 10,6 μm
Antireflexionsbeschichtung	Kundenspezifikation
Keilwinkel	Kundenspezifikation
Fassung	Kundenspezifikation

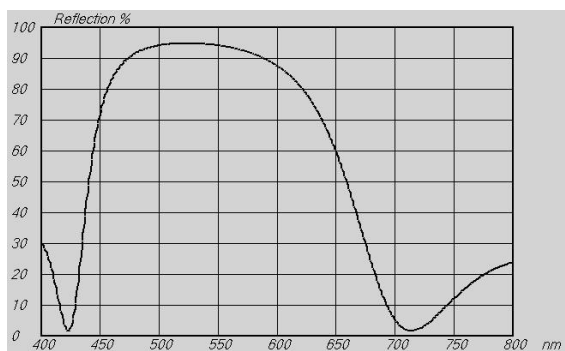
Strahlteilerplatten können, angepasst an die Anforderungen, auch in anderen Qualitätsstufen gefertigt werden. Beispiel : 40-20 ; λ/10 (633 nm)

7.2. Laser-Auskoppelspiegel

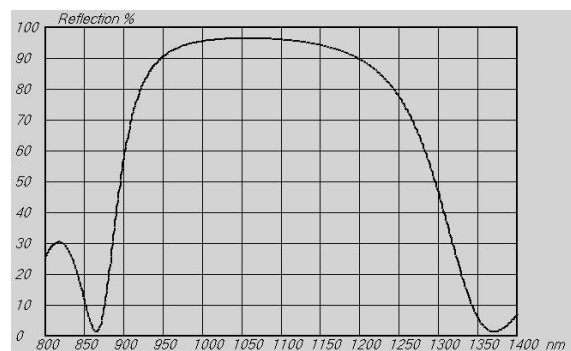
Die innerhalb von Laserresonatoren verwendeten Auskoppelspiegel stellen eine spezielle Art der Strahlteilerplatte dar. Sie weisen i.A. einen hohen Reflexionsgrad auf, was die Bezeichnung "Spiegel" begründet. Wesentlich ist aber die Strahlteilungsfunktion, wodurch ein definierter Anteil der Laserstrahlung ausgekoppelt wird. Für den Auskoppelspiegel existiert ein bestimmter Reflexionsgrad R_{op} , bei dem das Betriebsregime des

Lasers optimal ist. Für den HeNe-Laser zum Beispiel liegt R_{op} zwischen 95 % und 99 %, bei Festkörperlaser zwischen 20 % und 90 %. Laserspiegel zeichnen sich durch eine hohe Politurgüte aus und besitzen eine hohe Zerstörschwelle.

Substratformen : plan, konkav, konkav-konvex
Substratmaterialien : Quarzglas, N-BK 7 u.a.



Auskoppelspiegel für 532 nm



Auskoppelspiegel für 1064 nm

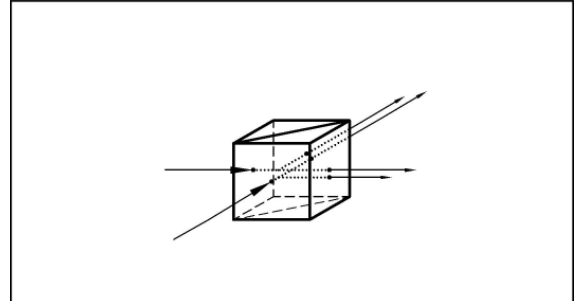
Technische Daten – Laser-Auskoppelspiegel	
	Standardwerte
Material	Kundenspezifikation
Maßbereich (Kantenlänge)	5 ÷ 100 mm
Maßtoleranz	-0,1 mm
Dickentoleranz	±0,1 mm
Aktive Fläche (Freie Apertur)	90 %
Planität oder Formgenauigkeit (633 nm)	$\lambda/10$ pro Zoll
Oberflächenqualität (scratch – dig)	10 – 5
Spektralbereich	300 nm ÷ 6 μ m
Antireflexionsbeschichtung	Kundenspezifikation
Fassung	Kundenspezifikation

