

Betriebsbegleitender Einsatz von FEA und CFD für Wälzlager von Windenergieanlagen

Andreas Schlereth
Change Engineering GmbH

Inhalt

- Windenergie in Deutschland
- Windenergieanlagen im Feld
- Herausforderungen für die Wälzlager
- Simulation im Einsatz
- Zusammenfassung

Key learning objectives

Am Ende dieses Vortrags kennen Sie:

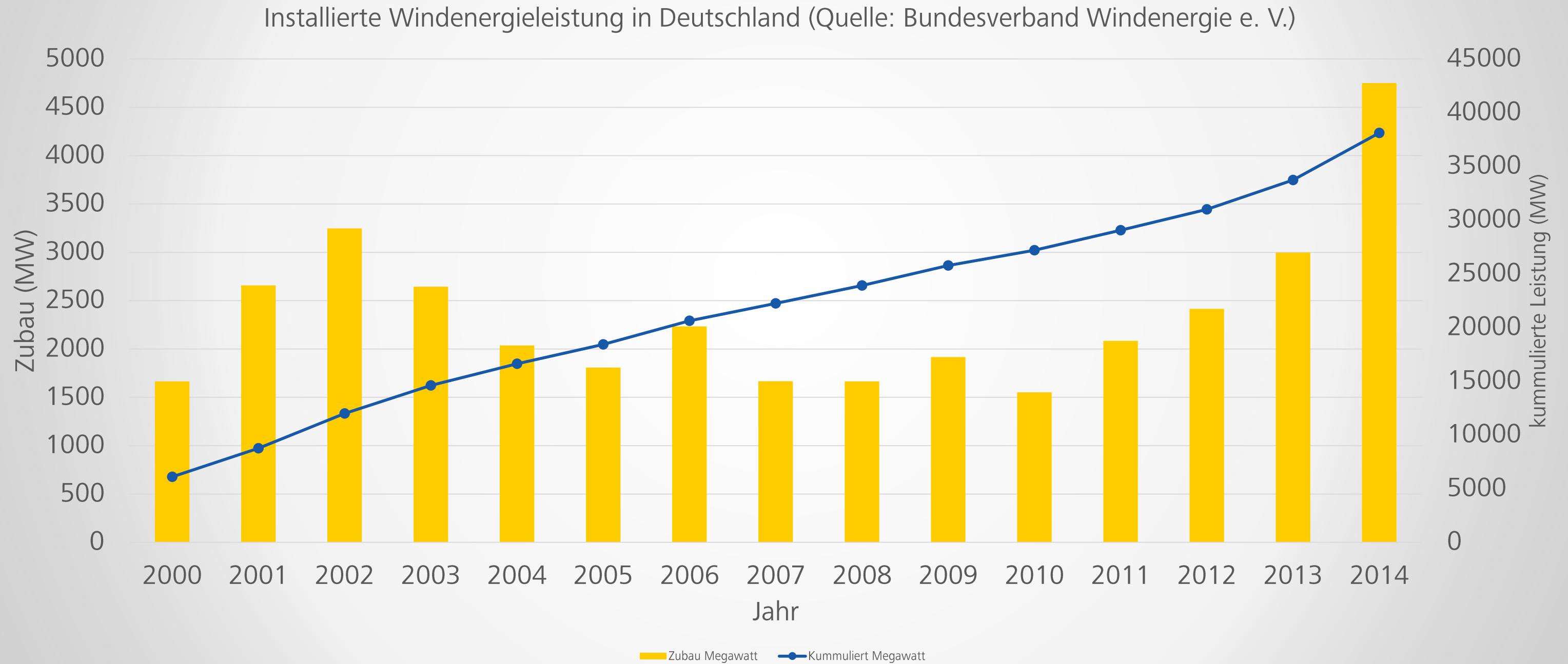
- die Hintergründe zur Stromerzeugung aus der Windenergie
- deren Herausforderungen für die Anlagentechnik
- deren Bedeutung für die Antriebstechnik
- insbesondere Wälzlagertechnik
- Beispiele für den Einsatz von CFD und FEA begleitend zum Anlagenbetrieb

Windenergie in Deutschland

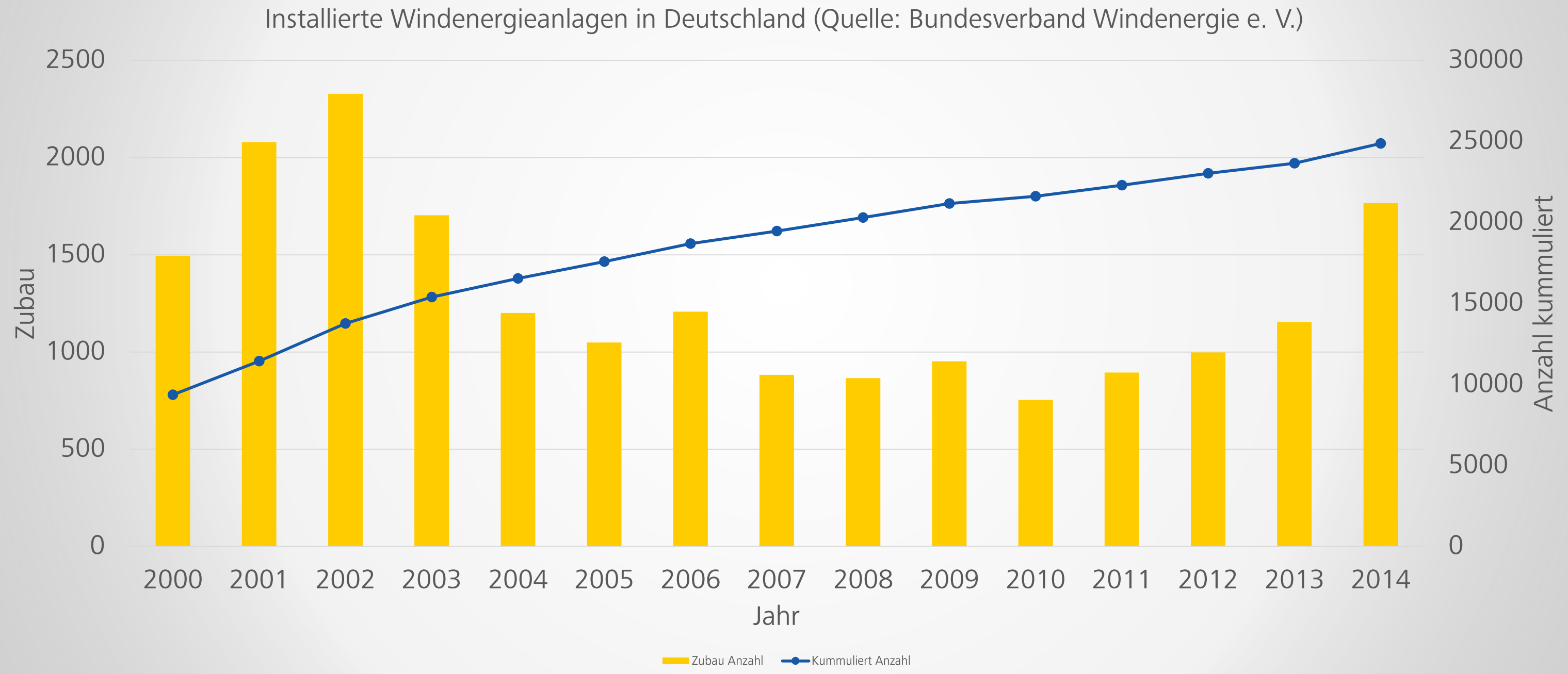
Windenergie in Deutschland



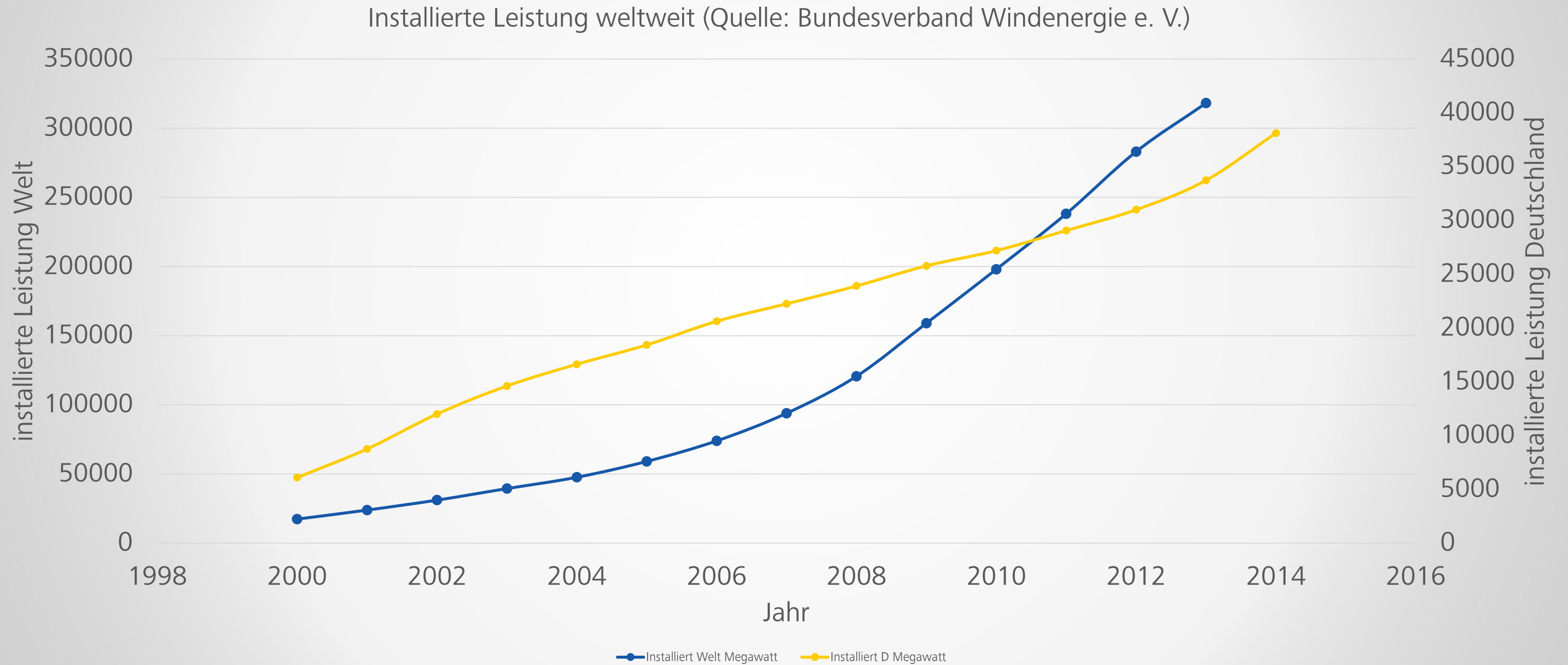
Installierte Leistung in Deutschland



Anzahl Windenergieanlagen in Deutschland

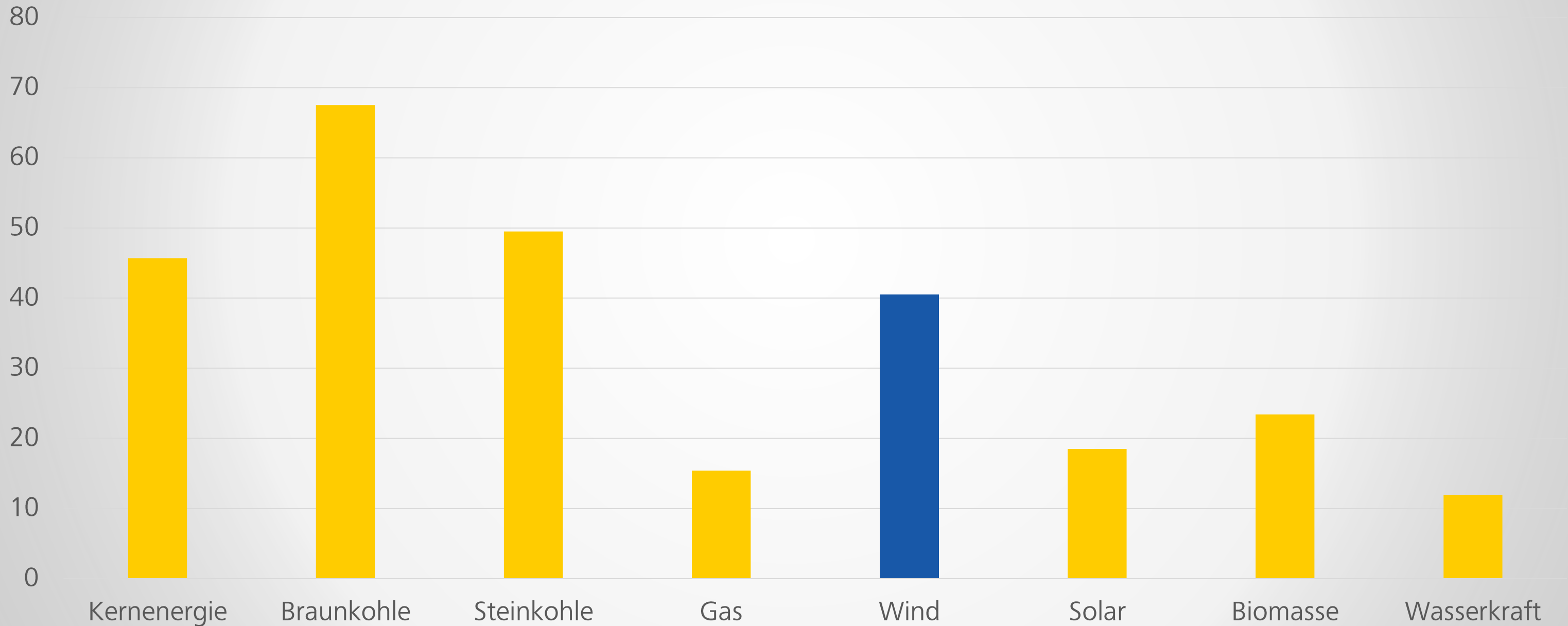


Globale Entwicklung



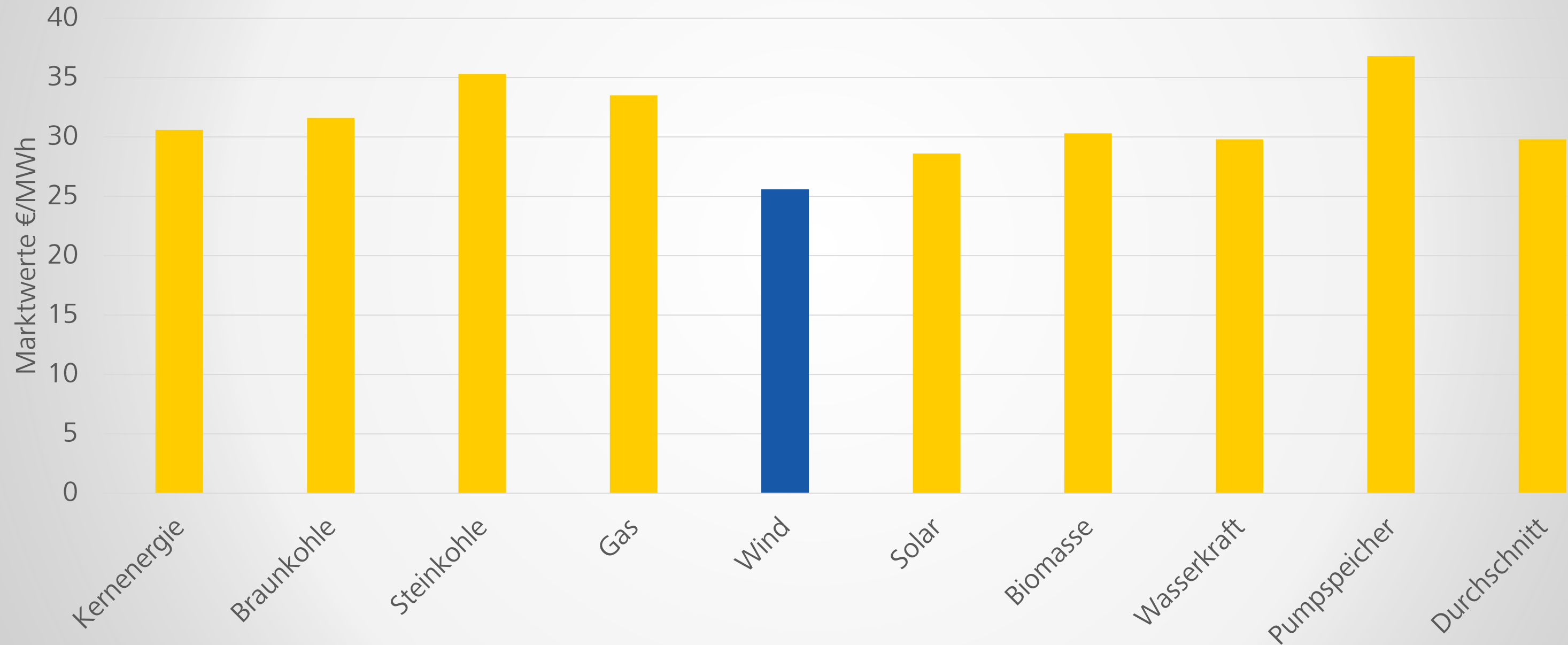
Stromerzeugung in Deutschland – 1. Halbjahr 2015

Energie TWh für 1. Halbjahr 2015 (Quelle: Prof. Dr. Bruno Burger, Fraunhofer ISE)



Marktwerte – 1. Halbjahr 2015

Marktwerte (Quelle: Prof. Dr. Bruno Burger, Fraunhofer ISE)



Stand der Windenergie in Deutschland

Stand:

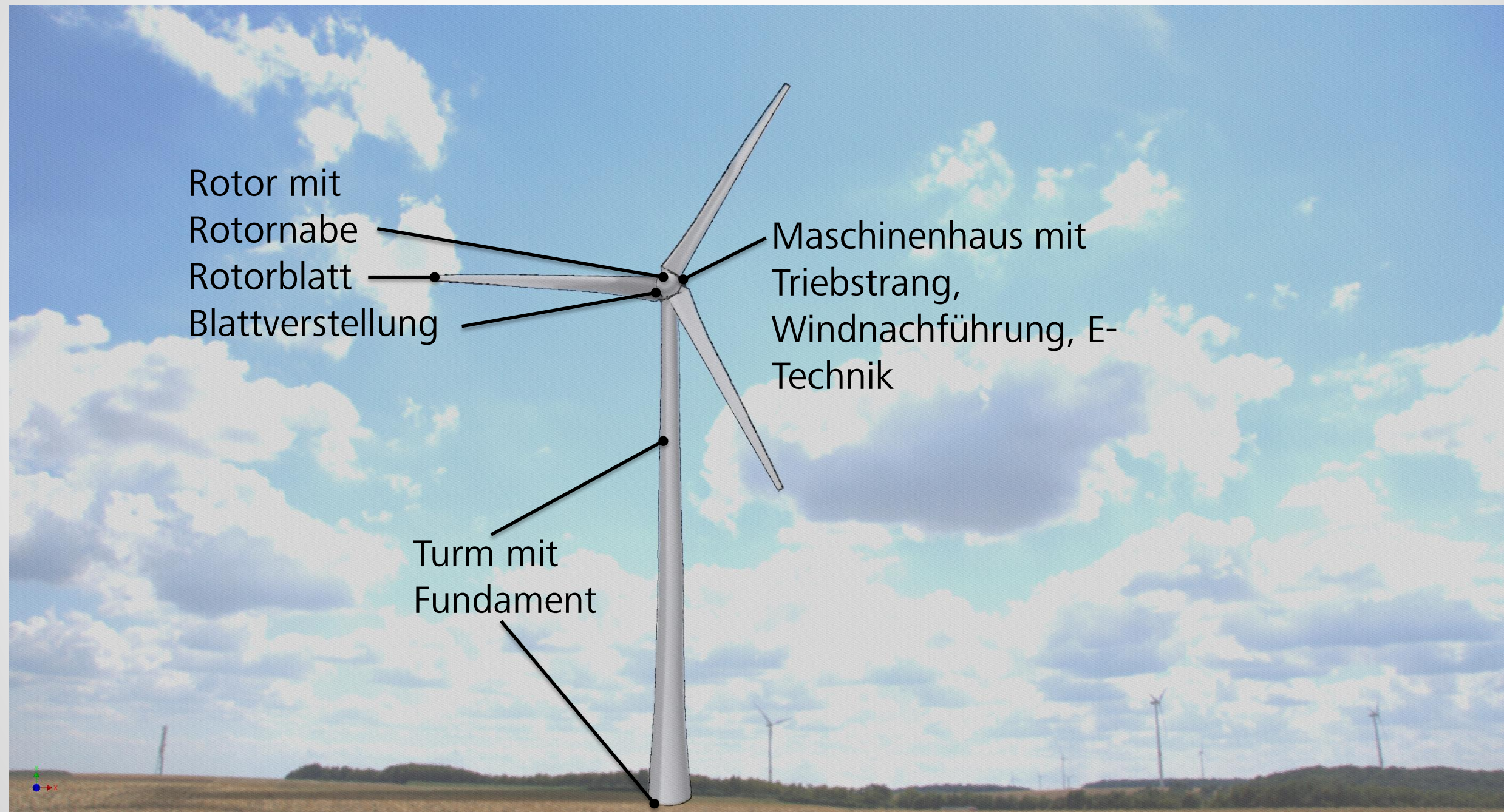
- Weit verbreitet, dezentral
- Verschiedenste Standorte
- Viel Energie
- Kostengünstige Stromerzeugung
- Wetterabhängig

Führt zu:

