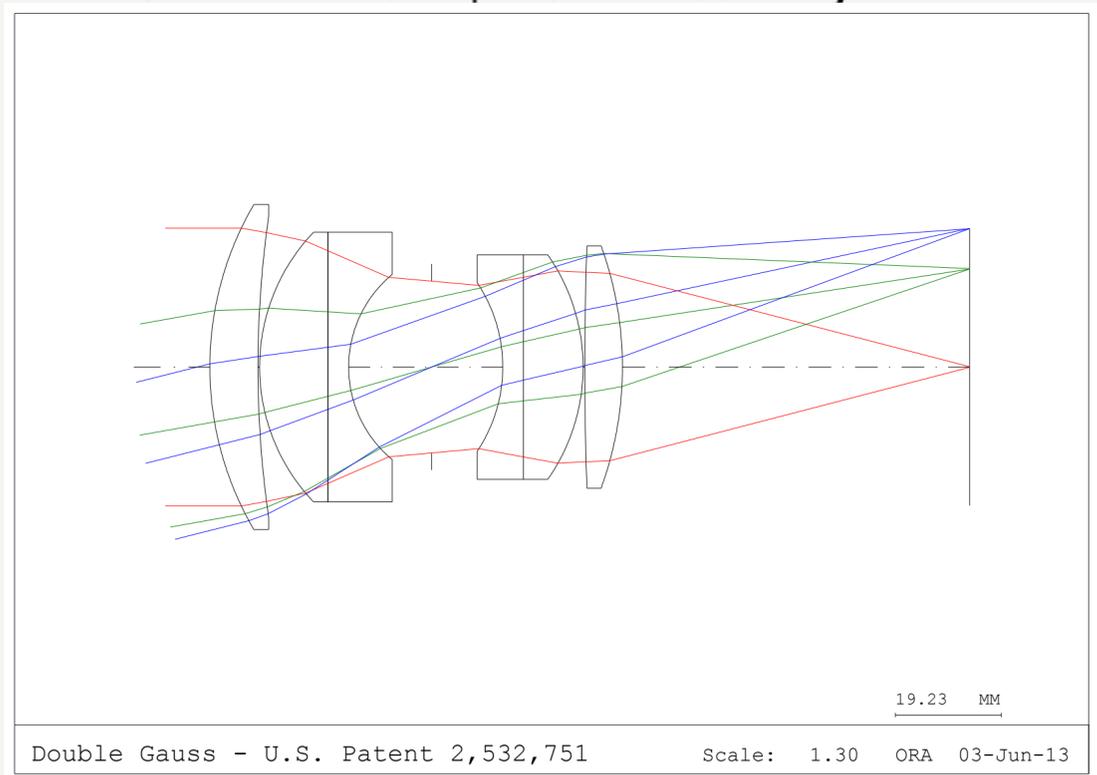
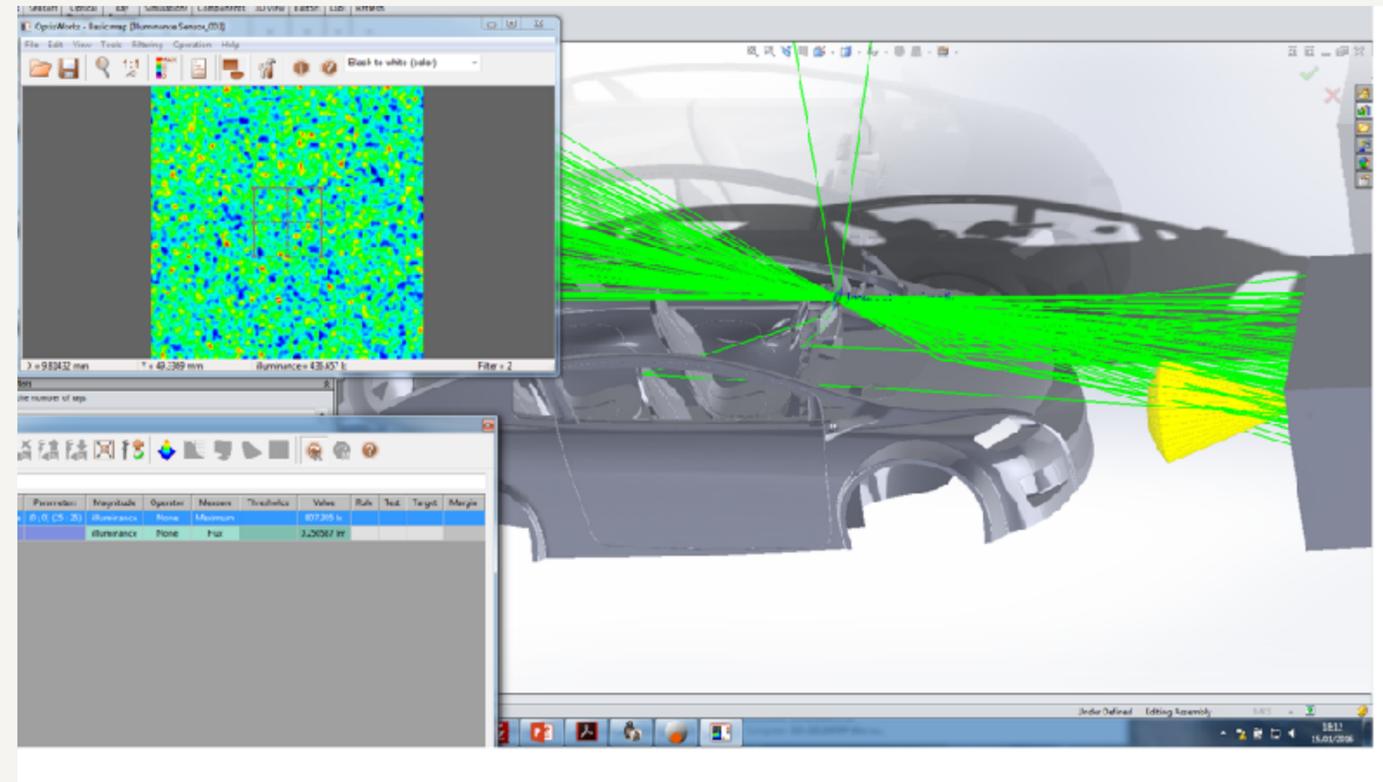
