



Advanced linear drives in consumer products

14. Tagung
„Feinwerktechnische Konstruktion“
11.11.2021

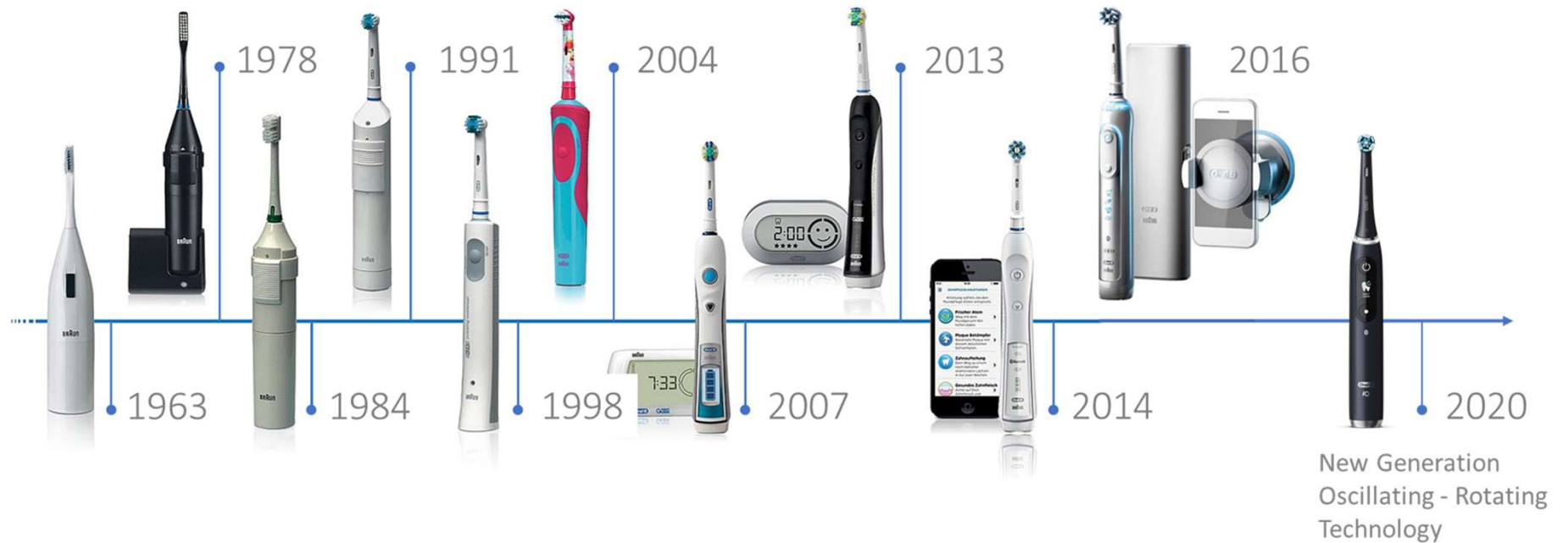
Frank Ziegler, Dr. Robert Schäfer, Dipl. Ing. Uwe Schober

Agenda

- Geschichte
- Motivation
- Neues Antriebsprinzip
- Workflow → Linearmotor
- Herausforderung Feder Konstruktion
- Stand der Dinge



Geschichte



Motivation – Optimierungs Bereiche

Handstück:

- Design / Ergonomie
- Mech. Effizienz Antriebsstrang



Putzleistung:

- Plaque Entfernung
- Putzgefühl



Ersatzbürste:

- Geräusch
- Mech. Effizienz
- Komplexität



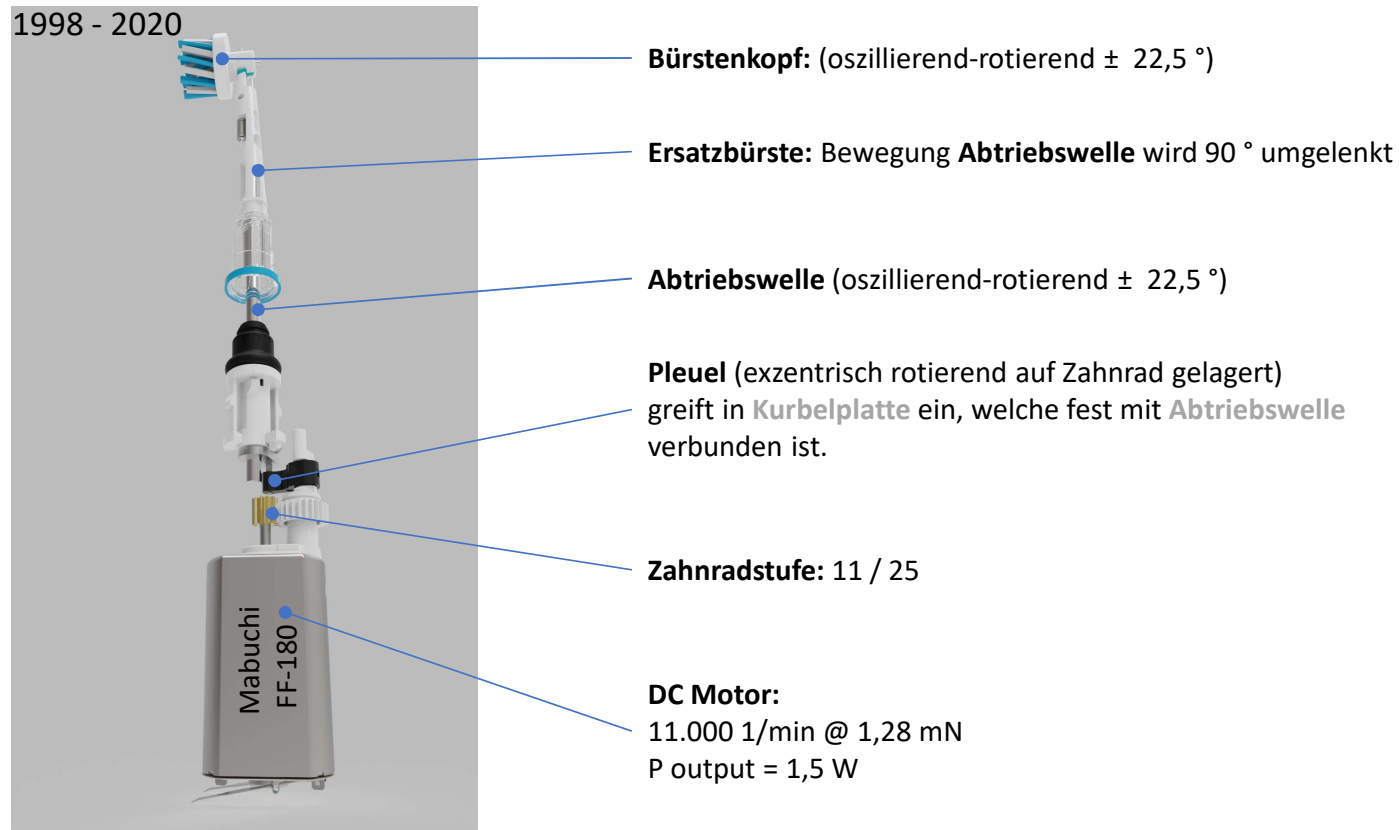
Sound:

- Frequenz Spektrum
- Schall Leistung
- Schall Druck



Motivation – Vorgänger Antrieb

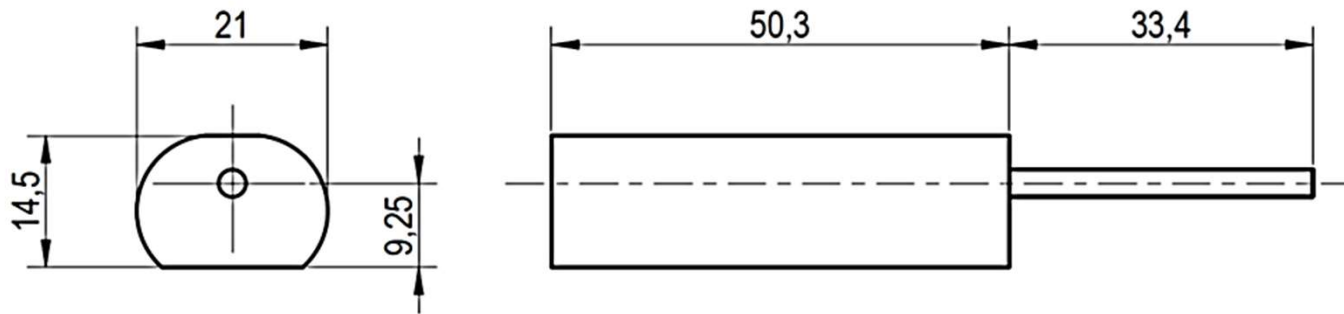
1998 - 2020



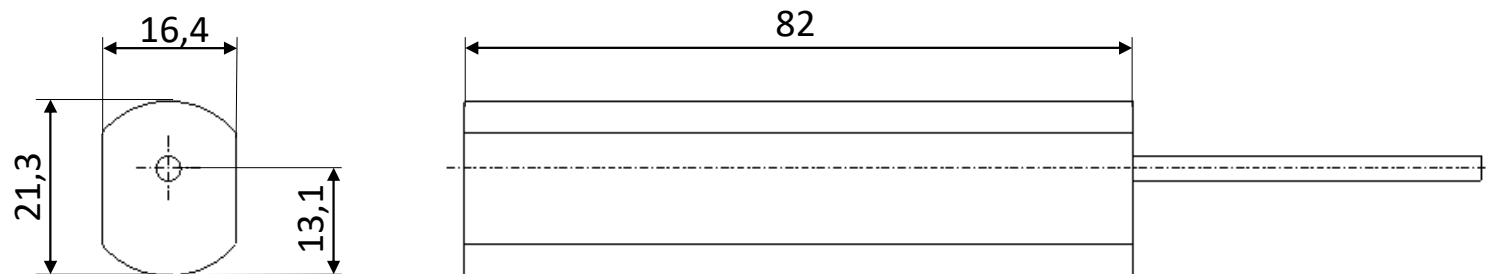
Motivation – Vorgänger Antrieb



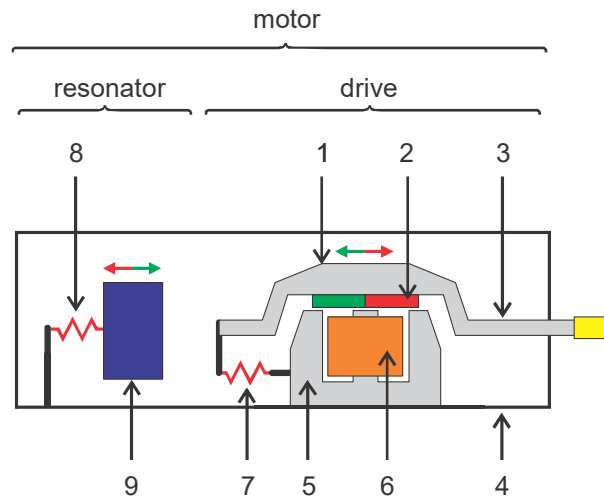
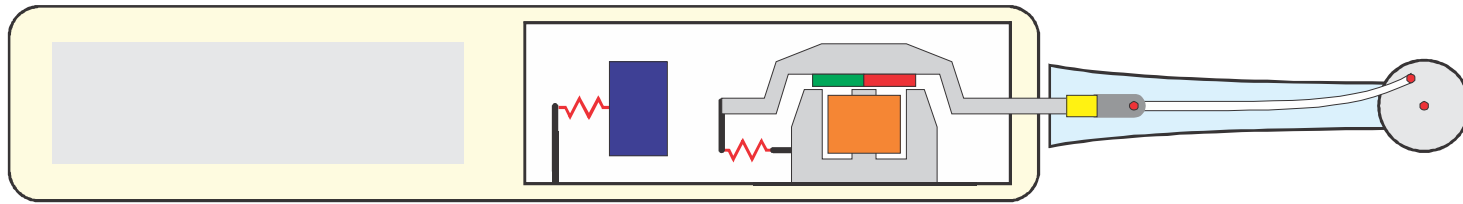
Neues Antriebsprinzip – Design Randbedingung



- Bauraum Vorgänger Antrieb:

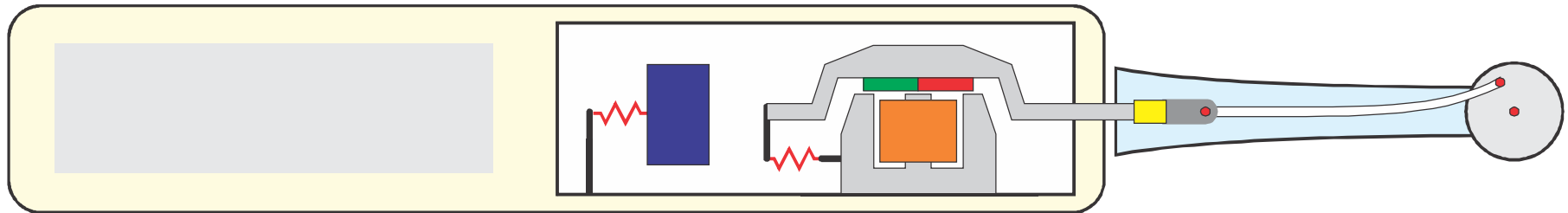


Neues Antriebsprinzip – schematisch



1. Eisenrückschluss
2. Magnet
3. Abtriebsachse
4. Motor Gehäuse
5. Spulenkern
6. Spule
7. Aktuator Feder
8. Resonator Feder
9. Resonator

Neues Antriebsprinzip – Anforderungen



Zahnbürste (Komplettgerät):

- Abtrieb: oszillierend – rotierend $\pm 14^\circ$ bei 145 Hz
- Abtriebswinkel Borstenscheibe konstant über typisch auftretende Andruckkräfte
- Niedriger Geräuschpegel (Schallleistung $< 60 \text{ dB(A)}$)
- Geringe Gehäusevibration
- $> 50 \text{ min}$ Akkulaufzeit



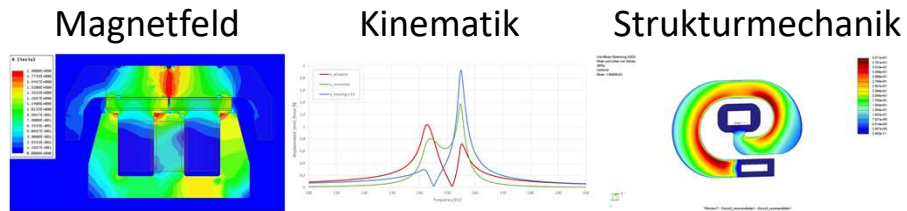
Motor:

- Amplitude $\pm 0,63 \text{ mm}$
- Stat. Antriebskraft = 5 N
- Schallleistung $< 40 \text{ dB(A)}$
- Interne Vibrationskompensierung
- Mittlere Stromaufnahme $< 650 \text{ mA}$

