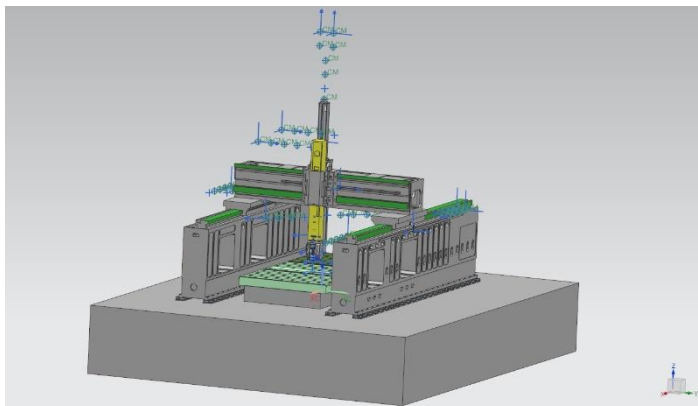


Was versteht man/ich unter einem digitalen Zwilling einer Werkzeugmaschine?

Ein digitaler Zwilling einer Werkzeugmaschine ist ein Simulationsmodell, das die Antriebsstränge, die Aktuatoren, die Regelung und die Mechanik der WZM enthält. Das dynamische Verhalten der Maschine wird am TCP (Tool Center Point) so wie die physikalische Werkzeugmaschine richtig wiedergegeben. D.H. die statischen/dynamischen Steifigkeiten, die Reibungen, die Dämpfungen und die Eigenschwingungsformen der WZM in Abhängigkeit von der Stellung werden im digitalen Zwilling richtig wiedergegeben. Wenn man Änderungen, z.B. eine Kugelrollspindel mit größerem Durchmesser einsetzt, gibt der digitale Zwilling das physikalische Ergebnis richtig wieder. D.H man kann mit dem digitalen Zwilling auch Fragen der Endkunden beantworten, ohne das zu bearbeitende Beispiel des Kunden auf der WZM auszuprobieren. Damit spart man Zeit und Kosten!

In diesem Vortrag zeige ich Ihnen eine WZM vom Typ Brückengantry mit einem Maschinengewicht von 190t. Die Messungen dieser WZM sind noch nicht ganz abgeschlossen, aber es zeigt sich, dass das Simulationsmodell schon einem digitalen Zwilling sehr nahe kommt. Es benötigt nur noch den Abgleich von einigen nicht genau bekannten Komponenten, um einen digitalen Zwilling zu verwirklichen.

