



Elastische Eigenschaften von Umformmaschine und Umformwerkzeug

Dr.-Ing. habil. Peter Bogon

10.03.2009



Gliederung

- o Einleitung/Motivation
- o Steifigkeit Umformmaschine
- o Steifigkeit Umformwerkzeug
 - Haupteinflüsse
- o Zusammenfassung

- Auffederung
- Stößelkipfung
- Schiebetisch- und Stößeldurchbiegung

- FEM-Modell
- Werkzeug ohne Tisch
- Rippenabstand und Rippendicke
- Kappenhöhe
- Rippendurchbruch
- Werkzeughöhe
- Werkzeuggröße

Anforderungen an die Automobilindustrie



o Verkürzung von "Time to Market"

o Zunahme der Variantenvielfalt

o Qualitätssteigerung

o Leichtbau

o Steigerung Insassenschutz

o ...



Verkürzung der Anfertigungszeit
der Werkzeuge



Höhere Qualität der
Blechformteile

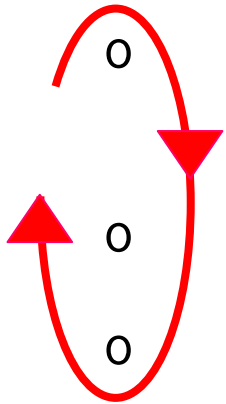
Gliederung

- o Einleitung/Motivation
- o Steifigkeit Umformmaschine
- o Steifigkeit Umformwerkzeug
- Haupteinflüsse
- o Zusammenfassung

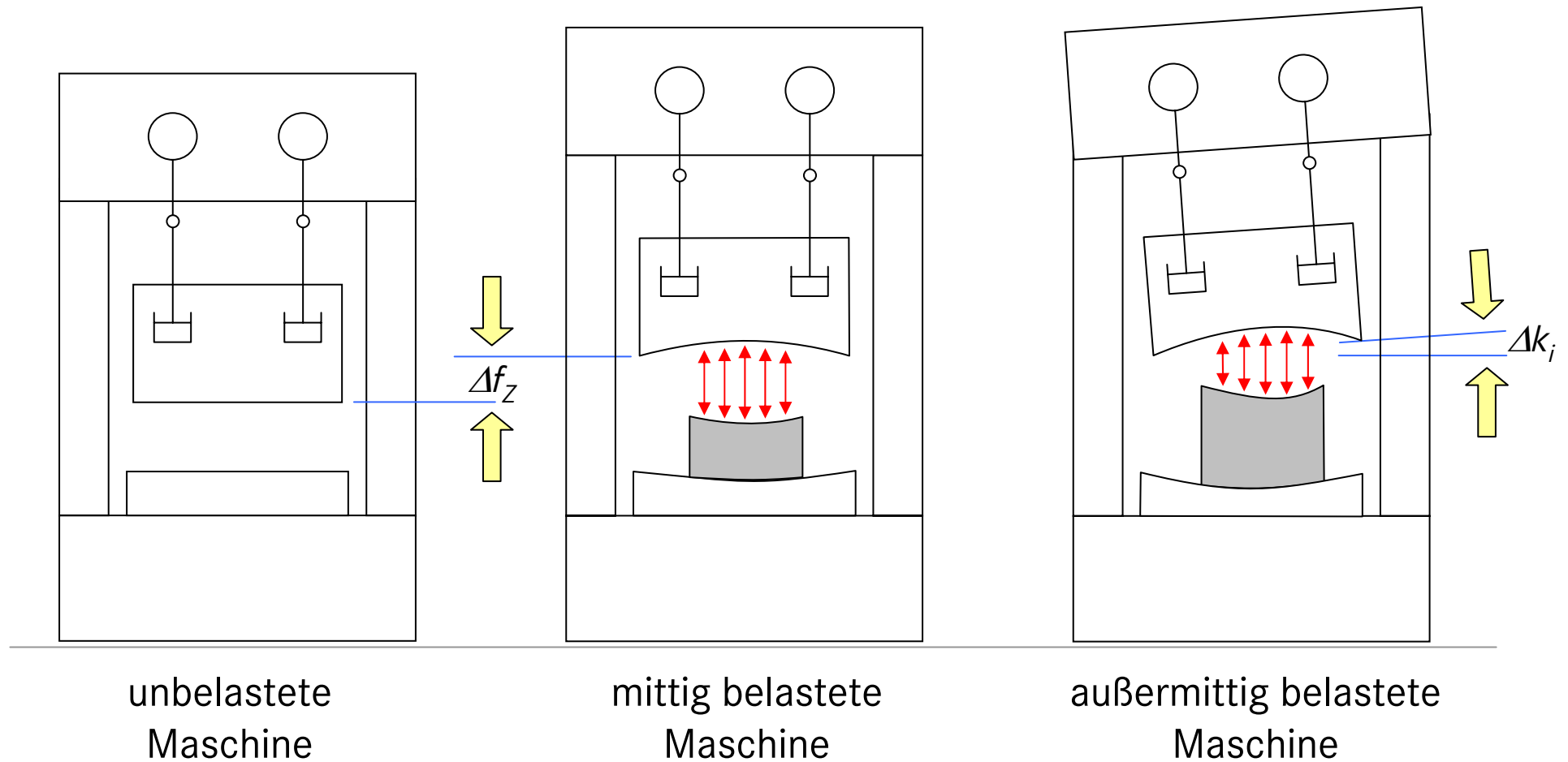
- Auffederung
- Stößelkipfung
- Schiebetisch- und Stößeldurchbiegung

Stand der Technik bei der Werkzeugeinarbeitung Elastizität von Maschine und Werkzeug

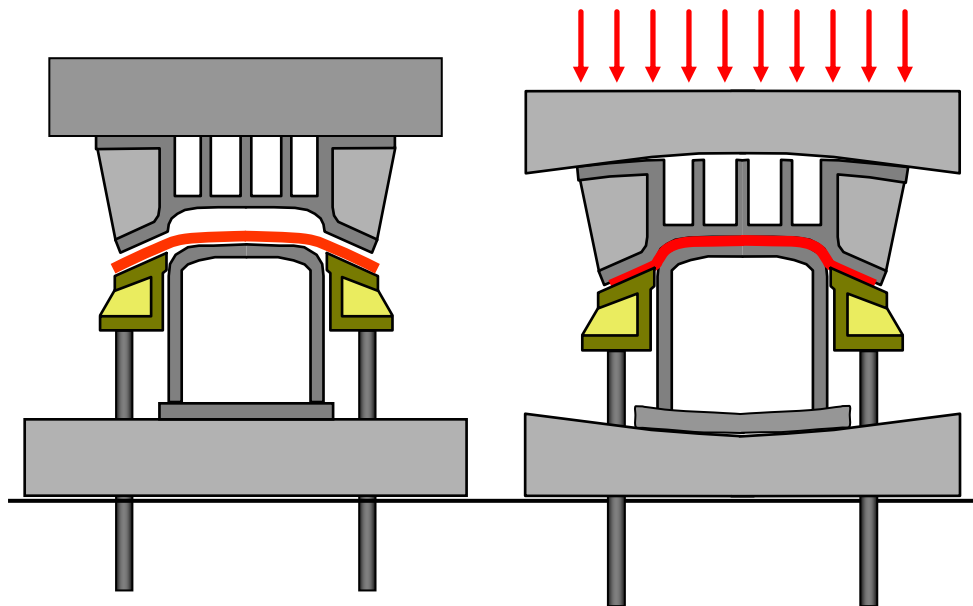
- o ...
- o Werkzeuggeometrie wird mit Sollgeometrie gefräßt
- o Werkzeug wird eingearbeitet; Bauteil kann ohne Versagen hergestellt werden
- o Bauteil-Istgeometrie weicht von der Sollgeometrie ab
- o Werkzeugnacharbeit
- o Einführung in die Serie
- o ...



Elastische Eigenschaften von Umformmaschinen



Wechselwirkung der elastischen Maschine mit dem elastischen Werkzeug



> Unter Betriebslast weicht die Werkzeug-
Istgeometrie von der Sollgeometrie ab. Eine
Korrektur der unbelasteten Werkzeug-
geometrie ist notwendig.

Frage:

Wie sollen die Steifigkeit von Werkzeug und
Maschine aufeinander abgestimmt werden,
damit die elastischen Formabweichungen der
Werkzeug-Wirkflächen aufgrund der Prozess-
kraft gering bleiben?



Studie: Haupteinflüsse auf die
Werkzeugsteifigkeit

Gliederung

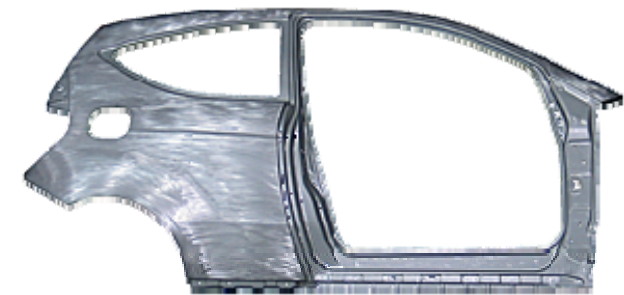
- o Einleitung/Motivation
- o Steifigkeit Umformmaschine
- o Steifigkeit Umformwerkzeug
- Haupteinflüsse
- o Zusammenfassung

Große Werkzeuge

Elastische Formabweichungen sind insbesondere bei großen Werkzeugen störend!

Große Werkzeuge

- Seitenwände
- Doppelteile (Türen, Koltflügel, ...)
- Dächer
- Hauptboden
- ...



Studie: Haupteinflüsse auf die Werkzeugsteifigkeit

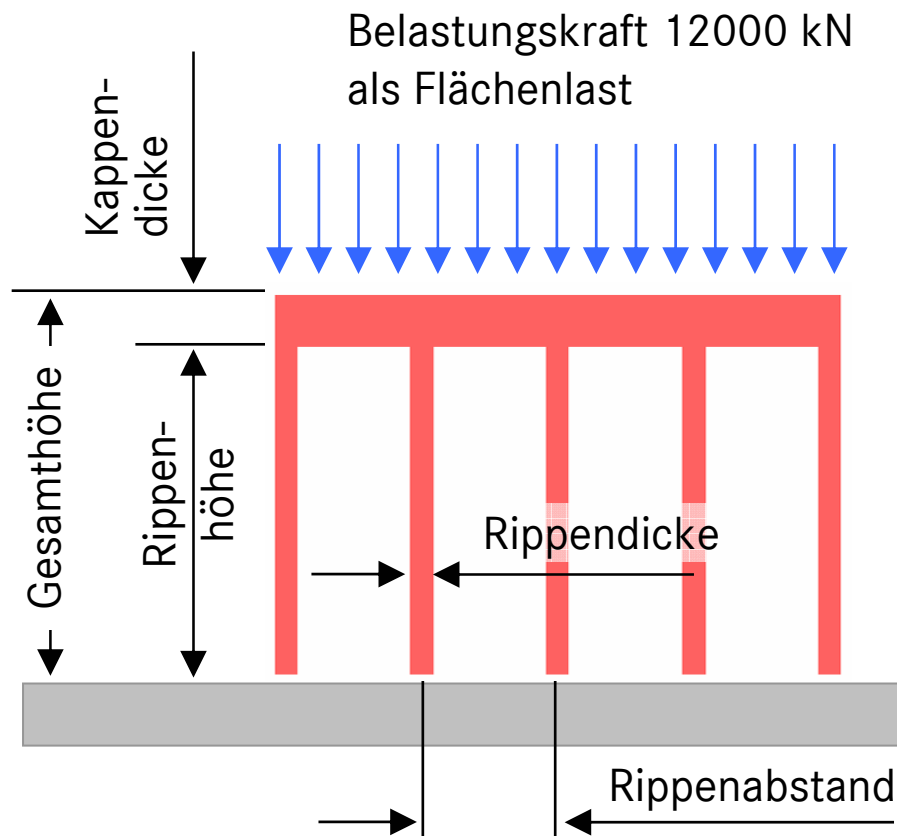
Größenordnung der elastischen Geometrieabweichung am Beispiel "Ziehstempel"

Gliederung

- o Einleitung/Motivation
- o Steifigkeit Umformmaschine
- o Steifigkeit Umformwerkzeug
- Haupteinflüsse
- o Zusammenfassung

- FEM-Modell
- Werkzeug ohne Tisch
- Rippenabstand und
Rippendicke
- Kappenhöhe
- Rippendurchbruch
- Werkzeughöhe
- Werkzeuggröße

Modellbildung Werkzeuggeometrie: Haupteinflüsse auf die elastische Werkzeugdeformation



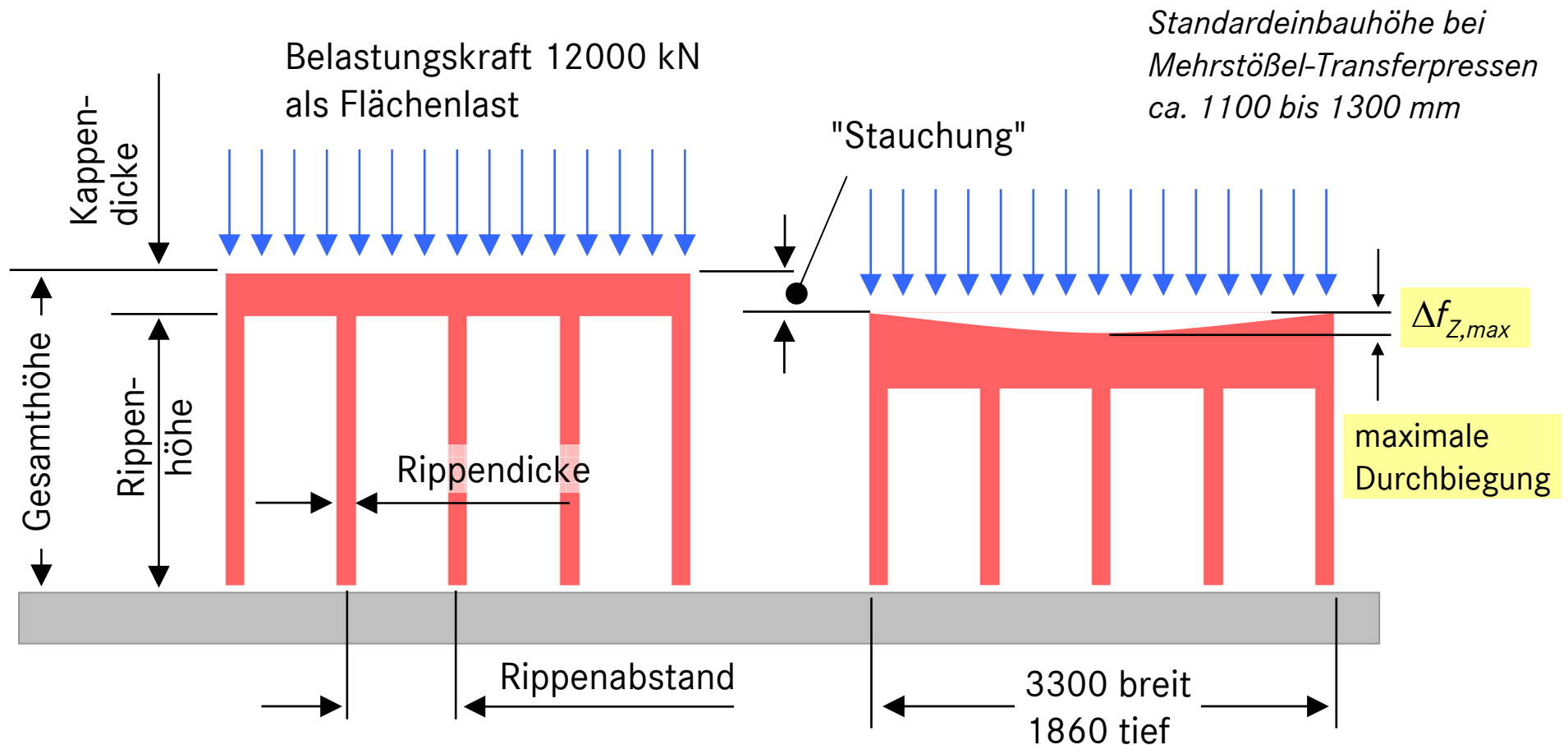
Werkzeuggeometrie

- Rippenabstand
- Rippendicke
- Randdicke wie Rippendicke
- Stempelkappenhöhe
- Rippenhöhe

weitere Randbedingungen

- Belastungskraft
- E-Modul Werkzeug-Werkstoff
- Steifigkeit Schiebetisch

Modellbildung Werkzeuggeometrie: Haupteinflüsse auf die elastische Werkzeugdeformation



Modellbildung Werkzeuggeometrie: Werkzeugdaten für die FE-Berechnungen



Standard-Werkzeuggeometrie

Rippenabstand 360 mm

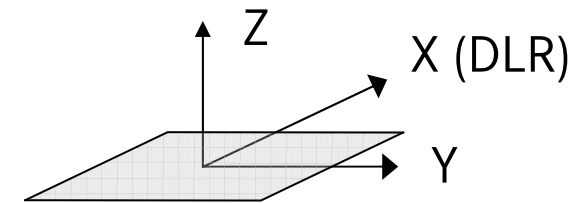
Rippendicke 60 mm

Gesamthöhe 1100 mm

Kappenhöhe 100 mm

Länge in X-Richtung 1860 mm

Länge in Y-Richtung 3300 mm



FEM-Modell Werkzeug (Wkz)

Elementtyp HEX 8

Anzahl der Elemente je nach

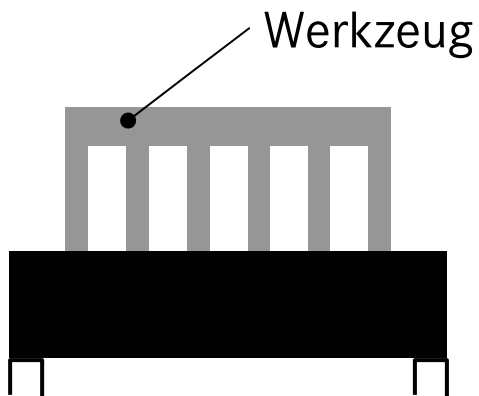
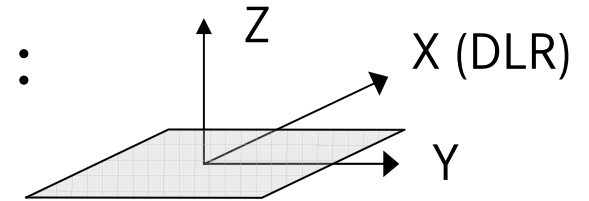
Wkz-Größe 190.000 bis 300.000

(1/4 Modell)

Typische Elementkantenlängen

zwischen 10 und 40 mm

Schiebetischgeometrie, Modellbildung : Randbedingungen



Schiebetisch massiv

Höhe 600 mm

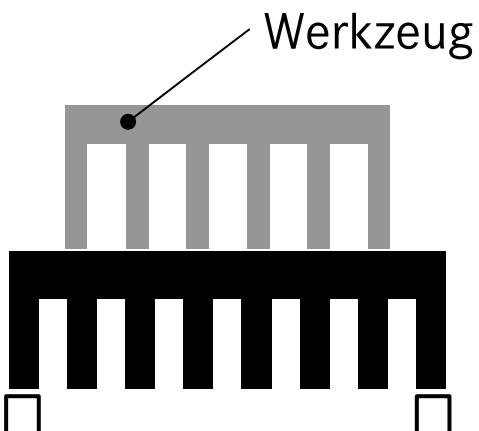
Schiebetischgröße

$l_x = 2500$ mm

$l_y = 4600$ mm

Werkstoff Stahl

E-Modul 210 kN/mm²



Schiebetisch verrippt

Höhe 900 mm

Plattendicke 300 mm

Rippenhöhe 600 mm

Rippendicke 120 mm

Rippenabstand 630 mm

8 Rippen (inkl. Rand)

FEM-Modell Schiebetisch (S-Tisch)

