



Prüfmethoden für die geometrische Qualität von Solar-Konzentratoren

Eckhard Lüpfer
CSP Services GmbH

15. Kölner Sonnenkolloquium
DLR Institut für Solarforschung
Köln, 12. Juni 2012

Konzentrierende Solarkraftwerke



Geometrische Qualität – worauf kommt es an?

- Ausrichtung der Spiegel-Elemente
- Form der Spiegel
- Eigengewicht, Durchbiegung
- Geometrie der Unterstruktur
- Geometrie von Verbindungselementen
- Haltekräfte, Klebekräfte
- Steifigkeit, Formstabilität des Gesamtsystems
- Positionierung des Absorbers
- Größe des Absorbers
- Nachführung
- Reibung, Windlasten, Schwerpunkt
- Entfernung der Sonne, Geographie





aber wie genau bitte?

Kriterien

- kostengünstig
- treffgenau
 - Trefferquote (Intercept-Faktor)
95-98% in 2-4-fachem Sonnendurchmesser (20-40 mrad)
 - in allen Betriebspositionen

Gesamt-Strahlaufweitung als Kriterium

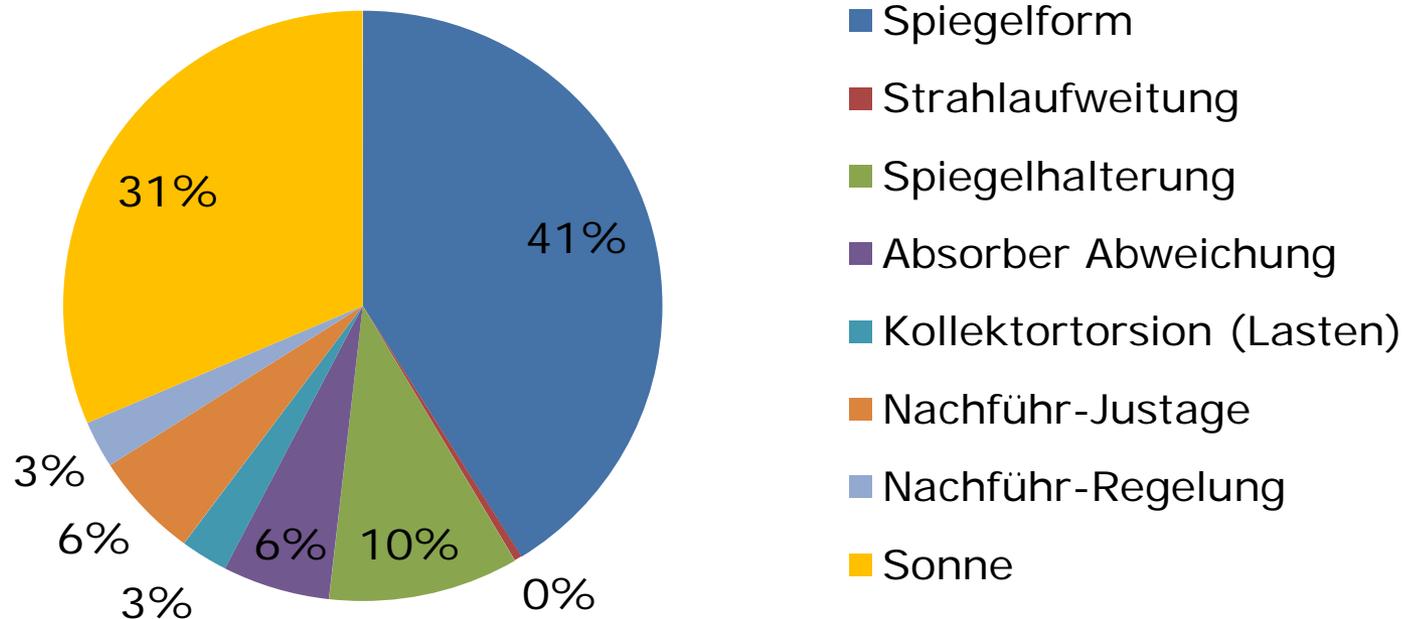
- Spiegelkontur, Aufweitung, Absorber-Position, Nachführgenauigkeit
- $\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_{\text{sun}}^2 + \sigma_{\text{optical}}^2$

$$\sigma_{\text{optical}}^2 = 4\sigma_{x,\text{contour}}^2 + \sigma_{x,\text{spec}}^2 + \lambda(\phi)(4\sigma_{y,\text{contour}}^2 + \sigma_{y,\text{spec}}^2) + \sigma_{\text{displ}}^2 + \sigma_{\text{track}}^2$$

$$\lambda(\phi) = \left(1 - \frac{\phi}{2 \tan \frac{\phi}{2}}\right) \tan^2 \theta$$

