Vibrationsbasiertes SHM-System für Kranbahnträger

Referent: Fabian Keilpflug

Technische Hochschule Wildau
Technical University of Applied Sciences

ArcelorMittal

26.02.2019

Agenda

I. Projektvorstellung

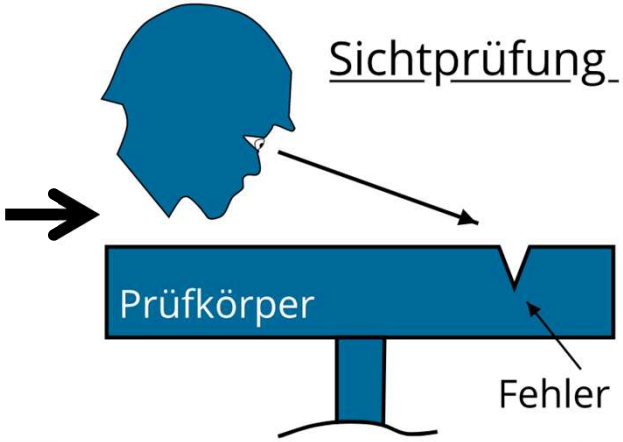
II. Untersuchungen
- Labor Messung
- In-Situ Messung

III. Ergebnisse

Projektvorstellung

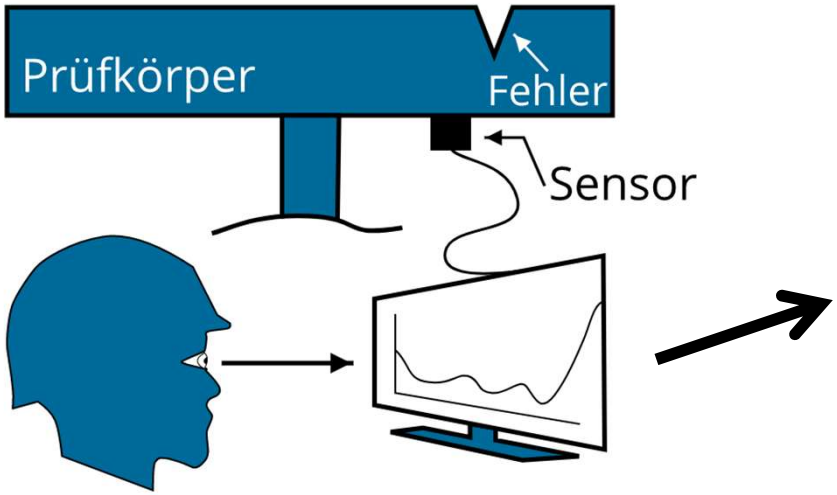
Problem:

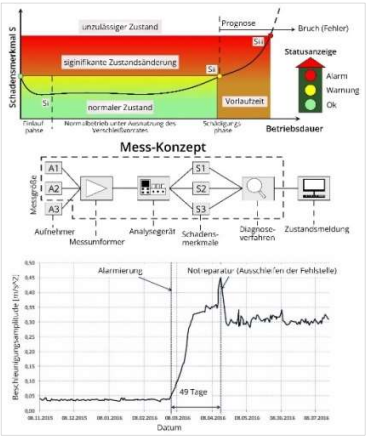
- Entstehung von Rissen im Obergurt
- Präventive- / Reaktive Instandhaltung
- Unvorhersehbare Produktionsausfälle



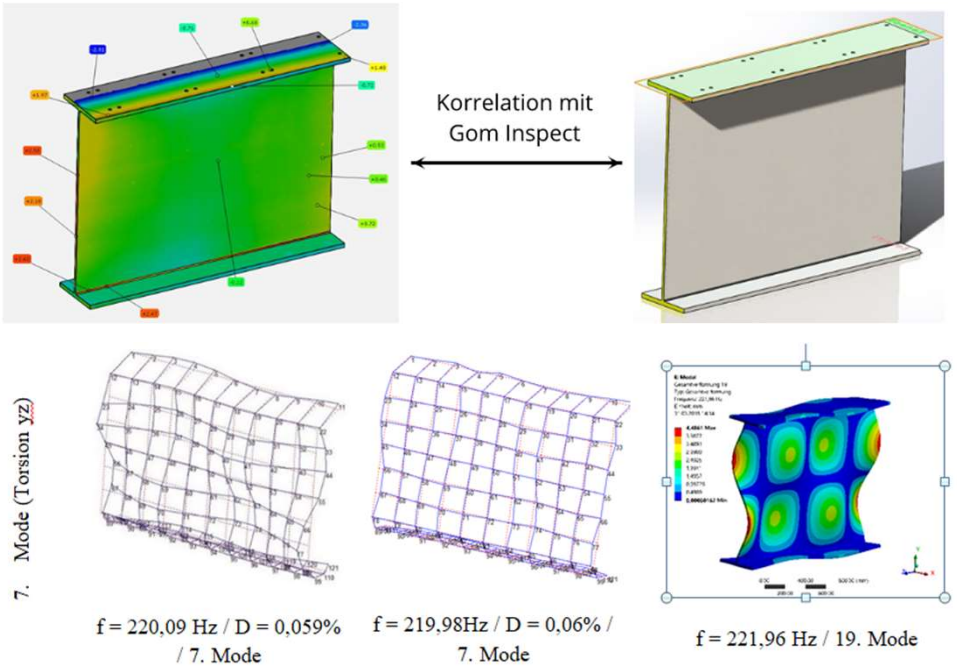
Ziel:

- SHM-System für die Umsetzung einer Bedarfsgerechten-Wartung
- Steigerung der Produktivität





Voruntersuchung im Labor



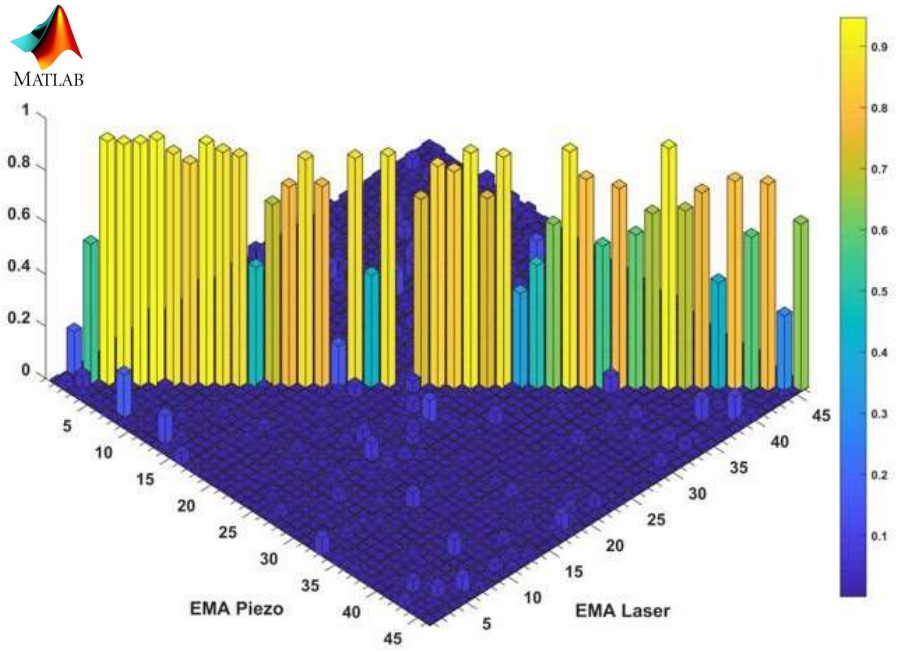
- Experimentelle Modalanalyse an einem Trägerausschnitt
- Zwei unterschiedliche Messmethoden wurden angewendet und gegenüber gestellt
  - (2-Achs Beschleunigungssensor (Piezo) & *3D Scanning-Laser-Doppler-Vibrometrie (3D-SLDV)*

- Geometrieabgleich (Gom-System)
- Aufbau eines abgeglichenen nummerischen Model (FEM)

