

Strukturmechanische Berechnungen am Sonnenteleskop ATST (Advanced Technology Solar Telescope)

Dr.-Ing. Wolfgang Feickert, Dipl.-Ing. (FH) Armin Sitzmann

Ingenieurbüro Huß & Feickert, Liederbach, Deutschland

Dr.-Ing. Oliver Dreyer, Dr.-Ing. Hans Jürgen Kärcher

MT Mechatronics GmbH, Mainz, Deutschland

Sonnenteleskop ATST

1. Das amerikanische Sonnenteleskop ATST

- ATST (Advanced Technology Solar Telescope)
- Standort: Maui, Haleakalā, Hawaii
- Inbetriebnahme voraussichtlich 2018
- Größte Sonnenteleskop weltweit
Spiegeldurchmesser 4m
- Projektion durch AURA (Association of Universities for Research in Astronomy)



*Renders courtesy of Tom Kekona,
K.C. Environmental, Inc., National Solar Observatory*

1. Das amerikanische Sonnenteleskop ATST

- Standort: Maui, Haleakalā, Hawaii
- Neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu Fragestellungen wie:

Wie entstehen kosmische Magnetfelder und wie werden sie wieder abgebaut?

Welche Mechanismen stehen hinter den periodischen Veränderungen der Sonnenaktivität?



*Renders courtesy of Tom Kekona,
K.C. Environmental, Inc., National Solar Observatory*

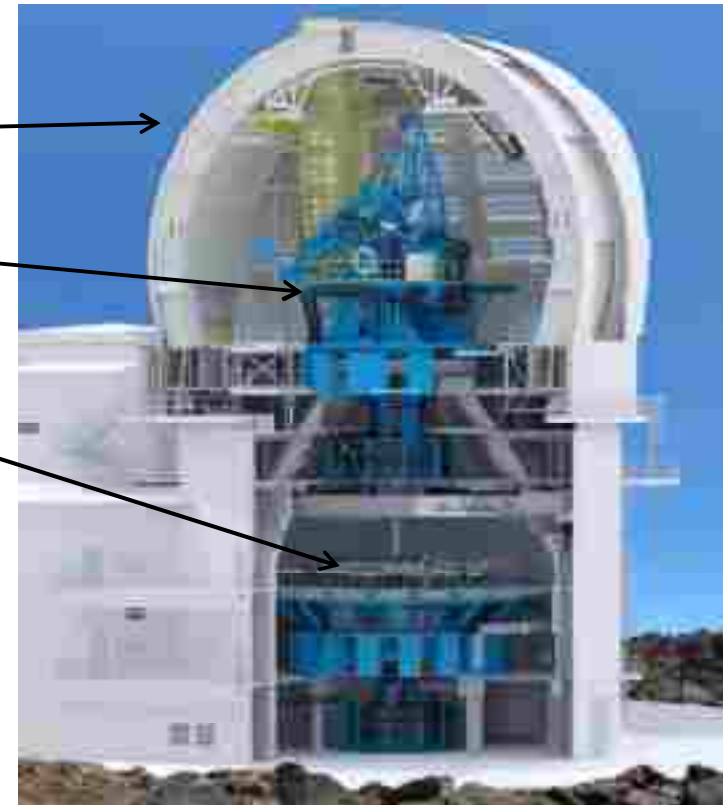
1. Das amerikanische Sonnenteleskop ATST

Hauptstrukturen

Enclosure

Telescope Mount Structure

Coudé Rotator Structure



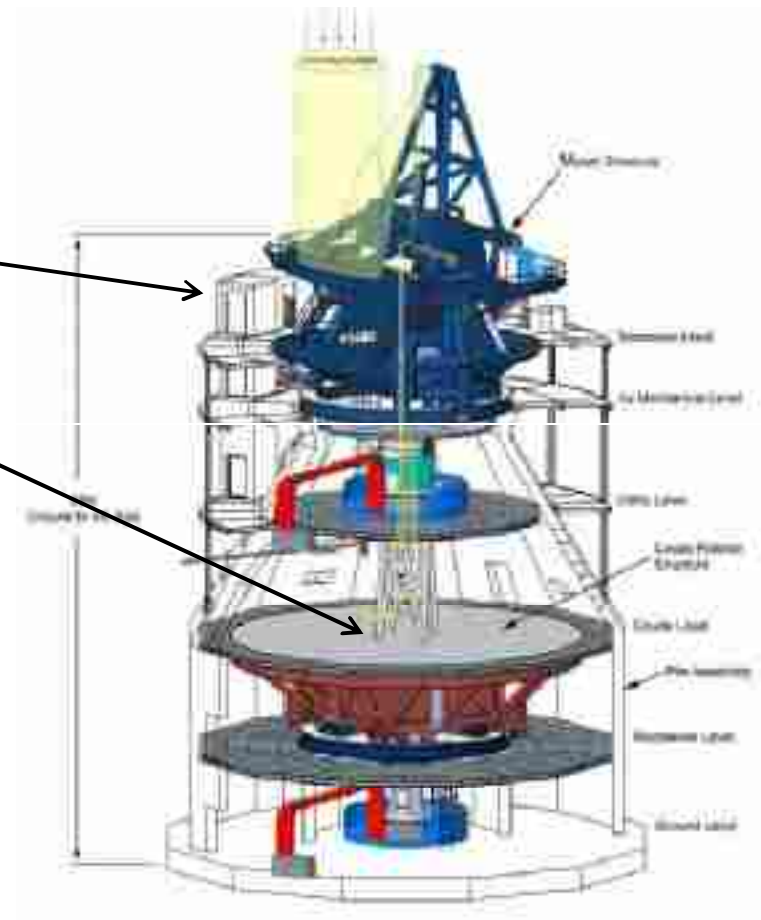
*Renders courtesy of Tom Kekona,
K.C. Environmental, Inc., National Solar Observatory*

1. Das amerikanische Sonnenteleskop ATST

Telescope Mount Assembly

Telescope Mount Structure

Coudé Rotator Structure



*Telescope Mount Assembly
courtesy of National Solar Observatory*

2. Sonnenteleskope

- Sonnenteleskop GREGOR
Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik, dem Astrophysikalischen Institut Potsdam, dem Institut für Astrophysik Göttingen, den Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung und weiteren Partnern
- Eines der größten und leistungsfähigsten Sonnenteleskope
- Spiegeldurchmesser 1,5m



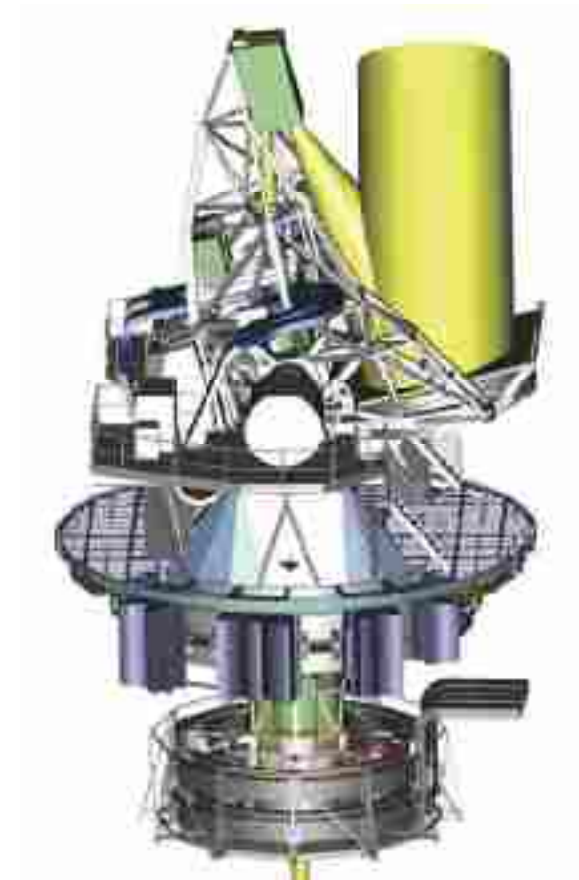
Freigegeben von KIS Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik



*Renders courtesy of Tom Kekona,
K.C. Environmental, Inc., National Solar Observatory*

2. Sonnenteleskope

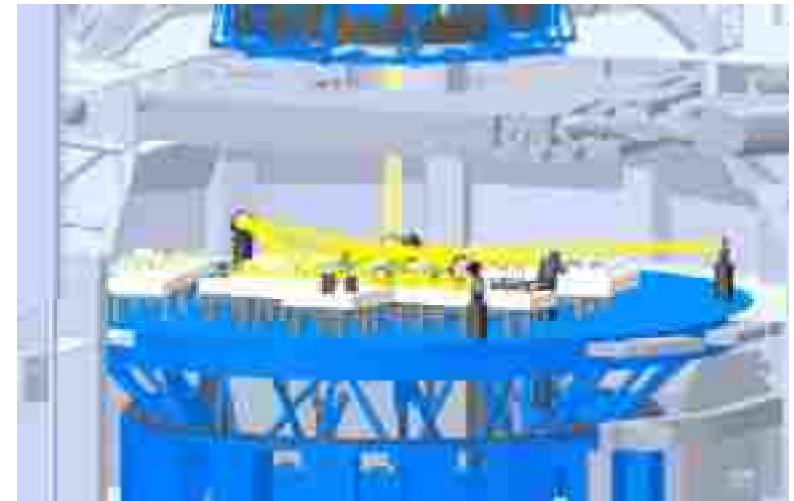
- Direkter Blick in Sonne → Hitzeproblematik
Aufheizung des Teleskopes
Flimmern der Luft im Strahlengang
- Früher: Führung des Strahlenganges durch
Vakuurröhren → Beschränkung der Apertur
auf 1m
- Heute: Änderung des Strahlenganges in
“Gregory“ Optik → Ausblendung eines großen
Teils des Sonnenlichtes im Primärfocus
- Größere Spiegelaperturen möglich
GREGOR, Teneriffa 1,5m
INDIEN, 2,5m in Planung
ATST, Hawaii 4,0m
EST, Europa 4,0m in Planung



*Telescope Mount Assembly
courtesy of National Solar Observatory*

2. Sonnenteleskope

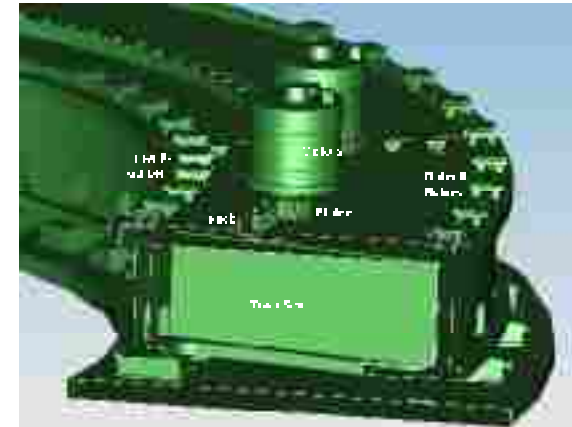
- Extremer Platzbedarf für Instrumente
- Interferometrische Auswertesysteme im Systembrennpunkt unterhalb des Teleskops
- Abmessungen mehrere Meter (5m), Gewicht mehrere Tonnen (6t)
- Mitbewegen der Instrumente, um die Bildrotation beim Nachregeln der Erdbewegung zu kompensieren



*Coudé Rotator Structure
courtesy of National Solar Observatory*

3. Besonderheiten des ATST

- Optik: Spiegelgröße 4m
- Strukturgestaltung und die Antriebs- und Lagersysteme für die Azimuth-Achse ähnlich Bauart von Portalfräsmaschinen von Projektpartner Ingersoll
- Lagerung auf gekrümmten Linearführungen
- Weniger Energieverbrauch, Wartung, Schutzvorkehrungen



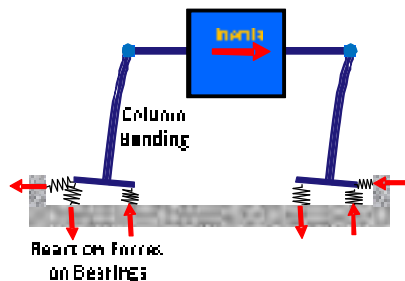
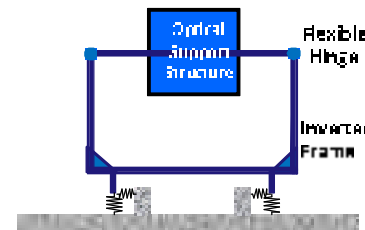
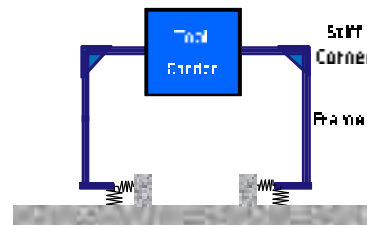
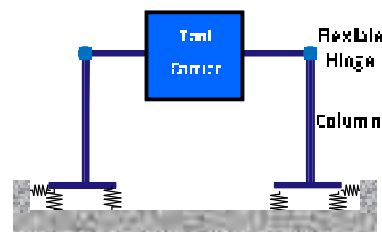
Antriebs- und Lagereinheit um Azimuth-Achse