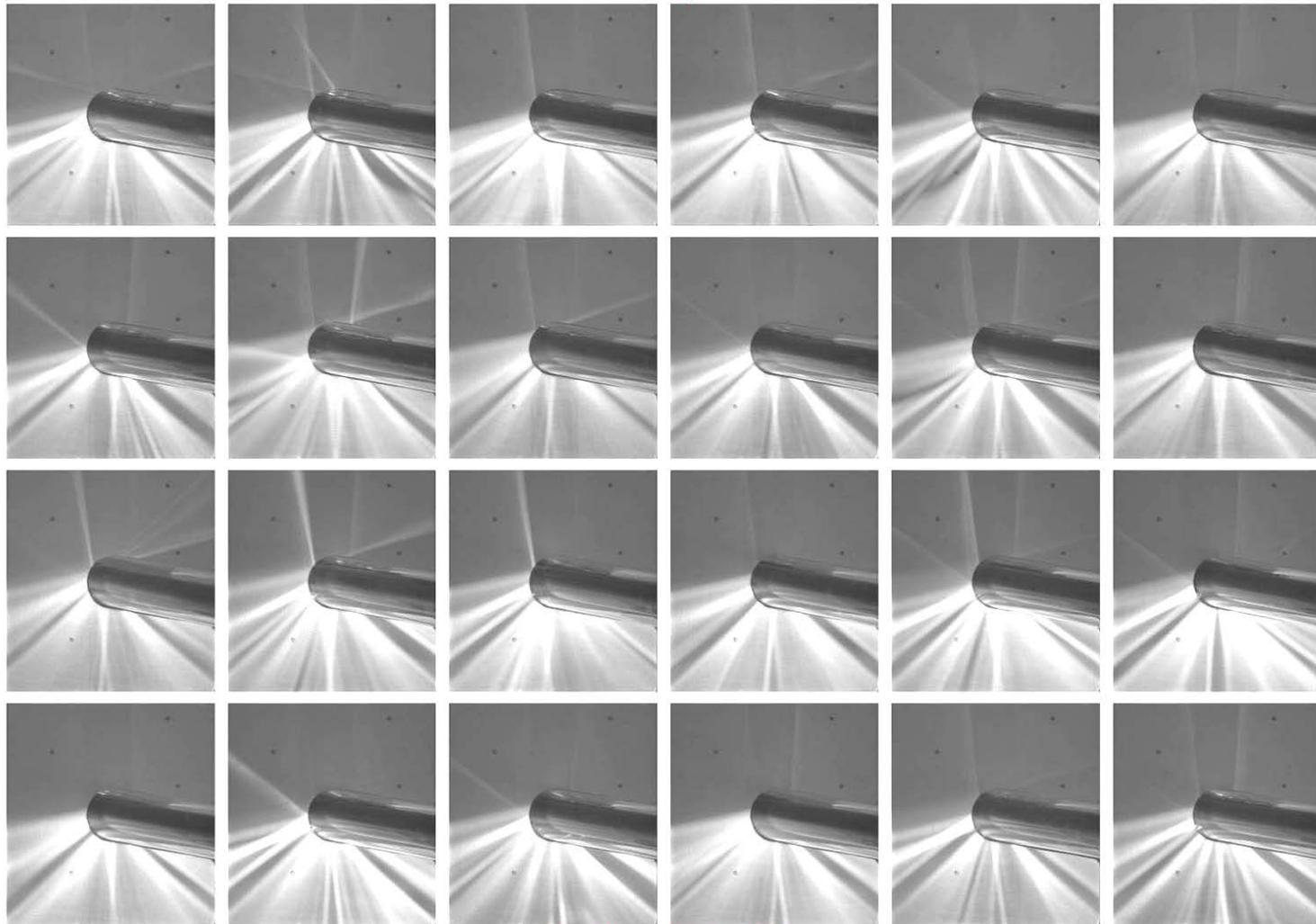
$$\sigma_{\text{sun,line}} = \frac{\sigma_{\text{sunshape}}}{\sqrt{2} \cos \theta}$$

Einflüsse Geometrie (Parabolrinne) quadratische Gewichtung $\Sigma_{\text{total}} = 6-8 \text{ mrad}$