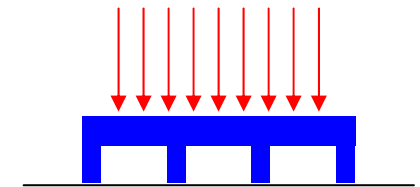
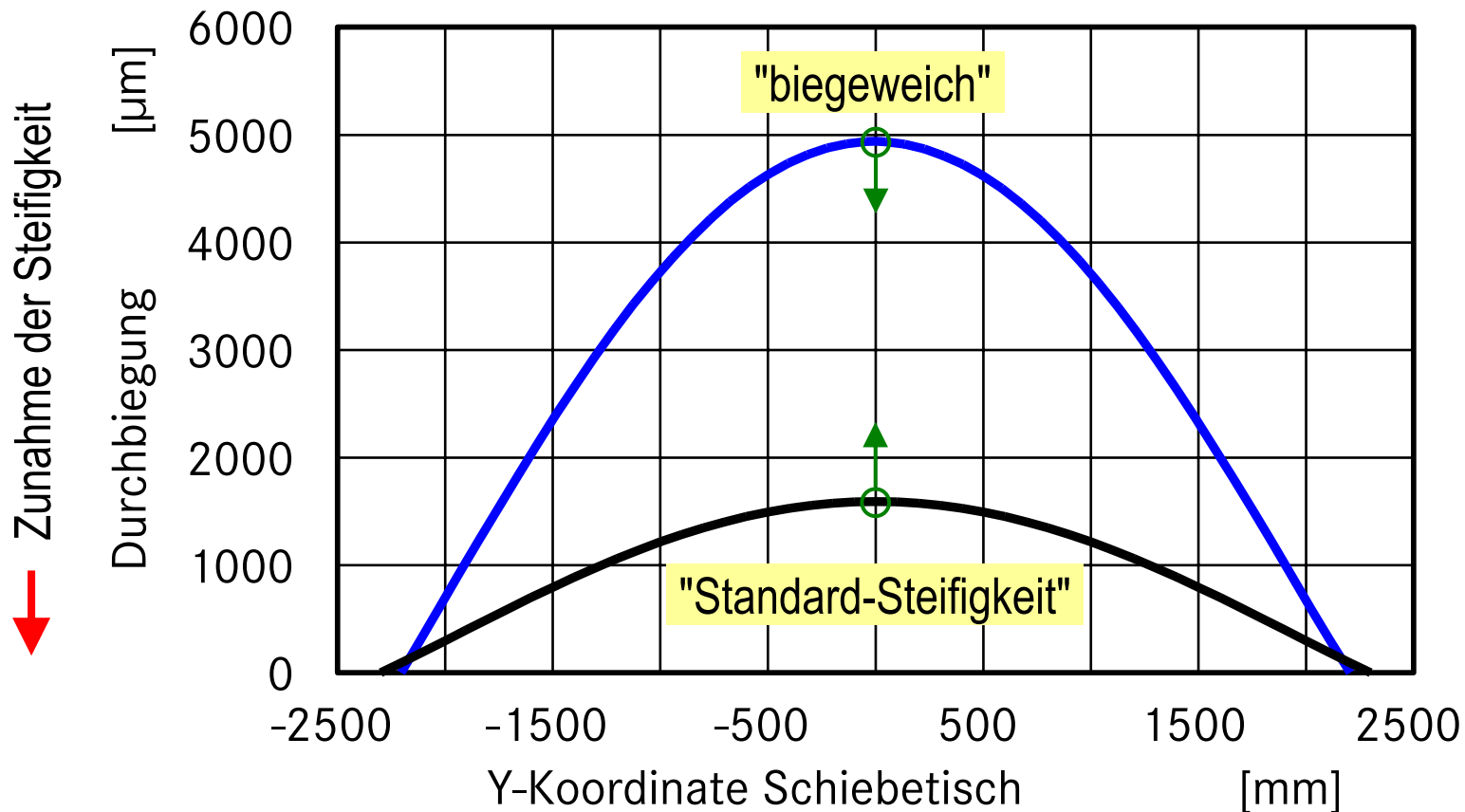
Elementtyp QUAD 4

Anzahl der Elemente je nach

Wkz-Größe 300 bis 1.000

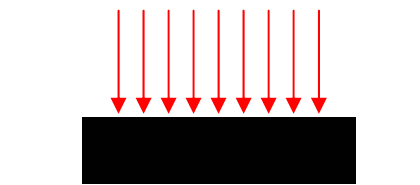
(1/4 Modell)

Modellbildung Schiebetisch: Durchbiegung als Funktion der Bauart



S-Tisch verrippt

*Flächenlast auf
der Grundfläche
des Werkzeuges*

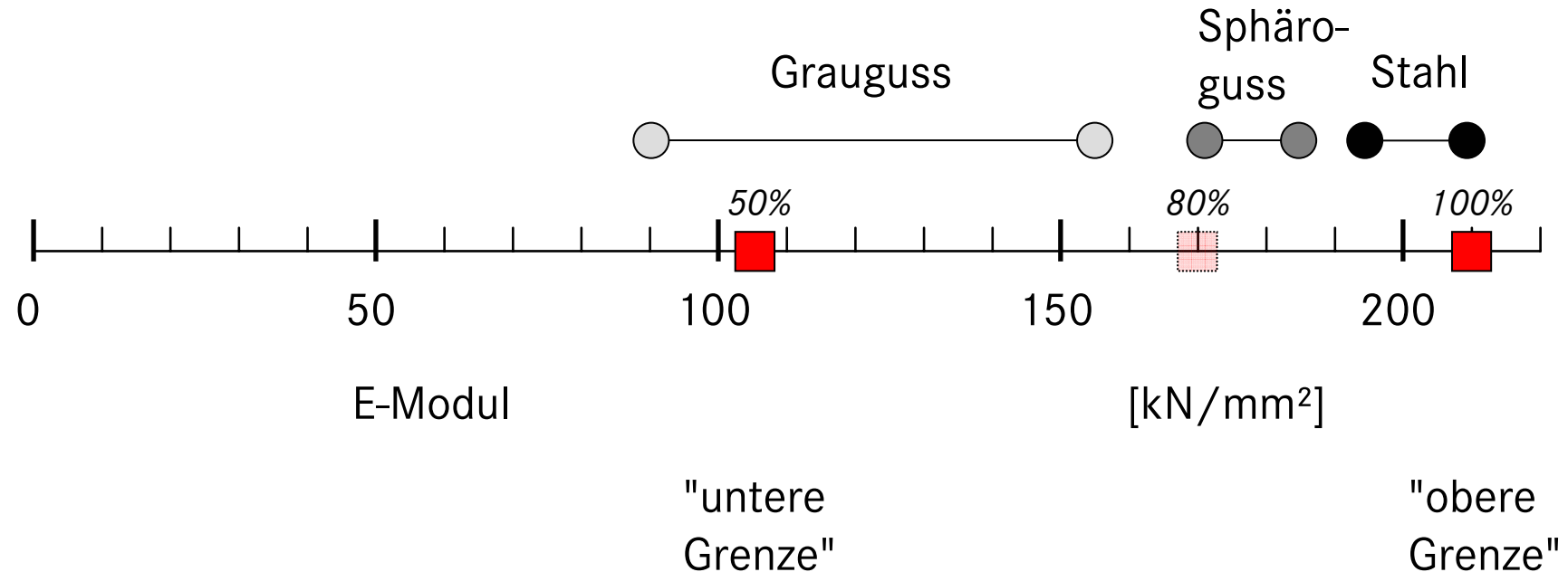


S-Tisch massiv

Modellbildung Werkzeug: Einordnung der E-Module

mögliche Werkzeugwerkstoffe

- Grauguss
- Sphäroguss
- Stahl

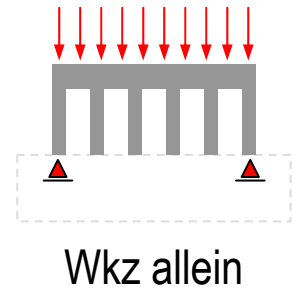
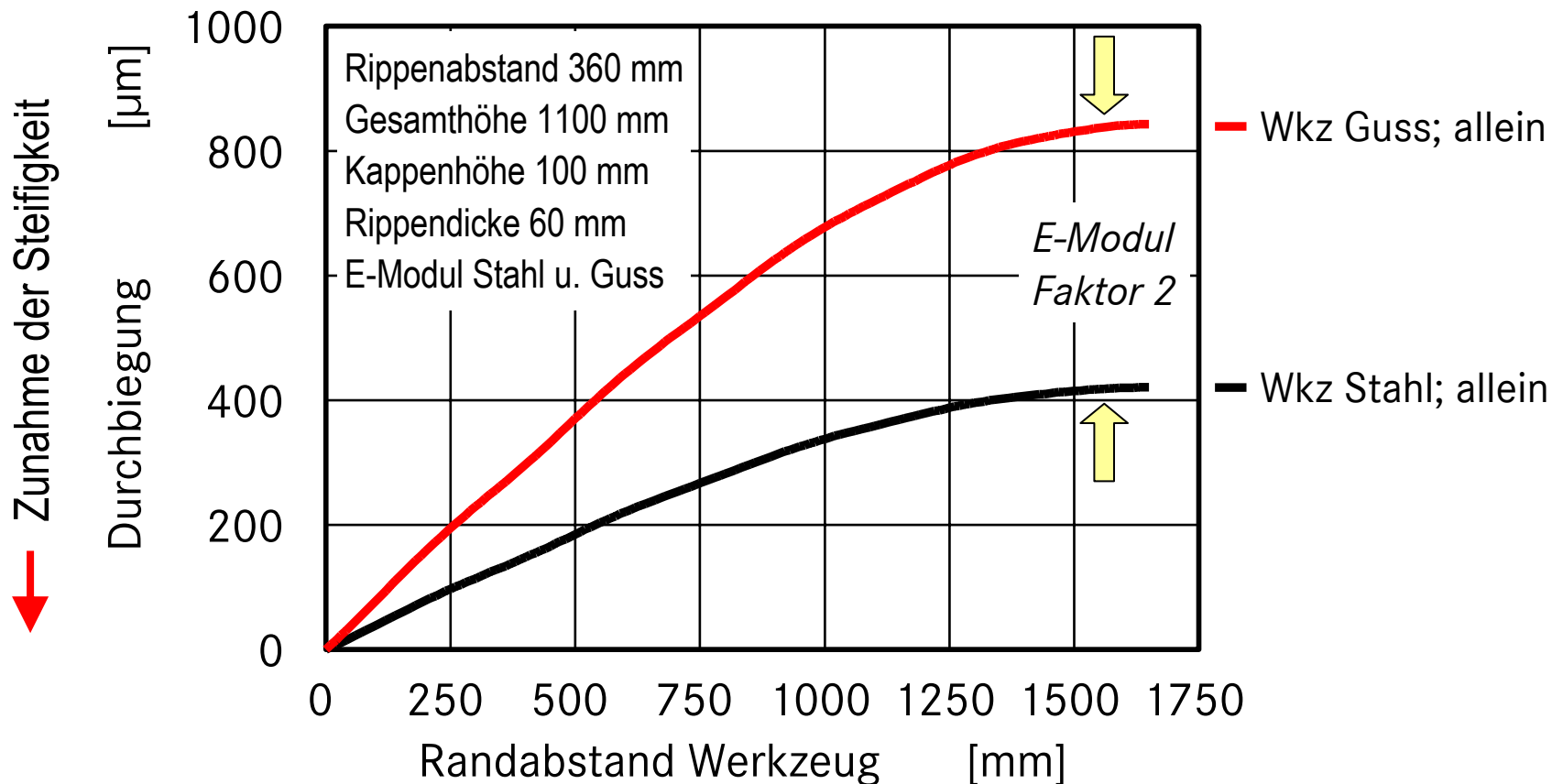


Gliederung

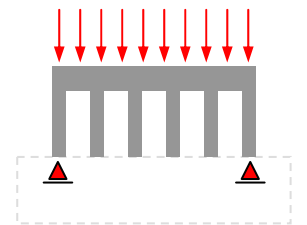
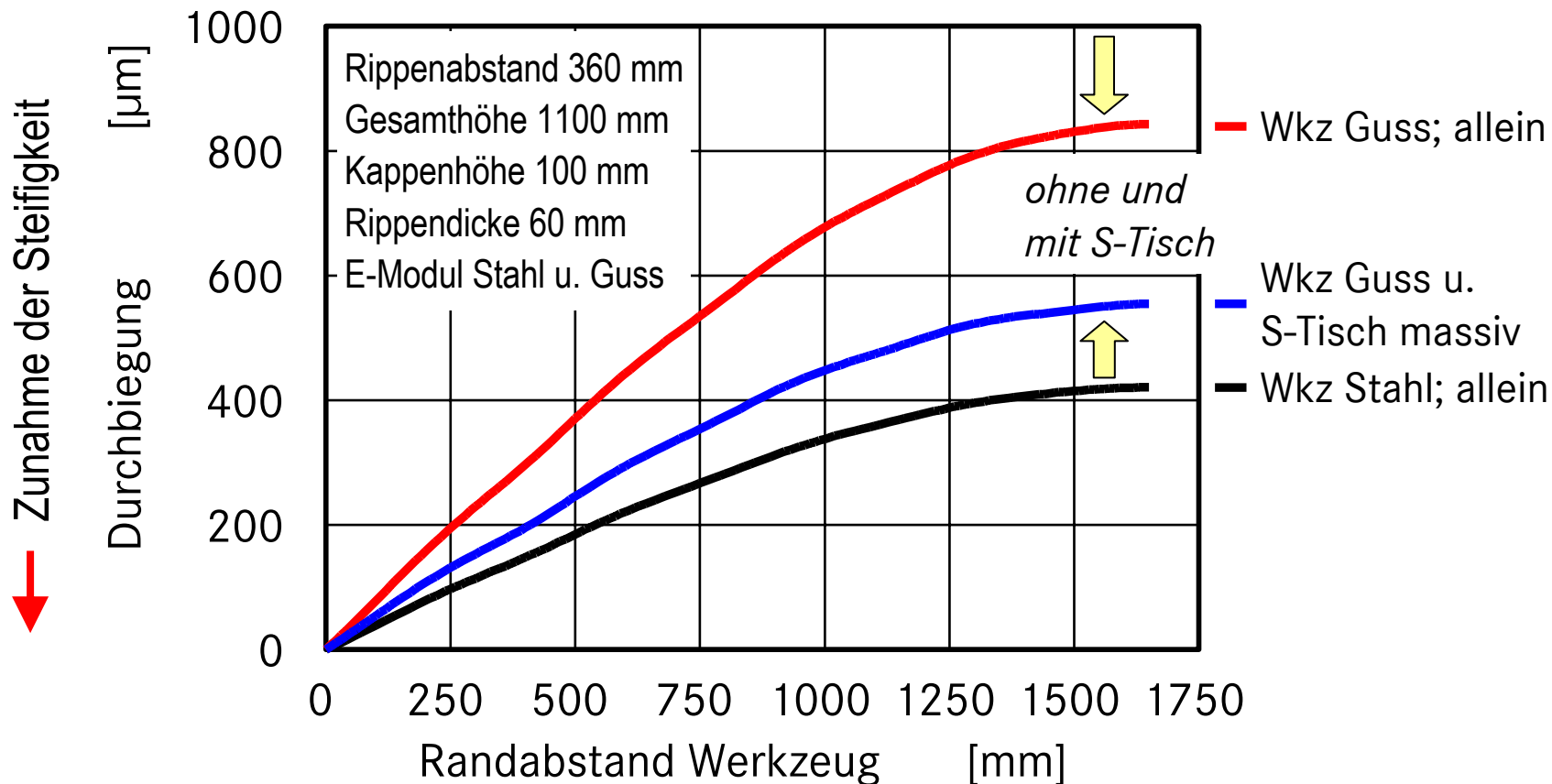
- o Einleitung/Motivation
- o Steifigkeit Umformmaschine
- o Steifigkeit Umformwerkzeug
- Haupteinflüsse
- o Zusammenfassung

- FEM-Modell
- Werkzeug ohne Tisch
- Rippenabstand und
Rippendicke
- Kappenhöhe
- Rippendurchbruch
- Werkzeughöhe
- Werkzeuggröße

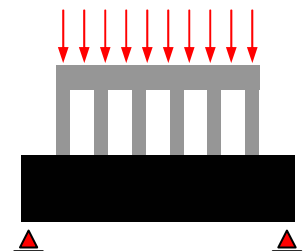
Werkzeughdurchbiegung - Referenz; Auflagerung ohne Schiebetisch