3. Besonderheiten des ATST

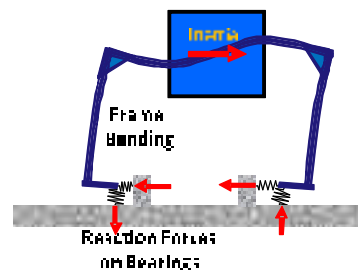
Lagerkonzepte und elastische Verhalten



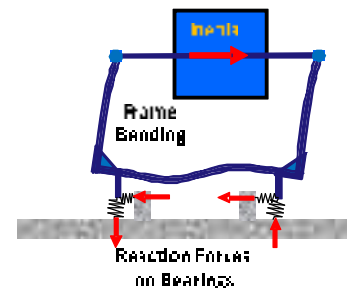
Tooling machine courtesy of Ingersoll



Movable cross beam



Fixed cross beam



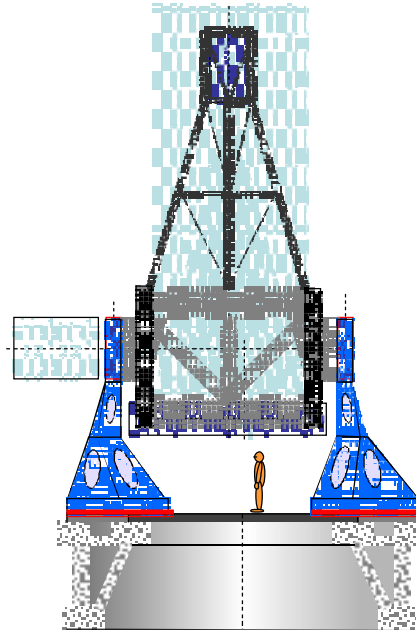
ATST reference design

4. ATST Tragstruktur

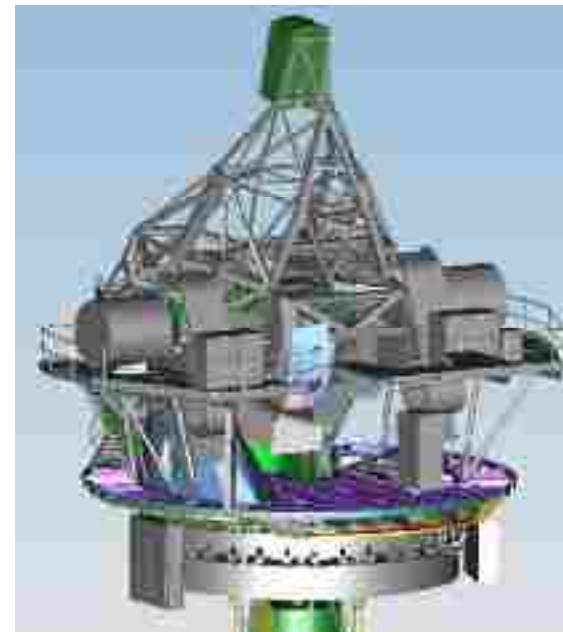
Strukturentwurf



Reference design



“Gantry”



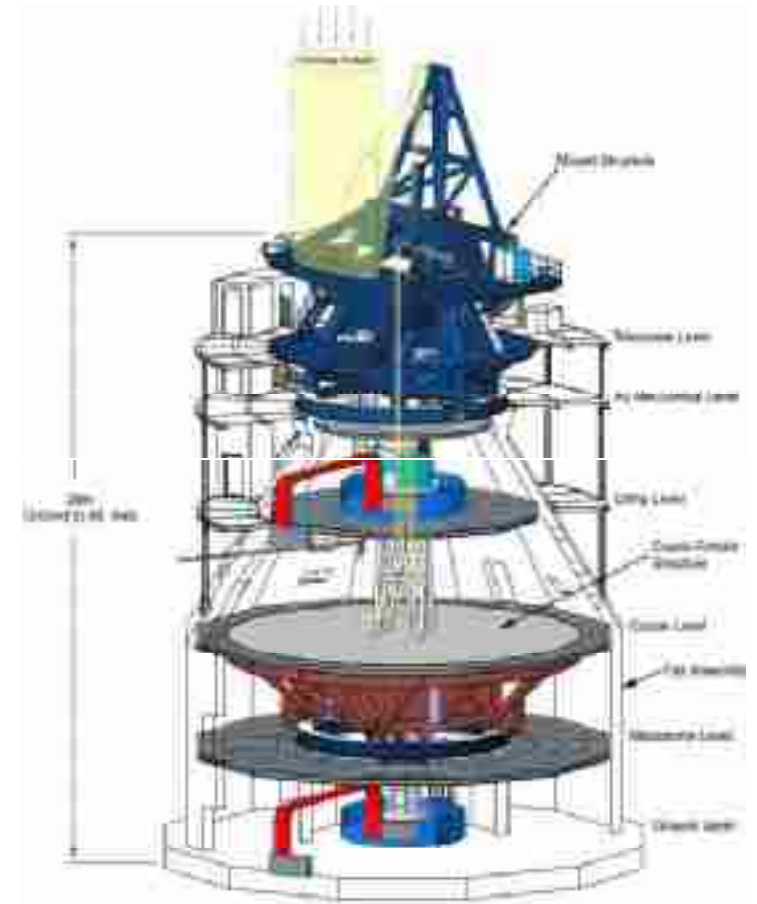
CAD model actual design

4. ATST Tragstruktur

- Definierte Bewegungsbahn um Altitude und Azimuth-Achse
- Optische Anforderungen bezüglich Bildbewegung in der Fokussierebene
- Pointingfehler aus quasistatischen Verformungen aus Achsen- und Lagerfehlern sowie aus Strukturdeformationen
- Jitterfehler beim Bewegen und Regeln der Tragstruktur beim Verfolgen der Sonne und Ausregeln von z.B. Winderregung

→

Anforderungen an statischen und dynamischen Steifigkeiten der Tragstrukturen

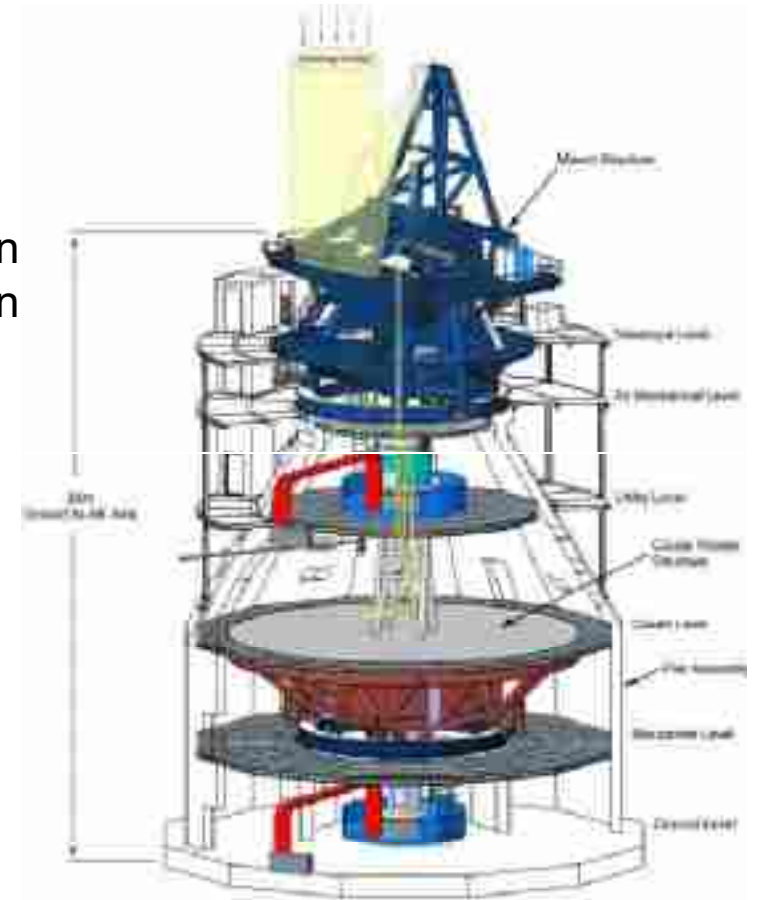


Telescope Mount Assembly
courtesy of National Solar Observatory

4. ATST Tragstruktur

Anforderungen:

- Größe der niedrigsten Eigenfrequenz
- Verformungen an Spiegelanbindungspunkten unter Eigengewicht, verschiedene Stellungen
- Verformungen an Instrumententischen unter Eigengewicht
- Verformungen unter Windlasten
- Verformungen unter Temperaturlasten
- Verformungen durch Bedienpersonal
- Nachweis Erdbebenlasten
- Maximale Beschleunigungen

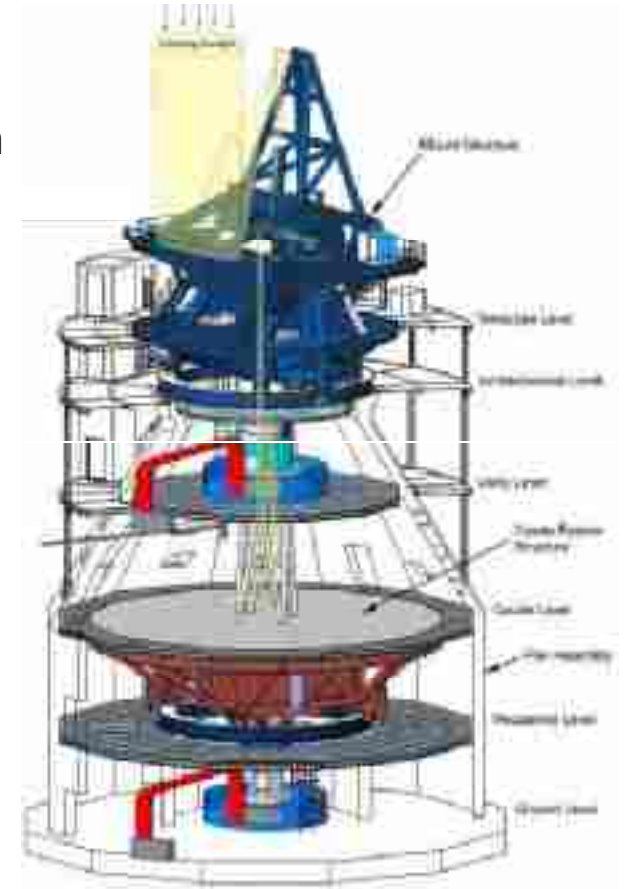


*Telescope Mount Assembly
courtesy of National Solar Observatory*

4. ATST Tragstruktur

Lastfälle:

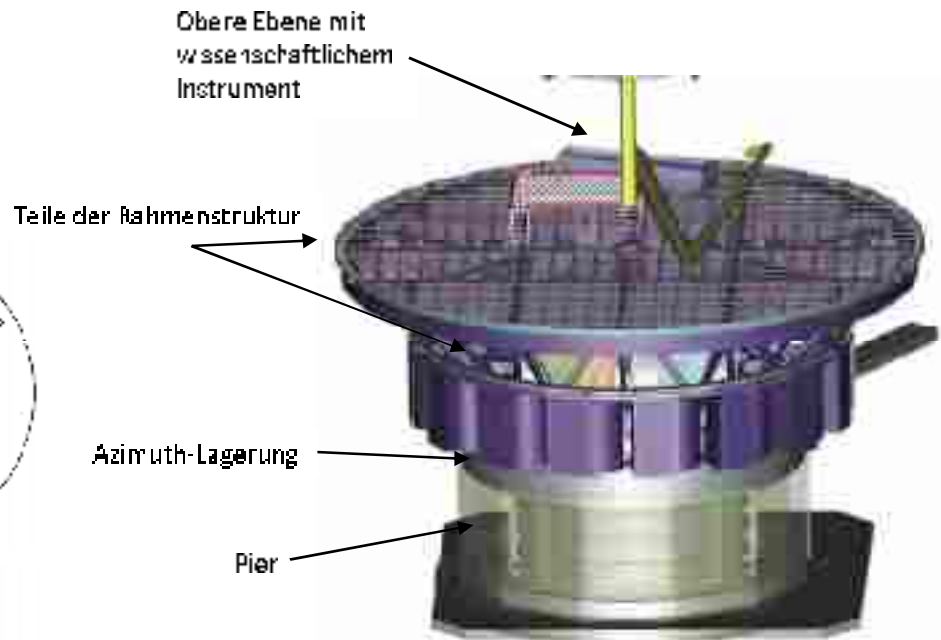
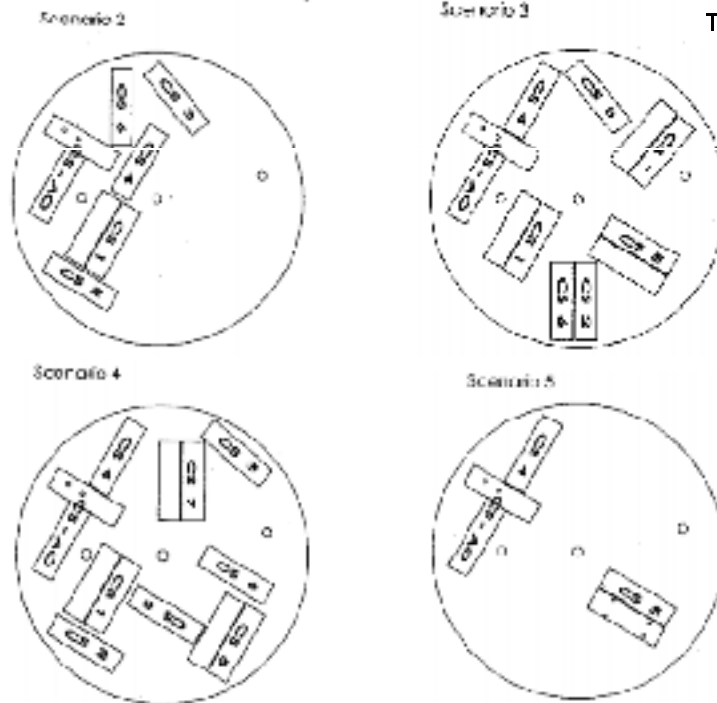
- Modalanalyse für verschiedene Teleskopstellungen
- Eigengewicht für verschiedene Teleskopstellungen
- Lasten für verschiedene Aufstellungsszenarien
- Verformungen unter Windlasten
- Optimierung des Gewichtes
- Verformungen unter Temperaturalasten
- Nachweis Erdbebenlasten
- Nachweis wechselnder Personenlasten
- Reibmomente auf Laufschienen
- Auswirkung von Nivellierungsfehlern
- Lokalen Temperaturerhöhungen durch den Antrieb
- Auswirkung von variierenden Lagersteifigkeiten
- Falltest Werkzeug auf Spiegelabdeckung