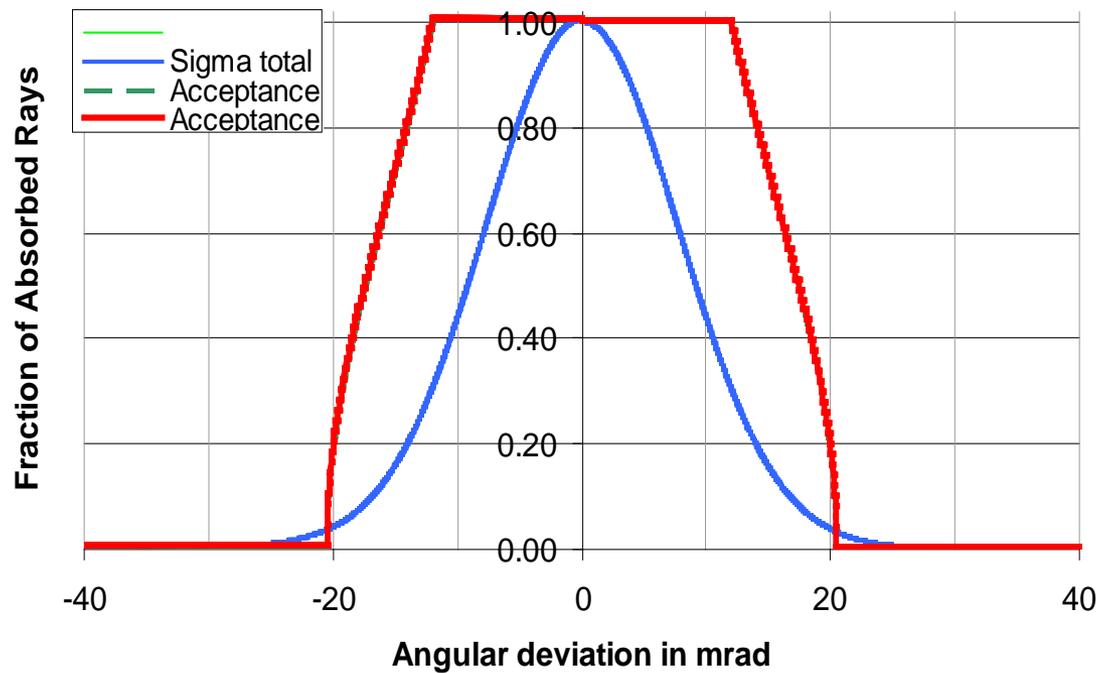


Intercept-Faktor auf Target

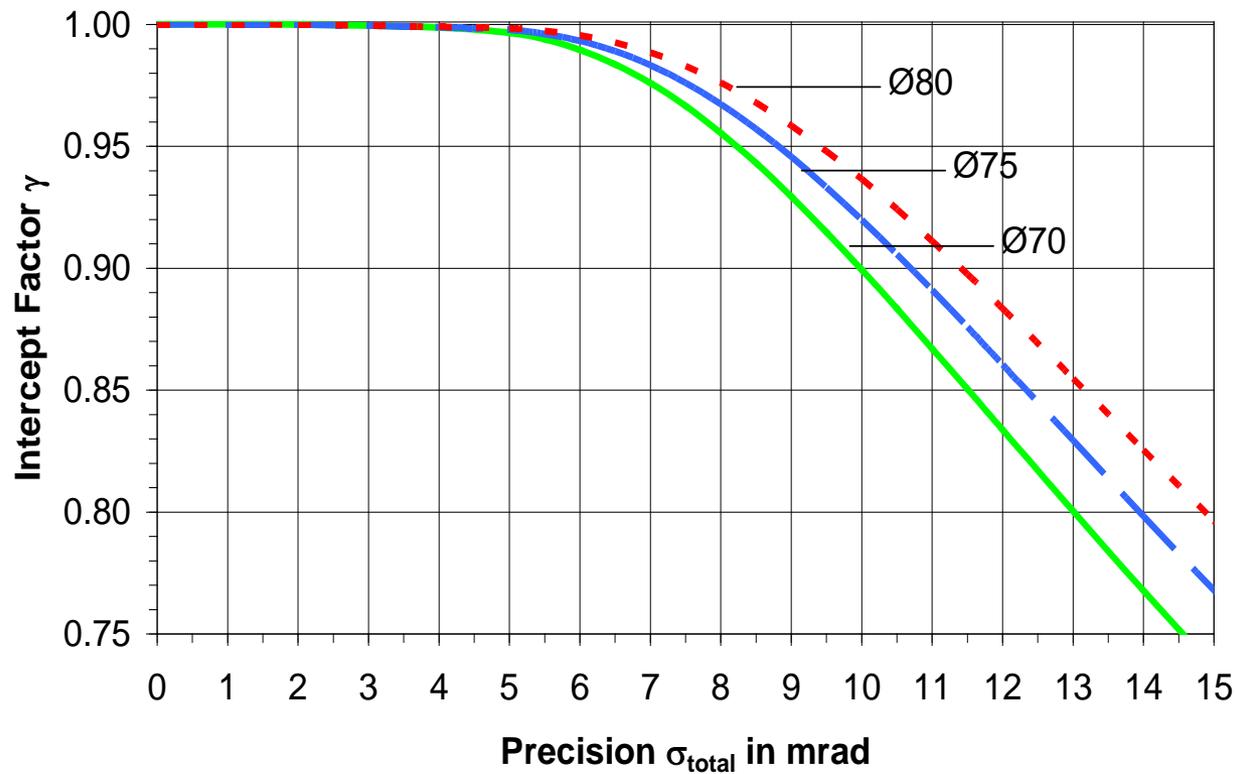


Reihenfolge von Nord nach Süd

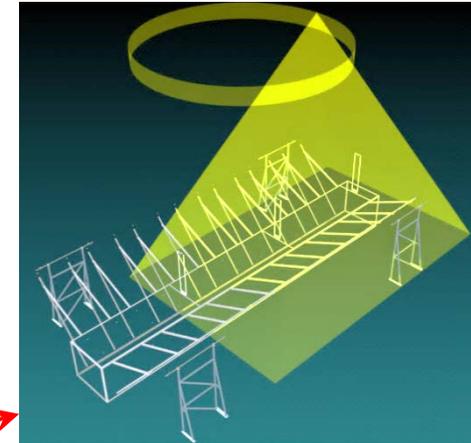
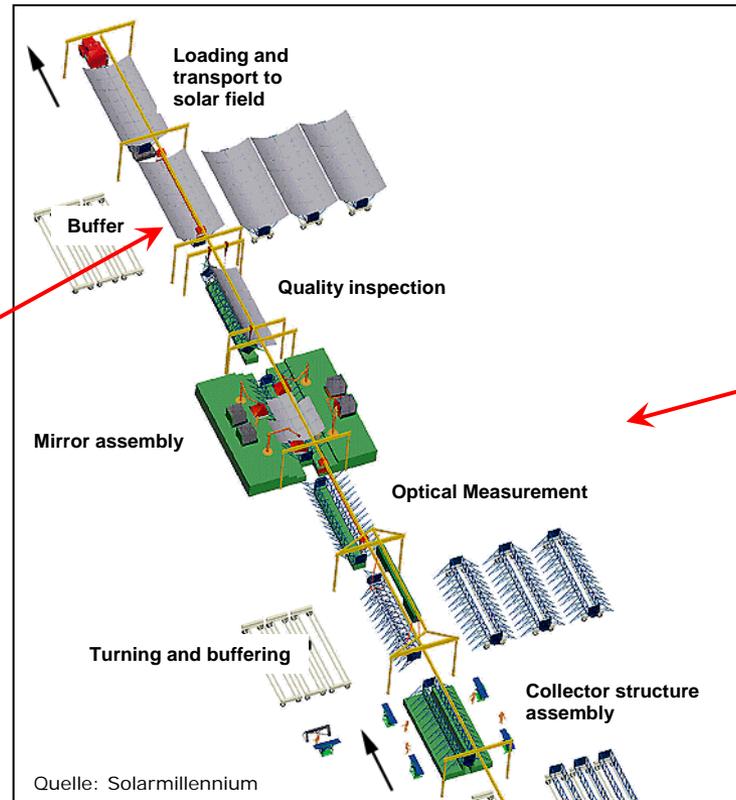
Ray-Tracing Parabolrinne - Akzeptanz-Funktion



Intercept-Faktor hängt von Präzision und Konzentration ab



Qualitätskontrolle in der Modulfertigung QDec-M und QFoto-R, automatische Messung



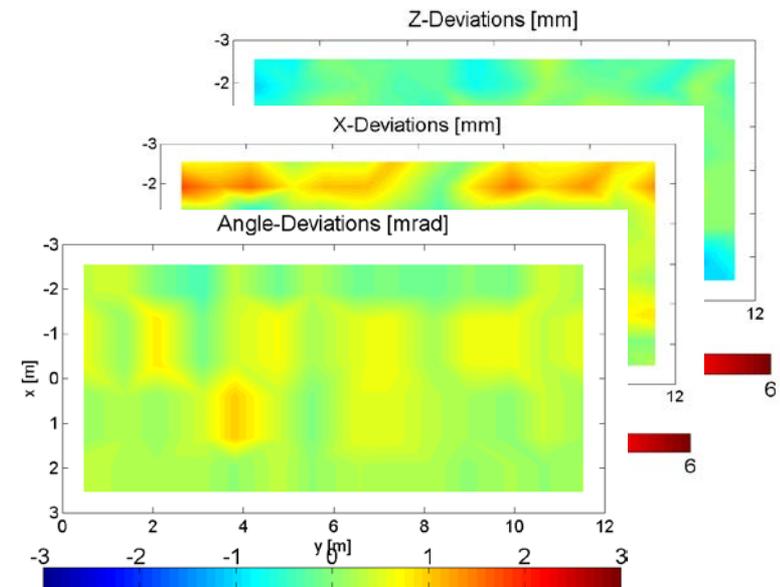
QDec-M (Defl.)