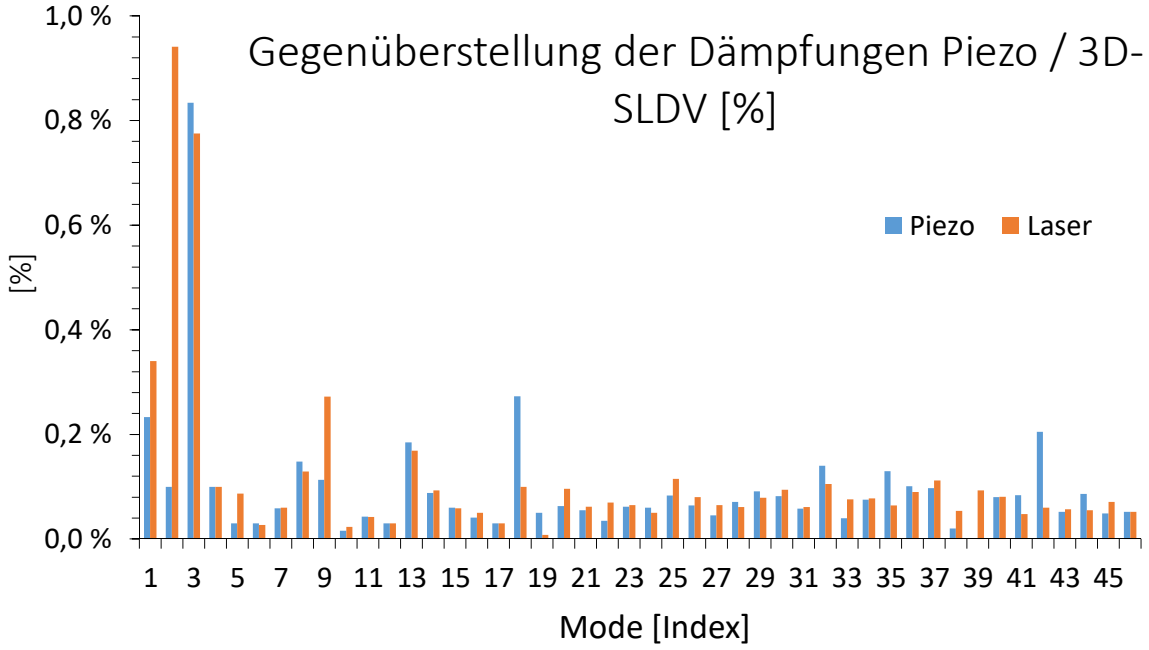
Ergebnis Gegenüberstellung Piezo / 3D-SLDV

Labor-Untersuchung

Modal Assurance Criterion (MAC)

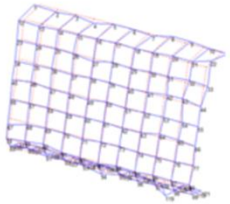
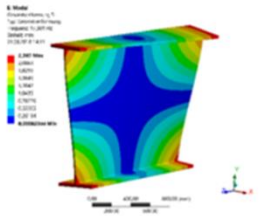
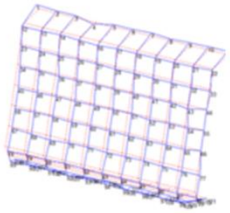
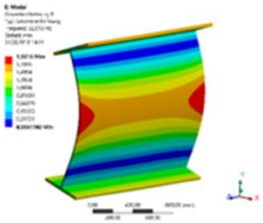
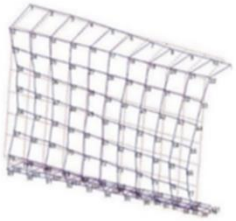
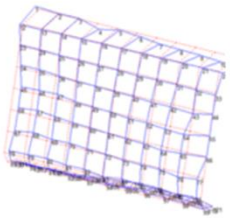
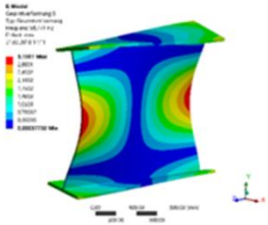


- Modenform-Korrelation der zwei unterschiedlichen Messmethoden (3D-SLDV / Piezo)



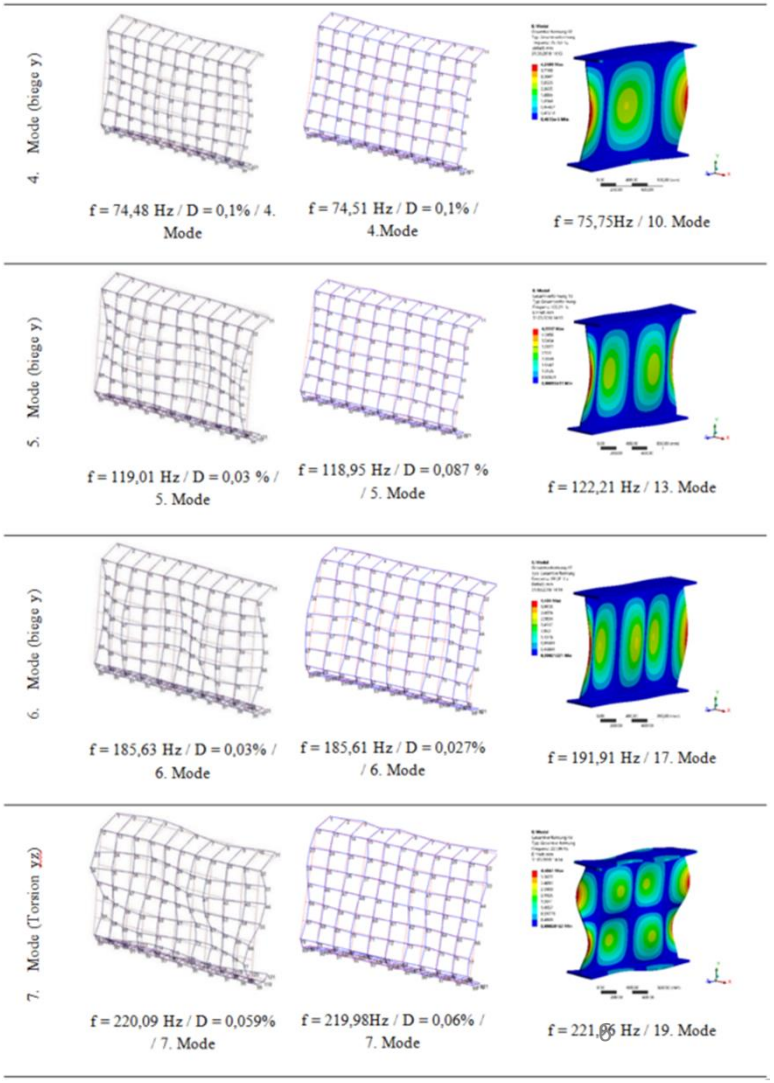
- Gegenüberstellung der Dämpfungswerte aus den beiden Messmethoden (3D-SLDV / Piezo)

Moden-Vergleich FEM / Piezo / 3D-SLDV Labor-Untersuchung

Mode	Beschleunigungsaufnehmer	3D-SLDV	FEM
1. Mode (biege/starr y)	f = 11,88 Hz / D = 0,233% / 1. Mode	 f = 11,52 Hz / D = 0,34% / 1. Mode	 f = 17,03 Hz / 5. Mode
2. Mode (biege/starr z)	f = 26,36 Hz / D = 0,10% / 2. Mode	 f = 25,24 Hz / D = 0,941 % / 3. Mode	 f = 32,01 Hz / 8. Mode
3. Mode (Torsion y)	 f = 50,61 Hz / D = 0,83 % / 3. Mode	 f = 48,29 Hz / D = 0,775 / 3. Mode	 f = 58,77 Hz / 9. Mode

Details aus dem

Modenkatalog



Piezo / 3D-SLDV :

Eigenfrequenzabweichung von ≈ **0,4 % bei 46 Moden**

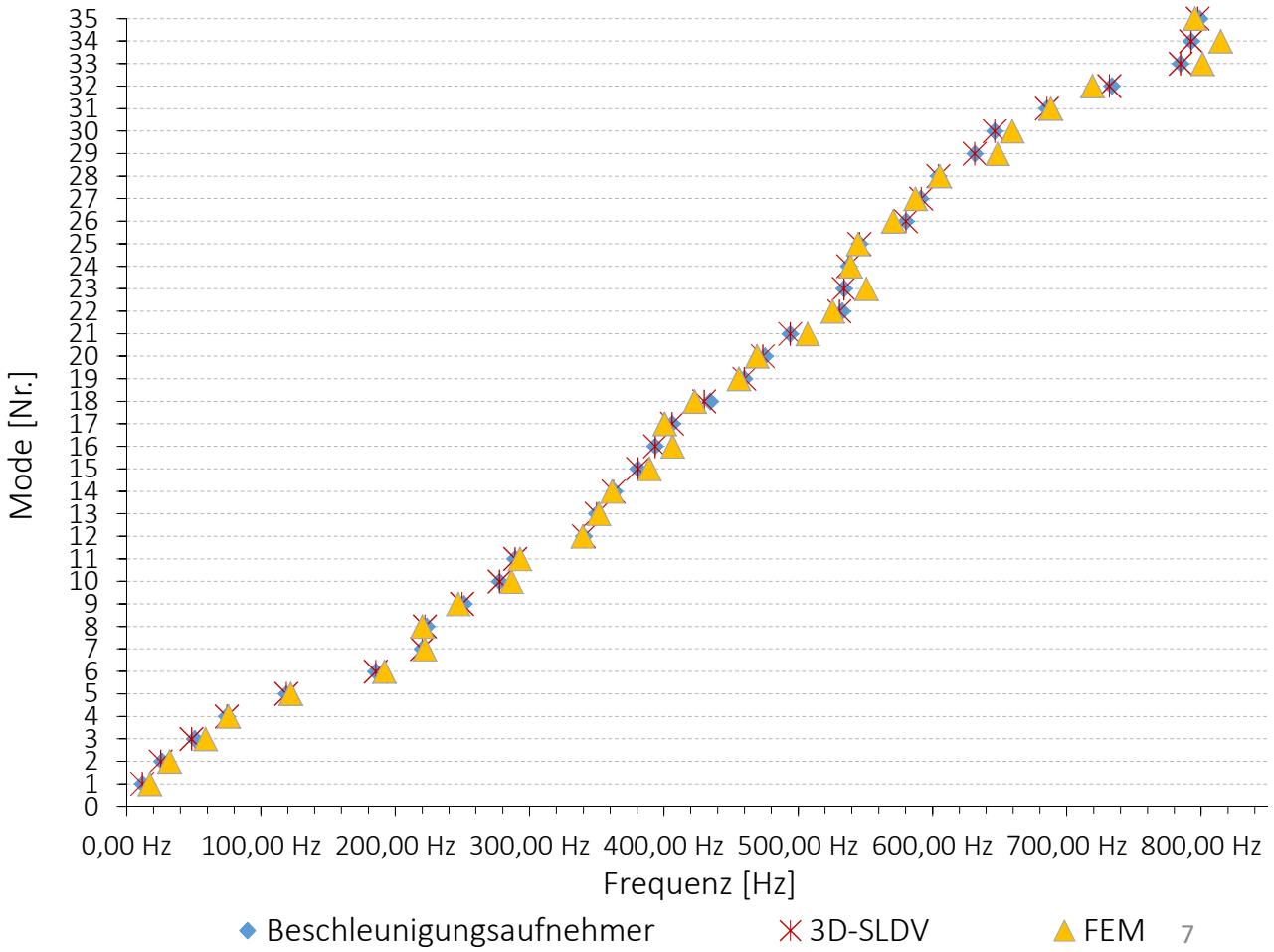
FEM / Messungen:

Eigenfrequenzabweichung von ≈ **5 % bei 46 Moden**

Vergleich der Eigenfrequenzen Labor-Untersuchung

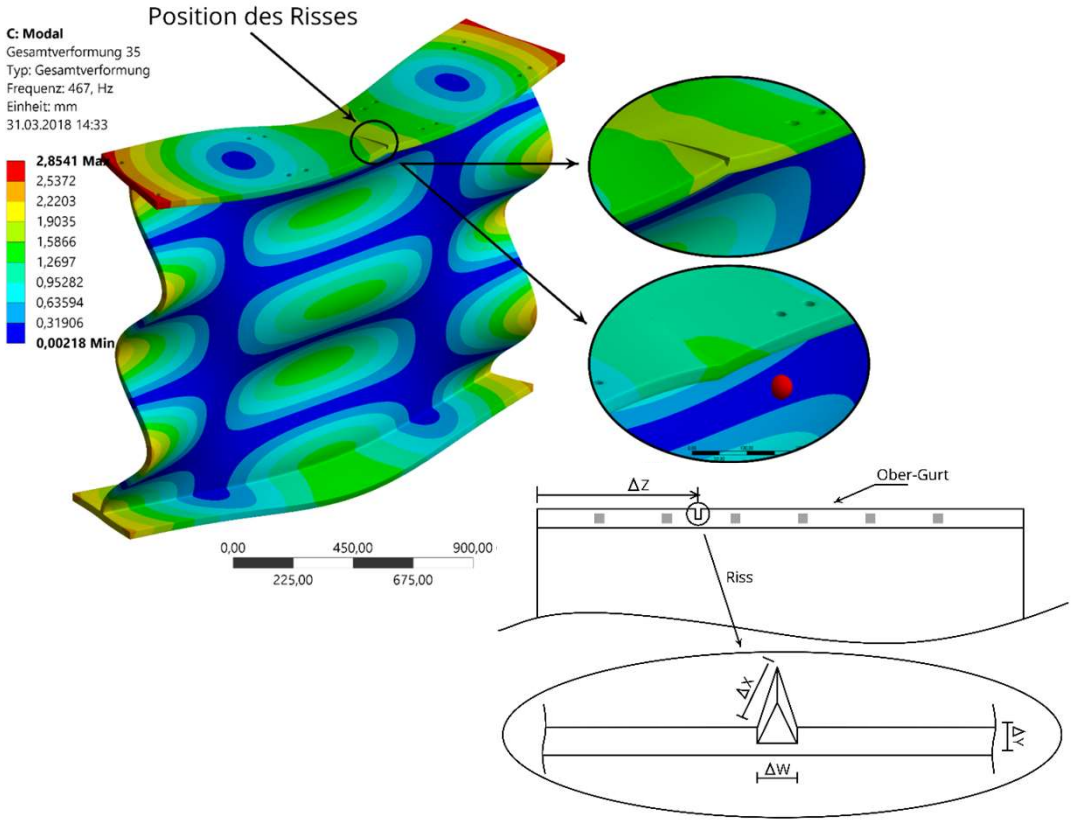
- EMA beinhaltet 121 Messpunkte
- Zuweisung der Eigenformen zwischen EMA und FE-Modell wurde visuell abgeglichen
- Abweichung der Eigenfrequenzen des FE-Model unter 5%
- FE-Model ist eine gute Grundlage zur Simulation von bestimmten Schadenssituationen

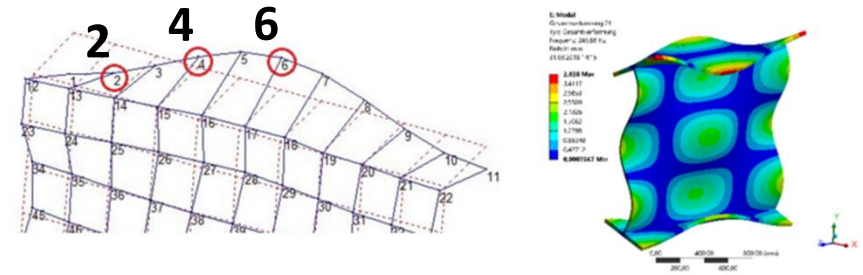
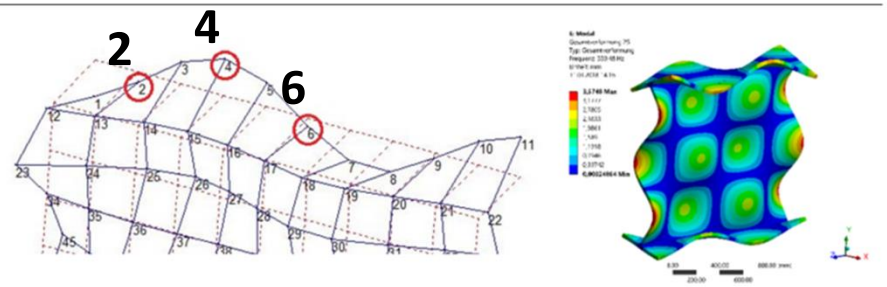
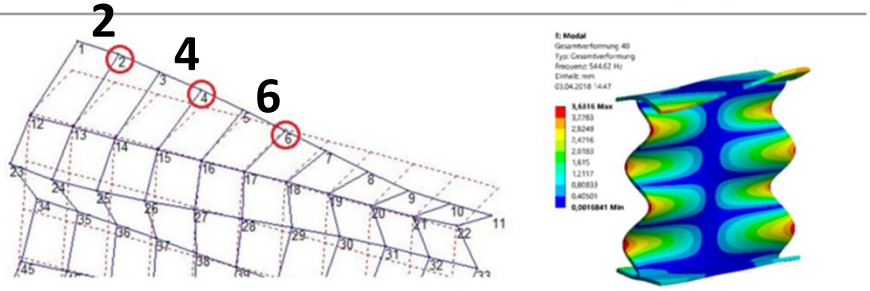
Lage der Eigenfrequenzen der einzelnen Modalanalysen



Sensitivitätsanalyse(FEM) Labor-Untersuchung

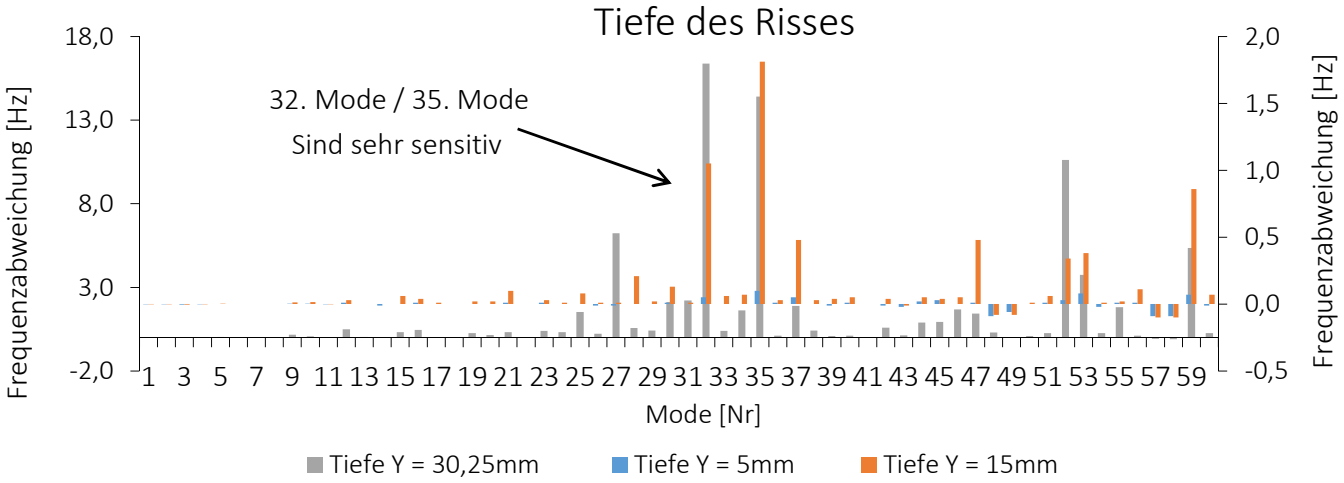
- Punkte 2, 4 und 6 wurde für die Rispositionen gewählt
- Jede Rissposition hat 3 verschiedene Parameter (Länge, Tiefe, Breite)