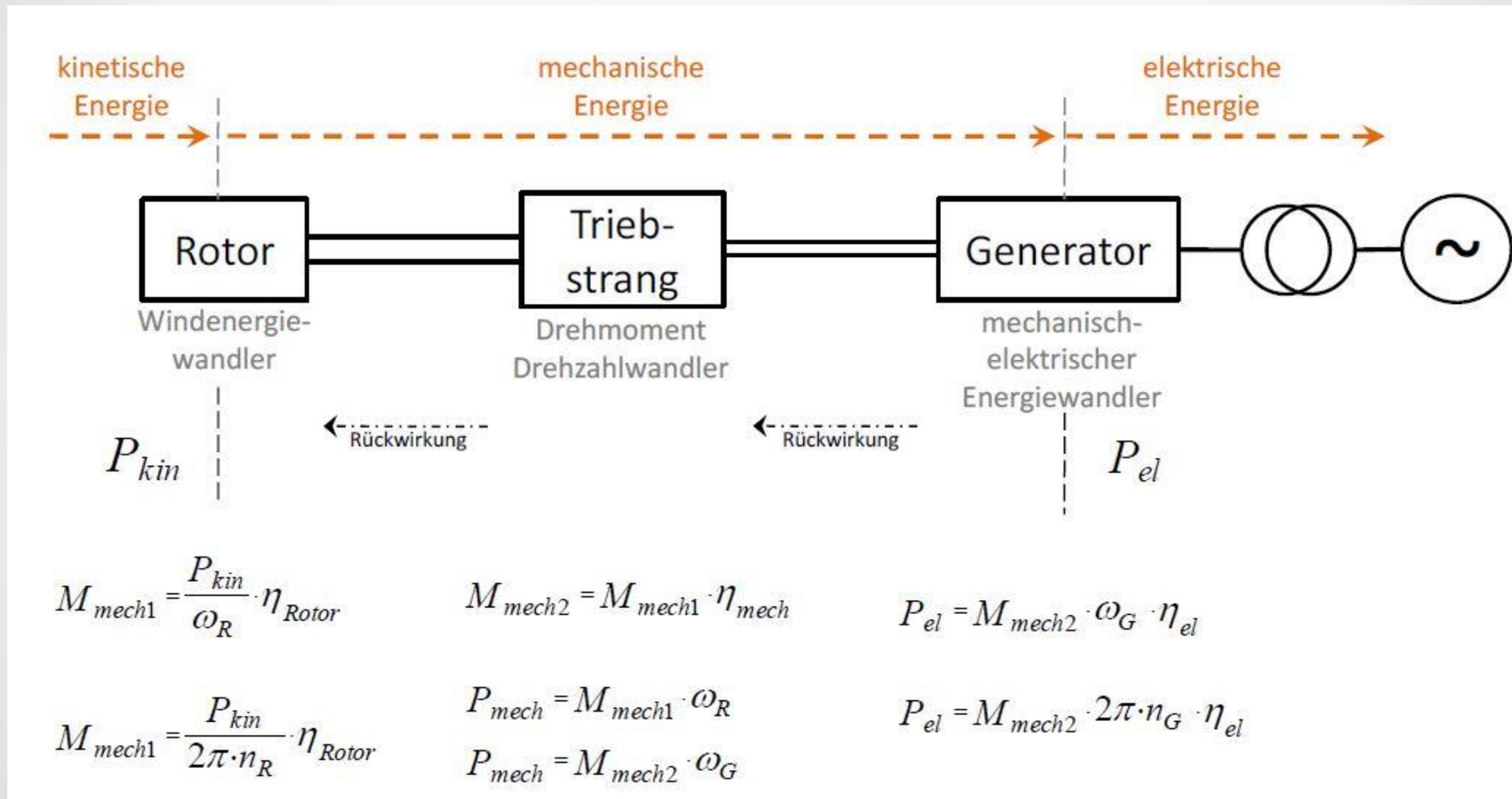
- Unterschiedlichste Betriebsbedingungen
- Streuungen
- Netzmanagement
- Einzelne WEA nicht immer wirtschaftlich
- Begrenzte Planbarkeit

Windenergieanlagen im Feld

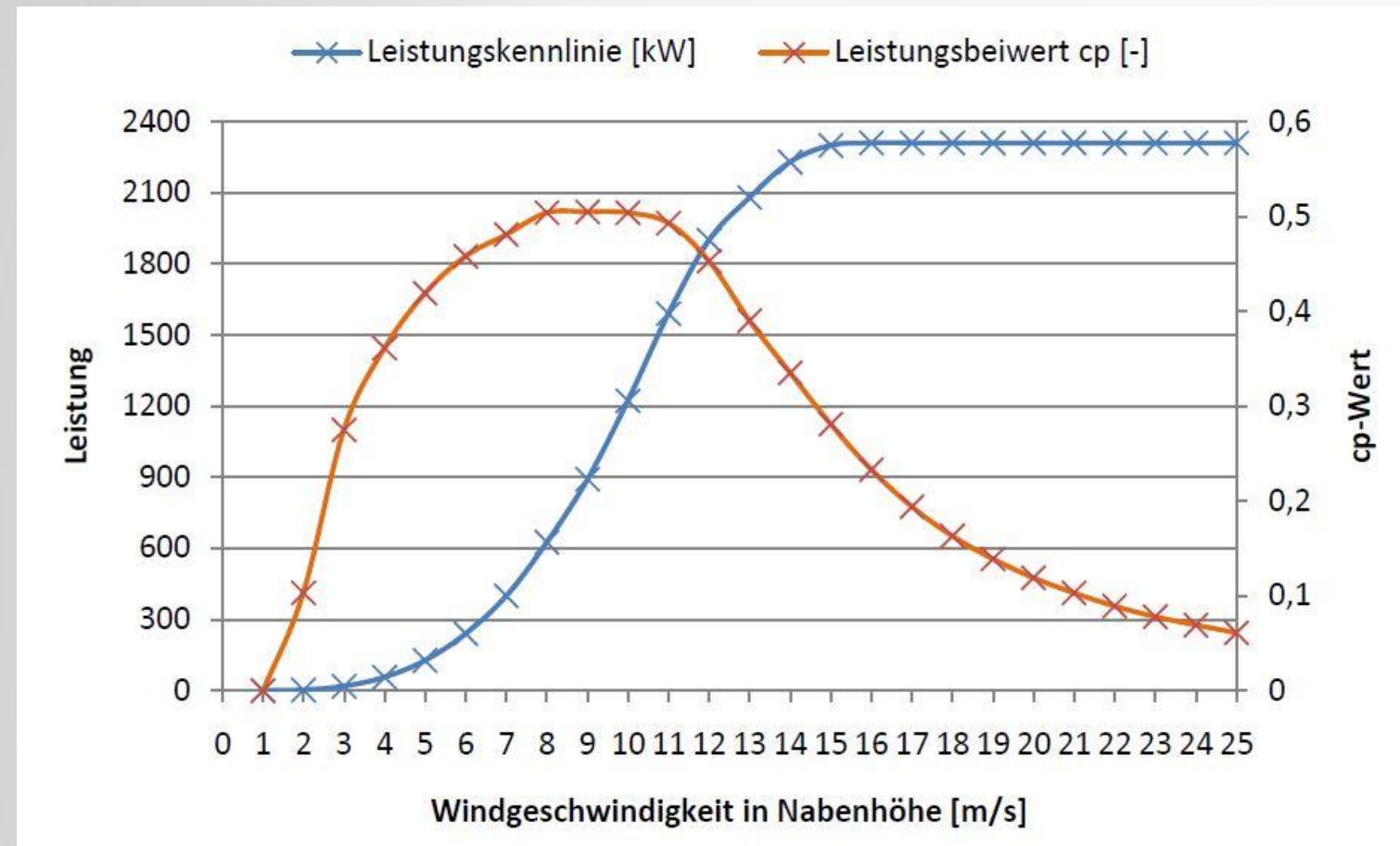
Aufbau der Windenergieanlage



Energiewandlung (1)

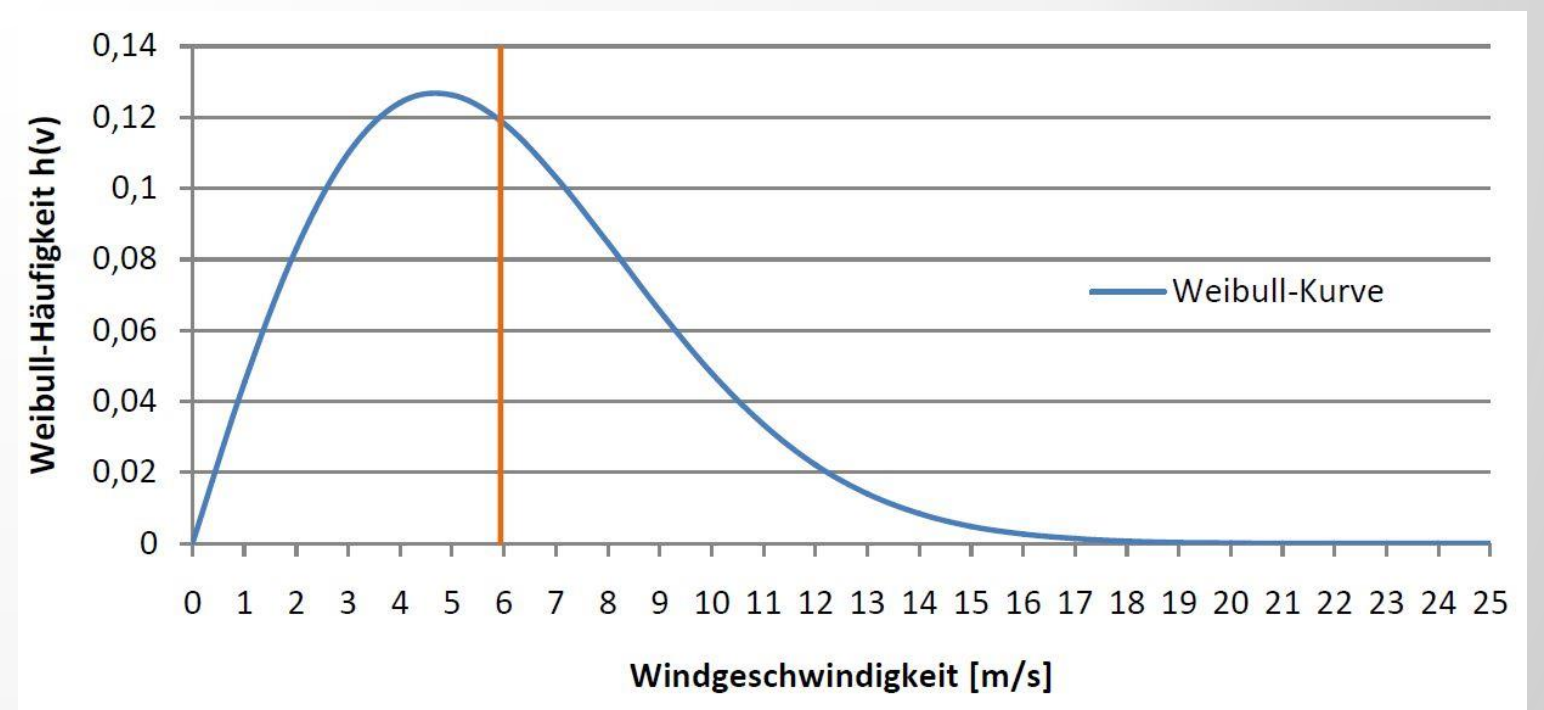


Energiewandlung (2)



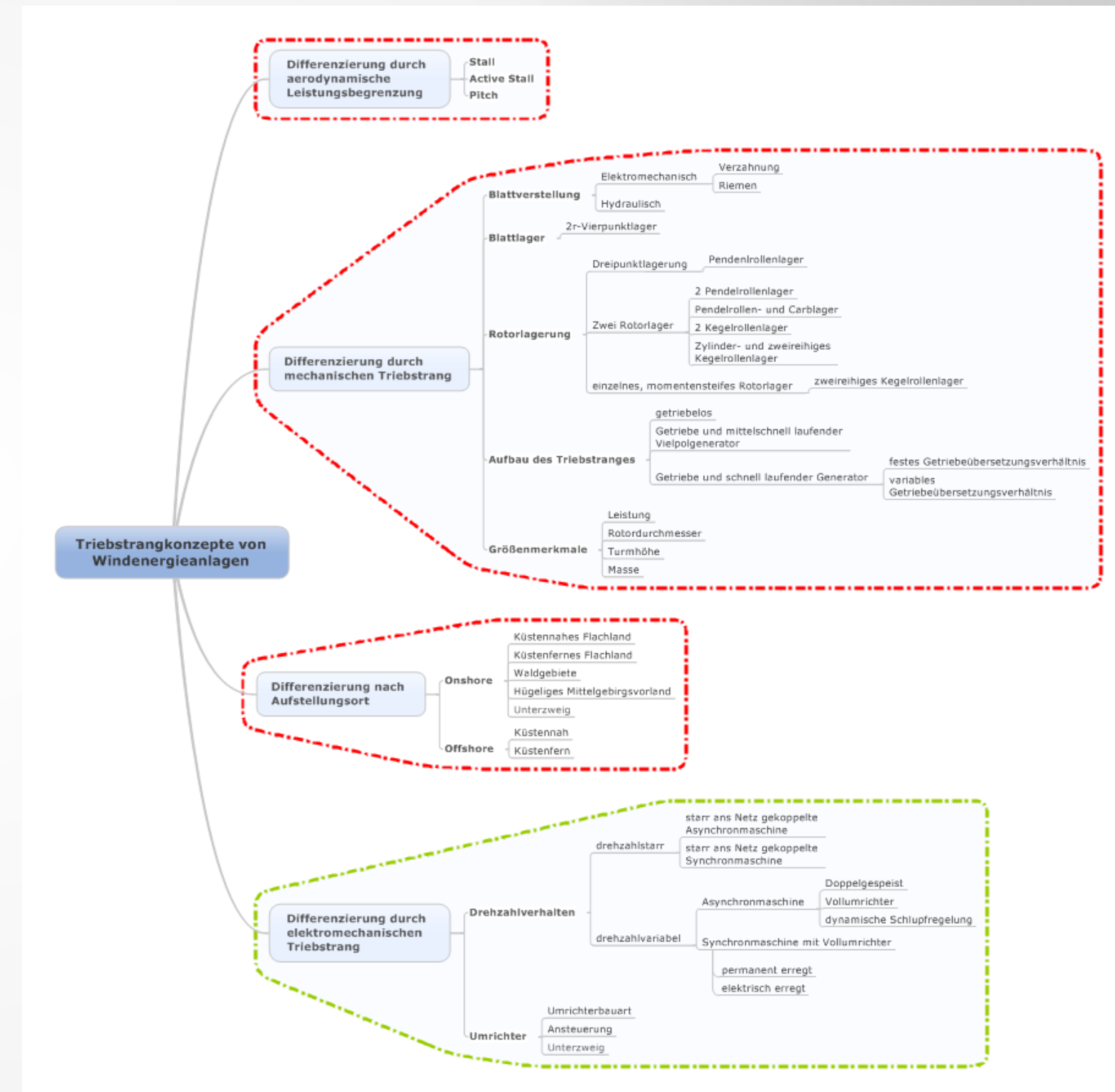
- Leistungskennlinie
- Leistungsbeiwert

- Häufigkeitsverteilung Windgeschwindigkeit



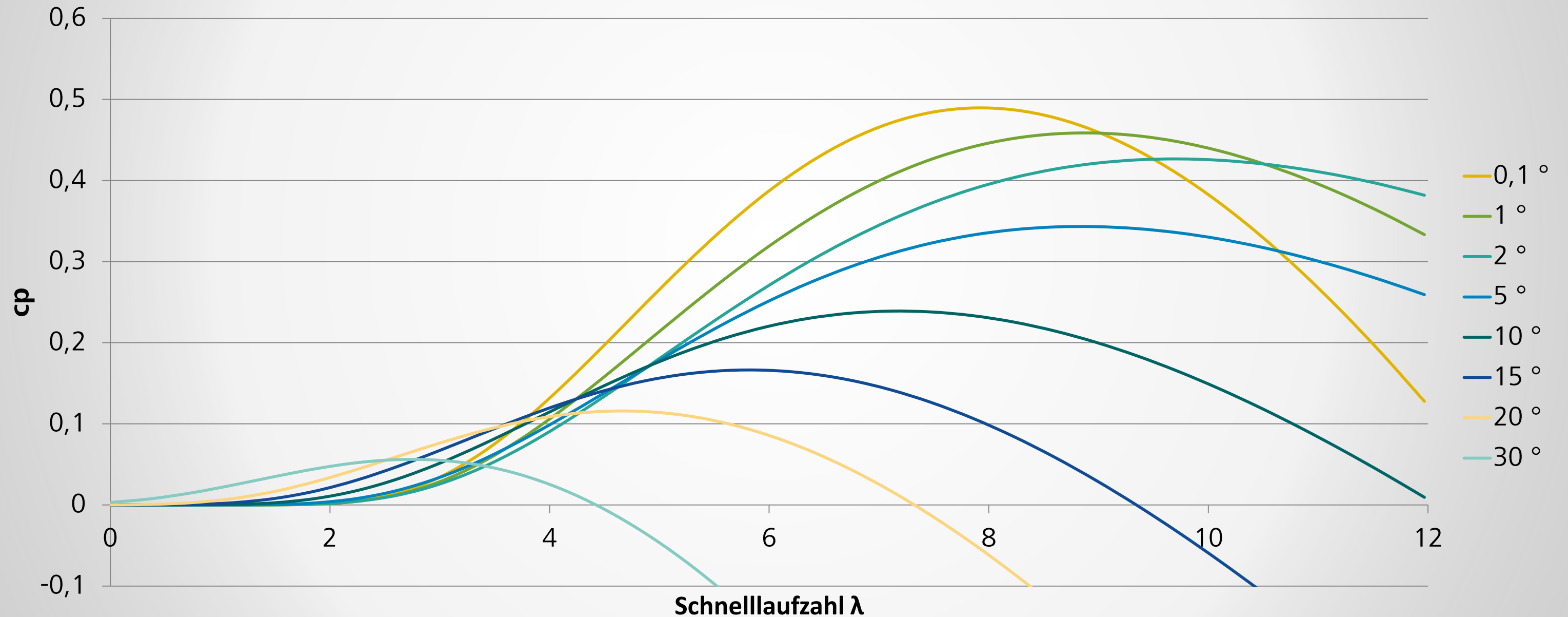
Triebstrangkonzeppte von Windenergieanlagen

- Differenzierung nach
- Leistungsbegrenzung
 - Aufstellungsort
 - mechanischem Triebstrang
 - elektromechanischem Triebstrang