Montage-Linie Parabolrinnen

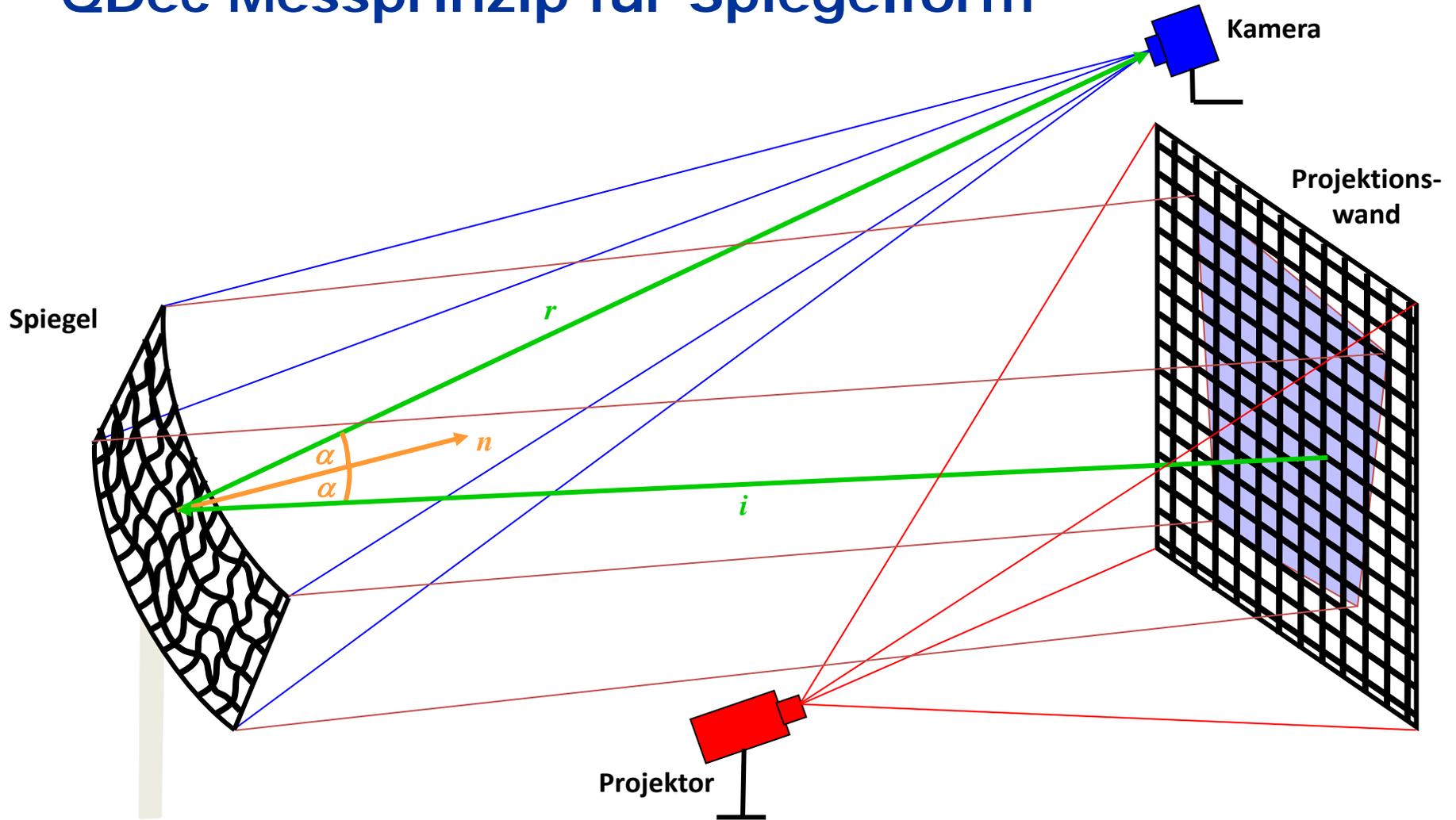
QFoto-R

Qualitätskontrolle mit Photogrammetrie in der Kollektormontage (Rinnen, Heliostate)

