

Streulichtunterdrückung durch konstruktive Maßnahmen und schwarze Beschichtungen

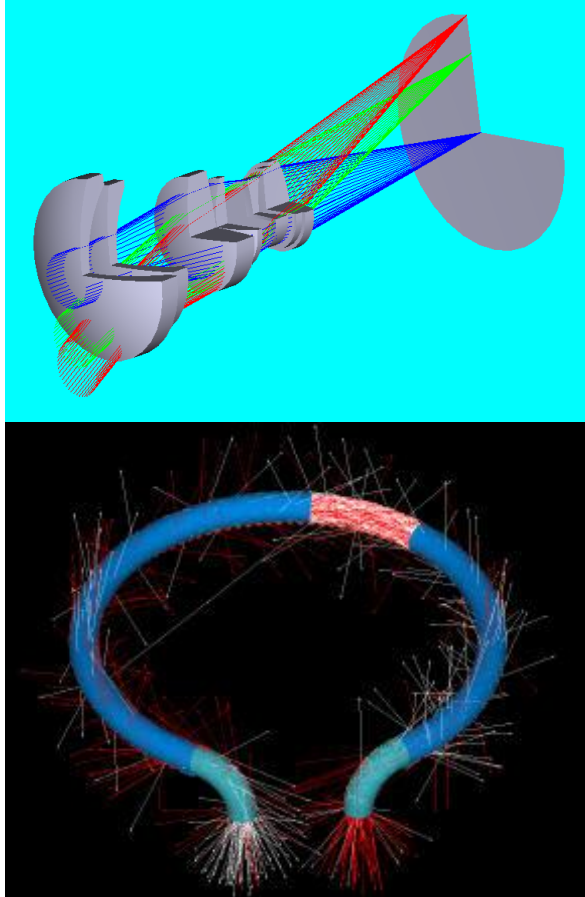
Bernhard Michel, *Hembach Photonik GmbH*

Helmut Erhart, *ACM Coatings GmbH*

Dina Katsir, *Acktar Ltd (Israel)*

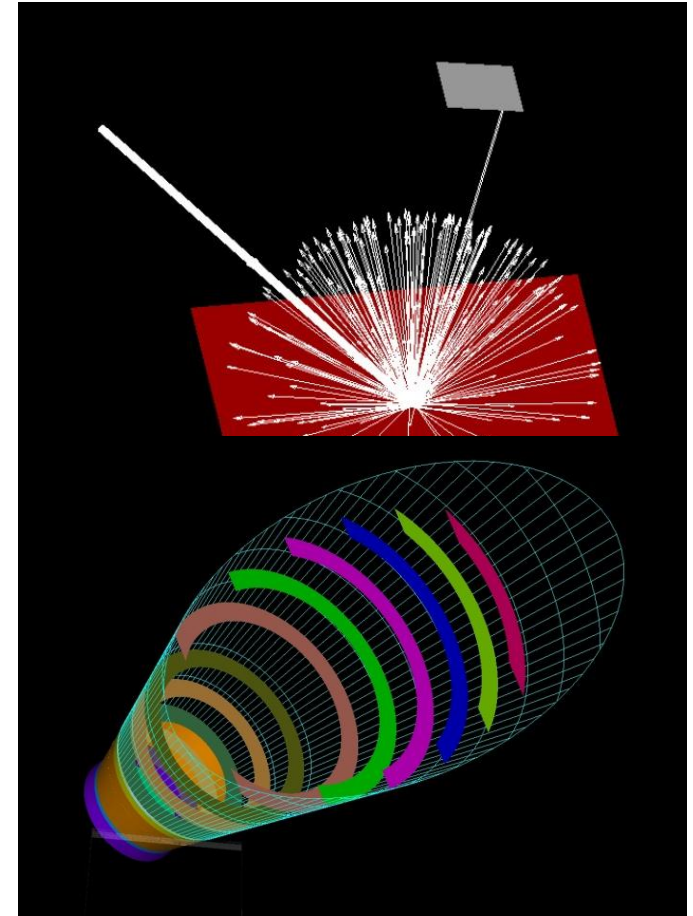
DGaO-Tagung 2013 in Braunschweig

Hembach Photonik

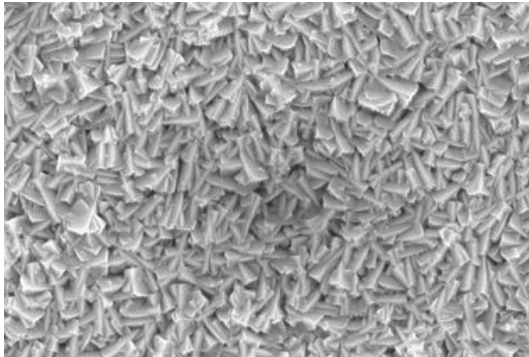


Schwerpunkte:

- Design von Abbildungs- und Beleuchtungs-optik
- **Störlichtanalyse**
- Softwarevertrieb und -entwicklung



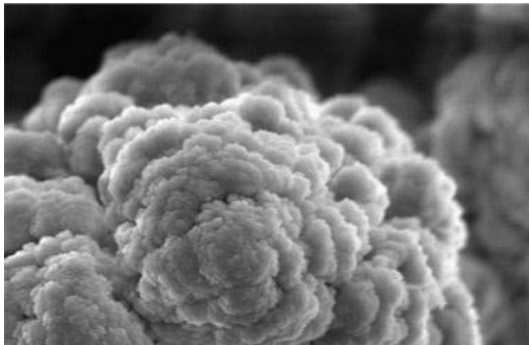
Acktar und ACM Coatings



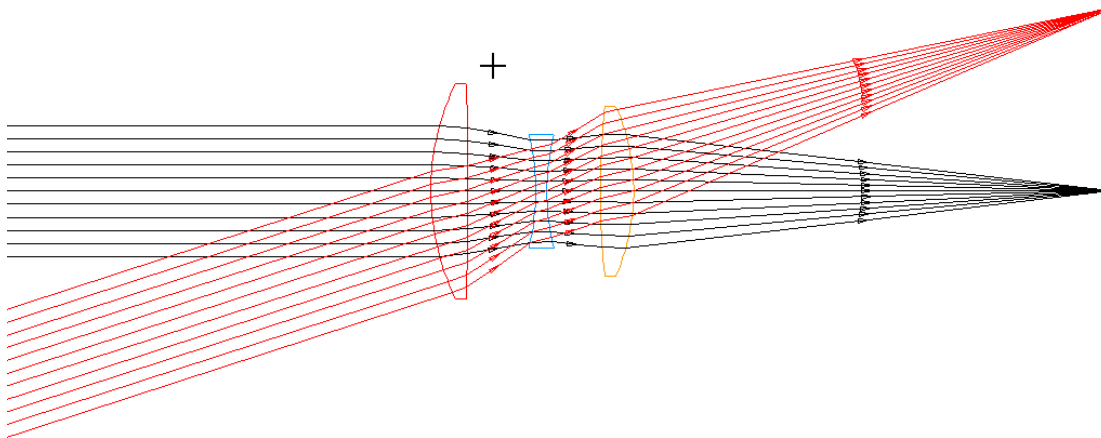
Acktar entwickelt **tiefschwarze Beschichtungen** mit hohem Emissionsvermögen zur Absorption und Eliminierung von Streulicht in allen Wellenlängenbereichen vom extremen UV, VIS bis hin zum langwelligem IR.

ACM Coatings bietet als Tochtergesellschaft die speziellen Beschichtungen in Europa an

Seite 3



Abbildungssystem ohne Störlicht– so sollte es sein ...



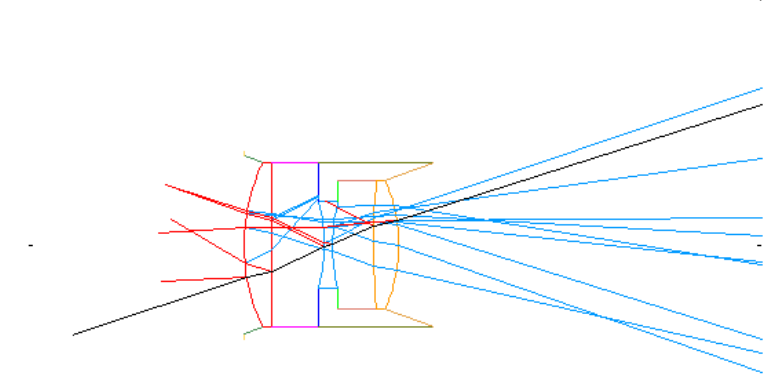
- Entwickelt mit Standard-Linsensdesignprogramm
- Nach Spezifikationen: Brennweite, Blendenzahl, Vorgaben für Bildfehler, ...
- Hier als einfaches Beispiel:

Cooke Triplet
(aus ZEMAX Bibliothek)

... und mit Störlicht (Realität)

a simple cooke triplet.