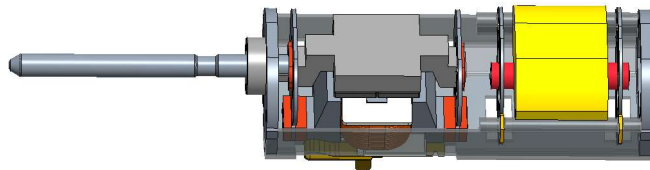


Workflow → Linearmotor – Übersicht

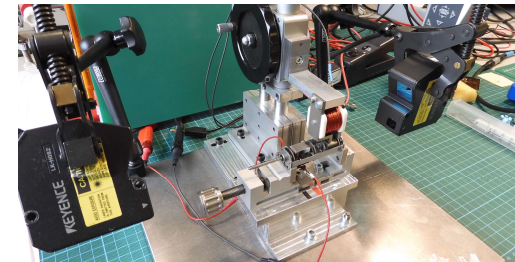
Simulation



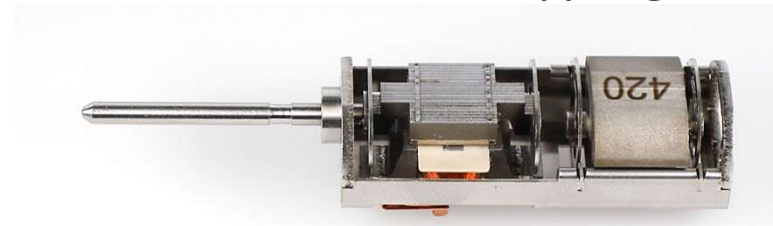
Konstruktion



Messtechnik

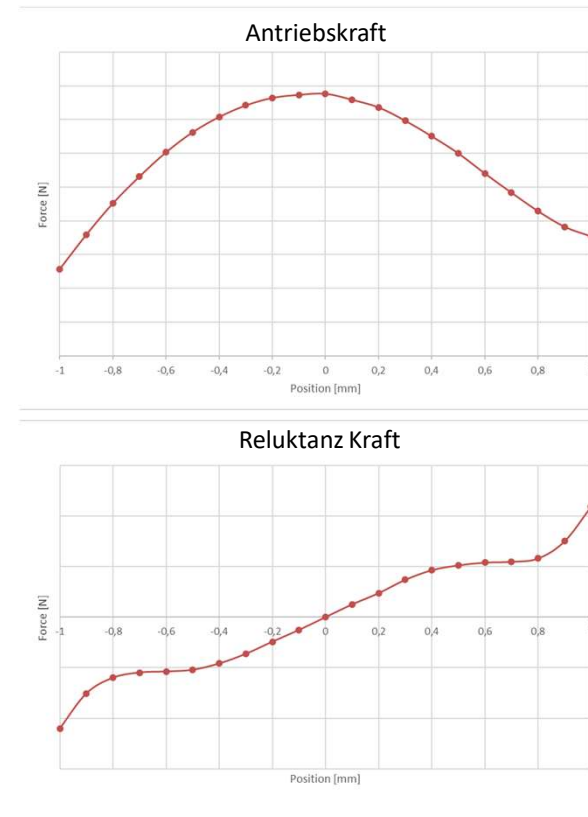
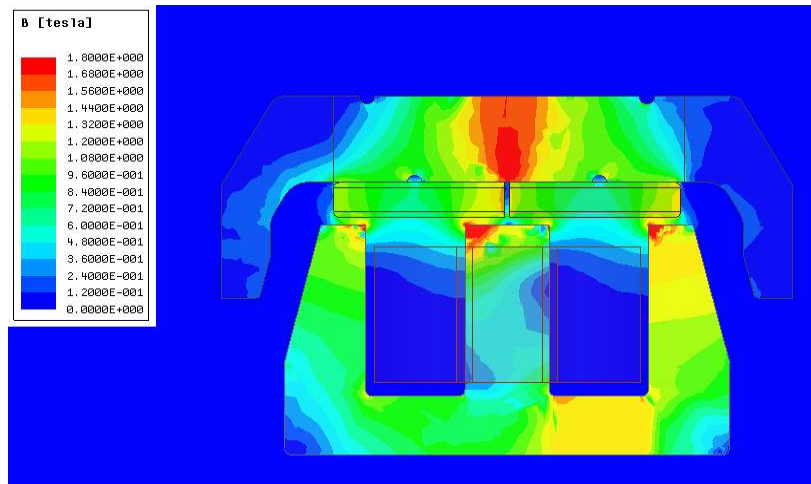


Prototyping



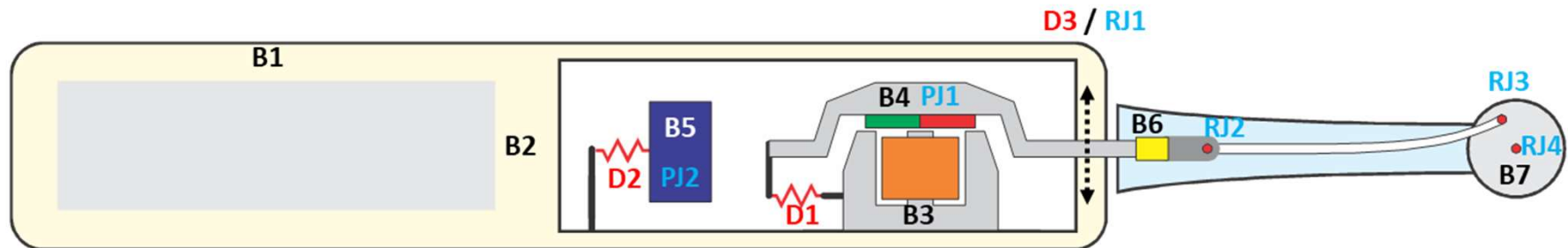
Workflow → Linearmotor – Simulation - Magnetfeld

Magnetkreis Auslegung mit ANSYS MAXWELL:



Workflow → Linearmotor – Simulation - Kinematik

- Simulationsmodell schematisch:



B1: Toothbrush housing

B2: Chassis

B3: Motor Stator

B4: Actuator

B5: Resonator

B6: Refill housing

B7: Brush head

D1: Resonance spring

D2: Resonator spring

D3: Pressure control spring

PJ1: Linear guide Actuator → Stator

PJ2: Linear guide Resonator → Stator

RJ1: Chassis – Toothbrush housing

RJ2: Pushrod

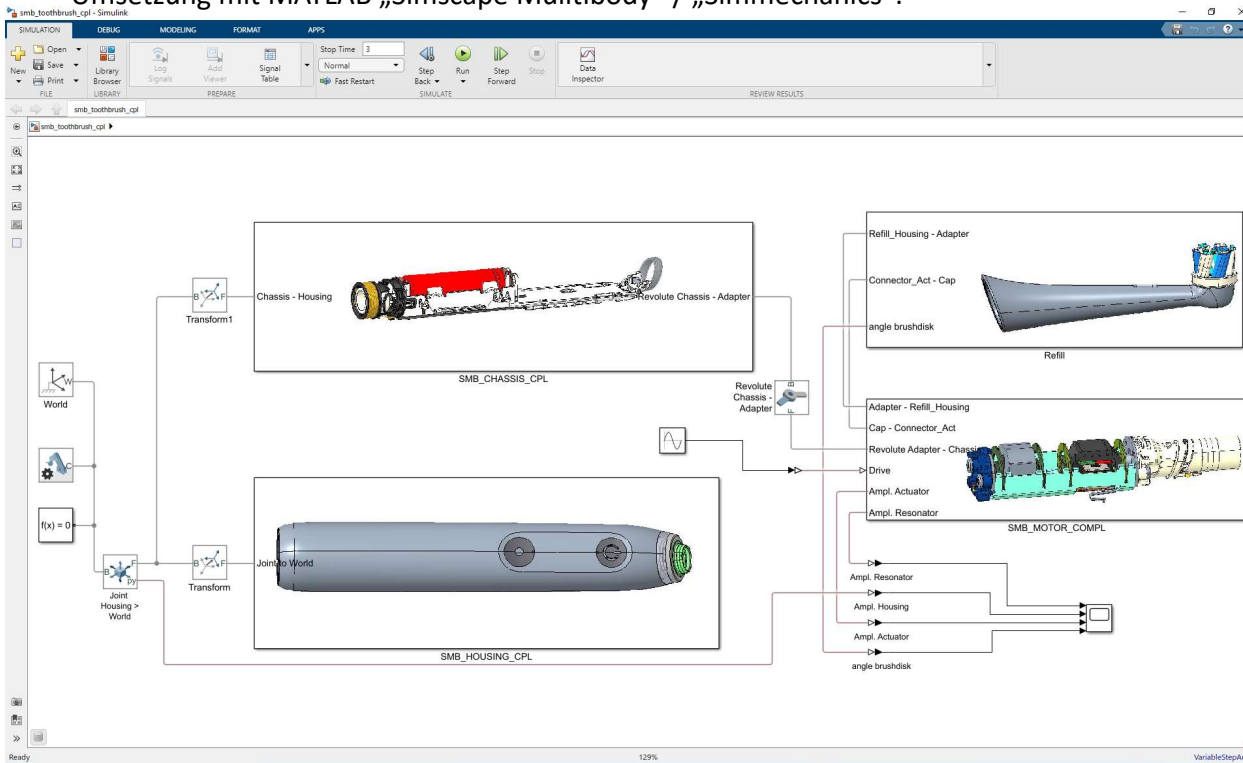
RJ3: Pushrod – Brush disc

B4: Brushhead – Refill housing

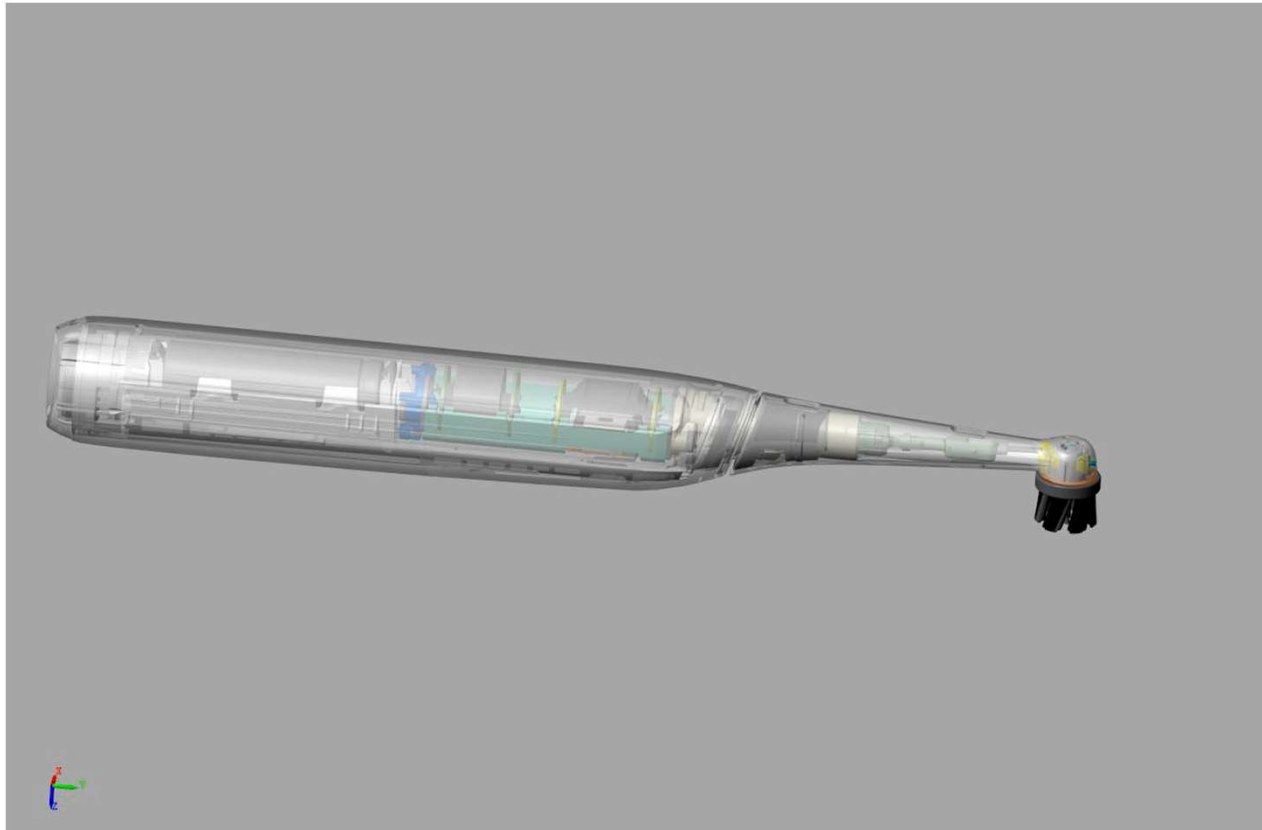


Workflow → Linearmotor – Simulation - Kinematik

- Umsetzung mit MATLAB „Simscape Multibody“ / „Simmechanics“:

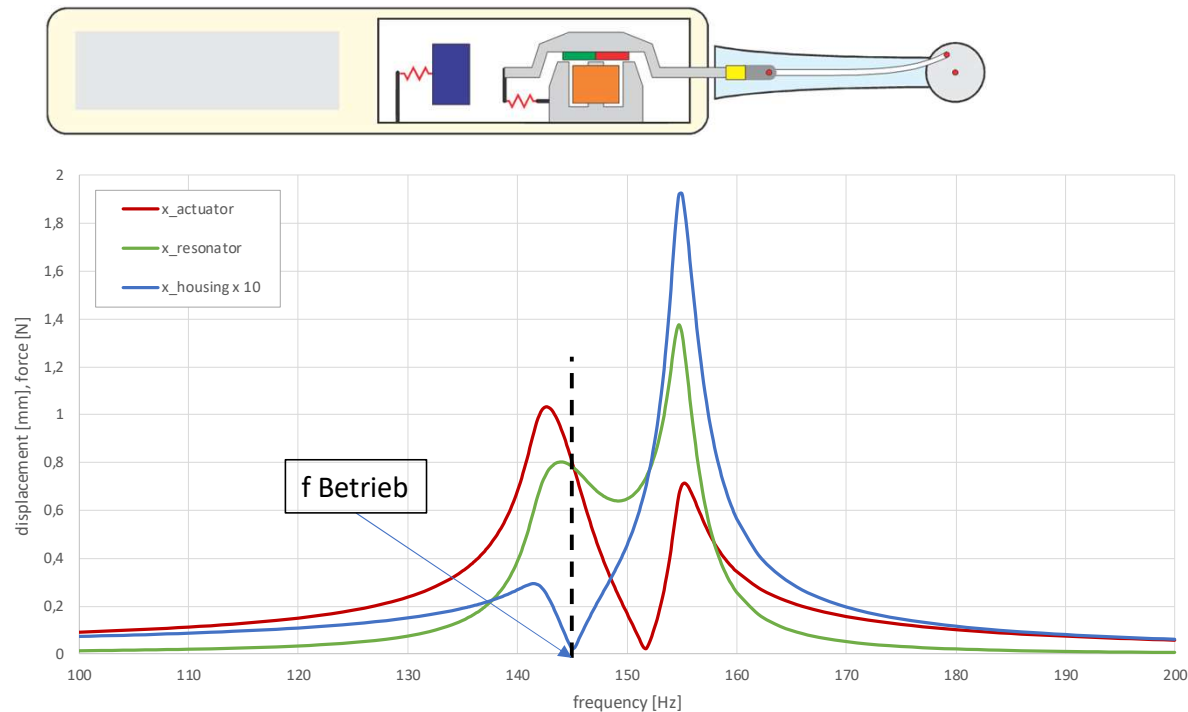


Workflow → Linearmotor – Kinematik



Workflow → Linearmotor – Simulation - Kinematik

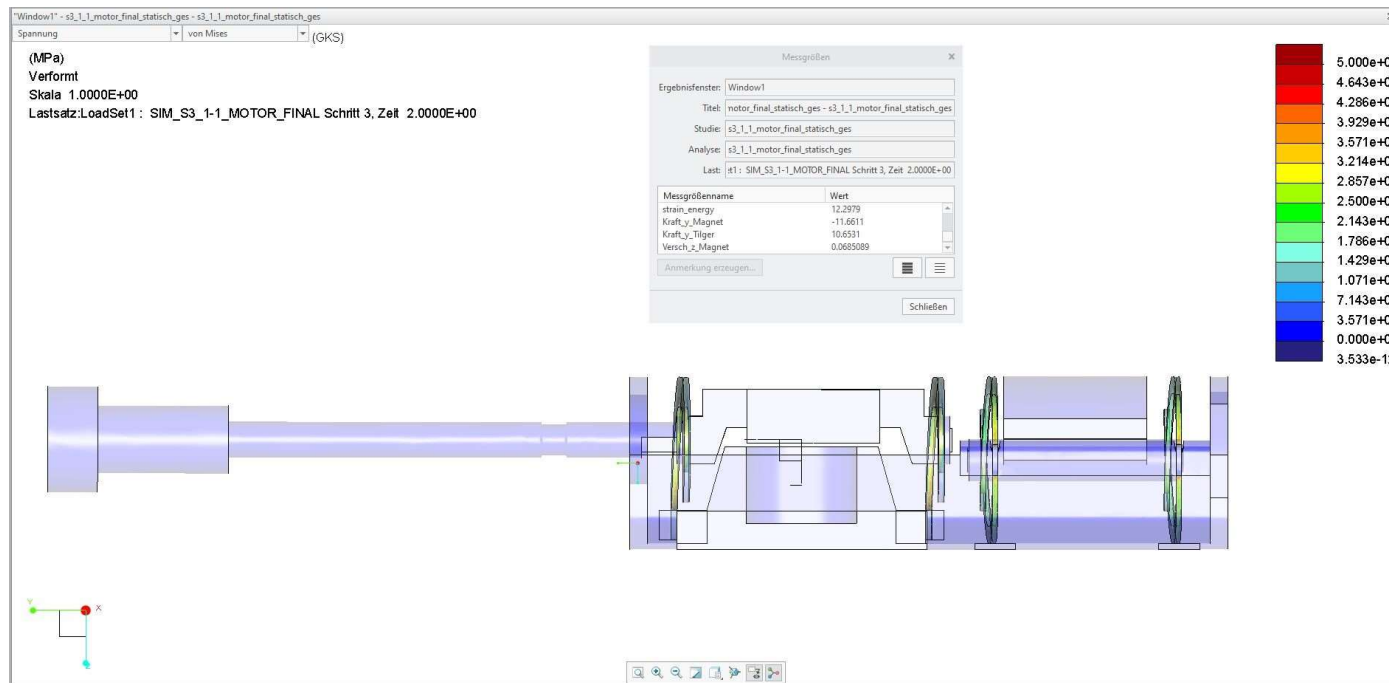
- Amplitudenverlauf über Frequenz:



- Vibrationsminimum am Zahnbürsten Handstück → Resonanzfrequenz Tilger
→ Betriebsfrequenz
 - ✓ Anregung mit sinusförmiger konstanter Kraft am Aktuator
 - ✓ Sweep von 100 Hz – 200 Hz

Workflow → Linearmotor – Simulation – Strukturm.

- Creo Simulate FEM – Analyse:

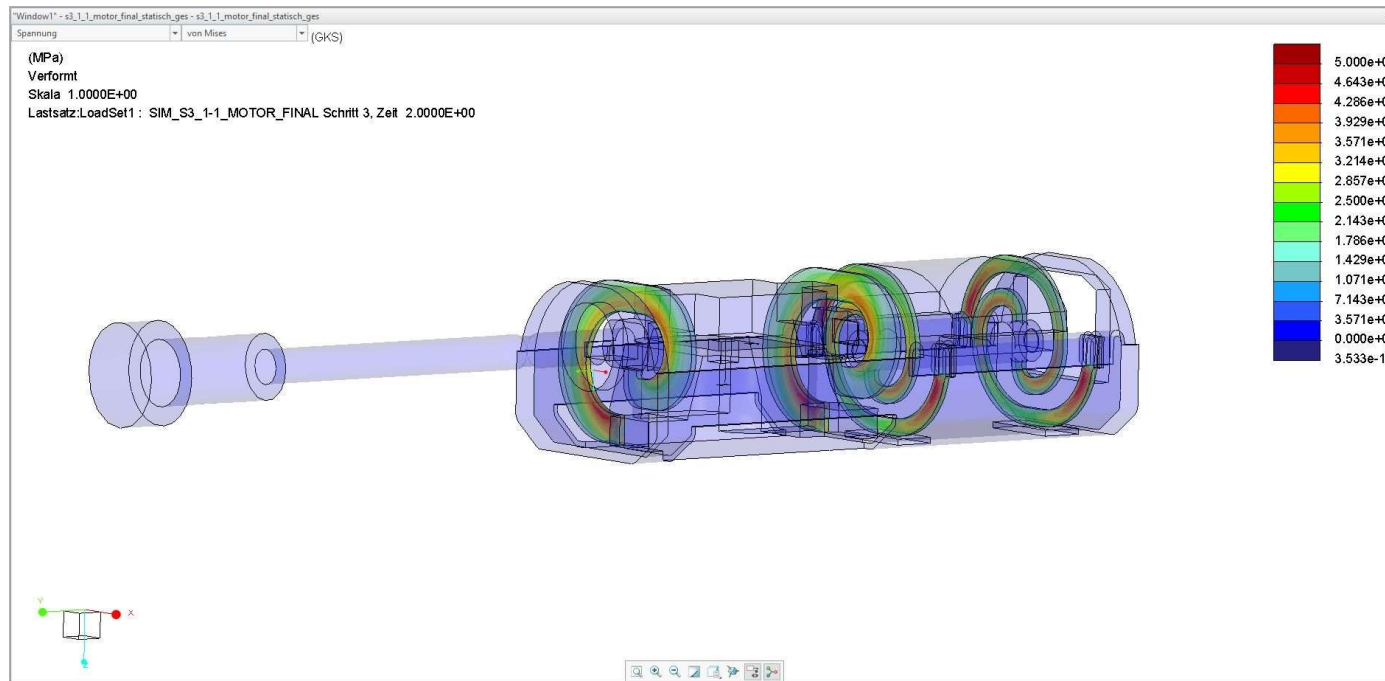


- Federraten
- Verschiebungen



Workflow → Linearmotor – Simulation – Strukturm.

