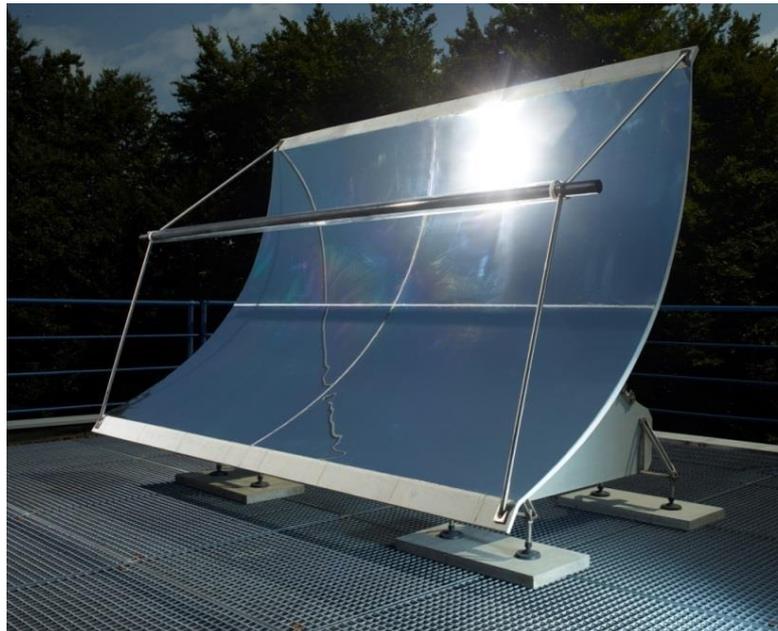




Dr.-Ing. Sören MÜLLER

- + 2006 - 2009 **Studium an der Hochschule Karlsruhe (HSKA)
Bauingenieurwesen, Abschluss: Dipl.-Ing. (FH)**
- + 2009 – 2014 **Institut für Massivbau und Baukonstruktion,
Technische Universität Kaiserslautern (TU)**
- + 2015 **Beginn bei KREBS+KIEFER**
- + 2016 **Promotion am Fachbereich Bauingenieurwesen, Technische Universität Kaiserslautern (TU)
„Zur Auslegung von innovativen Betonkollektorelementen für solarthermische
Parablrinnenkraftwerke “
Kooperation mit der Dyckerhoff AG und der durcrete GmbH:
Herstellung von Betonkollektoren aus Nanodur-Beton**

UHPC Parabolrinnen aus Nanodur-Beton für solarthermische Kraftwerke



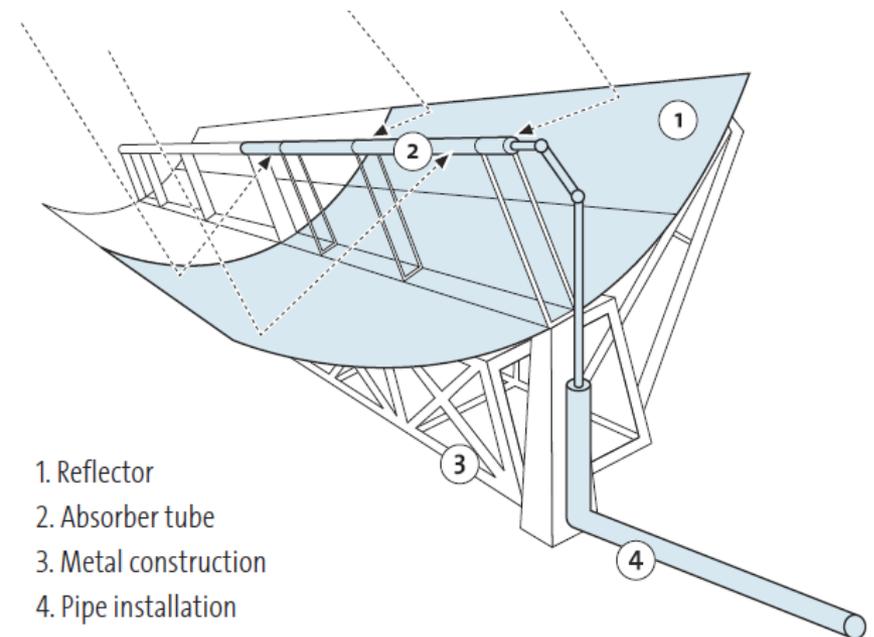
Dyckerhoff Nanodur-Tagung
Kirchheimbolanden