5-Achs Simulationsmodell mit Gabelkopf



Verfahrwege: X-Achse: 7.200 mm

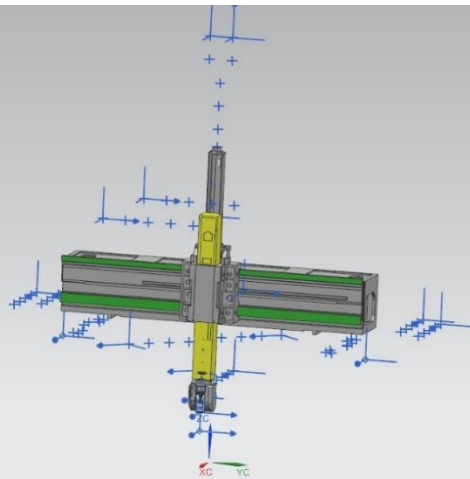
Y-Achse: 4.000 mm

Z-Achse: 1.500 mm

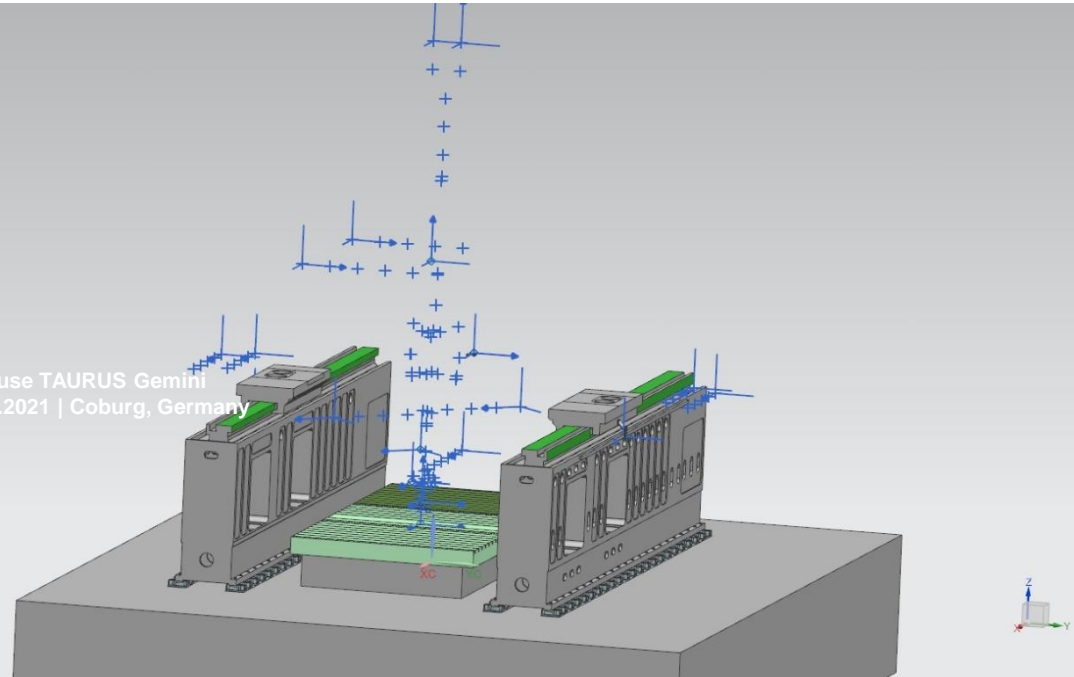
Maschinengewicht: ~ 190 t

Bestehende Brücke und Z-Schieber mit allen Aggregaten von einer Portalmaschine

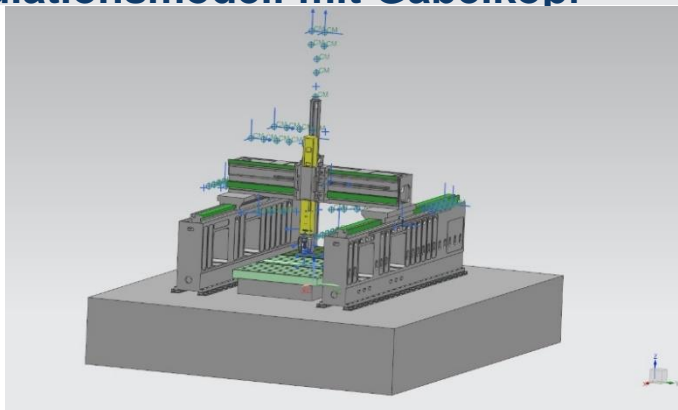
Neue Seitenteile, mit **neuer** Linearführung und den **neuen** Gantry X-Achsen, **neue** Befestigung am Boden und **neues** extra Fundament



Open House TAURUS Gemini
27.09. - 29.09.2021 | Coburg, Germany

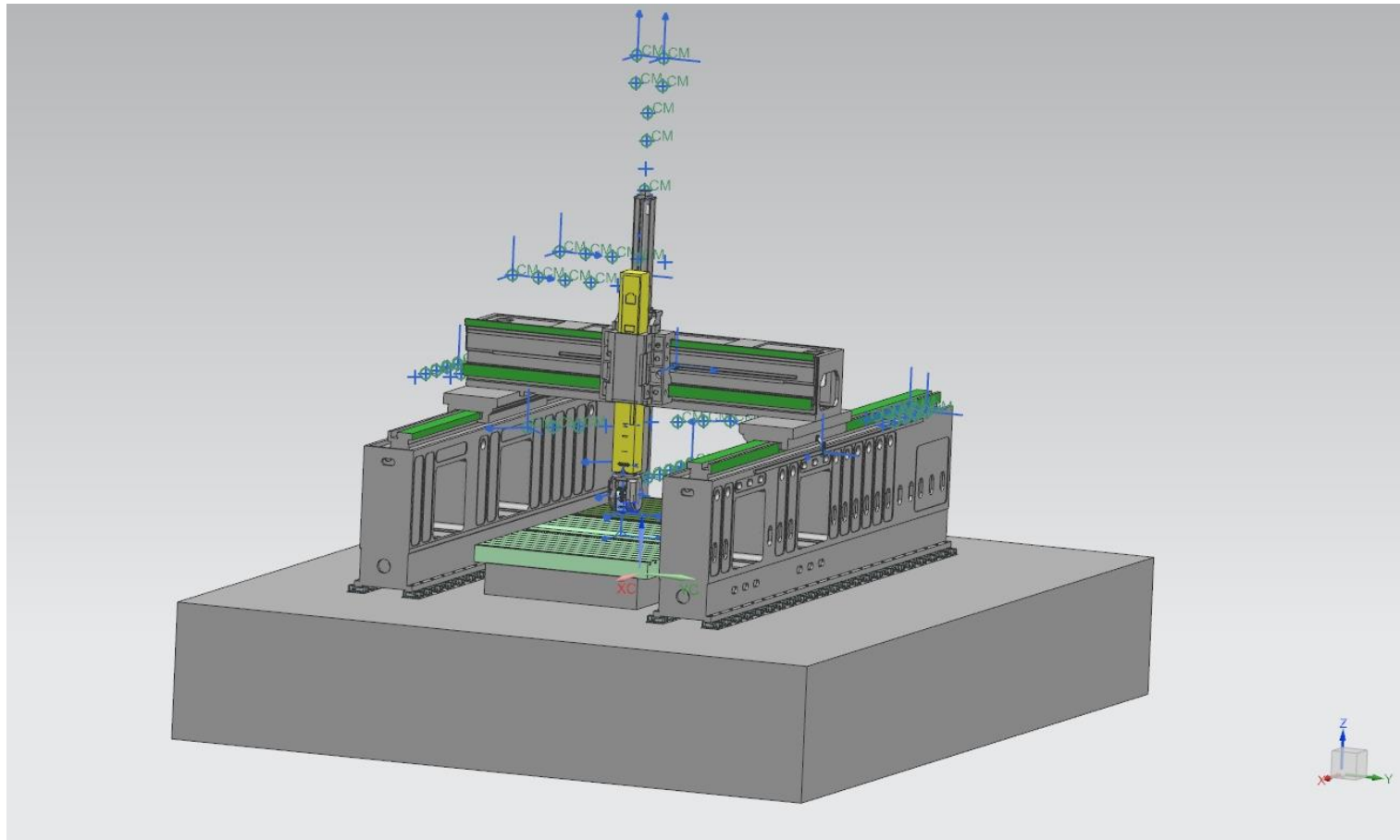


5-Achs Simulationsmodell mit Gabelkopf



Verfahrwege: X-Achse: 7.200 mm
Y-Achse: 4.000 mm
Z-Achse: 1.500 mm
Maschinengewicht: ~ 190 t

Ausgangsidee: Man nehme die Brücke mit der Y-Achse und dem Z-Schieber mit allen Aggregaten der vorhandenen Portalmachine und platziere die Brücke mit den neuen X-Achsen auf zwei Seitenteilen – fertig ist die neue 5-Achs Brückengantry



Hört sich einfach an, aber wie komme ich zu einem Spitzenprodukt, das alle Brückengantries der Konkurrenten hinsichtlich Dynamik, Schrump- und Schlichtbearbeitung und Mold&Die überflügelt? Durch 23 Komplettsimulationen (Regelungstechnik, Antriebe, Mechanik) zusammen mit Dr. Binde Ingenieure GmbH