31.196,60

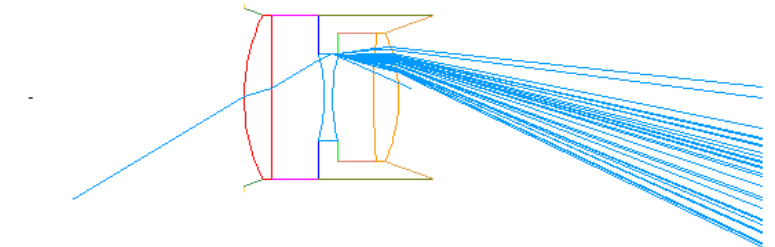


Y
Z
-31.196,-25 mm



ASAP v2010V1R1

2013-05-21 14:23



Y
Z
-31.196,-25 mm



ASAP v2010V1R1

2013-05-21 14:03

Störlicht:

- Unerwünschtes Licht
- Verschlechtert Systemeigenschaften

Quellen von Störlicht:

- Direktlicht
- Reflexe (Geister)
- Lichtstreuung an opto-mechanischen Bauteilen
- Beugung
- Thermische Strahlung (IR)

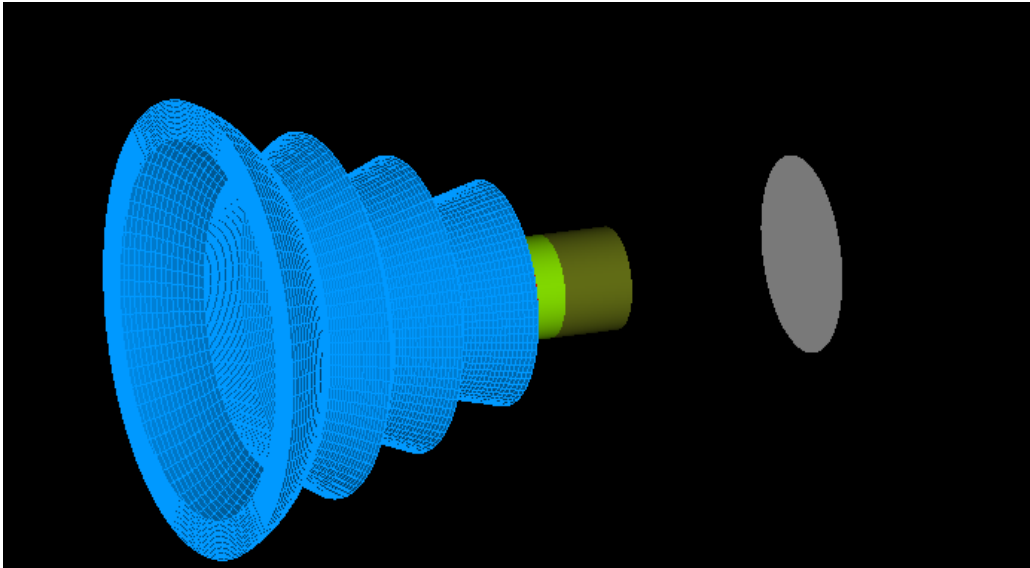
Dieser Vortrag:

Lichtstreuung von Quelle außerhalb des Sichtfeldes, zum Beispiel Sonne bei Gegenlichtaufnahme

Drei Maßnahmen zur Streulichtvermeidung

1. **Ablenken**, so dass Streulicht nicht mehr in Bildebene gelangt (zum Beispiel durch spiegelnde Flächen).
2. **Blockieren**, so dass Streulicht gar nicht erst ins System eindringt.
3. **Absorbieren** der Streulichts durch möglichst schwarze Oberflächen.