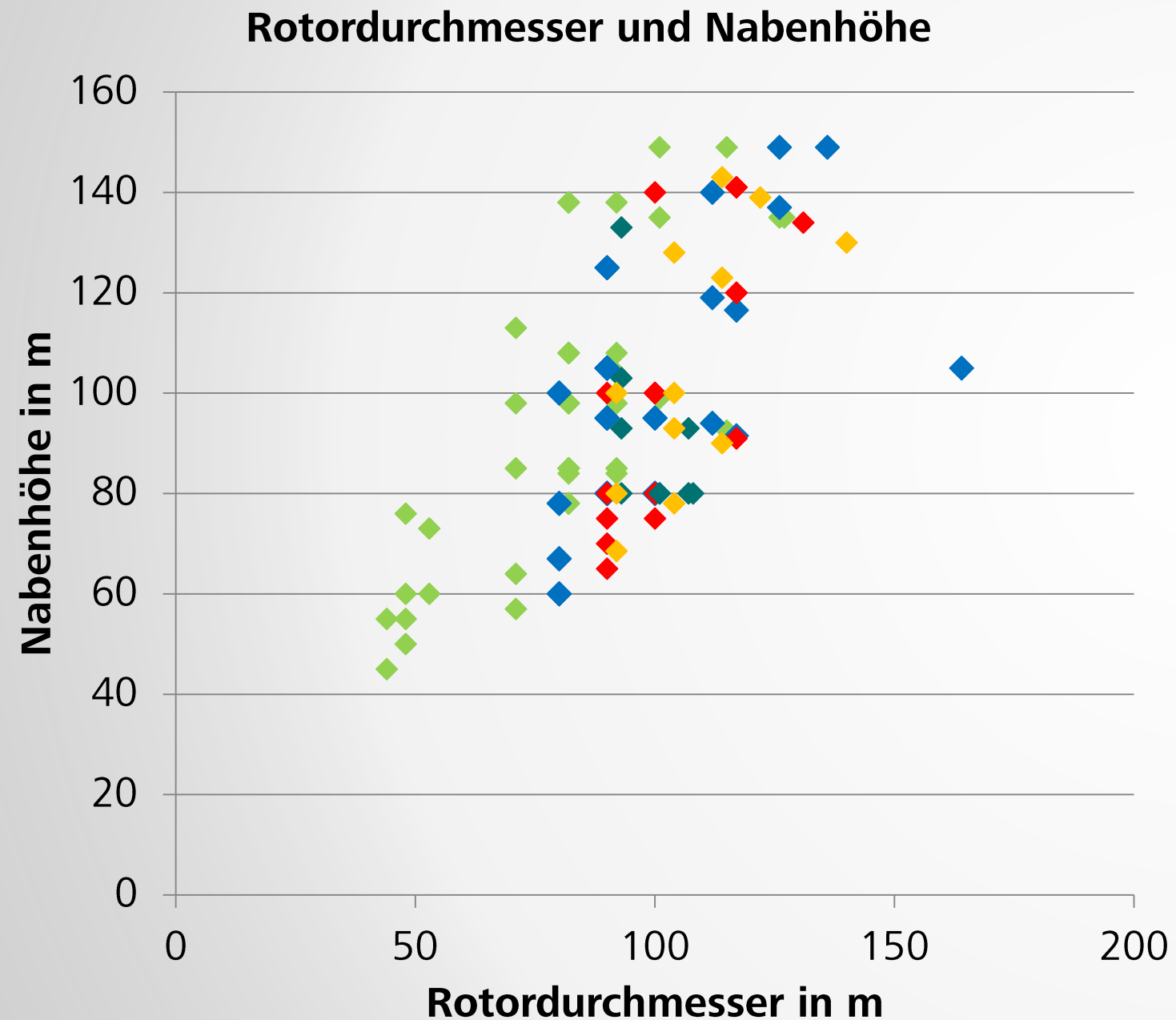


Regelung der Leistung

Leistungsbeiwert über Schnelllaufzahl



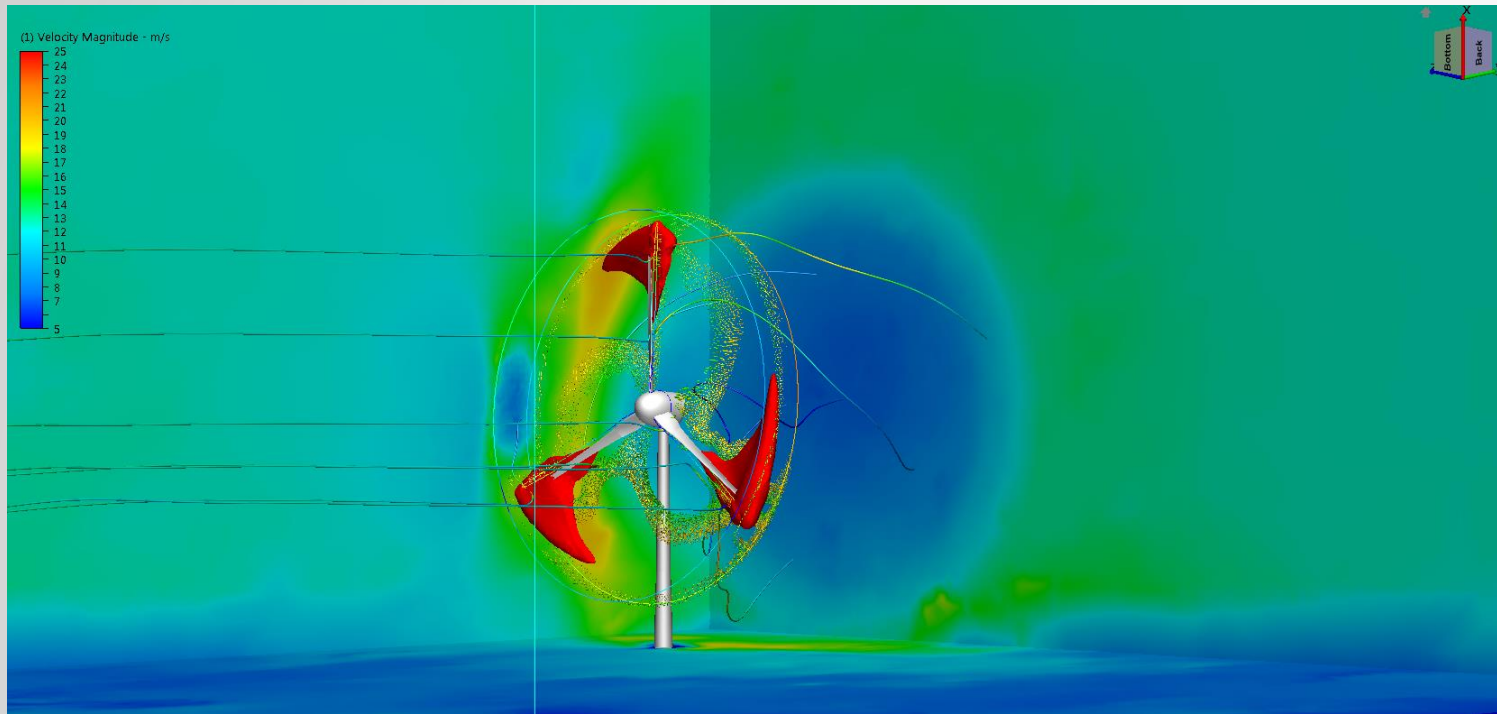
Mehr-Ertrag durch Größenwachstum



Mehrertrag durch:

- Große Nabenhöhen
- Große Rotordurchmesser
- Große Leistung

Große Rotoren – Freigang zum Turm

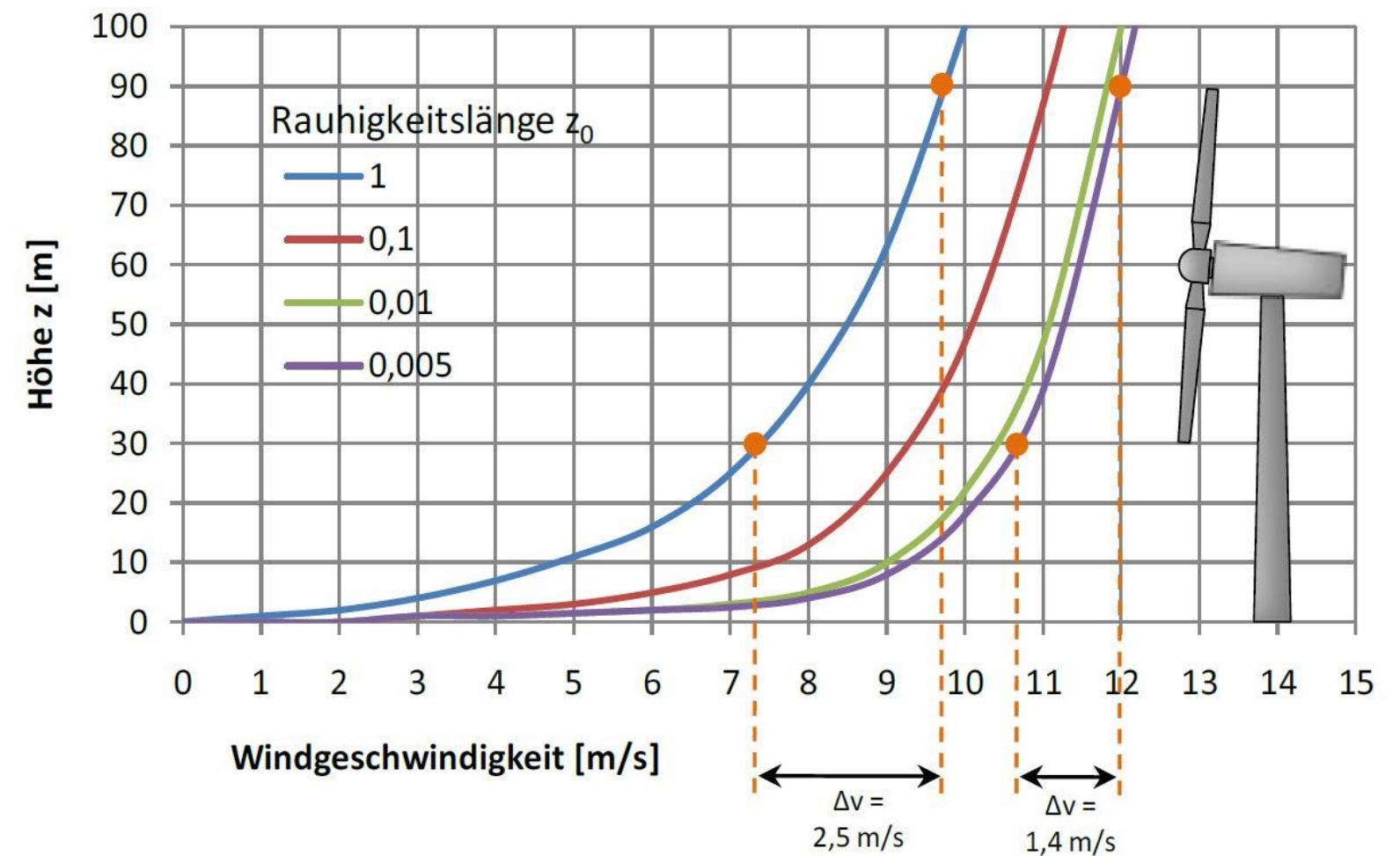
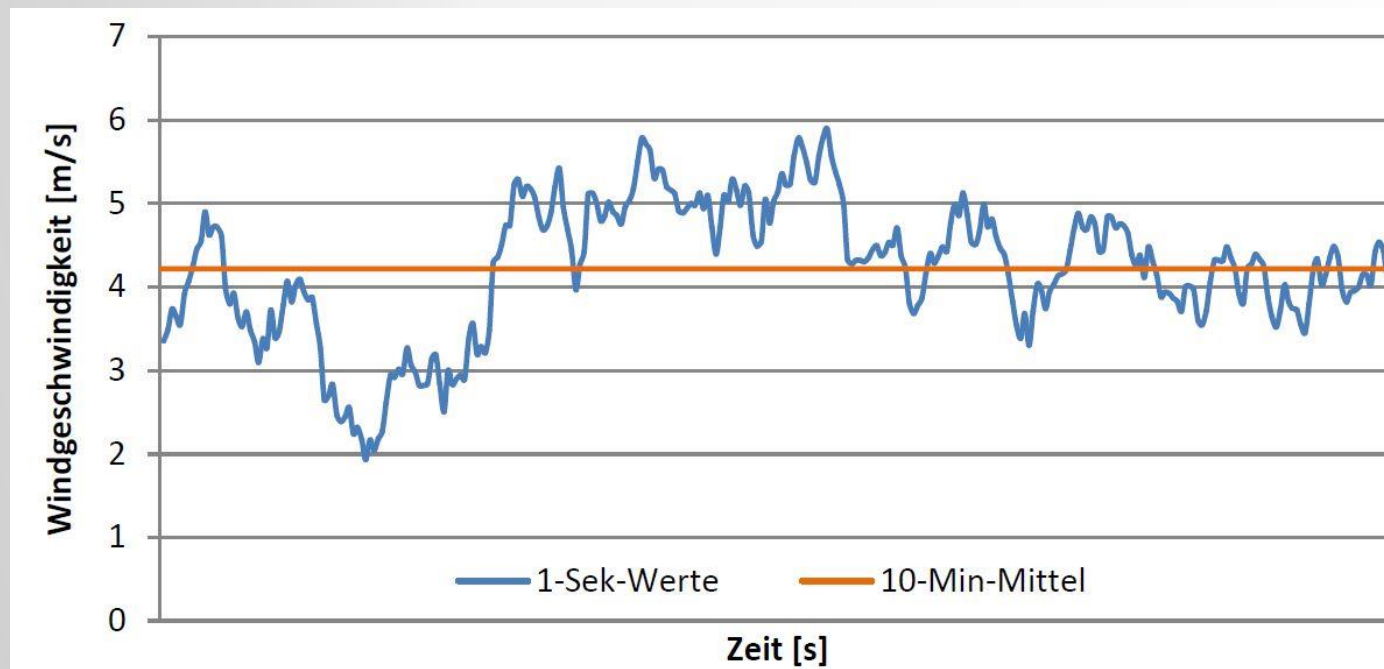


- Achsneigung
- Konus der Rotorblätter
- Gekrümmte Blätter
- Elastische Verformungen



Windgeschwindigkeit

- streut zeitlich
- streut räumlich

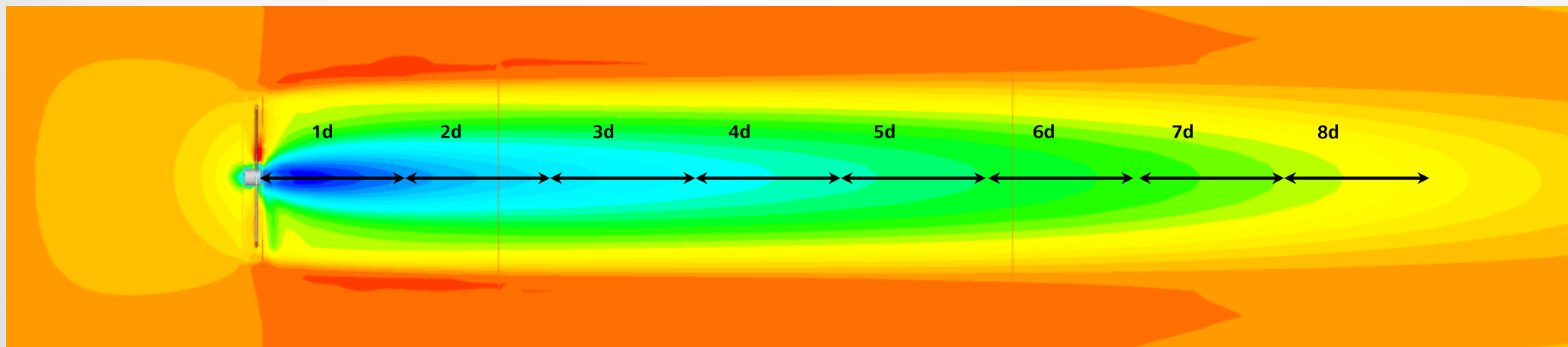


Einflüsse auf die Windströmung



Strömungsnachlauf

- Sogenannte Wakes stören die Strömung hinter dem Rotor für dahinter stehende Turbinen

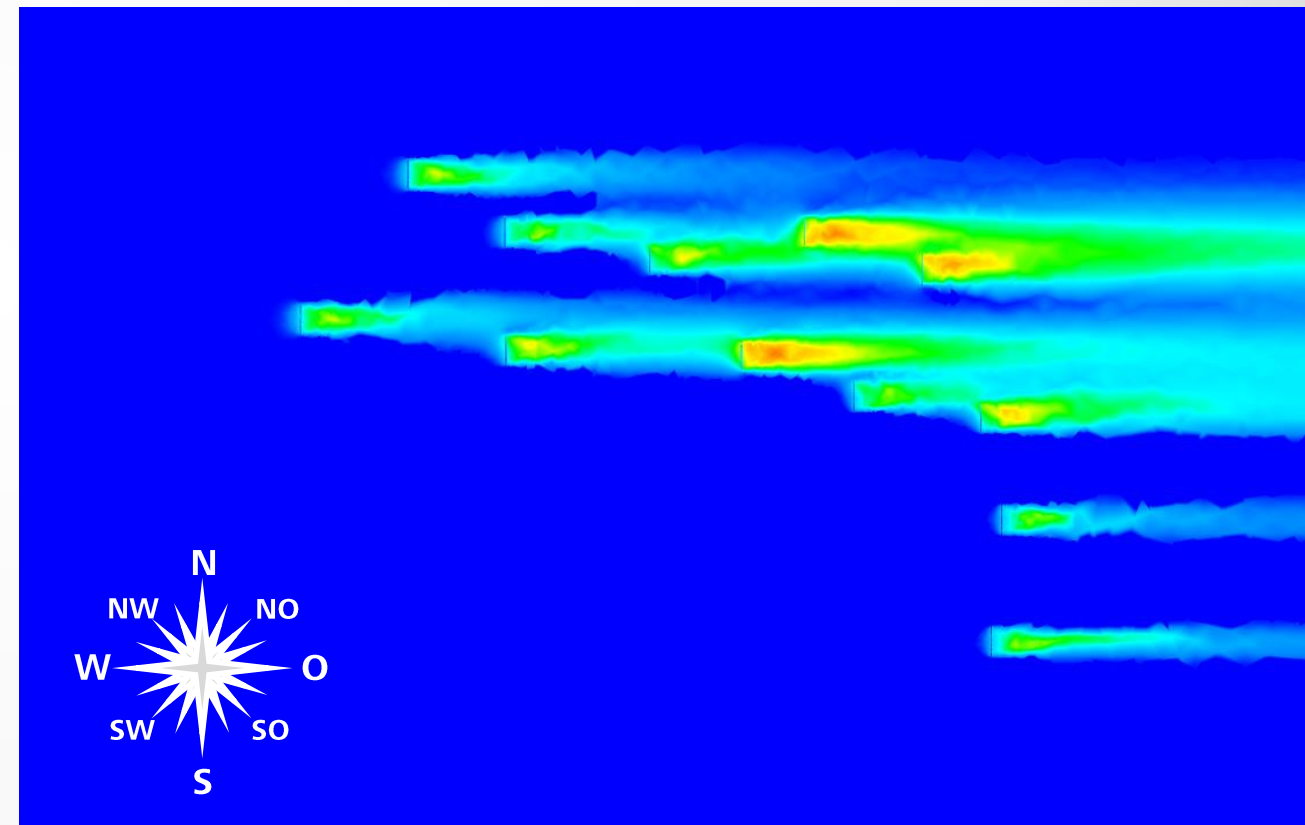


Windrichtung

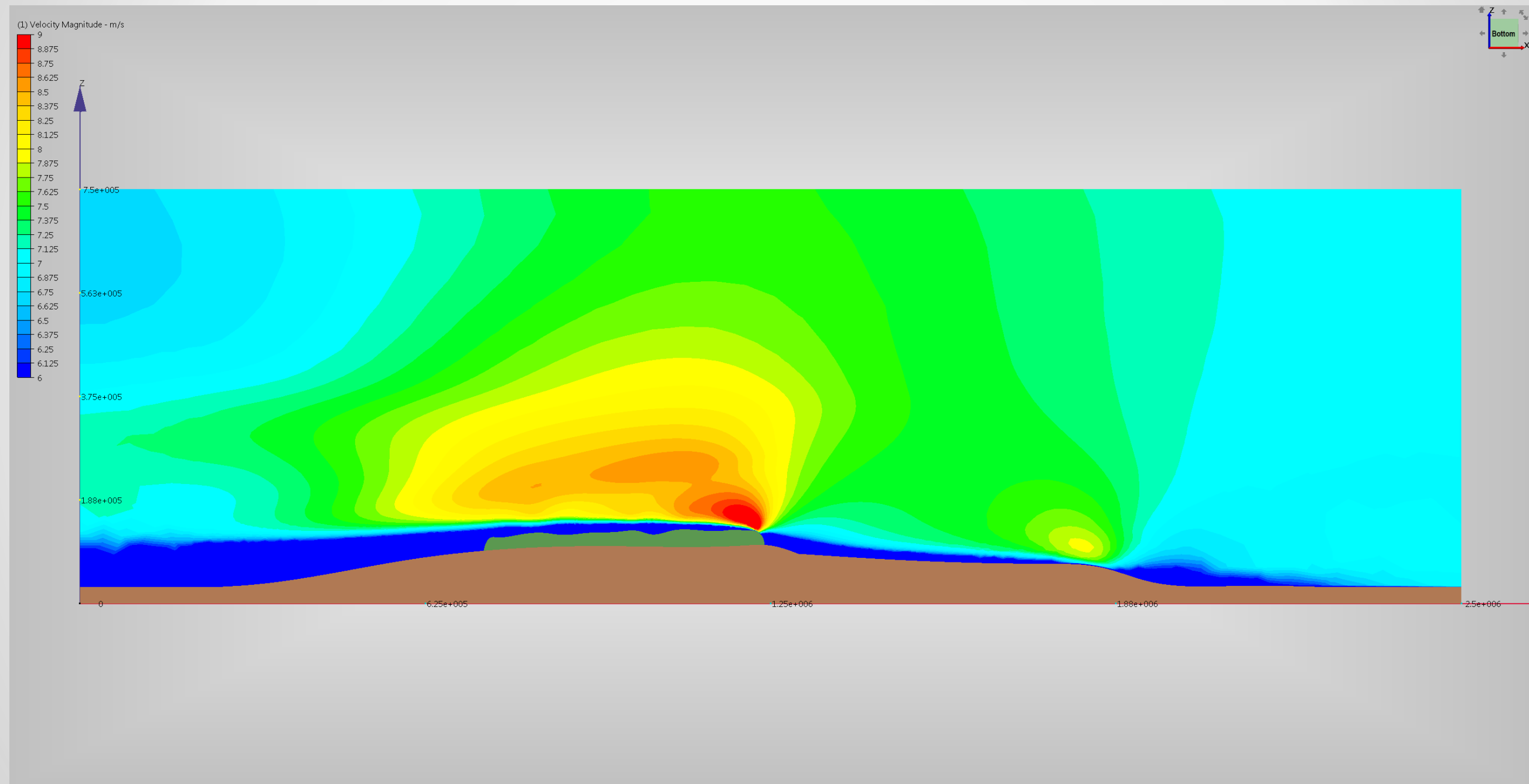
- Streut zeitlich
- Streut räumlich

Limitierung:

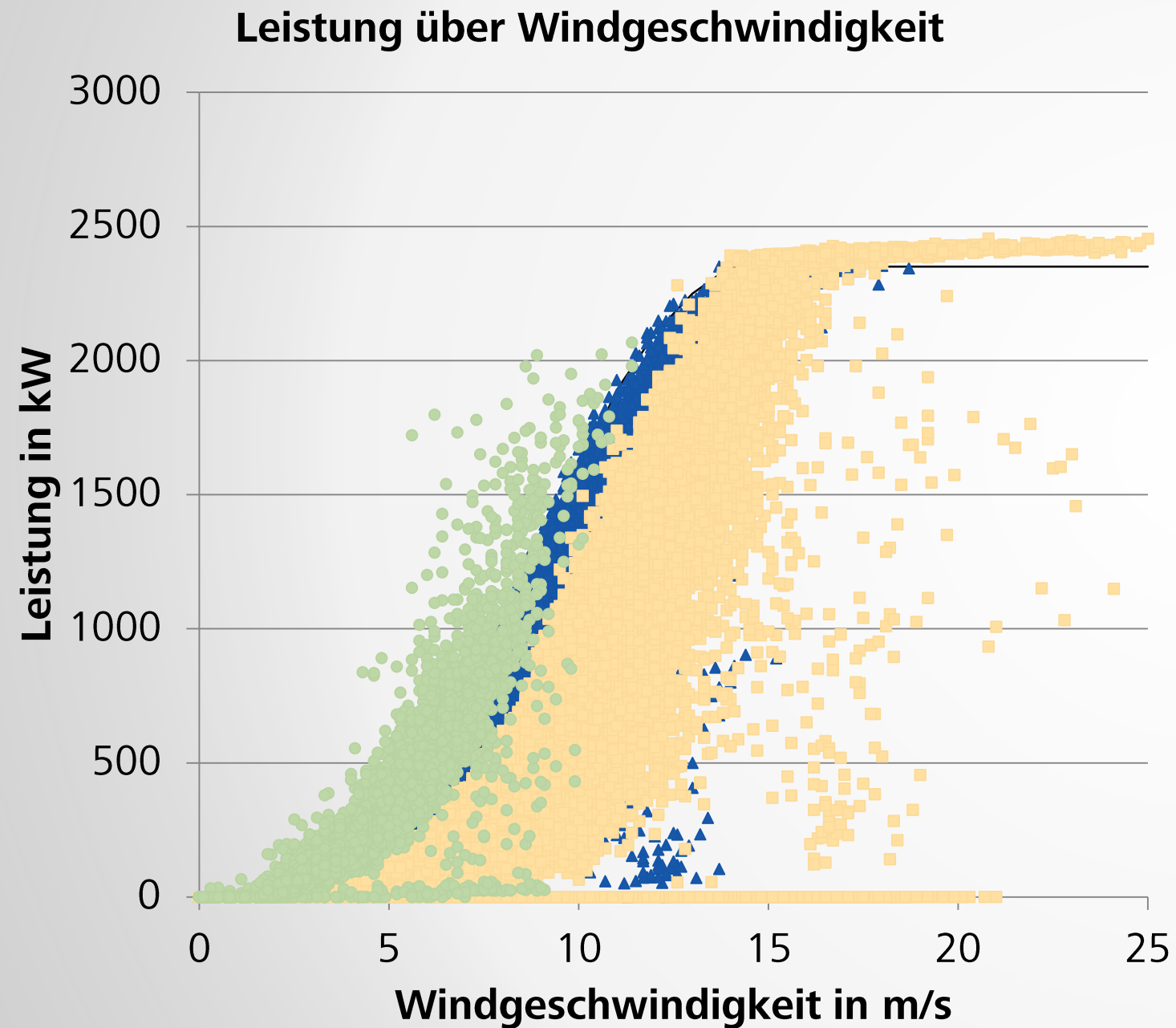
- Optimierung nur begrenzt möglich



Wald und Hügel



Unstetigkeit der Stromproduktion



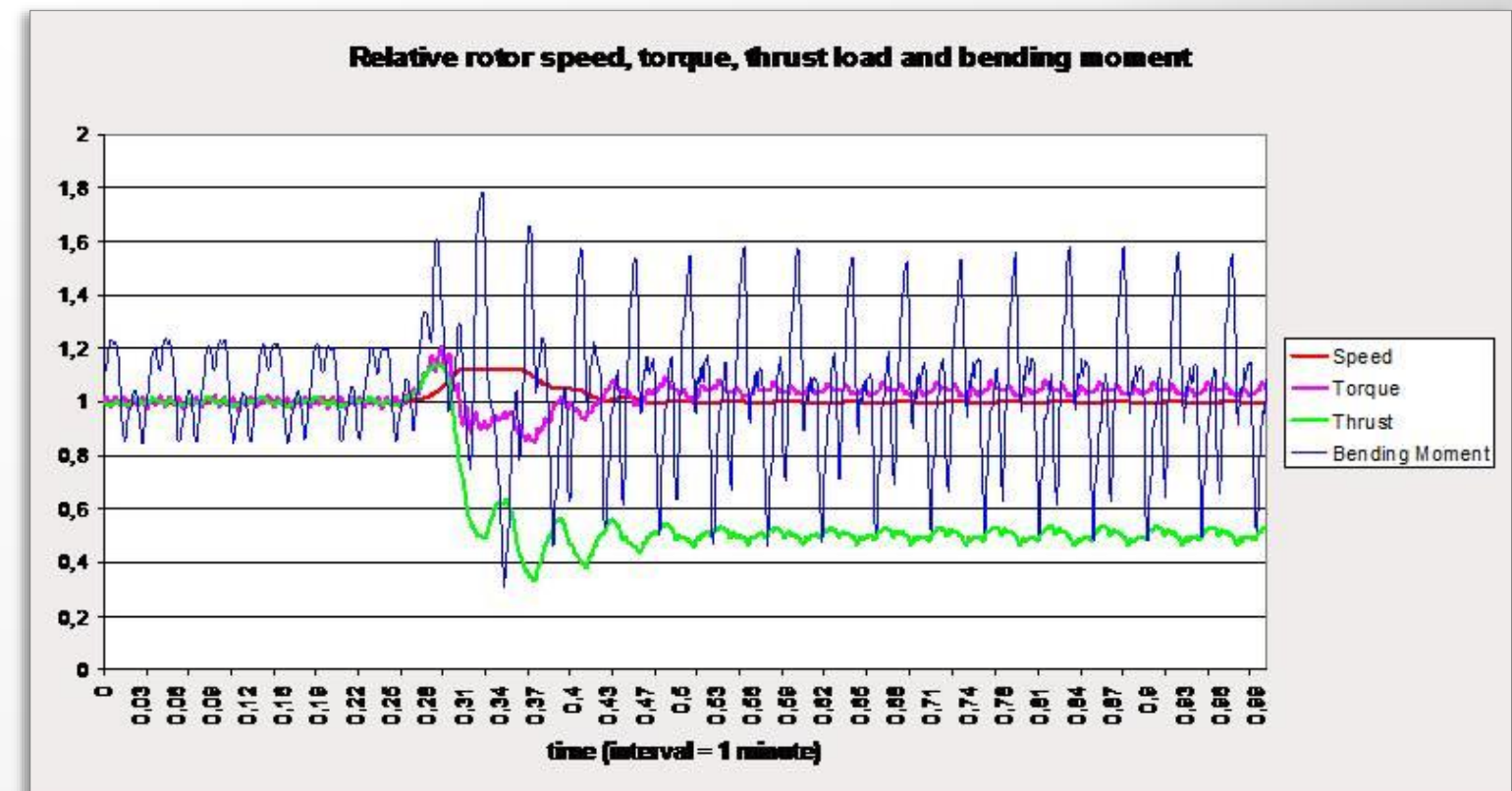
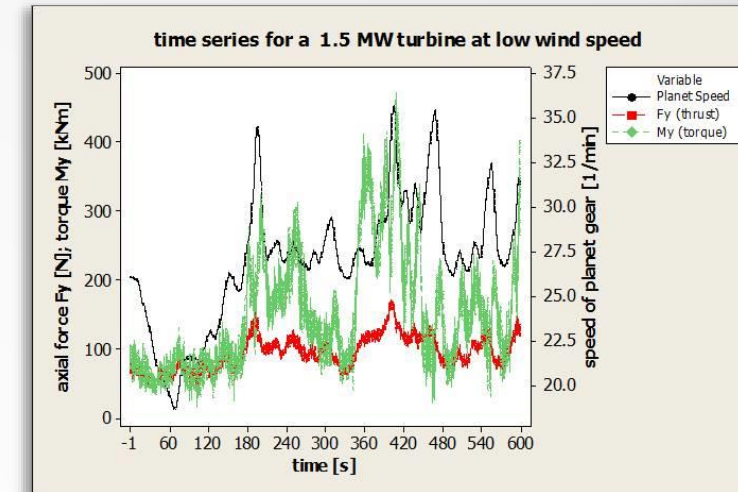
- Schwankende Windgeschwindigkeit
- Waldschneiße
- Wakeeffekte

Schwingende Belastungen

- Schwankung der Lasten
- Drehzahlschwankung
- Feder-Masse-Dämpfung

Einflüsse:

- Windbedingungen
- Regelungssysteme



An aerial view of a city skyline with a bridge over a river. A rainbow is visible on the bridge deck. The text "Herausforderungen für die Wälzlager" is overlaid in blue.

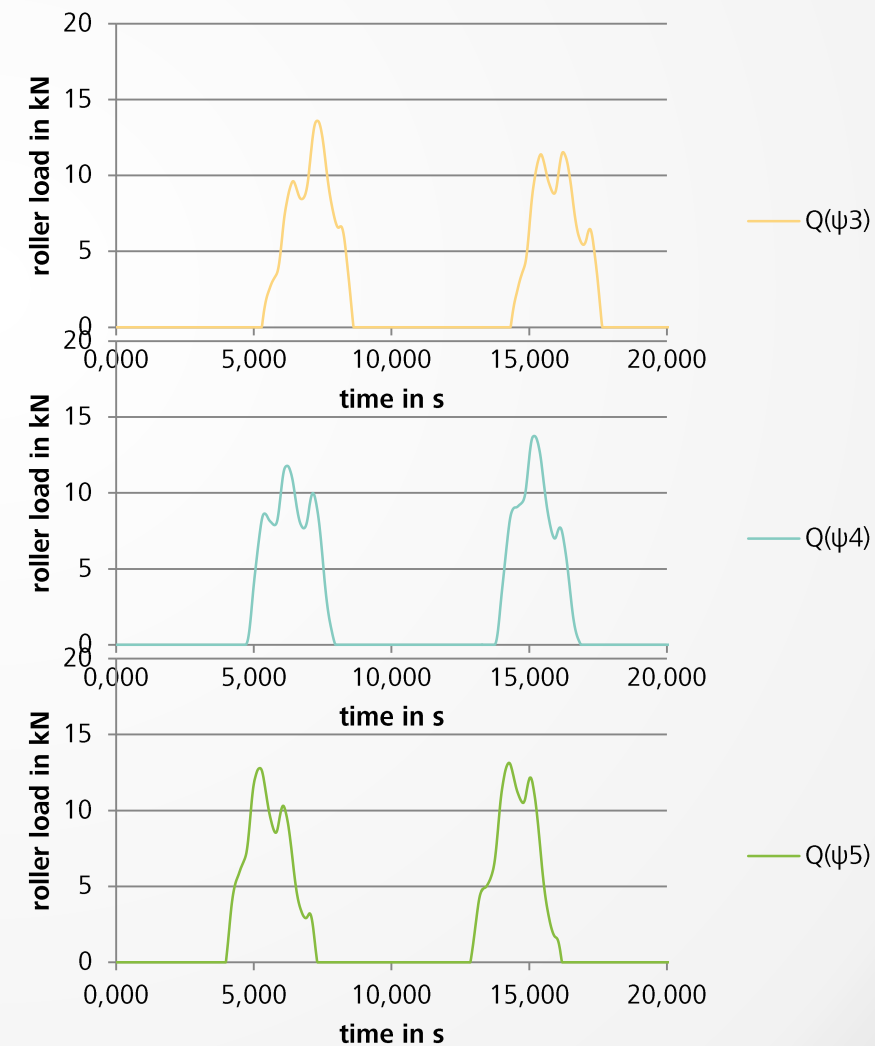
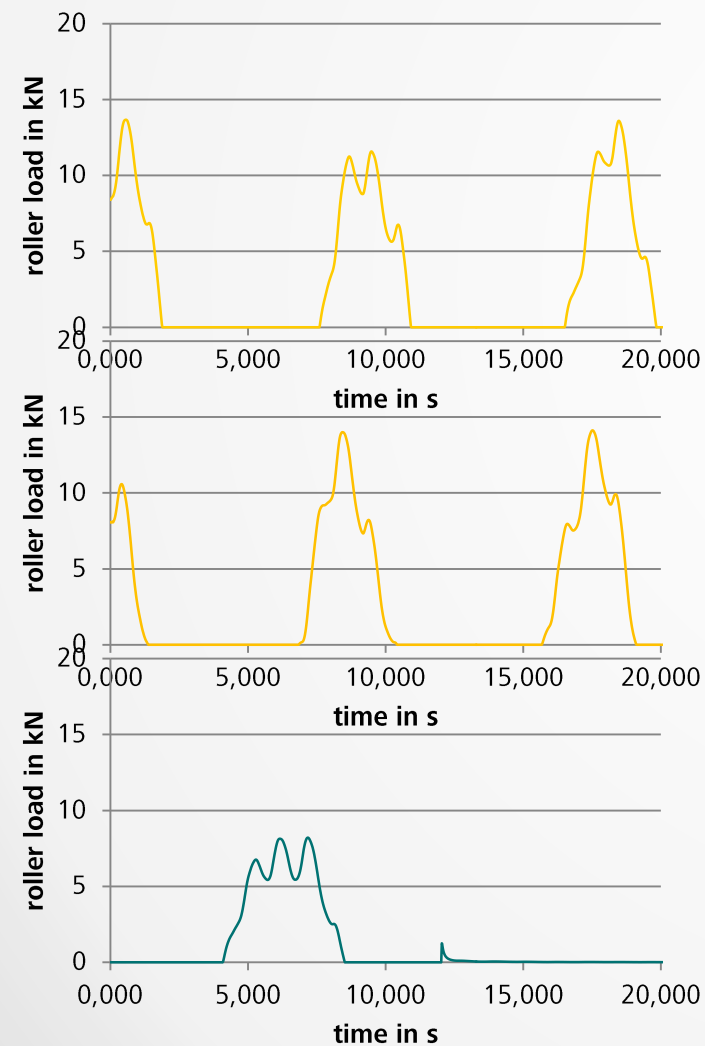
Herausforderungen für die Wälzlager

Herausforderungen für die Wälzlager (1)

- Schwankende Windbedingungen, u. a.
 - Ständig schwankende und periodisch veränderliche Lasten
 - Vibrationen auch im Stillstand
 - Großer Drehzahlbereich
 - Ständige Drehzahlschwankungen
 - Ständige Drehmomentschwankungen

Wälzkörperlasten im Rotorlager

- Lasten für 6 Wälzkörper über die Zeit



Herausforderungen für die Wälzlager (2)

- Verändertes Lastprofil
 - Größere Lasten
 - Größere „statische“ Lastanteile (Gewichtskräfte)
 - Häufigeres Durchfahren von Eigenfrequenzen, z. B. Turm
 - Größere Betriebszeitanteile bei Mischreibung
 - Leistungsbegrenzung infolge Einspeisemanagement
 - Betrieb mit Umrichtern, dynamische Regelungen
 - Strengere Netzanschlussrichtlinien: u. a. High Voltage Ride Through (HVRT) und Low Voltage Ride Through (LVRT)

Herausforderungen für die Wälzlager (3)

- Hohe Anforderungen an die Schmierung
 - Großer Temperaturbereich verglichen mit Standardanwendungen
 - Größere Rotoren bedeuten langsamere Drehzahl, also niedrigere Schmierfilmdicken
 - Niedrige Reibung im Betrieb
 - Erschwerte Schmierstoffwahl, erschwerte Additivierung
 - Schwierigere Schmierstoffversorgung
 - Dichtungsproblematik (Deformationen, Verschleiß, Alterung, Austauschbarkeit)
 - Ein Schmierstoff für Alles?

Herausforderungen für die Wälzlager (4)

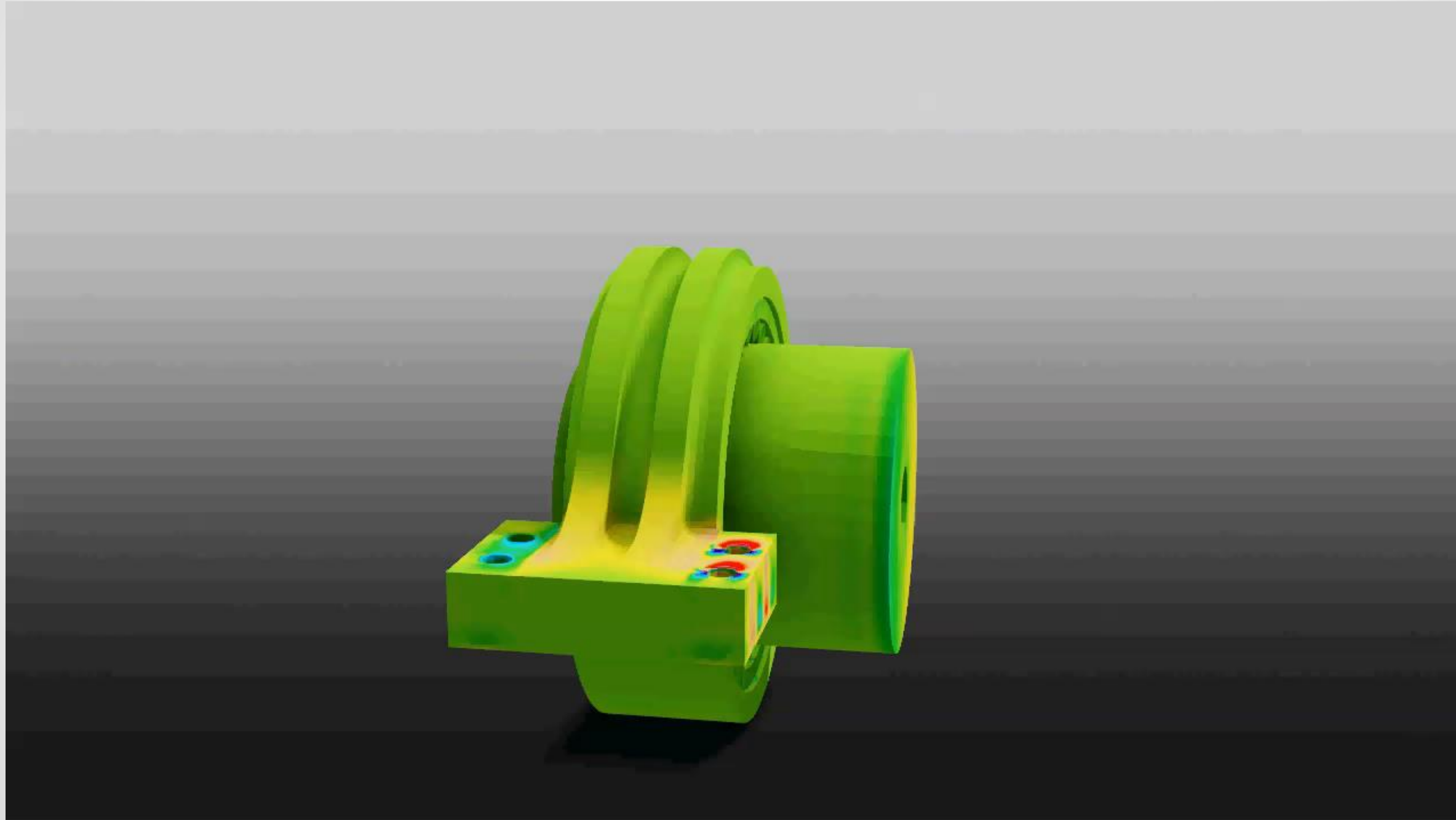
- Erschwerte Herstellung der Lager
 - Hohe Kosten, Hohe Härte bis in einige Millimeter Tiefe
 - Durchhärtung kaum mehr möglich
 - Härteverzüge
 - Hohe Anforderungen an die Reinheit des Stahls und das Gefüge
 - Kostengünstige Lager, kostengünstiges Material
 - Schwierigere Werkstoffauswahl und erschwerte Beschaffung
 - Herausforderung bei spanender Bearbeitung
 - Neue Härteverfahren

Herausforderungen für die Wälzlager (5)

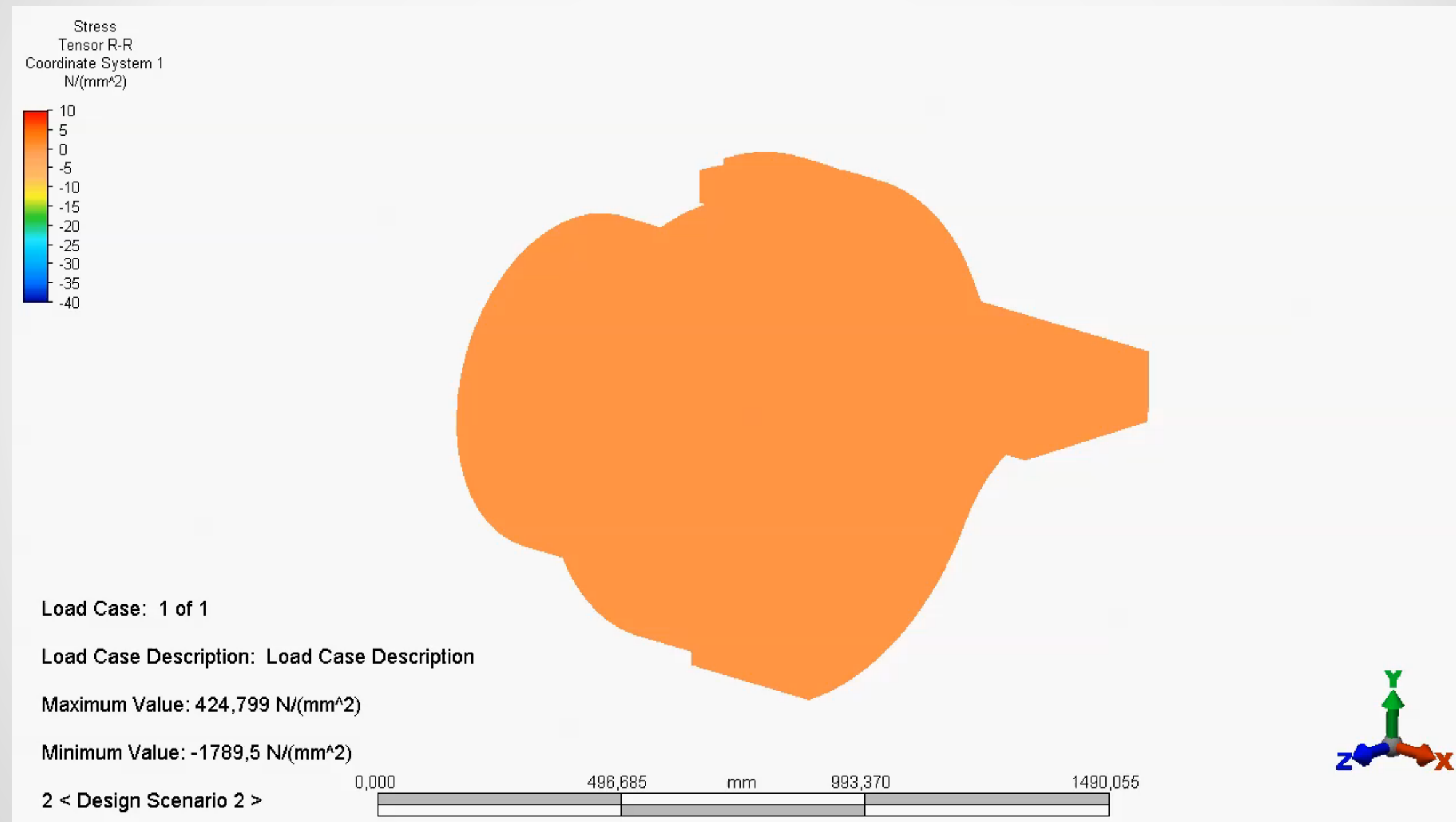
- Transport, Montage, Handling, Demontage
 - Erschwertes Handling (größere Dimension und Massen)
 - Größere Montage- und Haltekräfte
 - Größere Aufheiz- und Abkühlzeiten
 - Schwierigere Prozesse und Kontrolle
 - Demontage von Großlagern nicht ohne Großkran