Werkzeughdurchbiegung - Referenz; Vergleich ohne und mit S-Tisch

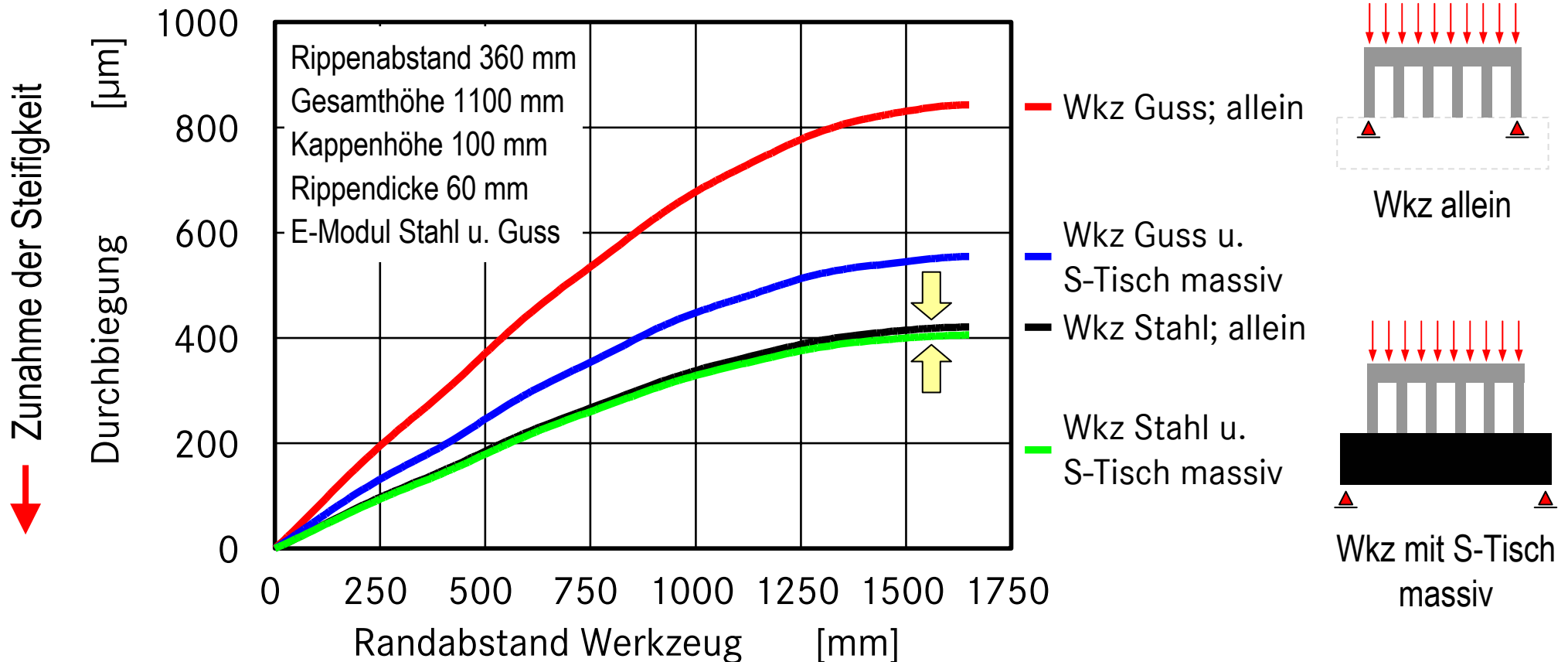


Wkz allein

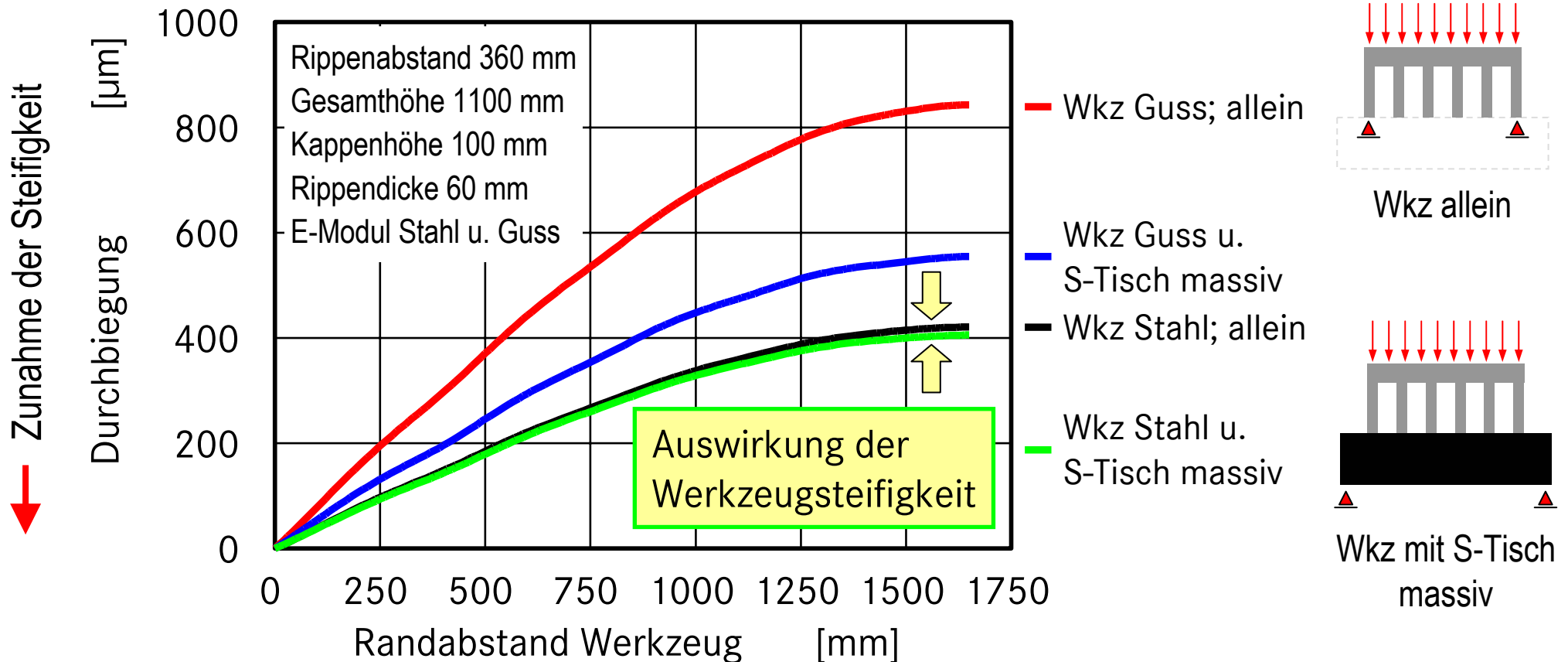


Wkz mit S-Tisch massiv

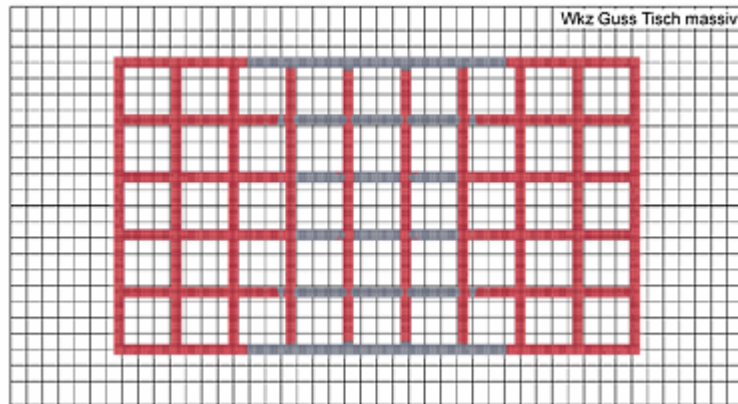
Werkzeughdurchbiegung - Referenz; Vergleich ohne und mit Schiebetisch



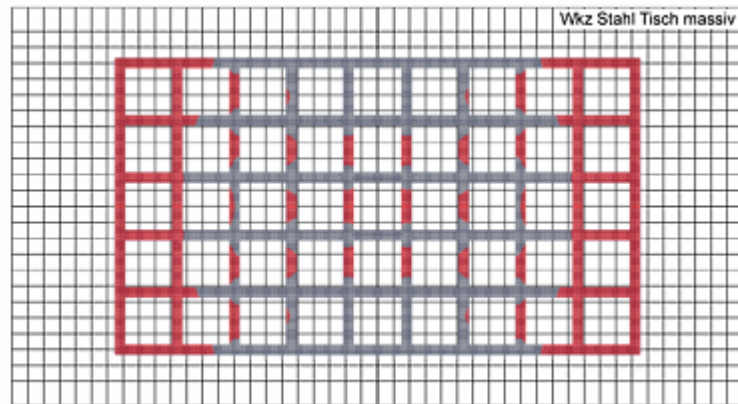
Werkzeughdurchbiegung - Referenz; Vergleich ohne und mit Schiebetisch



Kontakte Werkzeug-Schiebetisch; Tragverhalten



Werkzeug aus Guss
Schiebetisch massiv



Werkzeug aus Stahl
Schiebetisch massiv



Nahezu kein Kontakt in der Werkzeugmitte!











Das steife Stahlwerkzeug wird vom weicheren Schiebetisch nur unzureichend unterstützt!

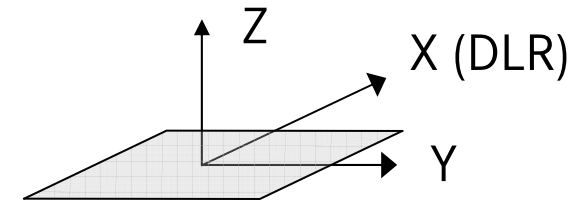
Gliederung

- o Einleitung/Motivation
- o Steifigkeit Umformmaschine
- o Steifigkeit Umformwerkzeug
- Haupteinflüsse
- o Zusammenfassung

- FEM-Modell
- Werkzeug ohne Tisch
- Rippenabstand/
Rippendicke
- Kappenhöhe
- Werkzeughöhe
- Werkzeuggröße

Werkzeuggeometrie und Randbedingungen

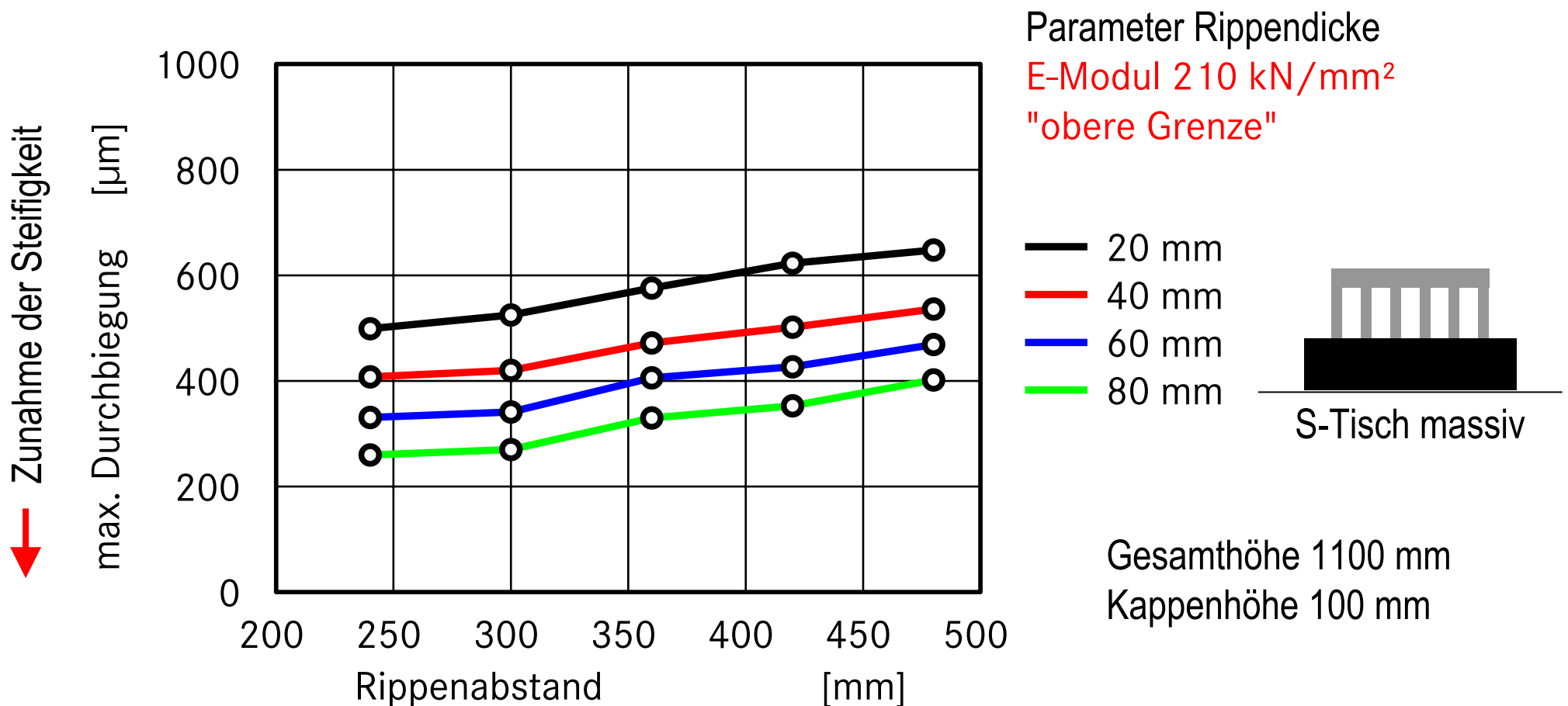
Rippenabstand	Y-Richtung	X-Richtung	
240 mm 12+2 Rippen			6+2 Rippen
300 mm 10+2 Rippen			6+2 Rippen
360 mm 8+2 Rippen			4+2 Rippen
420 mm 8+2 Rippen			4+2 Rippen
480 mm 6+2 Rippen			4+2 Rippen



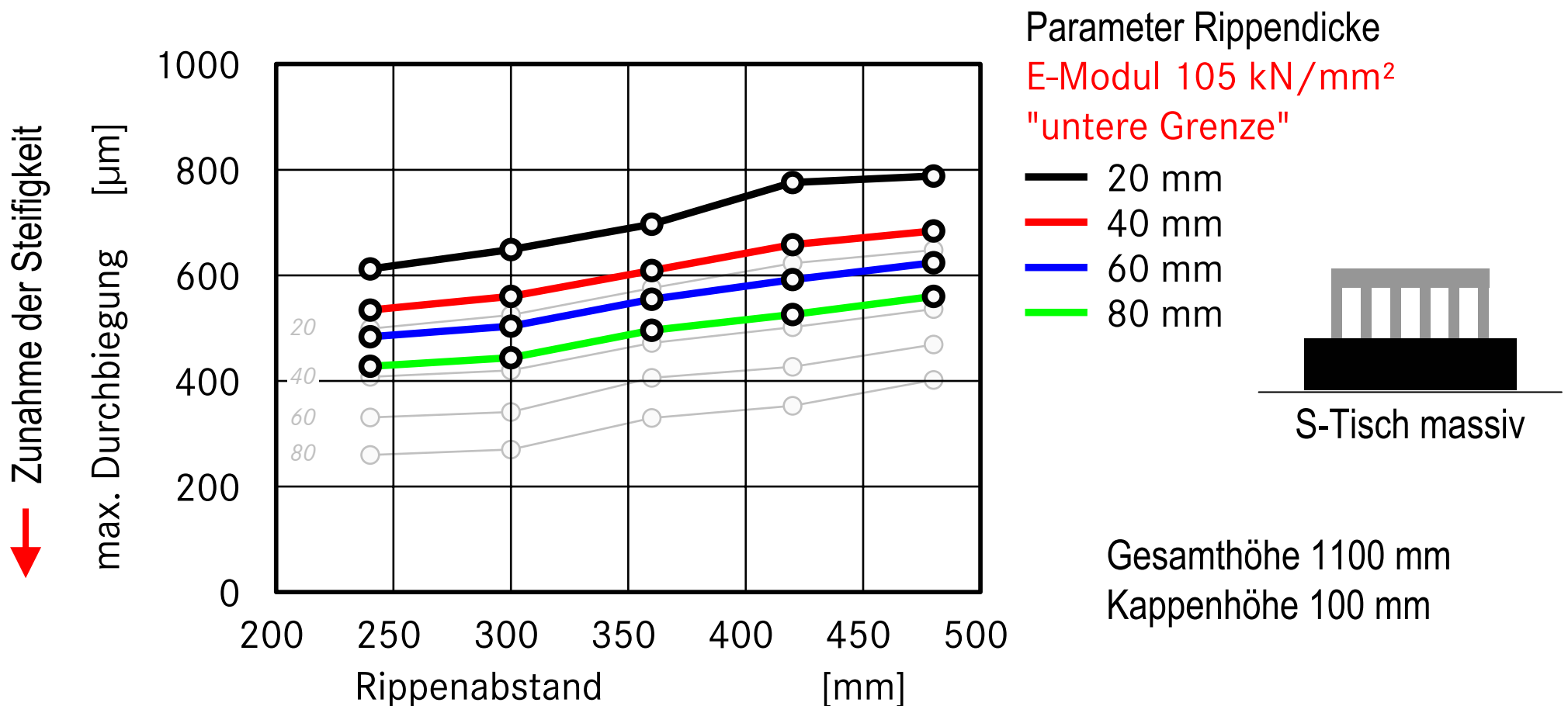
Gesamthöhe 1100 mm
 Kappenhöhe 100 mm
 Rippendicke 20 bis 80 mm

E-Modul Werkzeug:
 - Stahl 210 kN/mm²
 - Guss 105 kN/mm²

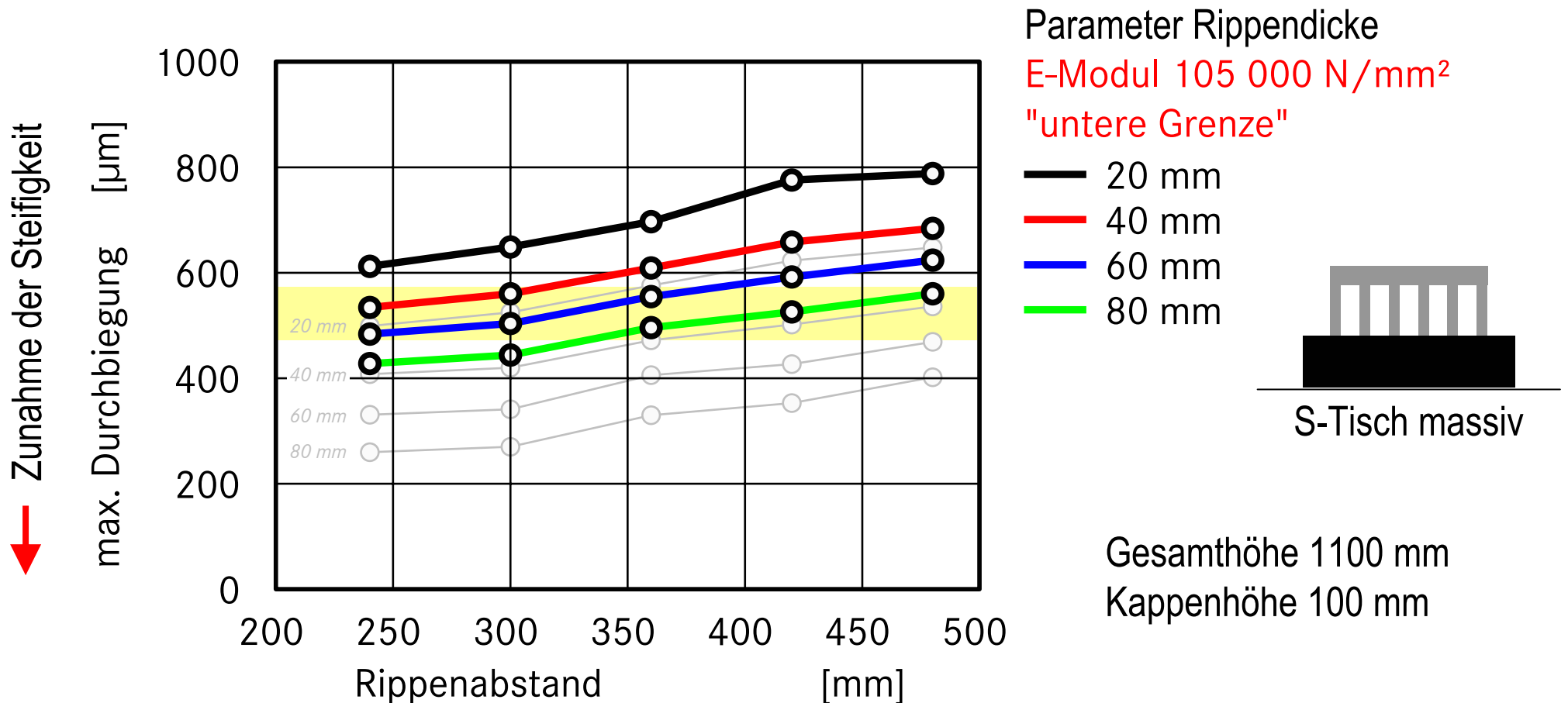
max. Durchbiegung als Funktion des Rippenabstandes; Parameter Rippendicke