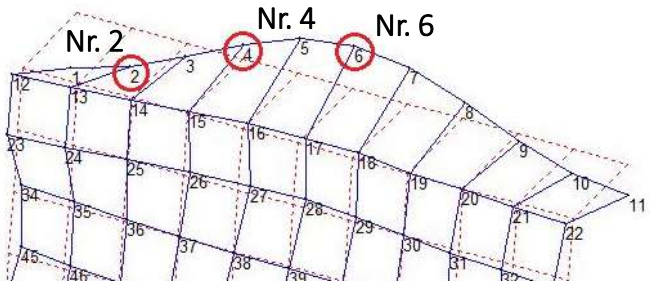
Frequenzen	Eigenformen
251,16 Hz 9. Mode (Index)	
340,58 Hz 12. Mode (Index)	
545.85 Hz 25. Mode (Index)	

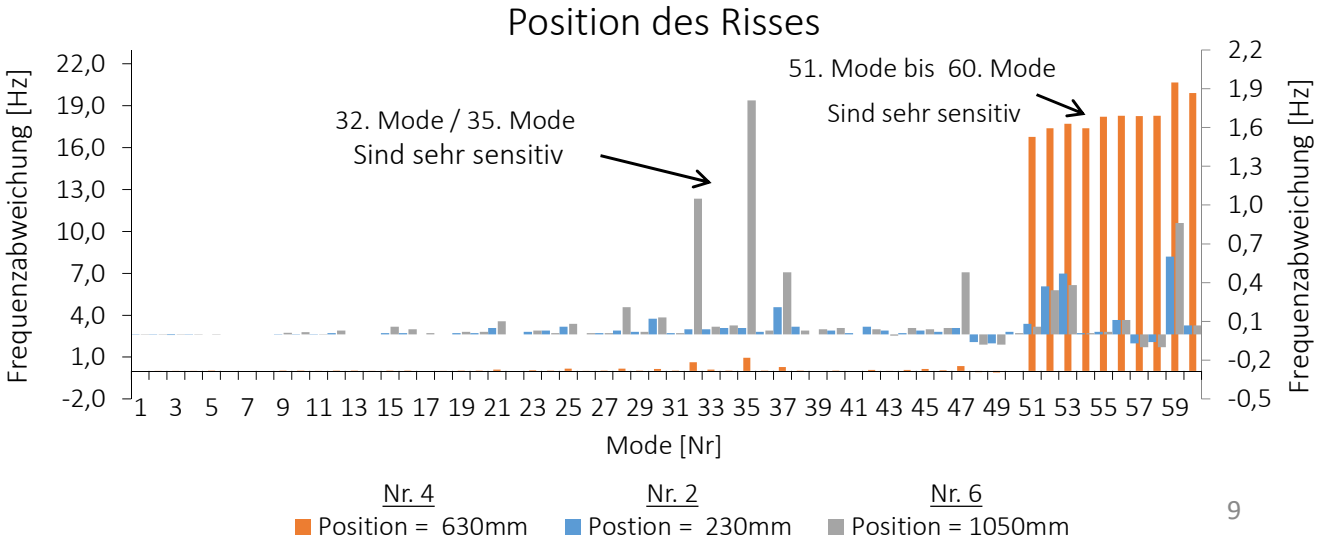
Sensitivitätsanalyse(FEM) Labor-Untersuchung

- Ergebnisse des Einflusses der Risstiefe auf die Verschiebung der Eigenfrequenzen



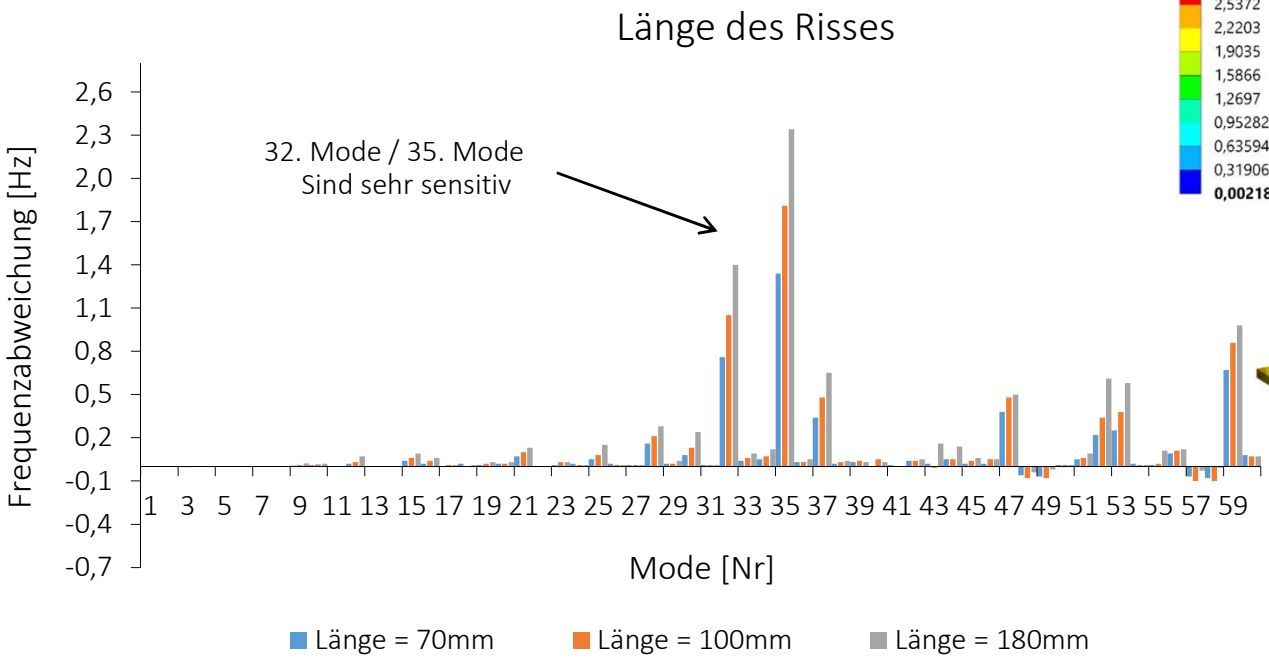
- Es ist deutlich zu erkennen, dass die Position des Risses einen entscheidenden Einfluss auf die Frequenzverschiebung hat

