planlauf

Statisches und dynamisches Verhalten eines 3D-Druckers

- Überschwingverhalten der X- und Y-Achse -

Dr.-Ing. Rouven Meidlinger

planlauf GmbH

Gliederung

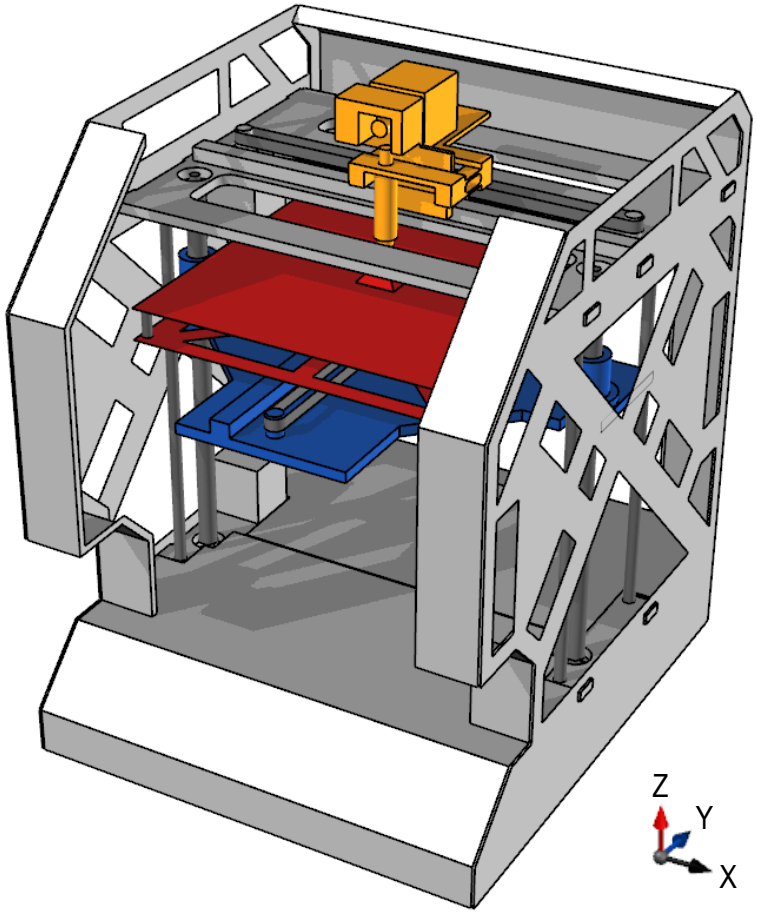
- Einleitung und Aufgabenstellung
- Experimentelle Erfassung des Überschwingverhaltens
- Statisches Verhalten
- Dynamisches Verhalten
- Zusammenfassung und Empfehlungen

© planlauf GmbH

Einleitung und Aufgabenstellung

Einleitung

- Die Druckqualität beim Fused Deposition Modeling hängt unter anderem vom dynamischen Verhalten des 3D-Druckers ab.
- Kürzere Druckzeiten erfordern in der Regel höhere Vorschübe, die wiederum Schwingungen der Druckerstruktur anregen können. Das Überschwingen der Vorschubachsen führt zu Konturfehlern bei Richtungswechseln wie z.B. Eckenfahrten und begrenzt (neben dem Extruder) die Druckgeschwindigkeit.

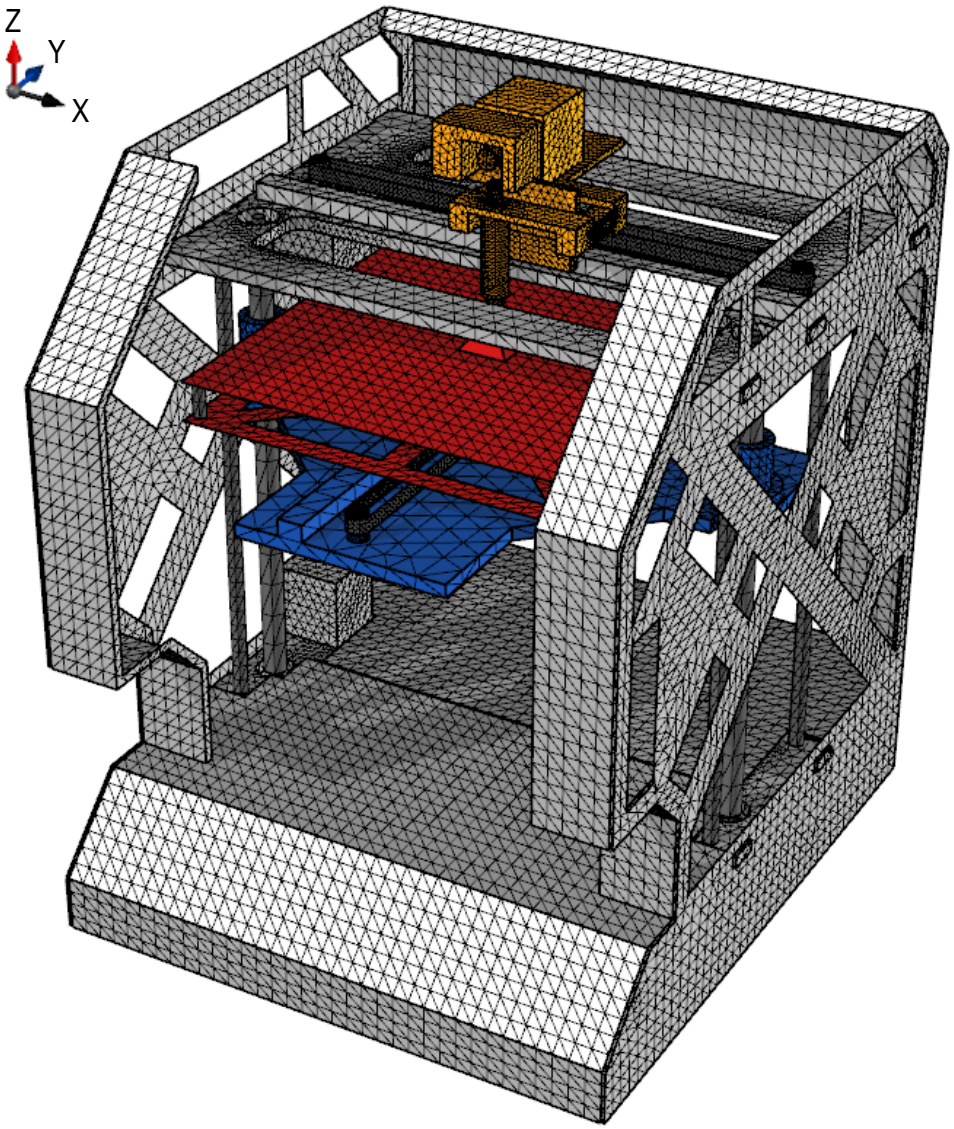


Aufgabenstellung

- Experimentelle Erfassung der Überschwingverhaltens in X- und Y-Richtung mit Bestimmung der kritischen Eigenfrequenzen
- Statisches Verhalten und Schwachstellenanalyse
- Dynamisches Verhalten: Nachgiebigkeitsfrequenzgänge und Schwingungsformen
- Erarbeitung von Verbesserungsvorschlägen

© planlauf GmbH

Aufbau des Finite-Elemente-Modells



- Führungen
  - X-Achse: Kugelführung Gr. 15 (1 Wagen)
  - Y-Achse: Kugelführung Gr. 15 (1 Wagen)
  - Z-Achse: Führung über die Z-KGTs
- Antriebe
  - X-Achse: Riemen
  - Y-Achse: Riemen
  - Z-Achse: 2x KGT ∅16x5 mit 2x Rillenkugellager
- Werkstoffe
  - Bleche: Stahl
  - alle anderen Bauteile: Aluminium
- Aufstellung auf 4 Gummipuffern

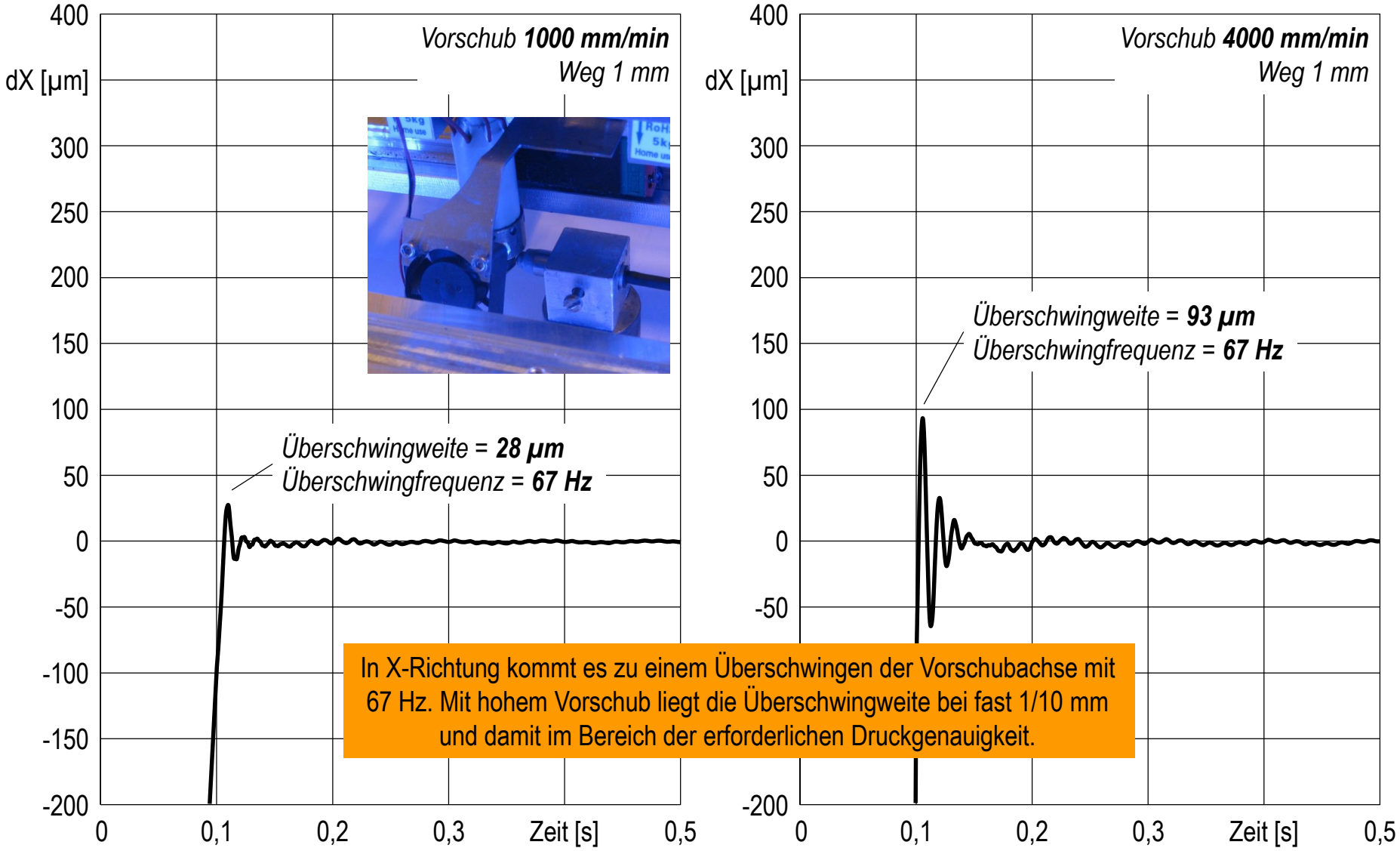
© planlauf GmbH

Gliederung

- Einleitung und Aufgabenstellung
- Experimentelle Erfassung des Überschwingverhaltens
- Statisches Verhalten
- Dynamisches Verhalten
- Zusammenfassung und Empfehlungen