Auskoppelspiegel können, angepasst an die Anforderungen, auch in anderen Qualitätsstufen gefertigt werden. Beispiel : $\lambda/20$ (633 nm)

7.3. Strahlteilerwürfel

Strahlteilerwürfel besitzen im Vergleich zur Strahlteilerplatte den Vorteil, dass der transmittierte Strahl keinen Versatz erfährt. Unter Umständen ist auch die gleiche optische Weglänge für den reflektierten und transmittierten Strahl von Bedeutung.

Die Strahlteilerwürfel werden i.A. aus zwei verkiteteten 90°-Prismen gefertigt. Durch die Kittschicht wird die thermische Belastbarkeit des Teilers herabgesetzt, was insbesondere bei hohen Laserleistungsdichten zu beachten ist. Die strahlteilende Beschichtung befindet sich auf einer der Hypotenusenseite der verkiteteten Prismen, d.h. einer Würfel diagonalfäche und ist auf einen Strahleinfall von 45° ausgerichtet.

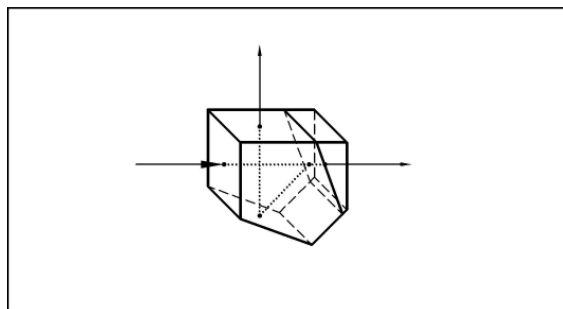


Technische Daten – Strahlteilerwürfel	
	Standardwerte
Material	Kundenspezifikation
Maßbereich (Kantenlänge)	5 ÷ 50 mm
Maßtoleranz	± 0,1 mm
Aktive Fläche (Freie Apertur)	80 %
Planität (633 nm)	1 λ pro Zoll
Oberflächenqualität (scratch – dig)	60 – 40
Teilungsverhältnisse (metallisch)	20:80 bis 90:10
Teilungsverhältnisse (dielektrisch)	Breitband : 30:70, 50:50, 70:30 ± 5 %
	V-Typ : 10:90 bis 90:10 ± 2 %
Spektralbereich	Metallisch : 350 nm ÷ 1500 nm
	Dielektrisch : 400 nm ÷ 1500 nm
Antireflexionsbeschichtung	Kundenspezifikation
Fassung	Kundenspezifikation

Strahlteilerwürfel können, angepasst an die Anforderungen, auch in anderen Qualitätsstufen gefertigt werden. Beispiel : 20-10 ; λ/10 (633 nm)

7.4. Pentagon-Strahlteiler

Die Funktionsweise des Pentagon-Strahlteilers ist mit der des Strahlteilerwürfels vergleichbar. Aber das Bild wird in einem weiten Winkelbereich nicht umgekehrt und der Ablenkwinkel ist unabhängig vom Einfallswinkel. Dieser Strahlteiler findet vorrangig Anwendung, wenn die präzise Justage in einem optischen System kompliziert oder nicht ausreichend möglich ist. Der Strahlteiler besteht aus einem Pentagonprisma und einem Keil, zwischen denen eine dielektrische Schicht ist. Die Reflexionsfläche des Pentagonprismas muss verspiegelt werden.