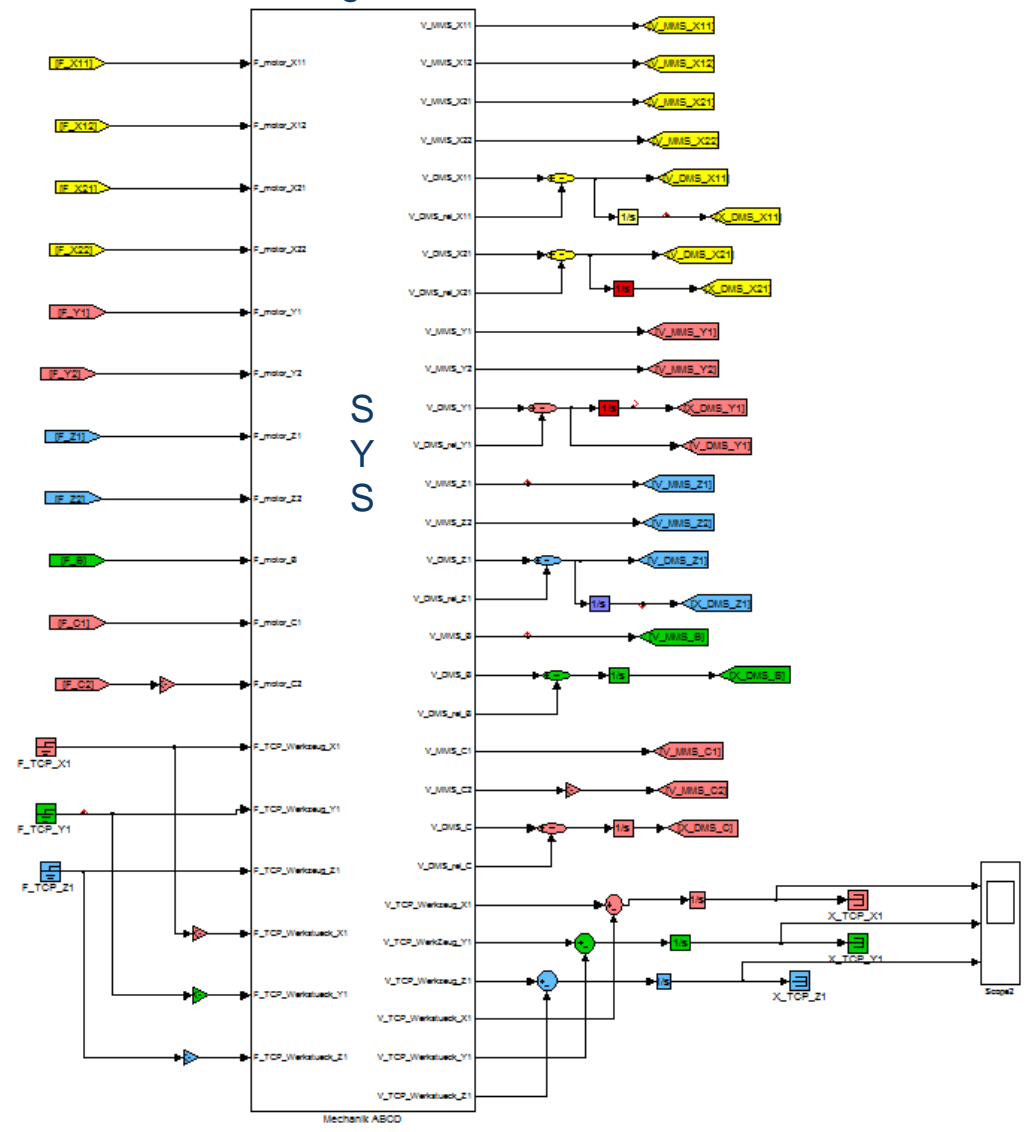
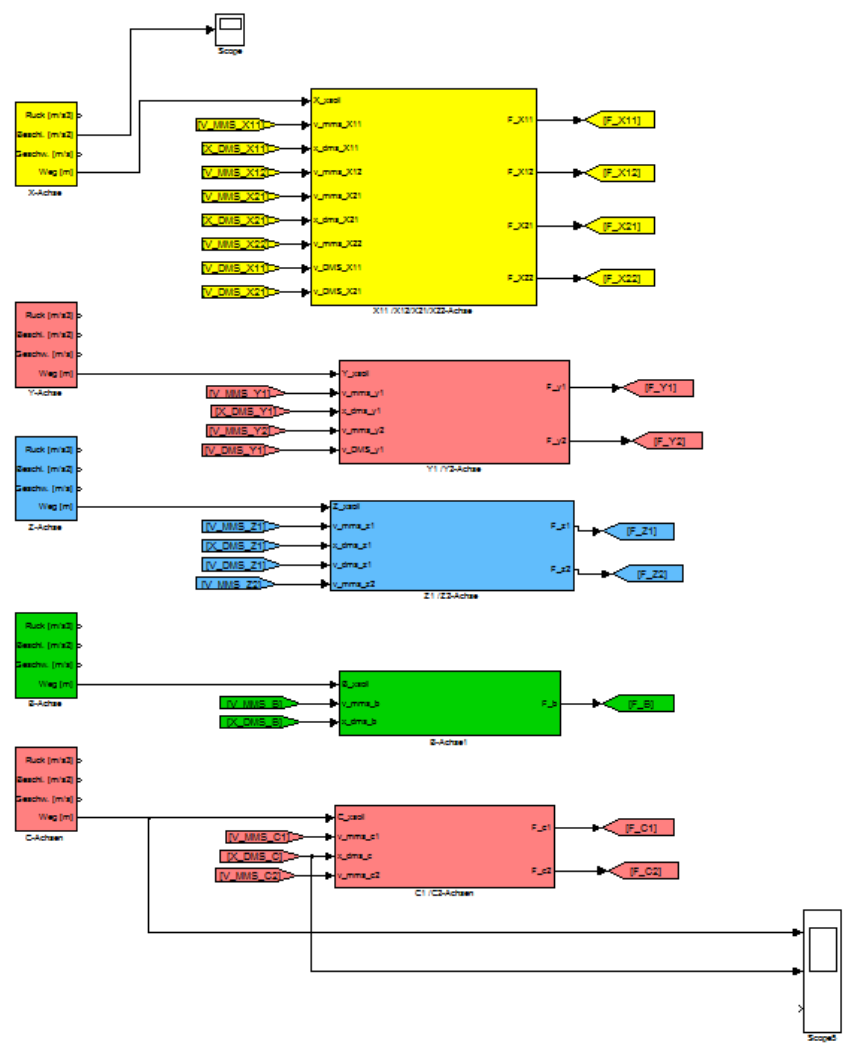
Wie wurde das Projekt 5-Achs Brückengantry definiert?