Simulation im Einsatz

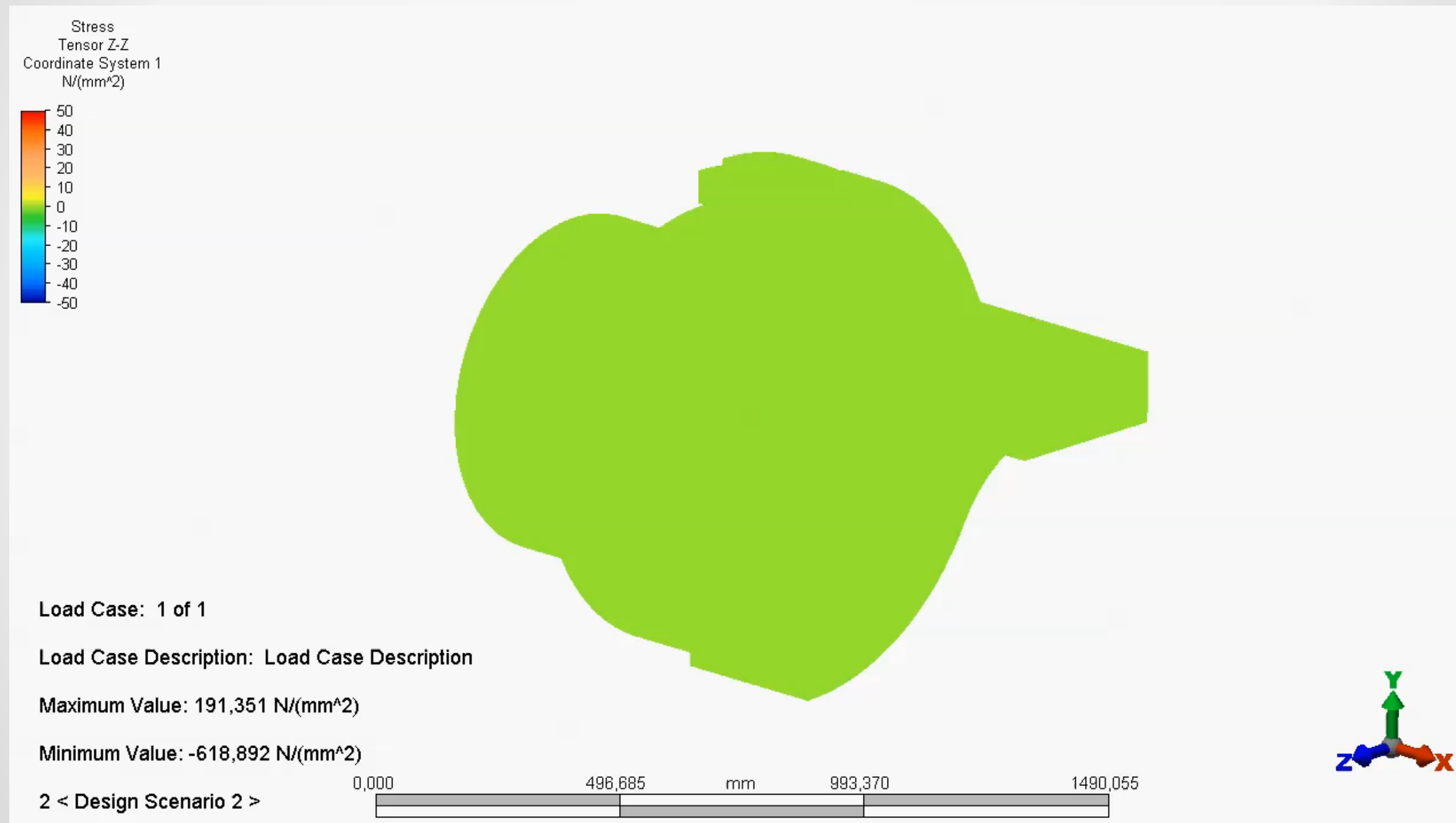
Beispiel 1: Rotorlagerung mit Pendelrollenlager



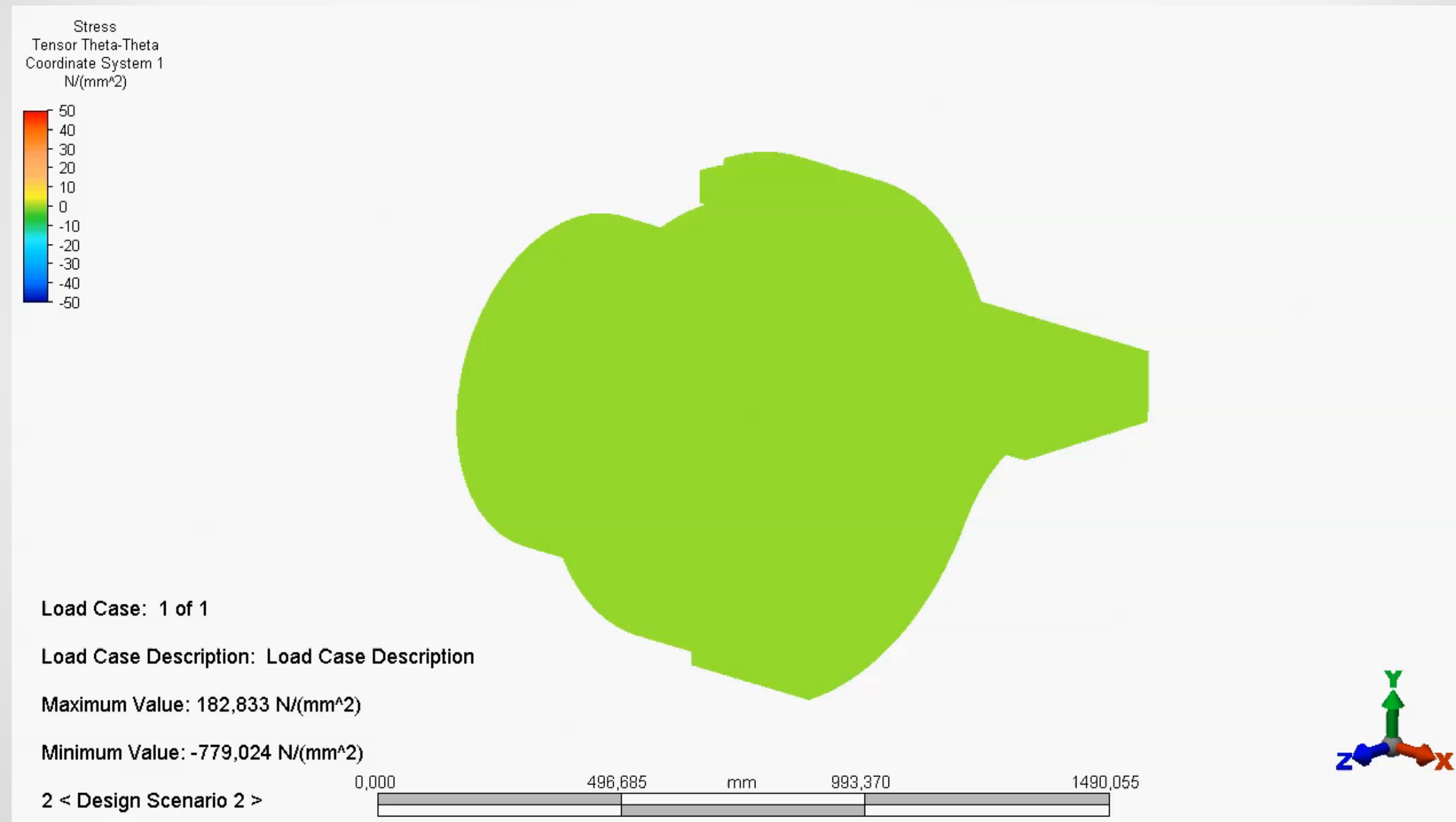
Beispiel 1: Beurteilung von Passfugen (1)



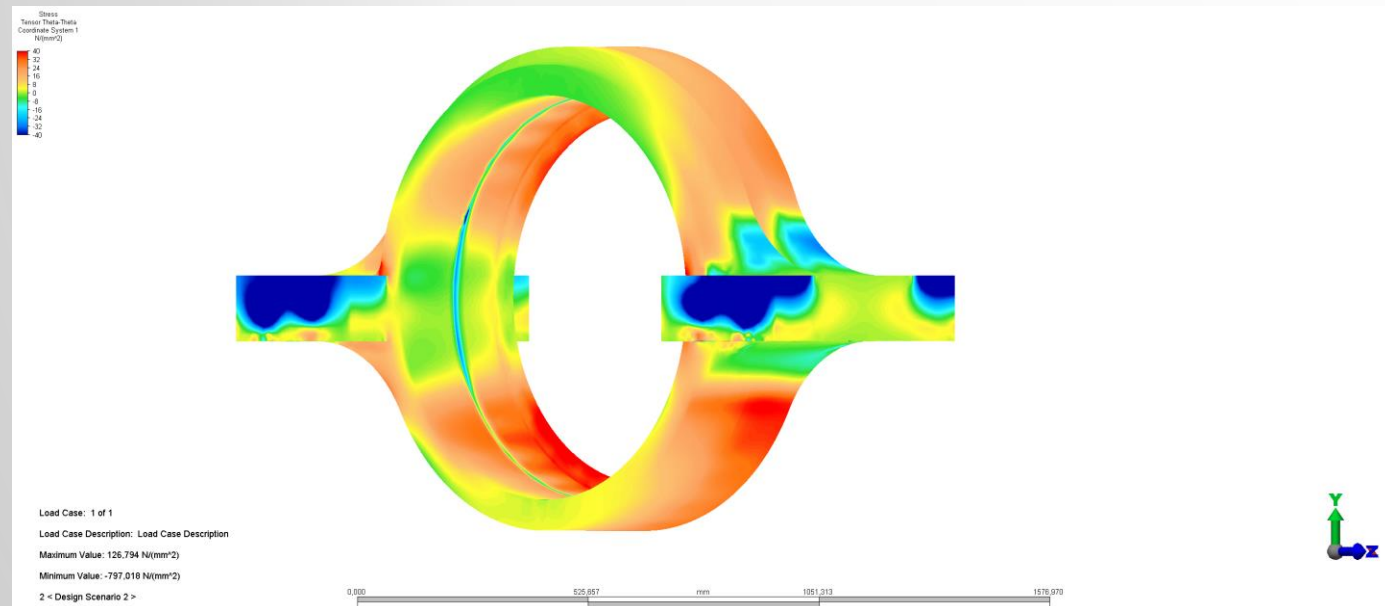
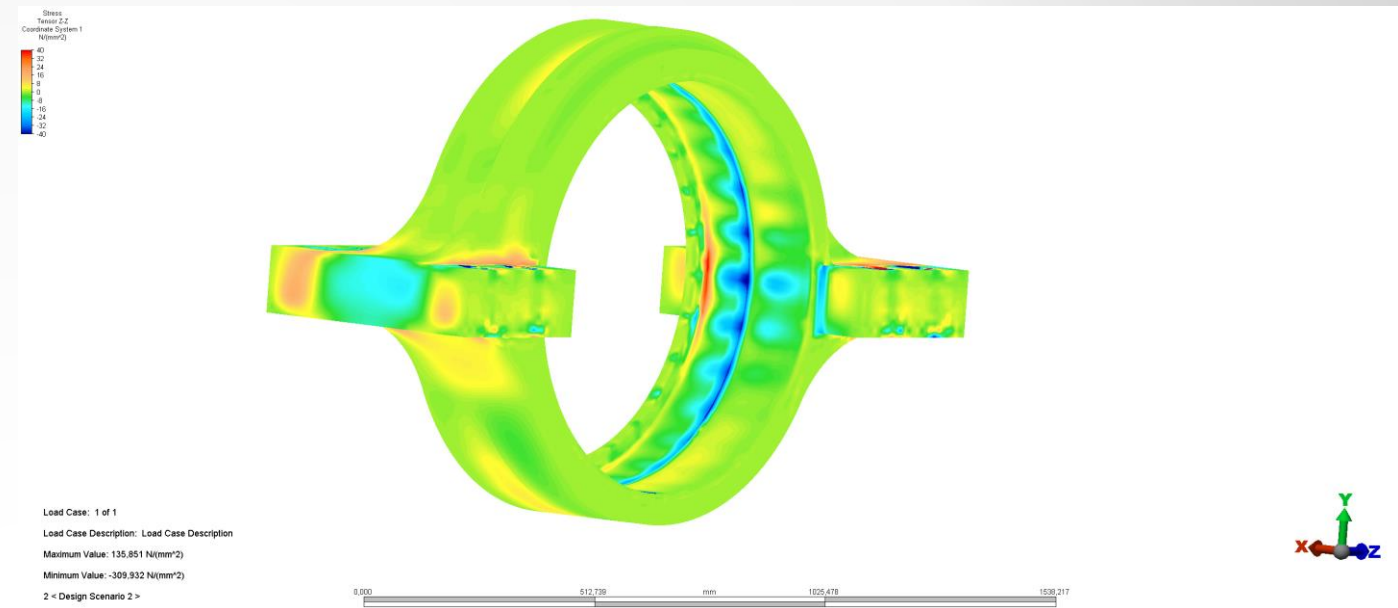
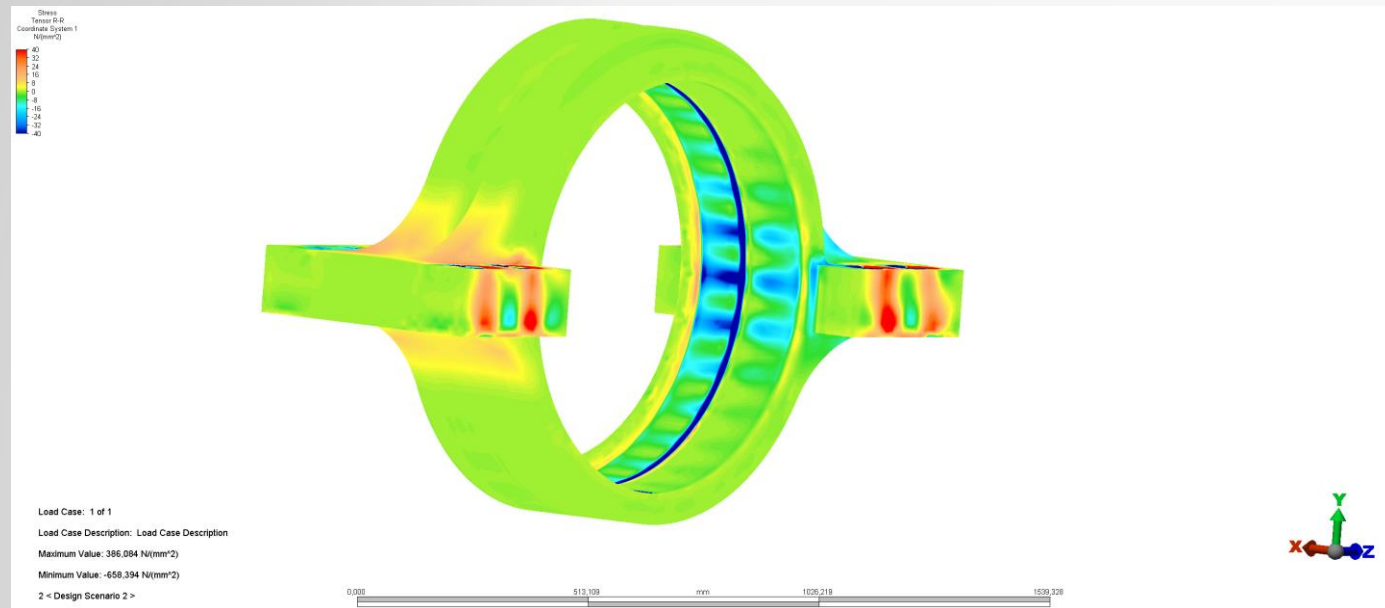
Beispiel 1: Beurteilung von Passfugen (2)



Beispiel 1: Beurteilung von Passfugen (3)



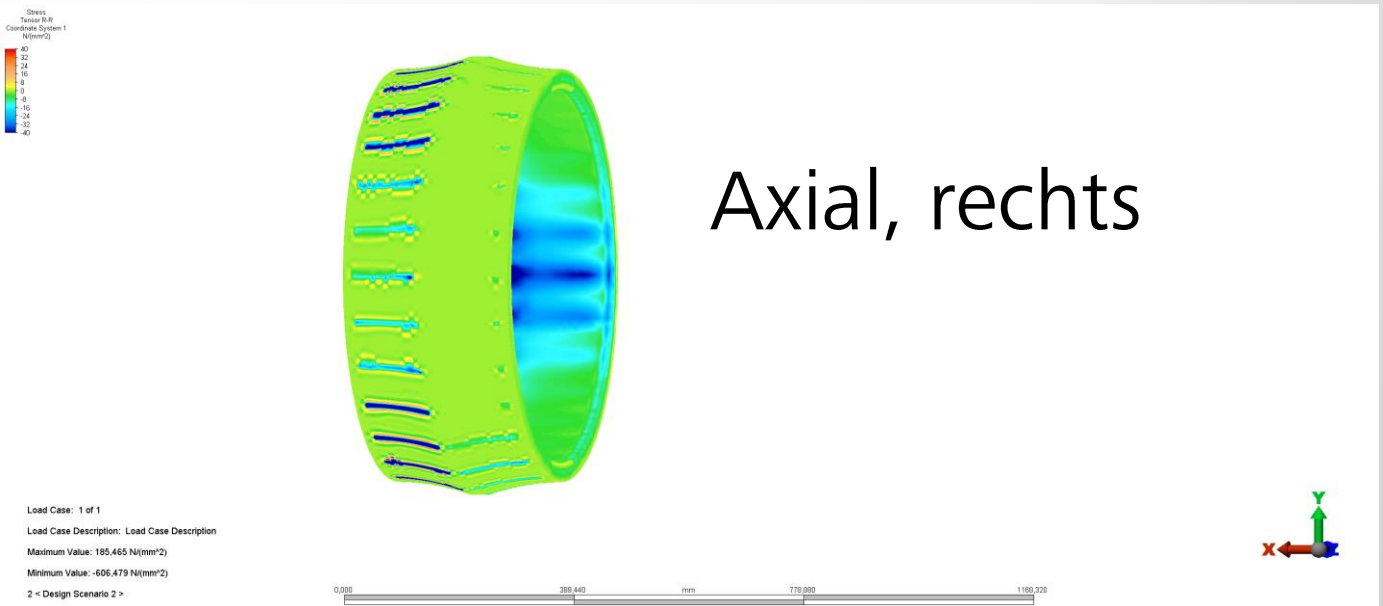
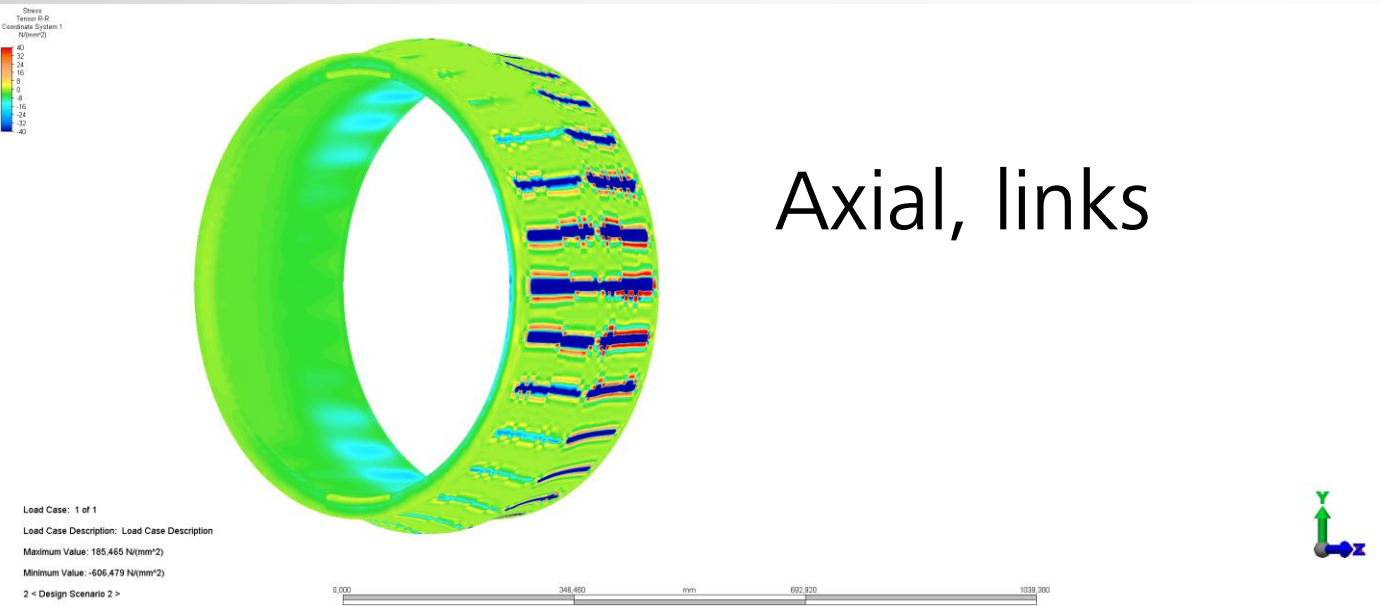
Beispiel 1: Beurteilung von Passfugen (4)