- Creo Simulate FEM – Analyse:

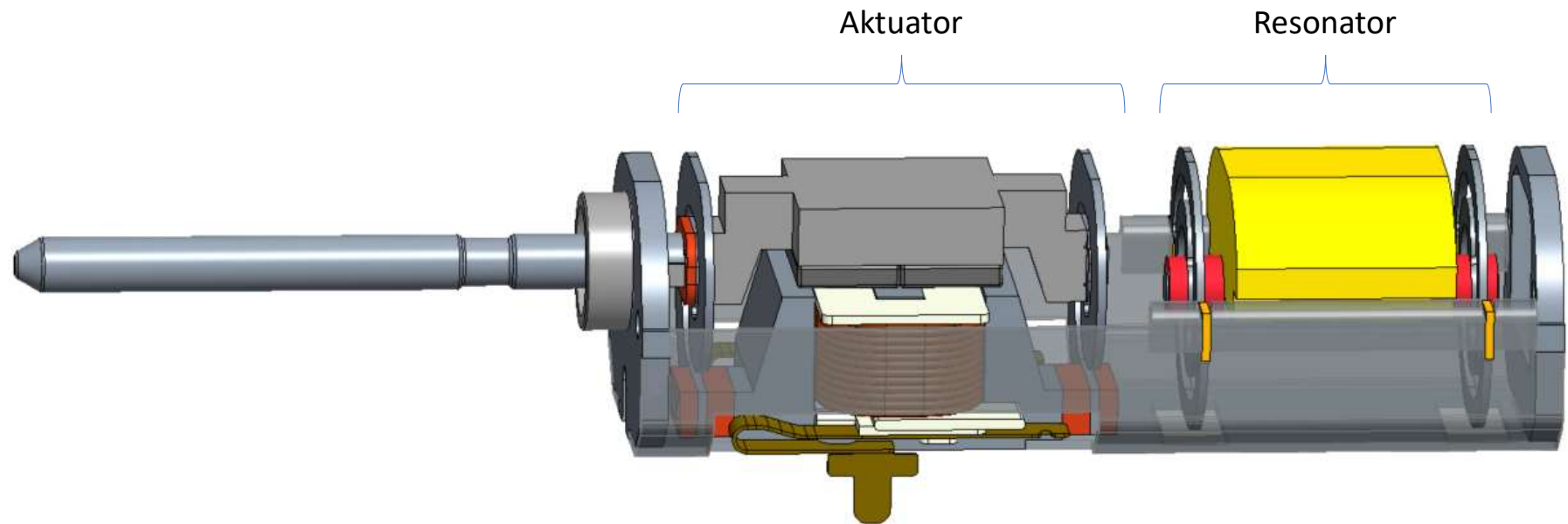


- Spannungen



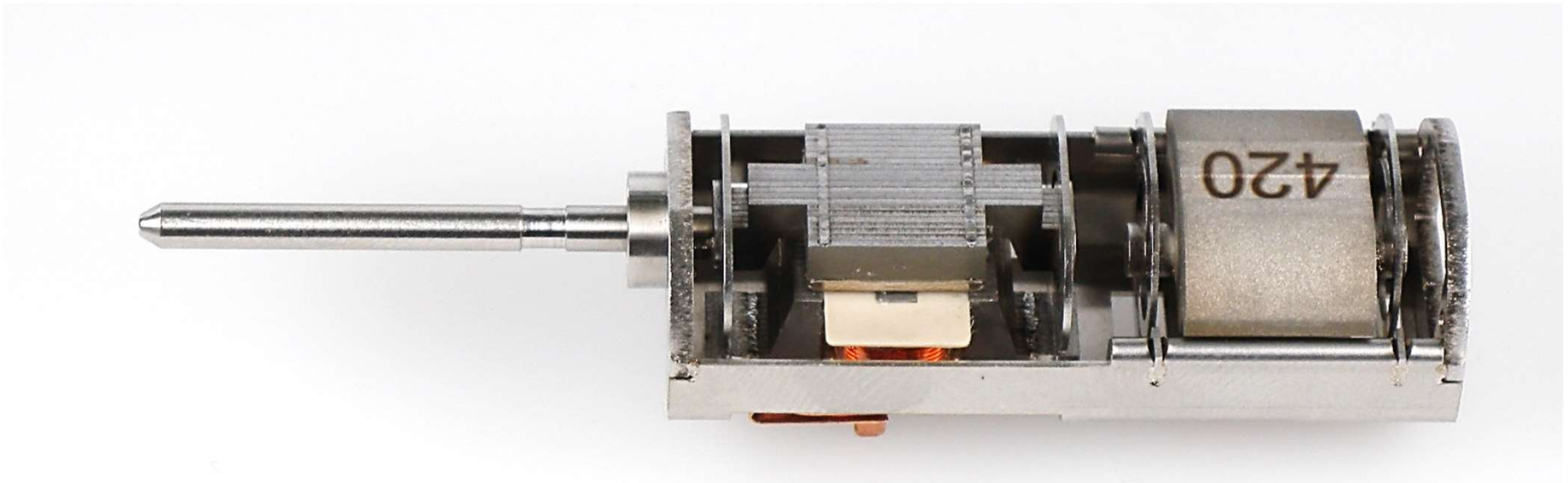
Workflow → Linearmotor – Konstruktion

- Creo CAD Model für Prototypenserie (150 Stck.) 2016:



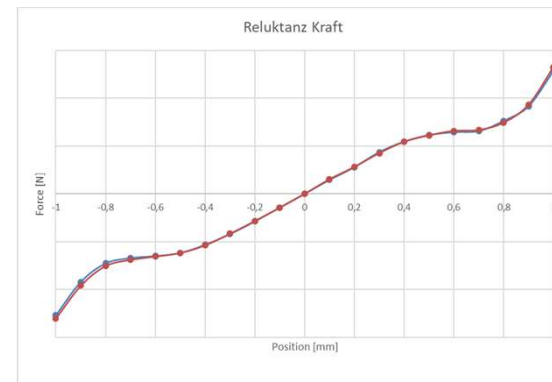
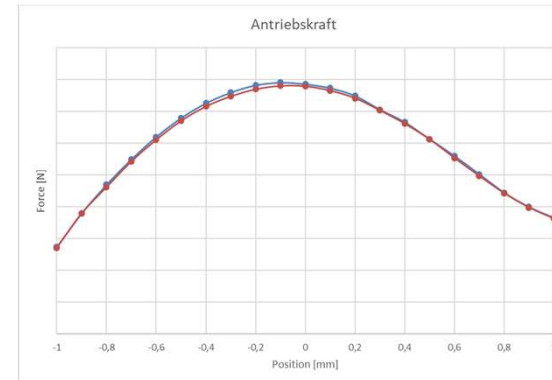
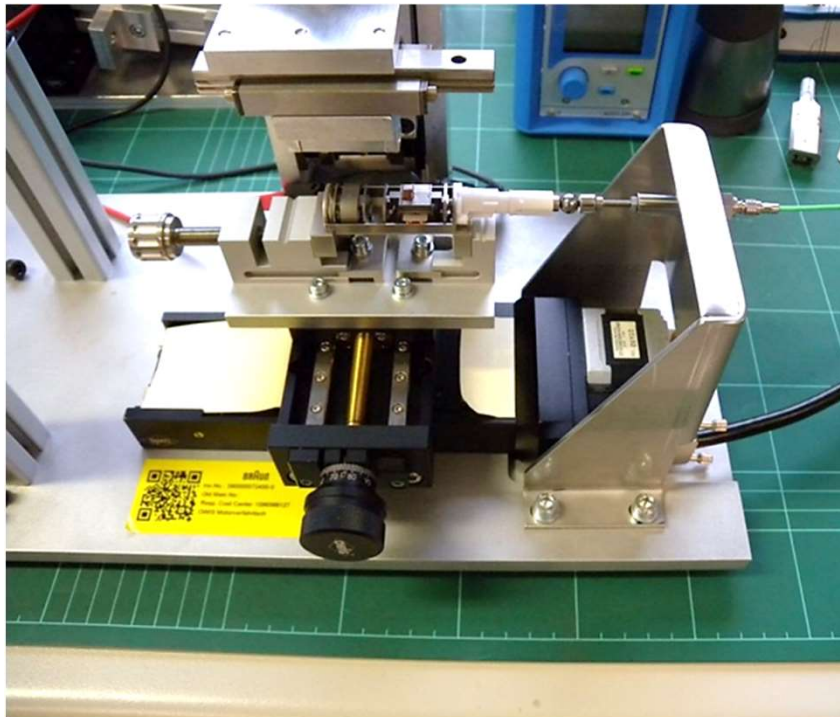
Workflow → Linearmotor – Prototyping