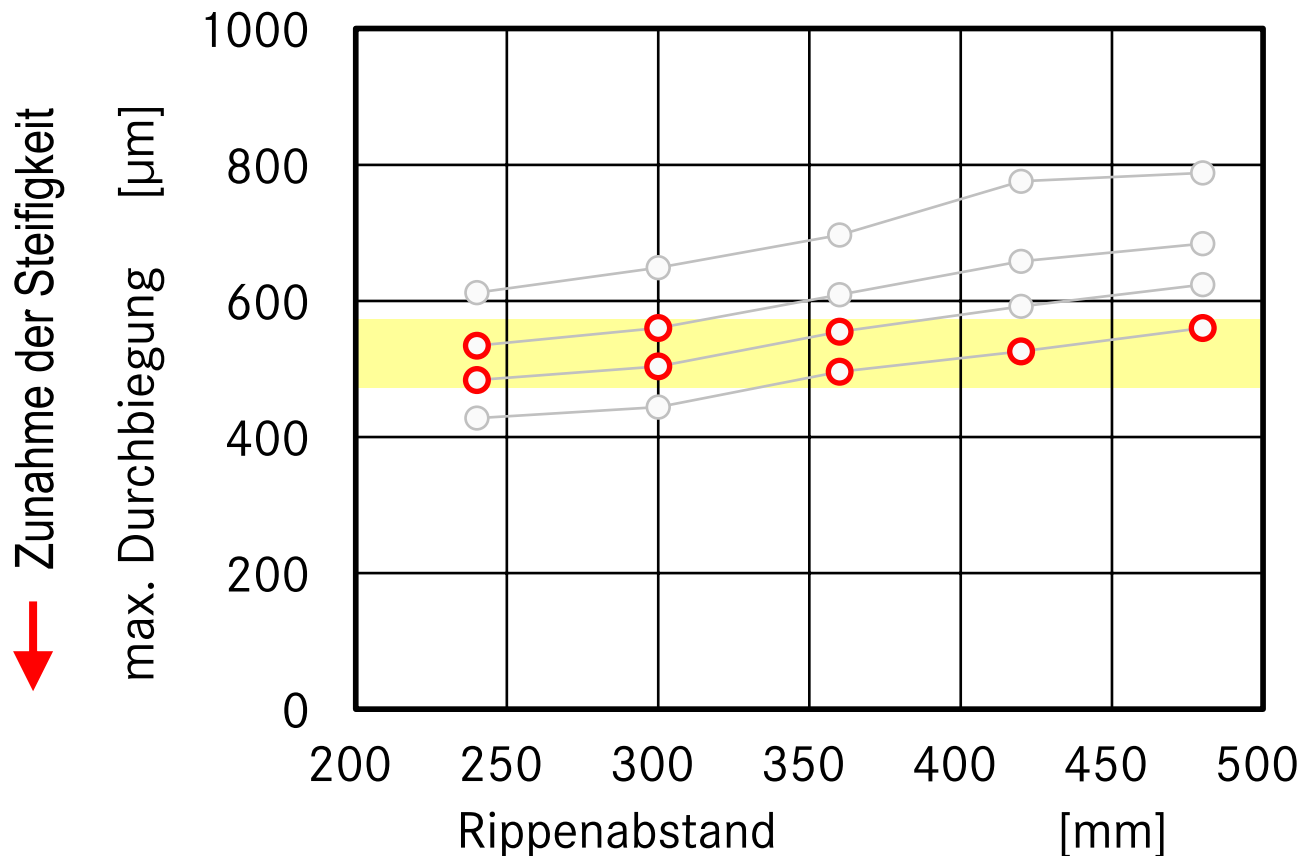
max. Durchbiegung als Funktion des Rippenabstandes; Parameter Rrippendicke



max. Durchbiegung als Funktion des Rippenabstandes; Parameter Rrippendicke

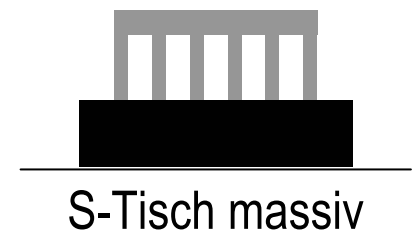


max. Durchbiegung als Funktion des Rippenabstandes; Parameter Rippendicke



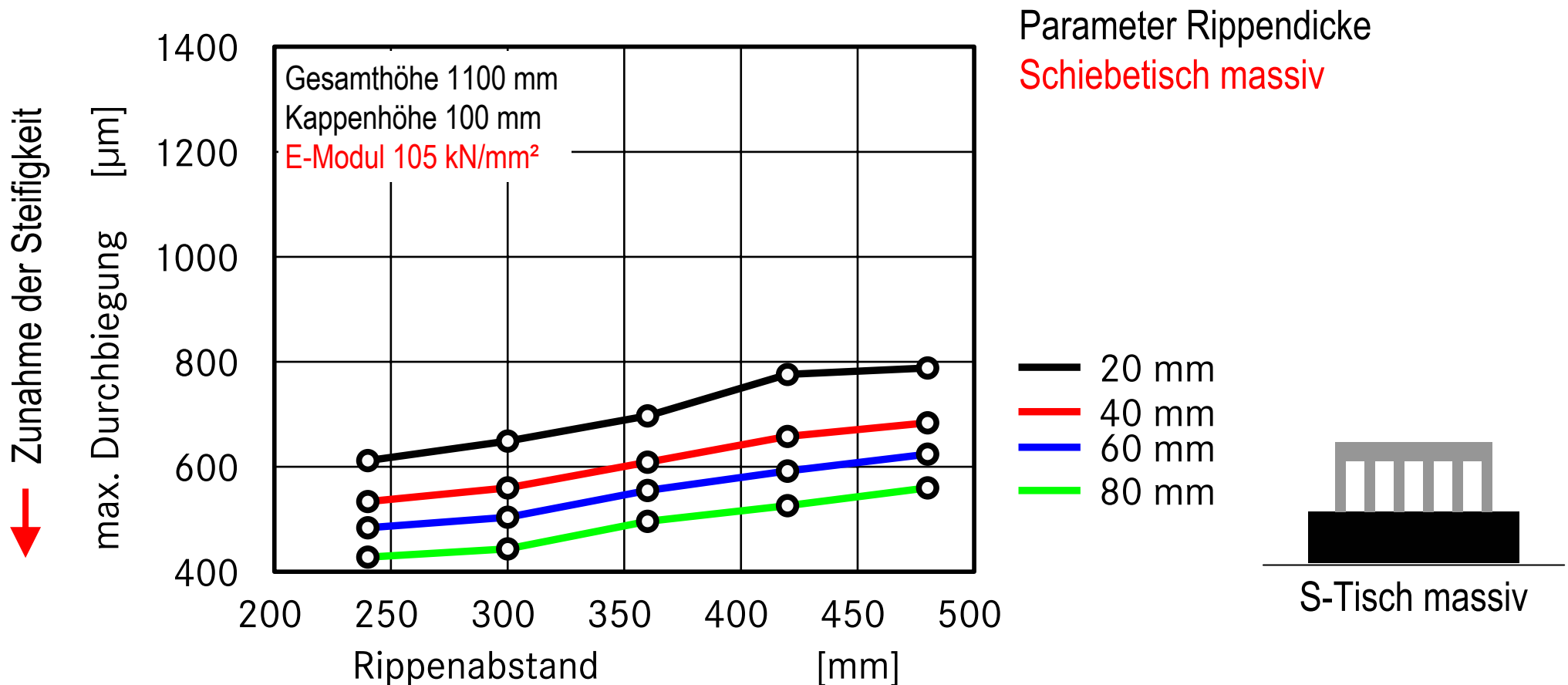
Parameter Rippendicke
E-Modul 105 kN/mm²
"untere Grenze"

- 20 mm
- 40 mm
- 60 mm
- 80 mm

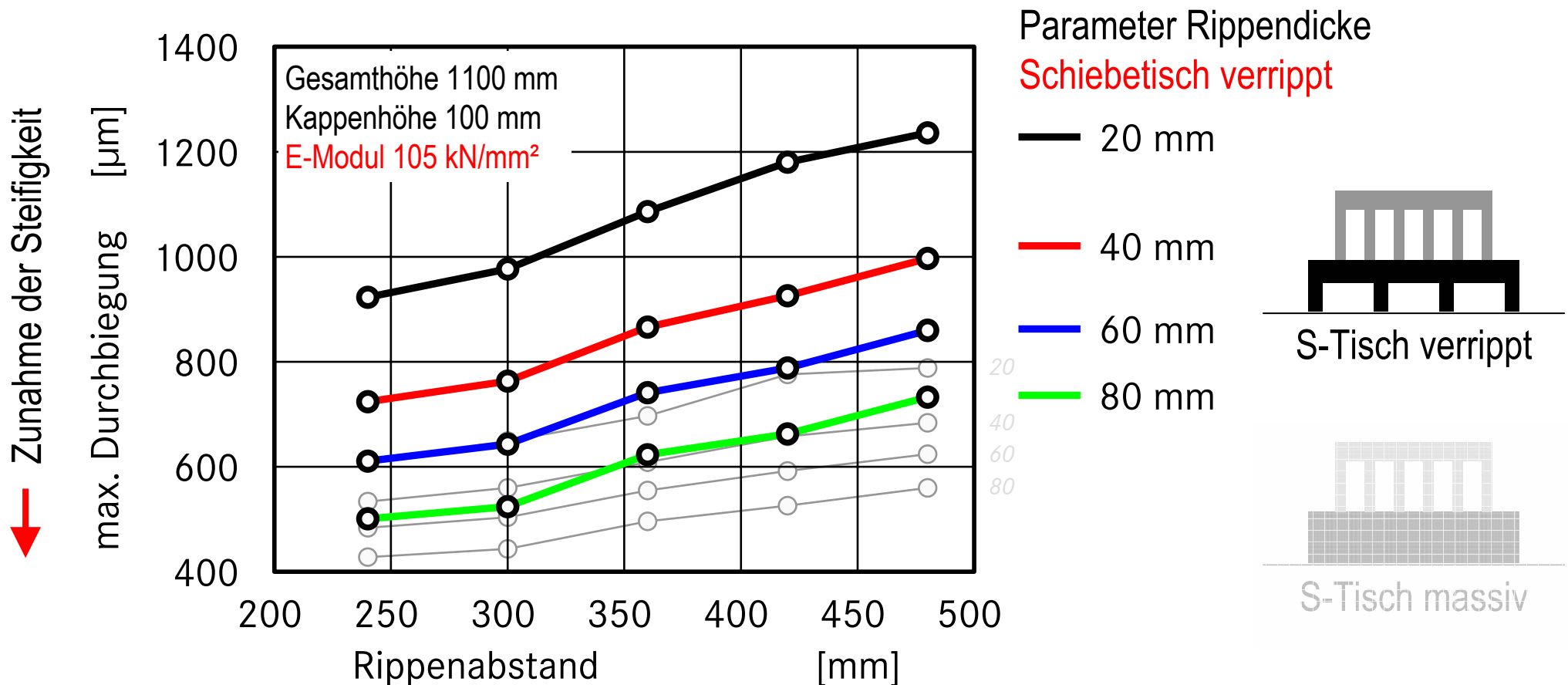


*... die konstruktive Freiheit
bei der Werkzeugauslegung
wird nicht eingeschränkt ...*

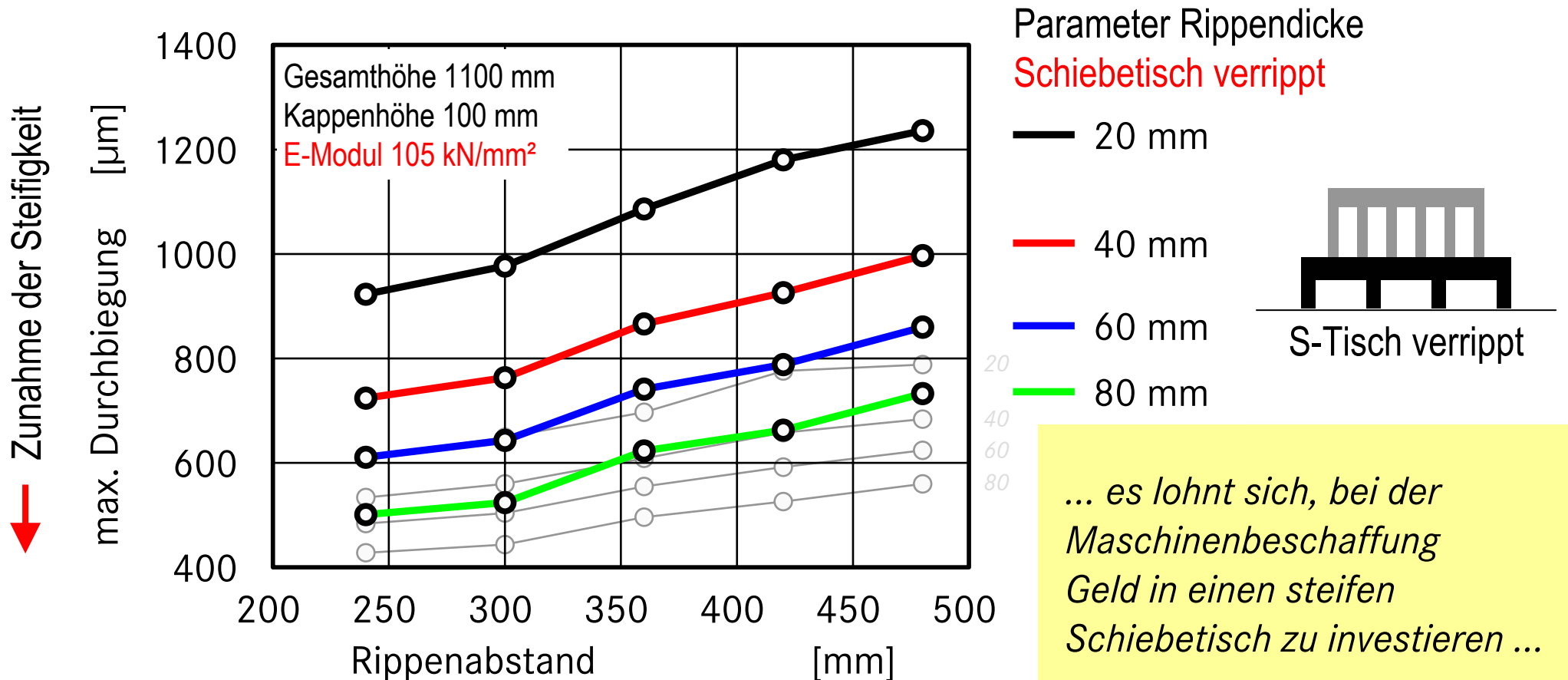
max. Durchbiegung als Funktion des Rippenabstandes; Parameter Steifigkeit Schiebetisch



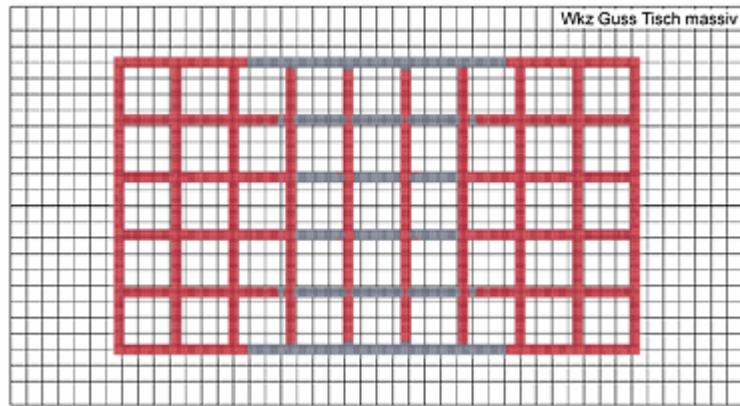
max. Durchbiegung als Funktion des Rippenabstandes; Parameter Steifigkeit Schiebetisch



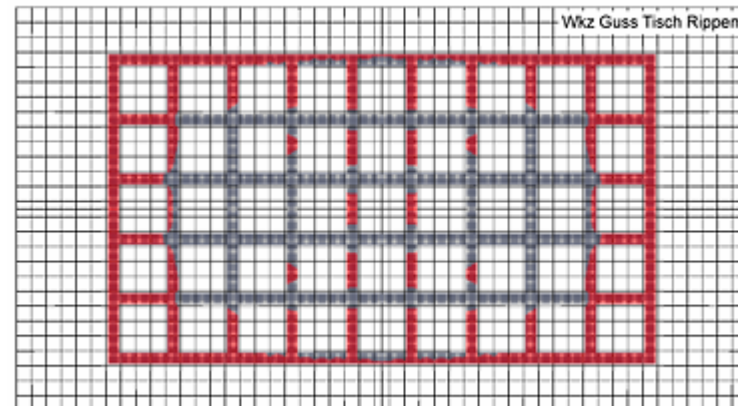
max. Durchbiegung als Funktion des Rippenabstandes; Parameter Steifigkeit Schiebetisch



Kontakte Werkzeug-Schiebetisch; Tragverhalten



Wkz Guss
S-Tisch
massiv



Wkz Guss
S-Tisch
verrippt



Tragverhalten nur am Rande

Gliederung

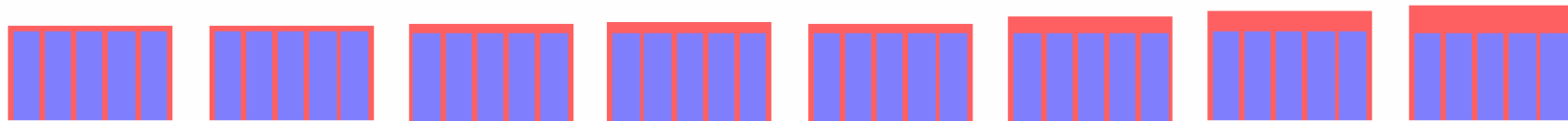
- o Einleitung/Motivation
- o Steifigkeit Umformmaschine
- o Steifigkeit Umformwerkzeug
- Haupteinflüsse
- o Zusammenfassung

- FEM-Modell
- Werkzeug ohne Tisch
- Rippenabstand und
Rippendicke
- Kappenhöhe
- Rippendurchbruch
- Werkzeughöhe
- Werkzeuggröße

Einfluss der Kappenhöhe

Kappenhöhe [mm]