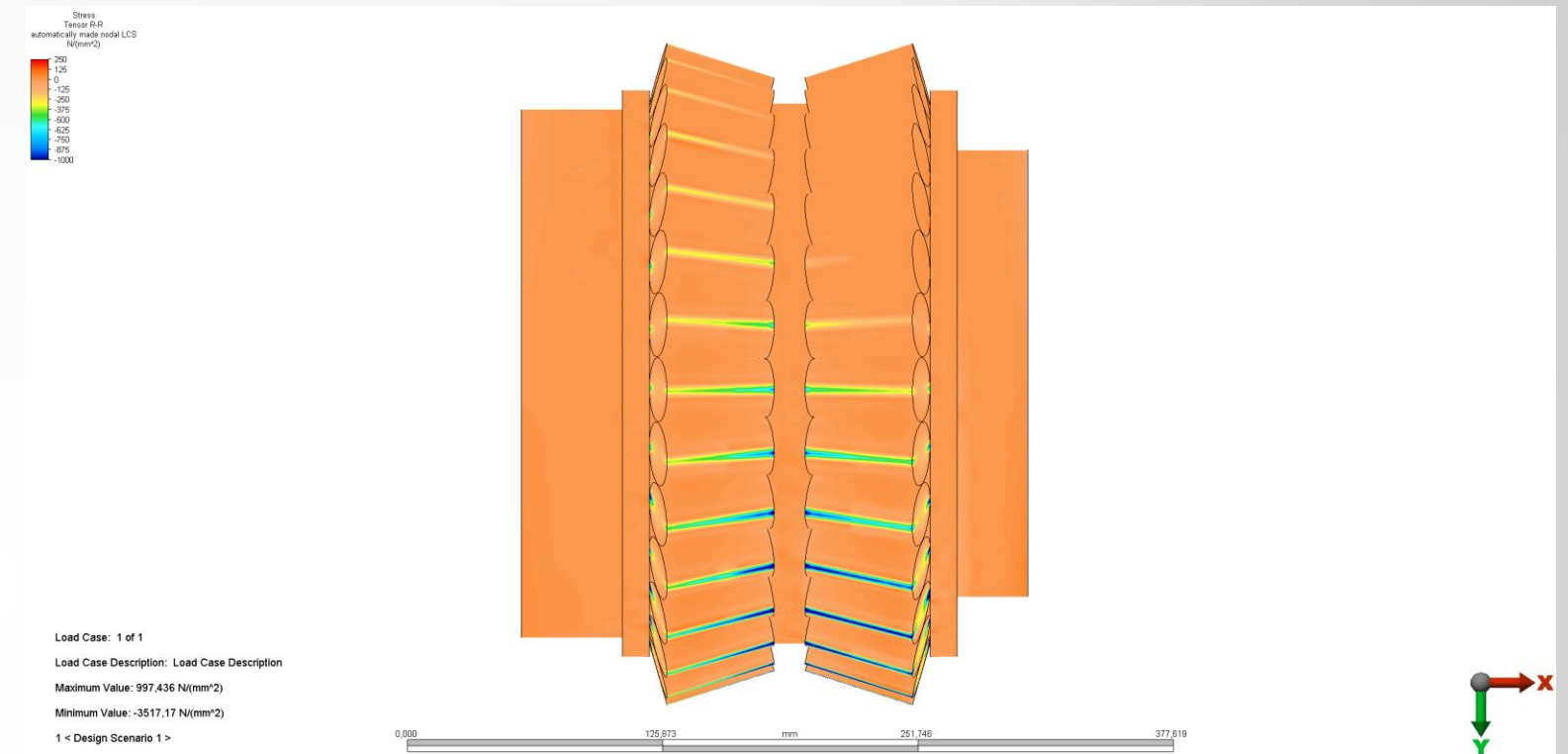
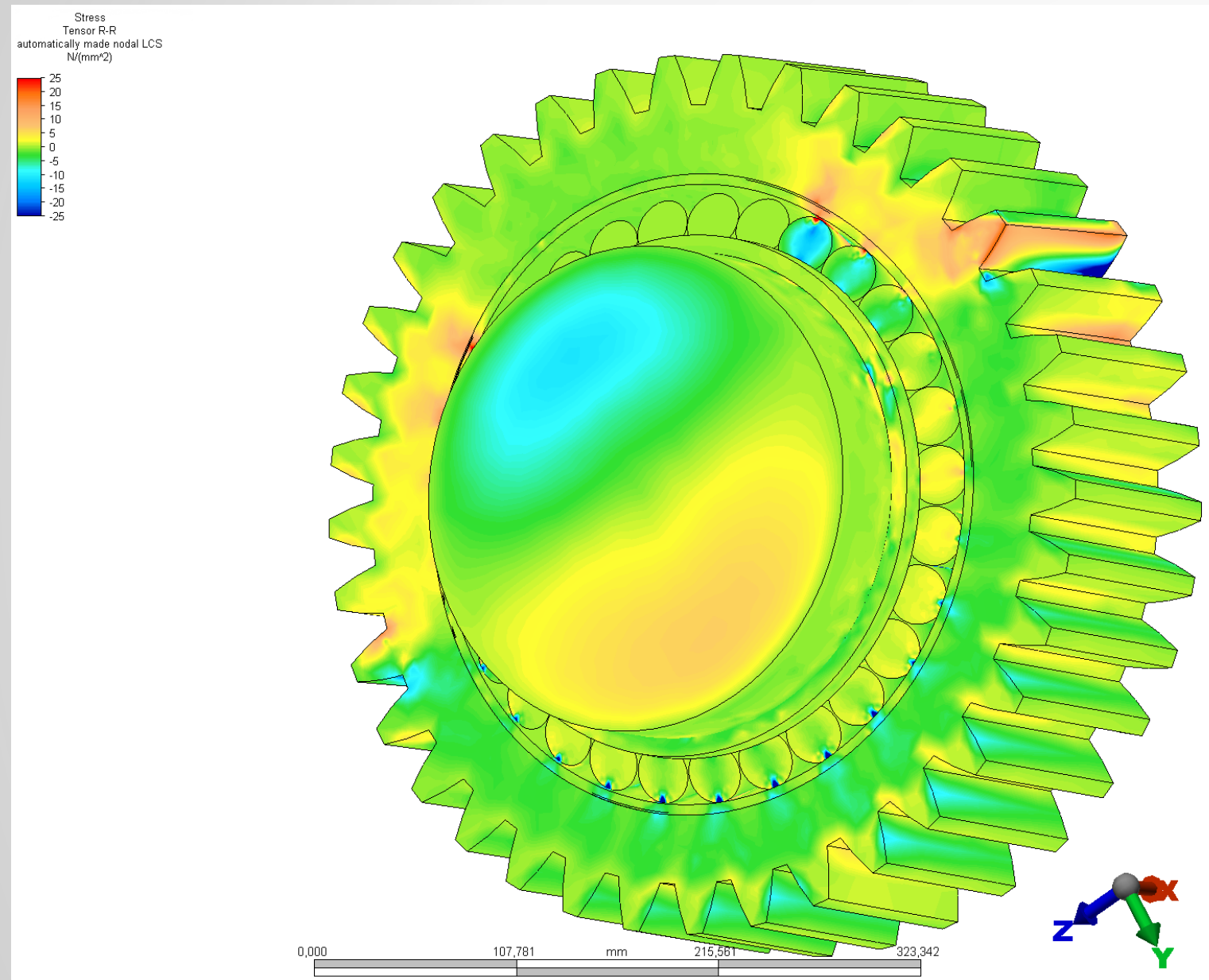
Spannungen

- Radial (oben links)
- Axial (oben rechts)
- Umfangsrichtung (unten)

Beispiel 1: Beurteilung der Lastverteilung



Beispiel 2: Planetenrad – Kegelrollenlager

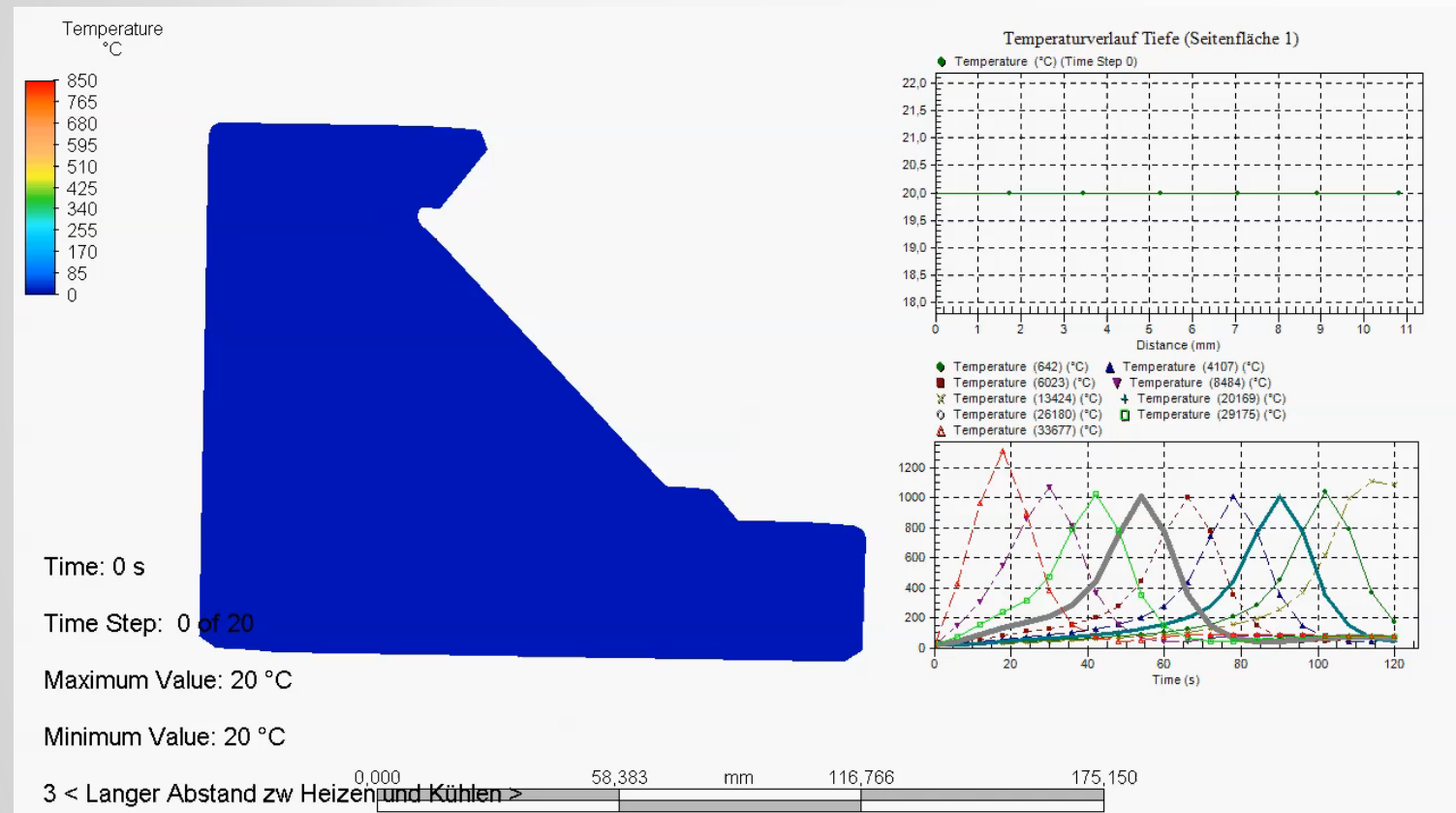


Radiale Spannungen

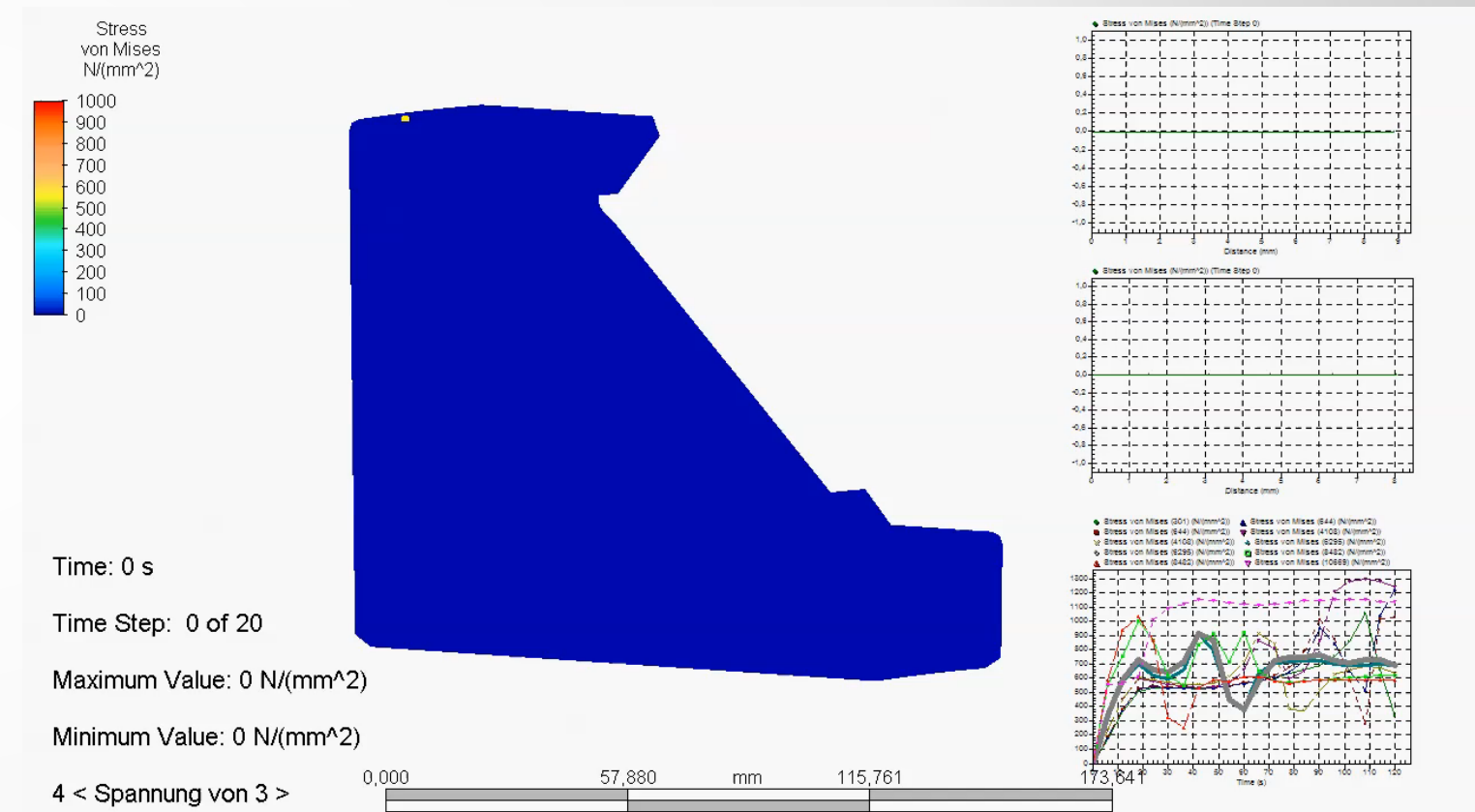
- Gesamt (links)
- Wälzkörpersatz (rechts)

Beispiel 3: Rotorlagerung – induktive Härtung

■ Temperaturverteilung über die Zeit

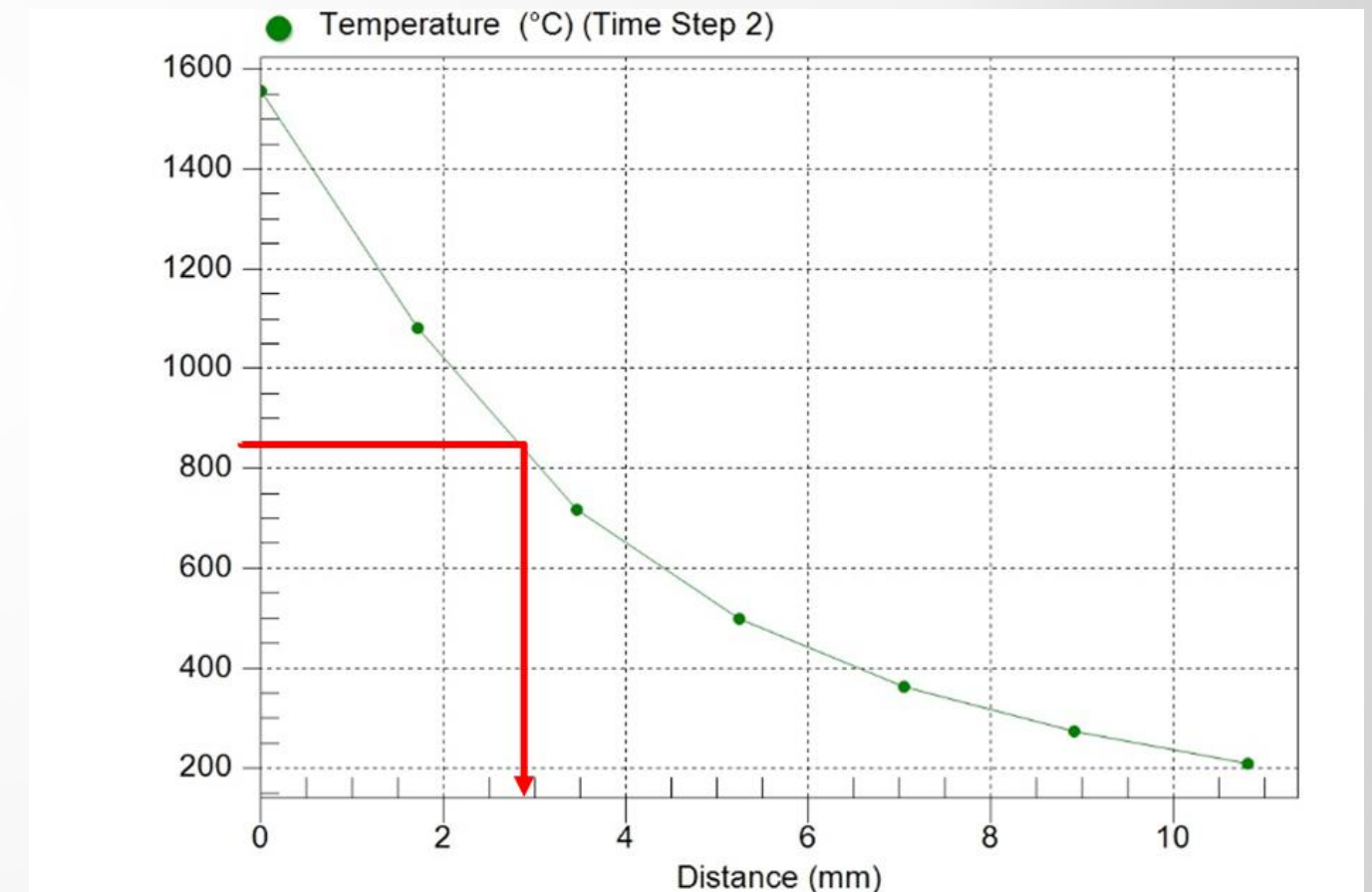


■ Spannungsverteilung über die Zeit



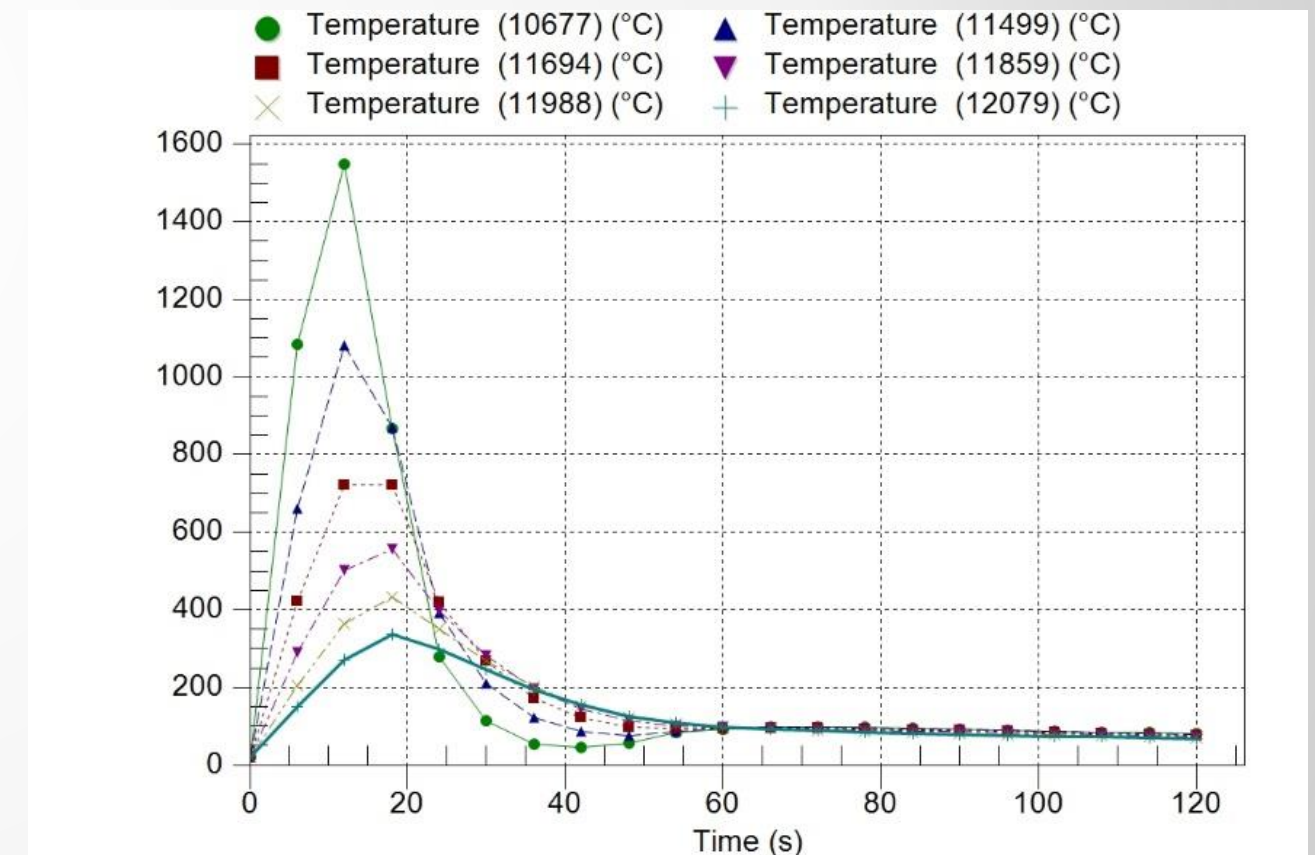
Beispiel 3: Fragestellungen bei der Härtung

- Temperaturverlauf unter der Oberfläche
- Erreicht das zu härtende Volumenelement die erforderliche Temperatur?
- Bis in welche Tiefe könnte bei Überschreiten der Mindesttemperatur gehärtet werden?
- Kritische Bereiche?