© planlauf GmbH

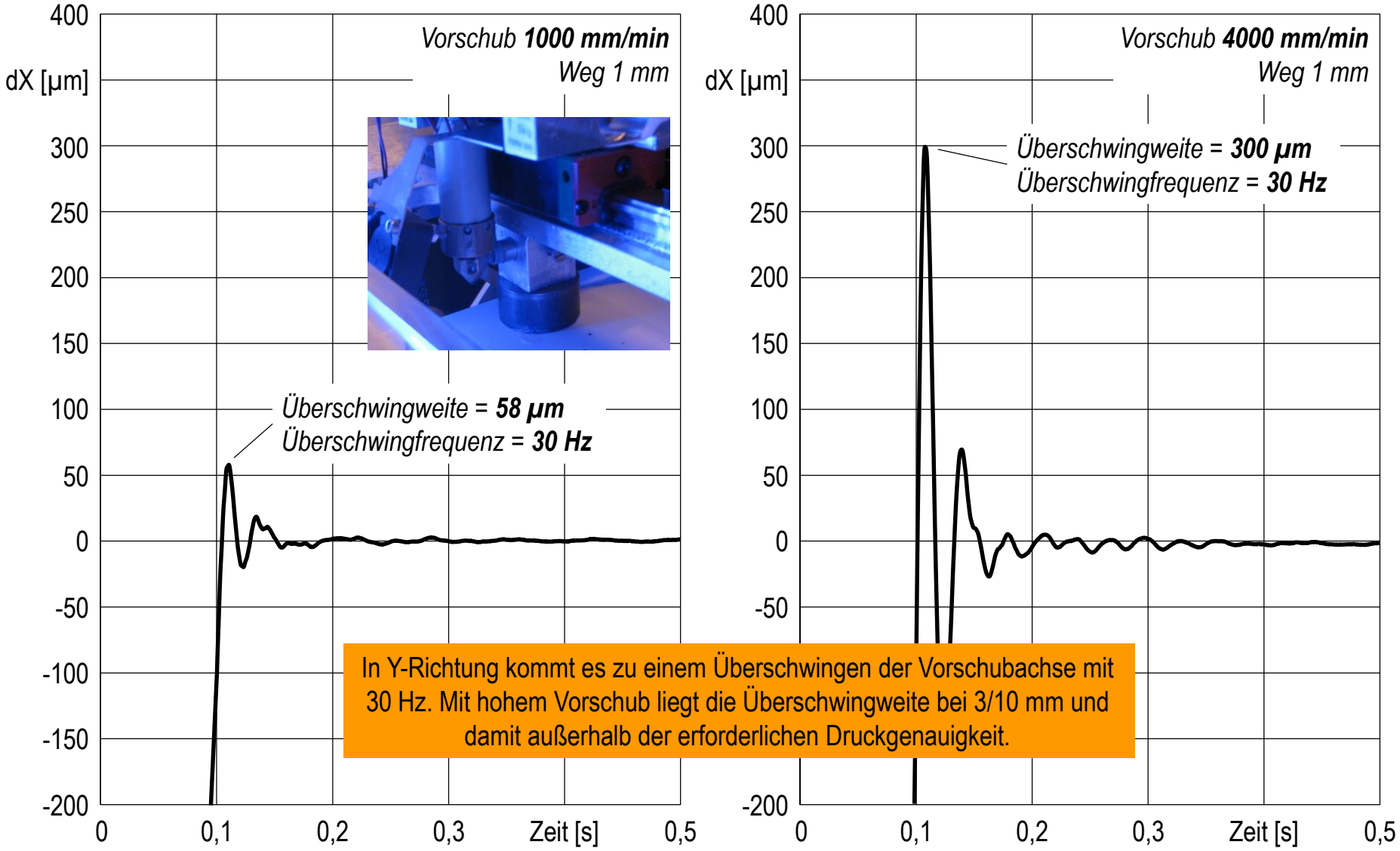
Überschwingverhalten der X-Achse
Relative Verlagerung zwischen Extruder und Heizplatte



In X-Richtung kommt es zu einem Überschwingen der Vorschubachse mit 67 Hz. Mit hohem Vorschub liegt die Überschwingweite bei fast 1/10 mm und damit im Bereich der erforderlichen Druckgenauigkeit.

© planlauf GmbH

Überschwingverhalten der Y-Achse
Relative Verlagerung zwischen Extruder und Heizplatte



In Y-Richtung kommt es zu einem Überschwingen der Vorschubachse mit 30 Hz. Mit hohem Vorschub liegt die Überschwingweite bei 3/10 mm und damit außerhalb der erforderlichen Druckgenauigkeit.

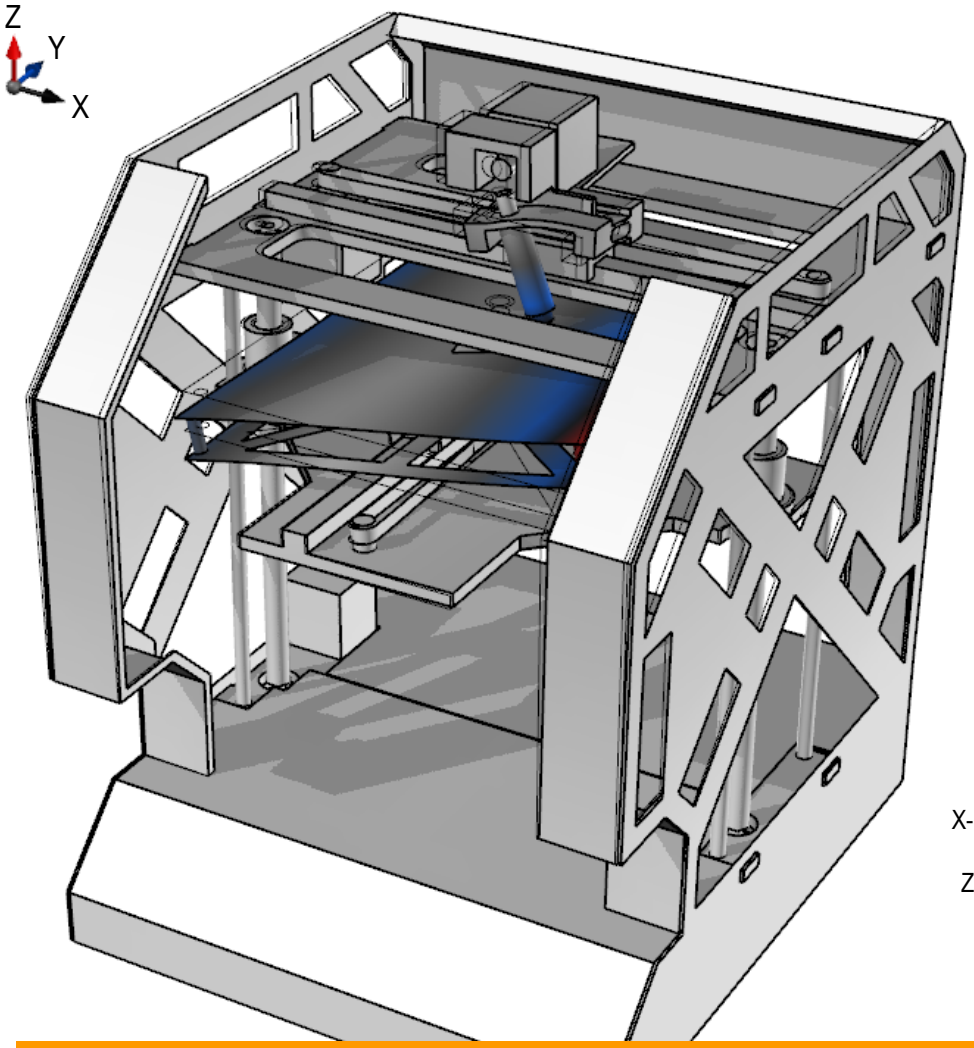
© planlauf GmbH

Gliederung

- Einleitung und Aufgabenstellung
- Experimentelle Erfassung des Überschwingverhaltens
- Statisches Verhalten – *Steifigkeiten und Schwachstellenanalyse*
- Dynamisches Verhalten
- Zusammenfassung und Empfehlungen