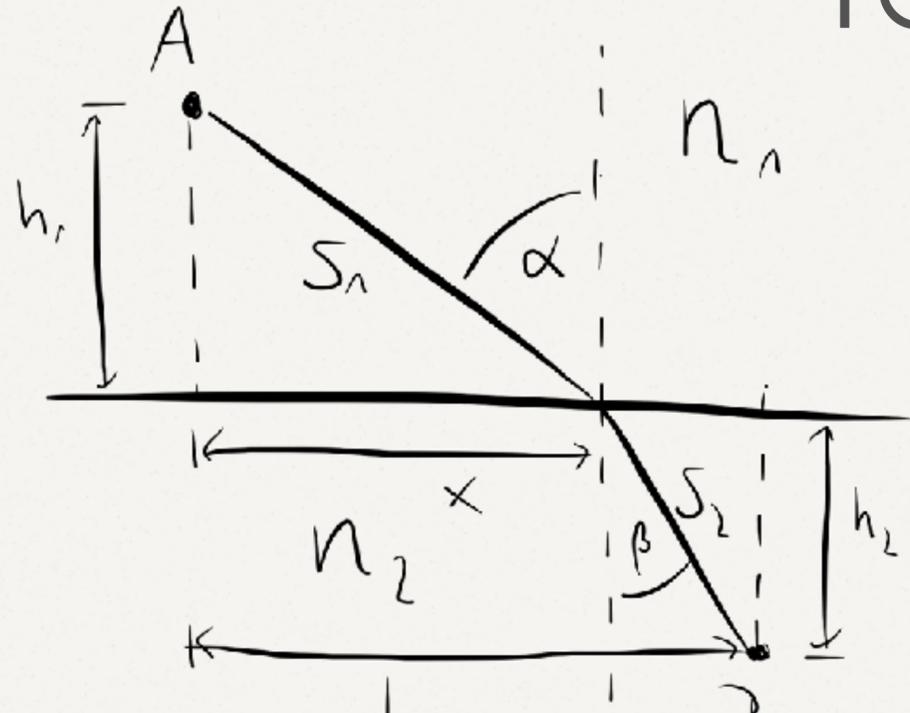