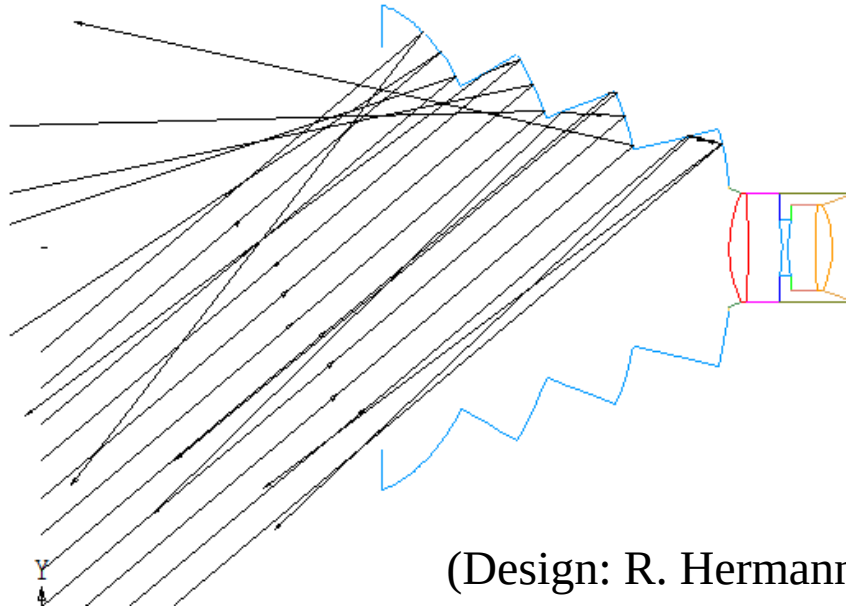
Meistens ist ein Kombination aller Maßnahmen nötig.



Ablenkung

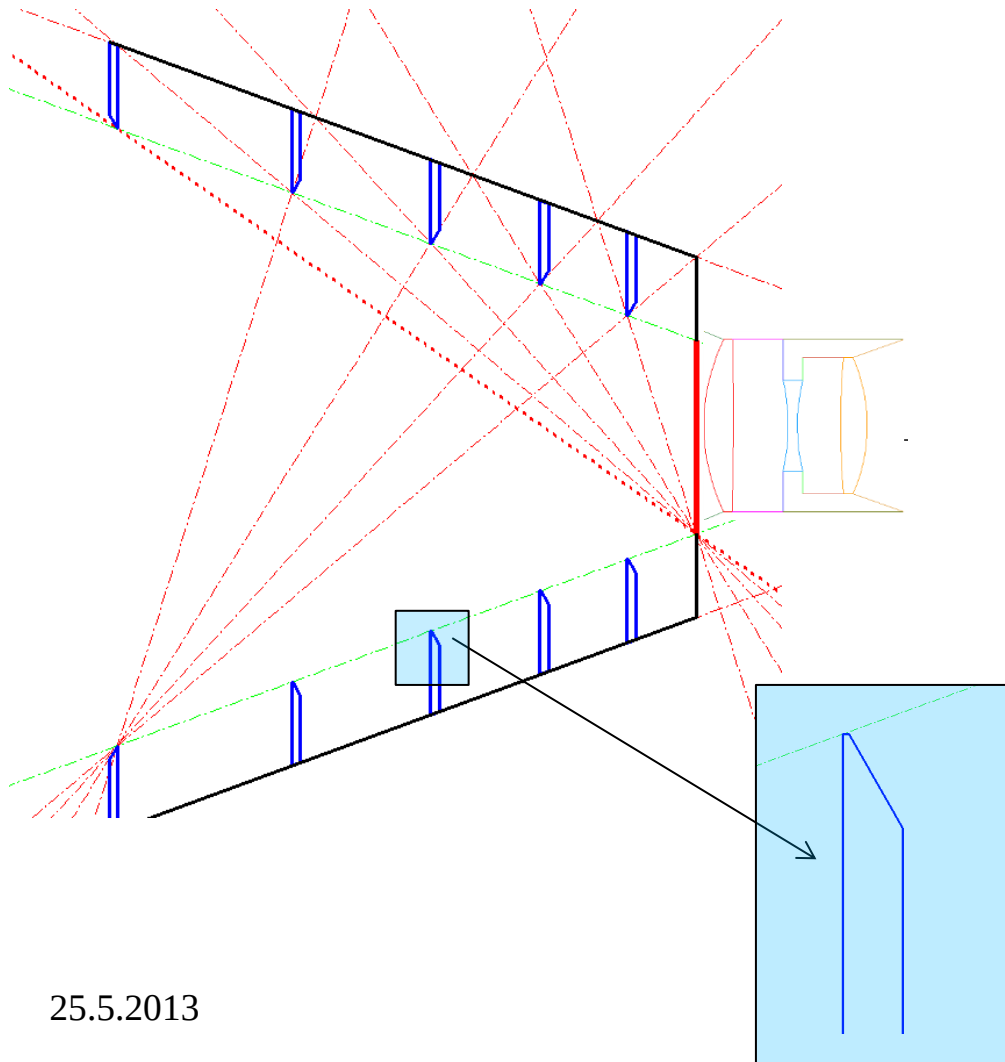
Stavroudis Baffle:

- Hochreflektierende Blende
- Schnitt durch Blende: Abfolge von Ellipsen- und Hyperbelsegmenten
- Alles Licht, das auf die Blende trifft, wird wieder nach außen zurückreflektiert
- Hervorragend für IR-Anwendung (keine Eigenstrahlung)
- Hohe Anforderungen an Form und Materialqualität



(Design: R. Hermann)

Blockieren von Streulicht: „Standard“-Konstruktion für Baffle



- Schneiden („Vanes“) blockieren Streulicht
- Vanes sind so platziert, dass sie auch Streulicht (erster Ordnung) vom Baffle blockieren
- Blende aus gut absorbierendem Material

Reststreuung:

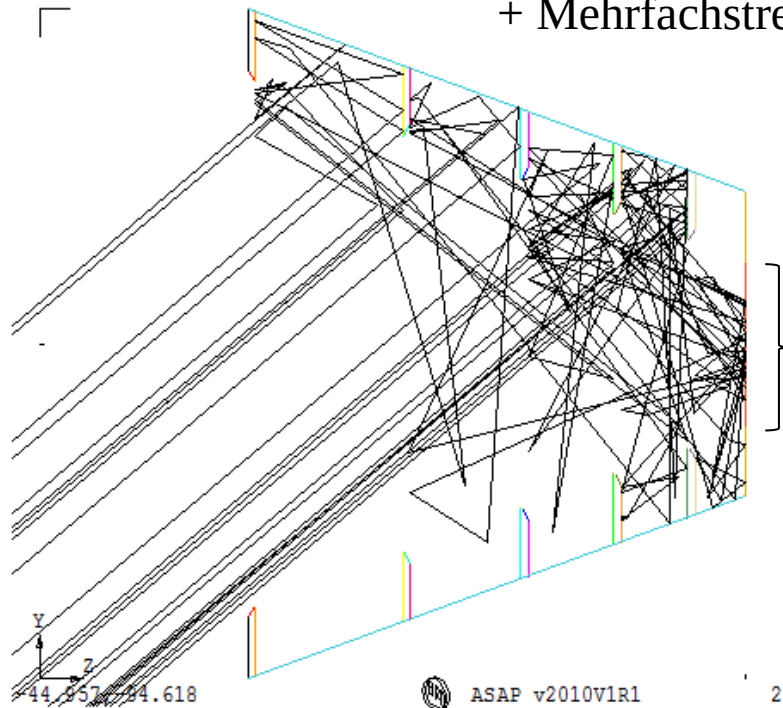
- Von den Kanten der Vanes
- Mehrfachstreuung im Baffle

Kantenlänge (oder Krümmungsdurchmesser) der Vanes möglichst klein
10 μ m – 100 μ m

Vereinfachte Modellierung

Einfachstreuung an Kanten,
+ Mehrfachstreuung im Baffle

PROFILES



Target=
Eintritts-
apertur des
Objektivs

Annahmen für Coating:

- Baffle ist Lambert-streuer mit vorgegebener diffuser Reflexion (TIS=total integrated scatter)
- Kante wahlweise mit oder ohne Coating

Maß für Qualität:

Baffle Transmission

**T= Lichtstrom auf Target /
einfallender Lichtstrom**



Störlichtquelle: Sonne unter 40° zur Achse

Ergebnis: Baffletransmission

TIS des Baffles	6%	6,00%	1,50%	1,50%
TIS der Kanten der Vanes	100%	100,00%	100,00%	1,50%
Kantenlänge der Vanes [μm]	100	10	10	10
Einfachstreuung (an Kanten)	8,25E-06	8,25E-07	8,25E-07	1,24E-08
Zweifachstreuung	1,18E-06	1,18E-06	7,36E-08	7,36E-08
Dreifachstreuung	3,07E-08	3,07E-08	4,79E-10	4,79E-10
Baffletransmission	9,45E-06	2,03E-06	8,99E-07	8,64E-08
Baffletransmission relativ	100,00%	21,50%	9,51%	0,91%

- bei großen Kantenlängen der Vanes dominiert Streuung an der Kante
=> Streulichtreduktion durch *möglichst scharfe und
möglichst schwarze Kanten!*
- bei sehr scharfen Kanten dominiert die Zweifachstreuung im Baffle
=> Streulichtreduktion durch *möglichst schwarzes Baffle!*

Bemerkung:

Falls das Coating kein Lambertstreuher ist, ergeben sich andere Werte,
die Tendenz ist jedoch die gleiche.

Schwärzere Coatings führen in jedem Fall zu einem deutlich besseren Ergebnis bei der Streulichtunterdrückung!

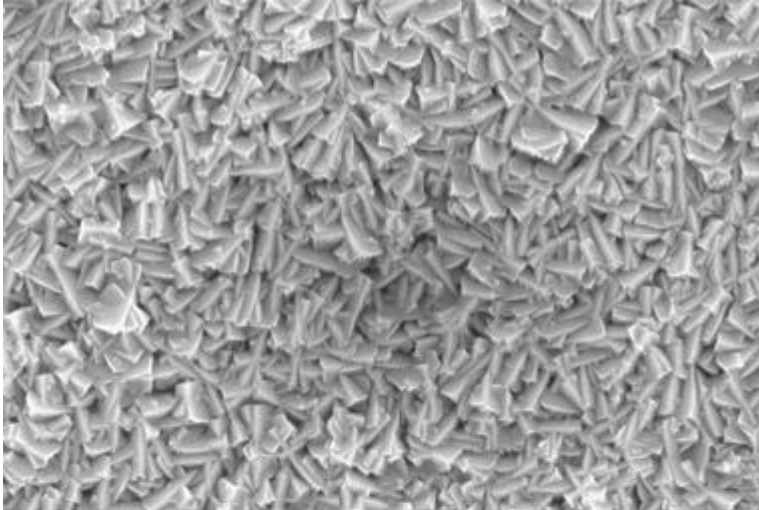
⇒ **WANTED**
„the blackest black“

Anforderung an schwarze Coatings

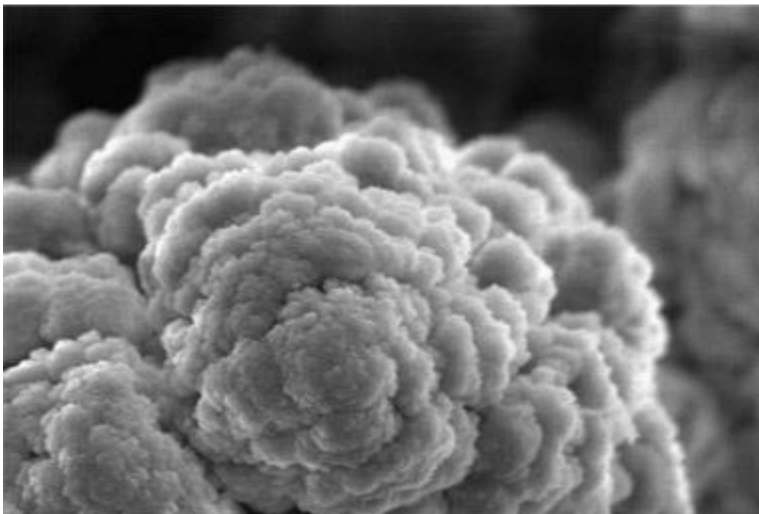
1. Maximale Absorption; TIS-Wert möglichst klein, auch bei streifendem Einfall
2. Für breitbandige Anwendungen: Gute Absorption im UV, Vis, NIR, IR
3. Mechanische Stabilität, Haftung
4. Möglichst dünn
5. Keine Ausgasung
6. Thermische Stabilität, hohe Lebensdauer etc.