65 80 100 125 160 200 240 300

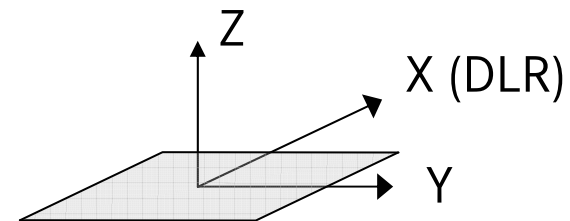


Gesamthöhe variabel
Rippenhöhe 1000 mm
Rippendicke 60 mm
Rippenabstand 360 mm

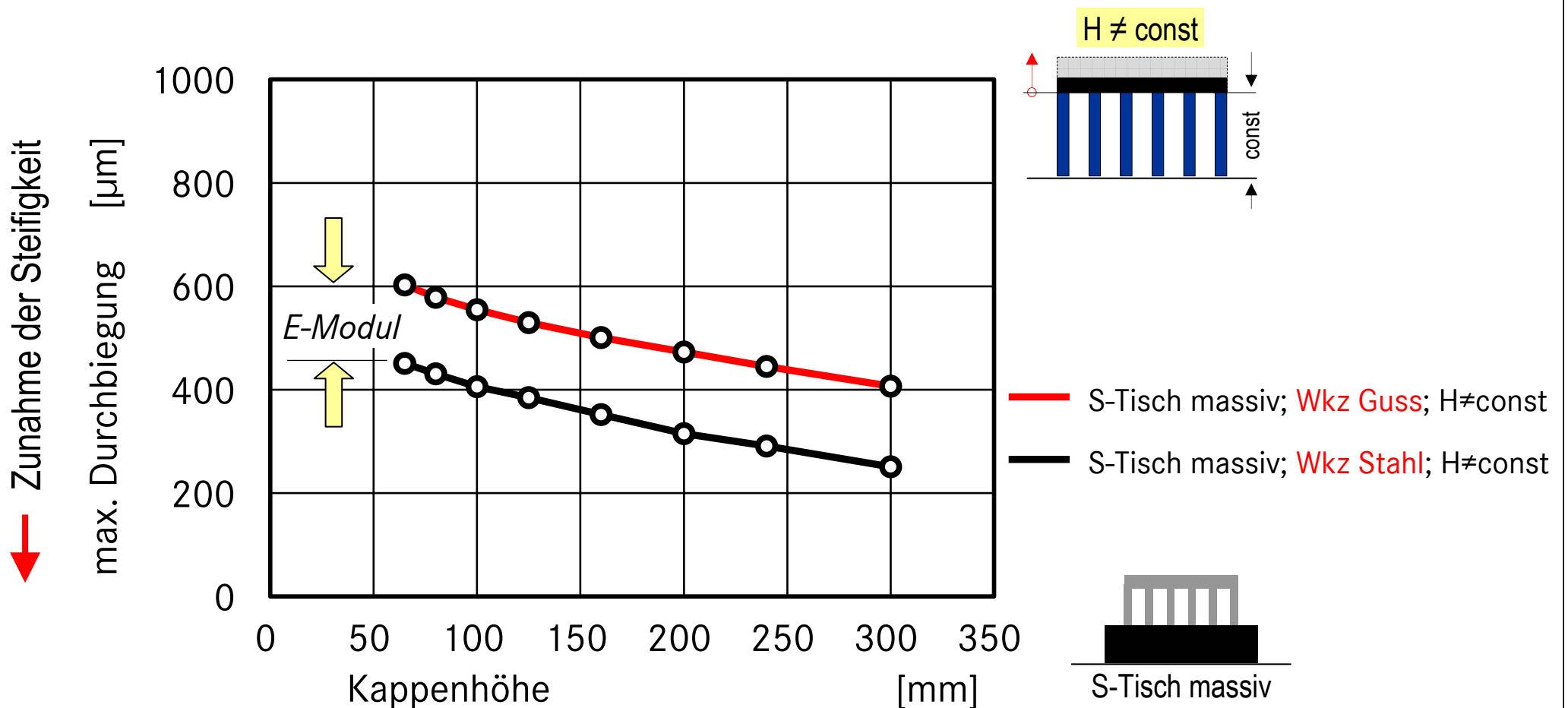
Wkz-E-Modul:

- Stahl 210 kN/mm²
- Guss 105 kN/mm²

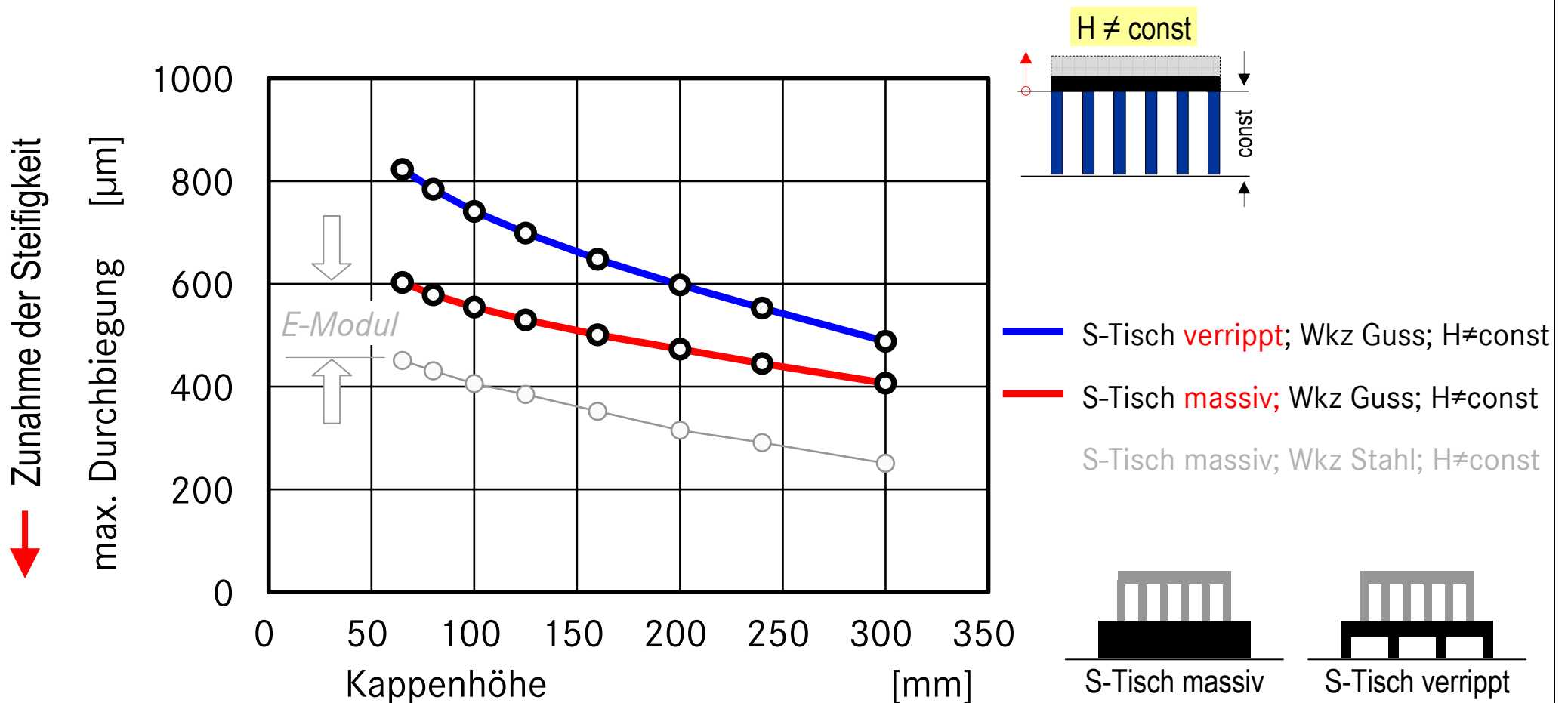
Schnitt durch
den Stempel
in der X-Z-Ebene



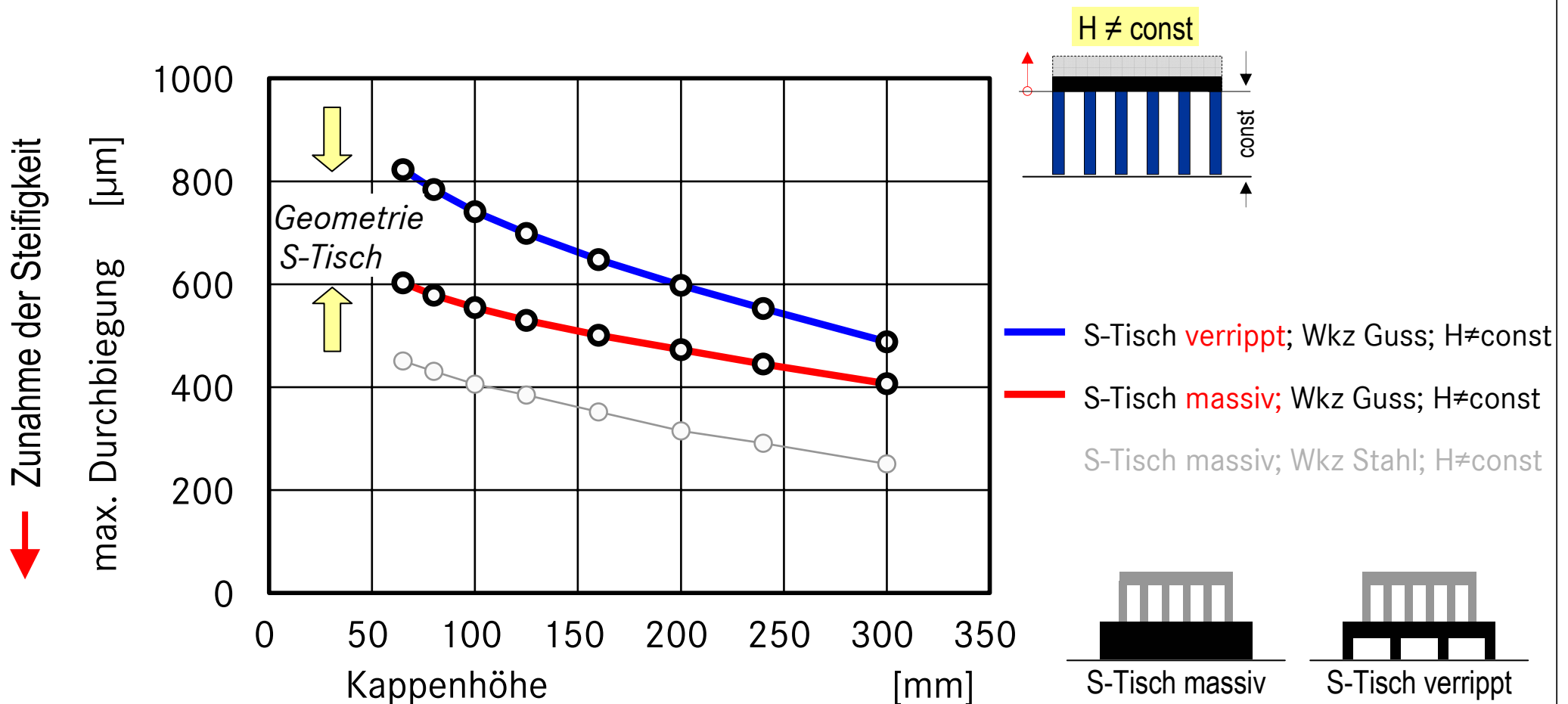
max. Durchbiegung als Funktion der Kappenhöhe; Parameter E-Modul Werkzeug



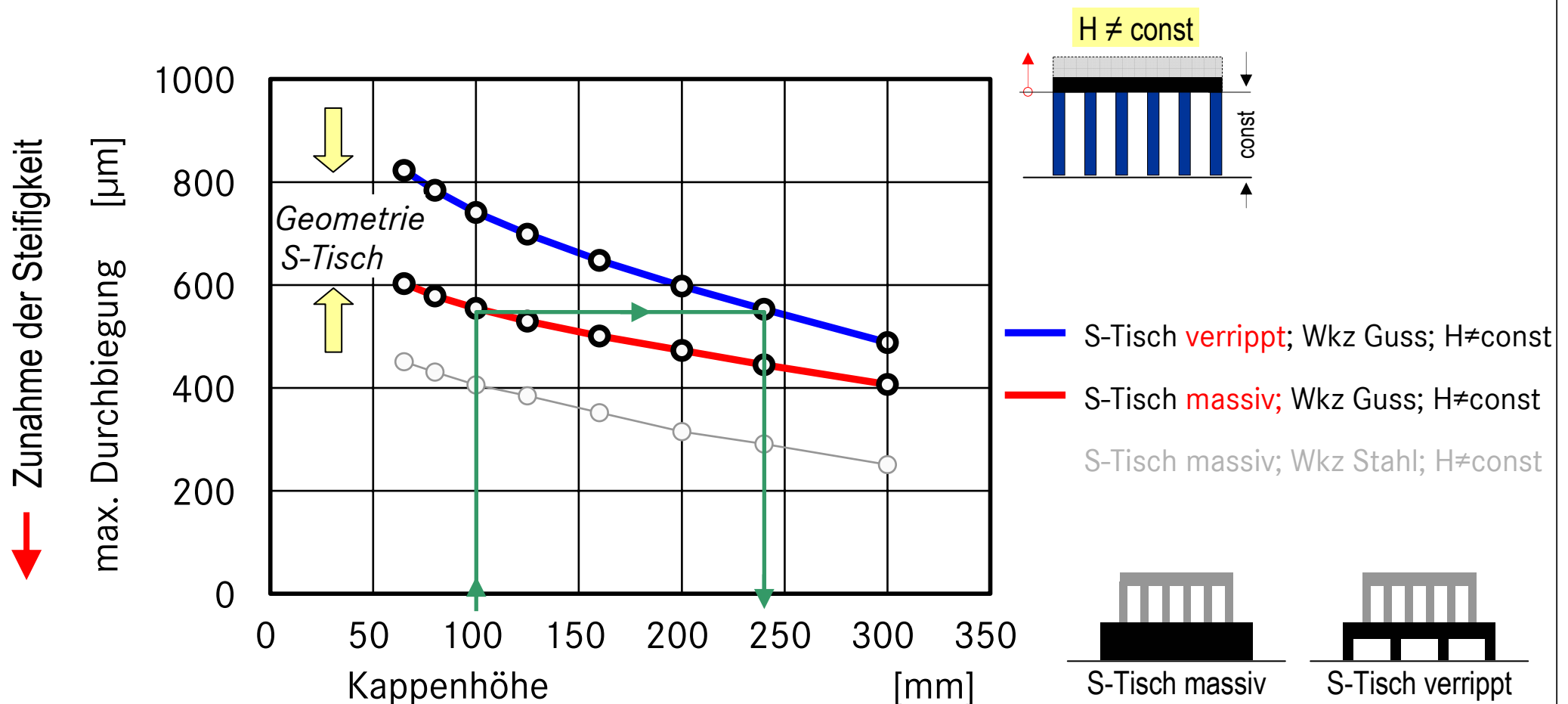
max. Durchbiegung als Funktion der Kappenhöhe; Steifigkeit Schiebetisch



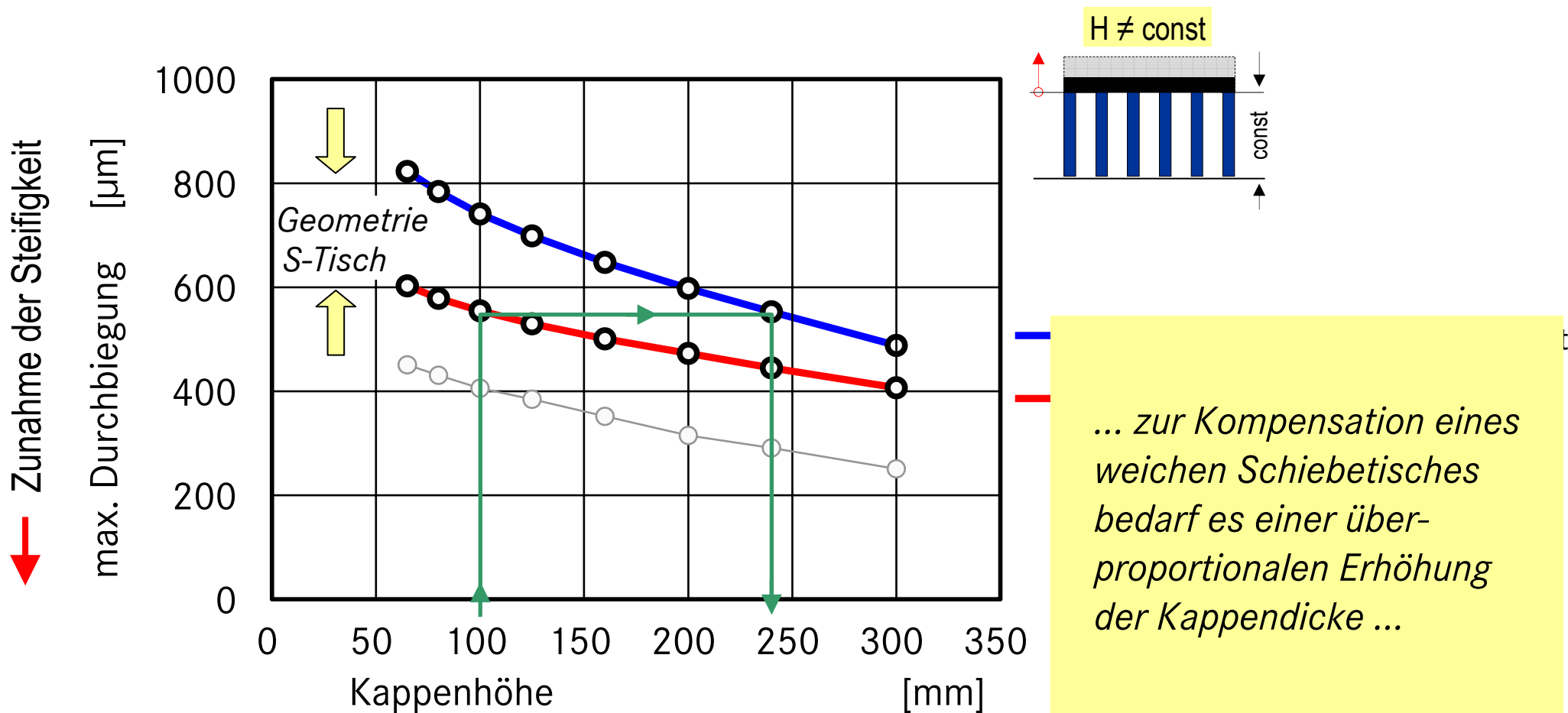
max. Durchbiegung als Funktion der Kappenhöhe; Steifigkeit Schiebetisch