Technische Daten – Pentagon-Strahlteiler	
	Standardwerte
Material	Kundenspezifikation
Maßbereich (Kantenlänge)	5 ÷ 30 mm
Maßtoleranz	± 0,1 mm
Ablenkgenauigkeit für 90°-Strahl	± 2 arcmin
Ablenkgenauigkeit für 0°-Strahl	± 1 arcmin
Aktive Fläche (Freie Apertur)	90 %
Planität (633 nm)	1 λ pro Zoll
Oberflächenqualität (scratch – dig)	60 – 40
Teilungsverhältnisse (metallisch)	10:90 bis 90:10
Teilungsverhältnisse (dielektrisch)	Breitband : 30:70, 50:50, 70:30 ± 5 %
	V-Typ : 10:90 bis 90:10 ± 2 %
Spektralbereich	Metallisch : 350 nm ÷ 1500 nm
	Dielektrisch : 400 nm ÷ 1500 nm
Antireflexionsbeschichtung	Kundenspezifikation
Fassung	Kundenspezifikation

Pentastrahlteiler können, angepasst an die Anforderungen, auch in anderen Qualitätsstufen gefertigt werden. Beispiel : 20-10 ; λ/10 (633 nm).

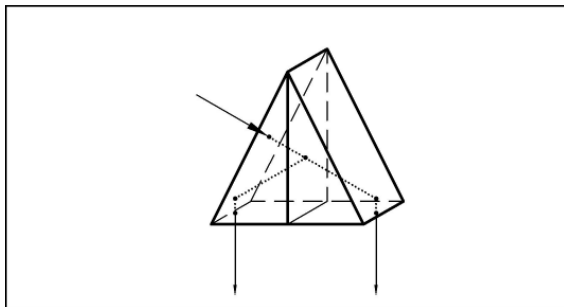
Hinsichtlich der Strahlablenkung werden 3 Genauigkeits-klassen gefertigt :

- ±1 arcmin
- ±30 arcsec
- ±15 arcsec

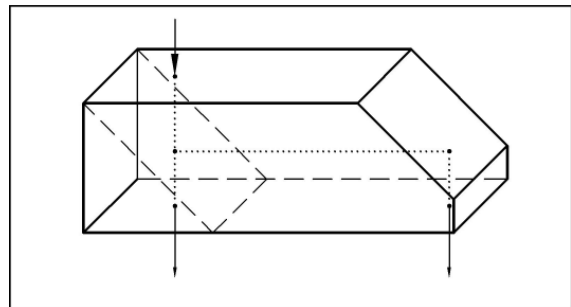
7.5. Spezielle prismatische Strahlteiler

Unter diesem Punkt sei zunächst das **Köster-Prisma** hervorgehoben. Dieses dient der Aufteilung eines Strahls in zwei parallele Teilstrahlen. Der Abstand der Austrittsstrahlen ist abhängig von der Höhe der Einstrahlung und kann somit variiert werden. Der neben dem KÖSTER-Prisma darge-

stellte spezielle Strahlteiler (**Parallelstrahl-Teilerprisma**) dient ebenfalls der Erzeugung zweier paralleler Strahlen. In diesem Fall sind die Ausbreitungsrichtung des einfallenden Strahles und der Ausgangsstrahlen im Rahmen der Toleranzen identisch.



Köster-Prisma



Parallelstrahl-Teilerprisma

Technische Daten – Spezielle prismatische Strahlteiler	
	Standardwerte
Material	Kundenspezifikation
Maßbereich (Kantenlänge)	5 ÷ 30 mm
Maßtoleranz	± 0,1 mm
Ablenkgenauigkeit für 90°-Strahl	± 2 arcmin
Aktive Fläche (Freie Apertur)	90 %
Planität (633 nm)	1 λ pro Zoll
Oberflächenqualität (scratch – dig)	60 – 40
Teilungsverhältnisse	Metallisch : 10:90 bis 90:10
	Dielektrisch : 10:90 bis 90:10
Spektralbereich	Metallisch : 350 nm ÷ 1500 nm
	Dielektrisch : 400 nm ÷ 1500 nm
Antireflexionsbeschichtung	Kundenspezifikation
Fassung	Kundenspezifikation

Die prismatischen Strahlteiler können, angepasst an die Anforderungen, auch in anderen Qualitätsstufen gefertigt werden. Beispiel : 40-20 ; $\lambda/10$ (633 nm); <30 arcsec