*Telescope Mount Assembly
courtesy of National Solar Observatory*

5. Coudé Rotator Structure

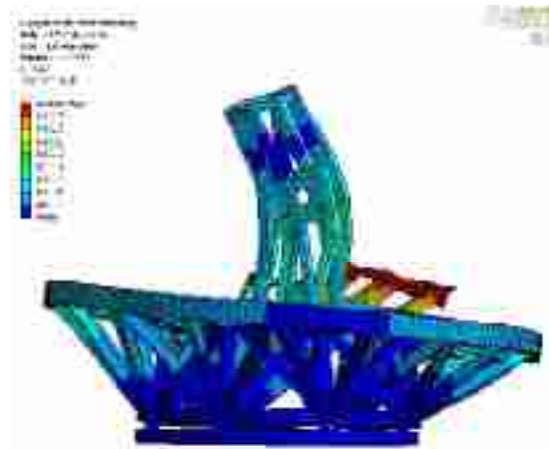
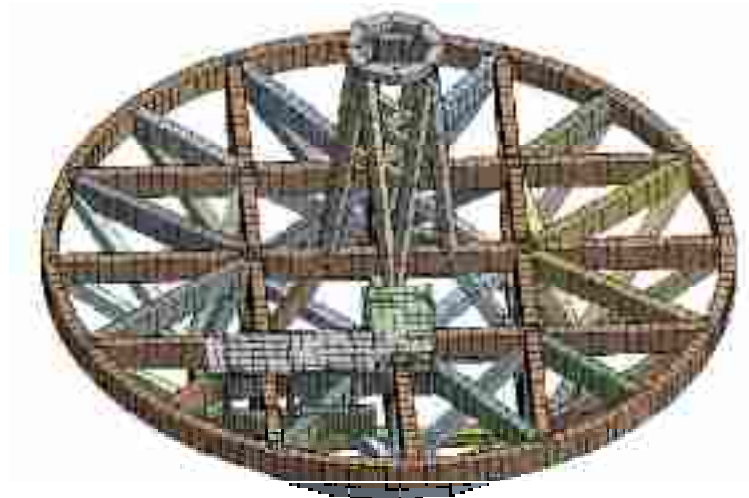
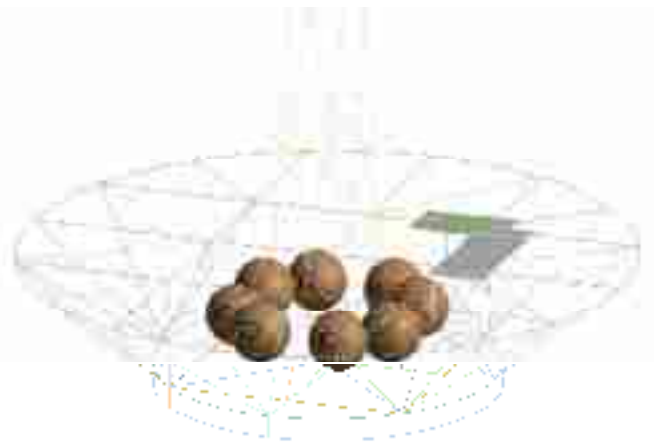
- Lagerung und Bewegung der optischen Spiegel M7-M9
- Lagerung und Bewegung der wissenschaftlichen Instrumente



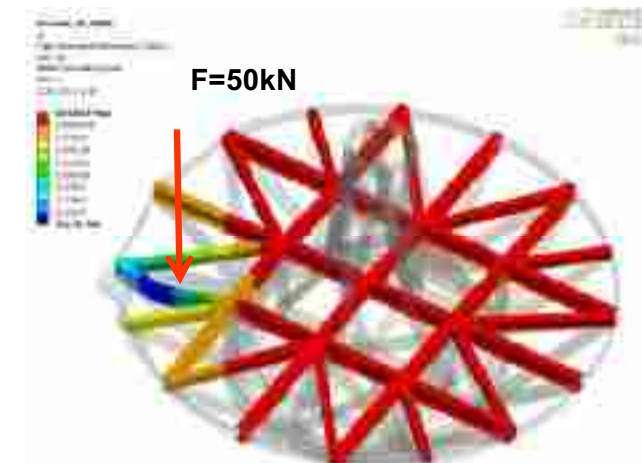
*Coudé Rotator Structure
courtesy of National Solar Observatory*

5. Coudé Rotator Structure

Entwicklung Struktur und FE-Modell



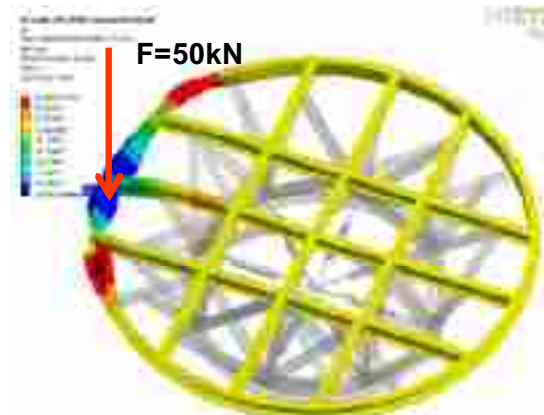
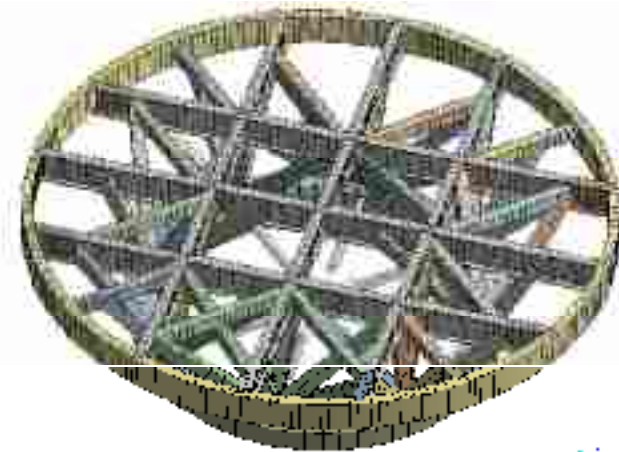
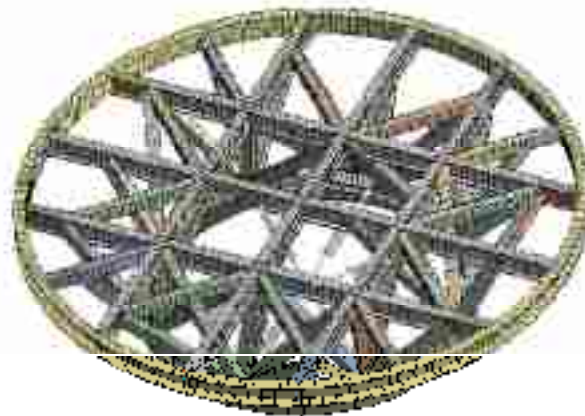
Modalanalyse



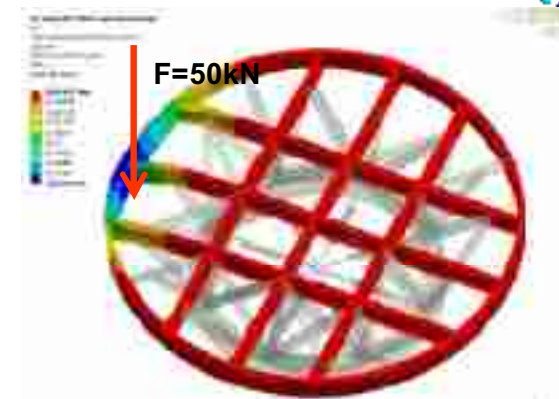
Instrumentengewicht $|u_z|_{\max} = 179 \mu\text{m}$

5. Coudé Rotator Structure

Entwicklung Struktur und FE-Modell



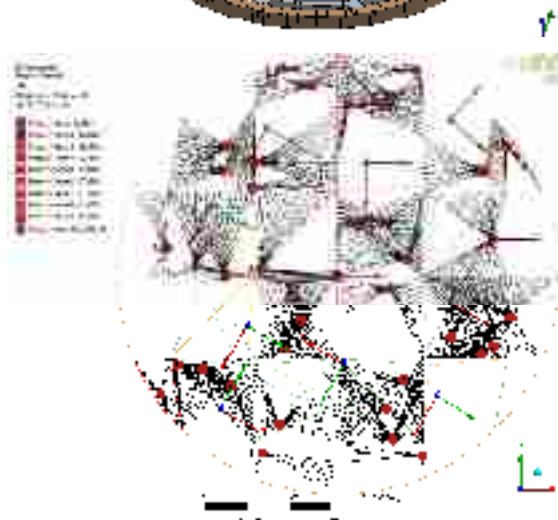
Instrumentengewicht $|u_z|_{\max} = 570 \mu\text{m}$



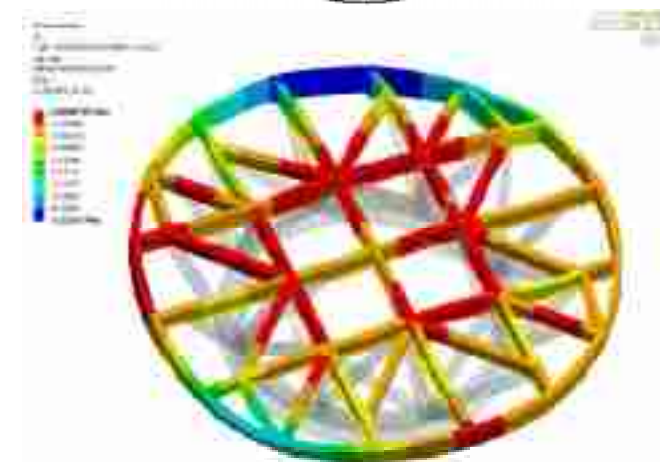
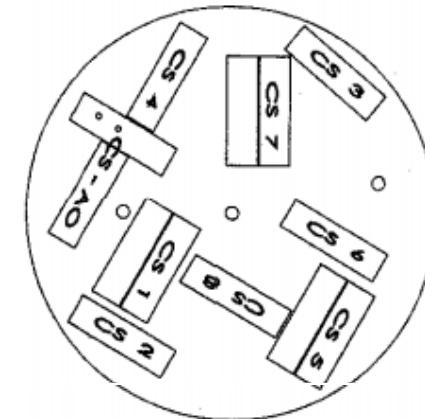
Instrumentengewicht $|u_z|_{\max} = 247 \mu\text{m}$

5. Coudé Rotator Structure

Entwicklung Struktur und FE-Modell



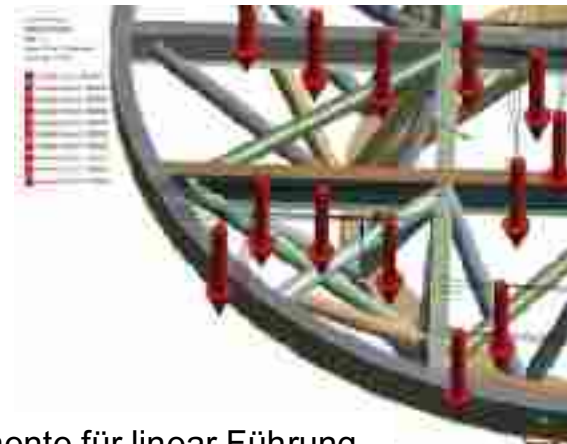
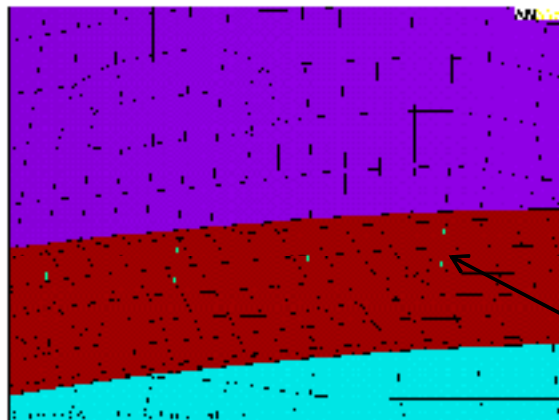
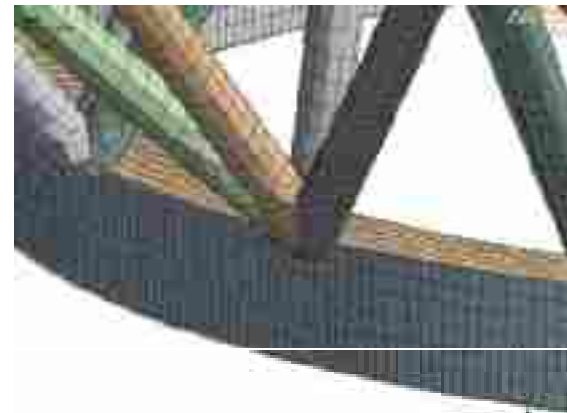
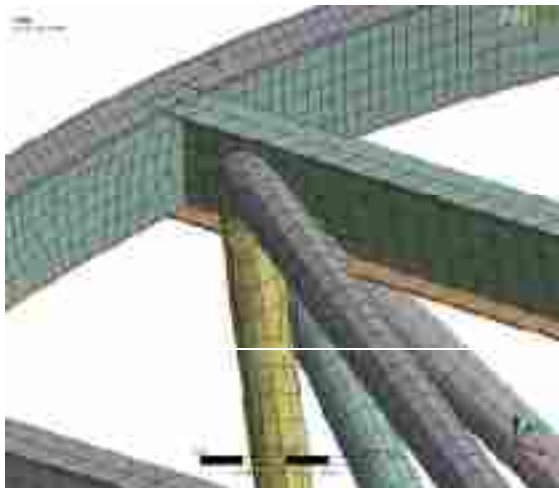
Scenario 4