1. Der WZM Kunde startete eine Markuntersuchung und definierte aus dieser Markuntersuchung **seine** Ziele für die Brückengantry, die mit der Maschine erreicht werden sollten.
2. In Zusammenarbeit mit Dr. Binde GmbH wurden anspruchsvolle Ziele für die **Simulation** definiert:
 - a: Geschwindigkeit, Beschleunigung, zu erreichender Ruck beim Schlichten
 - b: Mindestzielwert des Proportionalwertes des Lagereglers K_V
 - b: Positioniergenauigkeit am Tool Center Point (TCP)
 - c: Dynamische Nachgiebigkeit im relevanten Frequenzbereich am TCP für Schwerzerspannung, Schlichten und für Mold&Die Operationen

- A: Aufgabenstellungen die mit Hilfe der Komplettsimulationen bearbeitet/beantwortet wurden:
1. Dimensionierung der Seitenteile und deren Befestigung am Boden/Fundament
 2. Auslegung der X-Achsen zusammen mit den Linearführungen hinsichtlich Steifigkeit und Dynamik
 3. Auslegung der Linearführungen, um die niedrigsten Eigenfrequenzen so hoch wie möglich zu bekommen und eine hohe Dämpfung der Eigenfrequenzen zu erreichen, mit Hilfe der ausgesuchten Linearführungselementen
 4. Verbesserung der Brücke und des Z-Schiebers mit allen Aggregaten ohne die grundsätzliche Konstruktion zu ändern.
 5. Abklärung des Einflusses der 20.000rpm Spindel für Mold&Die hinsichtlich dynamischer Steifigkeit am TCP und der Eigenschwingungsformen der Spindel im eingebauten Kopf
 6. Beurteilung der dynamischen Steifigkeit am TCP und Überprüfung der möglichen Ratterbereiche mit den möglichen Zustellungen für die unterschiedlichen Köpfe /Spindeleinheiten/ Tools
 7. Optimierung der Geberanbaufrequenzen der direkten Messsysteme
 8. Optimierung der Vorsteuerung, um eine hochdynamische Brückengantry zu bekommen.
 9. Überprüfung des Positionierverhaltens am TCP, um eine hohe dynamische Genauigkeit zu erreichen.
 10. Überprüfung/Beurteilung der Störgrößen der Eingriffsfrequenzen der X- und Y-Achsen auf den Gleichlauf am TCP

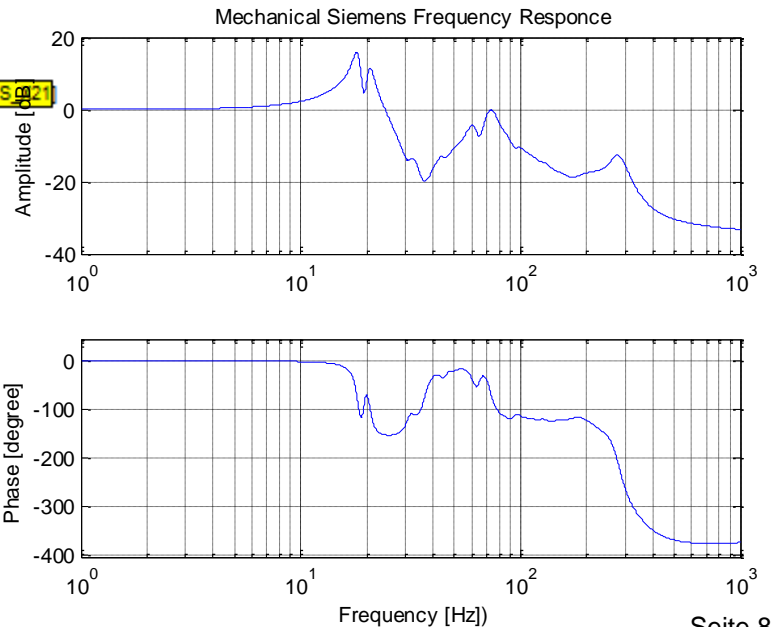
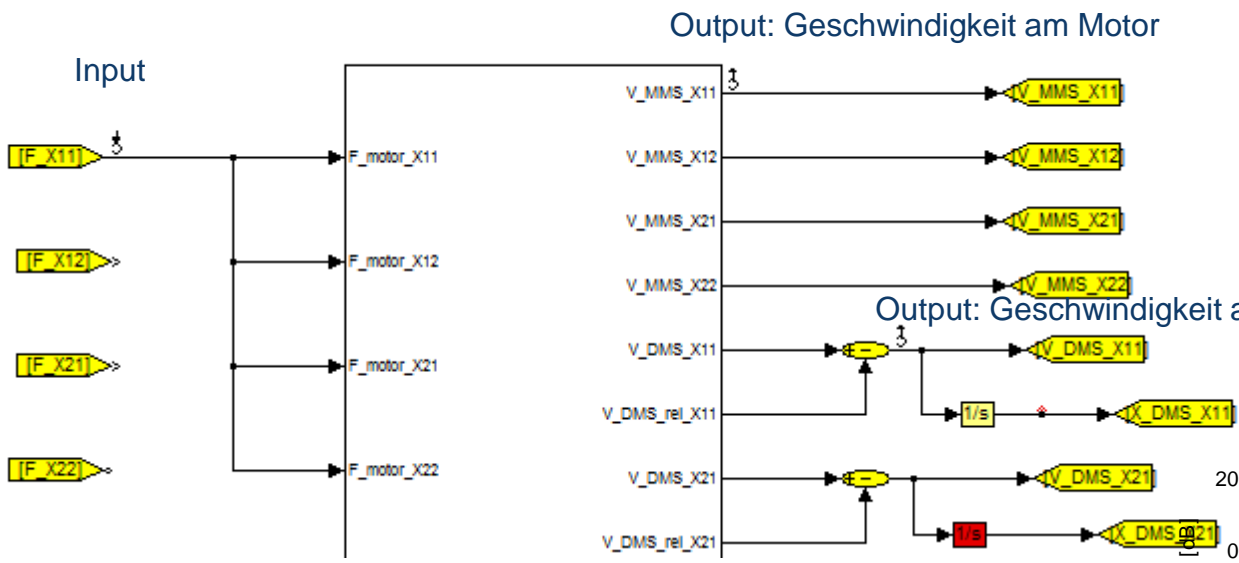
11. Überprüfung/Beurteilung der Störgrößen des vorgeschalteten Getriebes des Z-Antriebsstranges auf den Gleichlauf am TCP
12. Überprüfung der Reglereinstellungen für unterschiedlichste Positionen und das Compliance Verhalten am TCP für die unterschiedlichen Stellungen.
13. Bestimmung der Reibung und Dämpfung an vorhandenen Maschinenachsen des WZM Kunden und Implementierung dieser Werte in die Komplettsimulation für die 5-Achs Brückengantry auf der sicheren Seite.