=> **Beispiel: Acktar Coatings**

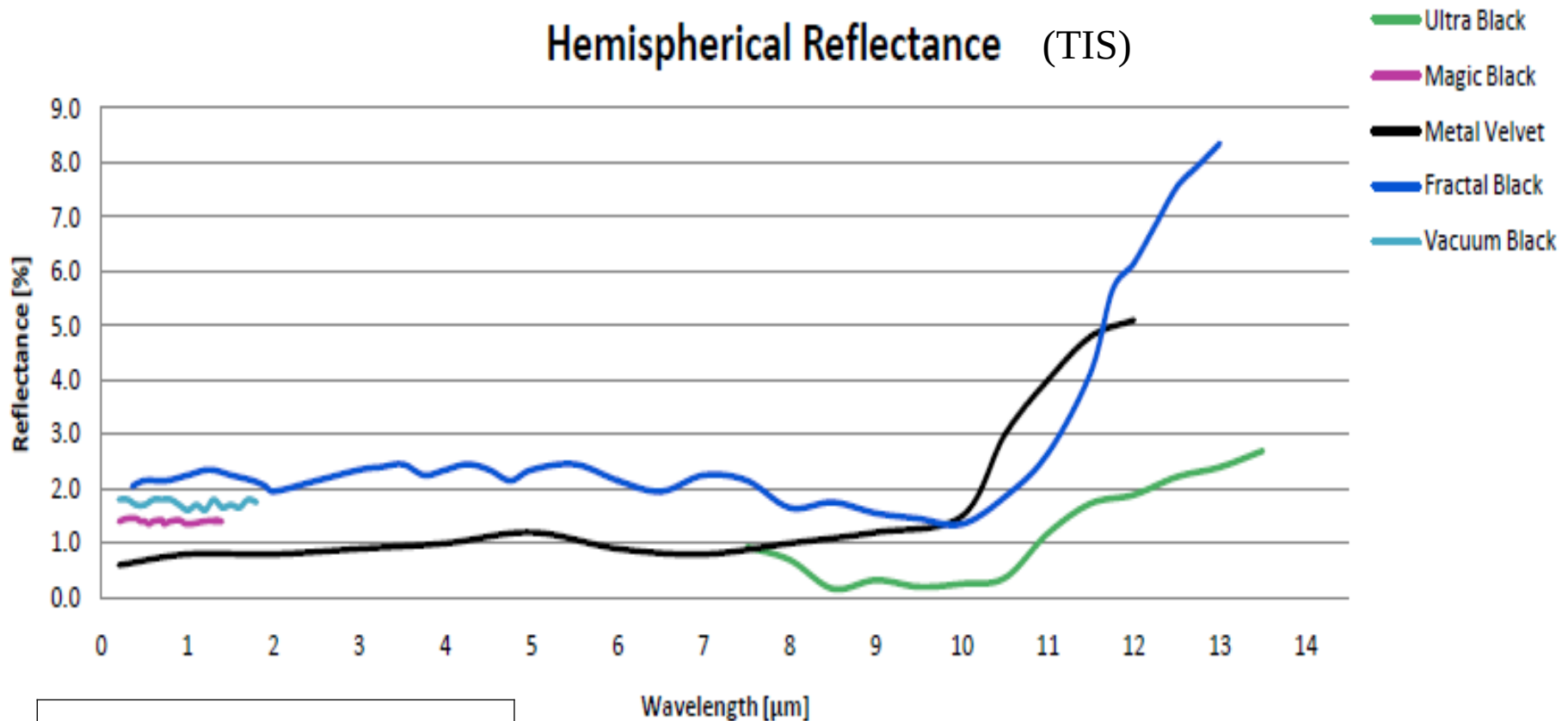
Ansatz von Acktar



Acktar dampft thermisch im Vakuum dünne Metall/ Metalloxidschichten reaktiv auf, die durch ihre spezielle Oberflächenstrukturen die einfallende Strahlung weitgehend absorbieren. Dadurch wird die sehr niedrige Reflexion vom extremen UV bis hin zum IR gewährleistet.



Hemispherical Reflectance (TIS)



Coating thickness	(μm)
Ultra Black	25-30
Magic Black	3-5
Metal Velvet	5-7
Fractal Black	5-14
Vacuum Black	3--5

Schwarz ist nicht gleich schwarz!