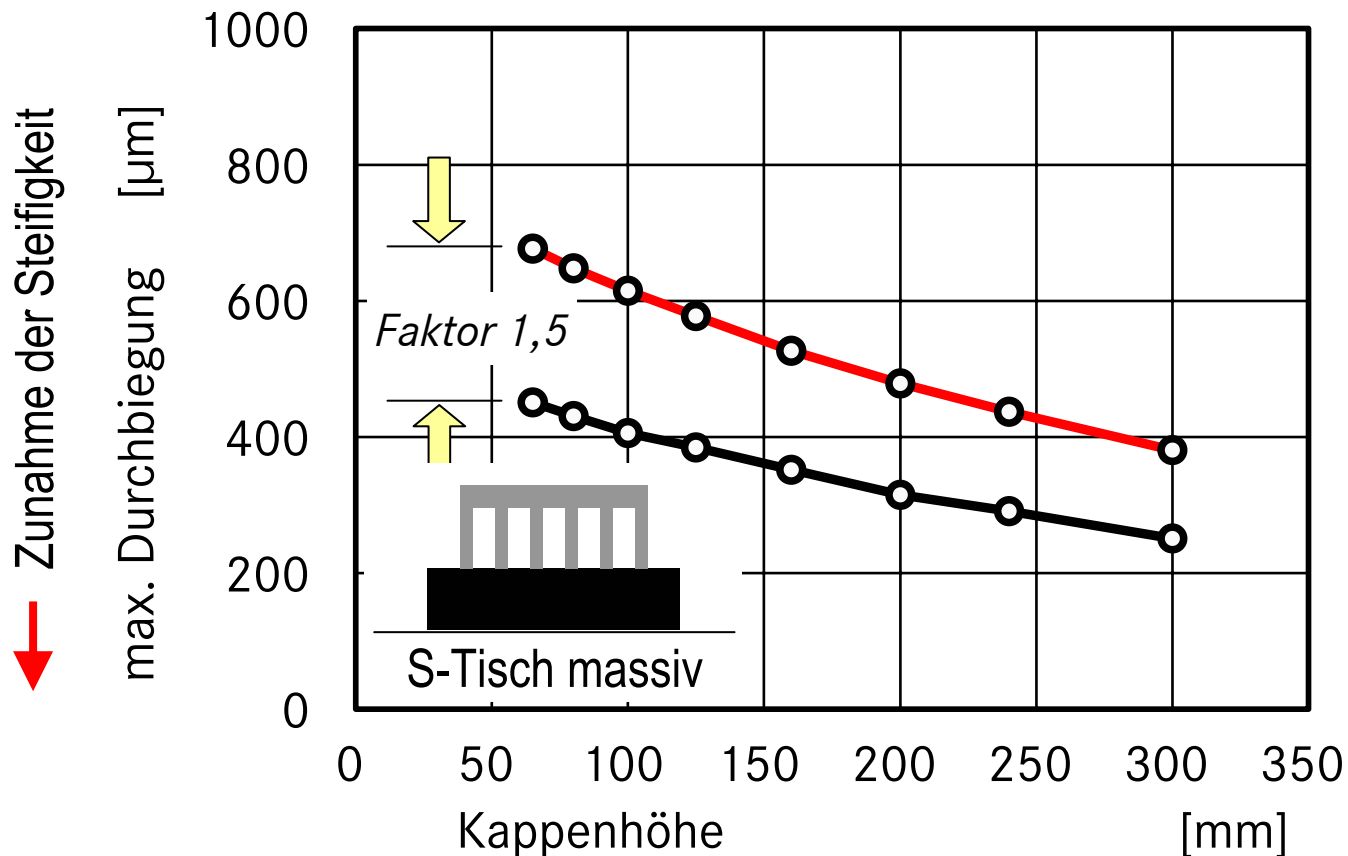
max. Durchbiegung als Funktion der Kappenhöhe; Steifigkeit Schiebetisch



max. Durchbiegung als Funktion der Kappenhöhe; Steifigkeit Schiebetisch

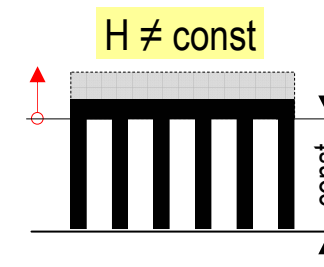


max. Durchbiegung als Funktion der Kappenhöhe; Einfluss Belastungskraft

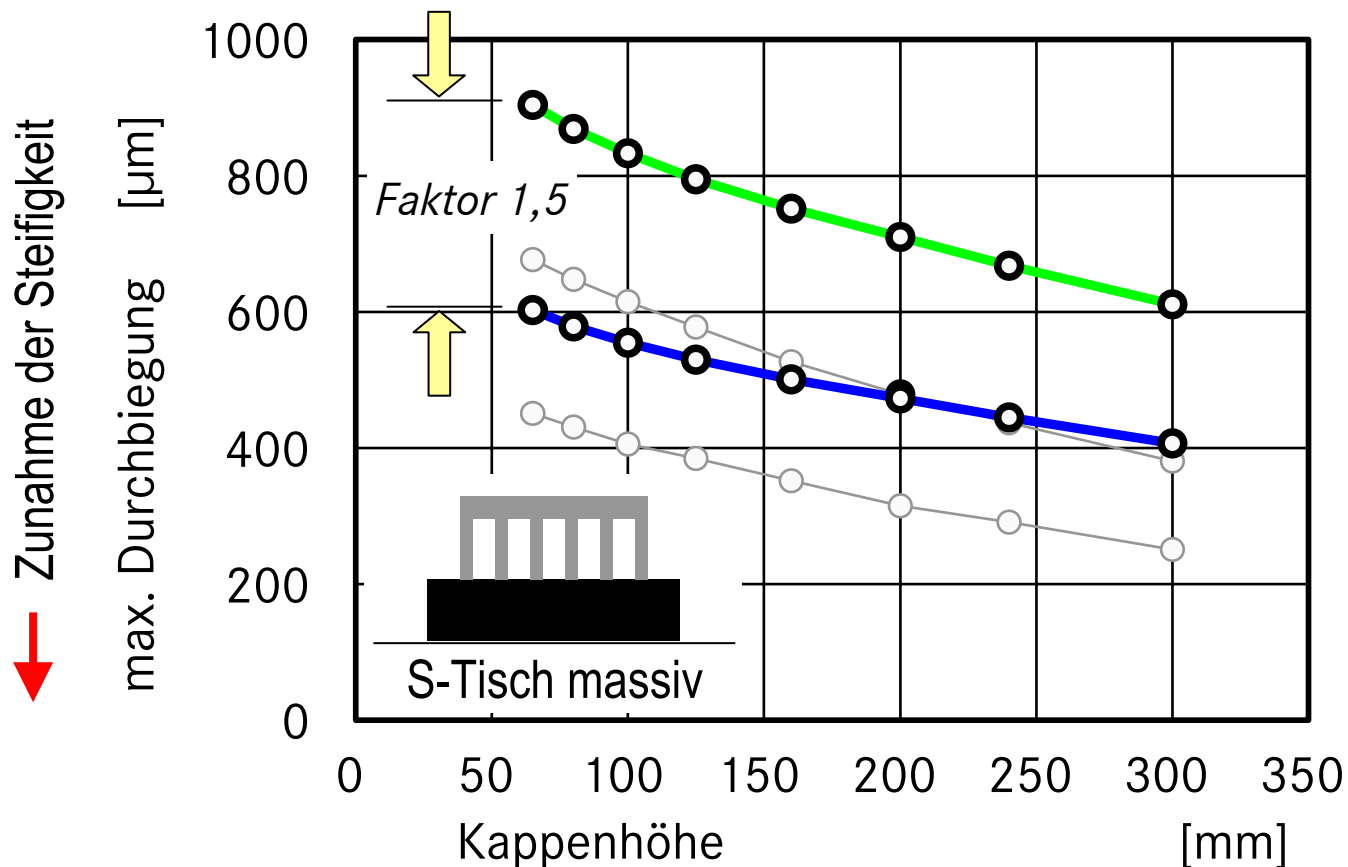


Parameter: Belastungskraft
und Werkzeugwerkstoff

- Wkz Stahl; $F_{Max} = 18000 \text{ kN}$
- Wkz Stahl; $F_{Max} = 12000 \text{ kN}$



max. Durchbiegung als Funktion der Kappenhöhe; Einfluss Belastungskraft



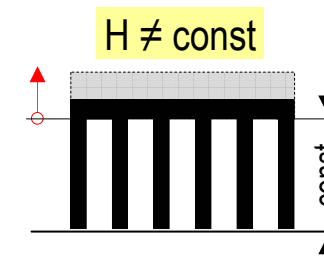
Parameter: Belastungskraft
und Werkzeugwerkstoff

Wkz Guss; $F_{Max} = 18000$ kN

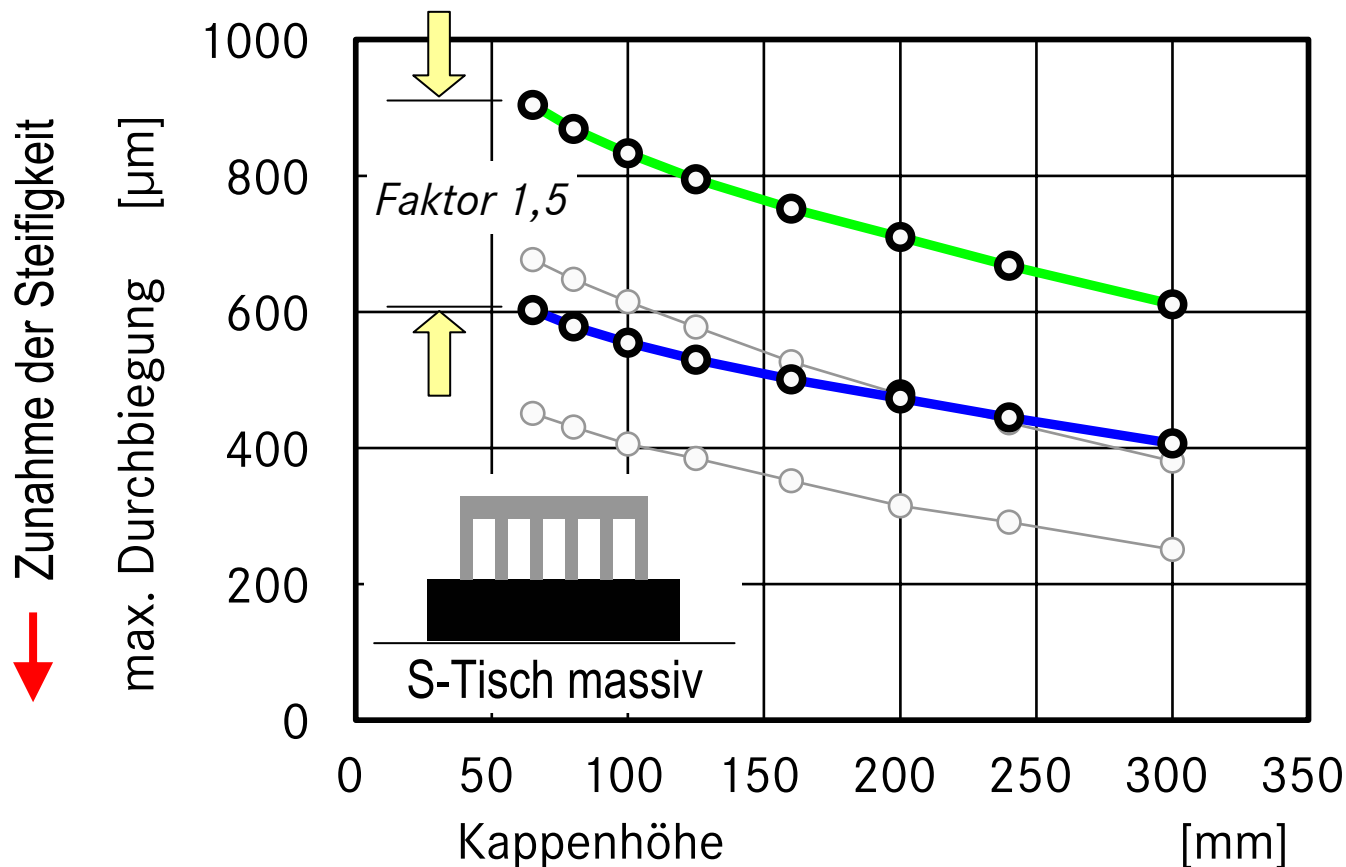
Wkz Guss; $F_{Max} = 12000$ kN

Wkz Stahl; $F_{Max} = 18000$ kN

Wkz Stahl; $F_{Max} = 12000$ kN



max. Durchbiegung als Funktion der Kappenhöhe; Einfluss Belastungskraft



Parameter: Belastungskraft
und Werkzeugwerkstoff

- Wkz Guss; $F_{Max} = 18000$ kN
- Wkz Guss; $F_{Max} = 12000$ kN

*... die Durchbiegung nimmt
linear mit der zunehmenden
Belastungskraft zu*

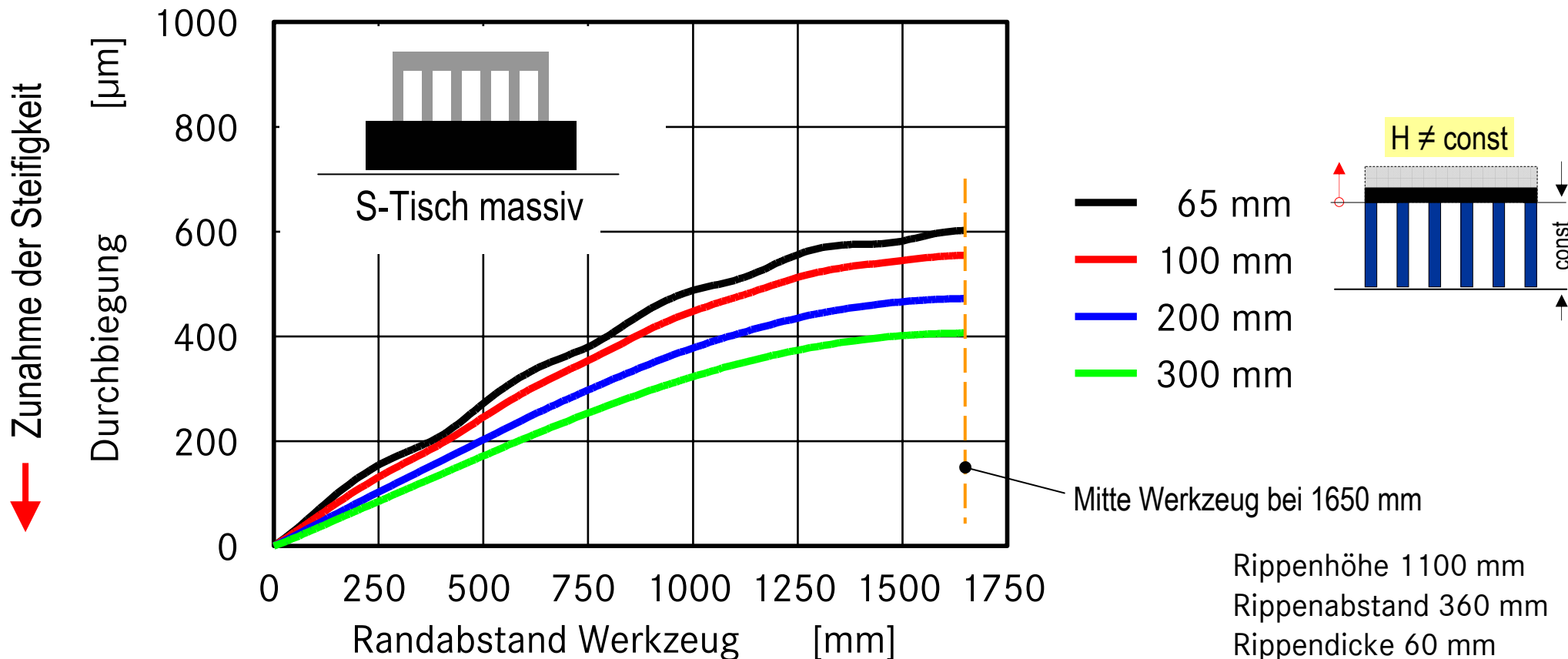
trivial ...