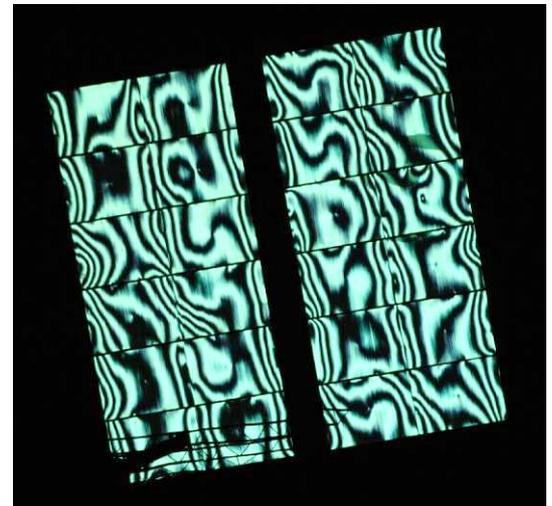
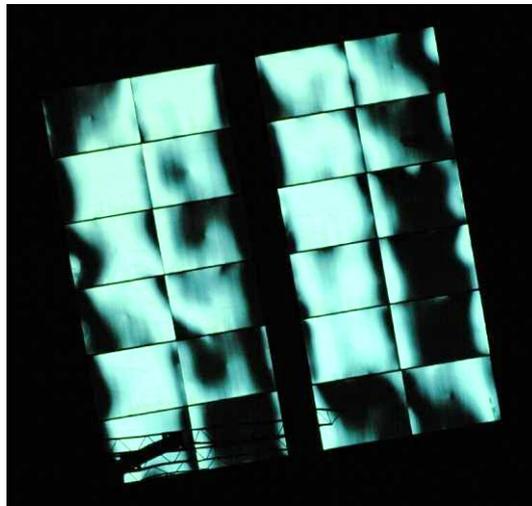
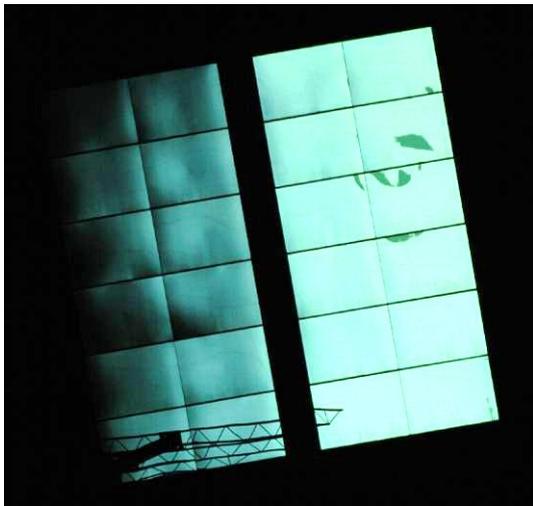
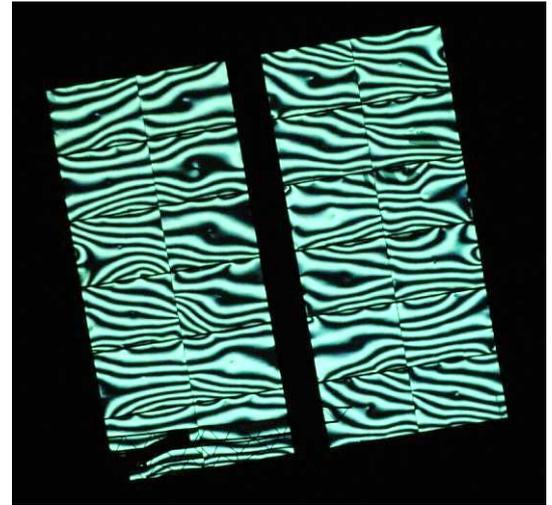
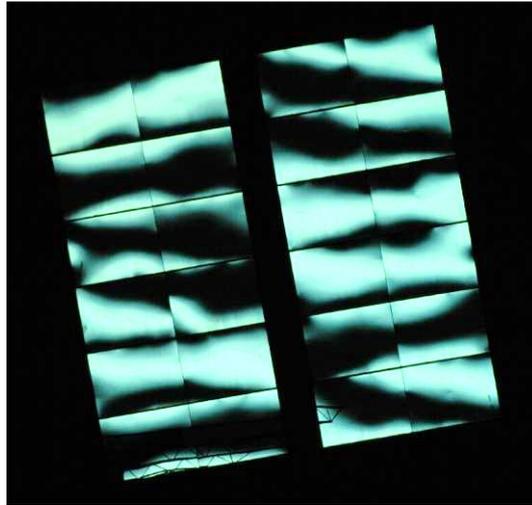
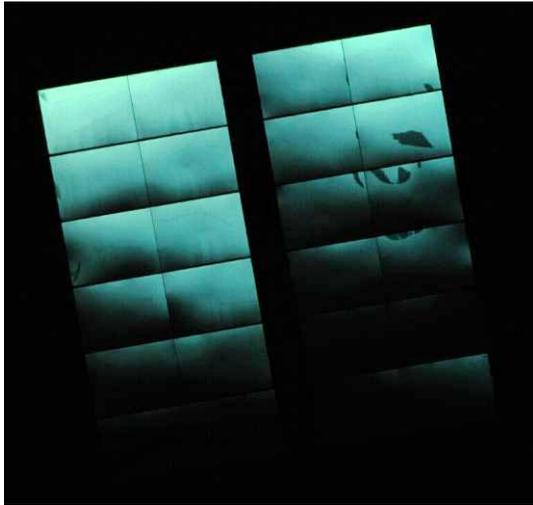
- Automatische Qualitätssicherung in der Serienproduktion



