



H E M B A C H

P H O T O N I K

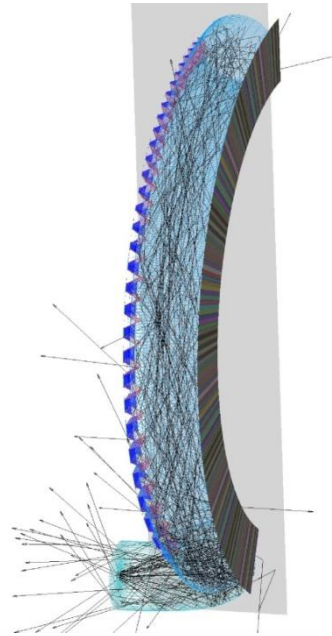
Falschlicht: Ursachen, Analyse, Reduktion

Seminar Konstruktion optomechanischer Präzisionssysteme

08.07.2020

Dr. Bernhard Michel

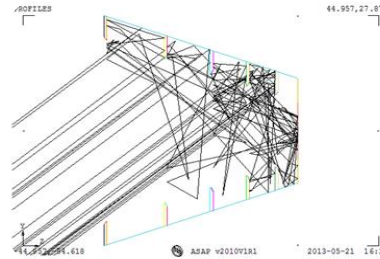
Ingenieurbüro mit zurzeit 9 Mitarbeitern; Firmensitz in Rednitzhembach bei Nürnberg



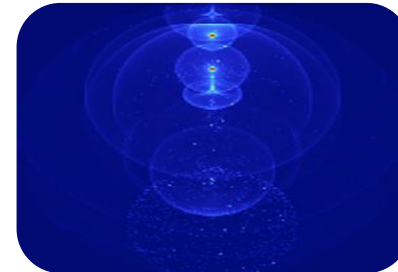
Lichtleiter



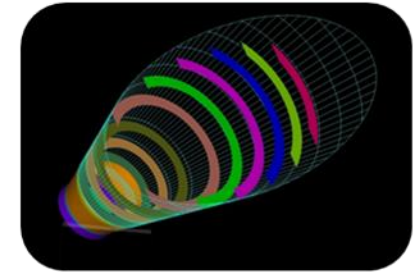
Beleuchtungsoptik



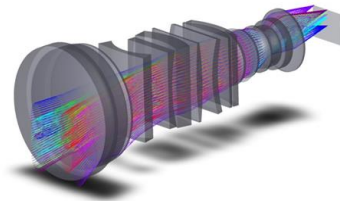
Falschlichtanalyse



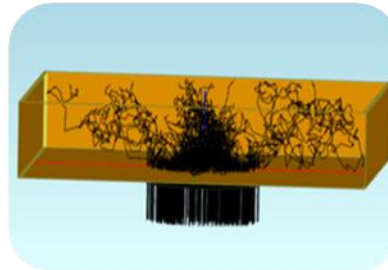
Geistersimulation



Baffledesign



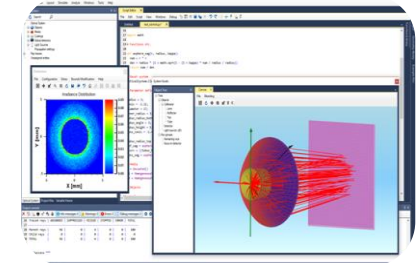
Komplexe
Linsensysteme



Strahlungstransport



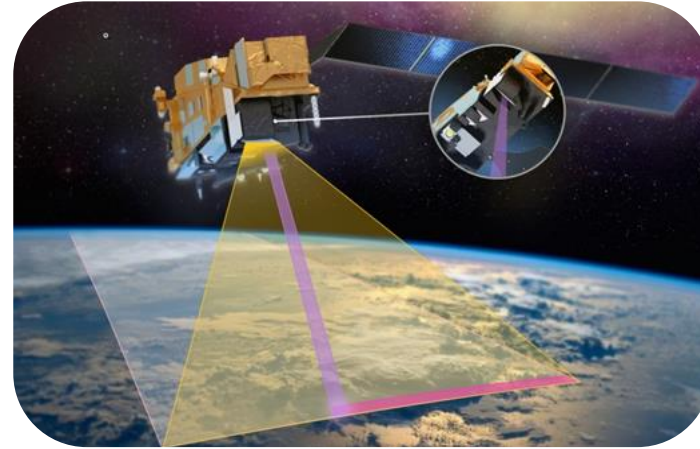
Volumenstreuung



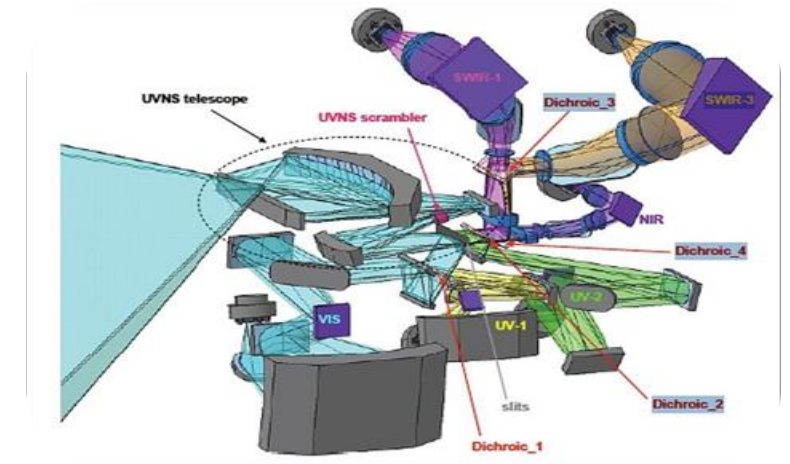
Softwareentwicklung

Breites Spektrum von Optik-Knowhow von der Theorie bis zur Fertigung.