Dr.-Ing. Sören Müller

Motivation

Parabolrinnenkraftwerke

- wirtschaftlich erfolgreichster solarthermischer Kraftwerkstyp
- Bündelung der einfallenden, solaren Strahlung auf ein Absorberrohr
- hohe Anforderungen an Genauigkeit der reflektierenden Oberfläche
- Kollektorelement hat größten Anteil an der Gesamtwirtschaftlichkeit
- Stand der Technik:
 - räumliches Stahlfachwerk
 - punktweise gelagerte Spiegelemente
 - Rotation um Längsachse



Funktionsprinzip einer Parabolrinne [Solar Millennium; 2008]

Motivation

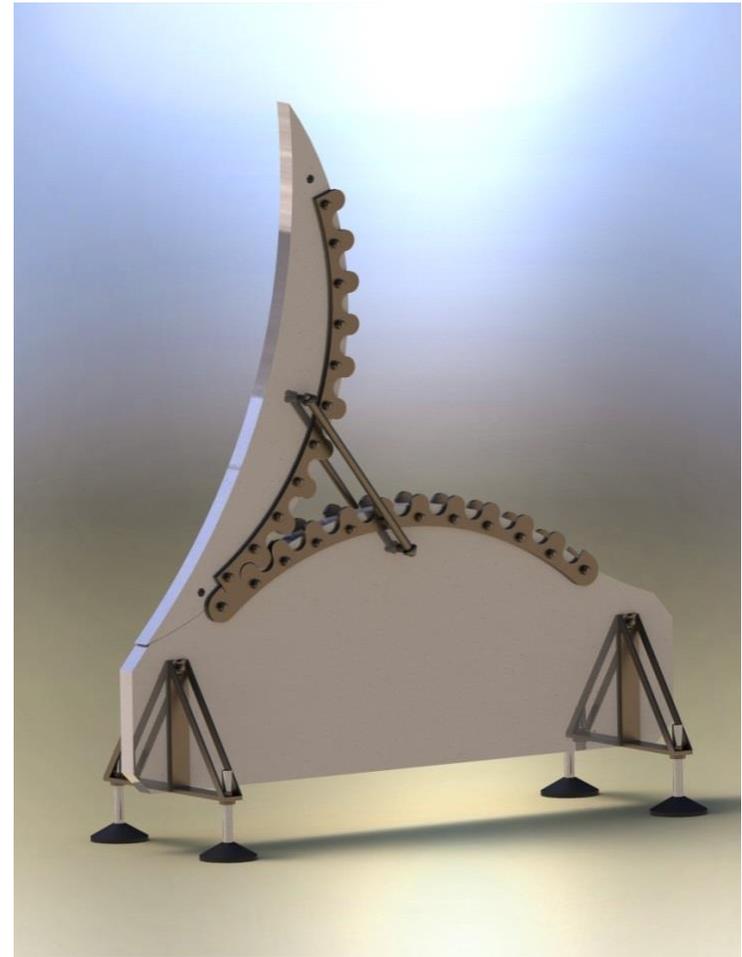
Verbesserungspotenzial bestehender Parabolrinnensysteme

- Montage und Einmessung der Kollektorelemente zeitaufwendig
→ kostenintensiv
 - geringe Eigensteifigkeit punktgestützter Spiegel
→ Deformationen durch Eigen- und Windlasten
→ Reduktion des Wirkungsgrads
 - Standort häufig in Wüstengebieten
→ korrosive Umgebungsbedingungen (z. B. salzhaltige Böden)
→ ggf. Verringerung der Dauerhaftigkeit der Stahlstruktur
- **Idee: Entwicklung innovativer Parabolrinnenkollektorelemente**
Zusammenführung Reflektorfläche und Tragstruktur zu einer Schalenstruktur aus hochfestem Beton
- **Umsetzung:** Dissertation Dr.-Ing. Sören Müller

Konzept

Zwei Innovationen:

- alternative Tragstruktur aus Beton
→ hohe Formbeständigkeit und
Dauerhaftigkeit bei minimalem
Materialeinsatz
- neuartige, patentrechtlich geschützte
Auflagerkonstruktion (R. Weißbach)
→ Schwerachse immer auf einer Höhe
→ Kraftaufwand zur Rotation minimal