QDec Messprinzip für Spiegelform

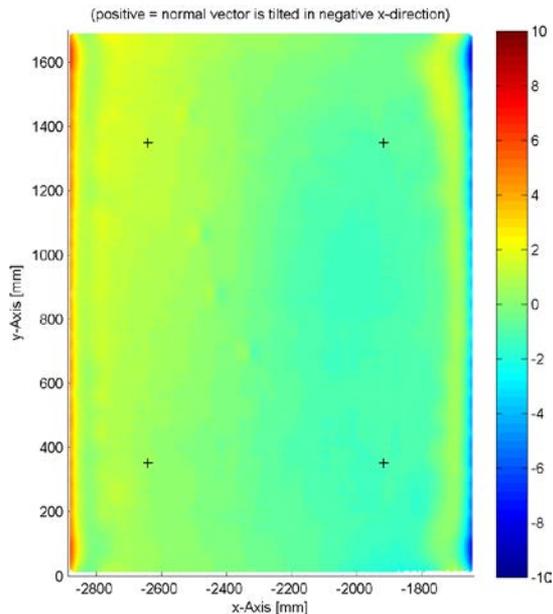


Deflektometrie an Heliostaten

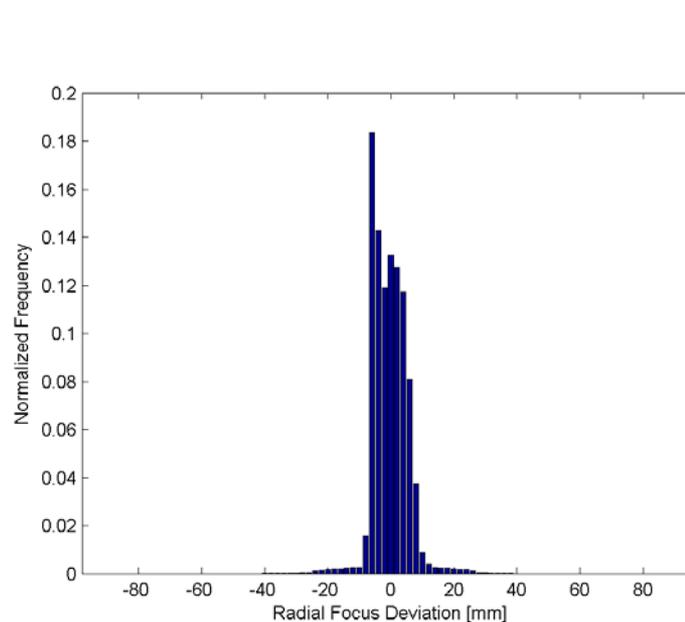


Anwendung bei Parabolrinnen-Spiegeln

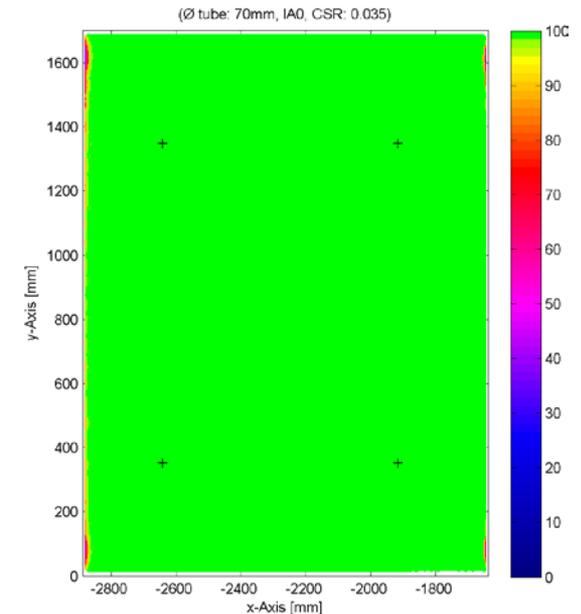
Qualitätskriterium: Spiegelform RP3



Steigungsabweichung
 $SDx = 1.4 \text{ mrad}$



Fokusabweichung
 $FDx = 5.8 \text{ mm}$



Intercept-Faktor
99.98% (Laser)
99.0% (Sonne)

QDec: Formmessung von Konzentratorspiegeln

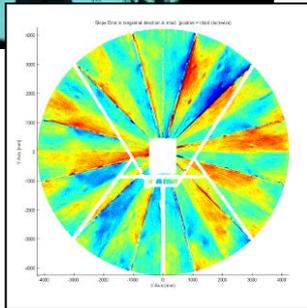
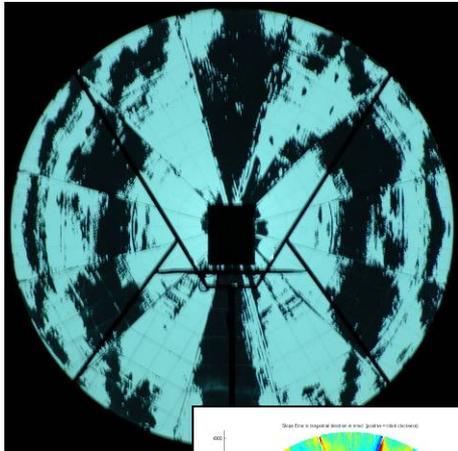
- Automatische Produktionskontrolle zur Sicherstellung der Spiegelform
- Hochauflösendes, optisches Messverfahren
- Auswertungs- und Bewertungssoftware zur Optimierung und Dokumentation der Produktionsqualität



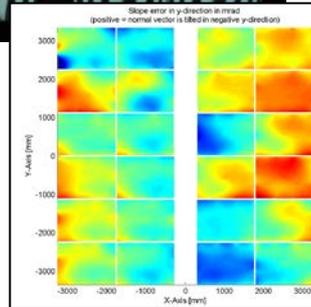
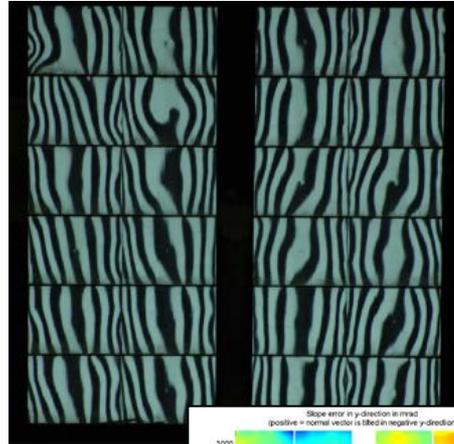
Deflektometrie: Flexibel einsetzbar

Konzentratoren

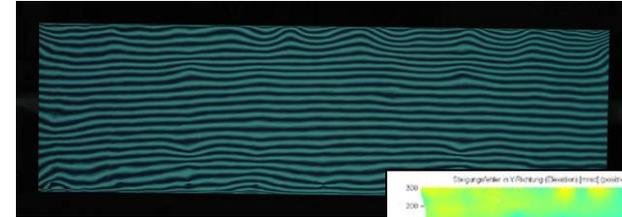
Einzelspiegel



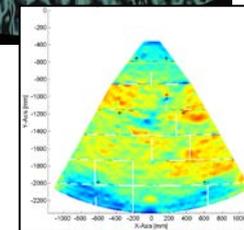
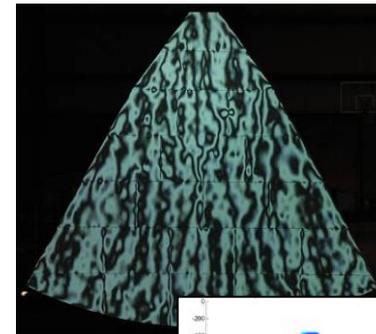
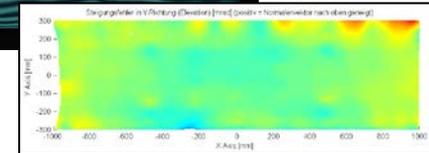
Dish