© planlauf GmbH

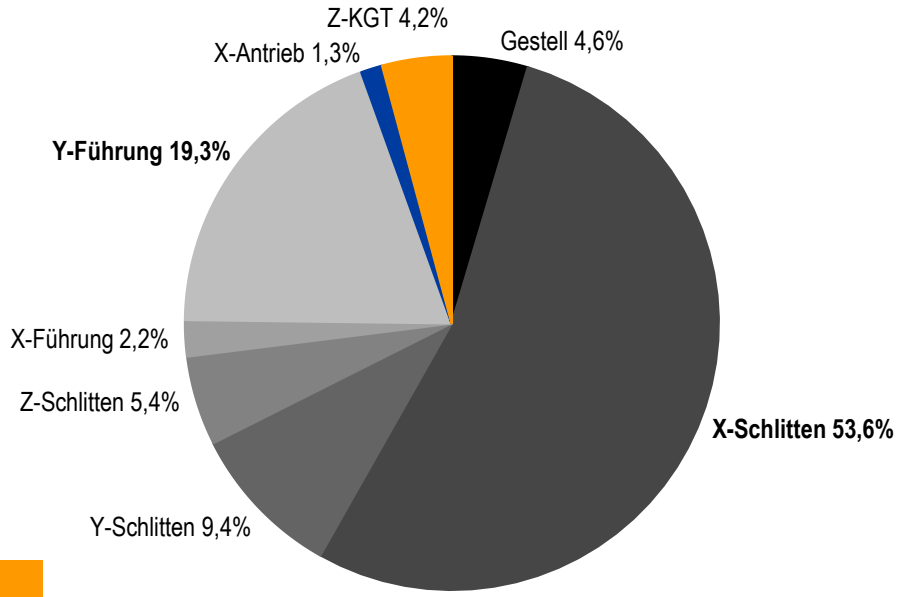
Statische Steifigkeit in X-Richtung



Statische Steifigkeit in X-Richtung
$k_{XX,REL}$ = 0,129 N/µm

$k_{XX,WZG}$ = 0,181 N/µm
$k_{XX,WST}$ = 0,448 N/µm

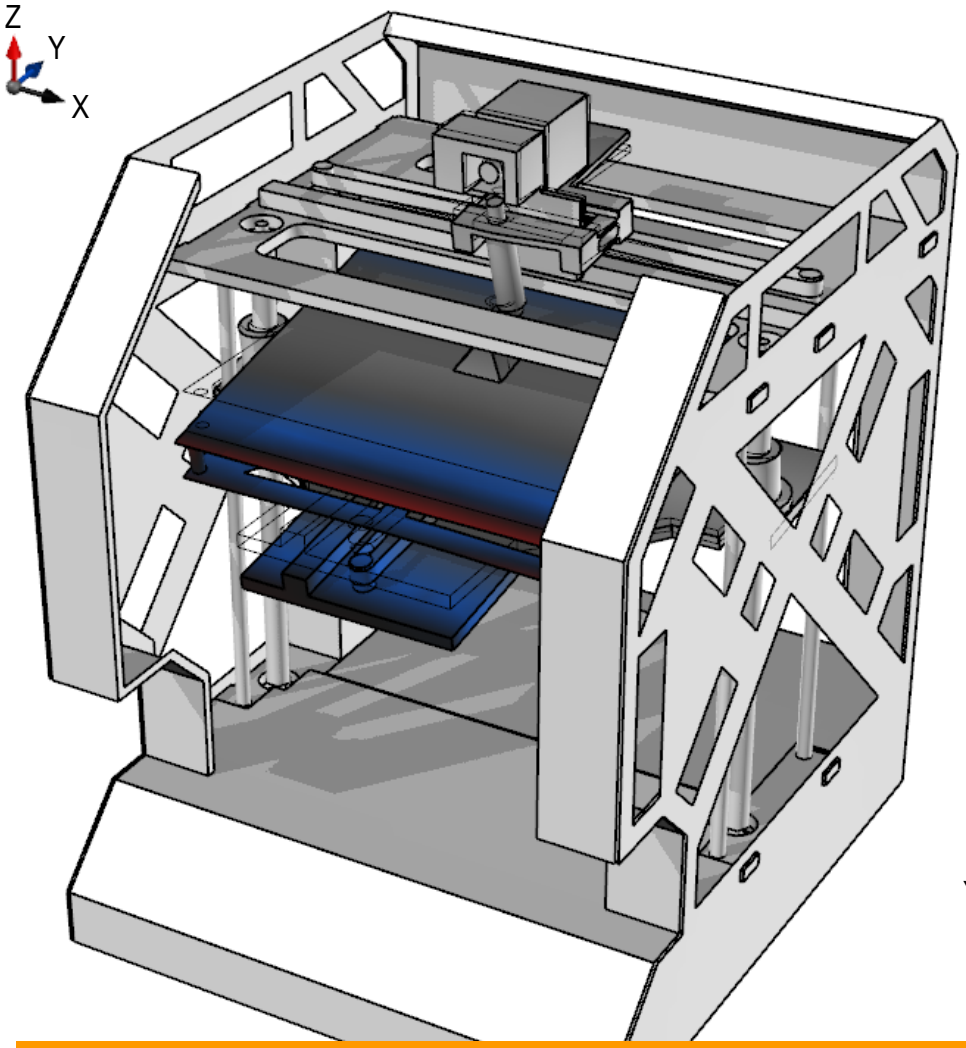
Anteile der einzelnen Komponenten an der Gesamtverformung



Der X-Schlitten weist aufgrund der Schwächung für die Dehnungsmessstreifen einen hohen Verformungsanteil auf.

© planlauf GmbH

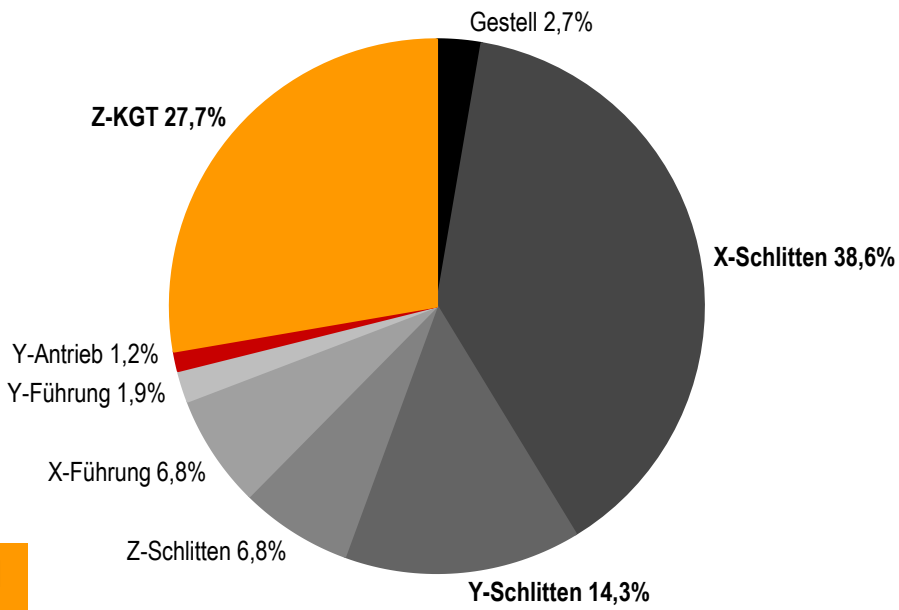
Statische Steifigkeit in Y-Richtung



Statische Steifigkeit in Y-Richtung
$k_{YY,REL}$ = 0,122 N/µm

$k_{YY,WZG}$ = 0,255 N/µm
$k_{YY,WST}$ = 0,235 N/µm

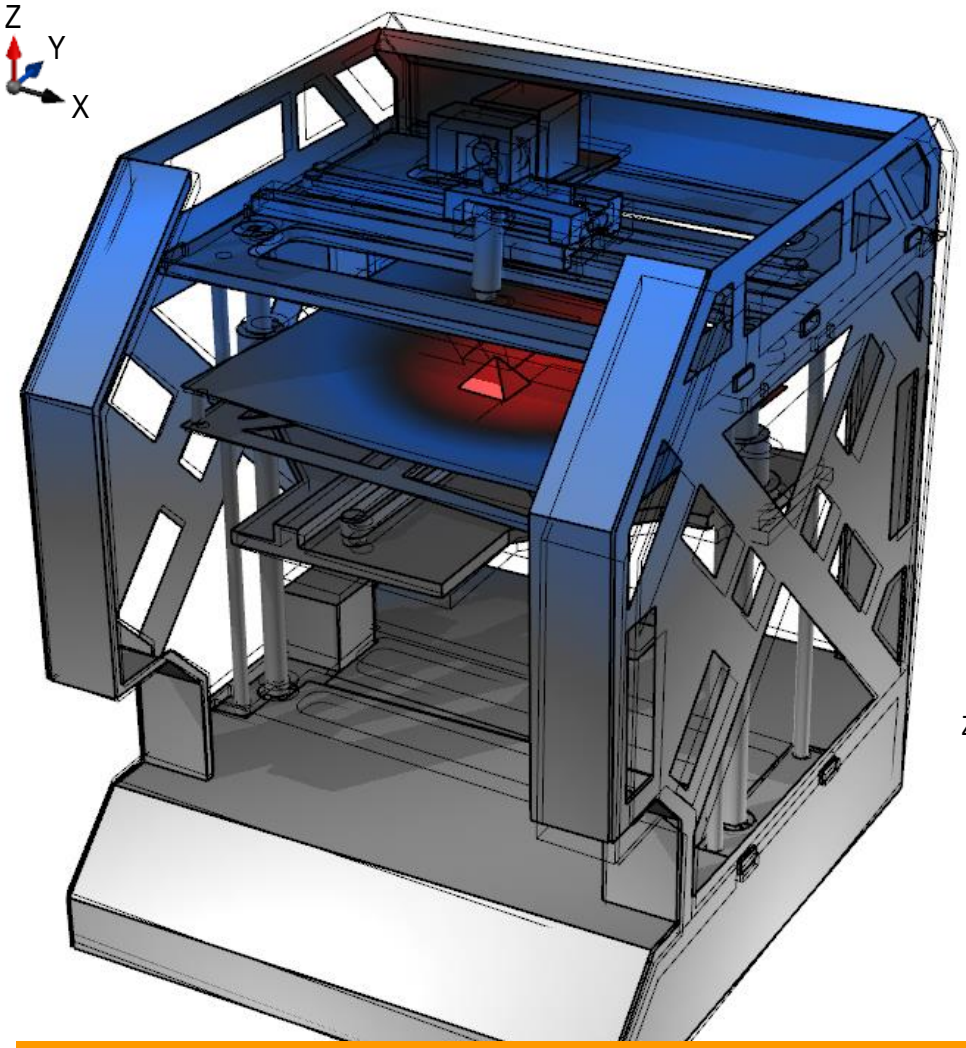
Anteile der einzelnen Komponenten an der Gesamtverformung



Die Z-KGTs weisen einen vergleichsweise hohen Verformungsanteil auf, da sie auch die Funktion der Z-Führung übernehmen.

© planlauf GmbH

Statische Steifigkeit in Z-Richtung

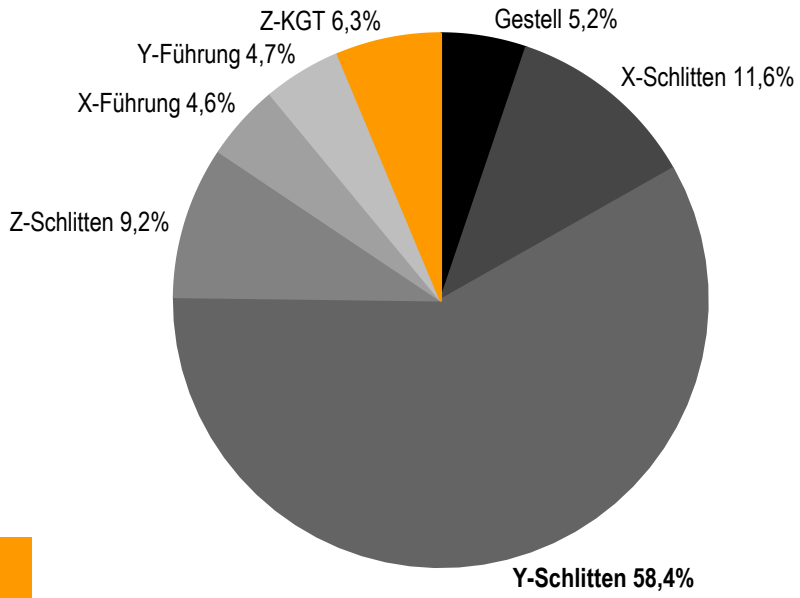


Sowohl die Heizplatte als auch die Grundplatte des Y-Schlitten biegen sich unter einer Kraft in Z-Richtung durch.