Im Sichtbaren ...



Black Coating von
Thorlabs
Acktar Metal Velvet
Acktar Magic Black
Anodisiertes
Aluminium

... und im Nahen Infrarot (950— 1100 nm)



Black Coating von
Thorlabs

Acktar Metal Velvet

Acktar Magic Black
Anodisiertes

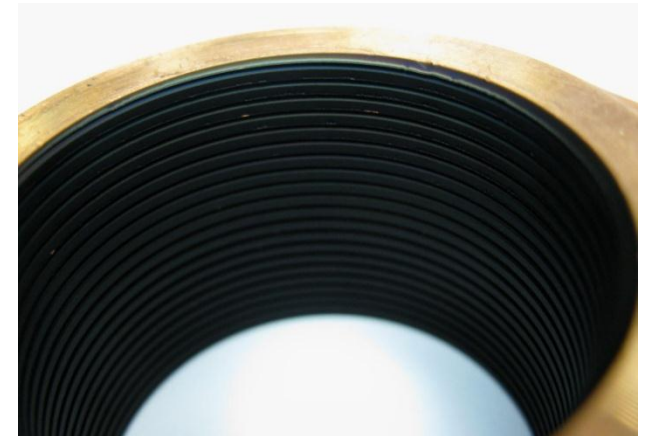
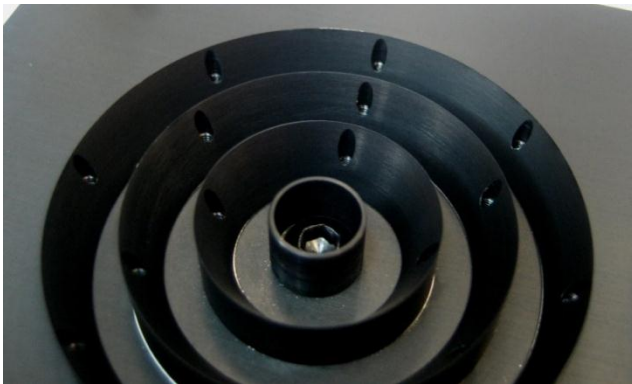
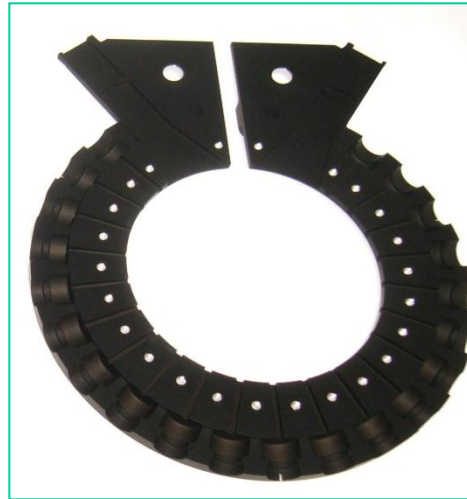
Aluminium

**Spektrale Eigenschaften
entscheidend!**

Characteristic	Paint - typical	ACKTAR
thickness	60-100 μm	$\sim 10 \mu\text{m}$
coating weight	10.8 mg/cm ² dry	0.9 mg/cm ²
Total reflectance (0.8-12 μm)	<10%	<4%
outgassing- CVC	< 0.1%	0,000%
outgassing - RML	< 1%	< 0.3%
bonding to coating	problematic	excellent
edges	build-up on edges/corners	uniform coverage
drying period	7 days	none
temperature range	96K-473K	4K-623K (720K for short periods)
particulate contamination	particulates	none
organic contamination (silicones,etc.)	high	none
coating thickness control	poor	good
thickness tolerance	$\pm 20 \mu\text{m}$	$\pm 1.5 \mu\text{m}$
coating adhesion	limited	excellent
electrical conductivity	typically non-conductive	tailorable

Acktar Coating auf Optikteilen

Krümmungsradien bis 3 μm
möglich



Zusammenfassung

- Streulicht wird durch eine Kombination konstruktiver Maßnahmen und Licht absorbierenden Coatings effektiv unterdrückt
- Die Coatings von Acktar erfüllen die Anforderungen nach niedriger Reflexion von EUV bis in den IR-Bereich. Sie unterstützen so bei der Vermeidung von Streustrahlung.