- 60% des Umsatzes von Hembach Photonik kommt aus der Raumfahrtbranche
- Aufgaben: Optisches Design, Toleranzanalyse, und – vor allem – Falschlichtanalyse
- Der Designtreiber für moderne Optiken für die Raumfahrt ist *Falschlicht*!
- In anderen Bereichen (z. B. Automotive) ist eine ähnliche Entwicklung zu beobachten
- Hauptproblem: z. T. sehr lange Simulationszeiten oder sehr großer statistischer Fehler => Neue Software (insbesondere: neue Algorithmen) nötig



METimage (Quelle: DLR)



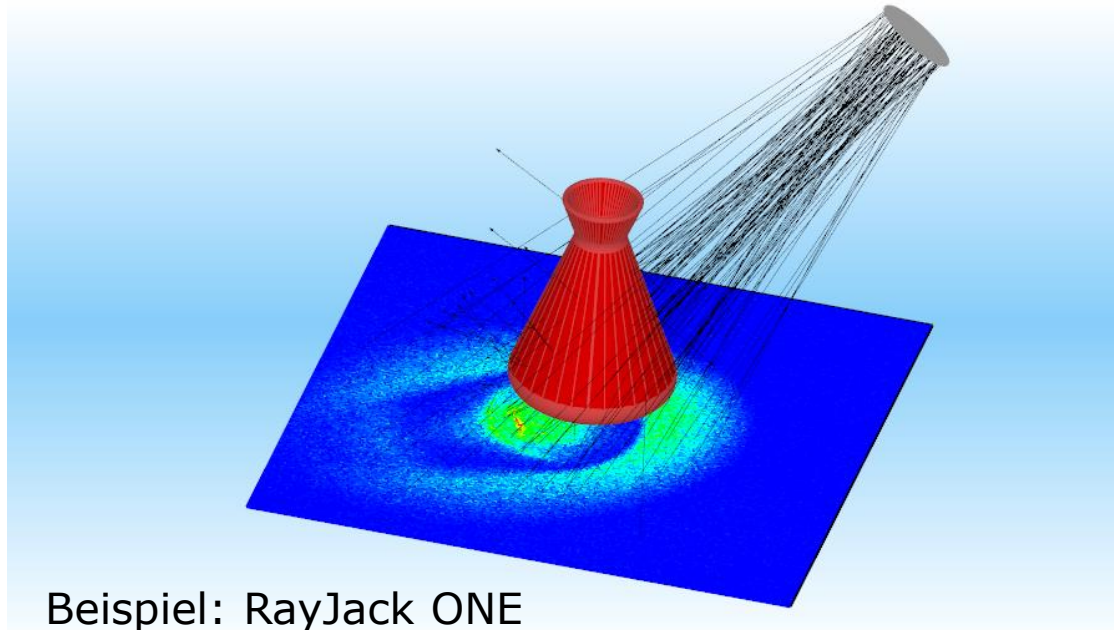
Sentinel 5 (Quelle: ESA)



Was ist Falschlicht?

Verschiedene Beiträge zum Falschlicht

- Nicht-sequenzieller Raytracer: muss Falschlichtanalyse unterstützen (Importance Sampling, BSDFs etc.)
- Hoher „Throughput“: schnell, parallelisierbar und/oder effiziente Algorithmen; Skriptsprache um viele Lastfälle systematisch zu untersuchen.
- Verlässliche CAD-Schnittstelle
- *Kommerzielle Software allein reicht meist nicht!* Eigene Software für Datenanalyse, Lichtquellenerzeugung, Erstellung von Streumodellen etc. zusätzlich nötig (Matlab, Python, etc.)



Beispiel: RayJack ONE

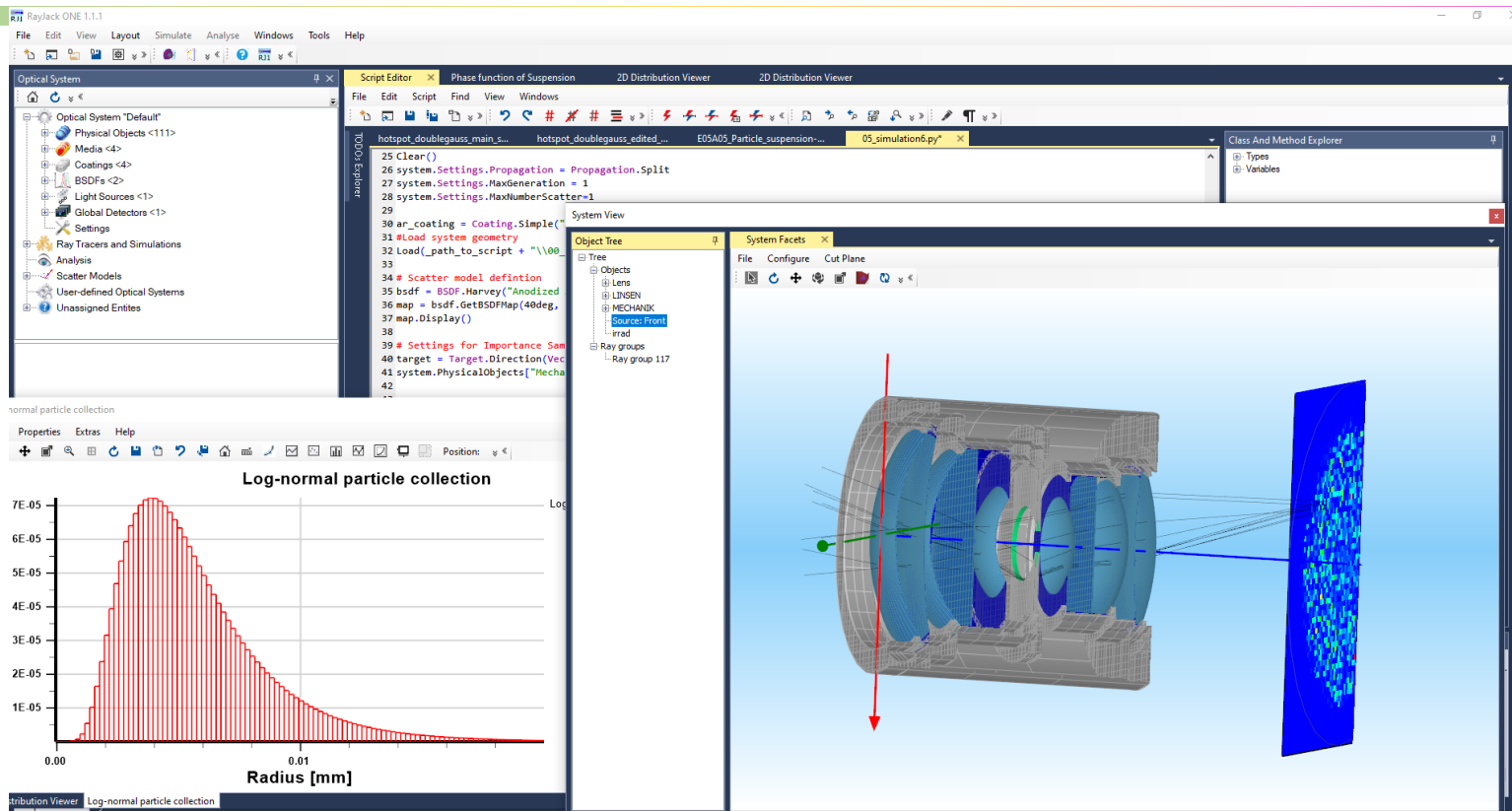
Vorteil von RayJack ONE:

Integrierte Umgebung für Optiksimulation
und Datenanalyse

Alternative: Falschlichtanalyse mit RayJack ONE

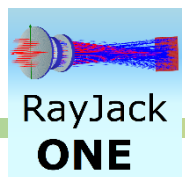


HEMBACH PHOTONIK



- Nicht-sequentieller Raytracer für F&E
- Maximum an Flexibilität und Kontrolle über Simulationen durch Python-Skriptsteuerung
- Leistungsfähige Tools für Falschlichtanalyse (differenzielles Raytracing, Importance sampling, etc.)
- Entwickelt im Rahmen eines ESA Projekts mit klar definierter Roadmap
- Aktuelle Version 1.1.2 am Markt
- Bis Mitte 2021: Entwicklung von Schnittstellen zu anderer Software u.v.m

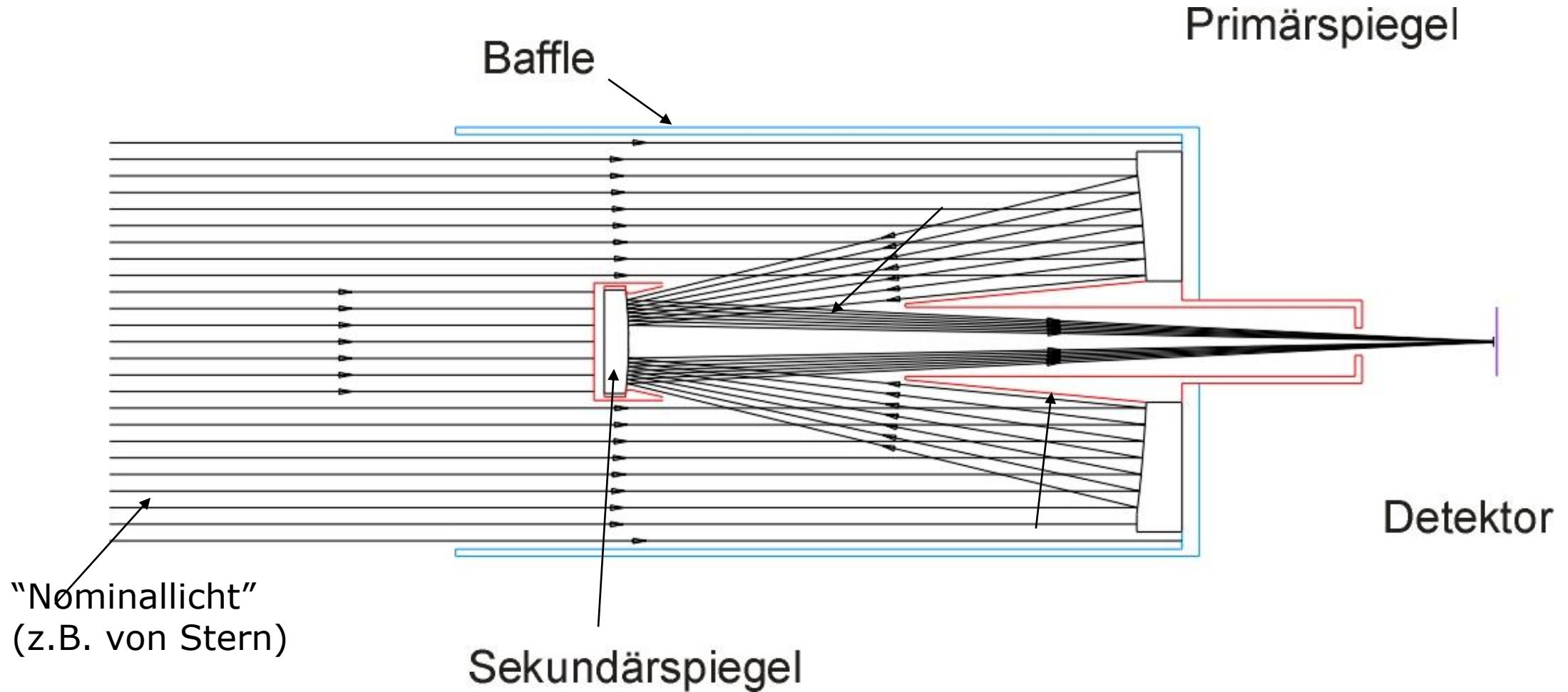
Beispiel: Falschlichtanalyse eines Objektivs: Streuung an Mechanik und an Oberflächenkontamination.