Statische Steifigkeit in Z-Richtung
$k_{ZZ,REL}$ = 0,121 N/µm

$k_{ZZ,WZG}$ = 3,419 N/µm
$k_{ZZ,WST}$ = 0,125 N/µm

Anteile der einzelnen Komponenten an der Gesamtverformung



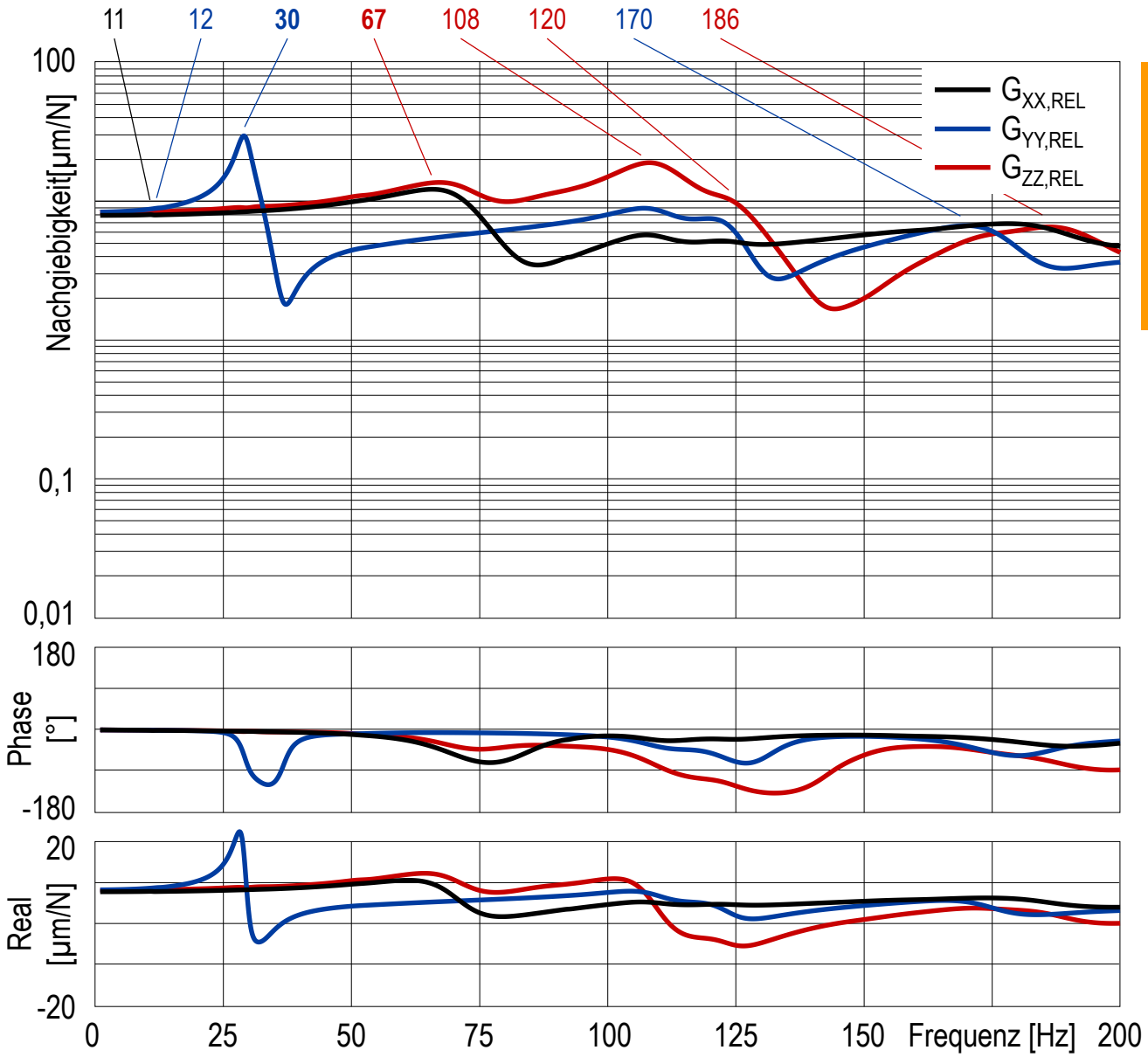
© planlauf GmbH

Gliederung

- Einleitung und Aufgabenstellung
- Experimentelle Erfassung des Überschwingverhaltens
- Statisches Verhalten
- Dynamisches Verhalten – *Frequenzgänge und Schwingungsformen*
- Zusammenfassung und Empfehlungen