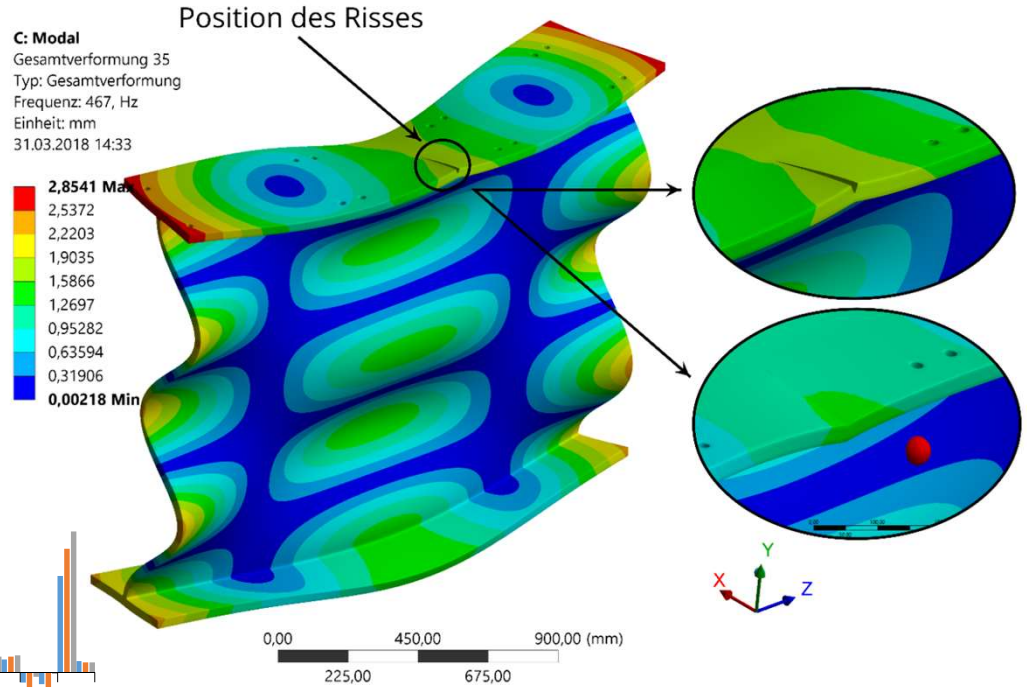




Sensitivitätsanalyse(FEM) Labor-Untersuchung

- Mit der Länge des Risses an der Position Nr. 6 steigt die Sensitivität

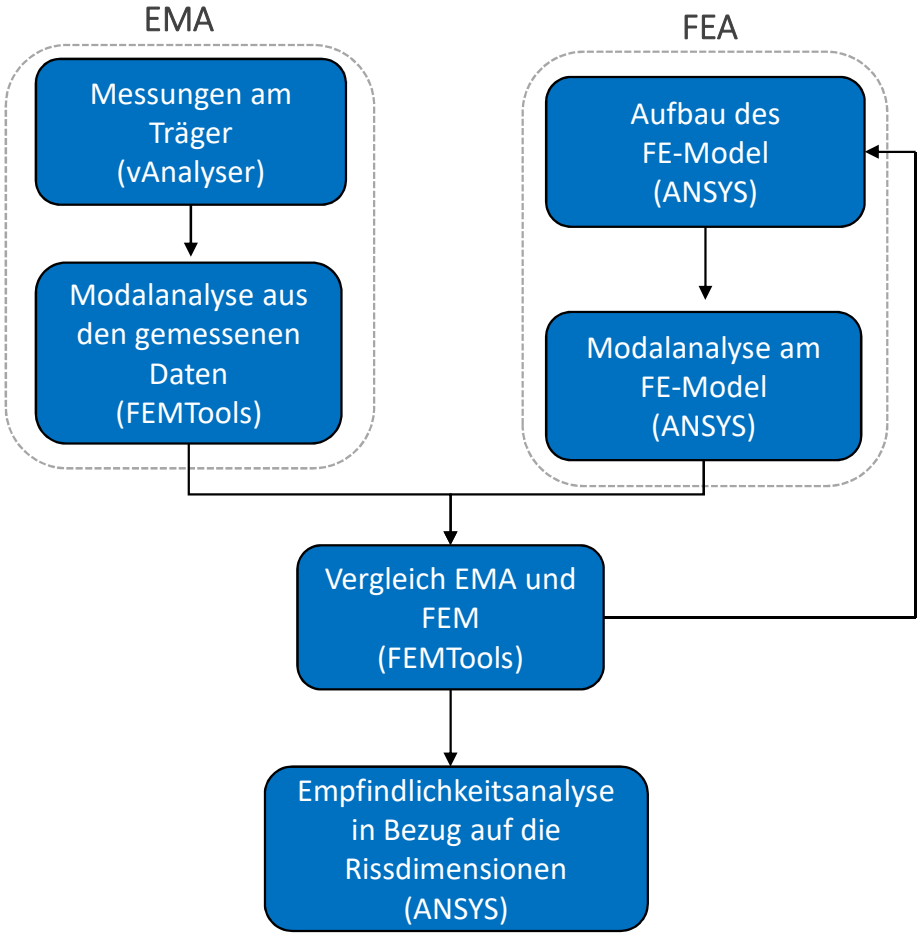




In-Situ Messung

- Es wurden zwei verschiedene Messungen durchgeführt
  - 1. ohne Anbauteile
  - 2. mit Anbauteilen

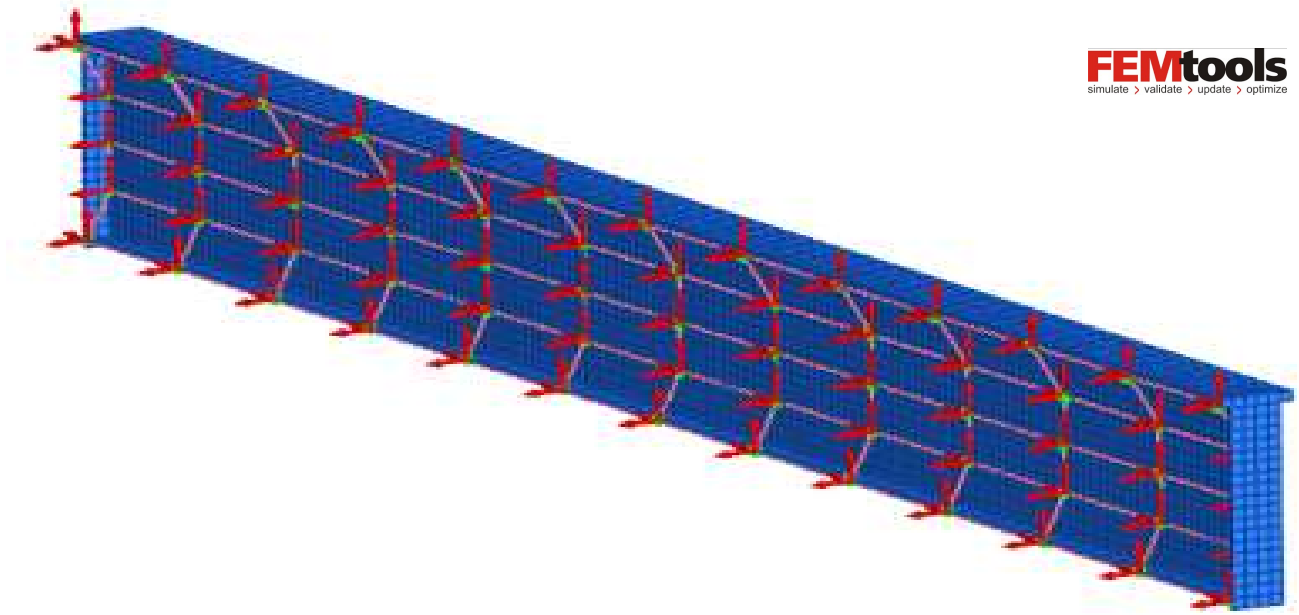
- Ohne Anbauteile
- Mit Anbauteilen



- Prozess der zur Modellaktualisierung in FEM-Tools verwendet wird

Abgleich EMA & FEM Modell ohne Anbauteile

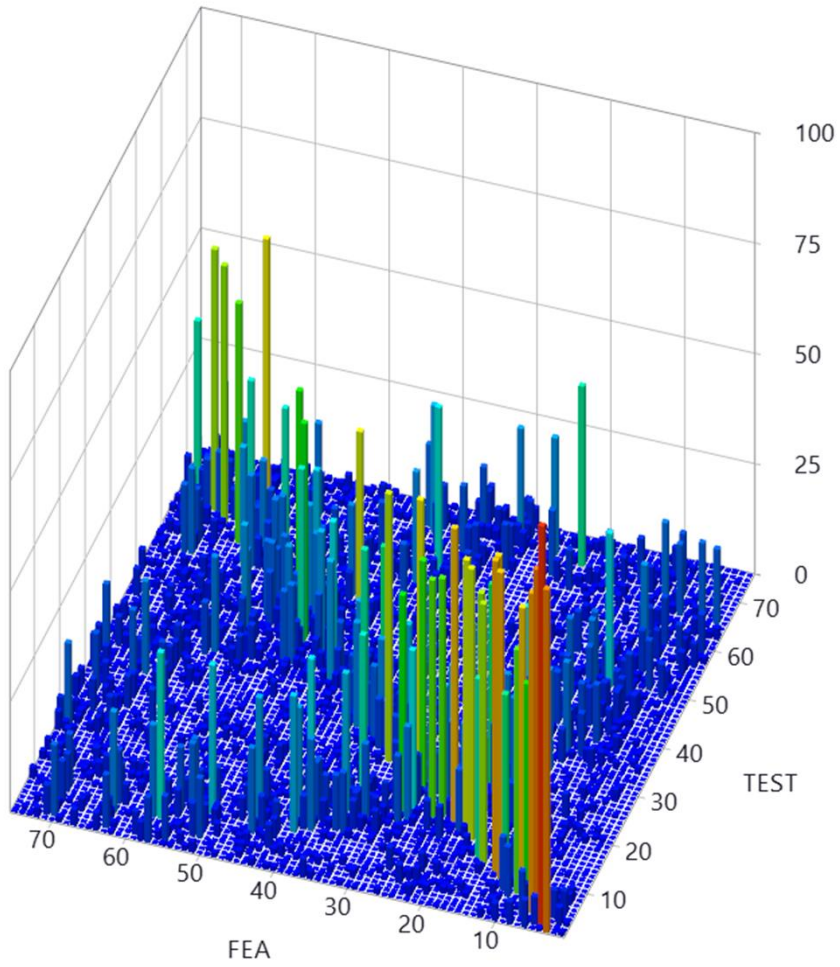
- Für den Vergleich der Modalanalyse aus ANSYS und FEM-Tools, werden erst beide Modelle übereinandergelegt
- Jedem Messpunkt muss ein Kontenpunkt im FE-Model zugewiesen werden (Knoten-Paarung)
- FE-Modell Anpassung der Freiheitsgrade (DOF-Pairing)
- Moden der FEA und EMA paaren
    - Nachweis der Abbildungsqualität der Eigenform mit Hilfe des *Modal-Assurance-Criterion (MAC-Wert)*



