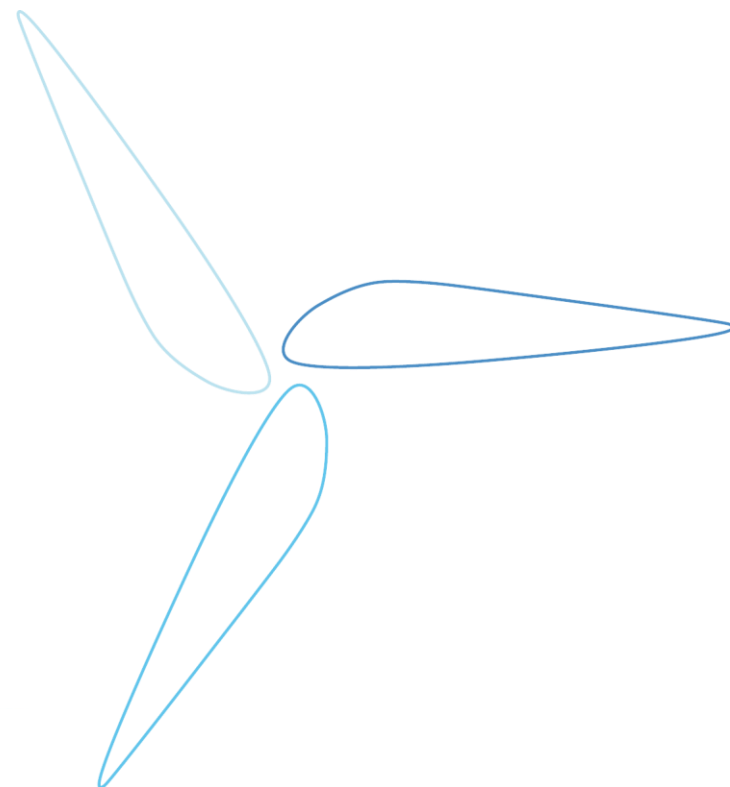


# Integrierte Simulation von Offshore Windenergieanlagen (OWEA) mit verzweigten Tragstrukturen

ANSYS Conference &  
29. CADFEM Users Meeting 2011  
Daniel Kaufer, 19.10.2011, Stuttgart





# SWE Inhalt

- Kurzvorstellung Stiftungslehrstuhl Windenergie
- Grundlagen Systemsimulation von WEA
- Herausforderung größerer Wassertiefen und neue Anforderungen
- Integrierter Ansatz von Flex5 - ANSYS ASAS
- Vorteile & Nachteile der Softwarekopplung
- Validierung anhand Monopile Tragstruktur
- Beispiel OWEA in 50m Wassertiefe
- Zusammenfassung

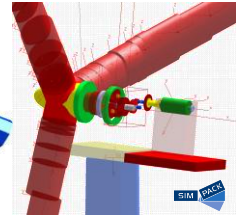
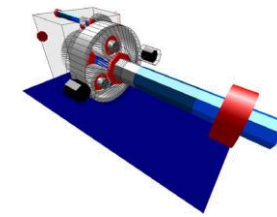
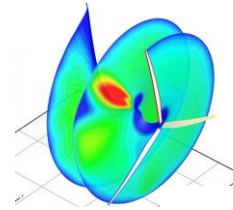


## Kurzvorstellung des Lehrstuhls

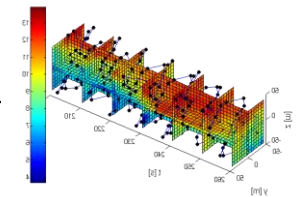
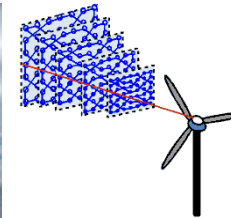
- Angesiedelt an der Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik
- Professur und 16 wiss. Mitarbeiter, davon 12 Promovenden
- Finanziert durch Karl-Schlecht-Stiftung sowie zahlreiche nationale und internationale Forschungsprojekte
- Jährlich werden etwa 50 Studenten im Bereich der Windenergie ausgebildet → zahlreiche Möglichkeiten für Abschlussarbeiten
- Mitglied im Windenergienetzwerk: WindForS
- Mehr unter: [www.uni-stuttgart.de/windenergie](http://www.uni-stuttgart.de/windenergie)