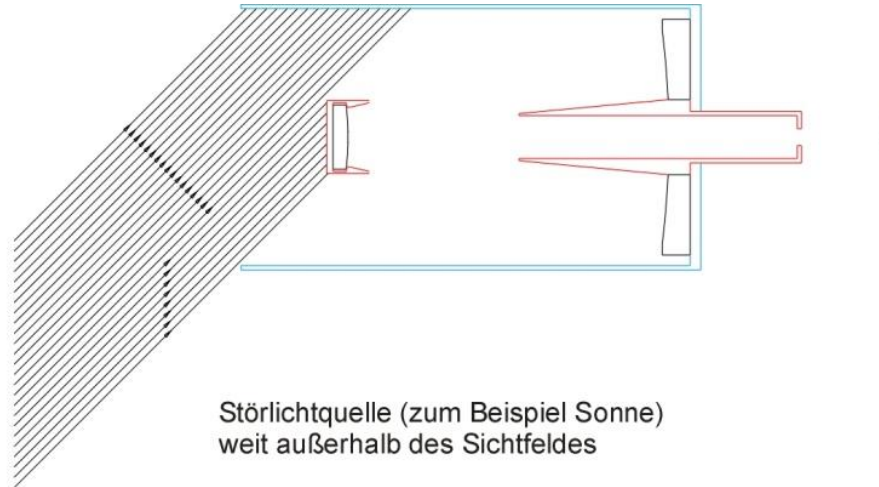


Beispiel Cassegrain-Teleskop: Nominales Licht



HEMBACH PHOTONIK



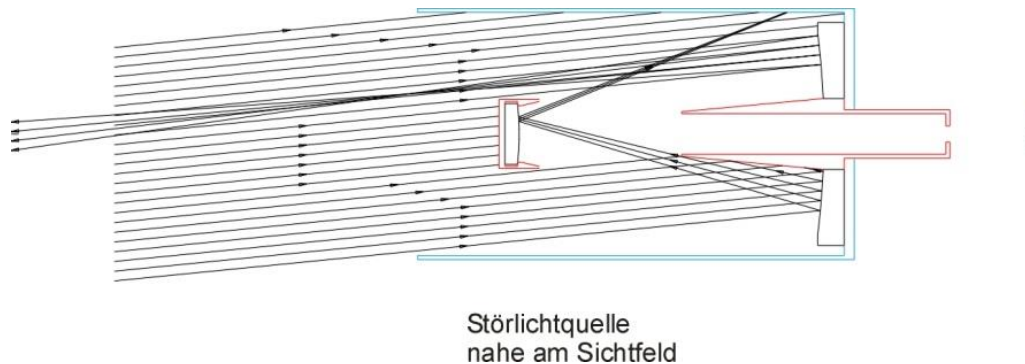


Zunächst erfolgt die Analyse ohne Lichtstreuung.

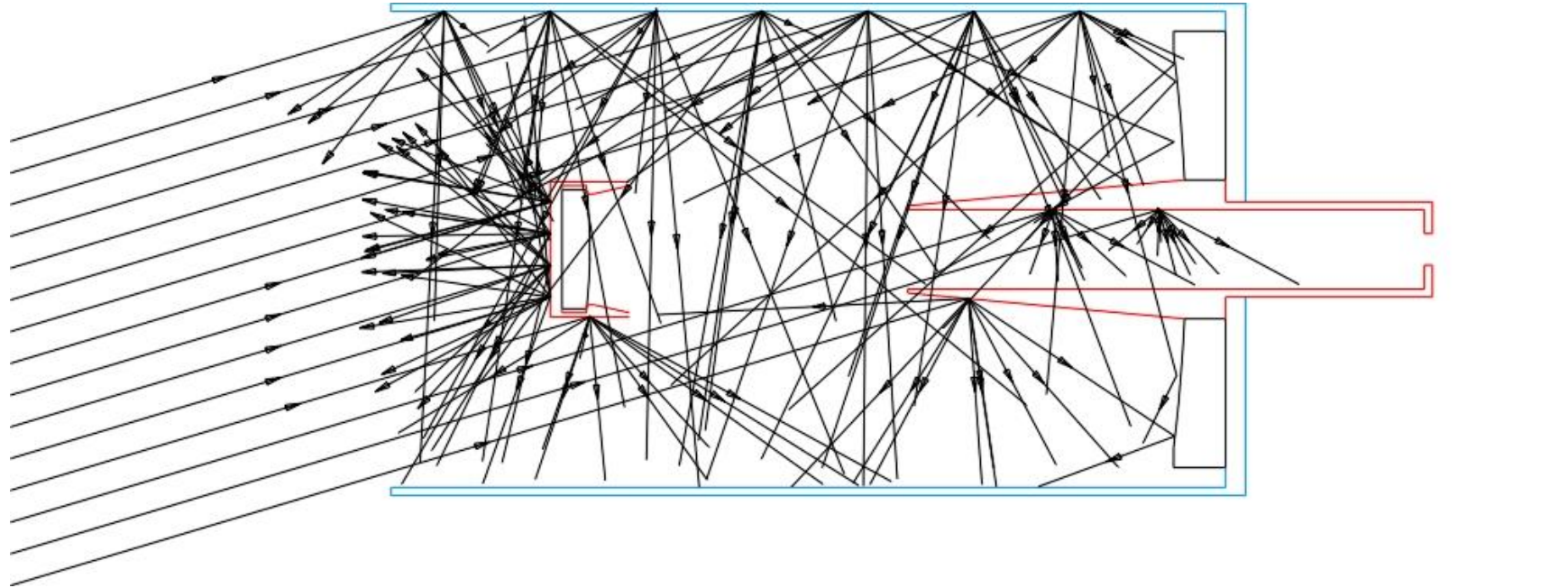
Objekte, die von Falschlichtquelle beleuchtet werden, heißen *beleuchtete* Objekte.

Beleuchtete Objekte hängen von der Position der Falschlicht ab

Sobald Streuung berücksichtigt wird, kann Licht von diesen Objekten (möglicherweise über Umwege) auf den Detektor gelangen.



Man kann die beleuchteten Objekt als sekundäre Falschlichtquellen bezeichnen. Sie beleuchten ihrerseits Objekte mit ihrem Streulicht, die dann "tertiäre" Falschlichtquellen sind, usw., usw., bis irgendwann der Detektor getroffen wird.

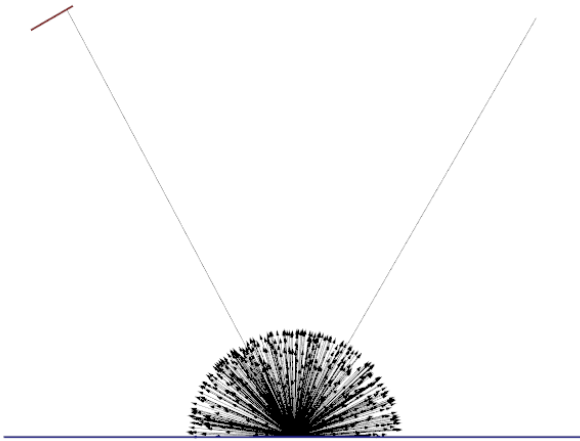


Strahlen werden an Objekten gestreut, propagieren weiter, werden wieder gestreut, etc., bis sie den Detektor erreichen.