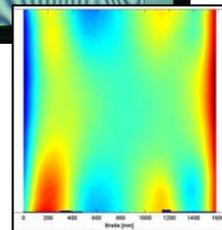
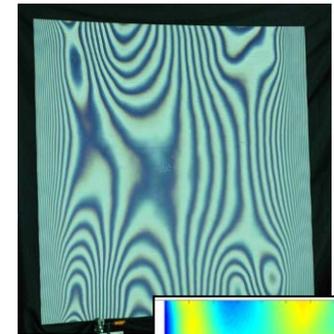
Heliostate



Fresnel



Dish



Parabolrinne

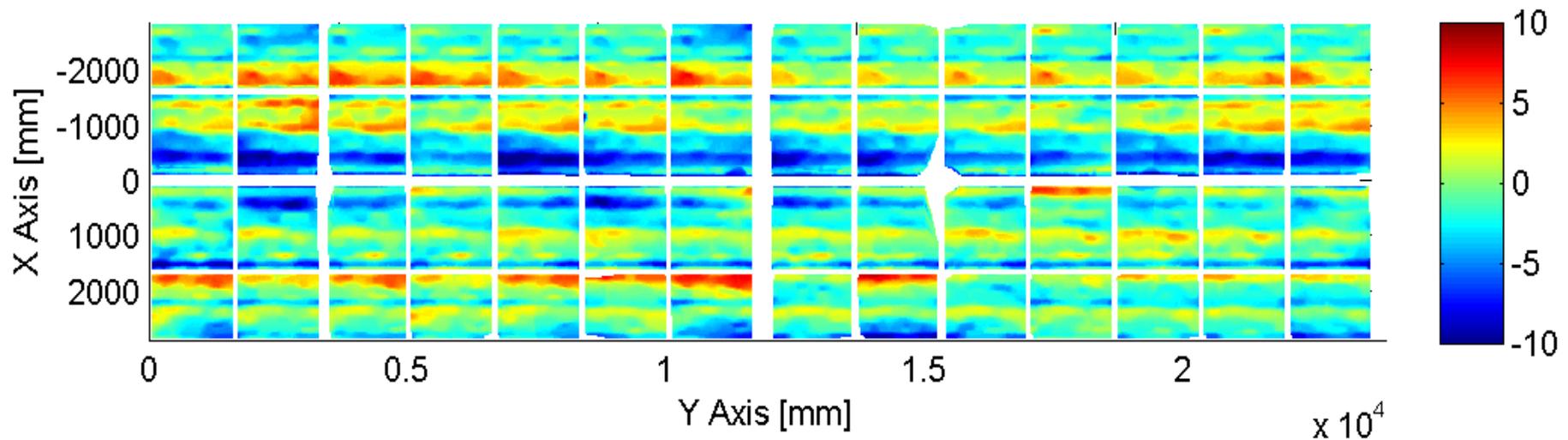
Deflektometrie

Analyse der gesamten Kollektor-Geometrie



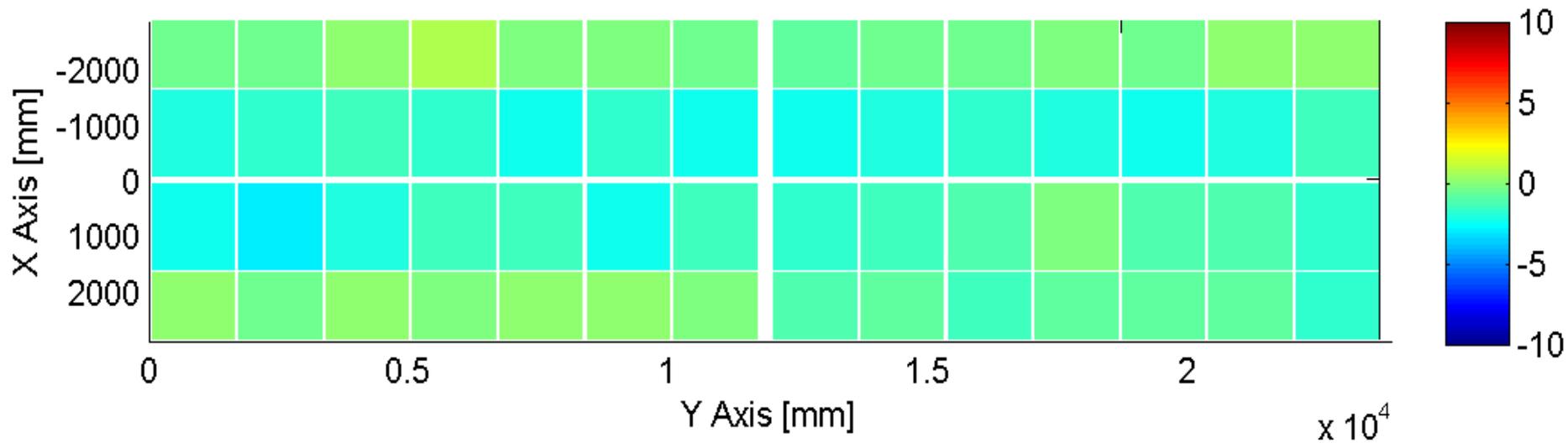
Steigungsabweichung Parabolrinnenmodul

Qualitätskennzahlen: SDx in mrad

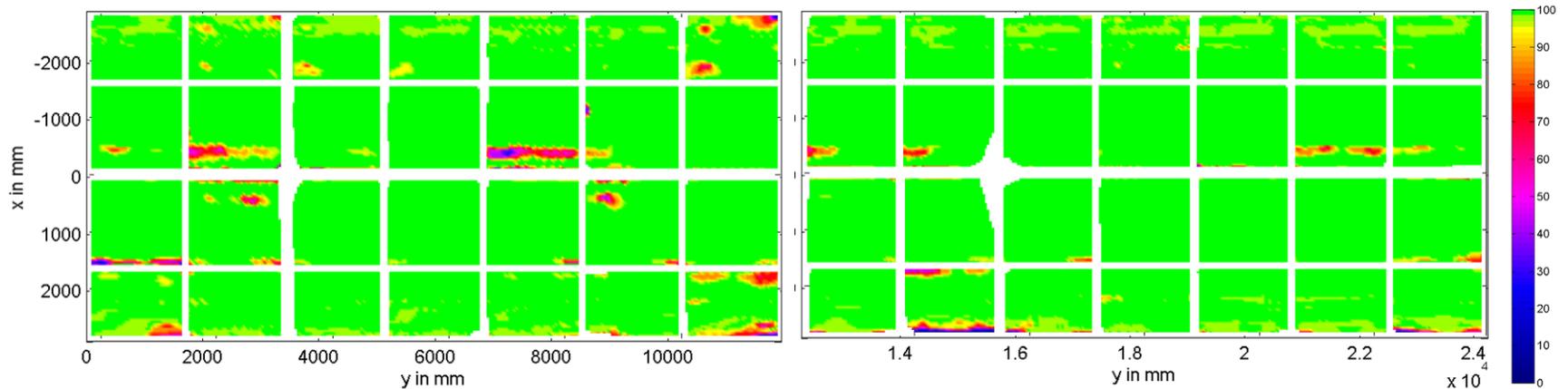




Ausrichtung der Spiegel SDx in mrad

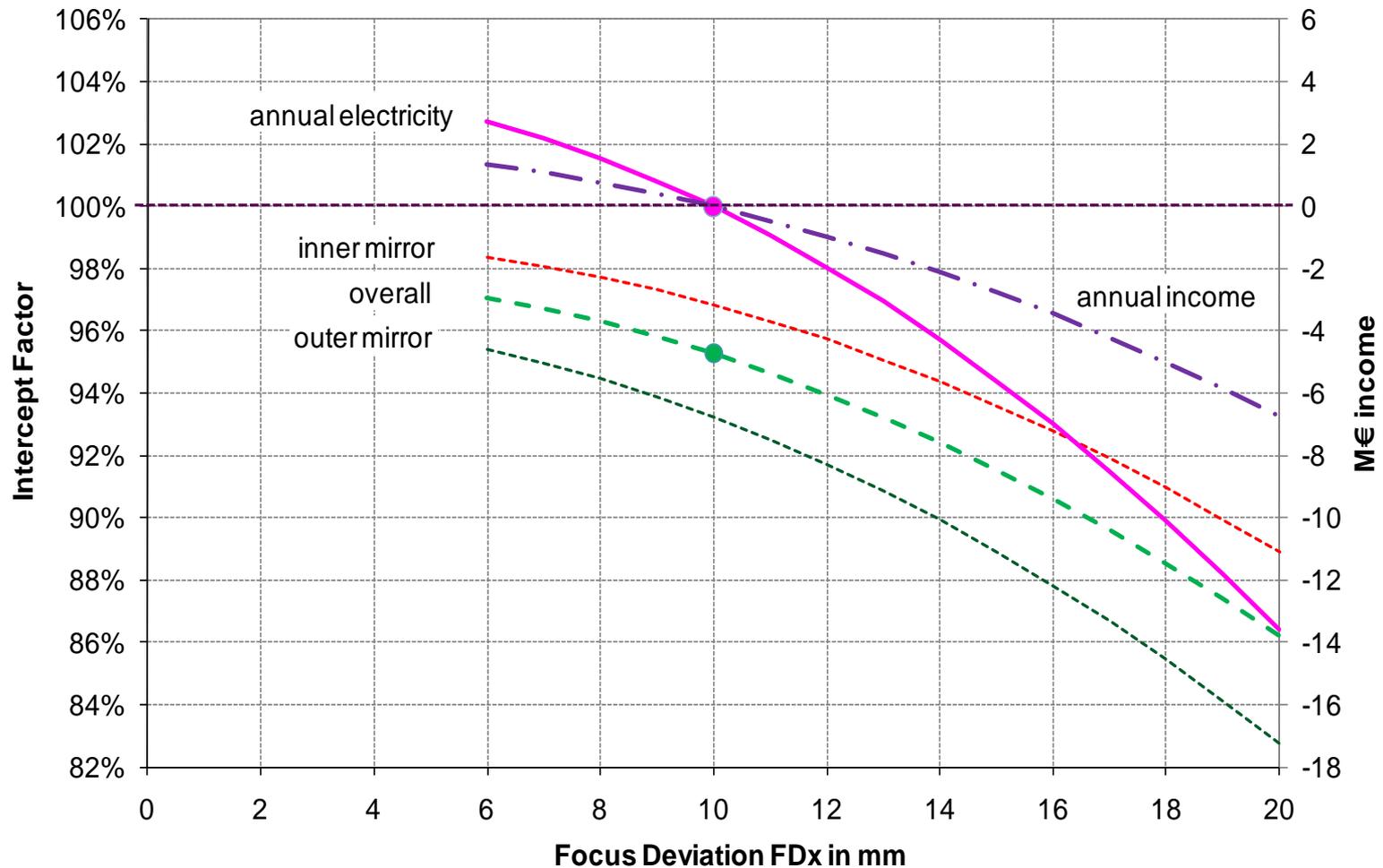


Intercept-Faktor Auswertung bei konkreten Annahmen für die Nachführung



Intercept-Faktor
99 % („Laser“)
97-98 % (senkrechte Sonne)

Einfluss der Qualität auf den Ertrag des Kraftwerks



Zusammenfassung

- Geometrische Qualität ist entscheidend für
 - Wirkungsgrad und Produktion
 - Markterfolg der Qualität bei Konkurrenz
- Geometrische Qualität ist relevant bei
 - Spiegel
 - Kollektorstruktur und Absorbergeometrie
 - Montage der Kollektoren
 - Nachführung
- Berührungslose optische Messverfahren haben sich aus DLR-Entwicklungen heraus international etabliert
 - Fotogrammetrie
 - Deflektometrie
- Bewertungskriterium: Richtungsabweichung der reflektierten Strahlen
 - SDx, FDx
- Standard-Messsysteme sind in der Praxis und Forschung erfolgreich etabliert
 - Qualitätszertifikate, Prüfberichte (QUARZ-Zentrum)
 - Produktionskontrolle, Qualitätskontrolle, Qualitätsspezifikationen