Ergebnisse EMA & FEM Modell ohne Anbauteile

Modal Assurance Criterion (MAC)

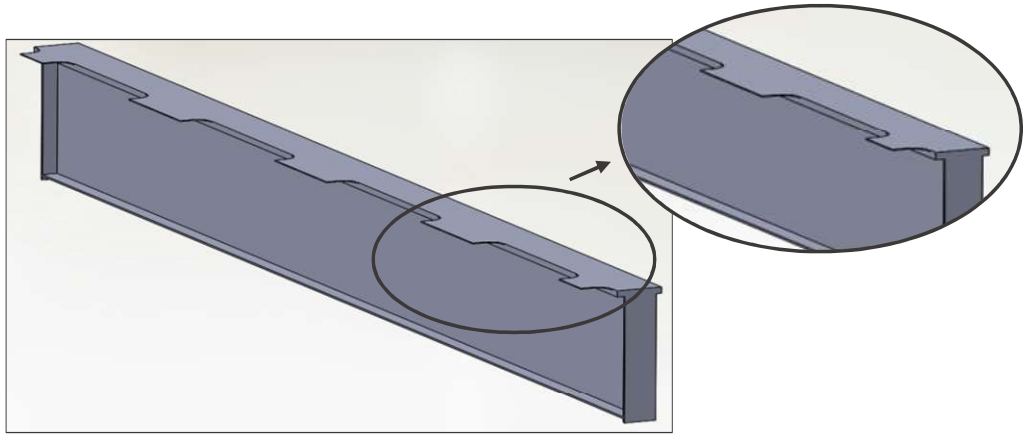
- Sollform der Diagonalen erkennbar
- Abweichung hiervon naturgemäß
- Versatz der Diagonalen durch Starrkörpermoden in der FEA
- Erste Moden haben einen hohe Korrelation
- Jedoch: besteht Bedarf für eine Verbesserung der Korrelation



Modelloptimierung Modell ohne Anbauteile

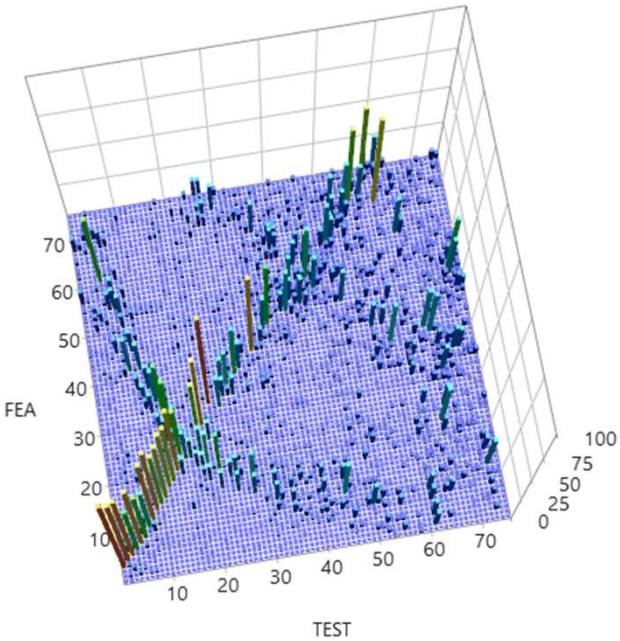
Aktualisiertes Modell

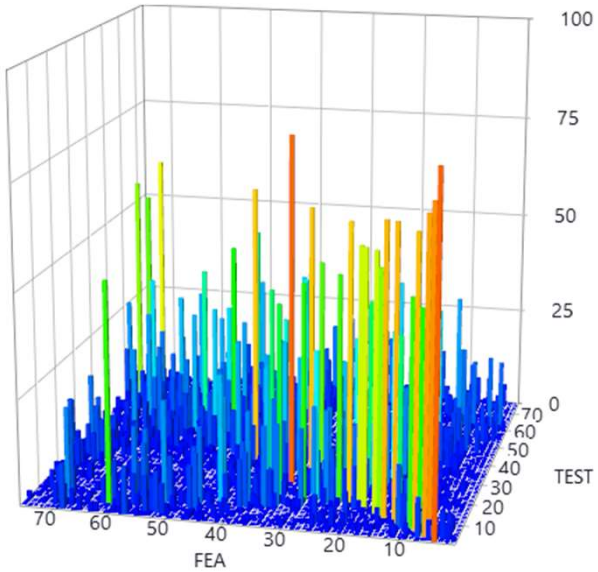
- Lippen wurden im CAD-Model übernommen
- Bohrungen vernachlässigt aufgrund der zu feinen Vernetzung im FE-Modell



Auswertung der Optimierung

- Korrelation zwischen FEA und EMA hierdurch verbessert (Versatz weiterhin vorhanden)
- Versatz = Starrkörpermoden im FEA-Modell vorhanden





Modelloptimierung Modell ohne Anbauteile

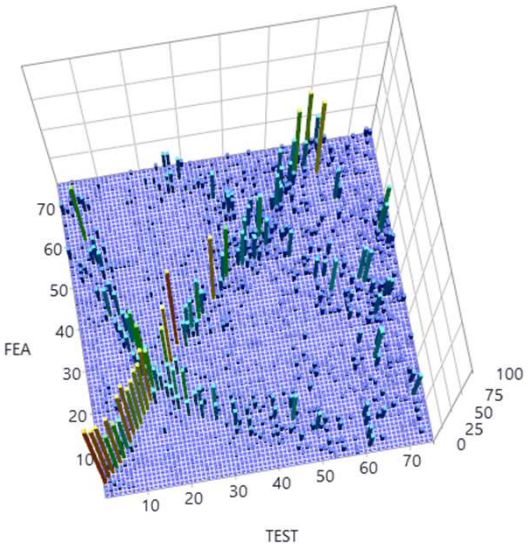
Auswertung der Optimierung

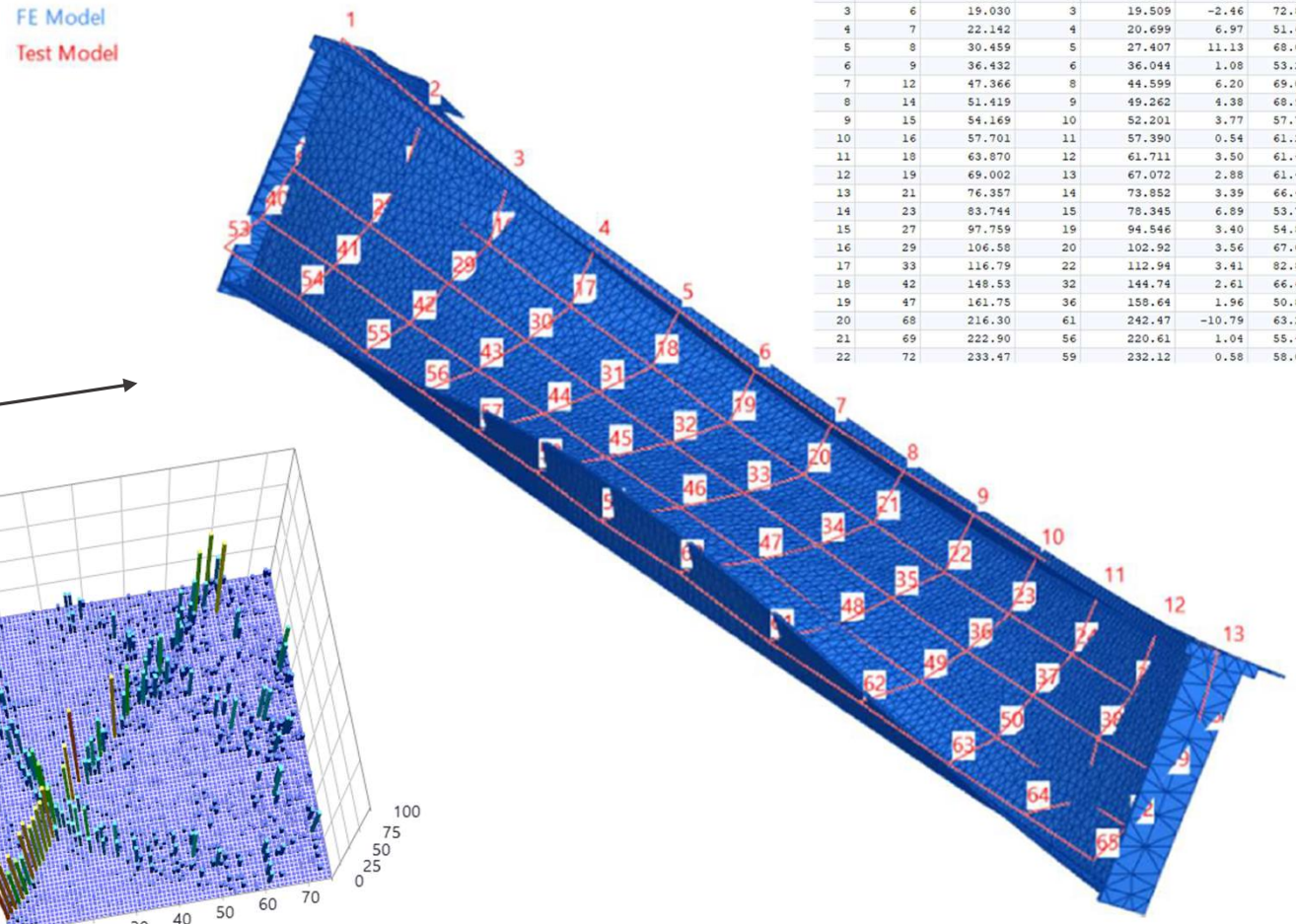
- 22 Moden wurden hinreichen korreliert (MAC-Wert > 50%)
- Max. Differenz von 11% (diff. 3 Hz)