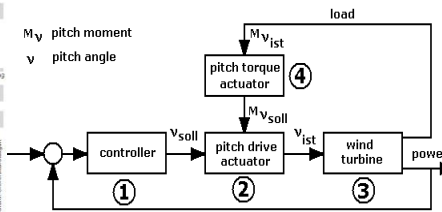
Aeroelastisches Verhalten von Windenergieanlagen und Komponenten



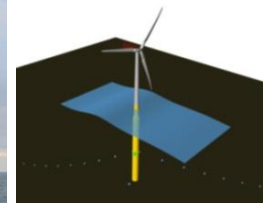
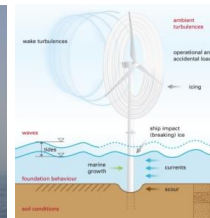
Betrieb von Windenergieanlagen



Lastüberwachung und Regelung



Strukturmechanik und Entwurf von Offshore Windenergieanlagen



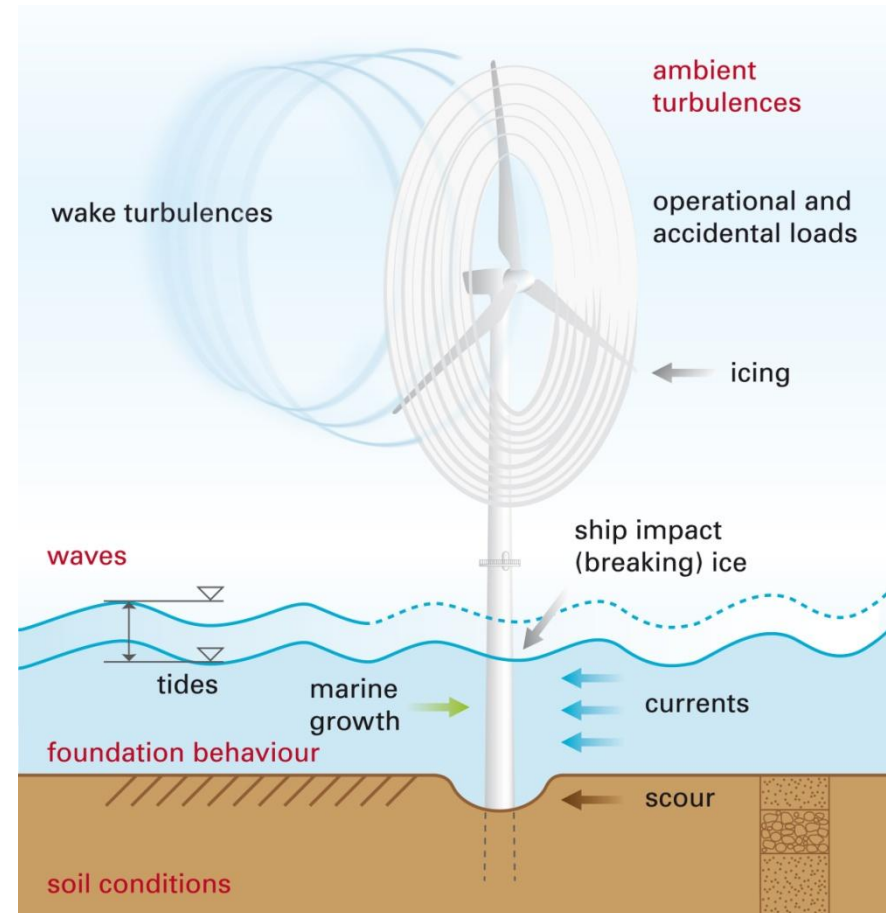
# Warum Systemsimulation von OWEA?