Matlab-Simulink Simulationsmodell mit Zustandsraumdarstellung



Matlab-Simulink Simulationsmodell für Mechanik-Frequenzgang X-Achse: Übertragungsfunktion

Geschwindigkeit am direkten Messsystem/ Geschwindigkeit am Motormesssystem

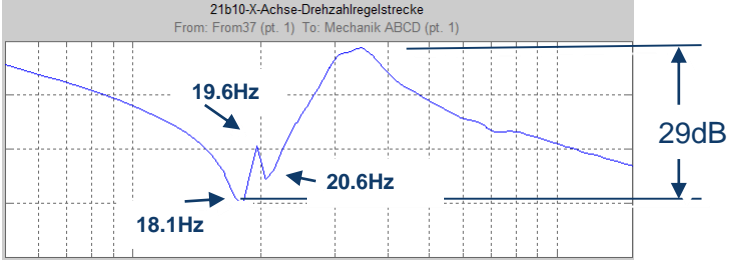
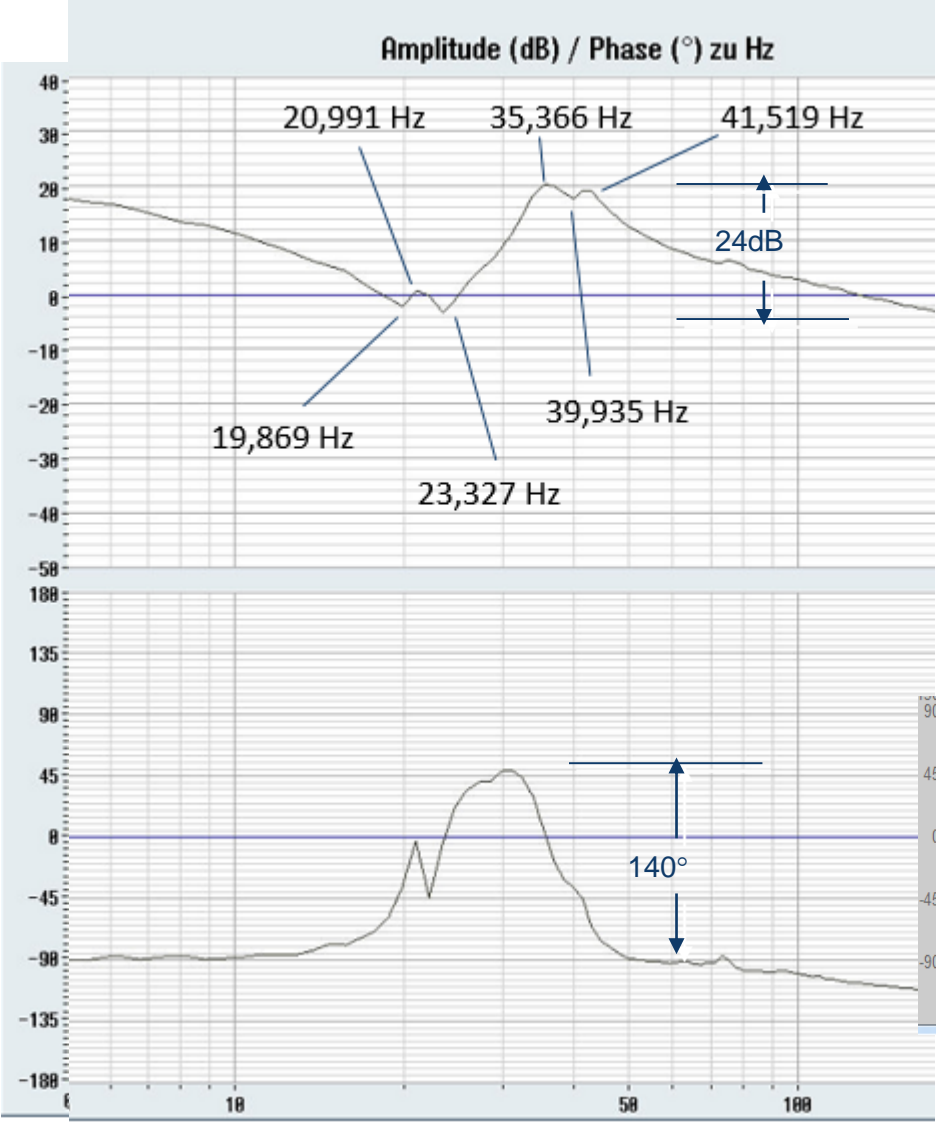