#	FEA	Hz	EMA	Hz	Diff. (%)	MAC (%)
1	4	8.9335	1	9.2780	-3.71	83.7
2	5	16.024	2	16.261	-1.45	75.8
3	6	19.030	3	19.509	-2.46	72.8
4	7	22.142	4	20.699	6.97	51.6
5	8	30.459	5	27.407	11.13	68.0
6	9	36.432	6	36.044	1.08	53.2
7	12	47.366	8	44.599	6.20	69.0
8	14	51.419	9	49.262	4.38	68.9
9	15	54.169	10	52.201	3.77	57.7
10	16	57.701	11	57.390	0.54	61.2
11	18	63.870	12	61.711	3.50	61.4
12	19	69.002	13	67.072	2.88	61.4
13	21	76.357	14	73.852	3.39	66.4
14	23	83.744	15	78.345	6.89	53.7
15	27	97.759	19	94.546	3.40	54.8
16	29	106.58	20	102.92	3.56	67.0
17	33	116.79	22	112.94	3.41	82.8
18	42	148.53	32	144.74	2.61	66.6
19	47	161.75	36	158.64	1.96	50.8
20	68	216.30	61	242.47	-10.79	63.2
21	69	222.90	56	220.61	1.04	55.4
22	72	233.47	59	232.12	0.58	58.0

Modenpaar 2 (16 Hz)

- Überlagerung des FE-Modells mit dem Netz aus der Messung
- Abweichung = 1,45%

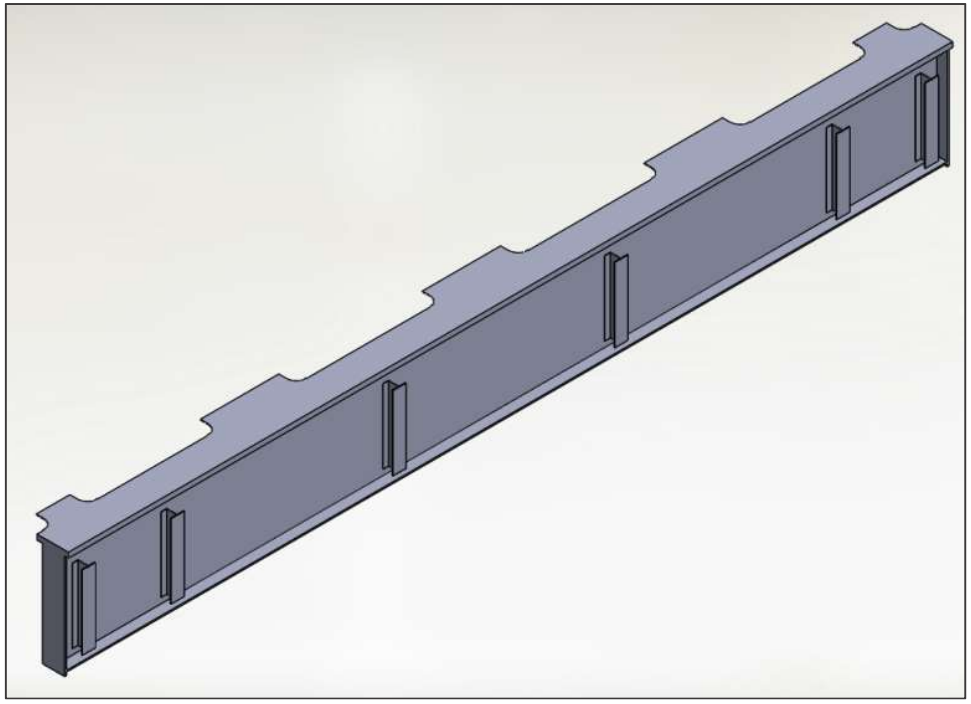




Modelloptimierung Modell mit Anbauteile

Messung In-Situ (EMA):

- Messablauf identisch zur ersten Messung
- Messzeiten haben sich deutlich verringert durch die Anbauten und Verschraubungen



Vereinfachung des CAD-Modells

- Schrauben vernachlässigt
- Bohrungen vernachlässigt
- Anbauten gelten mit Träger als ein Bauteil

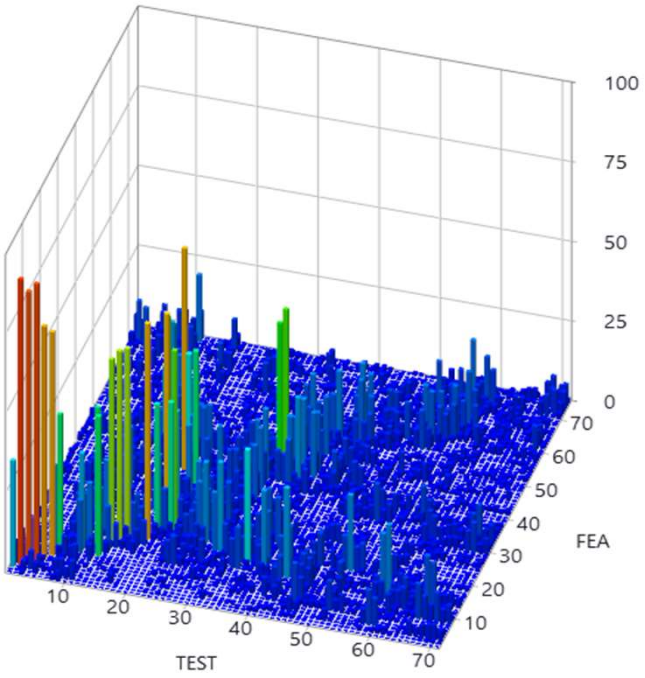
Modelloptimierung Modell mit Anbauteile

Auswertung und Vergleich der Testdaten

- MAC weißt eine Diagonale nur bis zu 25 Mode auf
- MAC liefert nur sehr schlechte Korrelationswerte
- 14 Moden-Paarungen zeigen einen MAC-Wert über 50%

Erläuterung:

- Komplexe Struktur durch Anbauteile und Verschraubungen (nichtlineare Eigenschaften des Objektes)
- CAD-Model ist sehr vereinfacht



#	FEA	Hz	EMA	Hz	Diff. (%)	MAC (%)
1	4	8.8250	2	9.0422	-2.40	89.5
2	5	16.207	3	16.216	-0.05	84.9
3	6	18.937	4	19.172	-1.22	86.6
4	7	24.186	5	22.099	9.44	72.6
5	8	35.795	6	30.361	17.90	70.1
6	14	69.513	14	59.860	16.13	57.8
7	15	75.776	15	63.651	19.05	60.6
8	16	79.803	17	67.582	18.08	64.7
9	17	82.453	21	74.962	9.99	63.9
10	21	88.508	25	81.291	8.88	67.4
11	22	90.836	26	82.633	9.93	54.7
12	38	132.69	22	75.043	76.82	66.1
13	39	136.74	16	67.076	103.86	55.1
14	40	137.73	39	130.32	5.69	54.2

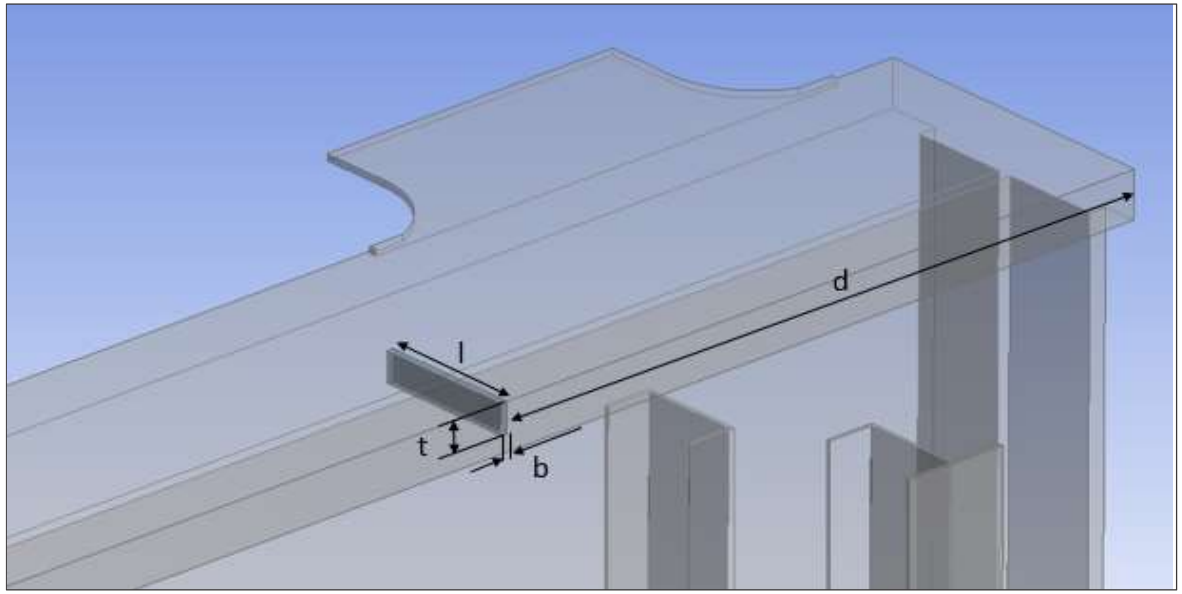
Sensitivitätsanalyse(FEM) Modell mit Anbauteilen