© planlauf GmbH

Relative Nachgiebigkeitsfrequenzgänge



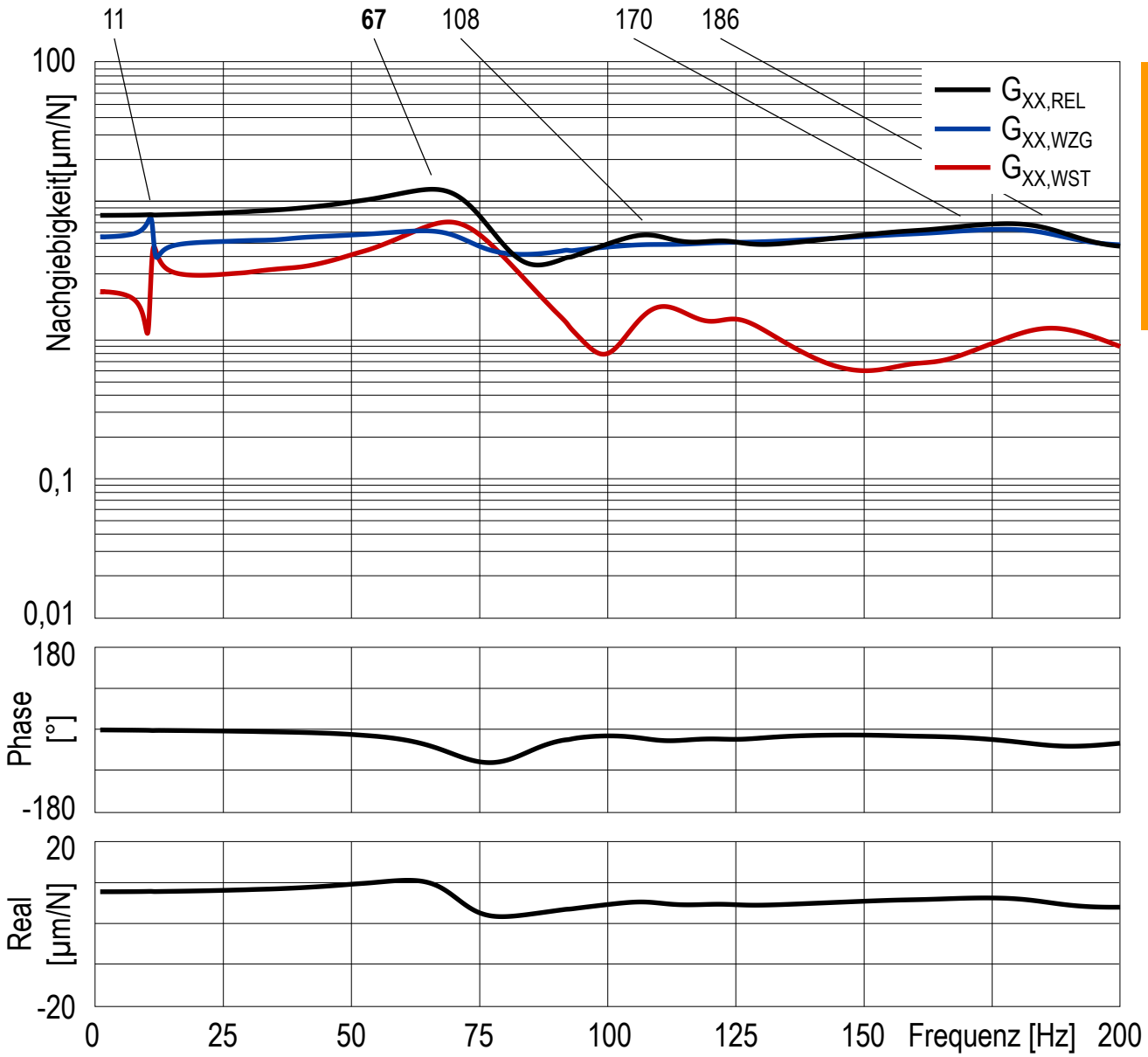
Dominante Resonanzfrequenzen

30 Hz - Kippen der Z-Einheit um die X-Achse (geringe Kippsteifigkeit der Z-KGT-Muttern)

67 Hz - Kippen der Y-Einheit um die Y-Achse (geringe Rollsteifigkeit des Y-Führungswagens)

© planlauf GmbH

Nachgiebigkeitsfrequenzgänge in X-Richtung



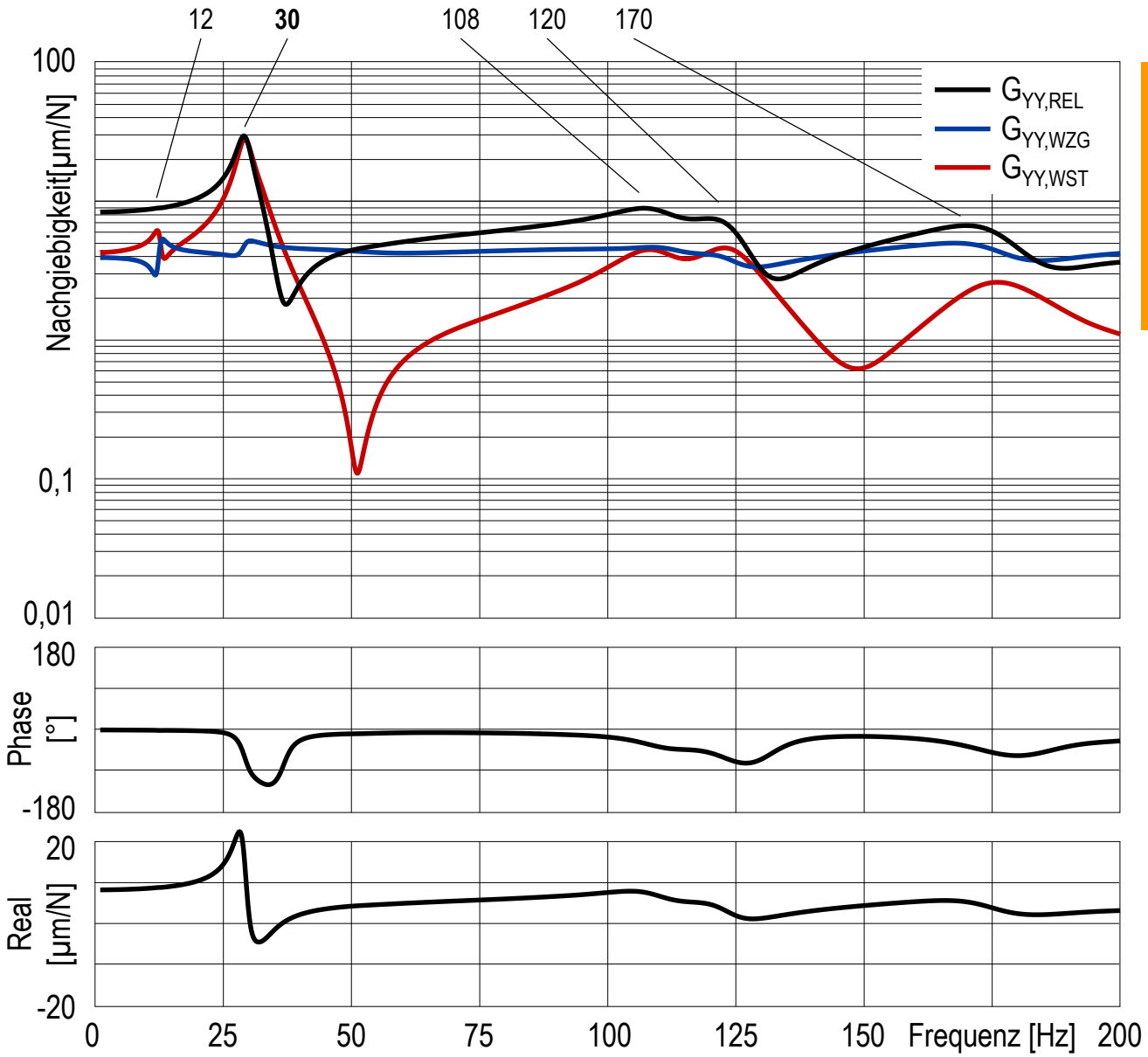
Dominante Resonanzfrequenzen

30 Hz - Kippen der Z-Einheit um die X-Achse (geringe Kippsteifigkeit der Z-KGT-Muttern)

67 Hz - Kippen der Y-Einheit um die Y-Achse (geringe Rollsteifigkeit des Y-Führungswagens)

© planlauf GmbH

Nachgiebigkeitsfrequenzgänge in Y-Richtung



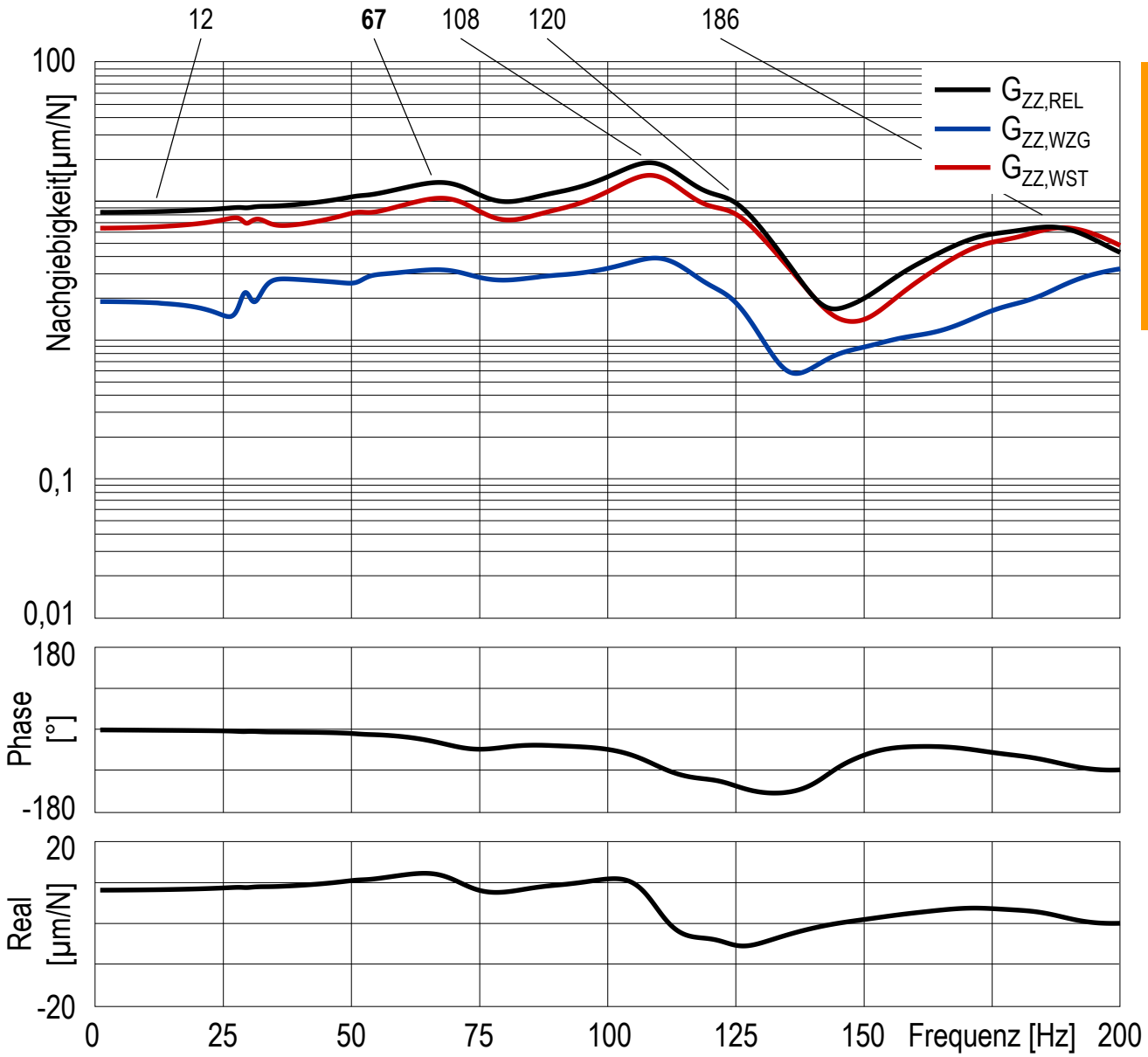
Dominante Resonanzfrequenzen

30 Hz - Kippen der Z-Einheit um die X-Achse (geringe Kippsteifigkeit der Z-KGT-Muttern)