Betontechnologie und Schwinden

Anforderungen an den Beton

1. Verformungsarmut und Formbeständigkeit
2. Rissefreiheit und hohe Biegezugfestigkeit
3. geeignete rheologische Eigenschaften
4. geringe Erhärtungszeit
5. schwindarmes Verhalten
6. kostengünstige Herstellung
7. hohe Wertschöpfung am Kraftwerksstandort



- Festlegung auf Nanodur[®]-Beton aufgrund zahlreicher erfolgreicher praktischer Referenzen der Dyckerhoff AG und der durcrete GmbH
- Untersuchung von drei Betonrezepturen mit verschiedenem Erhärtungsbeschleunigergehalt

Betontechnologie und Schwinden

Durchgeführte Untersuchungen (Beton)

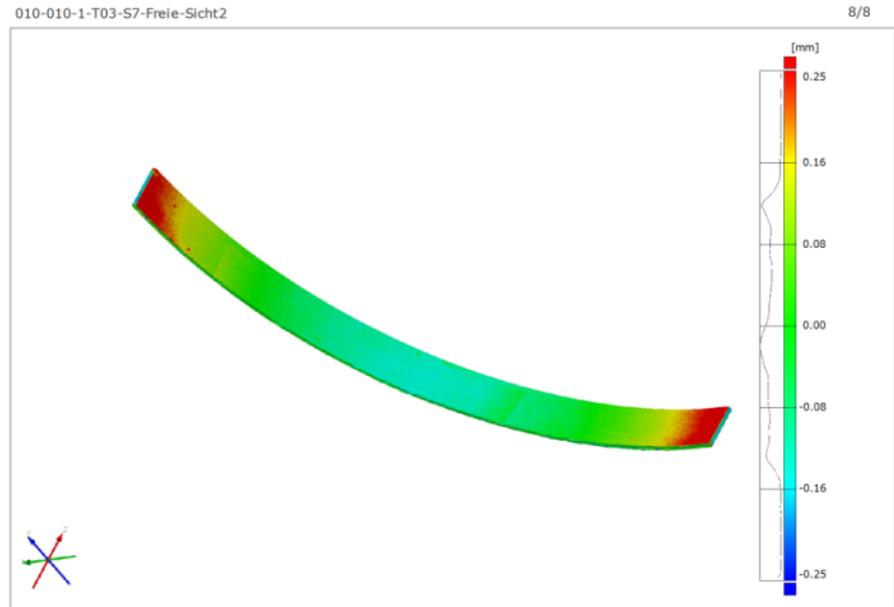
- Frischbetoneigenschaften
 - Frischbetontemperatur
 - Setzfließmaß mit und ohne Blockierring
 - t_{500} -Zeit mit und ohne Blockierring
 - Trichterauslaufzeit
 - Frischbetonrohddichte
 - Luftgehalt
- Festbetonrohddichte
- Temperaturverlauf infolge Hydratationswärme
- Frühe Entwicklung der Betonfestigkeiten in Abhängigkeit des Erhärtungsbeschleunigergehalts
- Einfluss einer Wärmebehandlung auf die Betonfestigkeiten
- Einfluss der Probekörperlagerung (nass oder trocken) auf die Betonfestigkeiten
- Elastizitätsmodul
- Karbonatisierung
- Chlorideindringwiderstand



Betontechnologie und Schwinden

Durchgeführte Untersuchungen (Schwinden)

- 3D-Streifenprojektoranalyse:
Vermessung von 15 kressegmentförmigen Probekörpern über 28 d