## Zweck:

- Ermittlung von Ermüdungs- und Extremlasten einer OWEA die in 20 Jahren Lebensdauer sicher auftreten

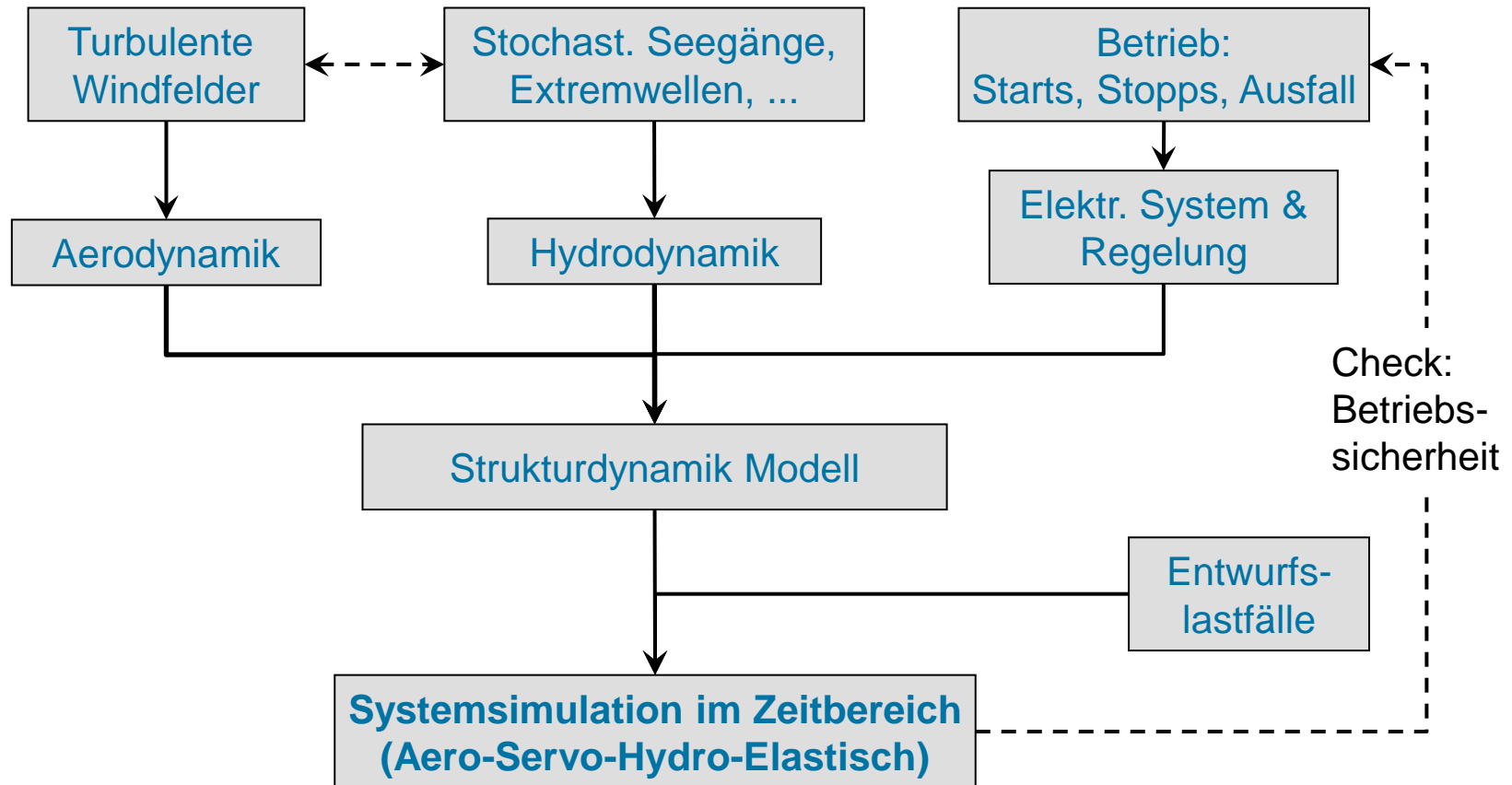
## Schwierigkeiten:

- Instationäres, dynamisches und nicht-lineares Schwingungssystem
- Zeitlich und räumlich veränderliche Lasten (primär) aus standort-spezifischen Wind und Wellenbedingungen
- Spezifische Betriebsverhalten
- Zahlreiche Lastfälle



# Anforderungen an Systemsimulation (1)

(Mindest-)Modellierungskette und Abhängigkeiten:



## Anforderungen an Systemsimulation (2)

- Offshore WEA erreichen größere Wassertiefen von mehr als 25m
- Anwendbarkeit bisheriger Monopile Strukturen ist fraglich → neue kostenoptimierte Konzepte werden nötig

### Herausforderung

---

- Übergang zu WEA mit komplexen Tragstrukturen in Wassertiefen > 25m
- Interaktion von Rotor-Gondel Moden mit lokalen Tragstrukturmoden
- Boden-Struktur-Interaktion an mehreren Pfählen
- Hoher Rechenaufwand bei Anlagen mit verzweigten Tragstrukturen

### Lösung

---

- Weiterentwicklung von Tools die komplexe Modelle einbinden können
- Integrierter Simulationsansatz die dynamische Koppeleffekte berücksichtigt
- Bettung z.B. durch verteilte Feder-Dämpfer Paare
- Reduktion von FHG, Optimierung der Modelle

## Ansatz von Flex5 - ANSYS ASAS (1)

Idee: Kombination der jeweiligen Stärken auf Ebene der Bewegungsgleichungen

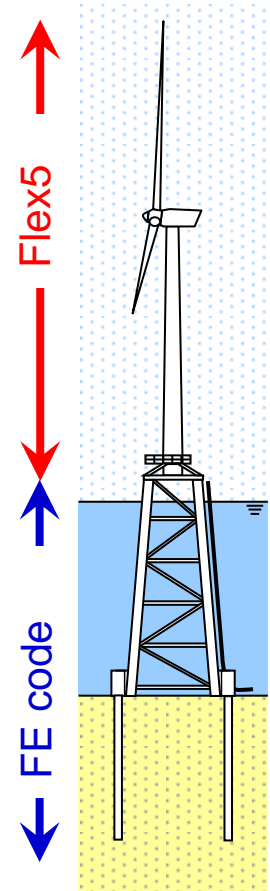
### Flex5

- Aeroelastische Modellierung von Rotor, Gondel und Turm
- Turbulente Einströmung
- Ermöglicht Betriebsführung der WEA
- Sehr schneller Code

### ANSYS ASAS

- Spezielles FE-Tool für Offshore Anwendungen
- Flexibilität beim modellieren von Tragstrukturen
- Jahrzehntelange Erfahrung
- Lineare und nicht-lineare Wellentheorien
- Boden-Struktur-Kopplung