B: Messung und Simulationsergebnisse (21b10) X-Achse im Vergleich:
1. Mechanik-Frequenzgang – Übertragungsfunktion Geschwindigkeit am direkten Messsystem/ Geschwindigkeit am Motormesssystem

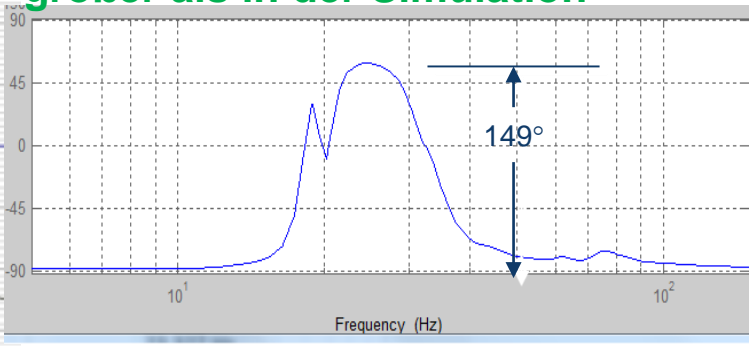


Die beiden niedrigsten Tilger 18,065Hz@15,86dB und 20,78Hz@11,58dB liegen bei 90% der gemessenen Werte 20,05Hz@11,304dB und 23,239Hz@ 13,919dB und damit auf der sicheren Seite

B: Messung und Simulationsergebnisse (21b10) X-Achse im Vergleich: 2. Drehzahlregelstrecke



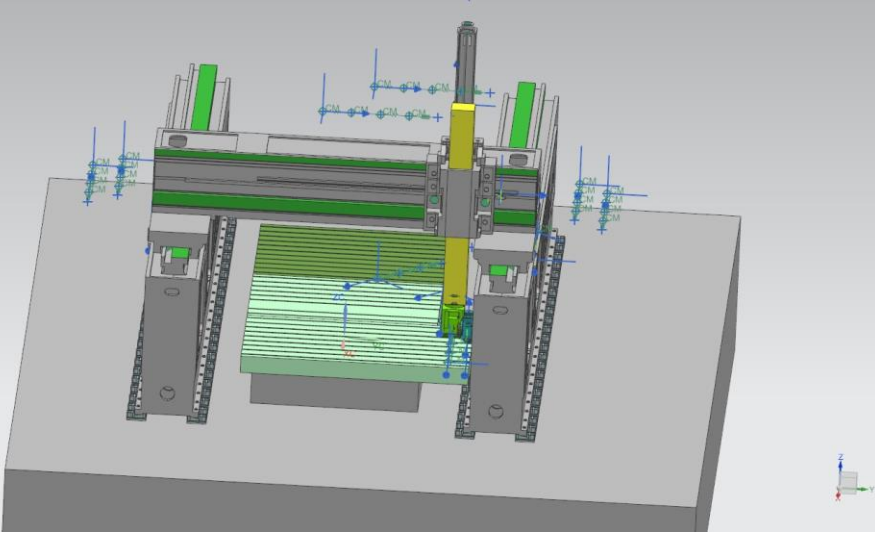
Die gesamte Dämpfung (Nullstelle-Polstelle) bestehend aus modularer und viskoser Dämpfung beträgt in der Simulation 29dB; 149° und in der Messung 24dB; 140° - d.h. Simulation auf der sicheren Seite – Die Dämpfung in der Messung ist größer als in der Simulation



B: Messung und Simulationsergebnisse

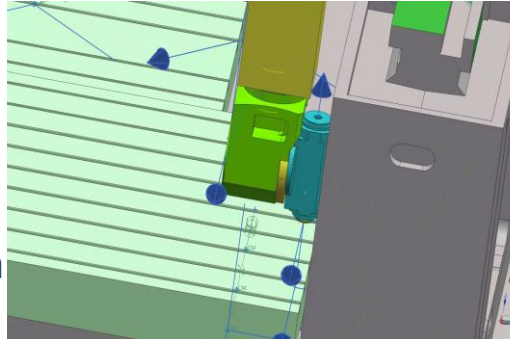
3. Abklärung des Einflusses der 20.000rpm Weiss Spindel hinsichtlich dynamischer Steifigkeit am TCP und der Eigenschwingungsformen der Motorspindel mit eingebauten

19g-5-Achse Brückengantry– 20.000 Motorspindel in Z-Richtung

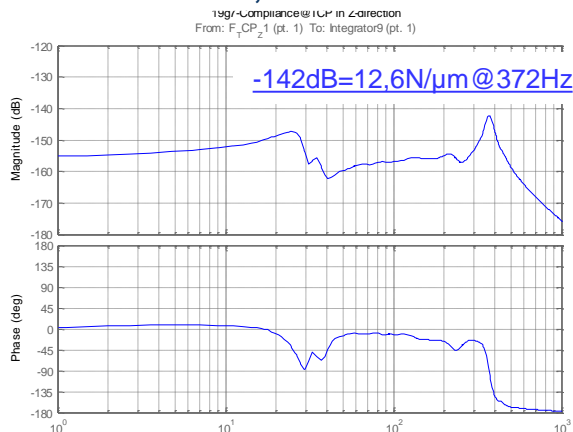


Die Weiss Spindel weist im Kran gemessen eine Axialsteifigkeit von $23\text{N}/\mu\text{m}$ auf bei einer Axial-Eigenfrequenz von 550Hz. Die Drehfrequenz der Motorspindel bei 20.000rpm beträgt 333,3Hz. Die Axiale Eigenfrequenz der Motorspindel sollte auch im einge-