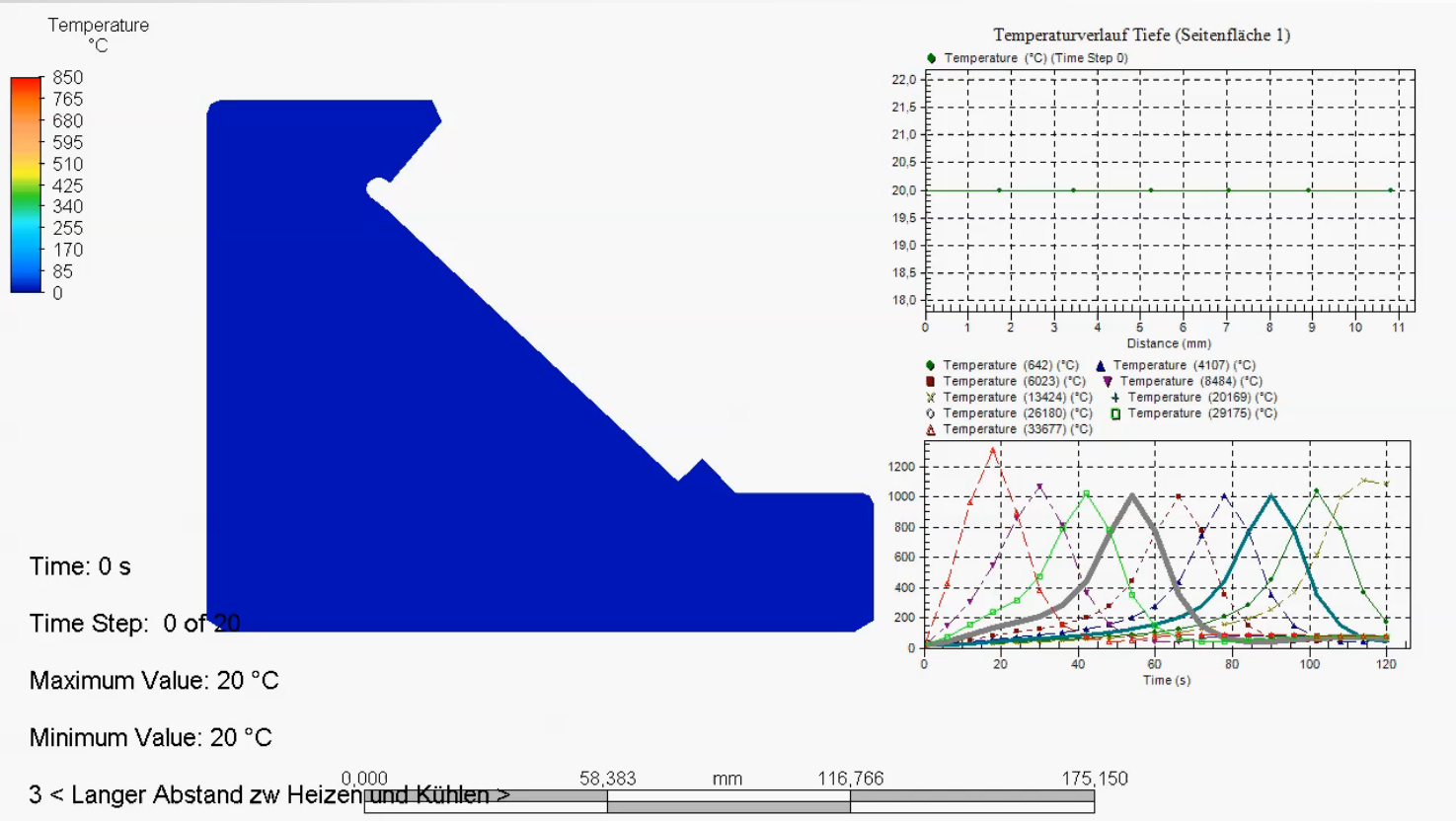
Beispiel 3: Fragestellungen bei der Härtung

- Erreicht das zu härtende Volumenelement die erforderliche Geschwindigkeit beim Abkühlen (ZTU)?
- Bis in welche Tiefe könnte bei Überschreiten der min. Geschwindigkeit gehärtet werden?
- Ist die Geschwindigkeit in Bereichen sehr hoch / zu hoch?
- Reicht die Haltezeit?

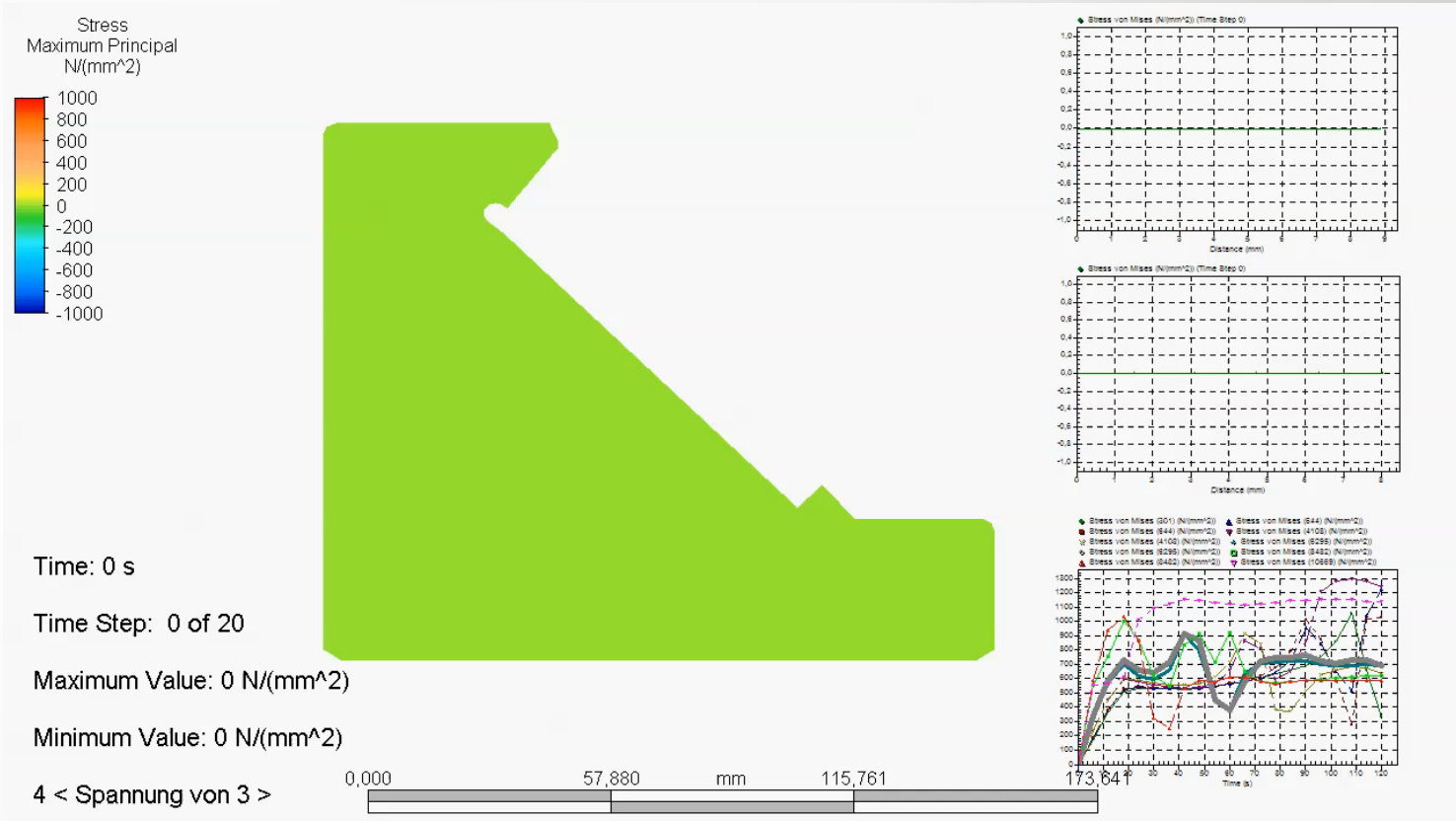


Beispiel 3: Hauptspannungen

Temperaturverteilung über die Zeit (Seitenansicht)

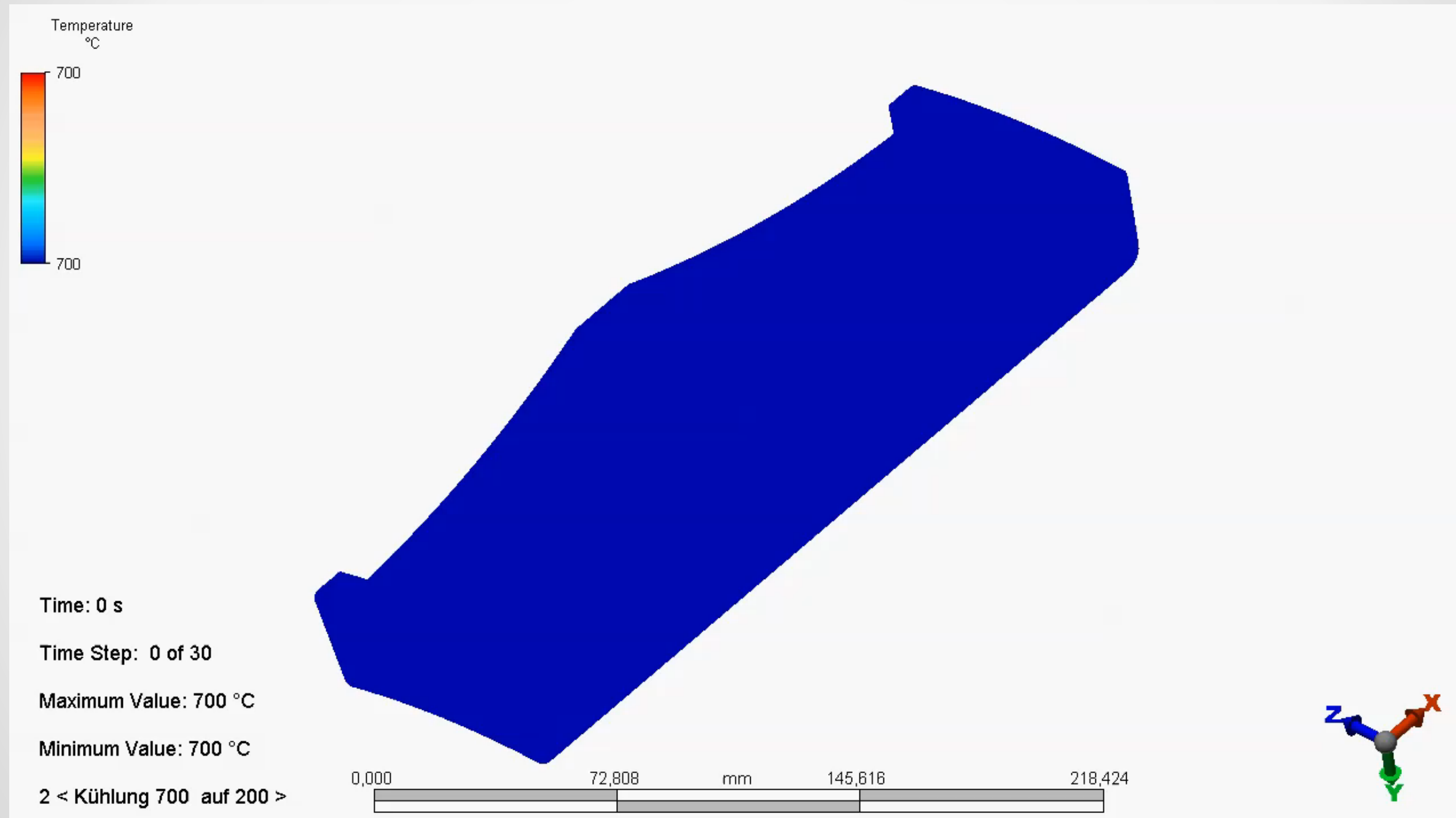


Verteilung der max. Hauptspannung über die Zeit (Seitenansicht)

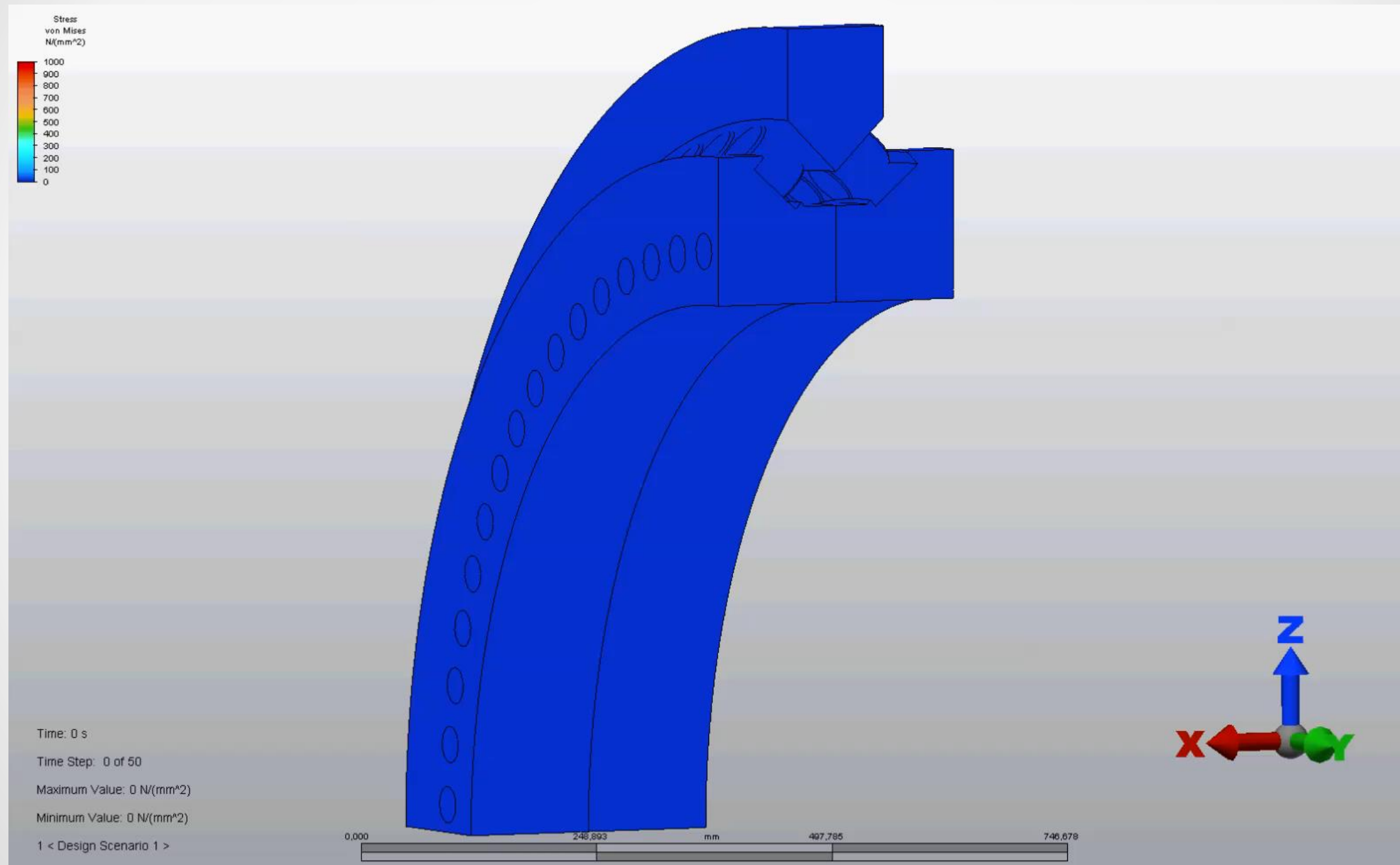


Zugspannungen an der Oberfläche
Druckspannungen unterhalb der Oberfläche

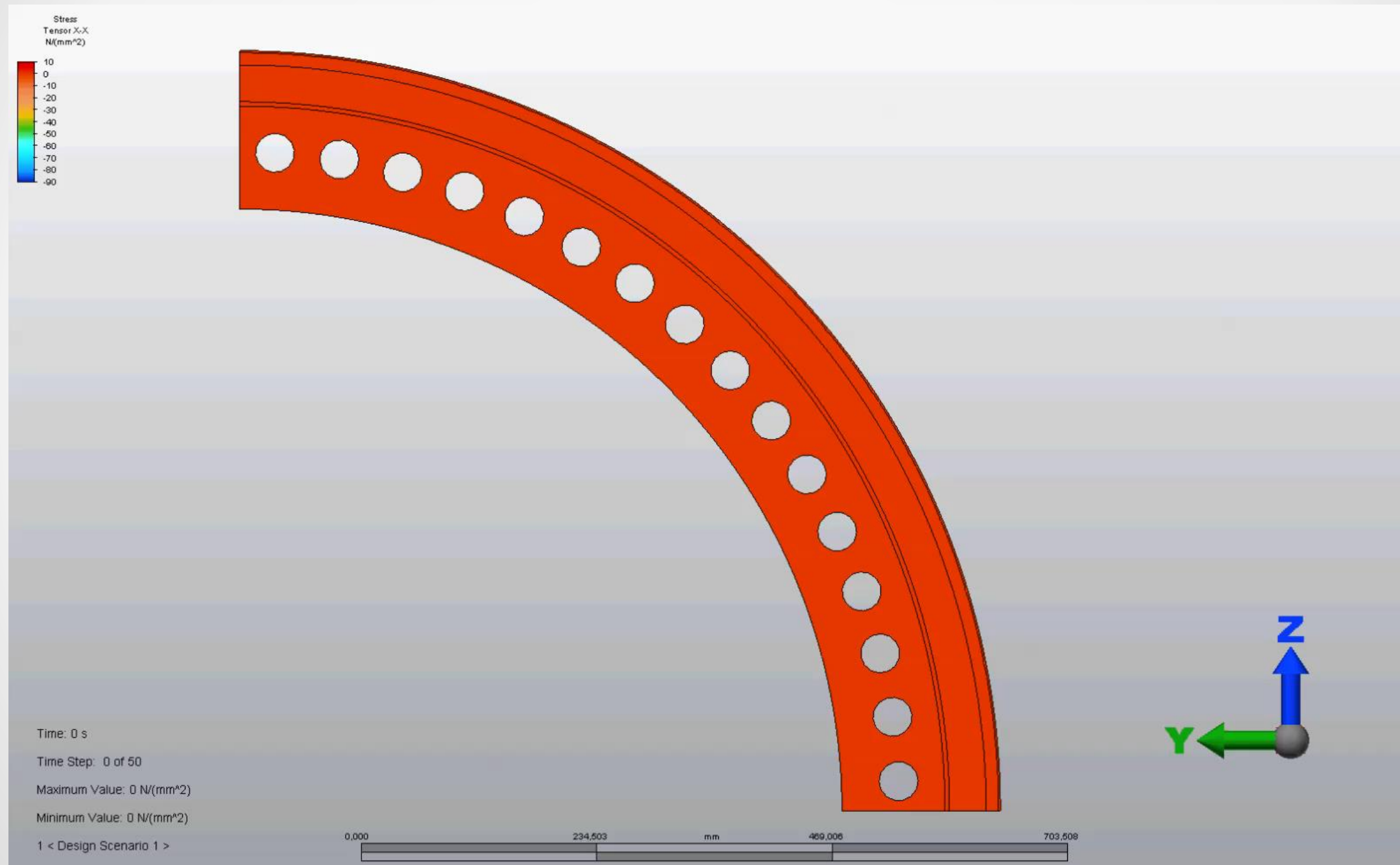
Beispiel 4: Bainitische Härtung



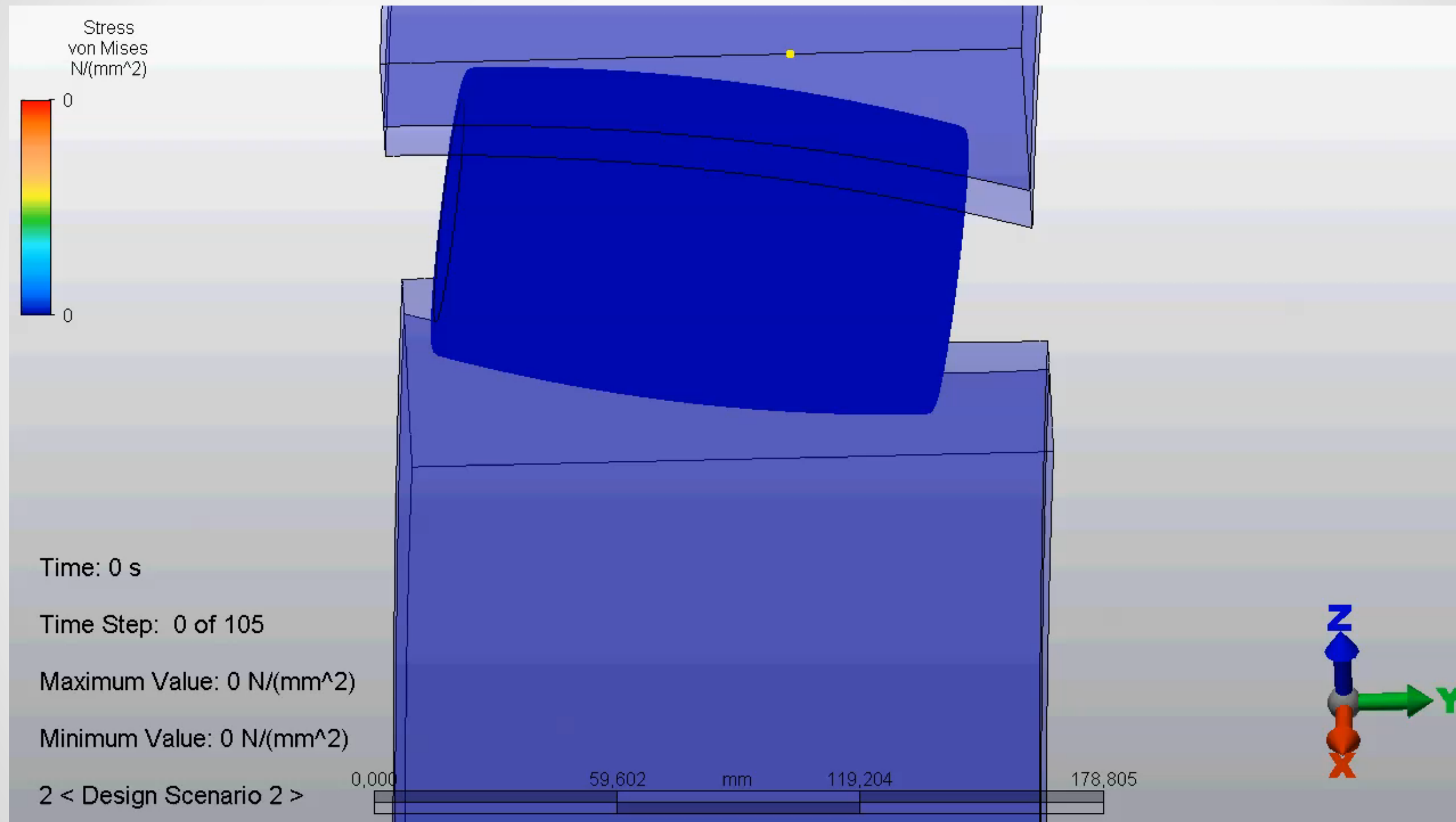
Beispiel 5: Verschraubte Innenringe am Rotorlager