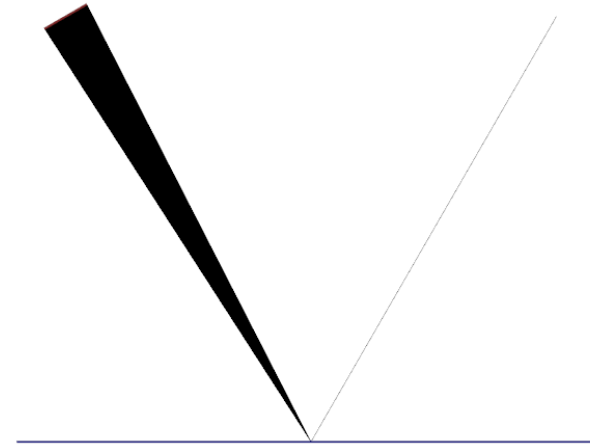
Dies ist in der Praxis meist keine Lösung, da zu wenig Strahlen auf den Detektor treffen. Unter Umständen sind astronomisch lange Rechenzeiten nötig, um genügend Strahlen auf den Detektor zu bekommen!

Trickreicheres Vorgehen nötig!

„Normale“ Simulation der Lichtstreuung mit Sekundärstrahlen in alle Richtungen

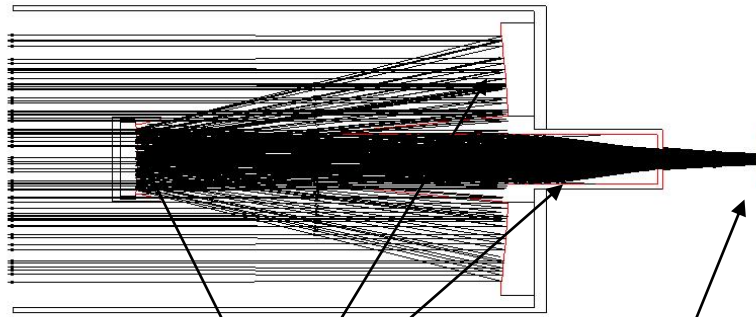


Importance Sampling: Sekundärstrahlen gehen nur in ausgewählte Richtungen (Importance-Richtungen)



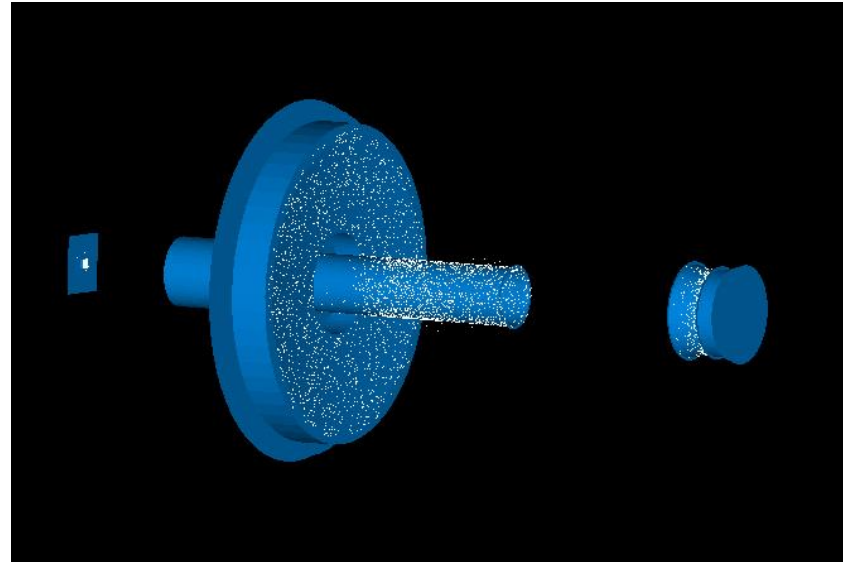
Erzeuge nur Strahlen, die für die Analyse relevant sind (Importance Sampling):
Falschlicht: Ursachen, Analyse, Reduktion ist dadurch erst möglich!

Aufgabe: Klassifikation der Strahlen; Festlegung von Zielrichtungen; Frage ist nun: Welche Strahlen sind „für die Analyse relevant“?



Kritische Objekte

Detektor in Lichtquelle
Verwandeln.

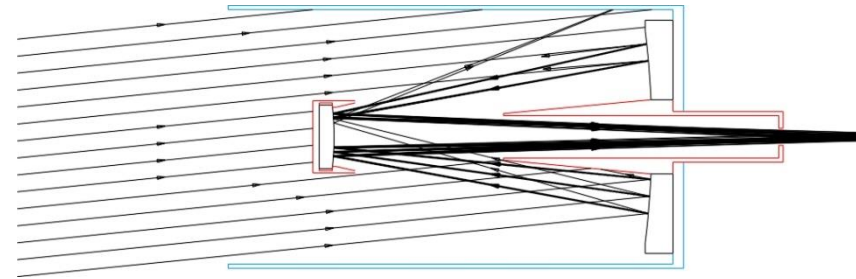


Alle Objekte, die vom Detektor beleuchtet werden, heißen *kritische* Objekte. Sie werden vom Detektor "gesehen" und sind daher gefährlich!

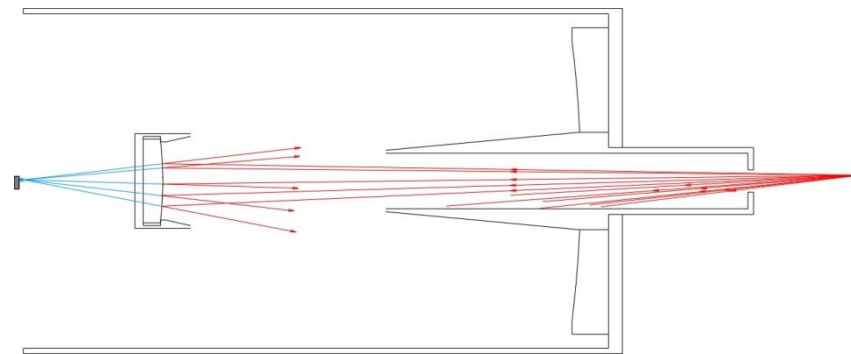
Wenn Licht an einem Objekt gestreut wird, das beleuchtet *und* kritisch ist, kann es durch *einen* Streuprozess bereits auf den Detektor gelangen. Wenn solche Prozesse möglich sind, dominieren sie meist. Wenn es Solche Objekt gibt, sollten sie immer zuerst untersucht werden!