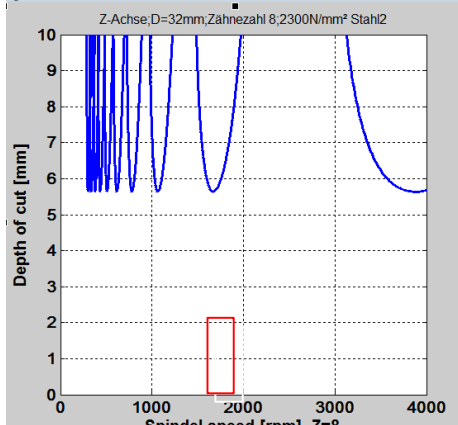
20.000 rpm Motorspindel



bauten Zustand $>333,33\text{Hz}$ sein und die Steifigkeit am TCP sollte, um in Stahl fräsen zu können, $>10\text{N}/\mu\text{m}$ sein.



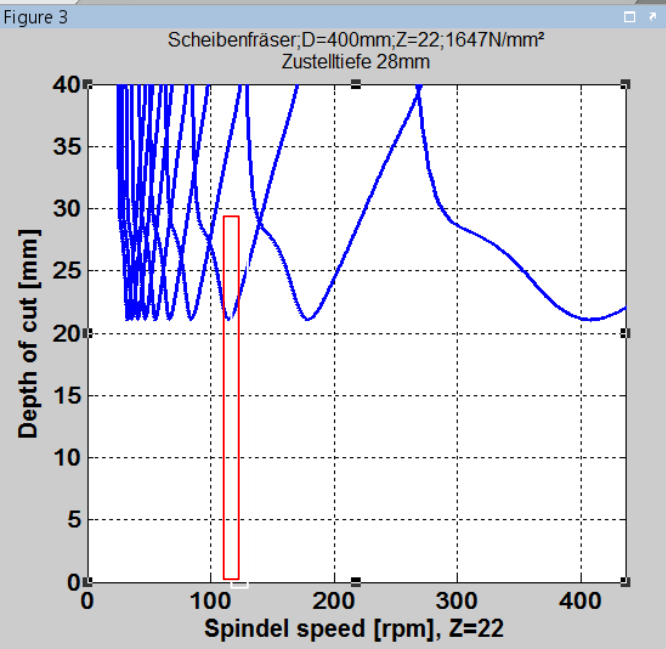
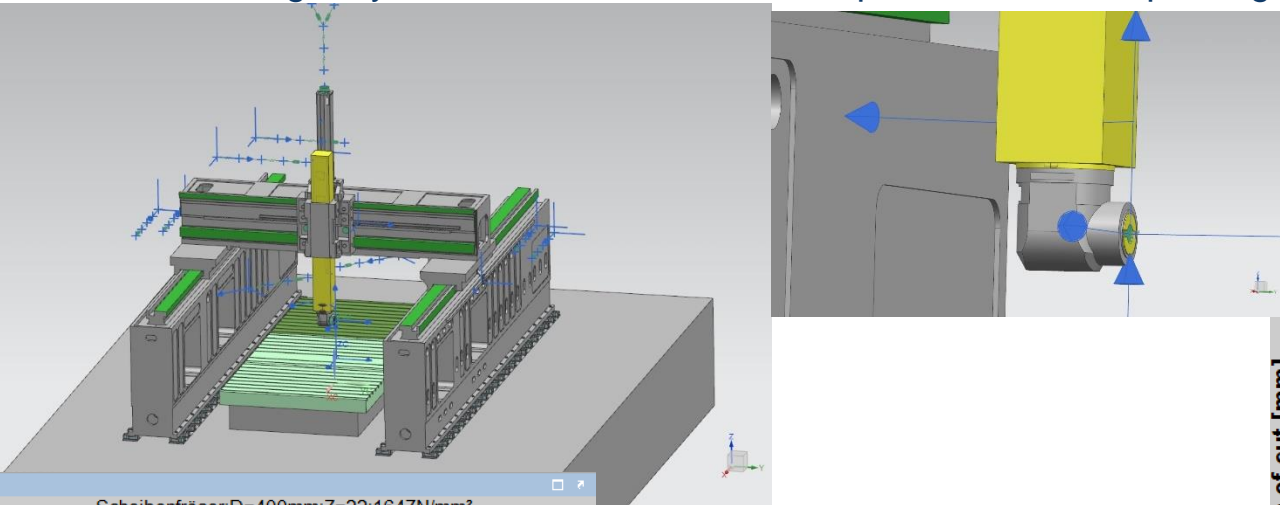
Im eingebauten Kopf zeigt die Motorspindel am TCP eine Steifigkeit von $12,6\text{N}/\mu\text{m}$ und eine Axialschwingung bei 372Hz. Mit einem $\phi 32/8$ Fräser ist in Stahl die gewünschte Zustellung von 2mm bei 1760 rpm möglich. Maximal ist 5,6mm möglich