- Inhouse Prototyping (150 Stck.) 2016:



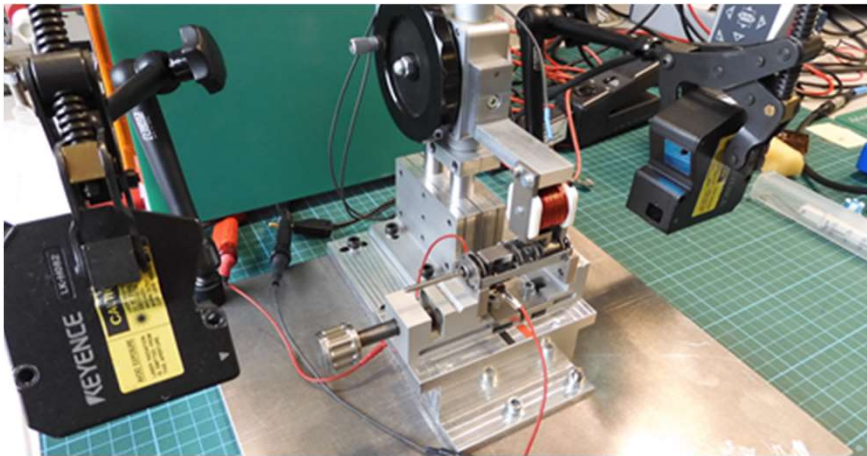
Workflow → Linearmotor – Messtechnik

- Messung der statischen Antriebskraft / Reluktanzkraft:



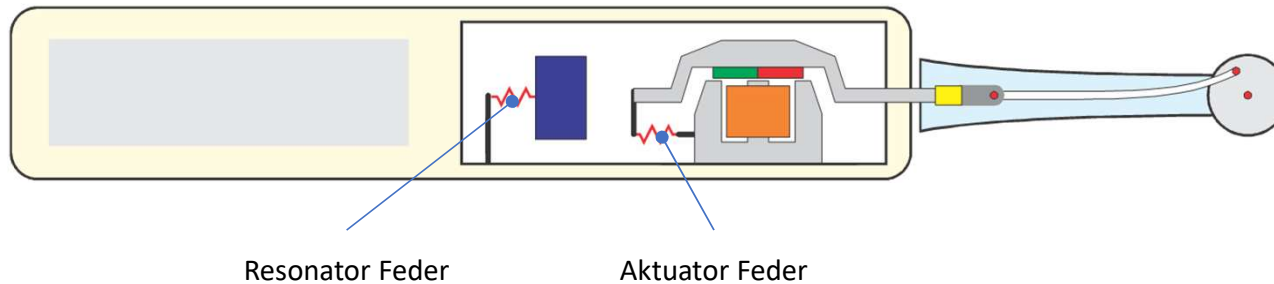
Workflow → Linearmotor – Messtechnik

- Messung Ausschwingverhalten:



- Resonanzfrequenz f_{res} [Hz] Aktuator und Resonator separat
- Dämpfungsgrad D Aktuator und Resonator separat
- Induzierte Spannung Back emf [V/mm] Aktuator

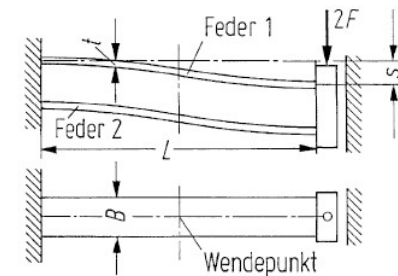
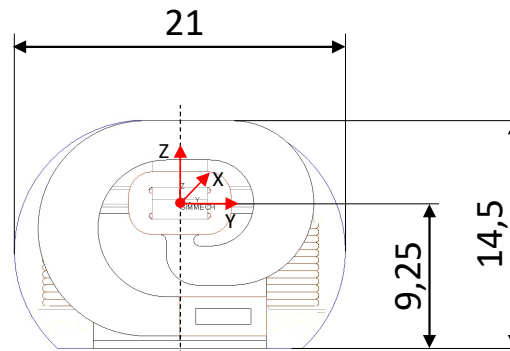
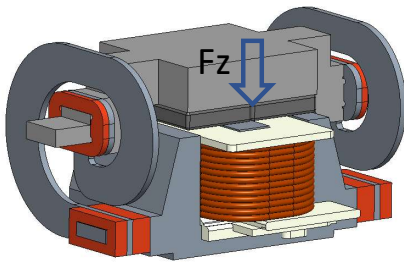
Herausforderung Feder Konstruktion



- Anforderungen:
 - Resonanz Feder:
 - Abgestimmte Federrate für Betriebsfrequenz 145 Hz
 - Linearführung für Tilgermasse → Amplitude ± 1 mm
 - Aktuator Feder:
 - Abgestimmte Federrate für Betriebsfrequenz 145 Hz
 - Präzise Linearführung für Aktuatormasse / Abtriebsachse → Amplitude ± 1 mm
 - Hohe Quersteifigkeit → Normalkraft im Luftspalt = 20 N

Herausforderung Feder Konstruktion

- Aktuator Feder – Geometrie:



G. Niemann et al., Maschinenelemente 1

- Anforderungen:

- Große Federlänge L
 - Max. C_x
 - Min. Querbewegung
- $C_z \gg C_x$
- C_x gesamt auf Zielwert für f_{res}
= 145 Hz

$$\omega_{res} = 2 * \pi * f_{res} = \sqrt{\frac{C_x}{M}}$$

f_{res} = Resonanzfrequenz [Hz]

C_x = Federrate x [N/m]

M = bewegte Masse [kg]

$$\sigma = \frac{3 * s * t * E}{L^2} ; \quad C = \frac{B * t^3 * E}{L^3} ;$$

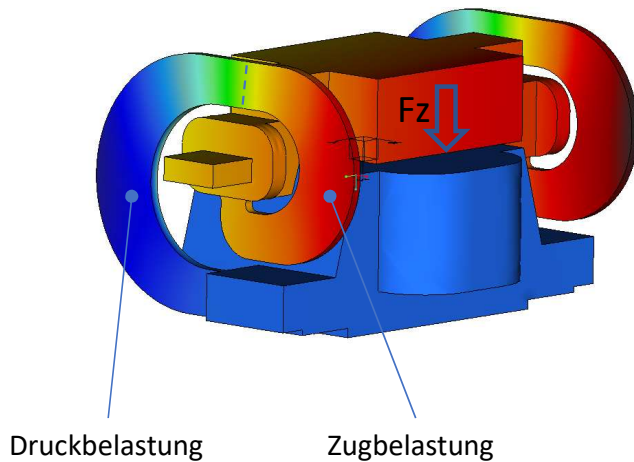
σ = max. Biegespannung [N/mm²]