Durchbiegung als Funktion der Y-Koordinate Werkzeug; Parameter Kappenhöhe

Parameter Kappenhöhe

Werkzeug: Guss

E-Modul 105 kN/mm²

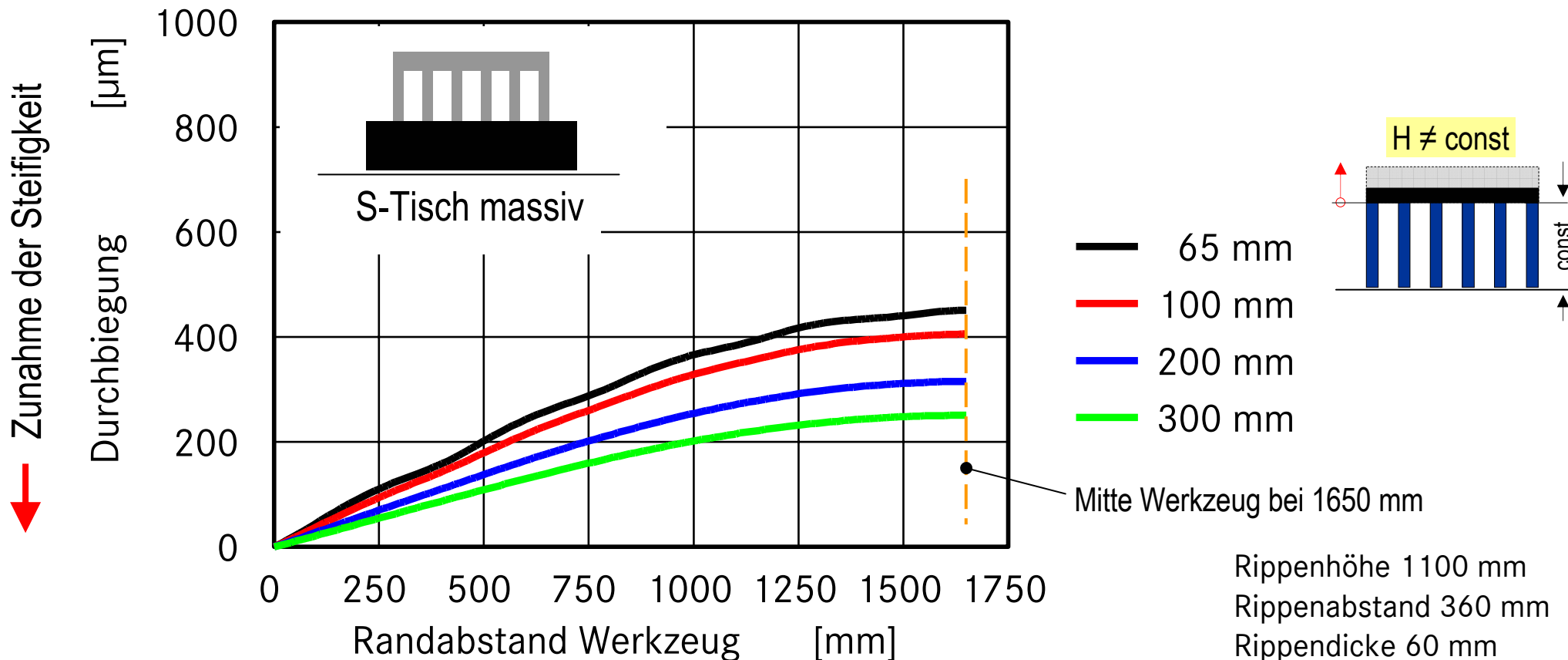


Durchbiegung als Funktion der Y-Koordinate Werkzeug; Parameter Kappenhöhe

Parameter Kappenhöhe

Werkzeug: Stahl

E-Modul 210 kN/mm²

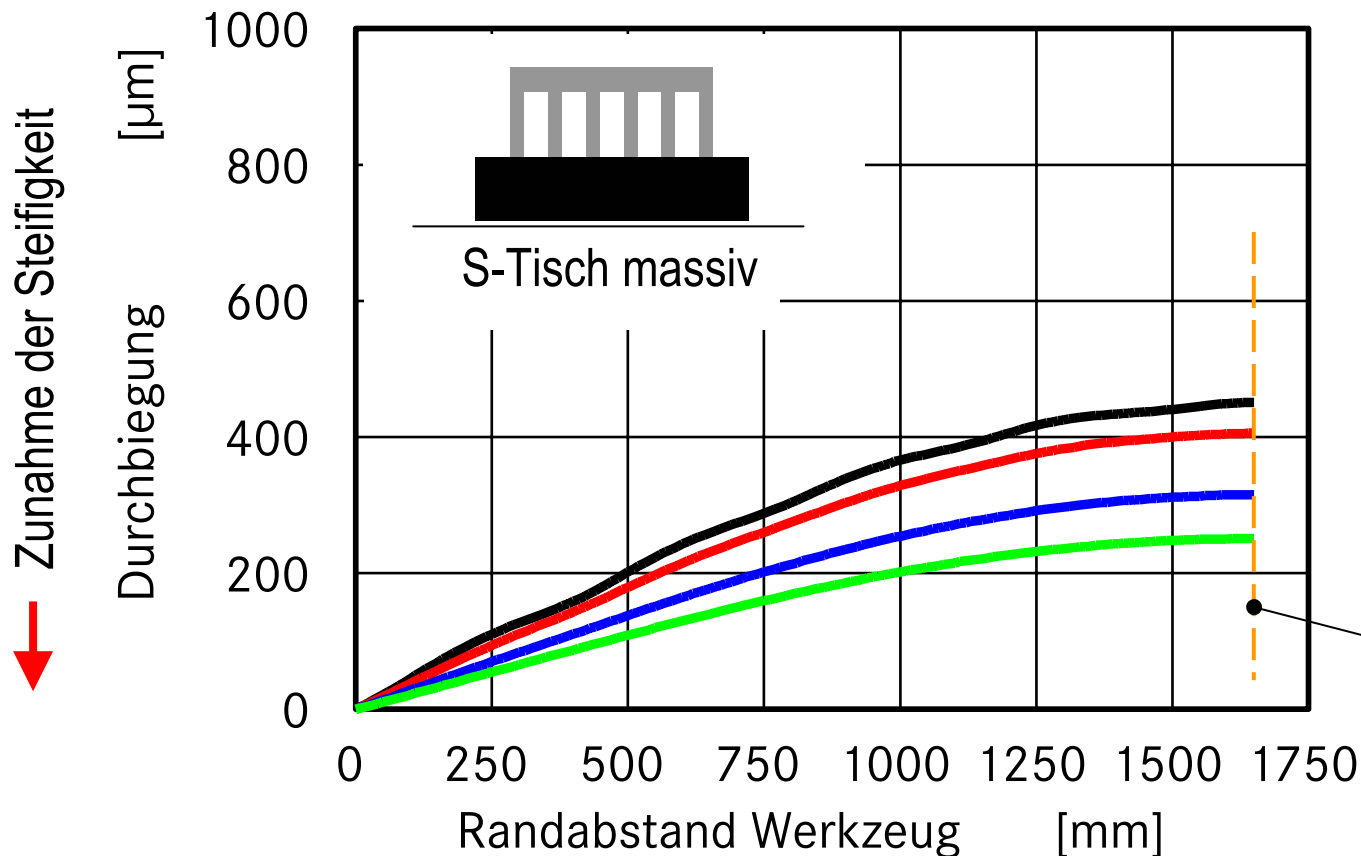


Durchbiegung als Funktion der Y-Koordinate Werkzeug; Parameter Kappenhöhe

Parameter Kappenhöhe

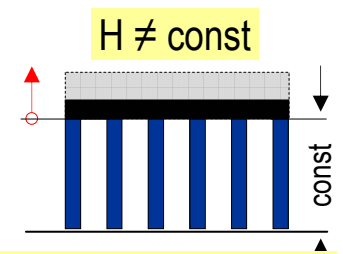
Werkzeug: Stahl

E-Modul 210 kN/mm²



— 65 mm

— 100 mm



... Kappendicken unter 100 mm führen zur Welligkeit der Werkzeugoberfläche unter Last ...

globale und lokale Formabweichung

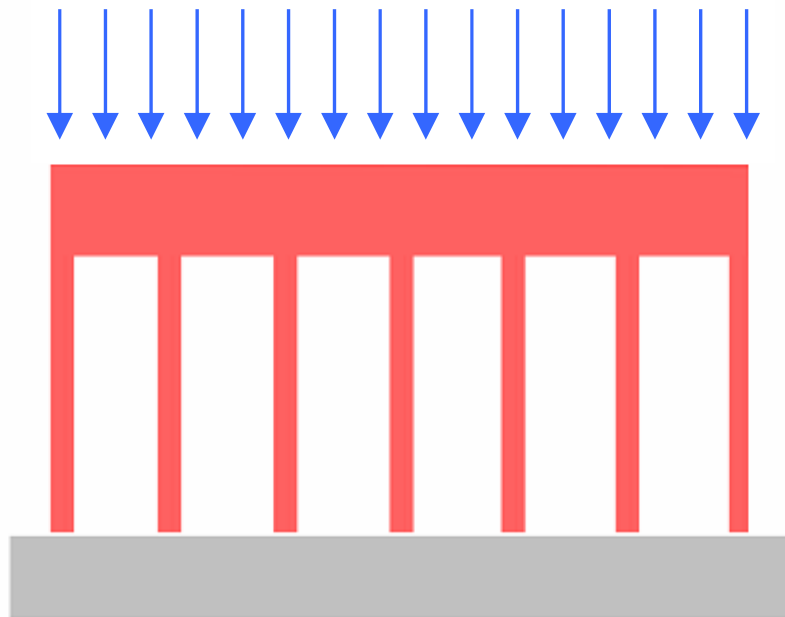
Gliederung

- o Einleitung/Motivation
- o Steifigkeit Umformmaschine
- o Steifigkeit Umformwerkzeug
- Haupteinflüsse
- o Zusammenfassung

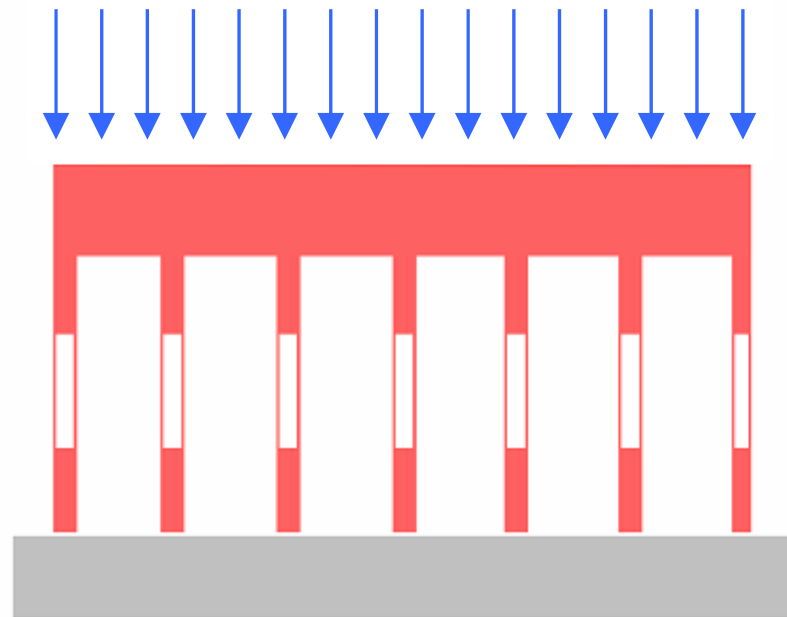
- FEM-Modell
- Werkzeug ohne Tisch
- Rippenabstand und
Rippendicke
- Kappenhöhe
- Rippendurchbruch
- Werkzeughöhe
- Werkzeuggröße

Werkzeuggeometrie; ohne und mit Durchbrüchen

Flächenlast 12000 kN

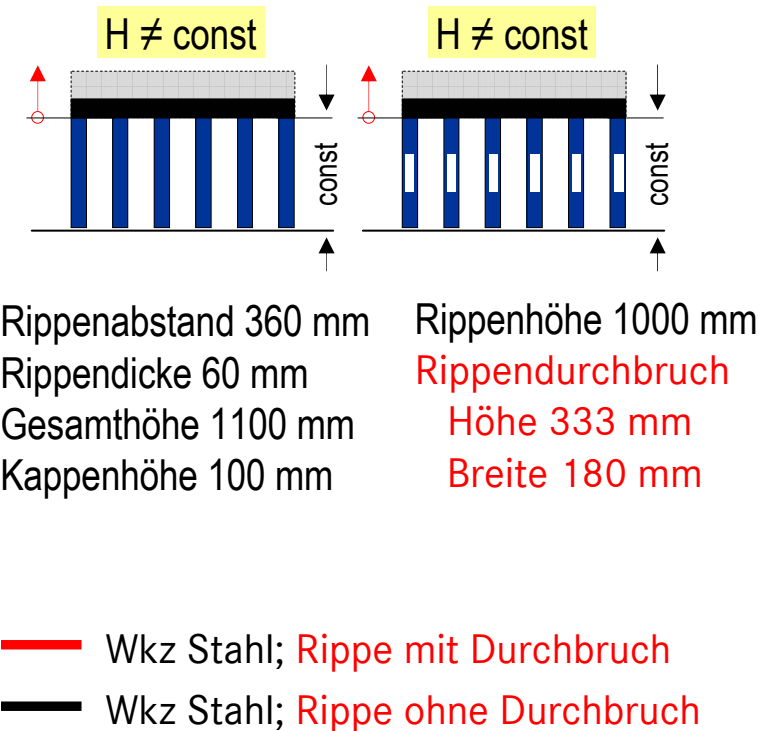
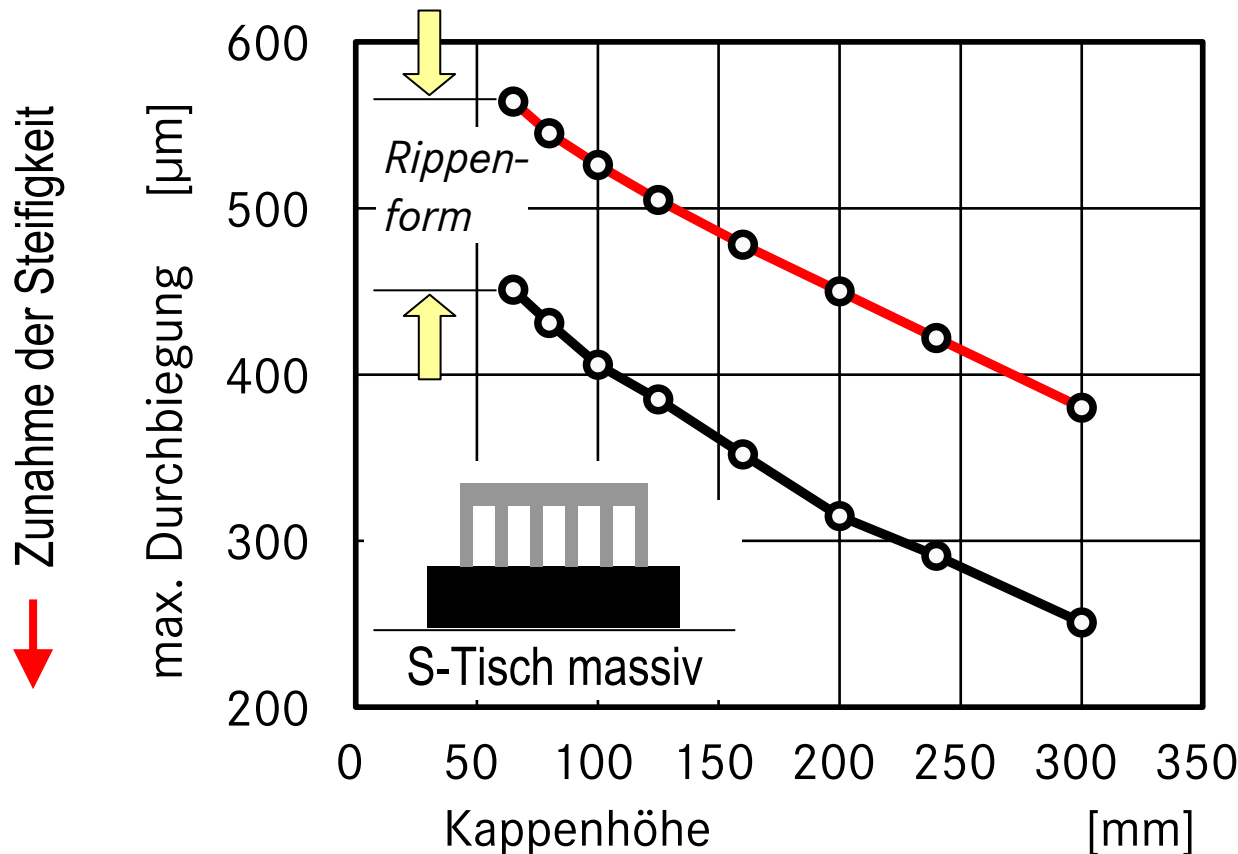


Flächenlast 12000 kN

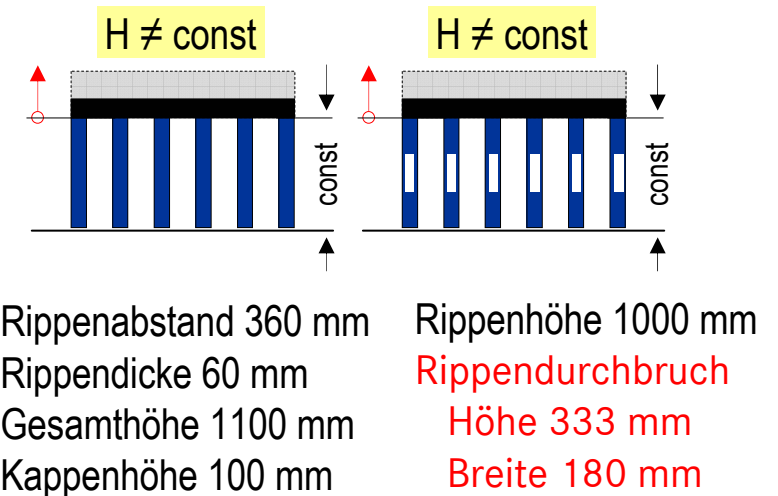
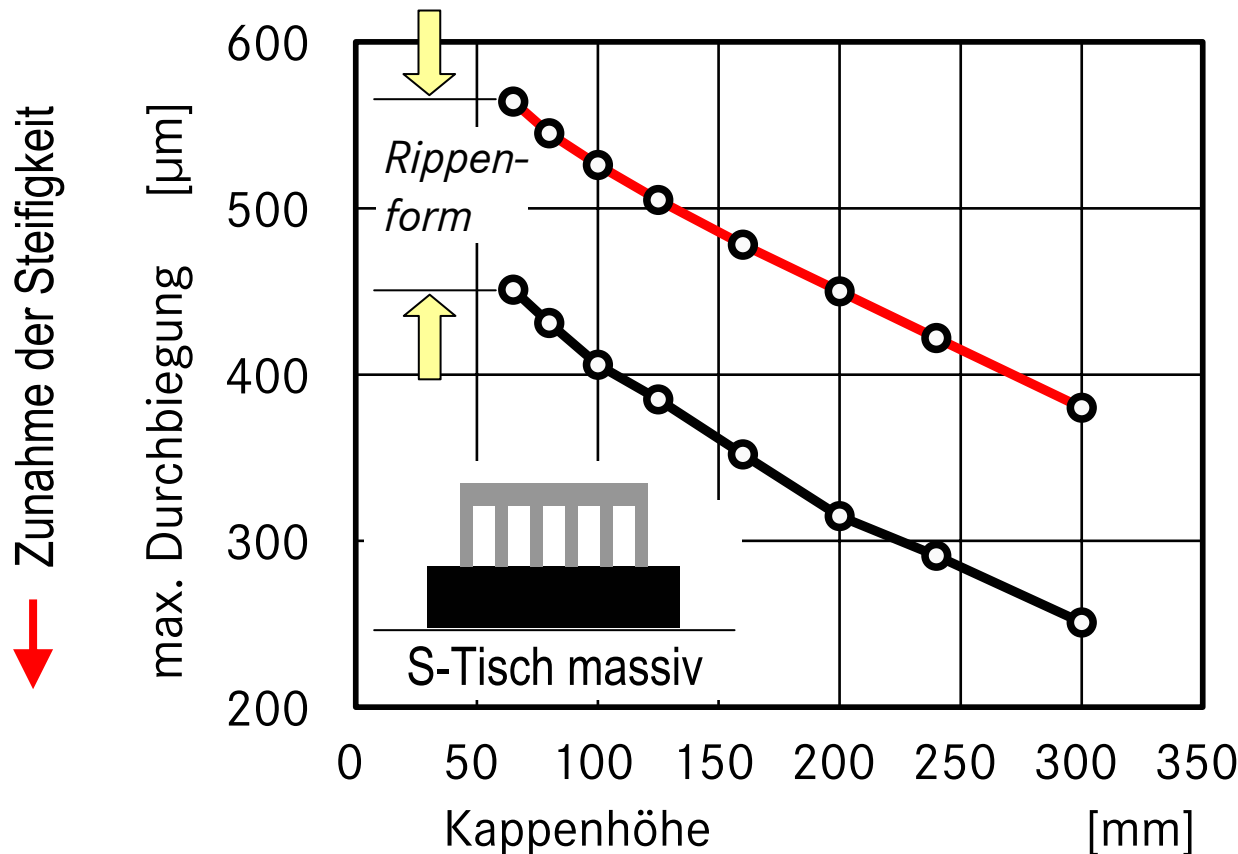


Höhe der Durchbrüche ca. $\frac{1}{3}$ Rippenhöhe
Breite der Durchbrüche $\frac{1}{2}$ Rippenabstand

max. Durchbiegung als Funktion der Kappenhöhe; Parameter Rippenform



max. Durchbiegung als Funktion der Kappenhöhe; Parameter Rippenform



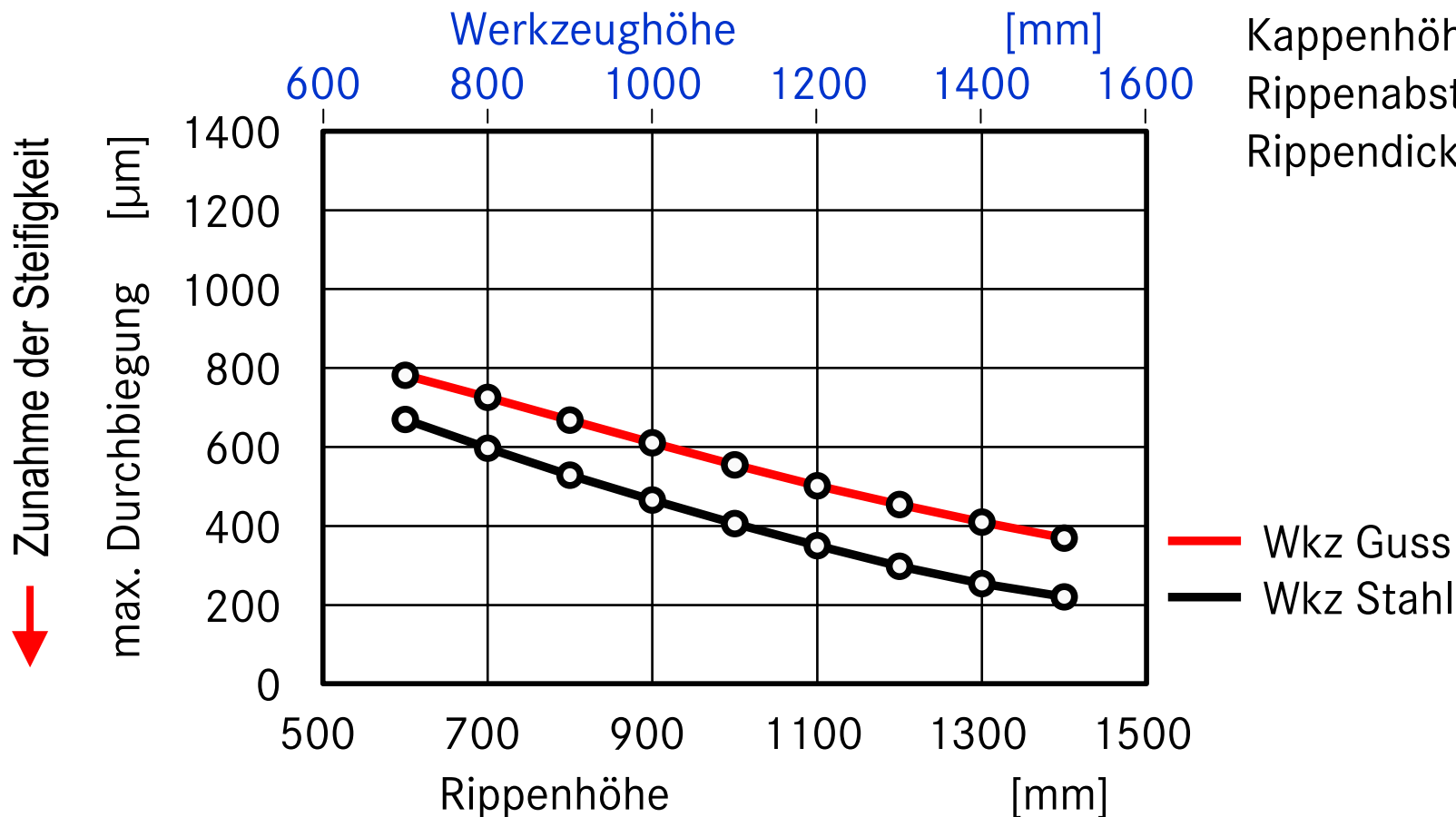
*... erwartungsgemäß sind die Durchbiegungen bei den massiven Rippen geringer ...
 ... die Größenordnung muß im Einzelfall abgeprüft werden ...*