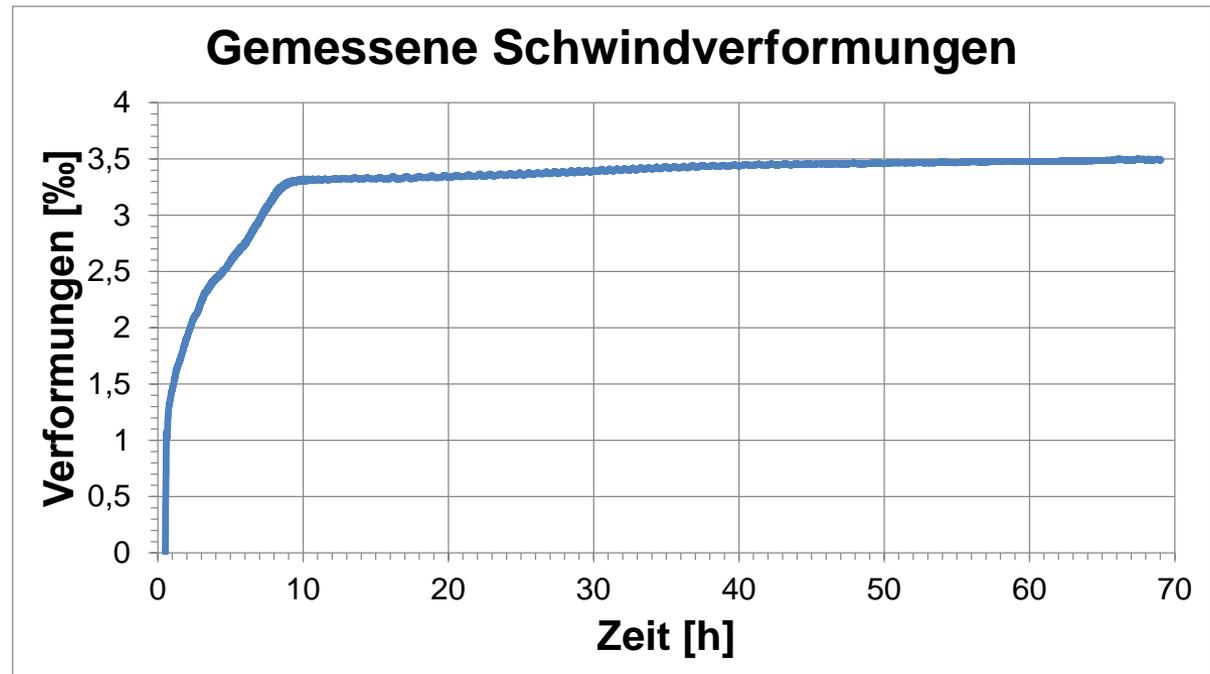


→ **Ergebnis:**
minimale Verformungen

Betontechnologie und Schwinden

Durchgeführte Untersuchungen (Schwinden)

- Schwindkegelverfahren



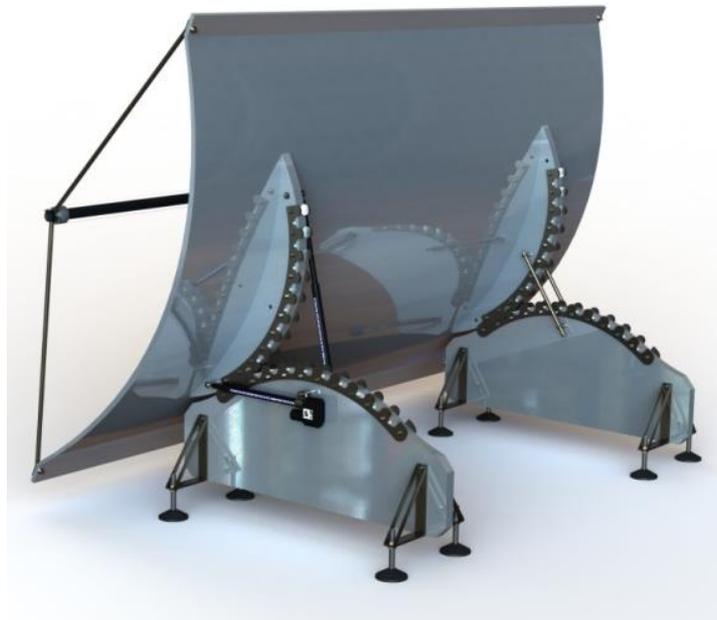
→ **Ergebnis:**

10 h nach Mischende sind ca. 95 % der Schwindverformungen eingetreten
(Bestätigung der Vermutung)

Großdemonstrator

Geometrie

- Länge: $l = 3,20 \text{ m}$
- Aperturweite: $w = 2,205 \text{ m}$
- Fokallänge: $f = 0,78 \text{ m}$
- Schalendicke: $t = 20 - 30 \text{ mm}$
- Öffnungswinkel: $\varphi = 70^\circ$



Großdemonstrator

Herstellung

- Schalen, Bewehren und Betonieren der beiden Auflager und Rippen



Großdemonstrator

Herstellung

- Schalen, Bewehren und Betonieren der beiden Auflager
- Schalen, Bewehren und Betonieren der Parabolrinne