Technische Raytracer

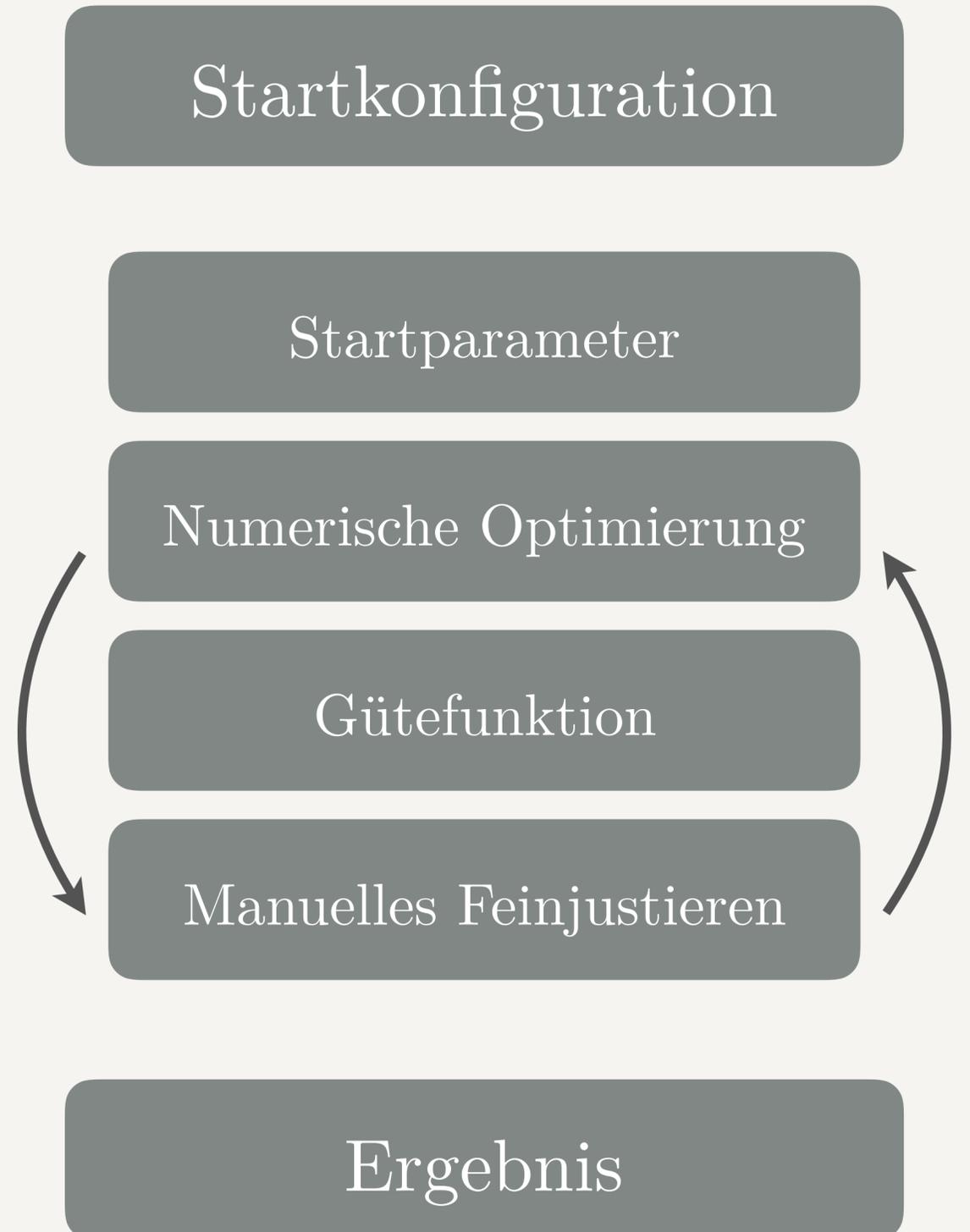


$$\mathbf{u}' = \frac{n_1}{n_2} \cdot \mathbf{u} - \mathbf{n} \left[\frac{n_1}{n_2} \mathbf{n} \cdot \mathbf{u} - \sqrt{1 - \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 (1 - (\mathbf{n} \cdot \mathbf{u})^2)} \right]$$

Optimierung

Optimierung

- Heutzutage werden die wenigstens optischen Systeme von Hand von einem Optik-Entwickler festgelegt.
- Nach einem ersten manuellen Entwurf gibt es eine numerische Optimierung. Hierbei werden festgelegte Parameter systematisch variiert und das Ergebnis mit einer Gütefunktion bewertet.
- Meist ist der gesamte Optimierungsprozess eine Abfolge von manuellen und numerischen Optimierungen bis das Produkt steht.