Instrumentengewicht $|u_z|_{\max} = 255 \mu\text{m}$

5. Coudé Rotator Structure

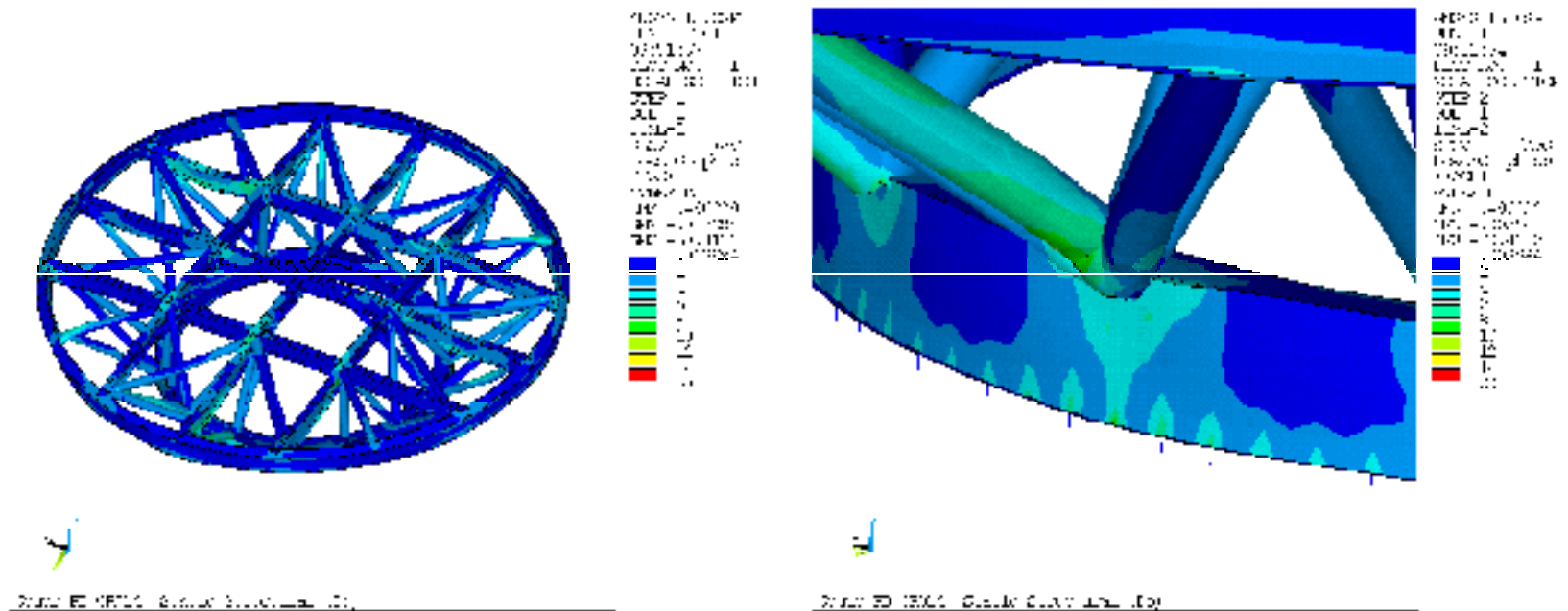
Entwicklung Struktur und FE-Modell



Federelemente für linear Führung

5. Coudé Rotator Structure

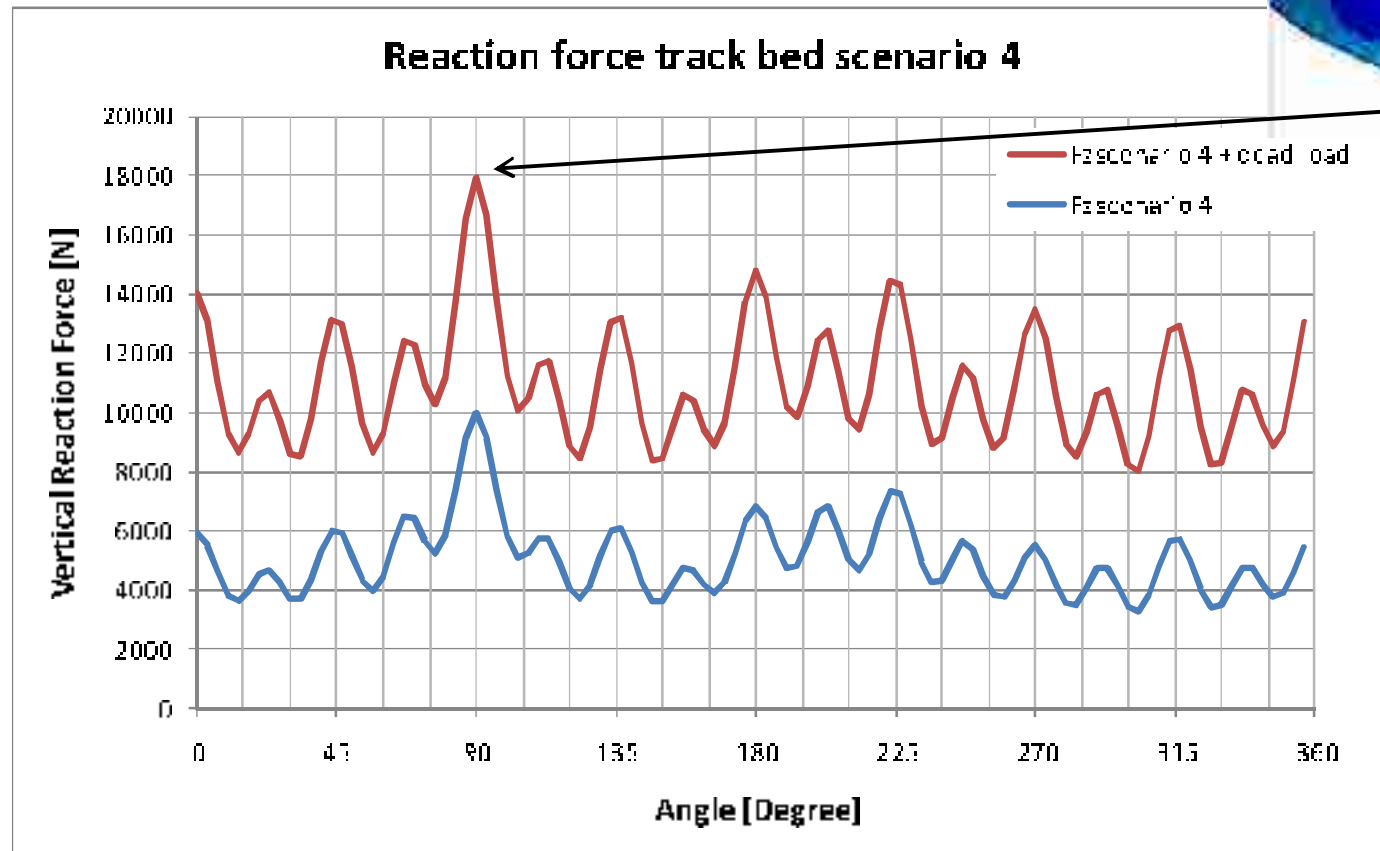
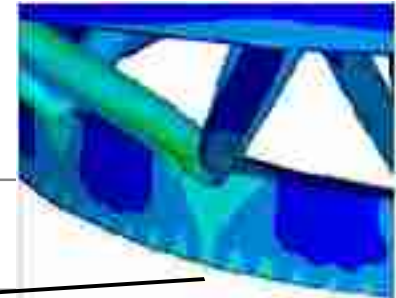
Entwicklung Struktur und FE-Modell



Spannungen für Lastfall Eigengewicht und Instrumentenlast

5. Coudé Rotator Structure

Entwicklung Struktur und FE-Modell



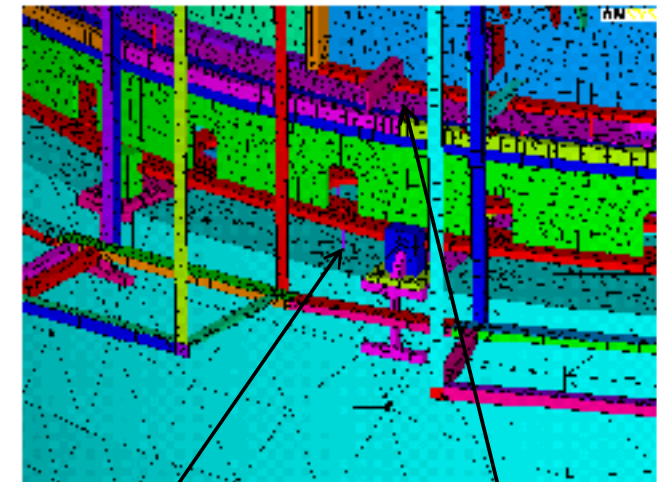
Reaktionskräfte an Linearführungen unter Eigengewicht und Instrumentenlast

5. Coudé Rotator Structure

Entwicklung Struktur und FE-Modell



Gesamtmodell



Fixatoren

Linearführungen

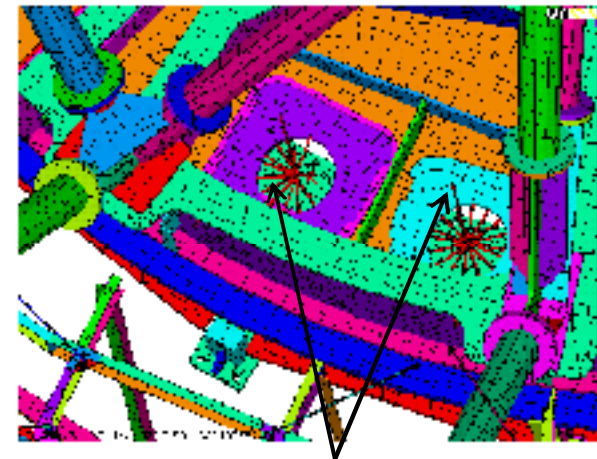
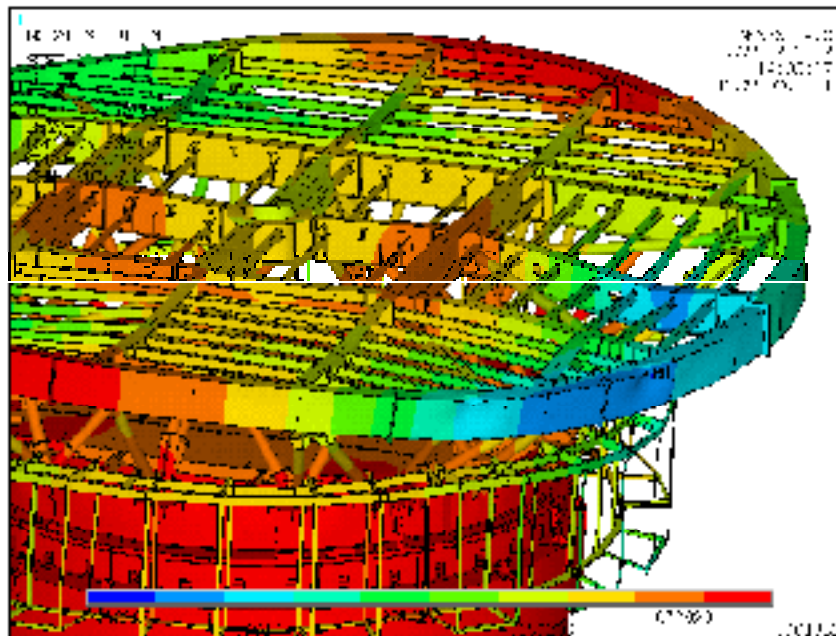