Großdemonstrator

Herstellung

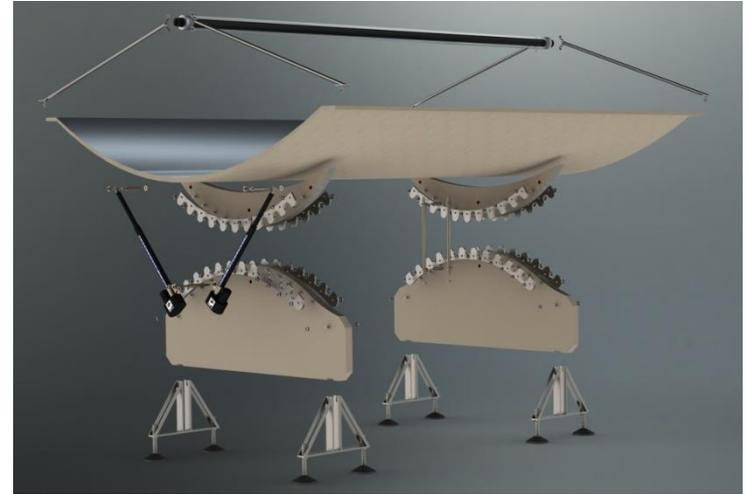
- Schalen, Bewehren und Betonieren der beiden Auflager
- Schalen, Bewehren und Betonieren der Parabolrinne
- Aufkleben der beiden Rippen



Großdemonstrator

Herstellung

- Schalen, Bewehren und Betonieren der beiden Auflager
- Schalen, Bewehren und Betonieren der Parabolrinne
- Schalen, Bewehren, Betonieren und Aufkleben der beiden Rippen
- Zusammenbau des Großdemonstrators



Großdemonstrator

Herstellung

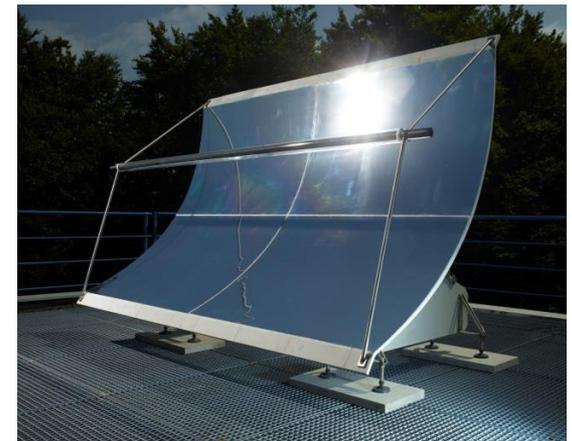
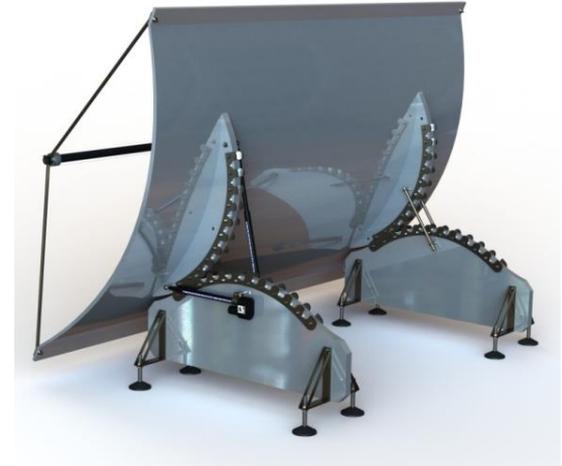
- Schalen, Bewehren und Betonieren der beiden Auflager
- Schalen, Bewehren und Betonieren der Parabolrinne
- Schalen, Bewehren, Betonieren und Aufkleben der beiden Rippen
- Zusammenbau des Großdemonstrators
- Applikation der Spiegel



Großdemonstrator

Herstellung

- Schalen, Bewehren und Betonieren der beiden Auflager
- Schalen, Bewehren und Betonieren der Parabolrinne
- Schalen, Bewehren, Betonieren und Aufkleben der beiden Rippen
- Zusammenbau des Großdemonstrators
- Applikation der Spiegel



Großdemonstrator

11
108. Jahrgang
November 2013
ISSN 0006-9900
A 1740

Beton- und Stahlbetonbau



- Leichte Schalen aus hochfestem Beton als Parabolrinnen
- Fügeprinzipien für leichte Bauteile aus UHPFRC
- Dünnwandige Falwerke aus zementbasierten Verbundwerkstoffen
- Entwurf und Berechnung von gekrümmten Fertigbauteilen
- Formvariationen von Druckgliedern
- Stahlbetonbemessung mit Smartphone und Tablet

Ernst & Sohn
A Wiley Brand

 **TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN**
Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>



SILKE SCHEERER, MANFRED CURBACH (HRSG.)