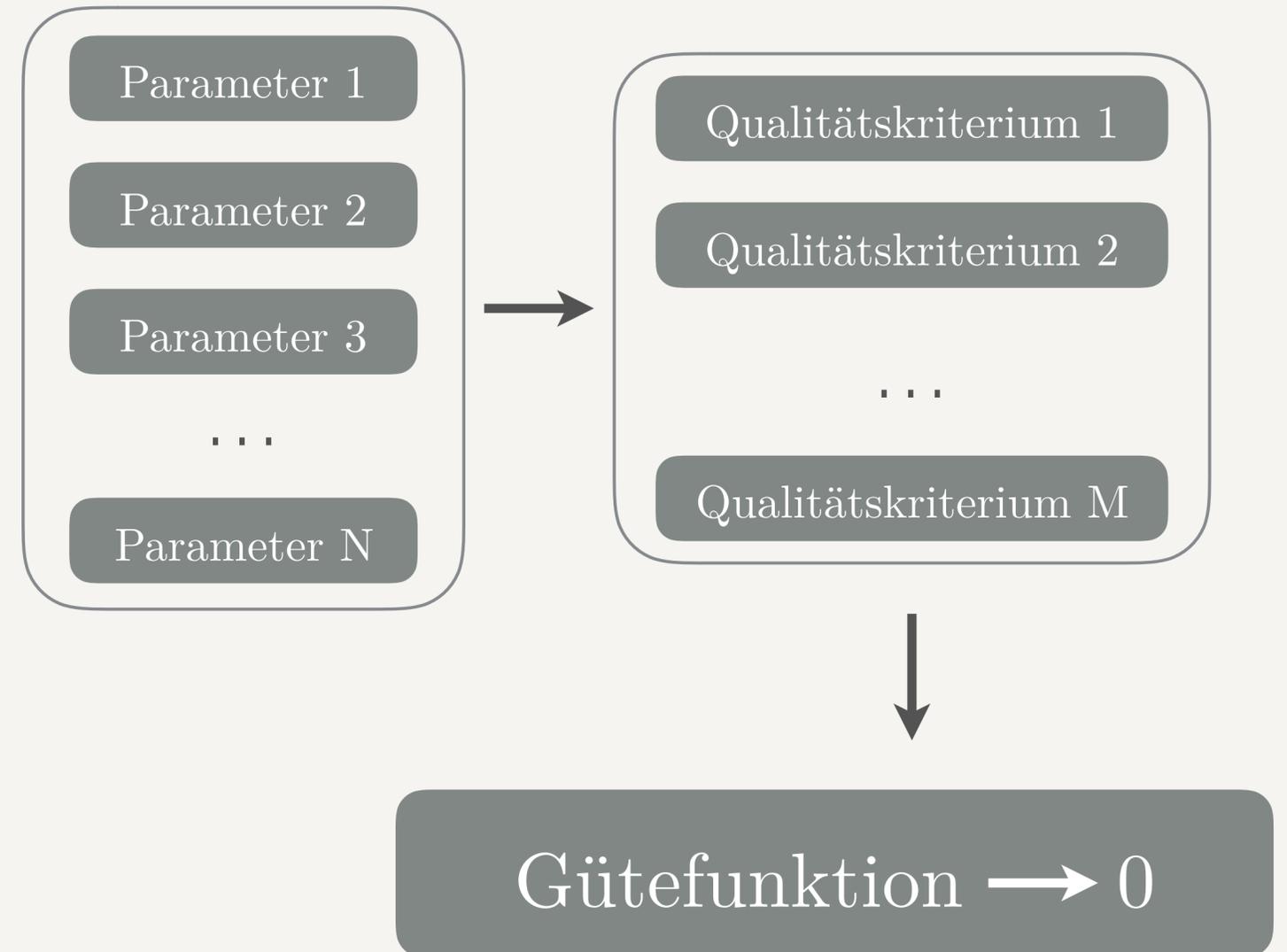
Startkonfiguration

- Die Grundzüge des optischen Systems werden durch die Anforderungen vorgegeben: Kamera-Objektiv, Mikroskop oder Teleskop; Systemeigenschaften: FoV, Bildschärfe, Helligkeit,
- Einige größere Dinge können sich ändern (z.B. 5 oder 6 Linsenelemente in einem Objektiv).
- In den meisten Fällen muss diese Vorgabe vom Optik-Designer kommen und basiert auf Erfahrung.