In vielen Fällen handelt es sich nur um wenige Objekte, die dann der Reihe nach untersucht werden.

Typische "Kandidaten":
Linsenfassungen,
Vorschraubringen, Teile des Objektivtubus

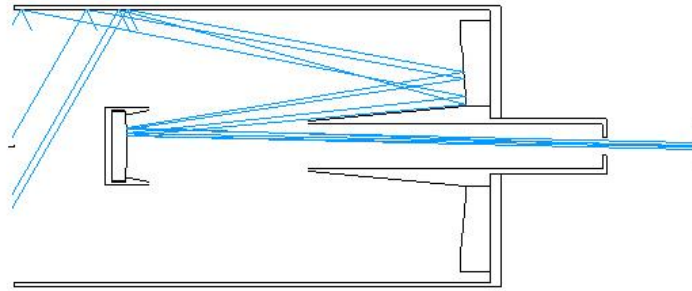


Beispiel: Streuung am Primärspiegel; dieser ist beleuchtet und kritisch, also gefährlich.



Importance Sampling: Virtuelles Bild des Detektors im Sekundärspiegel als Ziel für Streuung am Primärspiegel

- Meist reicht für eine Streulichtanalyse die Untersuchung der Einfachstreuung. Sie liefert üblicherweise den dominanten Beitrag.
- Analyse der Zweifachstreuung:
 - Wesentlich aufwändiger als Einfachstreuung
 - Streuung von einem beleuchteten Objekt auf ein kritisches Objekt und von dort auf den Detektor.
 - Unter Umständen sehr viele Kombinationen von beleuchteten und kritischen Objekten
 - Meist (aber nicht immer) deutlich schwächer als Streuung erster Ordnung; hängt von den Sichtfaktoren ab.



Beispiel: Streuung von Baffle auf Primärspiegel und von dort über Sekundärspiegel auf Detektor.

Analyse der Vielfachstreuung:

RayJack ONE bietet eine elegante, effiziente Lösung

- Identifiziere beleuchtete Objekte (Raytracing von der Falschlichtquelle aus)
- Identifiziere kritische Objekte (Raytracing vom Detektor aus)
- Einfachstreuung: Streuung an kritischen *und* beleuchteten Objekten (Schnittmenge); Importance-Richtungen sind typischerweise der Detektor sowie die Bilder des Detektors.
- Zweifachstreuung: erster Streuprozess an beleuchtetem Objekt, zweiter an kritischem Objekt; Importance-Richtungen weisen von den beleuchteten zu den kritischen Objekten.

Welcher Arbeitsaufwand entsteht bei einer Falschlichtanalyse?

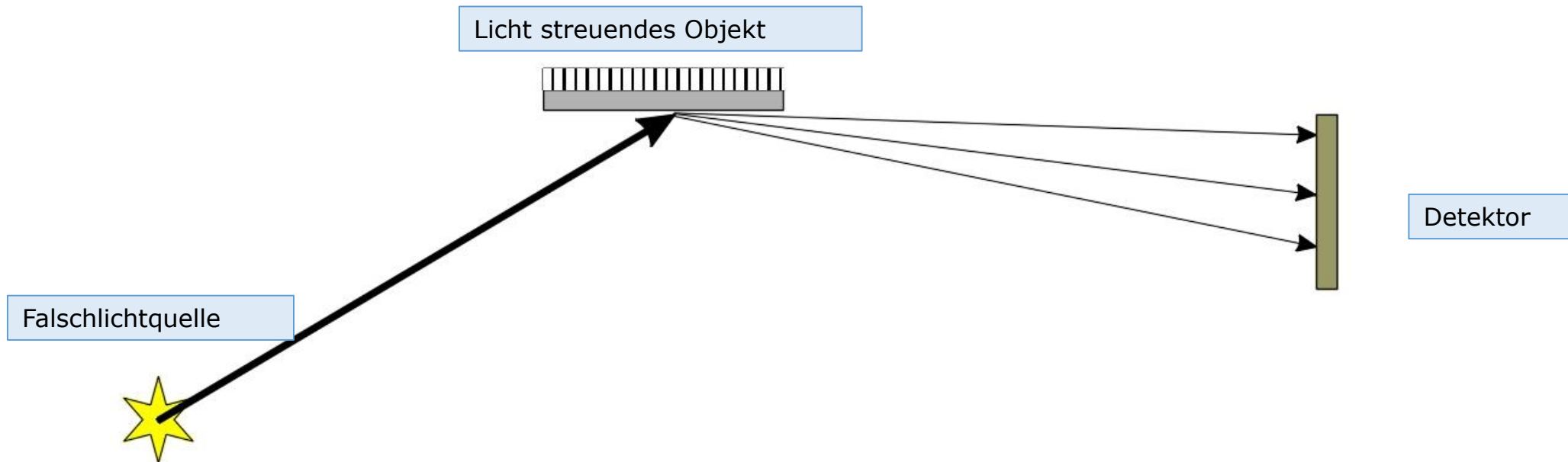
- Um einen Überblick über Falschlichtpfade (Sanity Check) zu bekommen, reichen oft wenige Tage
- Komplizierte Systeme (insbesondere in der Raumfahrt) erfordern u. Umständen einige Personenjahre.