→ **Interaktion und Update des Modells während der Simulation nötig**



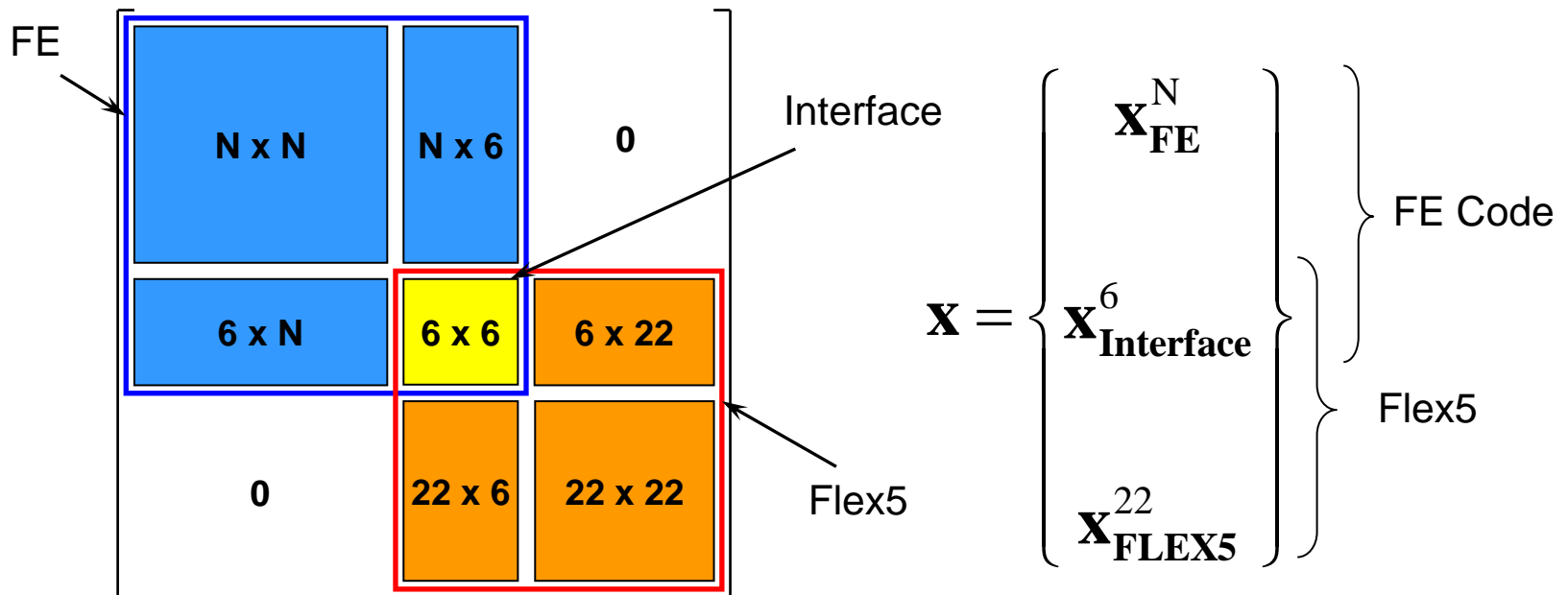
Pictures: W. de Vries, TU Delft



## Ansatz von Flex5 - ANSYS ASAS (2)

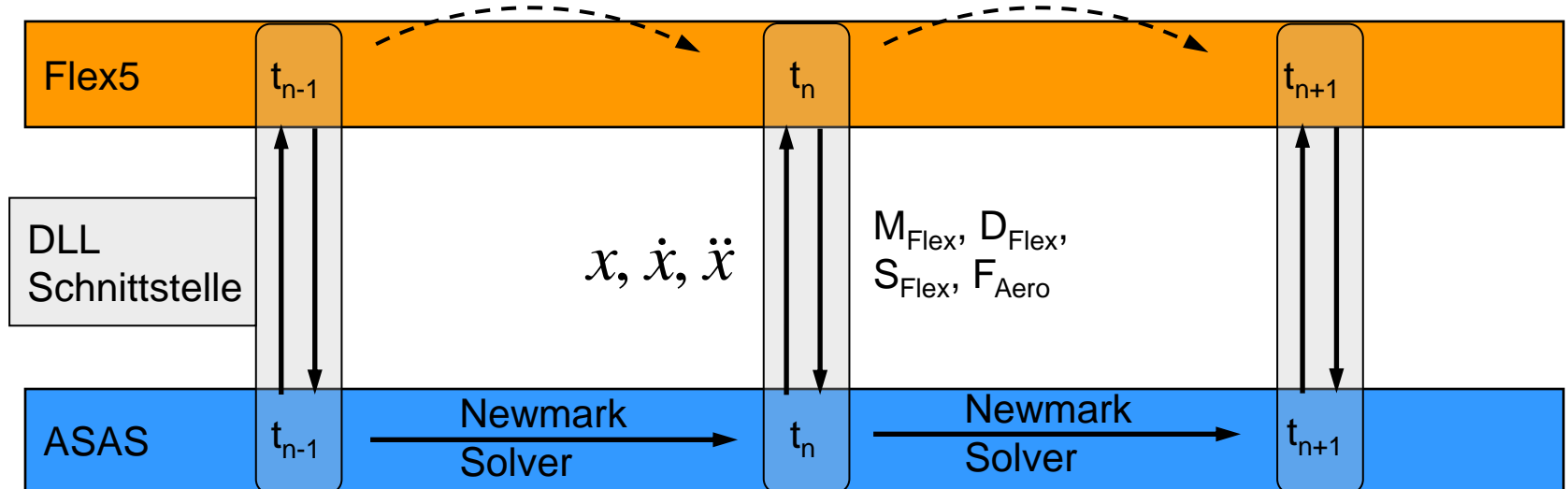
Zusammensetzung der Bewegungsgleichung 2. Ordnung:

$$\mathbf{M} \cdot \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{D} \cdot \dot{\mathbf{x}} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{F}(t, \mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, \ddot{\mathbf{x}})$$



### Flex5

- importiert Lösung des Gleichungssystems
- aktualisiert Rotor-Gondel und Turm Modell und deren Belastung



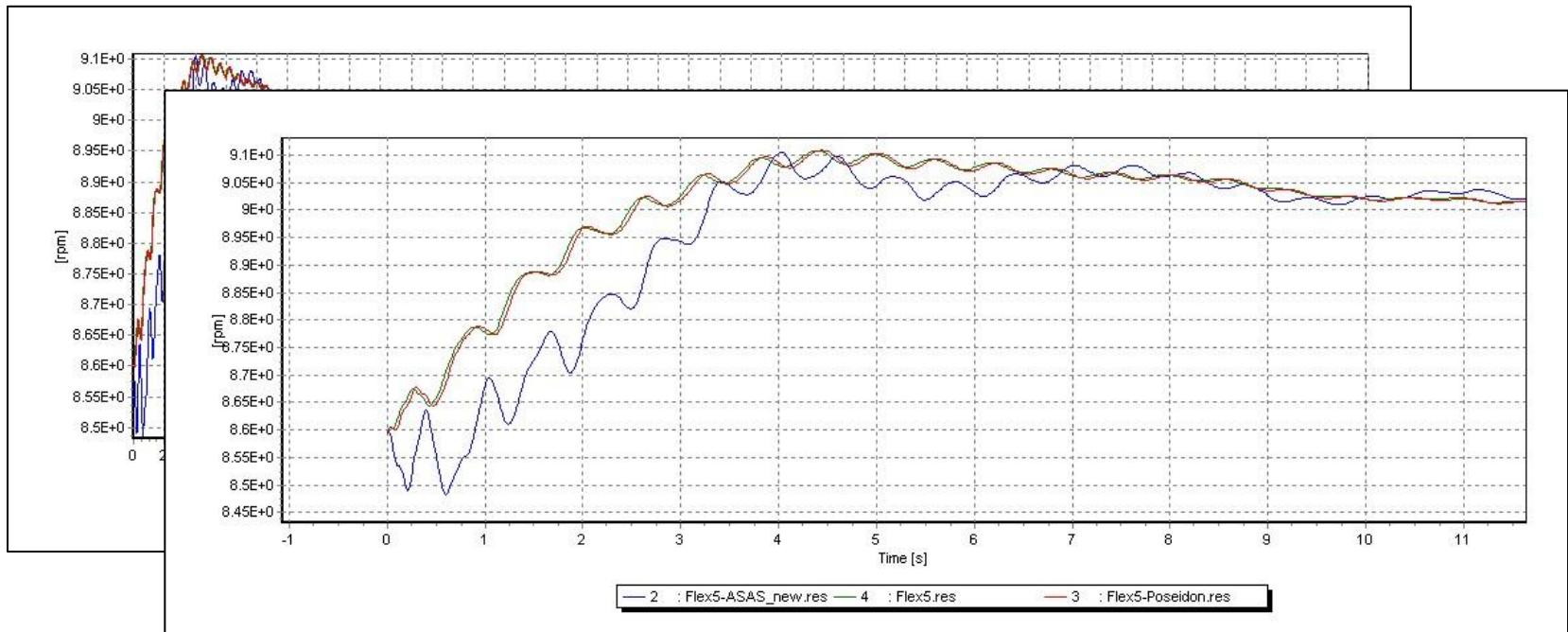
### ASAS

- Importiert Flex5 Modell
- Überlagert hydrodynamische Lasten und löst den nächsten Zeitschritt