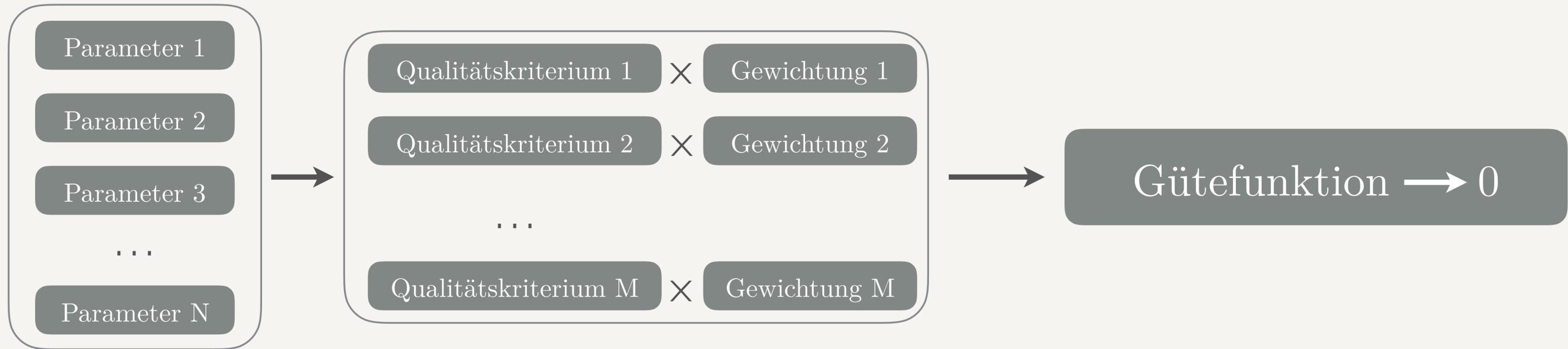
Gütefunktion

Hier steckt die Arbeit!

- Dies ist der schwierigste bzw. zeitaufwändigste Teil einer Optimierung.
- Benötigt wird eine mathematische Funktion, die **eine einzige Zahl** für die Qualität des Systems liefert. Je **kleiner** die Zahl desto besser das System!
- Da häufig viele Kriterien vorliegen, und viele freie Parameter variiert werden können, wird diese Funktion häufig sehr komplex.