Konstruktive Maßnahmen zur Falschlichtunterdrückung

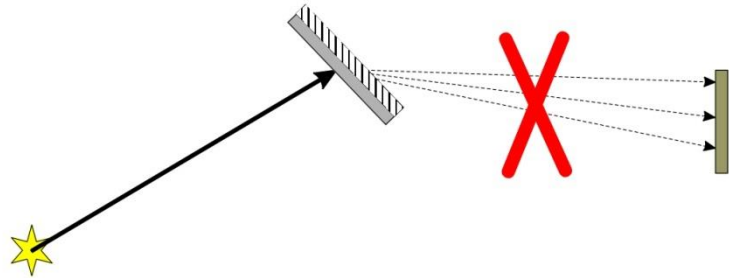
Für Streuung an mechanischen Komponenten

- In diesem Vortrag liegt der Fokus auf Streulicht von *mechanischen* Komponenten
- Wie schon erwähnt, gilt es vor allem, *streifenden Einfall von Licht auf Oberflächen zu vermeiden*
- Die typische Situation ist in der Skizze dargestellt:

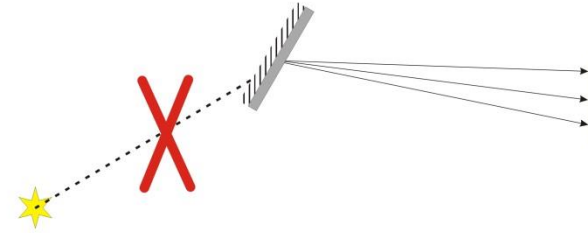


Vier Methoden zur Streulichtunterdrückung

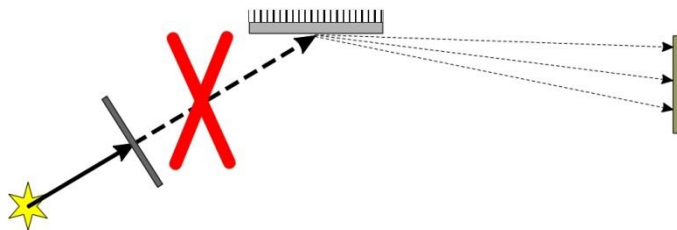
Grundsätzlich gibt es vier Methoden zur Streulichtunterdrückung; in jedem Fall ist eine Verifikation durch eine Falschlichtanalyse Reduktion nötig!



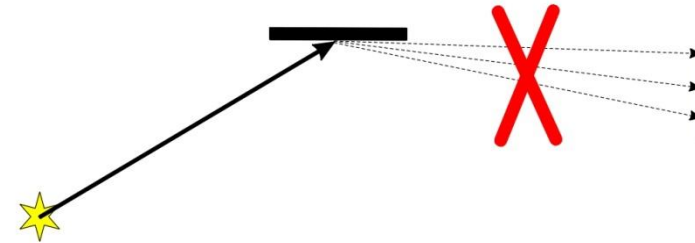
Objekt drehen, so dass es vom Detektor nicht mehr sichtbar ist