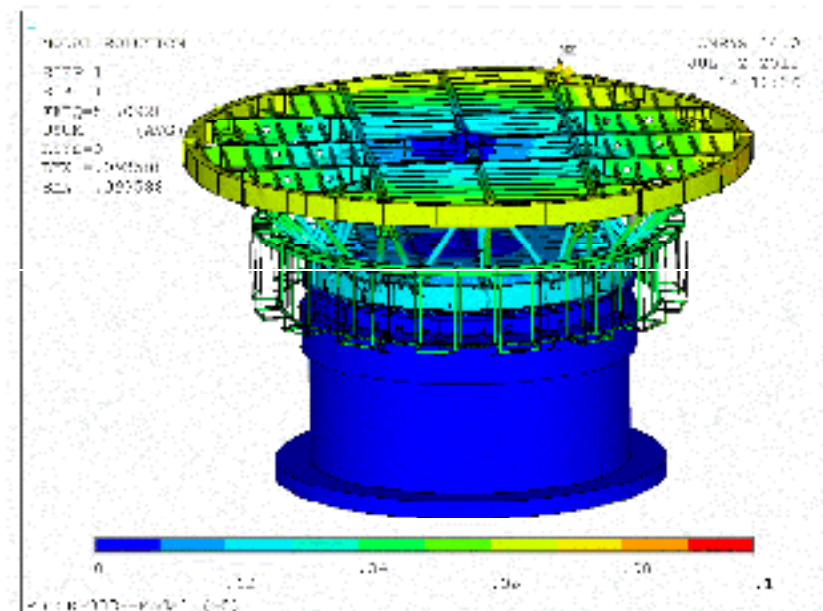
Abbildung Stellmotoren

5. Coudé Rotator Structure

Entwicklung Struktur und FE-Modell

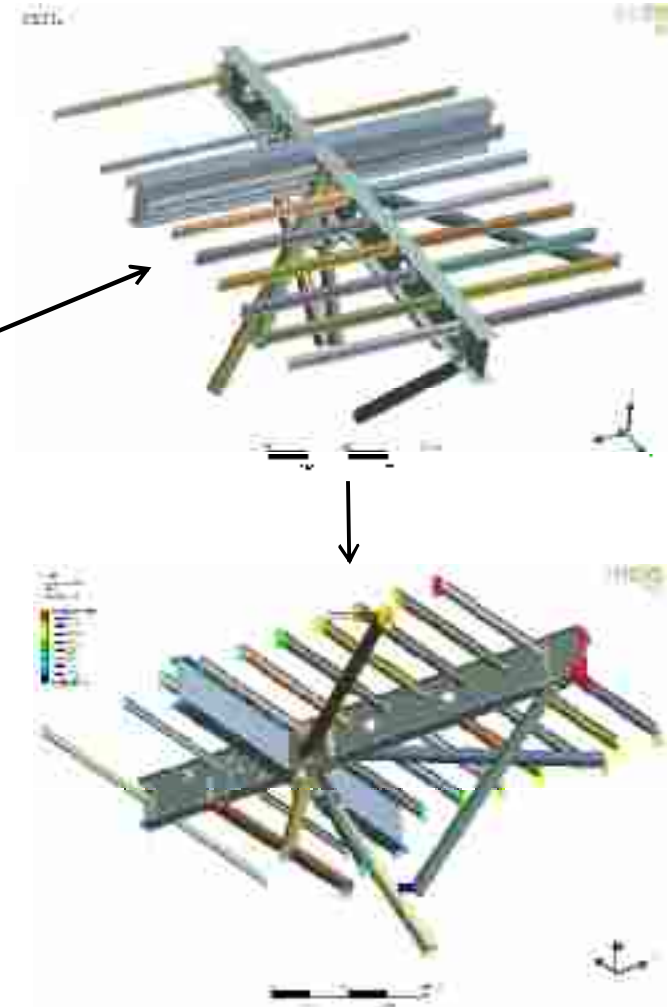
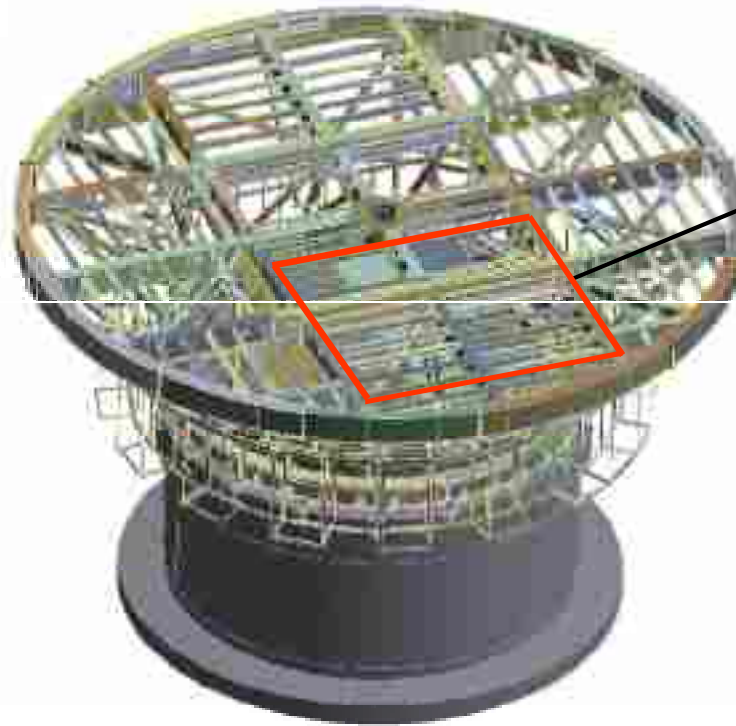


Verformung unter Eigengewicht und
Instrumentenlast

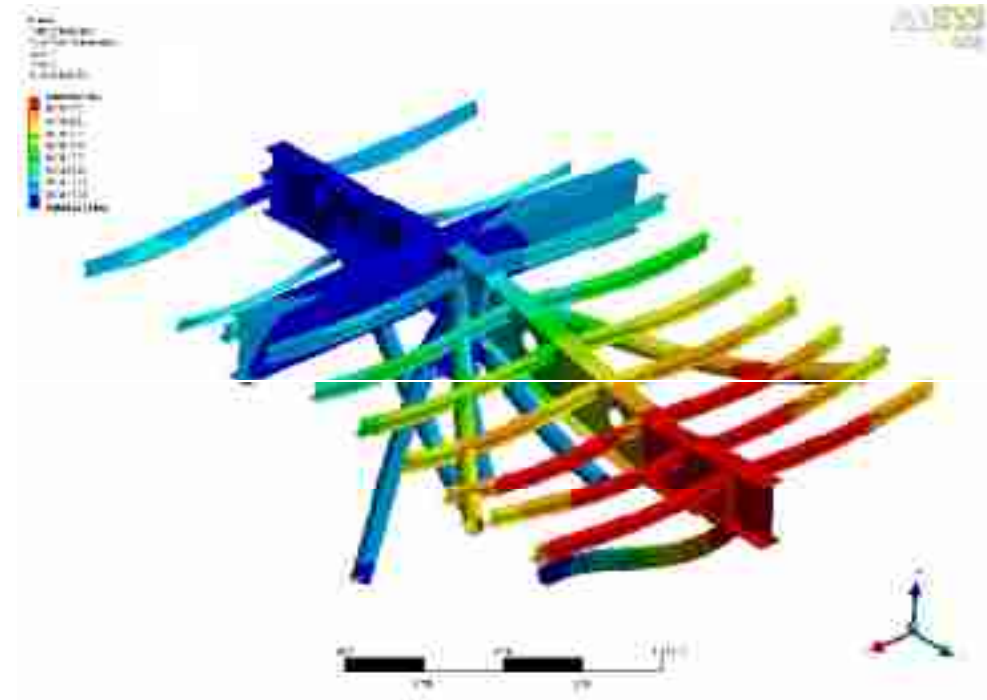
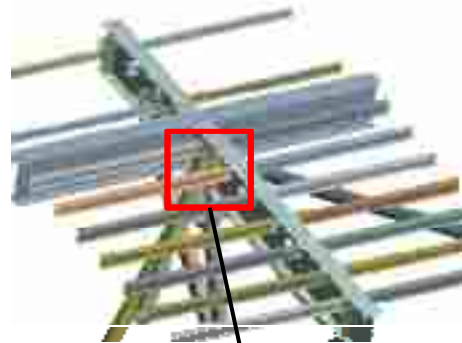