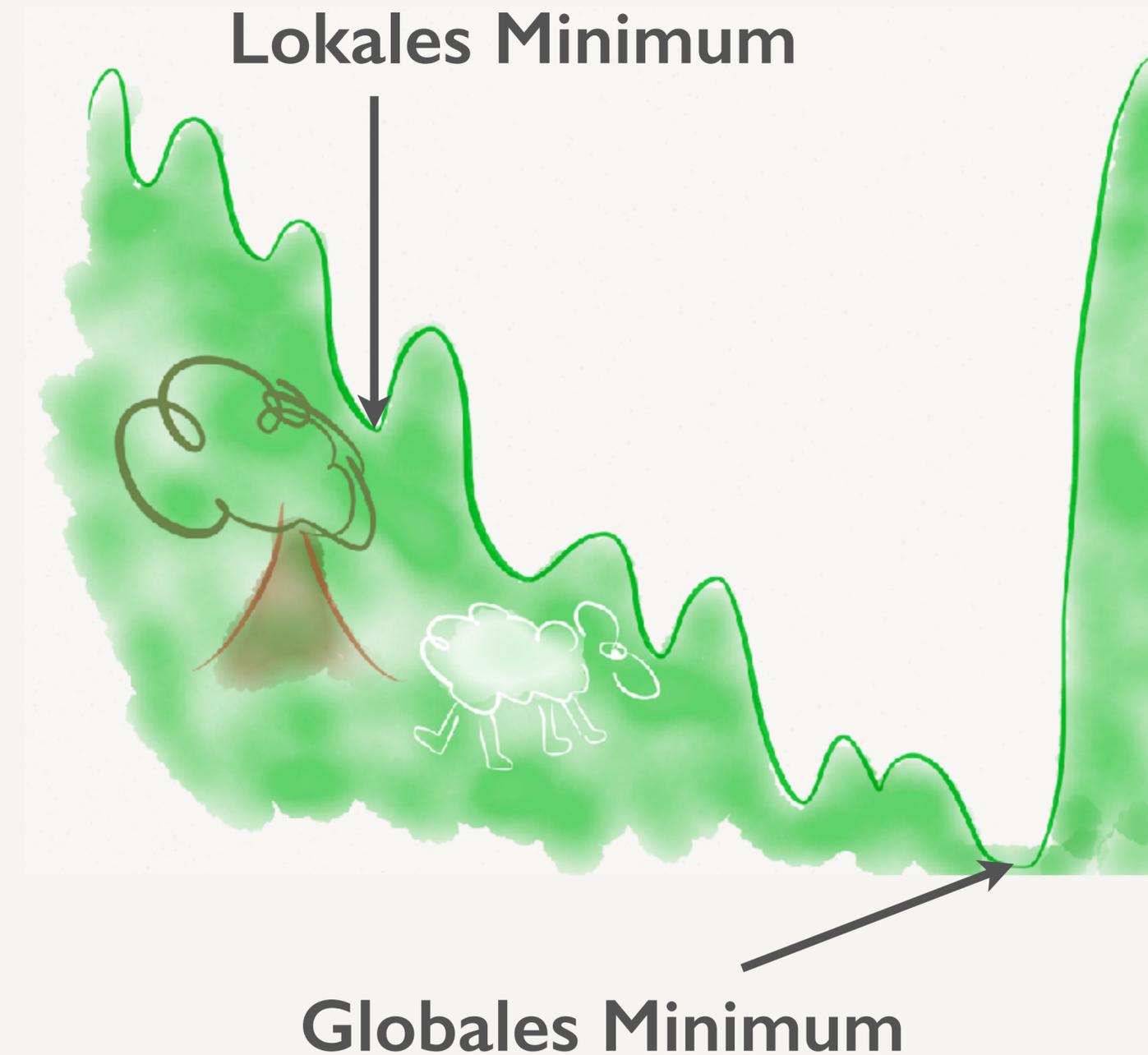
Gütefunktion Gewichtung



Über die Gewichtung kann der Beitrag der einzelnen Qualitätskriterien im Verhältnis zu den anderen eingestellt werden.