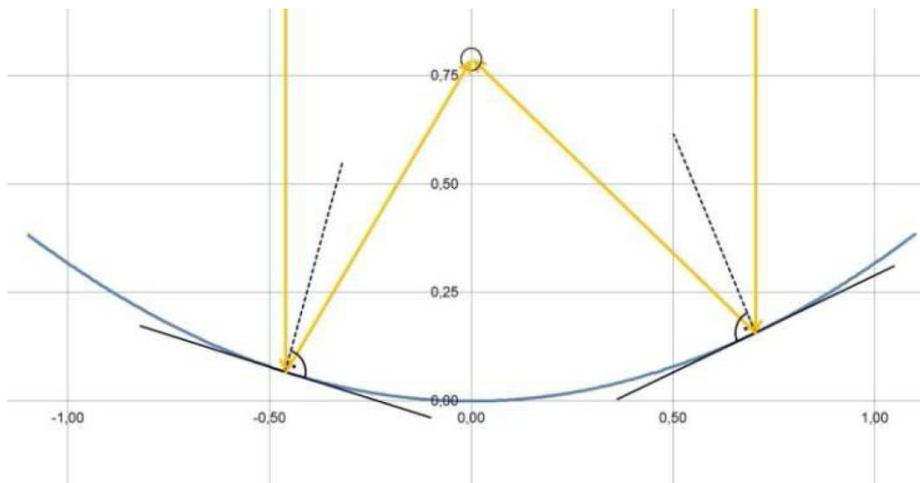
LEICHT BAUEN MIT BETON

FORSCHUNG IM SCHWERPUNKTPROGRAMM 1542 FÖRDERPHASE 1

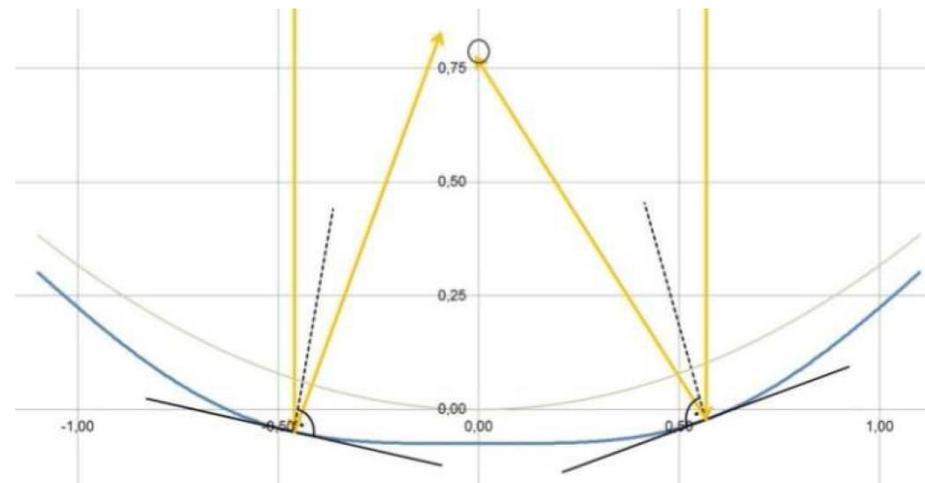
Wirkungsgraduntersuchung

Wirkungsgrad der Parabolrinne

- Systemgesamtwirkungsgrad besteht aus optischem und thermischem Anteil
- Beschränkung auf Interceptfaktor (geometrische Größe zur Beschreibung der optischen Effektivität der Parabolrinne)
- messungs- und simulationsbasierte Ermittlung des Interceptfaktors