Modalanalyse 1. Eigenform

5. Coudé Rotator Structure Submodell

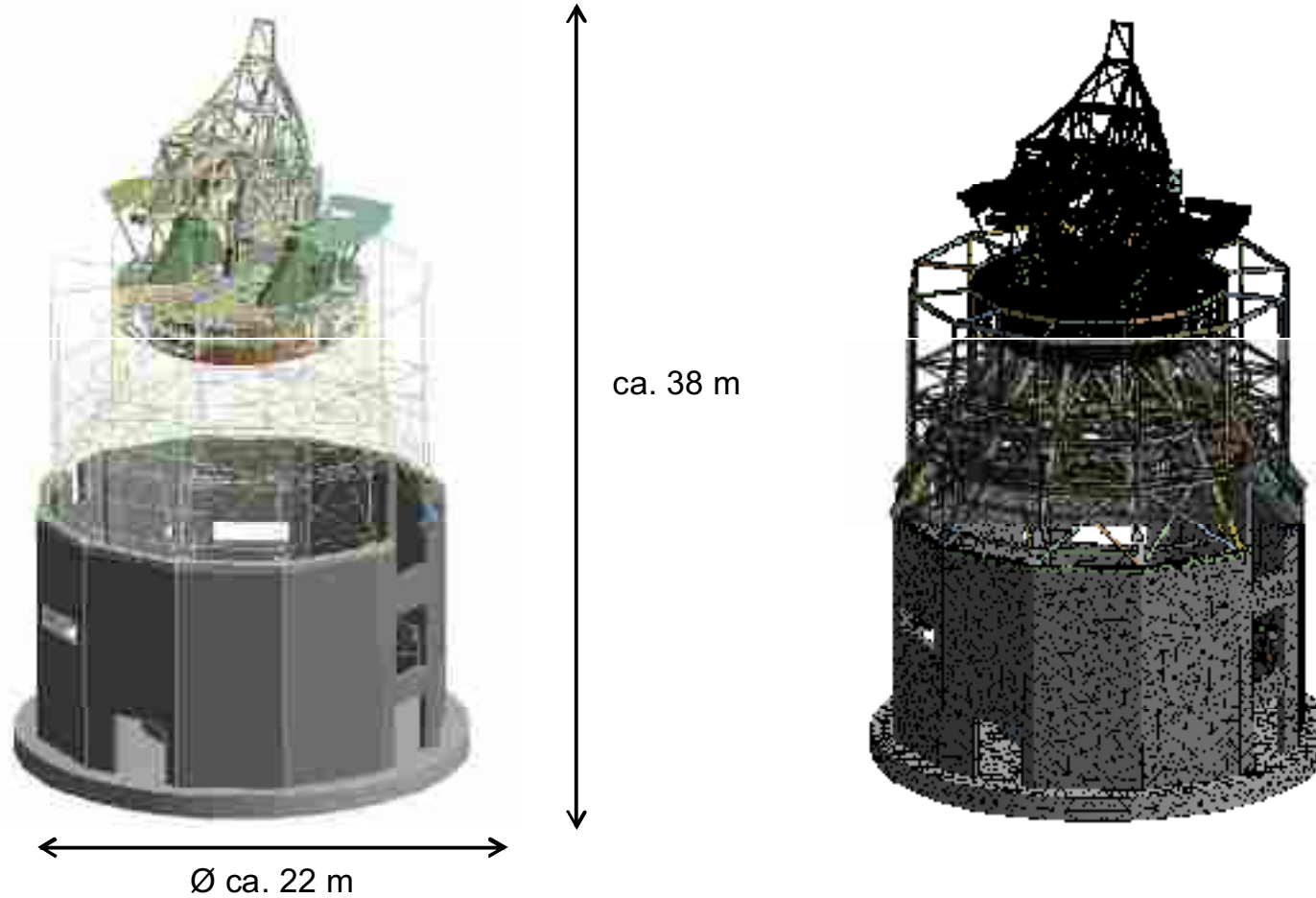


5. Coudé Rotator Structure Submodell



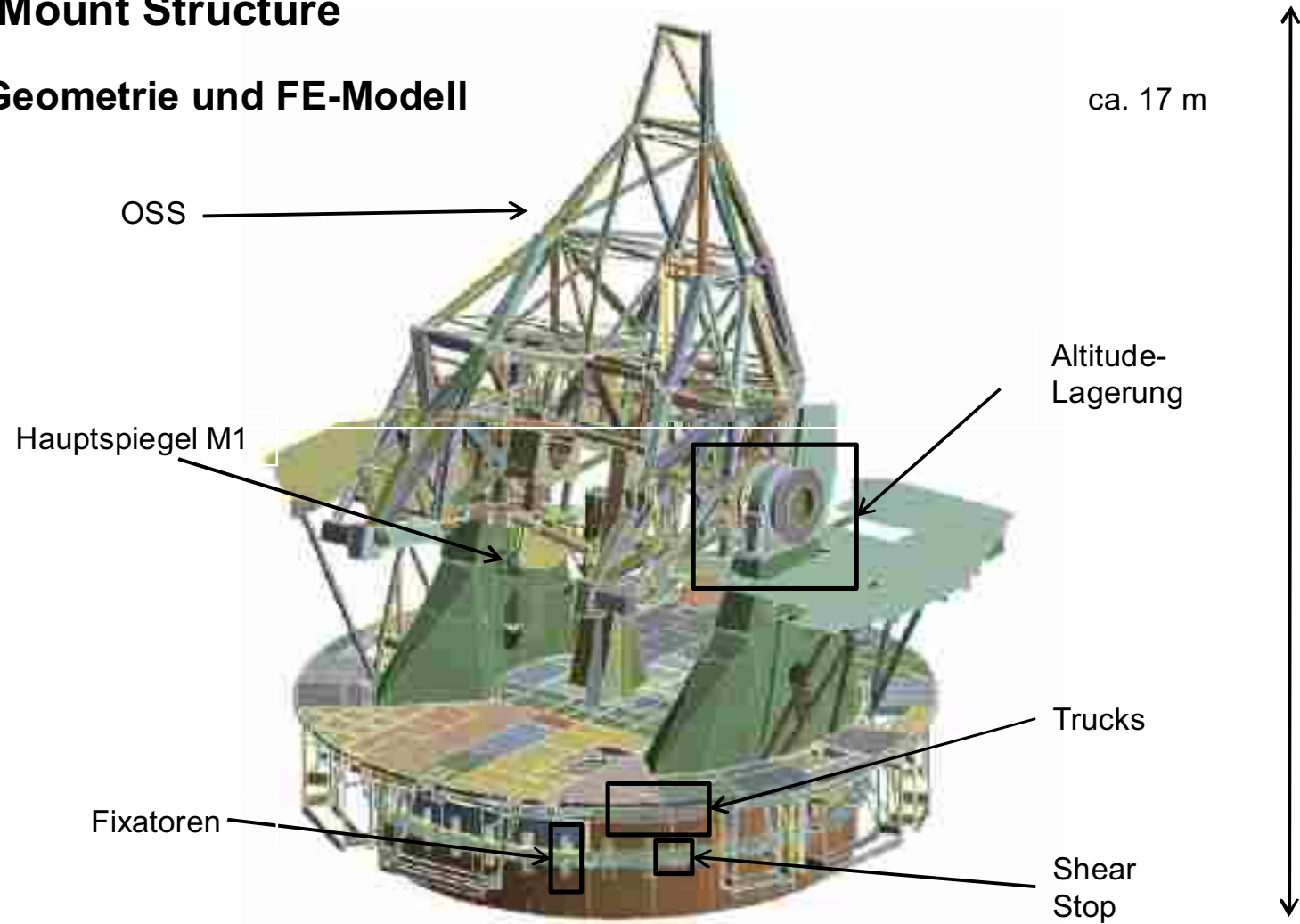
6. Mount Structure

Geometrie und FE-Modell



6. Mount Structure

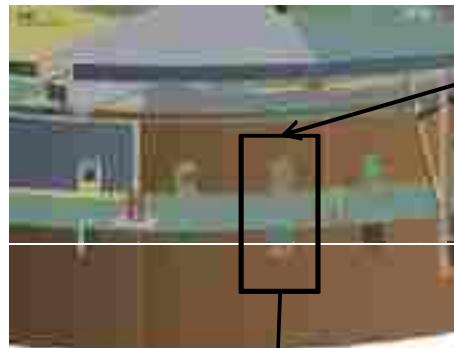
Geometrie und FE-Modell



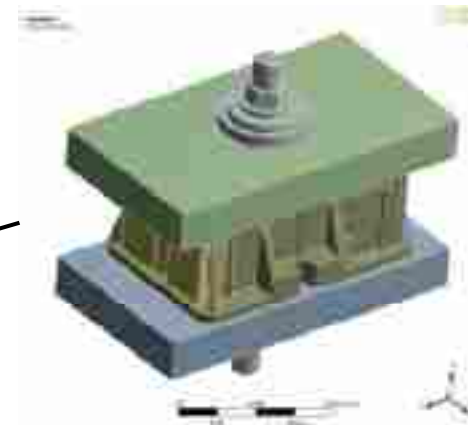
6. Mount Structure

Geometrie und FE-Modell

– Abbildung Fixatoren



Fixator



Detailmodell des Fixators

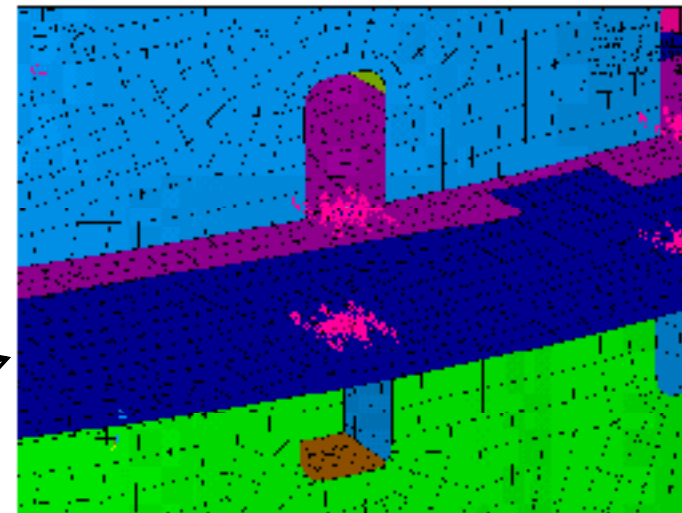
Definition des Matrix-Elementes mit Steifigkeitsmatrix des Fixators aus Detailmodell.

```

et,id,27          ! Matrix27-Element
KEYOPT,id,1,0    ! Input positive or zero definite matrices only
KEYOPT,id,2,0    ! Symmetric matrices
KEYOPT,id,3,4    ! Defines a 12 x 12 stiffness matrix
KEYOPT,id,4,1    ! Print element matrix at beginning of solution phase

R,id,4570455507.373,-507468.3145944,-931561564.1248,-196594.3266108,-258125709.0018,1422350.643678,
RMORE,-4570455507.376,507468.3067797,931561564.1112,73604.36037549,-643200574.993,-1442136.522466,
RMORE,3260863272.44,-20973984.73797,192230411.6809,1334872.493631,-28180697.82886,507468.3121846,
RMORE,-3260863272.428,20973984.7416,450736720.8469,-1245411.525166,28076111.81947,10535726581.38,
RMORE,-6978770.759274,76305372.31053,-979311.6369378,931561564.2301,20973984.74815,-10535726581.3,
RMORE,2861235.562748,107582118.8535,994679.4671608,40055539.72009,290480.2010703,-1197576.62626,
RMORE,196594.3262045,-192230411.682,6978770.759268,-2152364.855112,-249265.5213831,1191094.504295,
RMORE,32434205.29539,-75499.55843984,258125709.0021,-1334872.492845,-76305372.31031,-24215.34446128,
RMORE,18483261.42862,78035.9364621,24581246.13898,-1422350.643639,28180697.82918,979311.637067,
RMORE,-4345533.969457,-203453.5325272,-24570293.96272,4570455507.38,-507468.3061309,-931561564.2134,
    
```

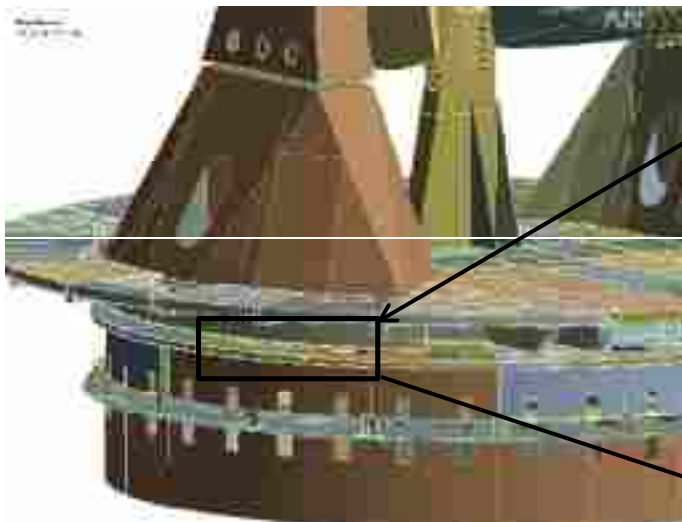
Umsetzung im FE-Modell, CE's zur Lastverteilung



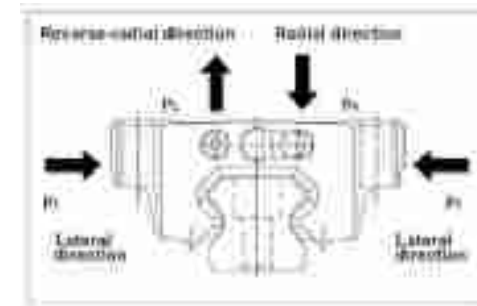
6. Mount Structure

Geometrie und FE-Modell

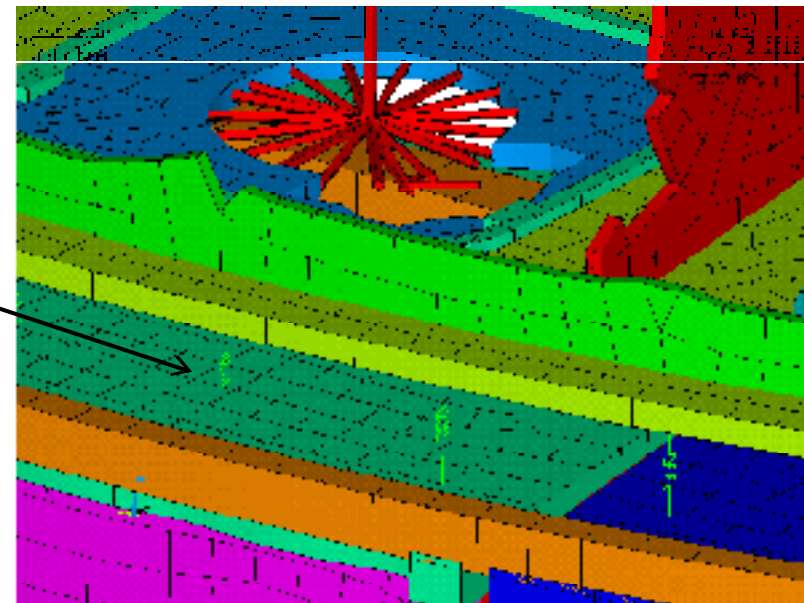
– Abbildung Trucks



Trucks als Azimuth-Lagerung



Umsetzung im FE-Modell mittels radial und vertikal wirkender Federn mit den Federsteifigkeiten der Trucks.