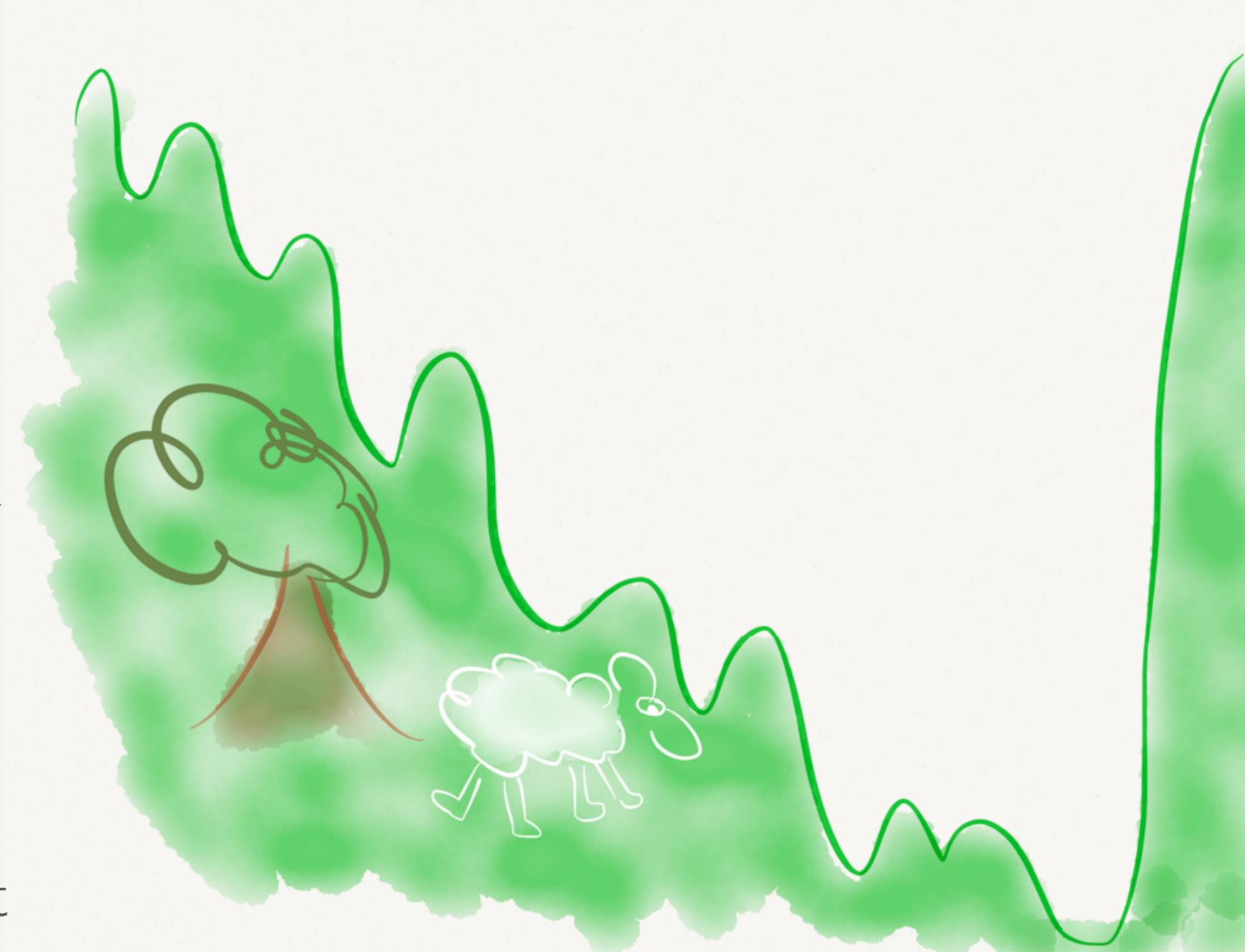
Lokale und globale Minima

- Die Gütefunktion liefert eine Zahl.
- Aufgetragen über den Parametern ergibt sich ein mehrdimensionales Funktions-„Gebirge“
- Der optimale Parametersatz ist im globalen Minimum zu finden.
- Häufig bleibt die Optimierung in einem lokalen Minimum stecken.
- Es gibt unzählige Optimierungs-Algorithmen, die sich alle mit dem Weg zum globalen Minimum auseinandersetzen.