B: Simulationsergebnisse – Messungen der Zerspanung liegen mir noch nicht vor

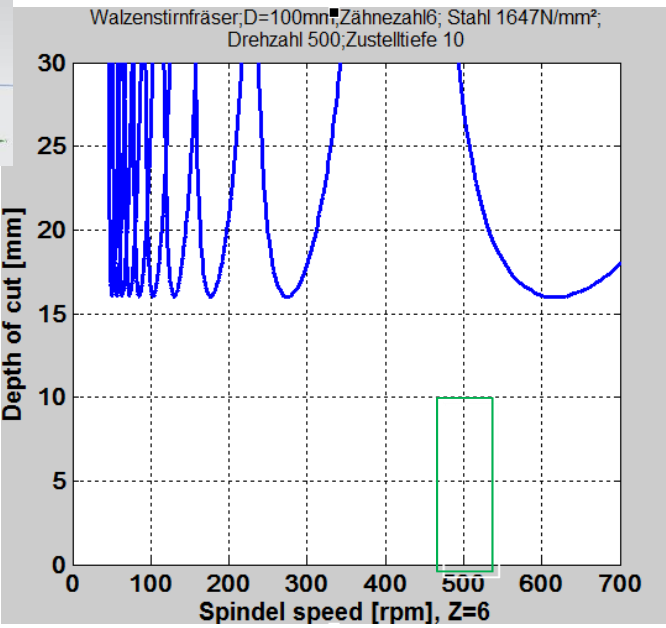
4. Abklärung der Schwerzerspanung mit dem Winkelkopf mit Walzenfräser/Scheibenfräser

20b:-4-Achs Brückengantry – 4Achsen Modell Winkelkopf für Schwerzerspanung



X-Richtung:
Scheibenfräser:
 Zustelltiefe a_p (mm)=
 28mm bei 120 U/min
 sind gefordert.

Messungen liegen
 noch nicht vor – laut
 Simulation mit zu
 geringer Dämpfung
 sind nur 22mm möglich



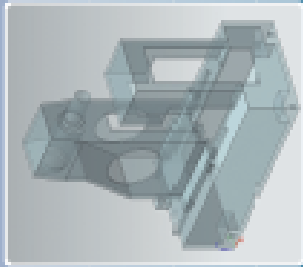
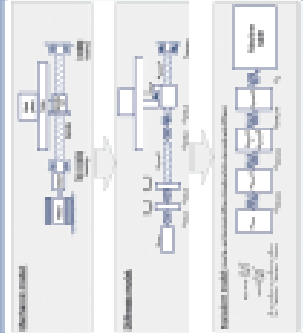
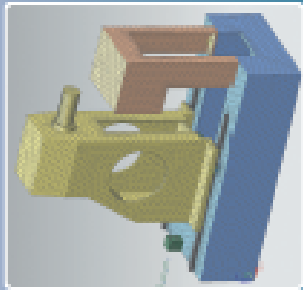
Y-Richtung: **Walzenstirnfräser** mit
Soll-Zustelltiefe 10mm bei 500rpm ist
 o.k.

1ster –Rattersack bei 600rpm mit ca. 16mm
 Zustellung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

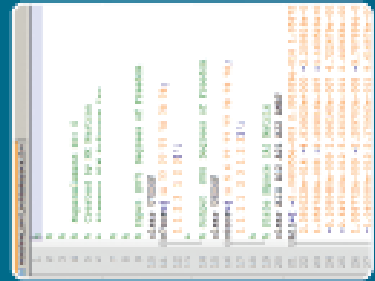
Dr. Binde Ingenieure

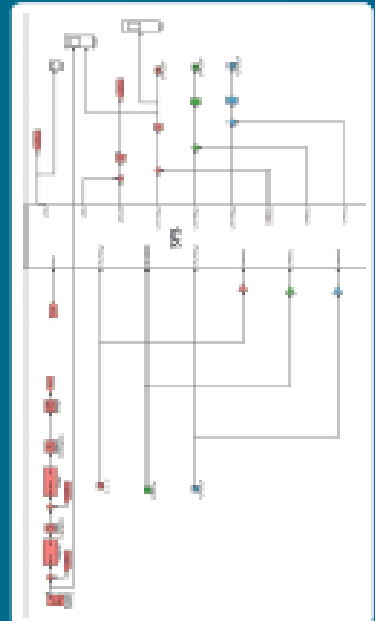
BINDE
Design & Engineering

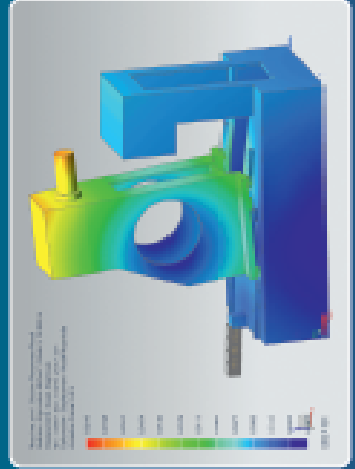




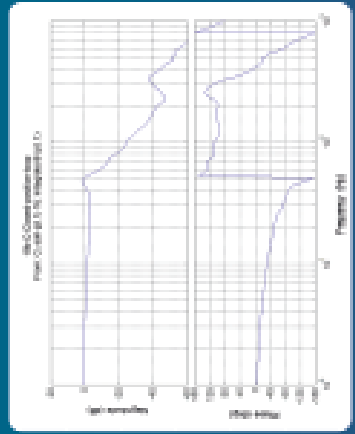
Dynamisches Verhalten von Werkzeug- und Produktionsmaschinen

- Wichtiges **QUALITÄTSMERKMAL**
- **SCHWÄCHEN** im dynamischen Verhalten:
 - Überschwingen,
 - Positionierungsgenauigkeiten
 - Konturfehler
 - Oberflächenfehler
 - Reitermarken
 - Geringe Produktivität
- **VERBESSERUNG** des dynamischen Verhalten:
 - Geschickt ausgelegte Mechanik mit passendem Antriebsstrang
 - Kombiniert mit einer optimal eingestellten Regelung
 - Realisierbar durch Simulation des gesamten Systems









Für Fragen stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.
 Dr.-Ing. Jens Hamann, jens.hamann@drbinde.de,
 Mobil: 017558722065