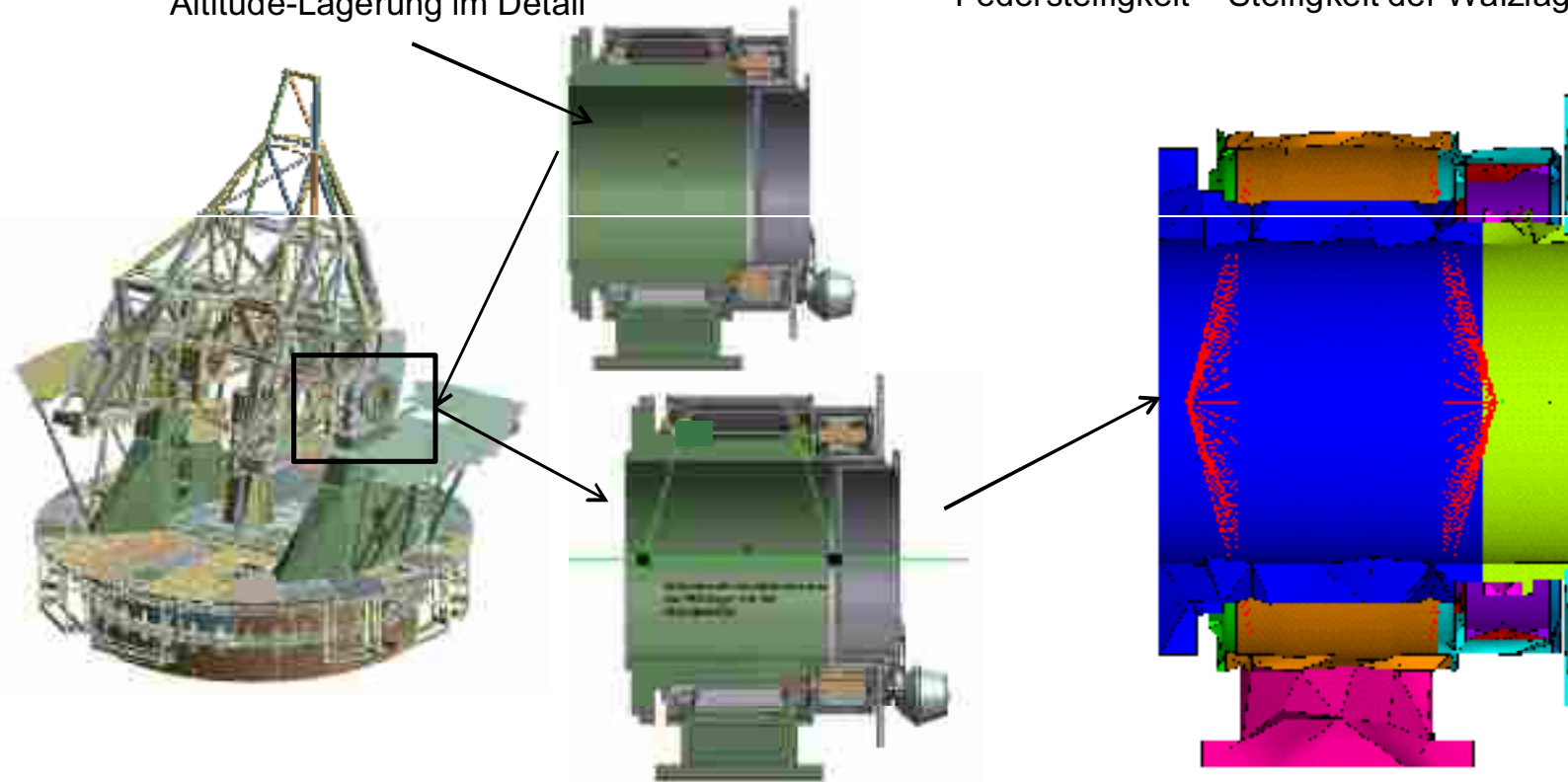


6. Mount Structure

Geometrie und FE-Modell

– Abbildung Altitude-Lagerung

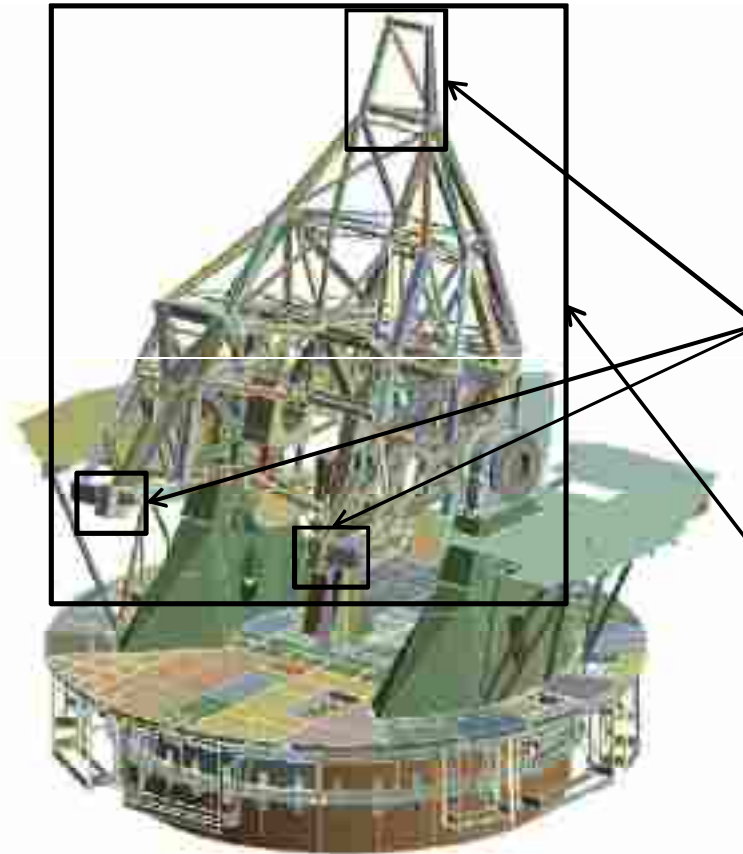
Altitude-Lagerung im Detail



Umsetzung im FE-Modell mittels Balkensterne. Mittelpunkte der Balkensterne mit Federn verbunden; Federsteifigkeit = Steifigkeit der Wälzlager.

6. Mount Structure

Gewichtsoptimierung OSS



Ziel: Reduktion der Masse bei gleichzeitiger Verringerung der Verformungen und Erhöhung der ersten Eigenfrequenz.

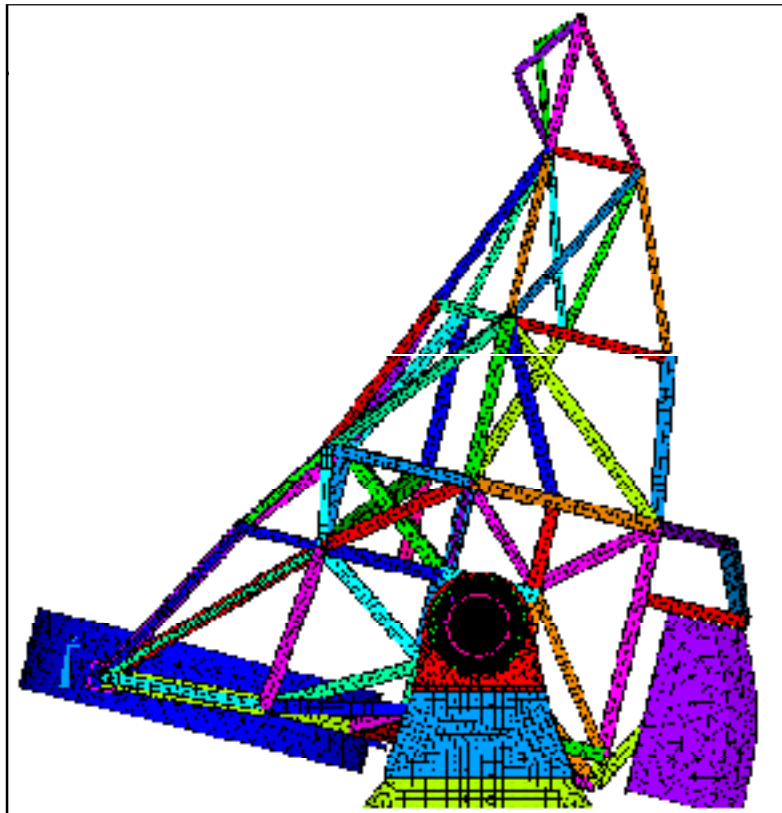
Restriktionen:

- niedrigste zulässige Eigenfrequenz
- maximal zulässige Verformungen

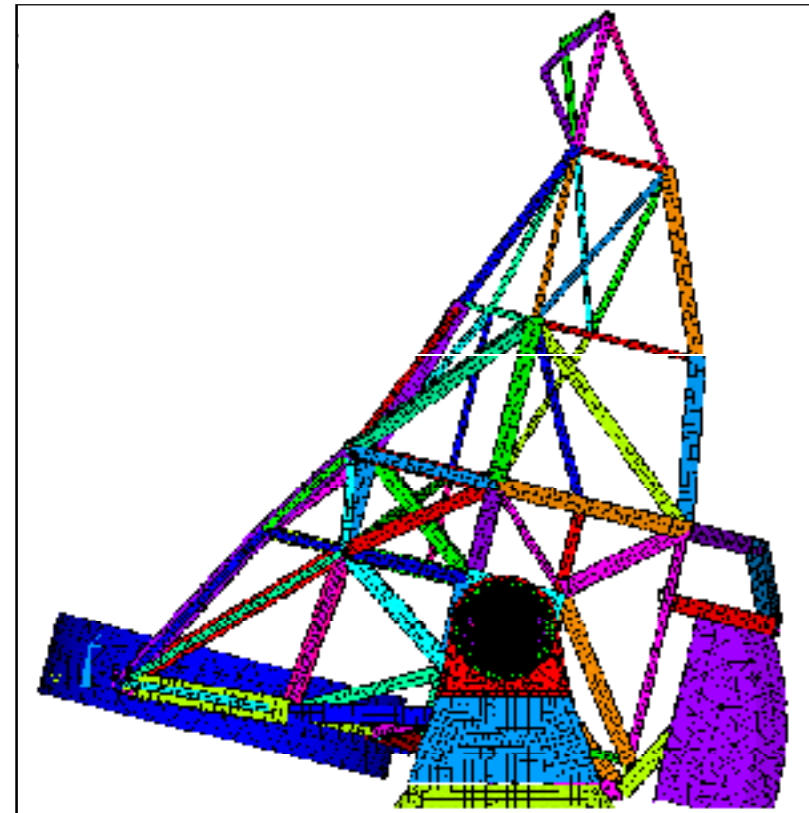
Zu optimierende Struktur mit dem Verfahren der Parameteroptimierung.

6. Mount Structure

Gewichtsoptimierung OSS



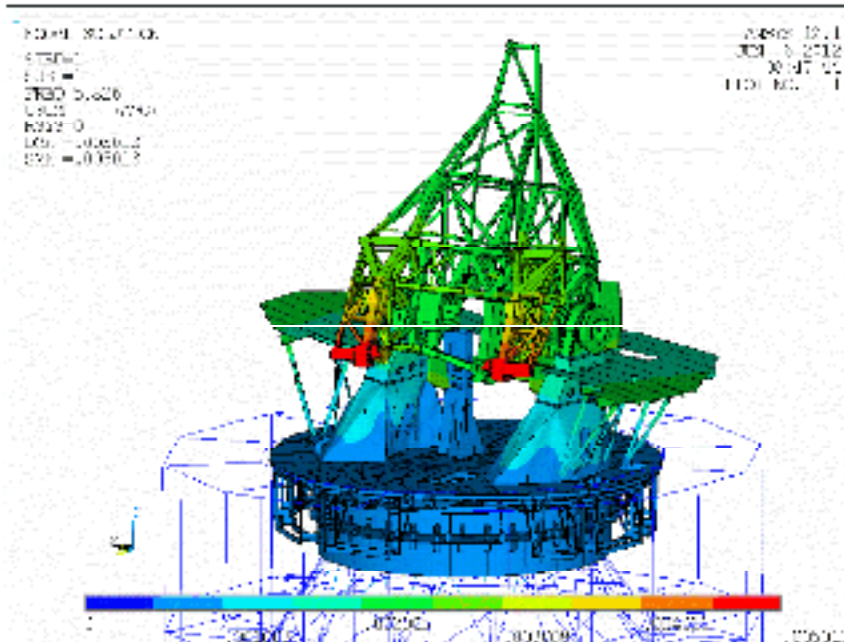
Profilquerschnitte der OSS vor der Optimierung



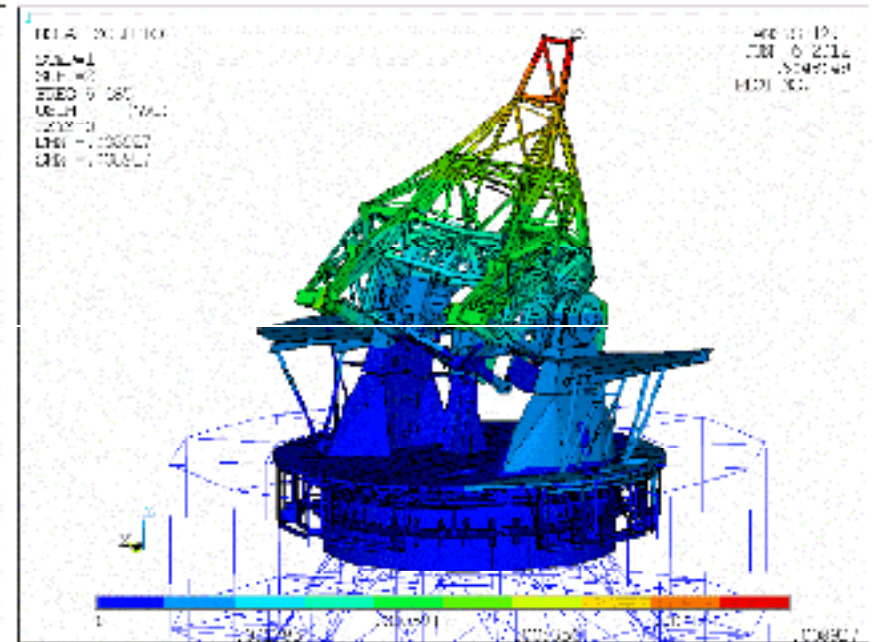
Profilquerschnitte der OSS nach der Optimierung

6. Mount Structure

Modalanalyse



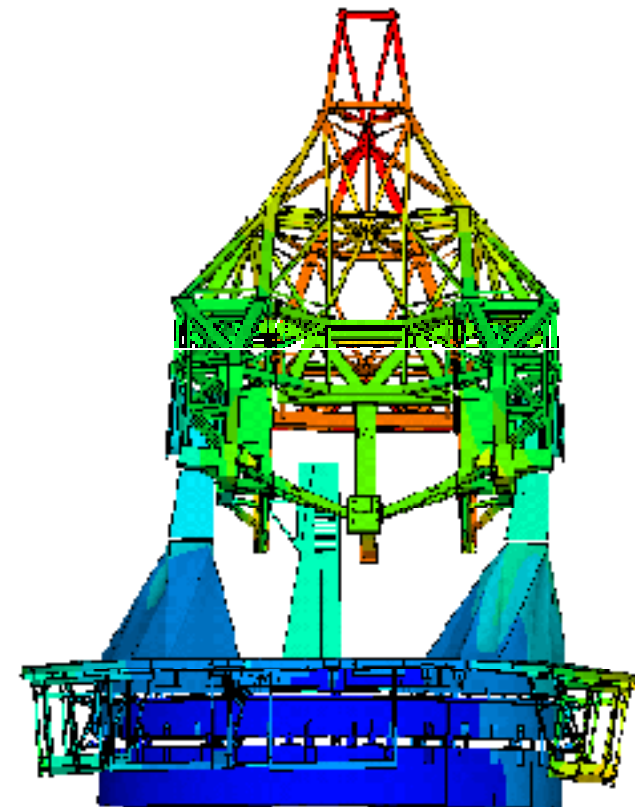
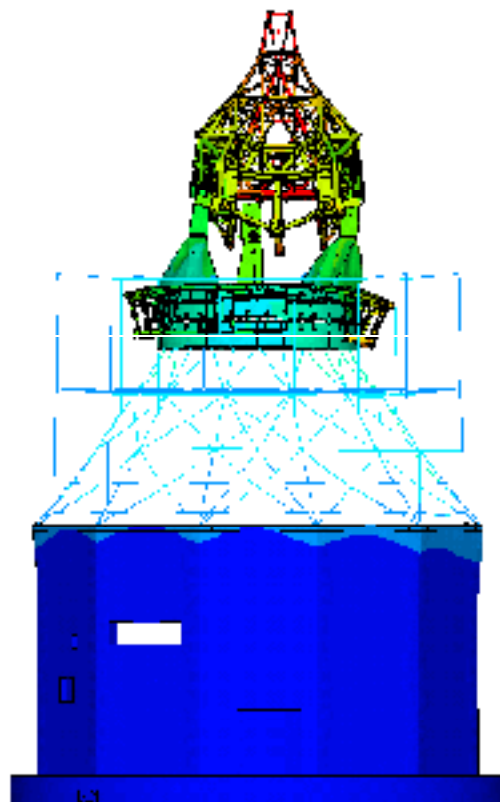
Querschwingung