# Verifikation der Methode (1)

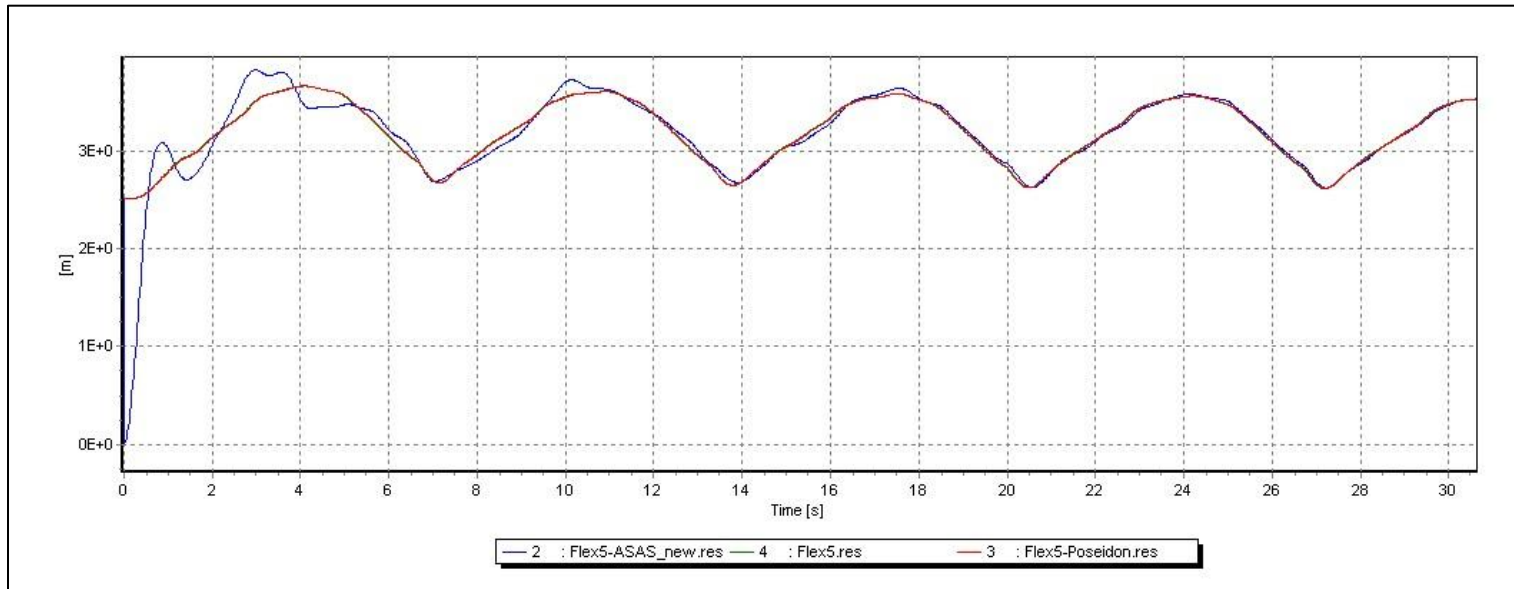
- 5MW Anlage mit Monopile: auch von Flex5 allein behandelbar
- Vergleichbarkeit wird gewährleistet durch niedrige Modellkomplexität
- Deterministischer Lastfall: 8m/s Windgeschwindigkeit ohne Wellenbelastung

Diagramm: Rotordrehzahl [rpm] über Zeit [s]