unverformte Parabolrinne



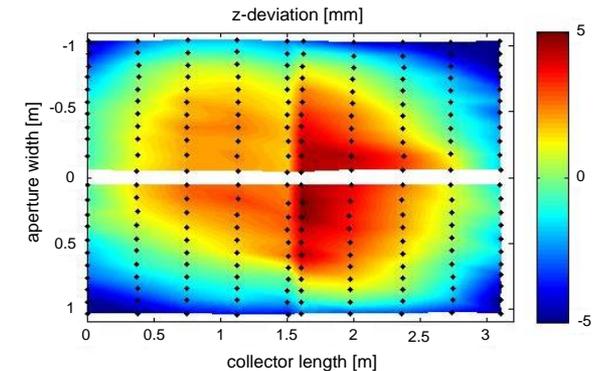
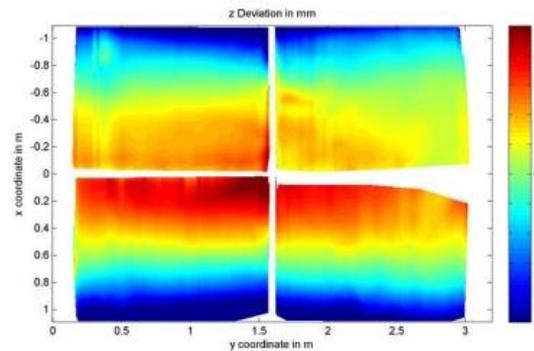
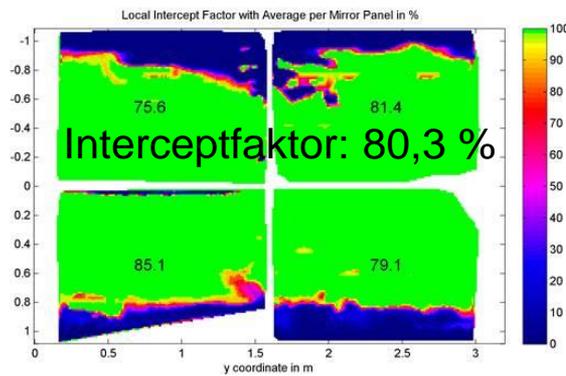
verformte Parabolrinne

Wirkungsgraduntersuchung

Messungsbasierte Ermittlung des Interceptfaktors

Anwendung zweier Messverfahren durch das DLR:

- Deflektometrie: TARMES (Trough Absorber Reflection Measurement System)
- Nahbereichsphotogrammetrie



→ Ergebnis:

- Messergebnisse durch die beiden Messverfahren verifiziert
- Ist-Geometrie weicht signifikant von Soll-Geometrie ab
→ stark reduzierter Interceptfaktor (80,3 %)

→ Begründung:

- weiche Polystyrolschalung
- Verbesserung durch steife Stahlschalung und optimierte Verspiegelung

Zusammenfassung und Optimierungspotenzial

Bewertung der Untersuchungsergebnisse

1. Verformungsarmut und Formbeständigkeit:

rechnerisch ermittelter Interceptfaktor des Großdemonstrators ca. 99%
→ konkurrenzfähig mit derzeit bestehenden Systemen

2. Rissefreiheit und hohe Biegezugfestigkeit:

- erzielte Biegezugfestigkeit >> auftretende Biegezugspannungen
- Risse am Großdemonstrator nach 30 Monaten freier Bewitterung optisch nicht feststellbar

3. geeignete rheologische Eigenschaften:

erfolgreiche Herstellung filigraner Bauteile mit Schalendicken bis zu 10 mm

4. geringe Erhärtungszeit:

Erzielung von sehr kurzer Schalungsbelegzeit (nur 2-3 h)
→ weitergehende Forschung zur weiteren Reduzierung

5. schwindarmes Verhalten:

Verwendung kostengünstiger Polystyrolschalung
→ bedingt maßgenaue Parabolrinne
→ Entwicklungsbedarf bezüglich noch besser geeigneter Schalung

Zusammenfassung und Optimierungspotenzial

Optimierungspotenzial

- Entwicklung eines innovativen Bewehrungskonzepts
- Optimierung der Geometrie der Schalenrückseite
- Automatisierung des Herstellverfahrens und der Verspiegelungstechnik



KREBS+KIEFER Ingenieure GmbH

Dr.-Ing. Sören Müller
Karlstraße 46
D-76133 Karlsruhe
Germany

Phone +49-1525-4779 845
Fax +49-721-3508 2000
E-Mail mueller.soeren@kuk.de
Internet www.kuk.de