C = Federrate [N/mm]

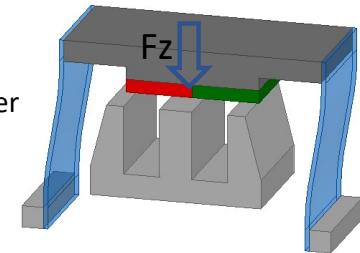
E = Elastizitätsmodul [N/mm²]

Herausforderung Feder Konstruktion

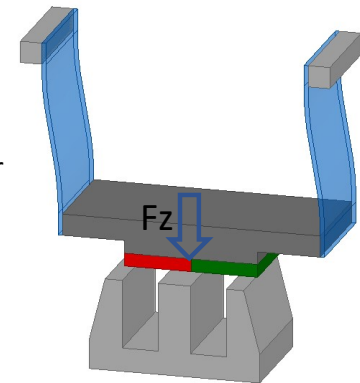
- Aktuator Feder – Einfluss von F_z auf Federrate C_x :



Druckbelastung auf Blattfeder
→ Reduzierung von C_x

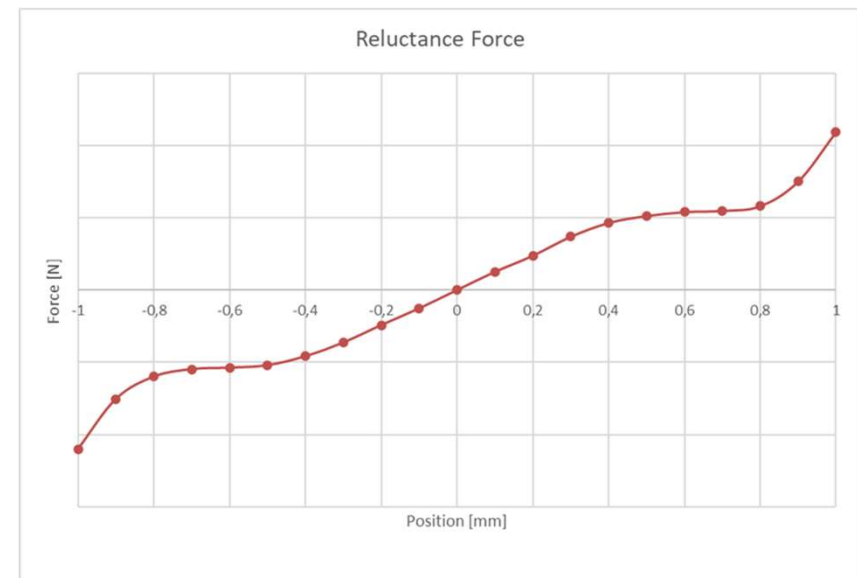
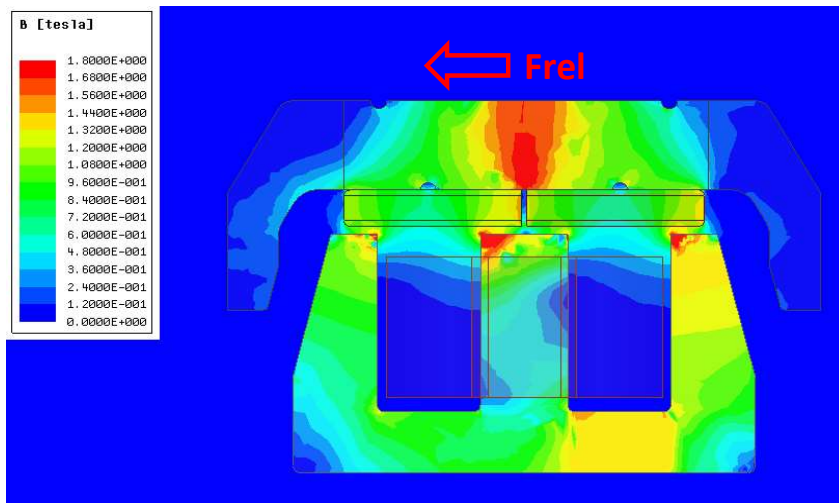


Zugbelastung auf Blattfeder
→ Vergrößerung von C_x



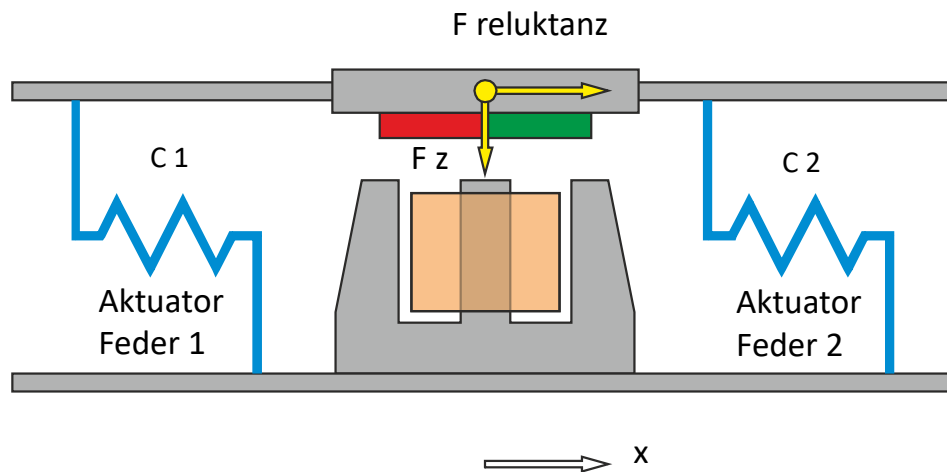
Herausforderung Feder Konstruktion

- Aktuator Feder – Einfluss von **F Reluktanz** auf Federrate **C x**:



Herausforderung Feder Konstruktion

- Aktuator Feder – Zusammenfassung:



$$F_{\text{Aktuator Feder ges}} = -(C1 + C2) \cdot x + F_{\text{reluk}}(x) + f(F_Z)$$

Stand der Dinge - Check

Handstück:

- ✓ Design / Ergonomie
- ✓ Mech. Effizienz Antriebsstrang



Putzleistung:

- ✓ Plaque Entfernung
- ✓ Putzgefühl



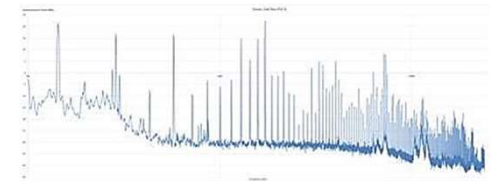
Ersatzbürste:

- ✓ Geräusch
- ✓ Mech. Effizienz
- ✓ Komplexität



Sound:

- ✓ Frequenz Spektrum
- ✓ Schall Leistung
- ✓ Schall Druck



Stand der Dinge – Testergebnisse / Kundenreaktion

OralB iO vs Philips c't Aug 2020



Die Oral-B iO schnurrt dank ihres neuen, deutlich ruhigeren Antriebs wie ein Kätzchen. Zu ihm gehören auch neue Bürstenköpfe.



Die Philips Sonicare DiamondClean 9000 kommt mit einem schicken Glas. Das Netzteil darunter lädt den Akku induktiv.

Während die Oral-B Genius X 20000N noch klang und sich anfühlte wie ein klappriger Traktor, summt und vibriert die Nachfolgerin wie ein fabrikneuer Sportwagen.

Die 145-Hertz-Vibration des Oral-B-Geräts fühlte sich beim Putzen natürlicher an als die hochfrequent summende Philips-Schallzahnbürste.

104

Persönliches PDF für Dober Ralf aus 61440 Oberursel
© Copyright by Heine Medien.

c't 2020, Heft 19