Blau = Flex5-ASAS, Grün = Flex5, Rot = Flex5-Poseidon

Diagramm: Blattauslenkung Schlagrichtung [m] über Zeit [s]



- Anfangsbedingungen beinhaltet nur die Anfangsdrehzahl in Flex5-ASAS
- Flex5 iteriert 100 Schritte um vollständige Anfangsbedingungen zu bestimmen  
→ Anfangsverschiebung, -geschwindigkeit, -beschleunigung
- Flex5-Poseidon nutzt einen statischen Anfangsschritt → Anfangsverschiebungen  
→ Anfangsbedingungen entscheidend für schnellen Einschwingvorgang

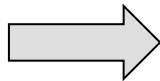
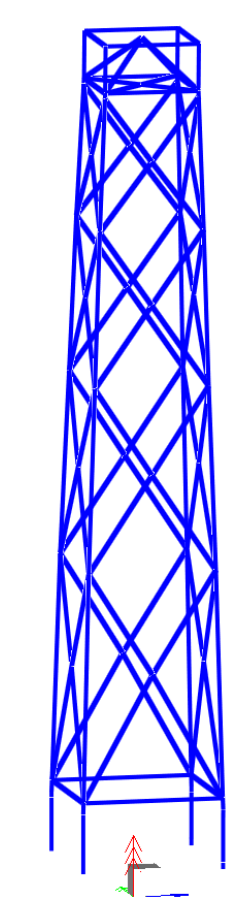
Blau = Flex5-ASAS, Grün = Flex5, Rot = Flex5-Poseidon



## Bespiel 50m Tiefwasserstandort

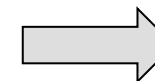
- 5MW Windenergieanlage in 50m Wassertiefe
- Modell wurde im EU-Projekt „UpWind“ entwickelt

ASAS\_v12.01 from ANSYS

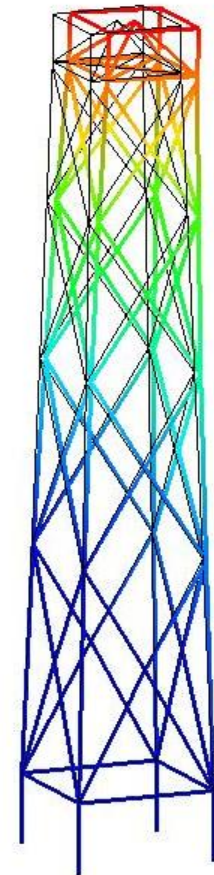


IEC Lastfall 6.1a:

- 46m/s turbulenter Wind
- WEA trudelt
- 8m Seegang
- Wind/Wellen co-direktional



Verstärkungsfaktor 100



## Pro & Contras von Flex5 - ANSYS ASAS

### Pro

---

- Integrierte Modelle ohne Tragstrukturreduktion möglich
- Umfangreiche Modellierungstiefe je nach Anwendungsfall möglich
- Aero-Servo-Hydro-Elastische Simulationsumgebung
- Umfangreiche Pre- und Postprocessing Möglichkeiten durch die ANSYS Produkte
- Stetige Weiterentwicklung von ANSYS lassen Performanceverbesserungen erwarten

### Contra

---

- Gleichungslösung ist langsamer als andere integrierte Simulationsprogramme
- Der ASAS Modellaufbau ist komplex und für Anfänger eher schwierig
- Es fehlt eine automatisierte statische Anfangslösung als Randbedingung



## Zusammenfassung

- Notwendigkeit integrierter Simulationstools aufgrund neuer Offshore Konzepte
- Methodik von Flex5-ANSYS ASAS basiert auf der Kopplung von Bewegungsgleichungen
- Ausweitung der Anwendbarkeit beider Programme erreicht
- Verifikation der Methodik erfolgreich
- Verbesserungsbedarf bei der Definition von Anfangsbedingungen  
→ ideal als Automatismus zu Beginn einer Simulation
- Weiterentwicklung hinsichtlich der Simulation von Floating Konzepten ist logische Konsequenz