Nicken um Altitude-Achse

6. Mount Structure

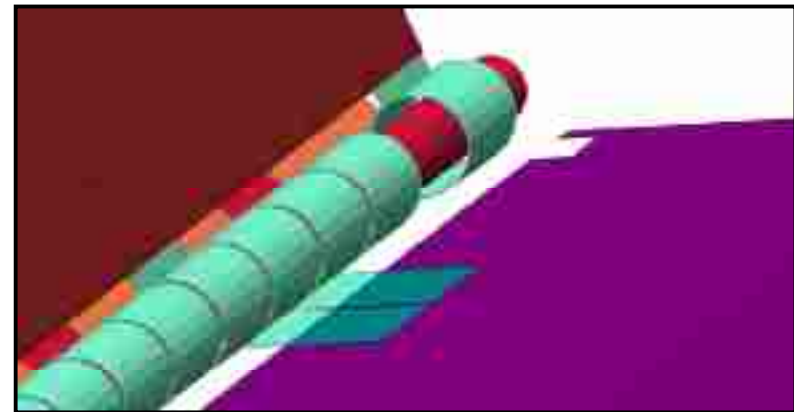
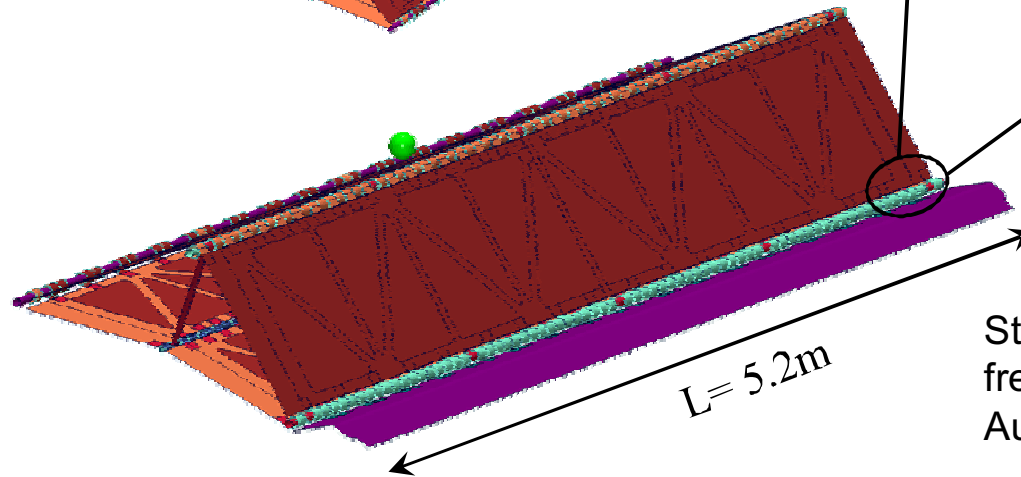
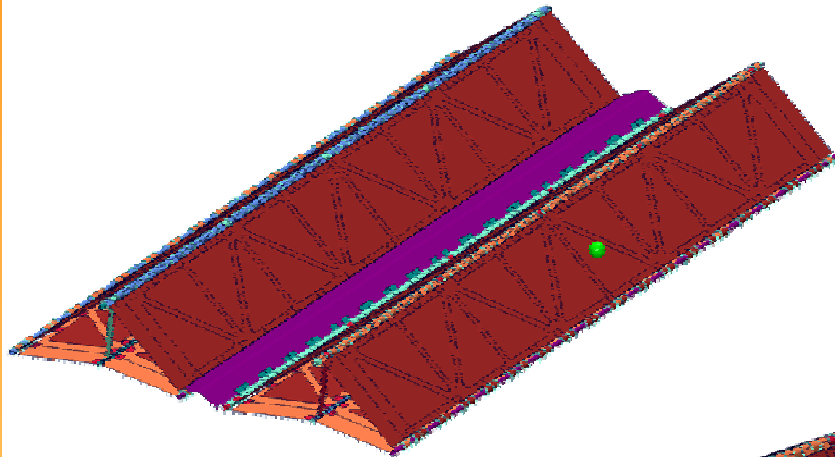
Statische Analyse



Verformungen unter Eigengewicht

7. Mirror Cover

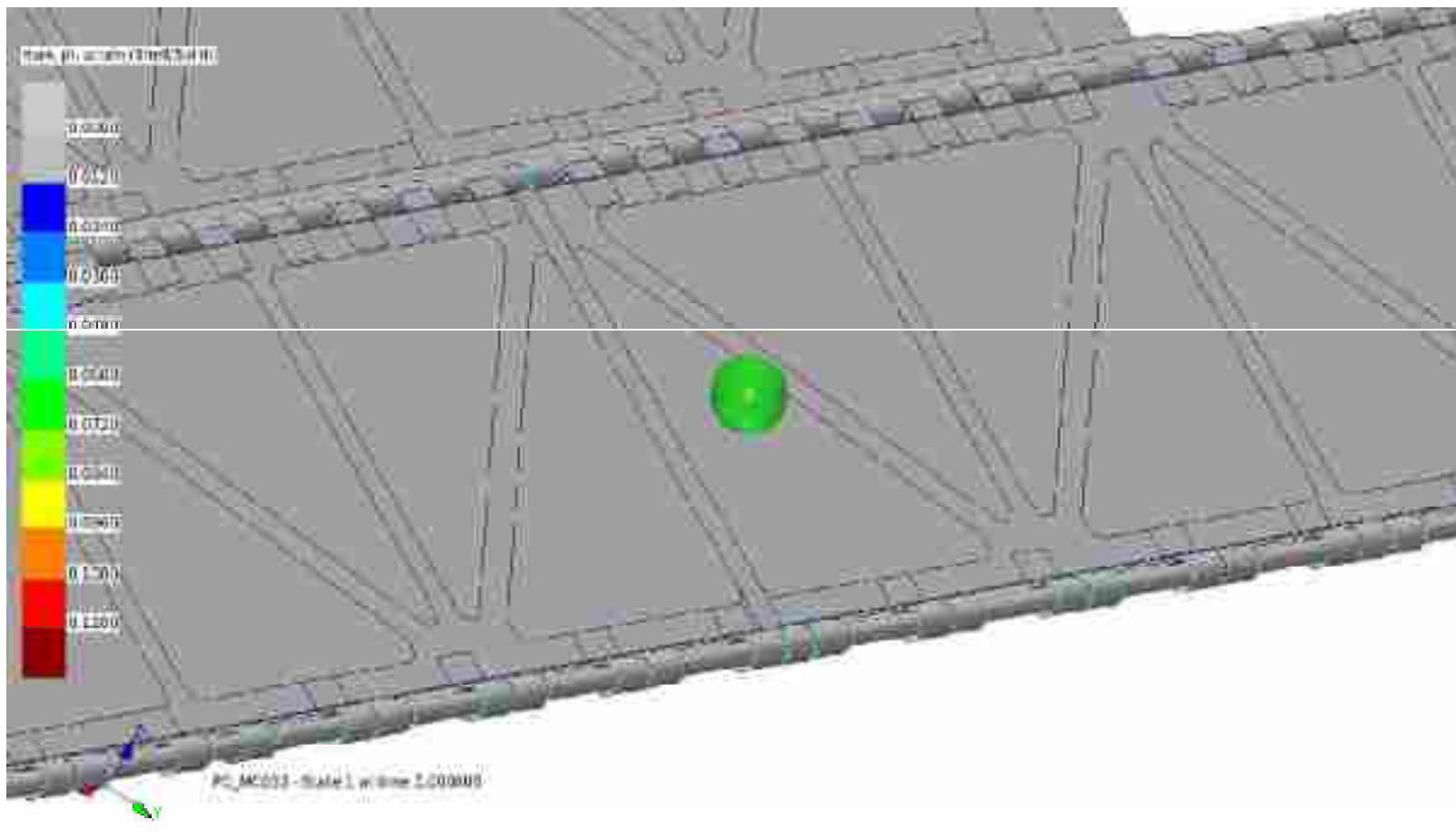
Mirror Cover Falltest Werkzeug



Starre Kugel mit Masse 2.5kg
freier Fall aus 15m Höhe
Aufprallgeschwindigkeit ca. 62 km/h

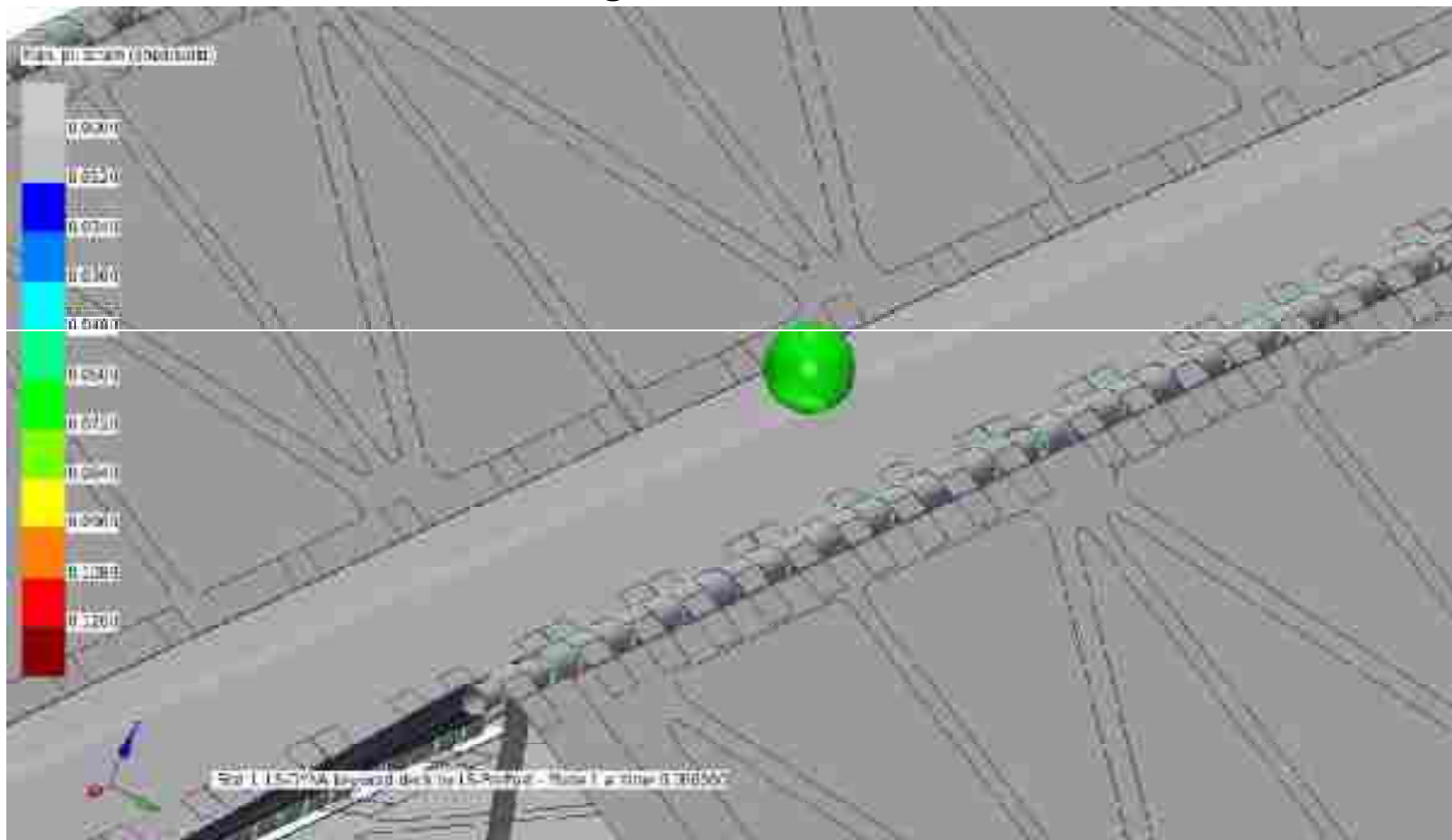
7. Mirror Cover

Mirror Cover Falltest Werkzeug



7. Mirror Cover

Mirror Cover Falltest Werkzeug



7. Zusammenfassung

- Aus den Simulationsergebnissen wurden zahlreiche konstruktive Maßnahmen zur Verbesserung des Strukturverhaltens abgeleitet werden
- Die Eigenschaften vom ersten Entwurf bis zum Abschluss der Preliminary Design Phase konnten deutlich verbessert werden
- Zurzeit befindet sich die Entwicklung am Ende der Final Design Phase



*Renders courtesy of Tom Kekona,
K.C. Environmental, Inc., National Solar Observatory*