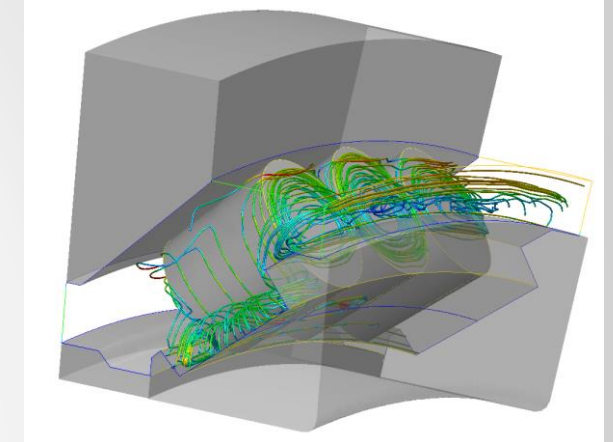
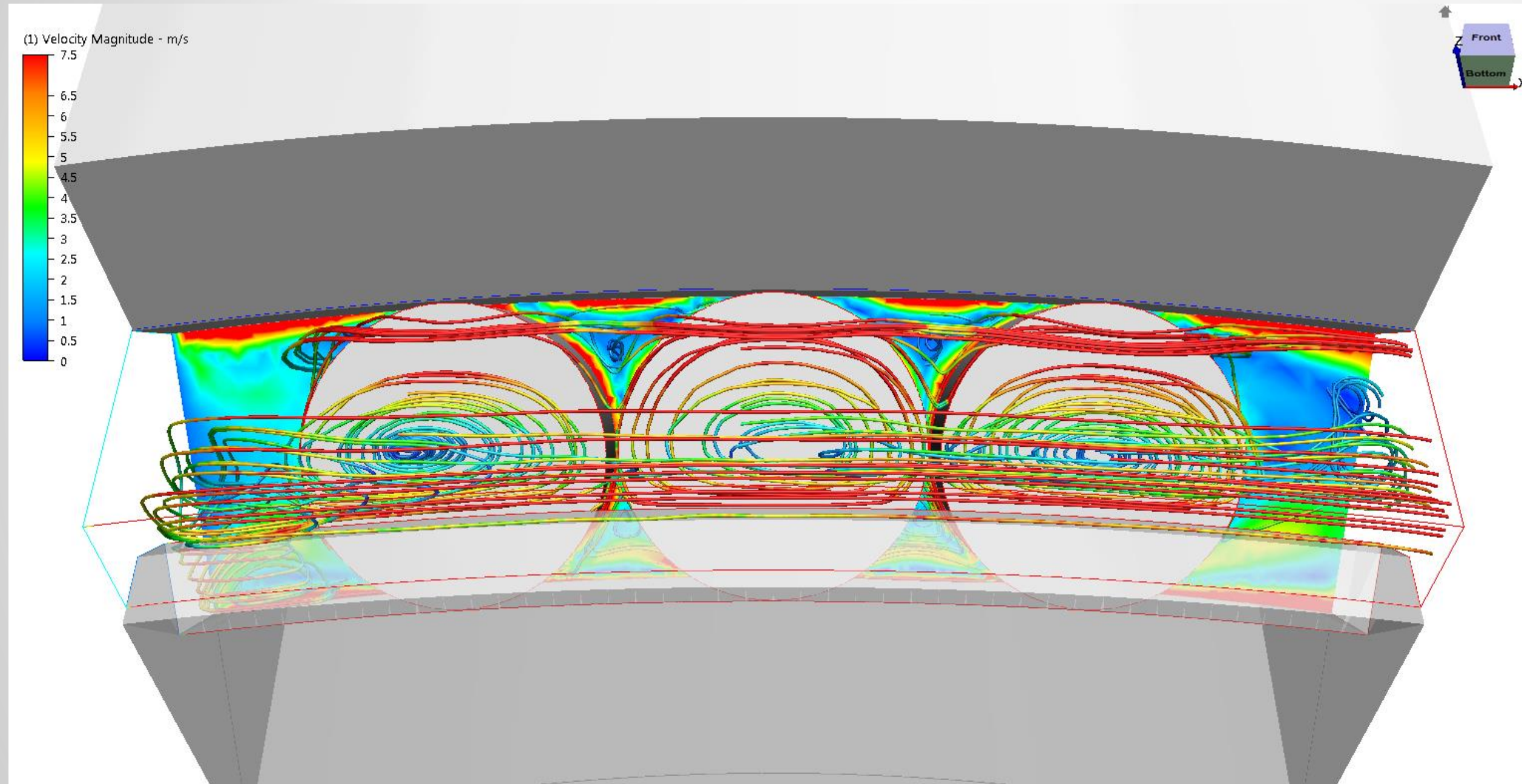
Beispiel 5: Verschraubte Innenringe am Rotorlager



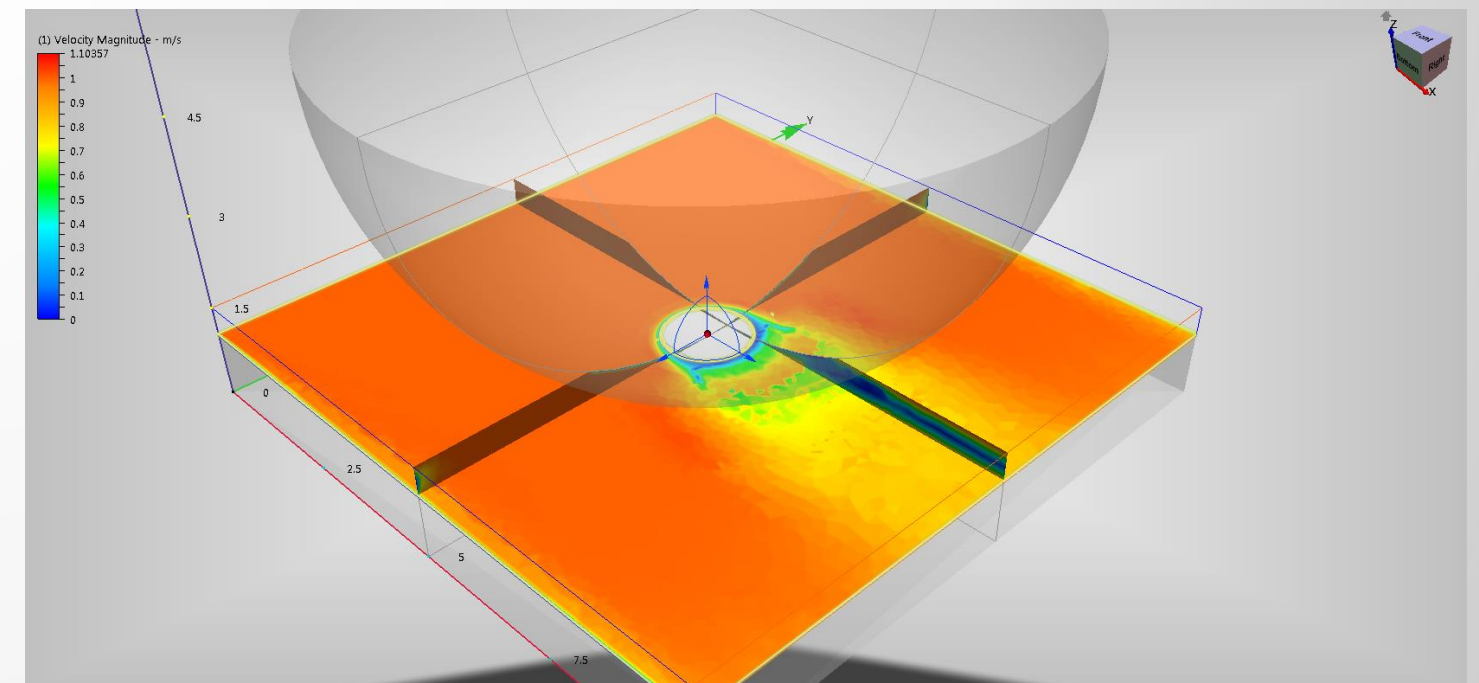
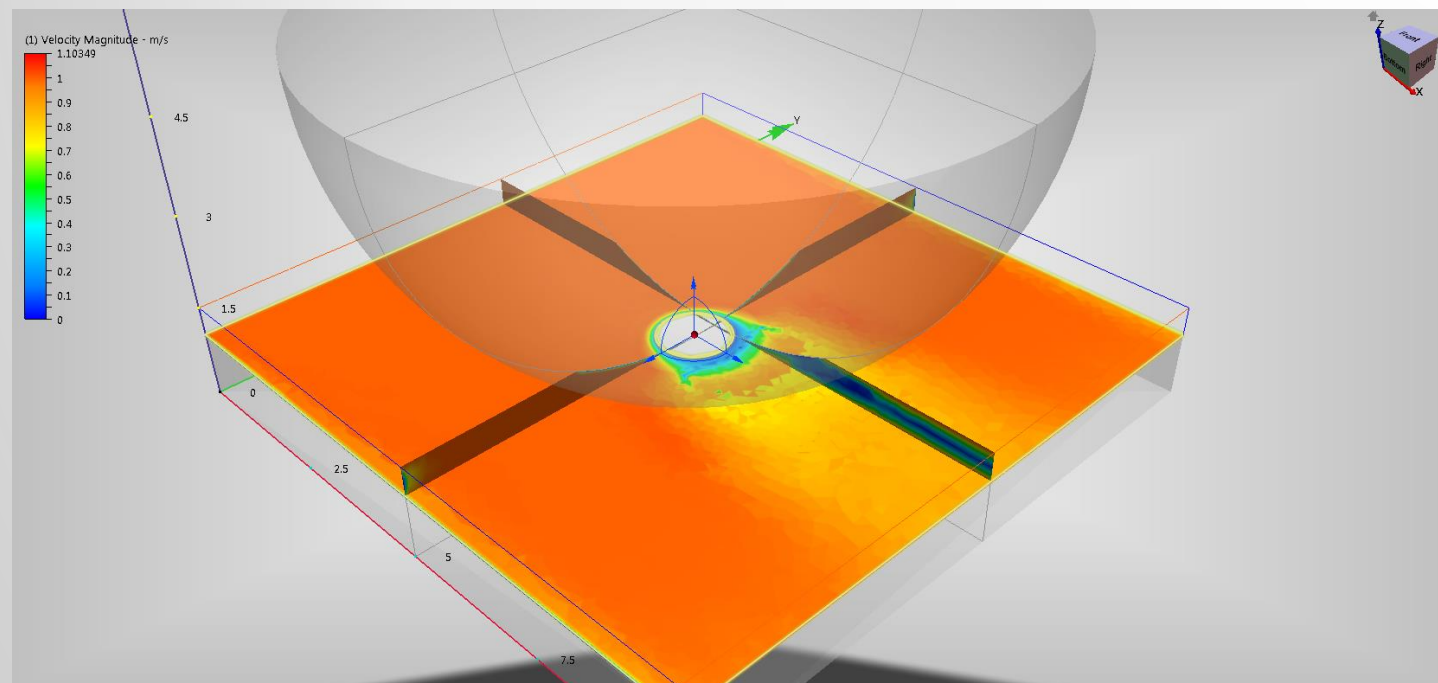
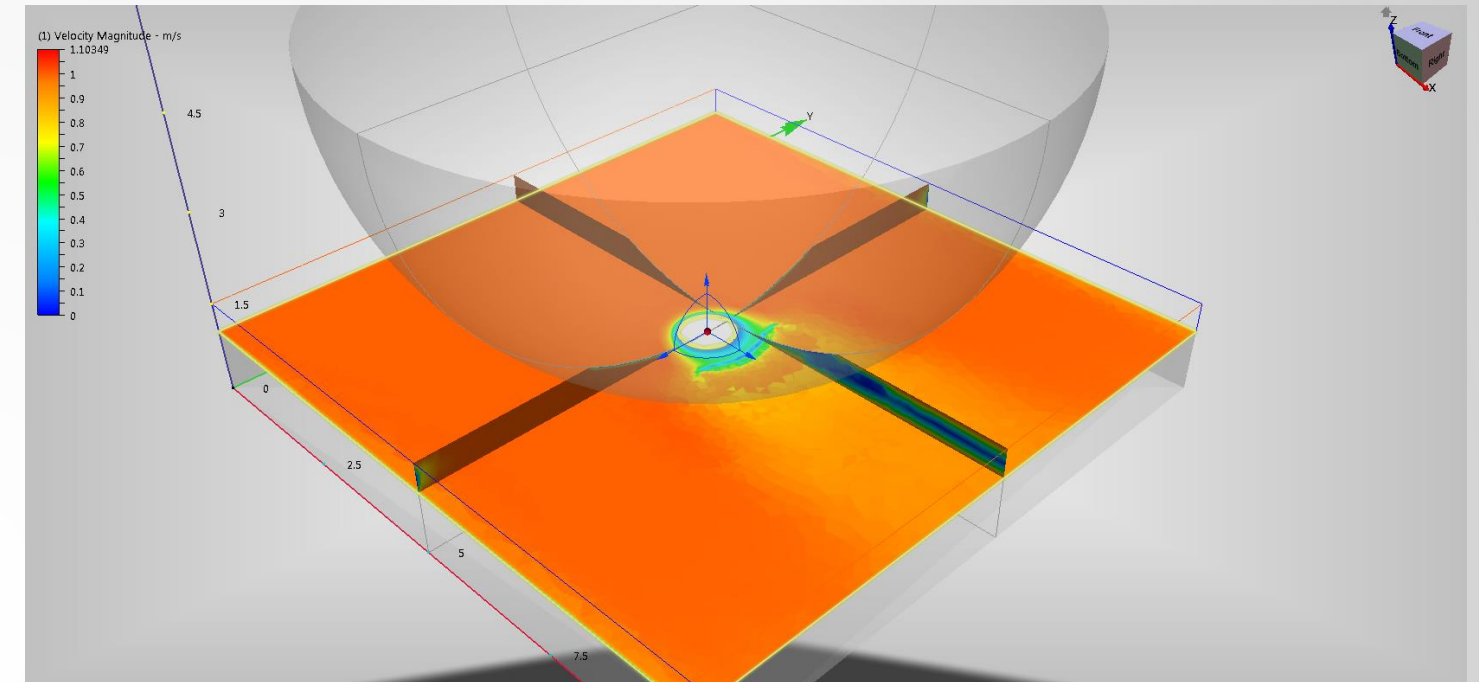
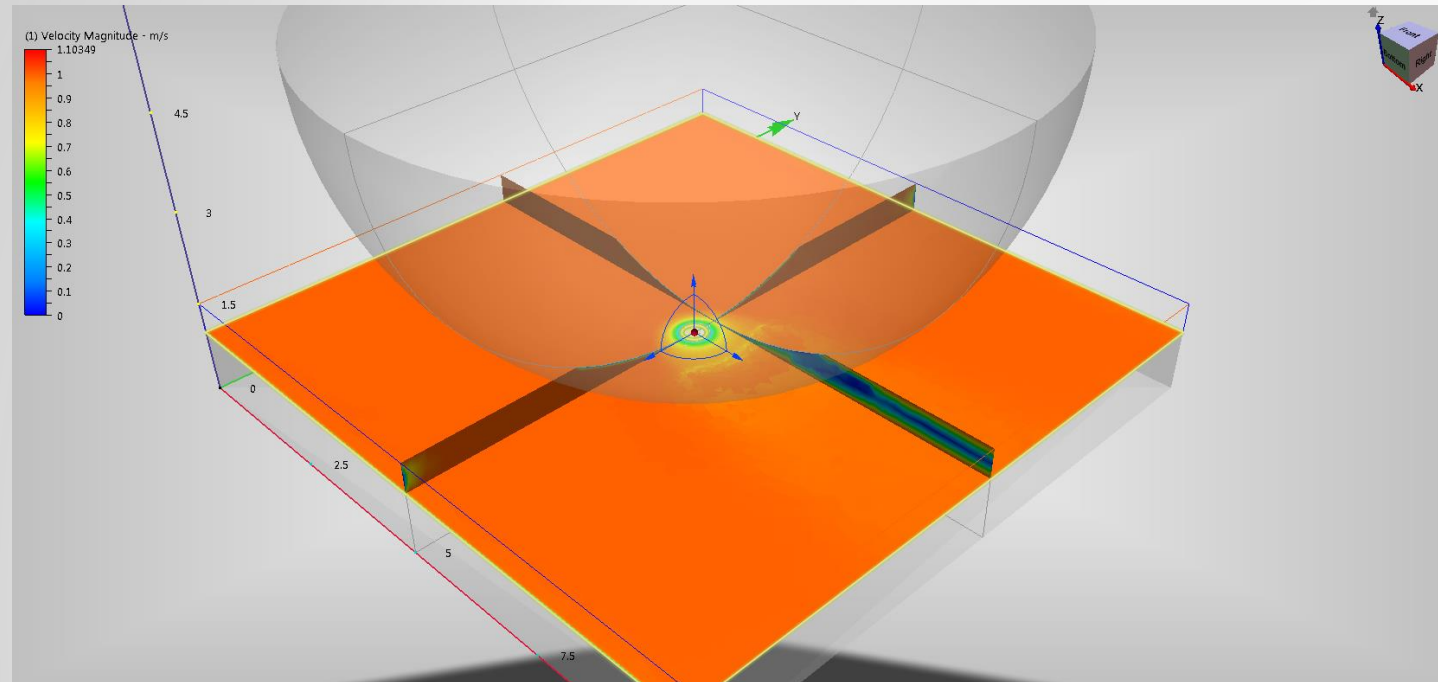
Beispiel 6: dynamische Simulation Pendelrollenlager



Beispiel 7: Schmierung im Rotorlager



Beispiel 8: Mangelschmierung (Starvation)



Zusammenfassung

Windenergie

- Weit verbreitet
- Kostengünstige Stromerzeugung
- Dezentral
- Fluktuierend
- Weiterer Kostendruck
- Weiteres Optimierungspotential insbesondere für Binnenlandwindparks

Windenergieanlagen

- High Tech verschiedenster Disziplinen
- Komplexe Steuerungen, autonomer Betrieb
- Weiter wachsende Anlagengrößen
- Verstärkte Optimierung für Schwachwindstandorte
- Gestiegene Anforderungen für Netzanbindung
- Kraftwerkseigenschaften
- Vielfalt von Maschinenkonzepten
- Weiteres Optimierungspotential

Wälzlager

- Wachsende Größen
- Kostendruck
- Verschiedene Konzepte, neue Designs
- Neue Fertigungsverfahren
- Herausforderungen bei der Herstellung
- Teilweise eingeschränkte Zuverlässigkeit
- Hohe Austausch- und Folgekosten

Autodesk Simulation Mechanical und CFD

- Gute Bedienbarkeit
- Vielfältige Berechnungsmöglichkeiten
- Verschiedenste Materialmodelle
- Gute Vernetzungstools
- Einfache Einbringung der Randbedingungen
- Übernahme von Ergebnisse aus CFD in Mechanical
- Strategische Verbesserung der Programme
- (Noch) Einschränkungen bei FSI

Autodesk Simulation Mechanical und CFD

- Hoher Nutzen beider Programmsysteme
- Guter und meist schneller Support
- Richtige Wahl für Change Engineering
- Würden uns wieder so entscheiden

Vielen Dank

Change Engineering GmbH
Wiesenweg 4
97490 Poppenhausen

info@change-engineering.com

www.change-engineering.com