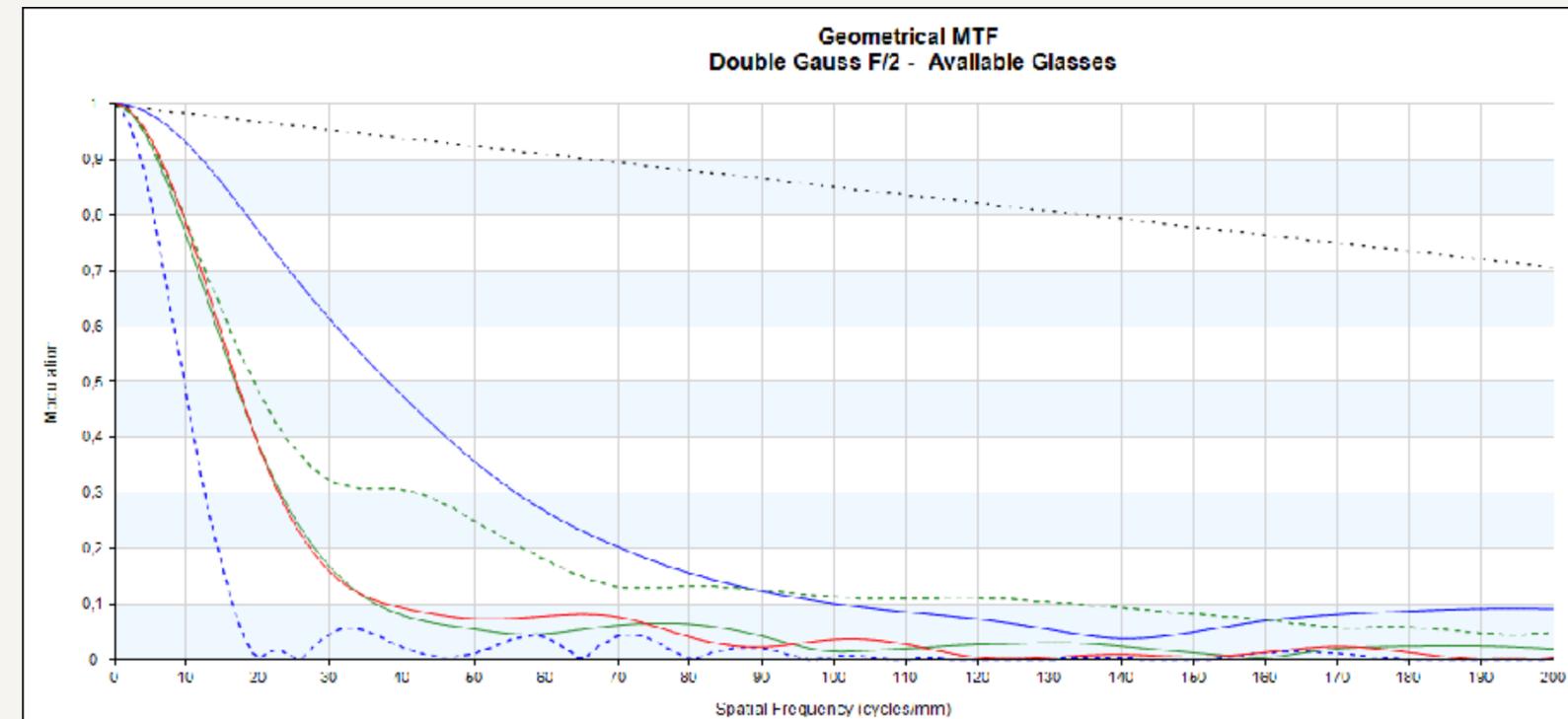
Startparameter

- Da meist ein lokales Minimum getroffen wird hängt das Ergebnis oft von den Startparametern ab!
- Ein robustes Ergebnis zeigt nur geringe Abhängigkeit von den Startparametern.
- Problem der Rückverfolgbarkeit: ist der optimierte Zustand auch exakt



Beugungsbegrenzung für optische Systeme

- Alle abbildenden Systeme haben notwendigerweise (mindestens) eine Apertur.
- An dieser Apertur findet Beugung statt, was zu einer Beugungsfigur führt.
- Diese wird durch das sog. Airy-Scheibchen beschrieben.
- Die daraus resultierende Unschärfe stellt die fundamentale Grenze des Systems dar: egal wie gut sie optimieren, diese Grenze kann nicht überschritten werden.



MTF eines Objektivs (aus Code V)

Code V: Zoom-Positionen

- Code V hat eine Besonderheit eingebaut: Zoom-Positionen.
- Jede Zoom-Position entspricht einer eigenen Konfiguration.
- Dieser Mechanismus kann auch genutzt werden um ganz andere Strahlenwege zu realisieren.
- In dieser Vorlesung werden wir dies nicht gebrauchen.

Achromaten optimieren

- Bauen Sie zunächst eine einfache bikonvexe Linse.
- Gestalten Sie den View so, dass die Farbaufspaltung im Fokus gut zu sehen ist. Speichern Sie diesen View.
- Bauen Sie dann einen Achromaten aus zwei (verkitteten) Linsen.
- Optimieren Sie den Achromaten auf minimale chromatische Aberration.
- 1. Linse: Material: BK7, Einheiten mm
 - $R1 = + 50$, $R2 = -50$, $f/\# = 4$, Dicke 7mm
 - Feld 0, 10, 20, Spektrum 3 Linien
- 2. Linse: Material F2, Radius = Infinity, Dicke 3mm
- Welche Analyse-Darstellung ist geeignet?
- Was ist der Unterschied zwischen **general**, **user** und **specific constraints**?

Hinweise zur Optimierung

- Imager-Abstand ca. 100mm.
- Reproduzierbarkeit der Berechnung beachten.
- Glassorten und $f/\#$ fix, Rest kann variabel.
- Chromatische Aberration auch mit Lineal auf Achse vermessen.
- Einfache Excel-Datei mit wichtigen Parametern zur Dokumentation ausfüllen.

Optimierung II - Bildschärfe