Objekt drehen, so dass es nicht mehr beleuchtet wird

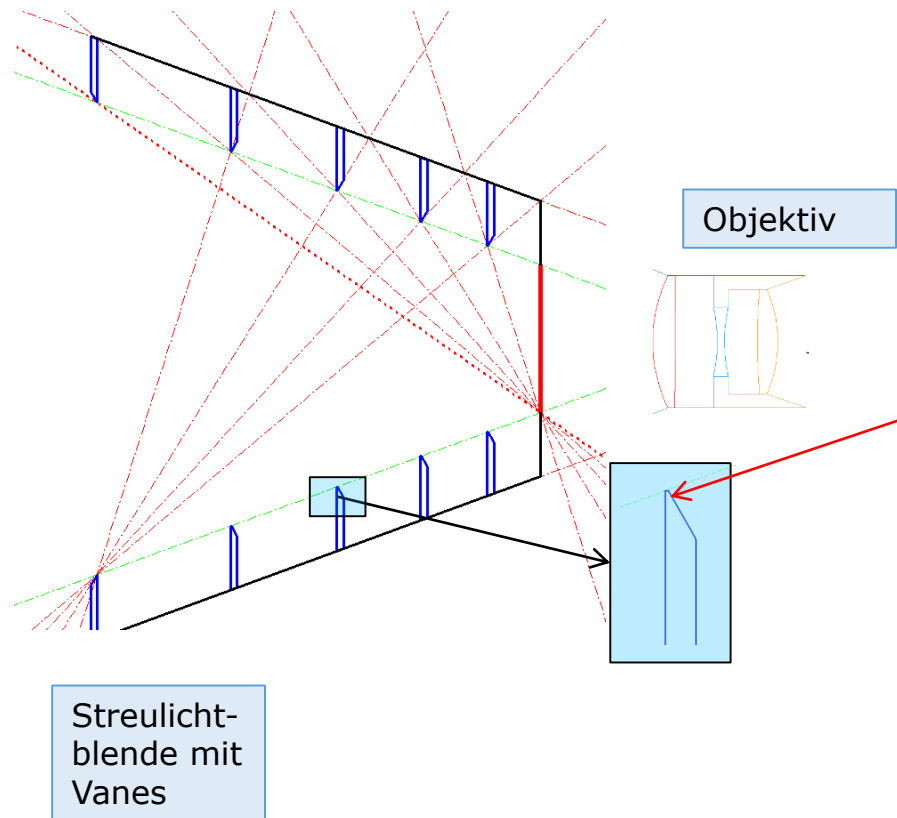


Streulicht durch Blenden blockieren

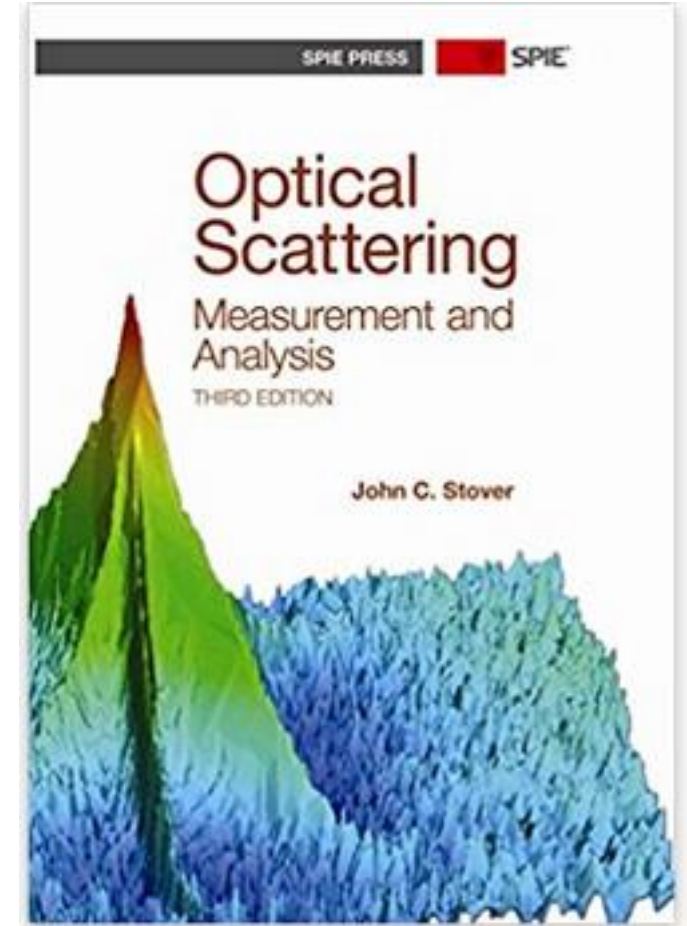
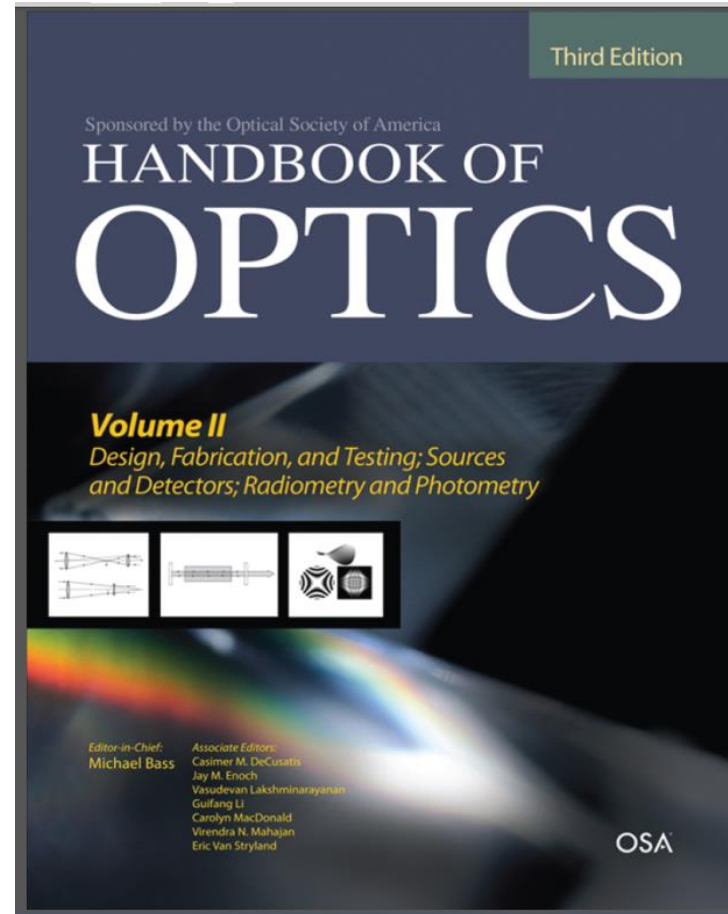
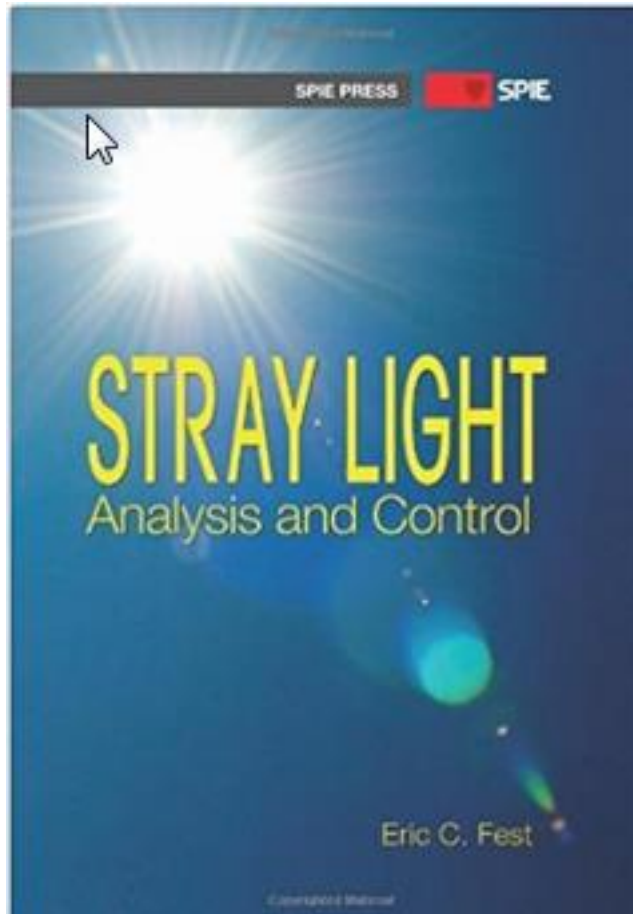


Licht streuende Objekte schwärzen

Immer erst nach geometrischen Ansätzen zur Streulichtunterdrückung suchen! Schwärzen alleine ist selten eine gute Lösung.



- Standardkonstruktion für Streulichtblende mit Vanes ("Schneiden")
- Vanes: blockieren Streulicht erster Ordnung komplett, für Streulichtquellen außerhalb eines vorgegebenen Ausschlusswinkels
- Die Kanten der Vanes streuen immer noch Licht
- Kanten sind angefast
- Richtung der Fase so dass sie entweder von der Lichtquelle abgewendet ist oder vom Objektiv
- Schwärzen zur Vermeidung von Vielfachstreuung.



Hembach Photonik GmbH
Finkenstraße 1—3
91126 Rednitzhembach
Germany

www.hembach-photonik.de
info@hembach-photonik.de

Ansprechpartner:

Dr. Bernhard Michel
bm@hembach-photonik.de
Tel: +49 9122 889949-1

H E M B A C H



P H O T O N I K