67 Hz - Kippen der Y-Einheit um die Y-Achse (geringe Rollsteifigkeit des Y-Führungswagens)

© planlauf GmbH

Nachgiebigkeitsfrequenzgänge in Z-Richtung



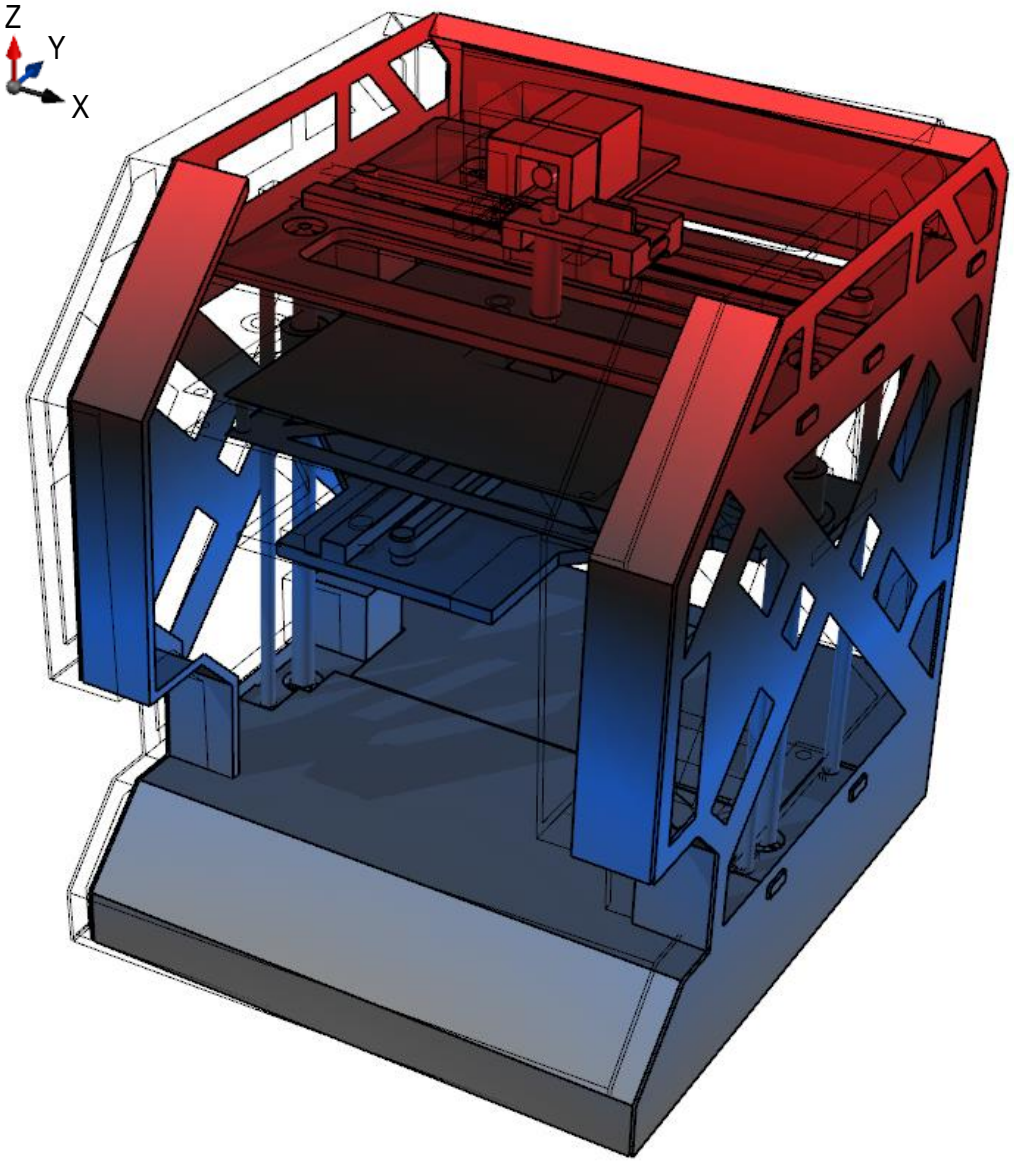
Dominante Resonanzfrequenzen

30 Hz - Kippen der Z-Einheit um die X-Achse (geringe Kippsteifigkeit der Z-KGT-Muttern)

67 Hz - Kippen der Y-Einheit um die Y-Achse (geringe Rollsteifigkeit des Y-Führungswagens)

© planlauf GmbH

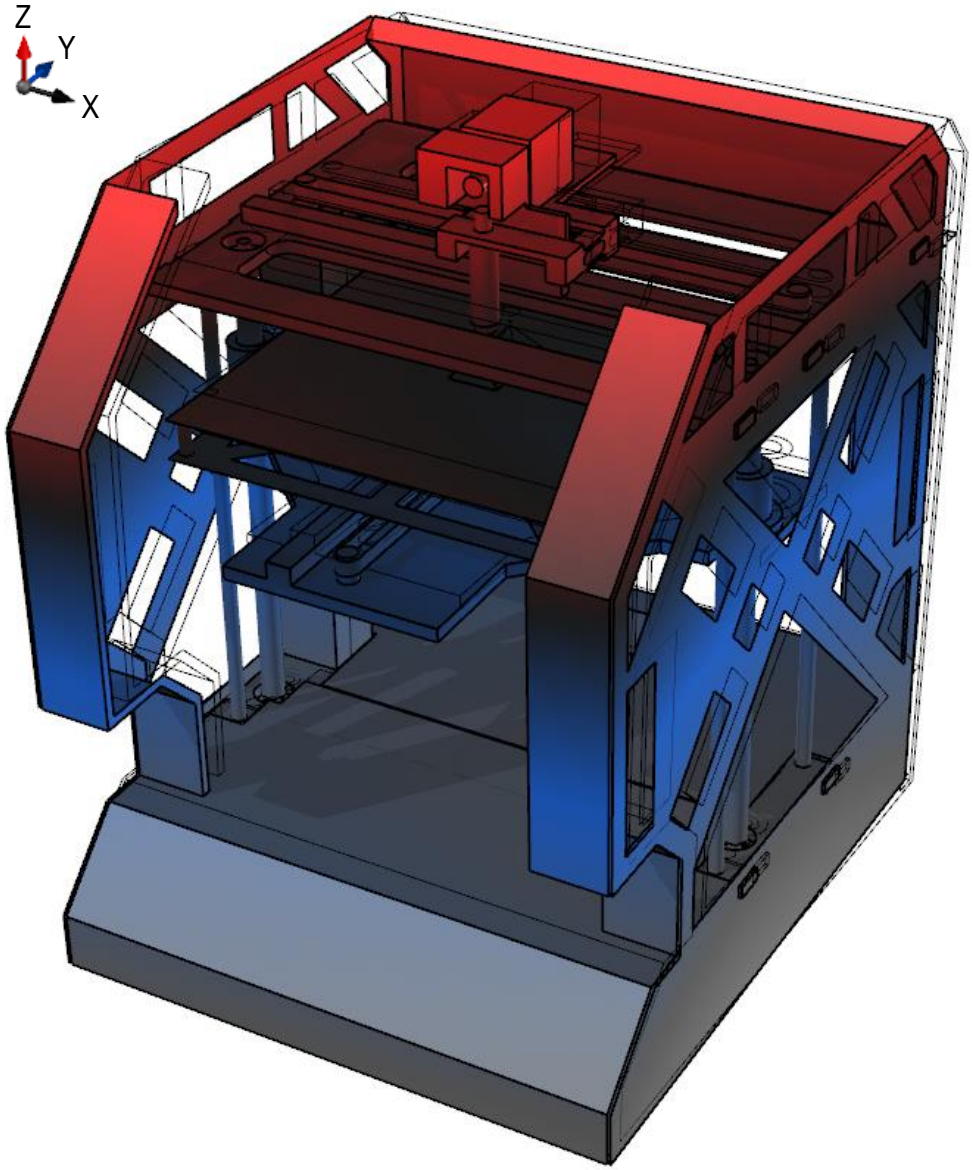
Schwingungsform bei 11 Hz



- Aufstellschwingung in X-Richtung

© planlauf GmbH

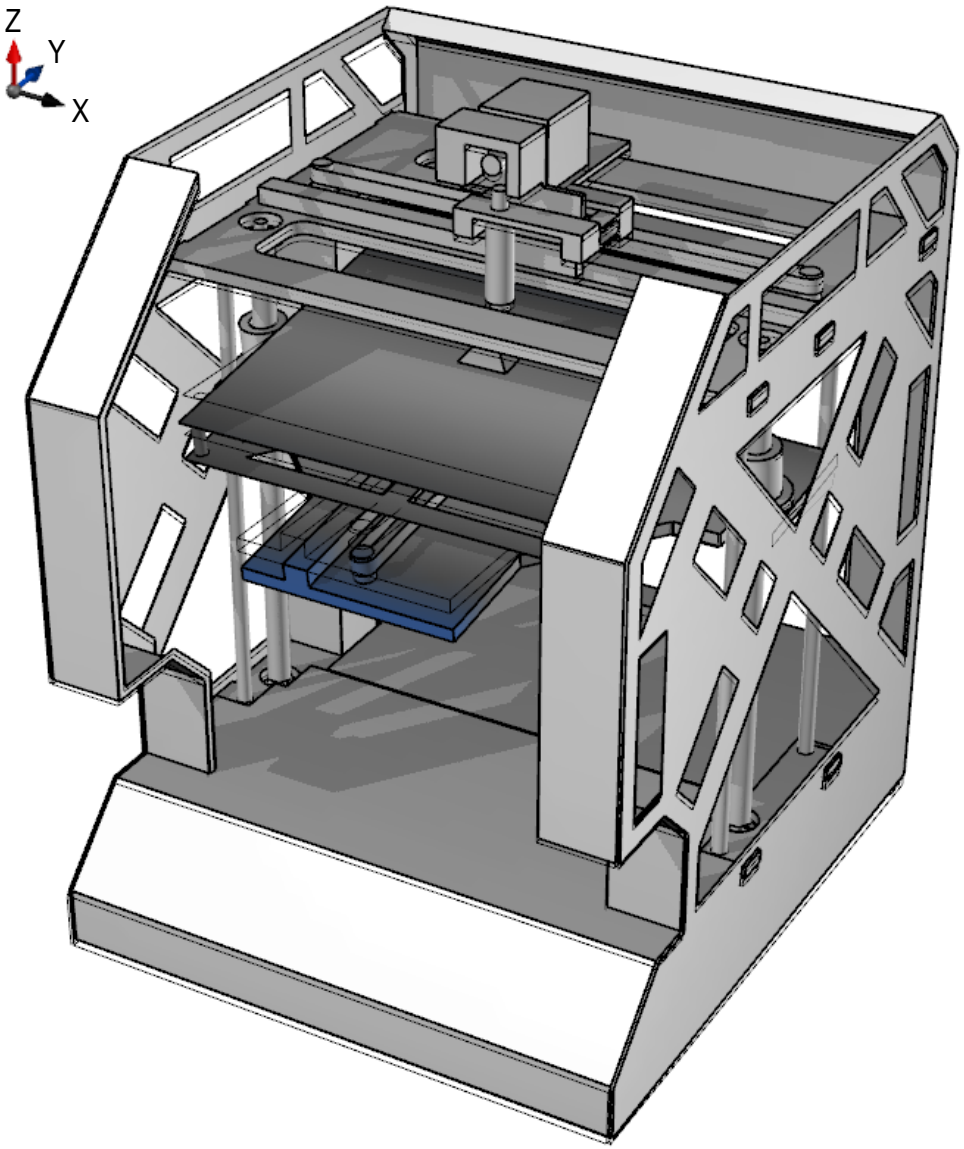
Schwingungsform bei 12 Hz

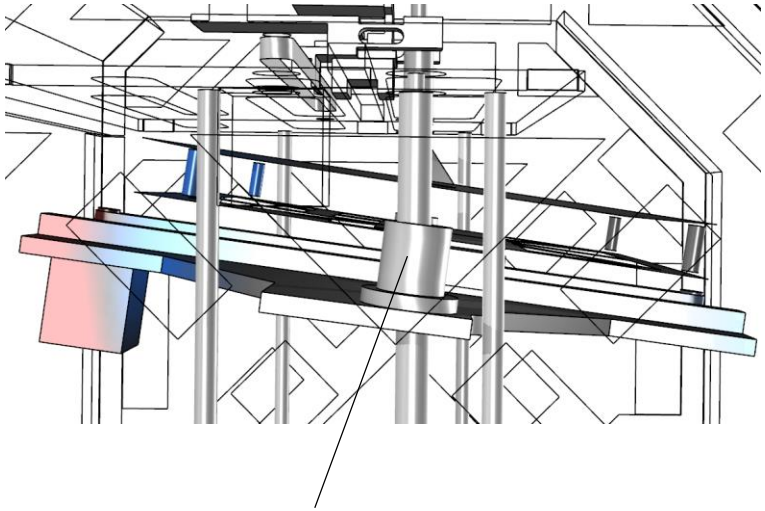


- Aufstellschwingung in Y-Richtung

© planlauf GmbH

Schwingungsform bei 30 Hz

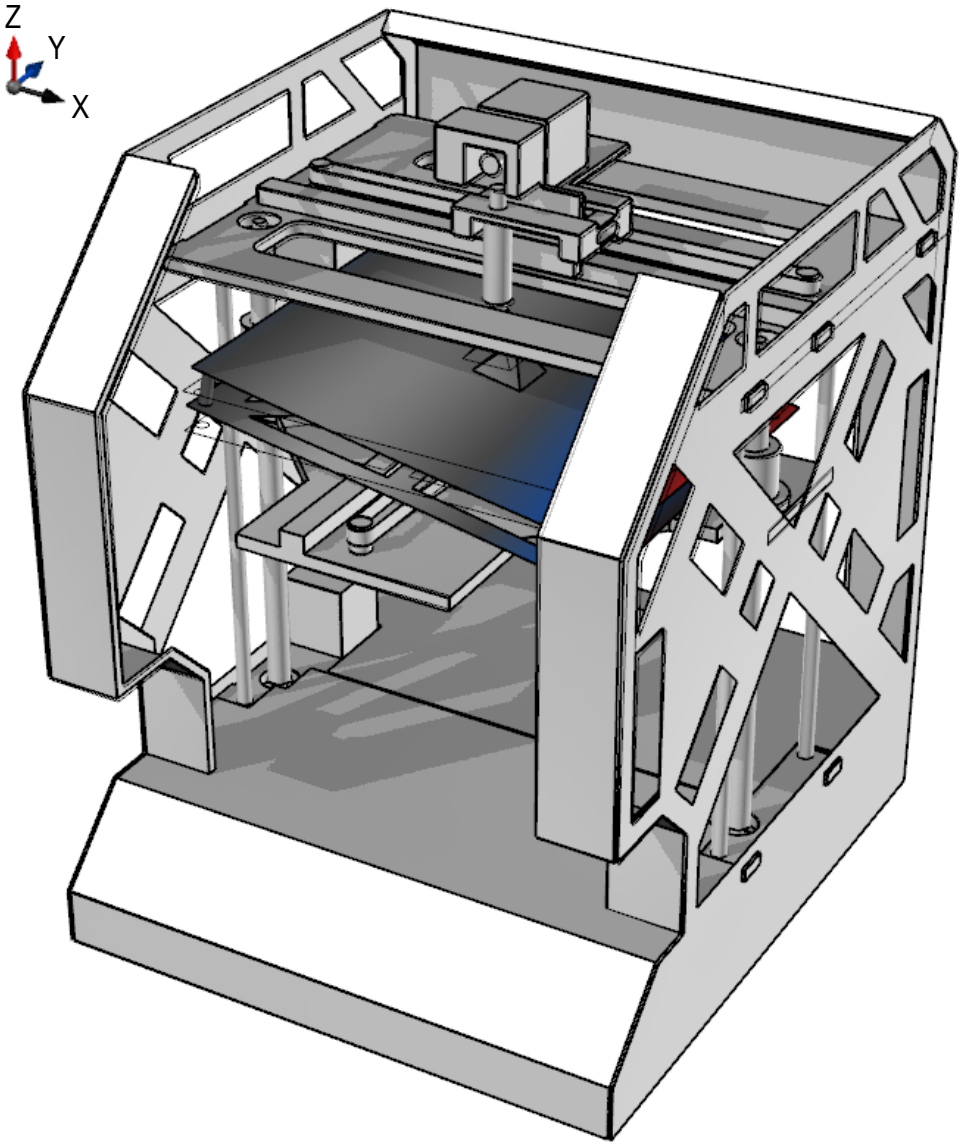


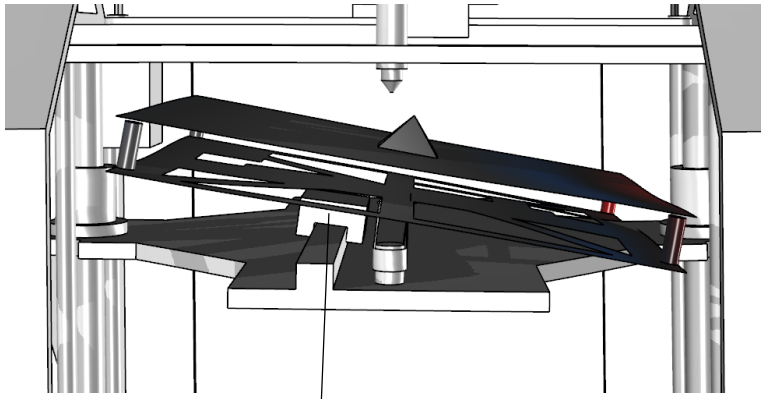


- Kippen der Z-Einheit um die X-Achse aufgrund der geringen Kippsteifigkeit der Z-KGT-Muttern