Ziel:

- Mögliche Sensitivität der Frequenz des Trägers gegenüber eines Risses ermitteln

Voraussetzung:

- Verifiziertes FE-Model
- Ausgewählte Moden mit vielen Verformung im Obergurt und bei der Paarung eine hohe Korrelation aufweisen
- Modellierung eines Risses



	Parameter	Boundaries [mm]
d	Abstand des Risses zum Rand des Trägers	200 - 11800
l	Länge des Risses	10 - 400
t	Tiefe des Risses	1 - 70
b	Breite des Risses	0,5 - 20

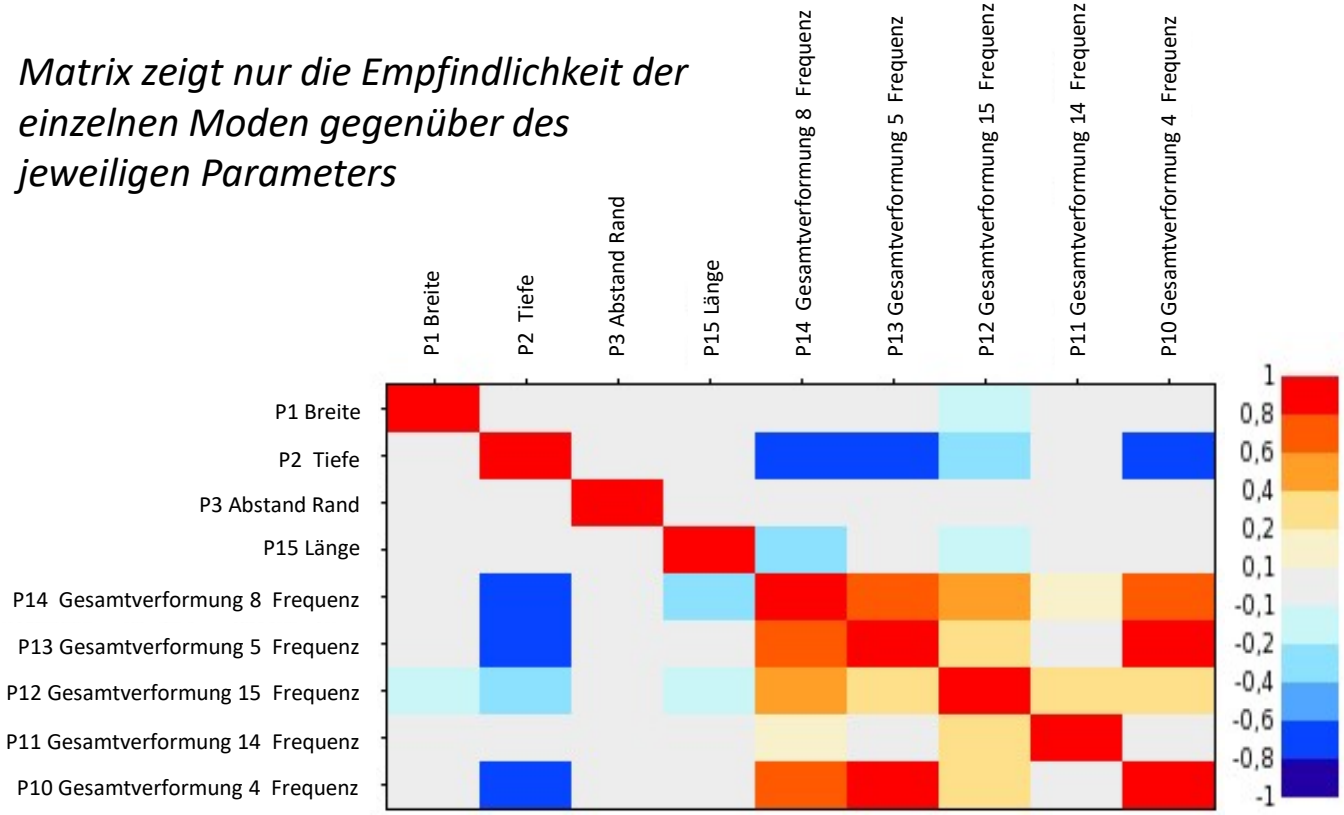
Sensitivitätsanalyse(FEM) Modell mit Anbauteilen

- Moden mit hohen Korrelationswert (FEA & EMA) und die im Obergurt mit ihrer Eigenform sehr aktiv sind

Mode	Frequenz [Hz]
4	8,825
5	16,207
8	35,795
14	69,513
15	75,776

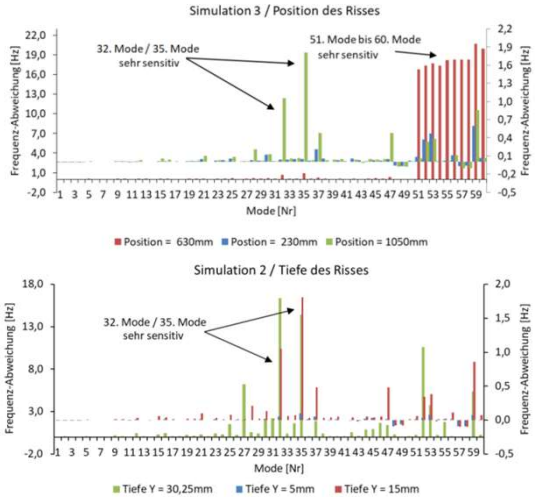
- Blau markierte Felder, zeigen eine Sensibilität der Frequenz gegenüber dem Parameter
- Parameter P2 „Tiefe“ zeigt eine hohe Empfindlichkeit
- Mode 14 ist gegenüber keiner der Rissparameter sensitiv

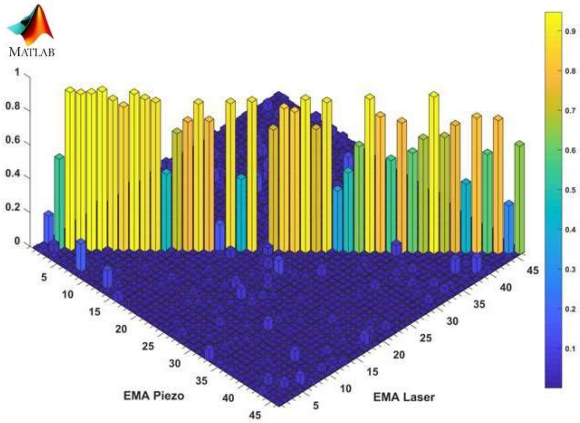
Matrix zeigt nur die Empfindlichkeit der einzelnen Moden gegenüber des jeweiligen Parameters

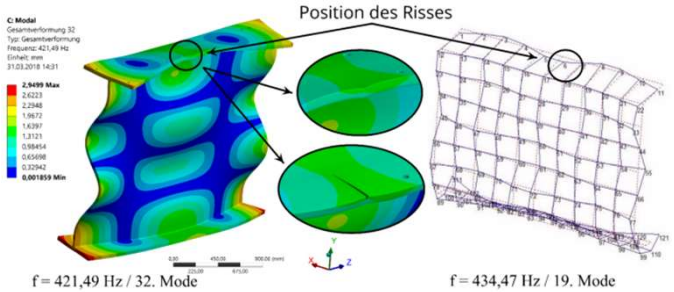


Ergebnisse Lab & In-Situ

- Vibroakustische Erkennung von Schäden sind am Kranbahnträger möglich (Labor)
- 3D-SLDV & Piezo zeigen einen hohen Korrelationswert
- Model-Updating mittels FEMTools => möglicher Aufbau eines *„Digitial Twin“*
- Anbauteile haben einen hohen Einfluss auf das System
- Rissparameter:
  - Tiefe und Lage eines Risses hat einen deutlichen Einfluss auf die Verschiebung der Eigenfrequenzen
    - Schadendetektion durch empfindliche Mode
    - Risse im Knotenpunk schwer zu lokalisieren







Vibrationsbasiertes SHM-System für Kranbahnträger

Referent: Fabian Keilpflug

fabian.keilpflug@th-wildau.de

Vielen Dank

Technische Hochschule Wildau
Technical University of Applied Sciences

ArcelorMittal

Datum: 11.07.2018