© planlauf GmbH

Schwingungsform bei 67 Hz



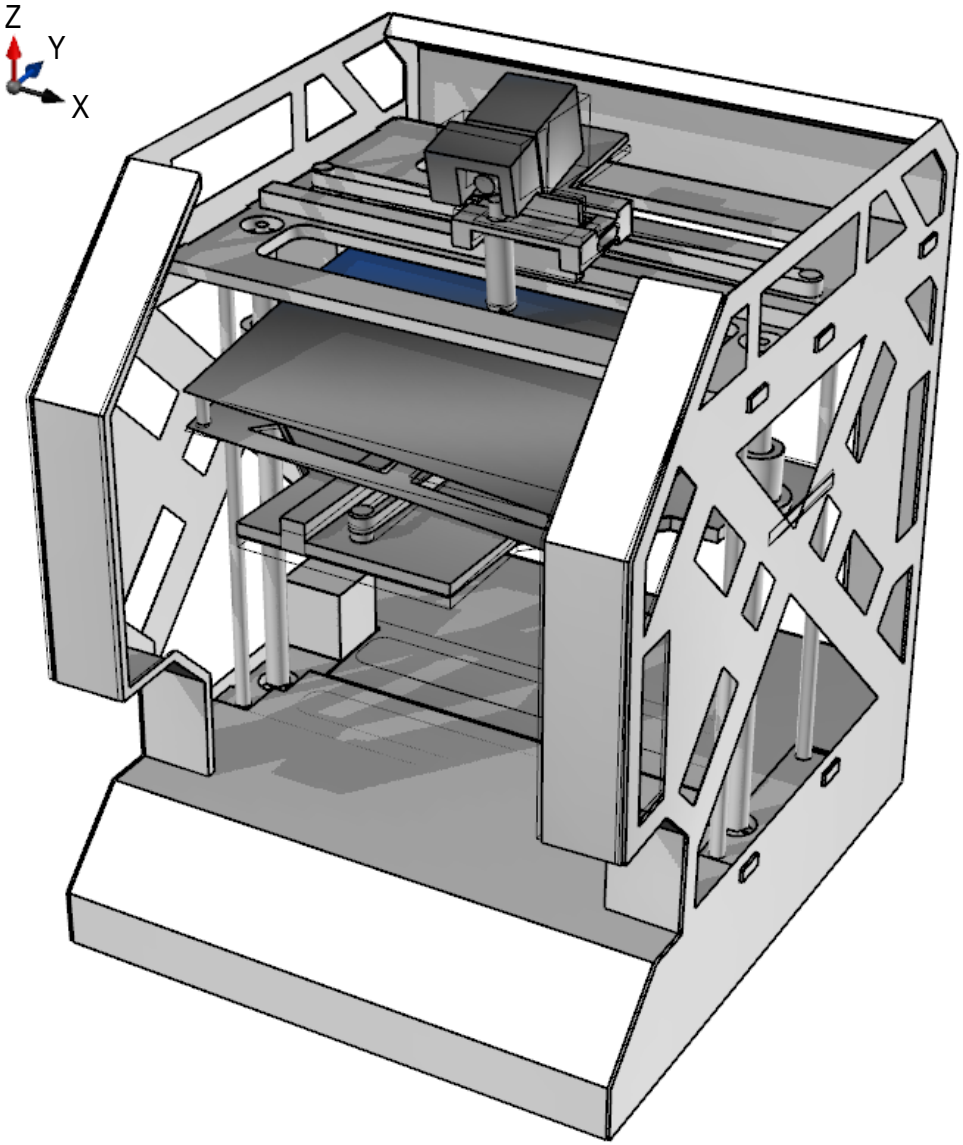


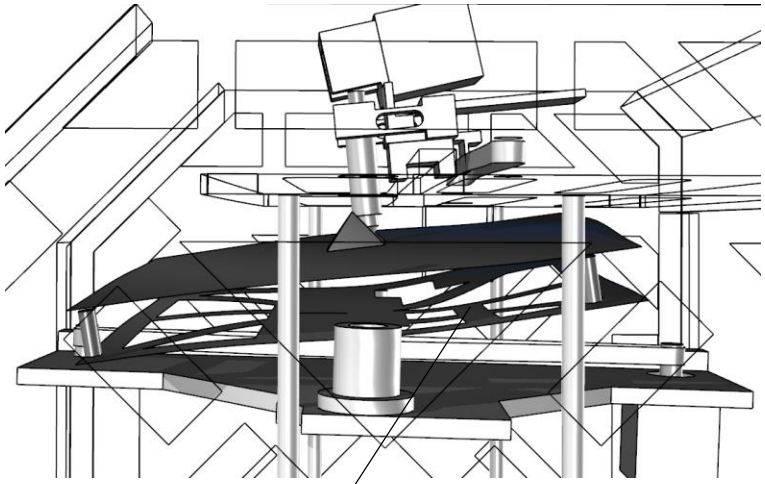
Geringe Rollsteifigkeit des Y-Führungswagens

- Kippen der Y-Einheit um die Y-Achse aufgrund der geringen Rollsteifigkeit des Y-Führungswagens

© planlauf GmbH

Schwingungsform bei 108 Hz



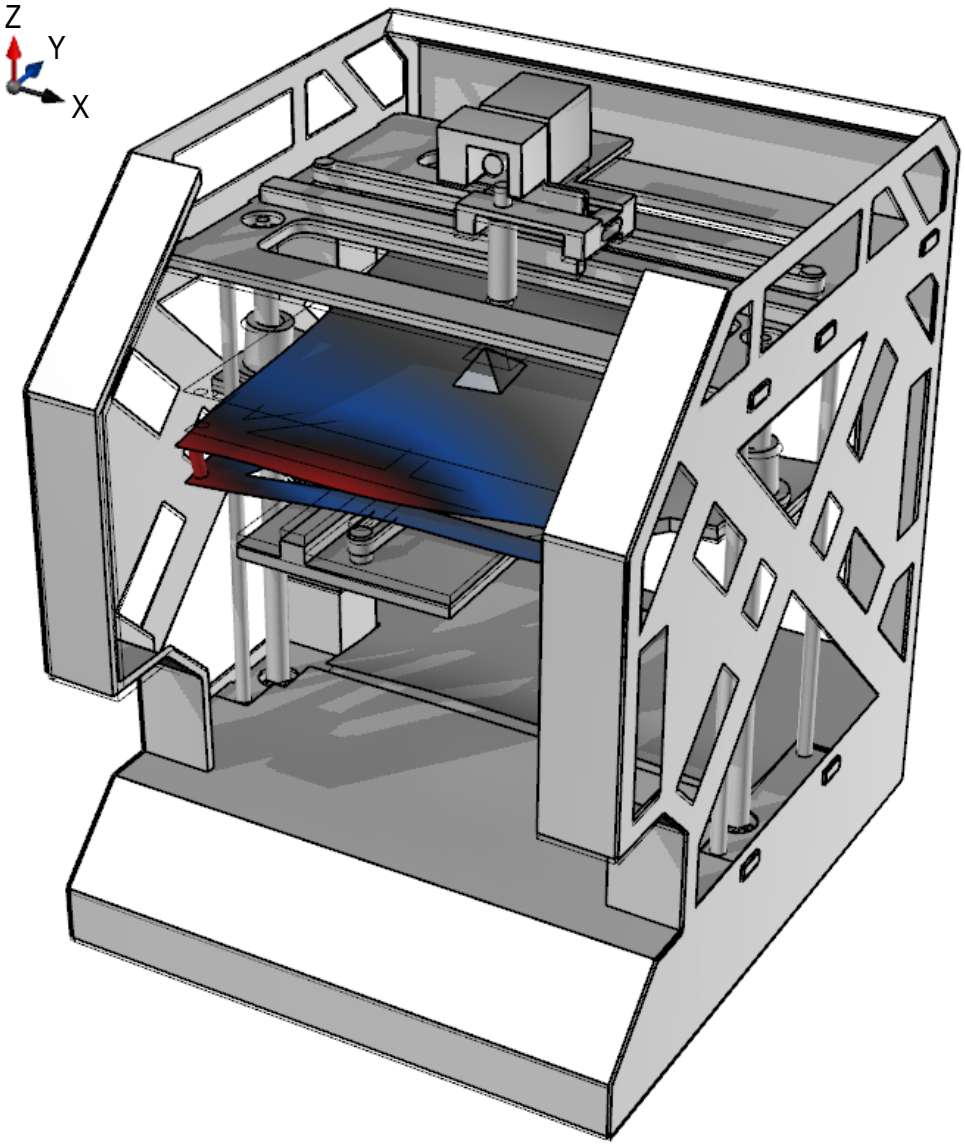


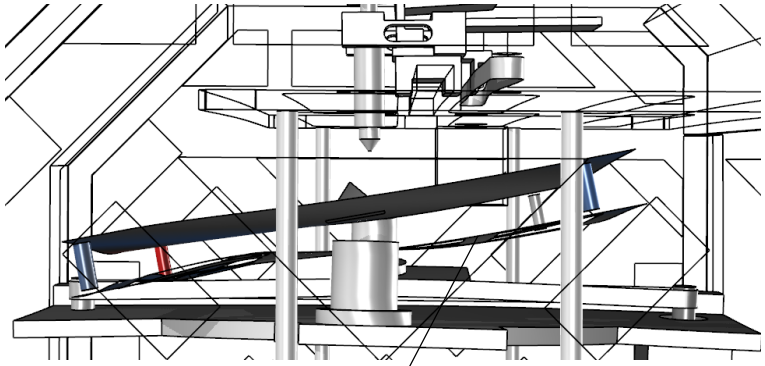
Biegung der Grundplatte

- Biegung der Y-Grundplatte
- Rollen der X-Einheit
- Biegung der Halterung des Zuführmotors

© planlauf GmbH

Schwingungsform bei 120 Hz



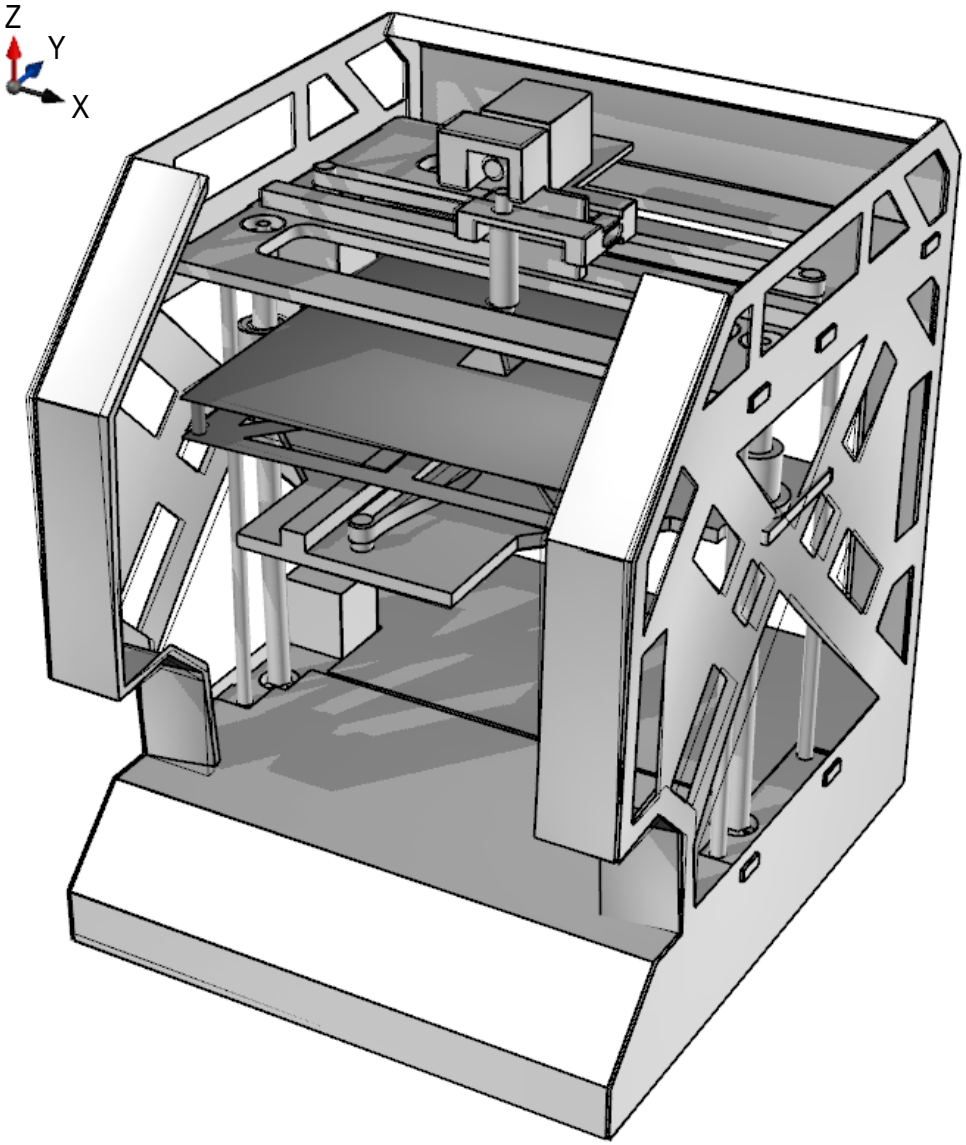


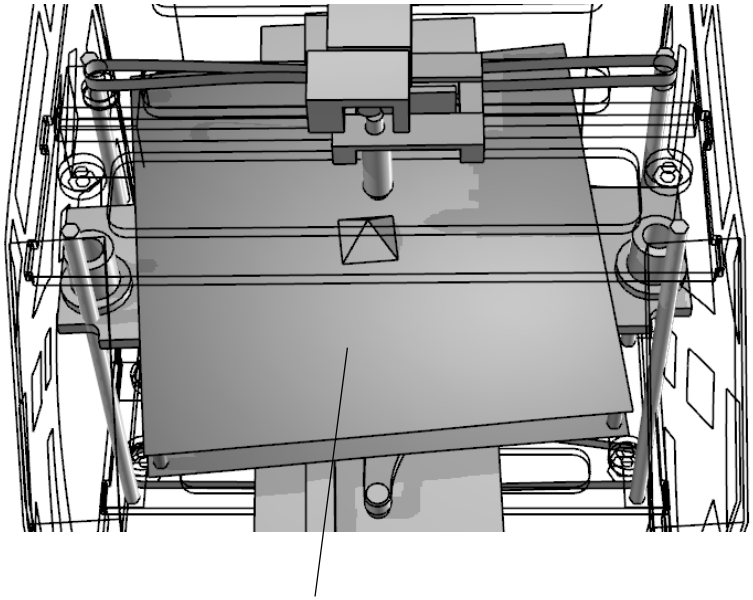
Biegung der Grundplatte

- Biegung der Y-Grundplatte

© planlauf GmbH

Schwingungsform bei 170 Hz

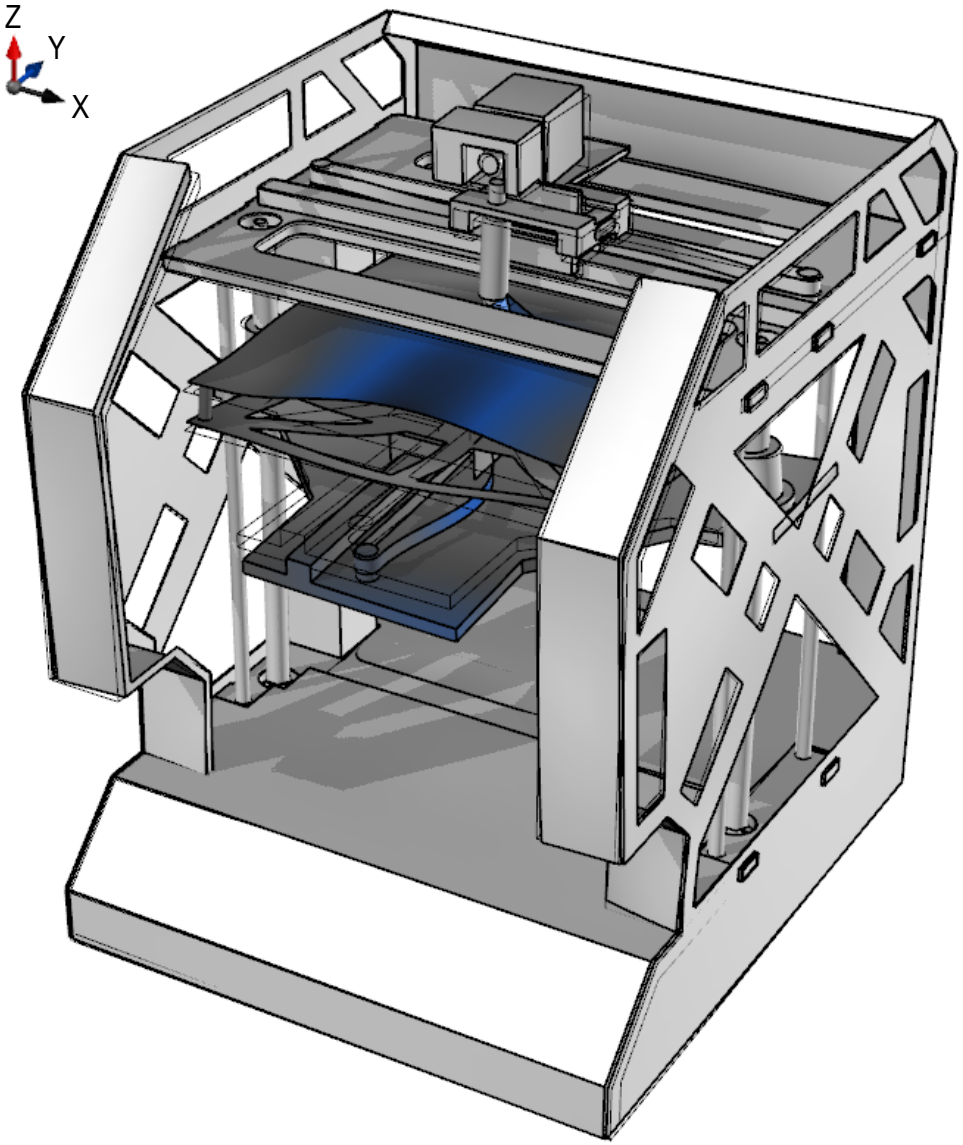


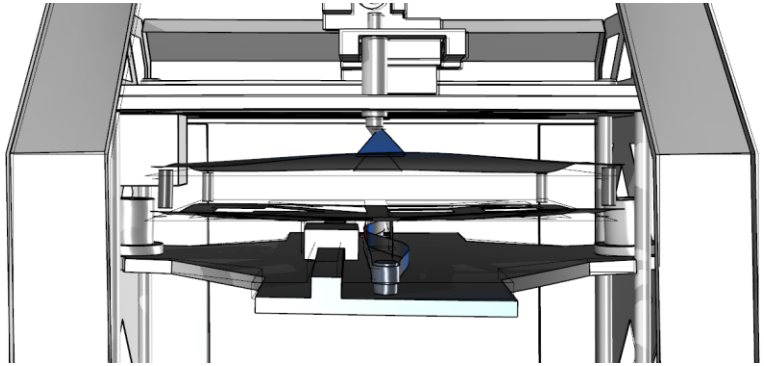


- Gieren der Y-Einheit

© planlauf GmbH

Schwingungsform bei 186 Hz





- Biegung der Z-Grundplatte
- Biegung der Y-Grundplatte
- Biegung der Heizplatte

© planlauf GmbH

Gliederung

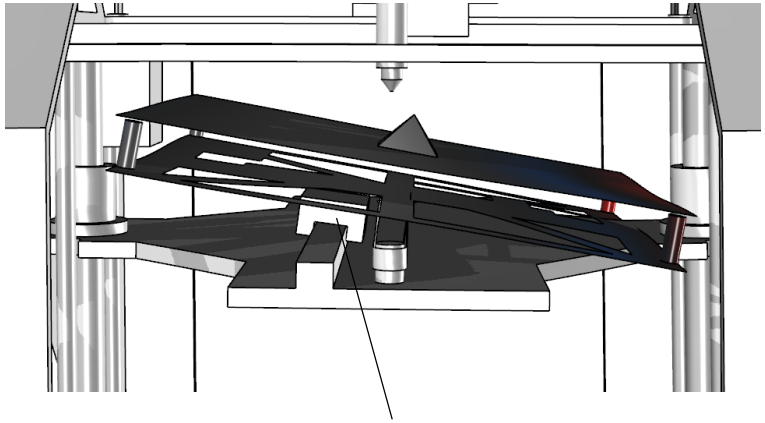
- Einleitung und Aufgabenstellung
- Experimentelle Erfassung des Überschwingverhaltens
- Statisches Verhalten
- Dynamisches Verhalten
- Zusammenfassung und Empfehlungen

© planlauf GmbH

Zusammenfassung und Empfehlungen

Überschwingverhalten in X-Richtung

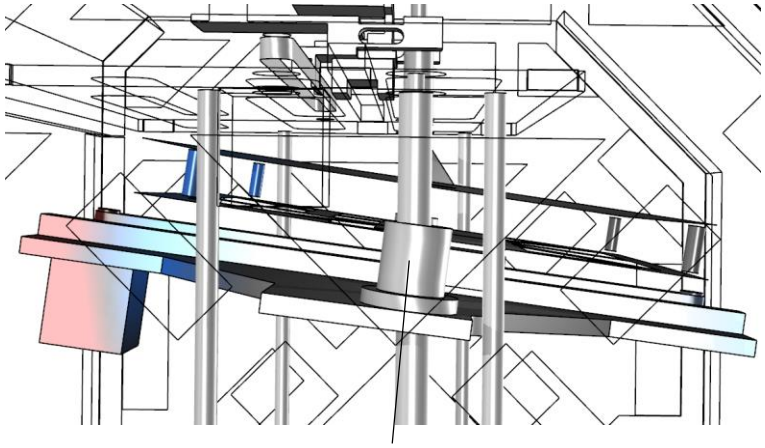
- Das Überschwingverhalten der X-Achse wird durch die Schwingung der Y-Einheit mit 67 Hz bestimmt.
- Bei hohem Vorschub liegt die Überschwingweite bei 1/10 mm und damit im Bereich der erforderlichen Druckgenauigkeit.
- Die Ursache liegt in der geringen Rollsteifigkeit des einzelnen Y-Führungswagens.
- **Empfehlung**: Zusätzliche Y-Führungschiene mit einem Wagen rechts neben dem Y-Riemen



Schwingungsform bei 67 Hz
Geringe Rollsteifigkeit des Y-Führungswagens

Überschwingverhalten in Y-Richtung

- Das Überschwingverhalten der Y-Achse wird durch das Kippen der Z-Einheit um die X-Achse bestimmt.
- Bei hohem Vorschub liegt die Überschwingweite bei 3/10 mm und damit deutlich höher als die erforderliche Druckgenauigkeit.
- Die Ursache liegt in der geringen Kippsteifigkeit der Z-KGT-Muttern, die neben der Z-Bewegung auch die Funktion der Z-Führung übernehmen.
- **Empfehlung**: Zusätzliche Kugelbüchsenführung im Bereich der vorderen Abstandsstangen zwischen der oberen und unteren Grundplatte



Schwingungsform bei 30 Hz
Geringe Kippsteifigkeit der Z-KGT-Muttern

© planlauf GmbH