Gliederung

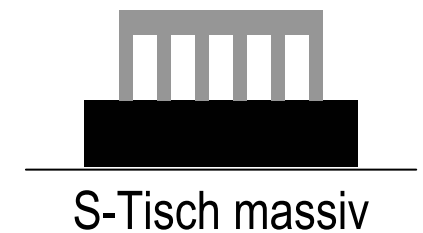
- o Einleitung/Motivation
- o Steifigkeit Umformmaschine
- o Steifigkeit Umformwerkzeug
- Haupteinflüsse
- o Zusammenfassung

- FEM-Modell
- Werkzeug ohne Tisch
- Rippenabstand und
Rippendicke
- Kappenhöhe
- Rippendurchbruch
- **Werkzeughöhe**
- Werkzeuggröße

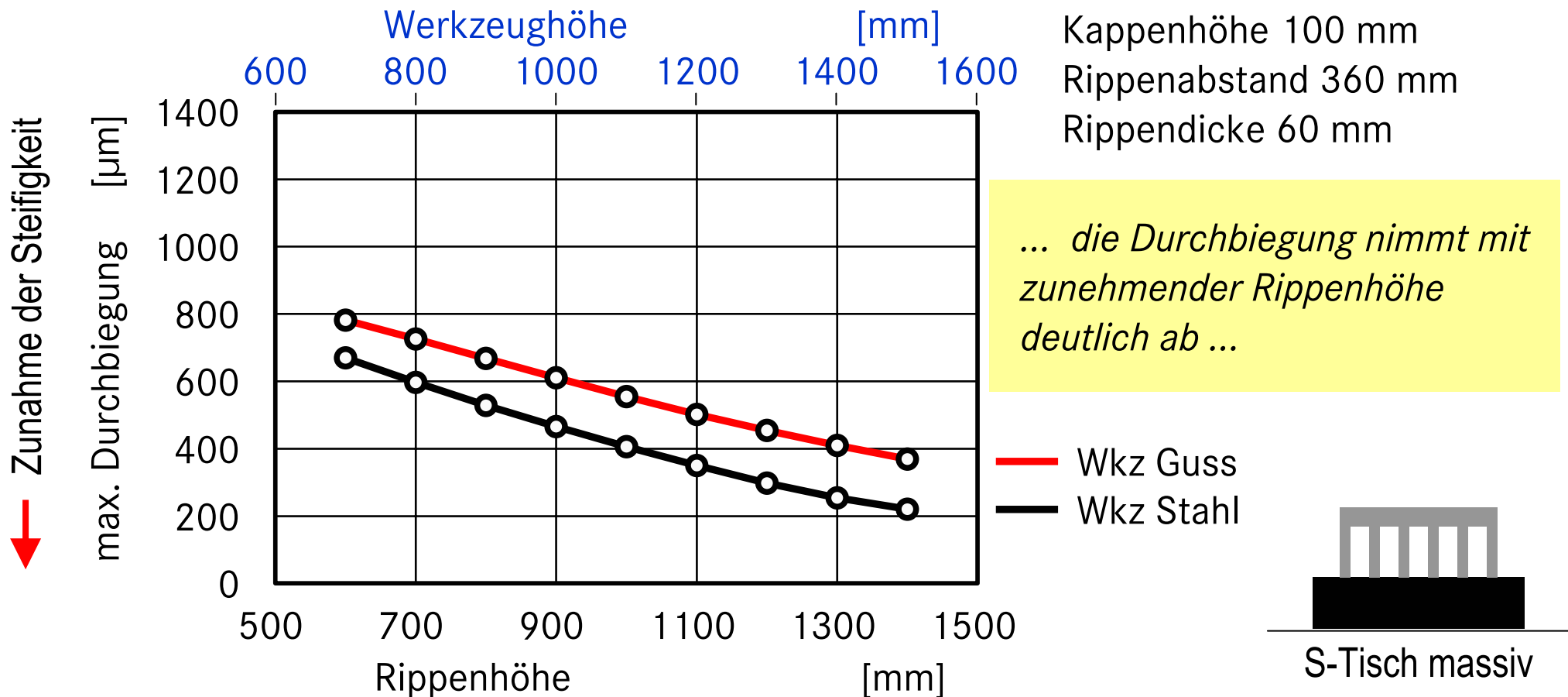
max. Durchbiegung als Funktion der Rippenhöhe bzw. Werkzeughöhe



Kappenhöhe 100 mm
Rippenabstand 360 mm
Rippendicke 60 mm



max. Durchbiegung als Funktion der Rippenhöhe bzw. Werkzeughöhe

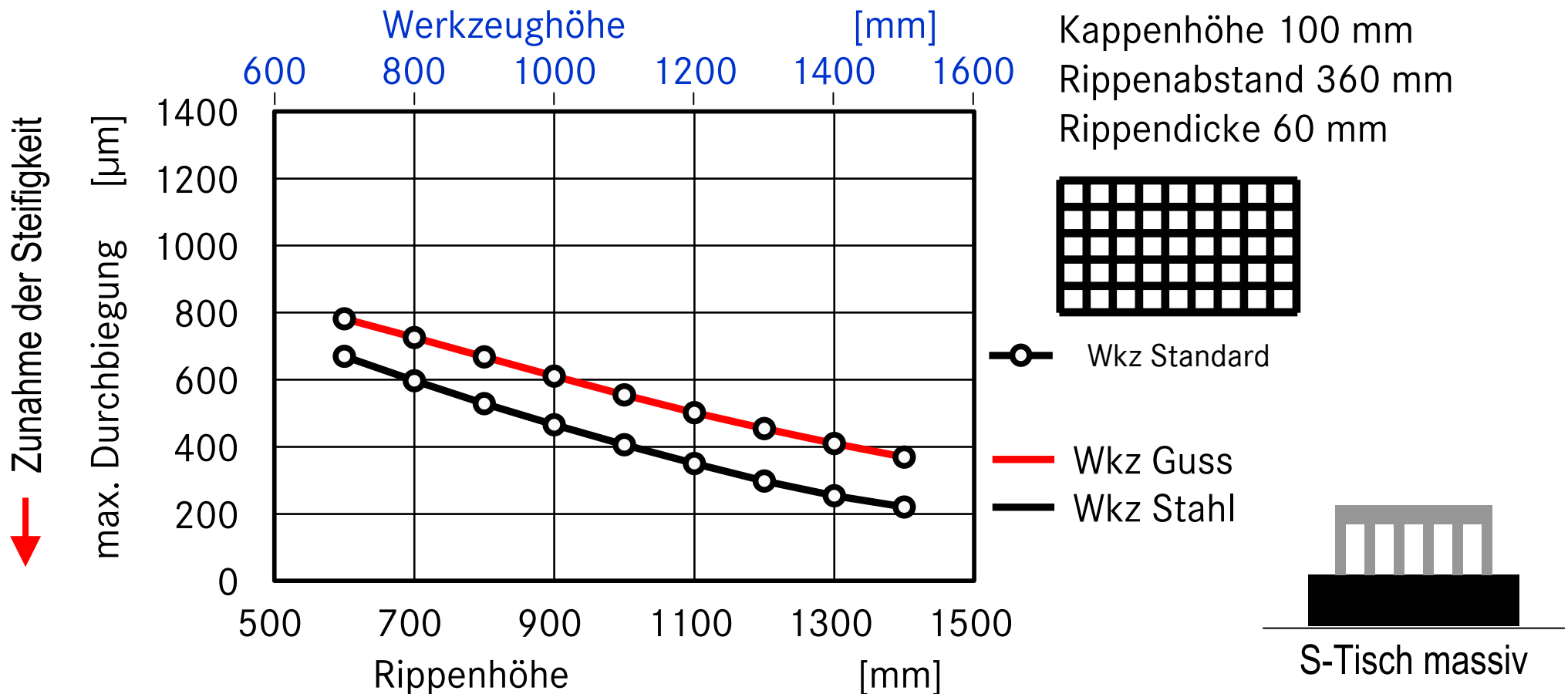


Gliederung

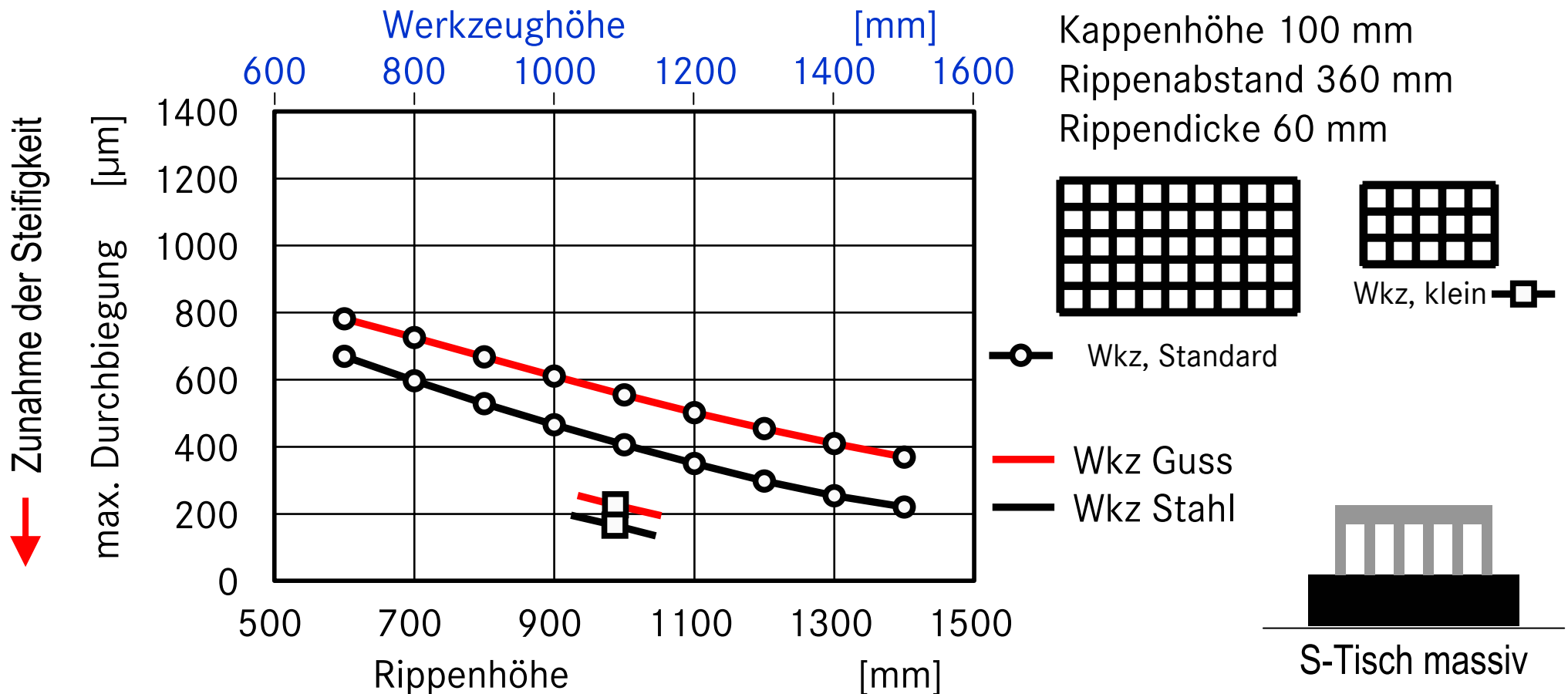
- o Einleitung/Motivation
- o Steifigkeit Umformmaschine
- o Steifigkeit Umformwerkzeug
- Haupteinflüsse
- o Zusammenfassung

- FEM-Modell
- Werkzeug ohne Tisch
- Rippenabstand und
Rippendicke
- Kappenhöhe
- Rippendurchbruch
- Werkzeughöhe
- Werkzeuggröße

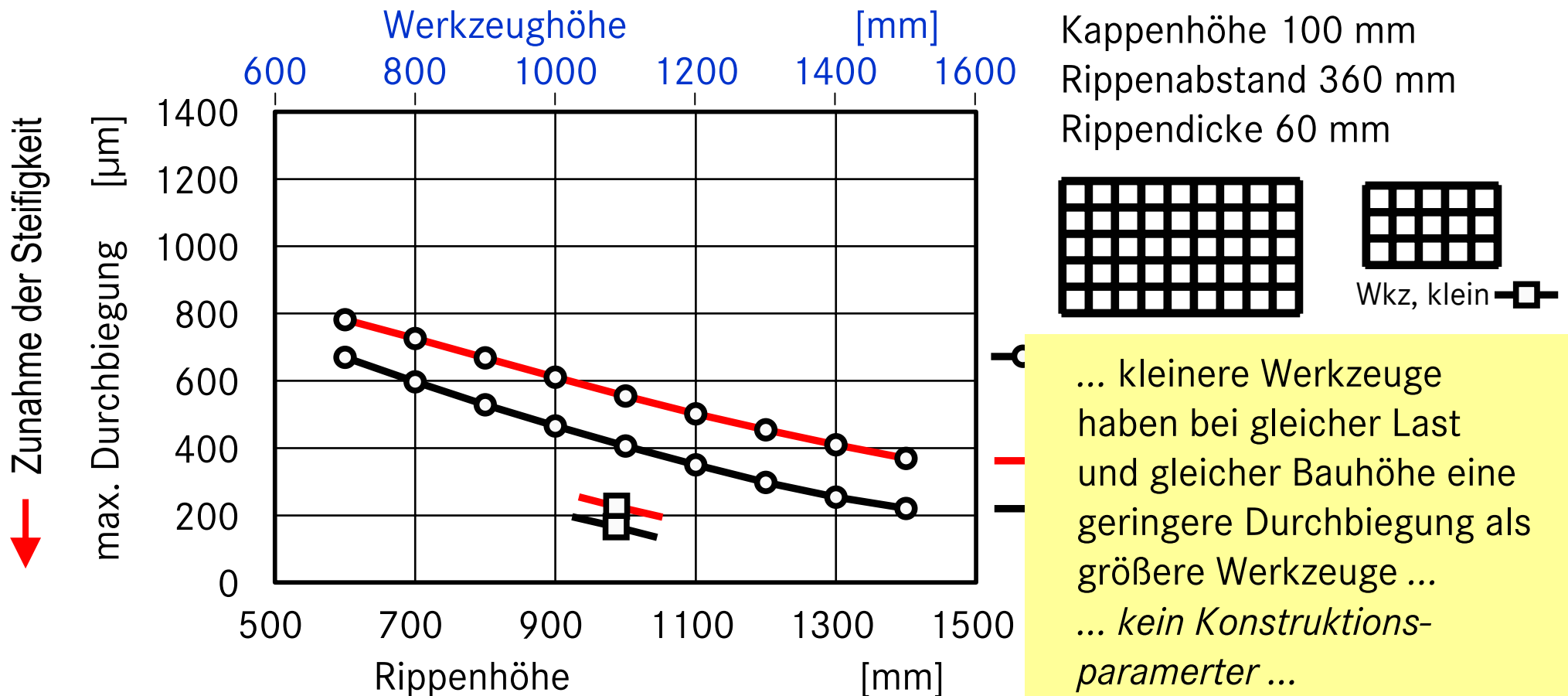
max. Durchbiegung als Funktion der Rippenhöhe bzw. Werkzeughöhe; Parameter Werkzeuggröße



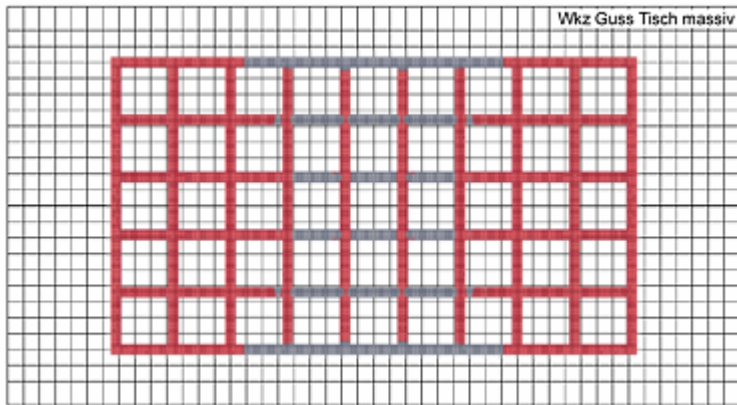
max. Durchbiegung als Funktion der Rippenhöhe bzw. Werkzeughöhe; Parameter Werkzeuggröße



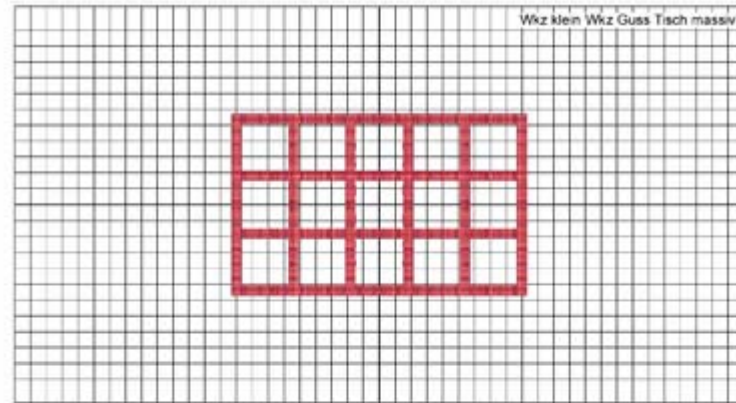
max. Durchbiegung als Funktion der Rippenhöhe bzw. Werkzeughöhe; Parameter Werkzeuggröße



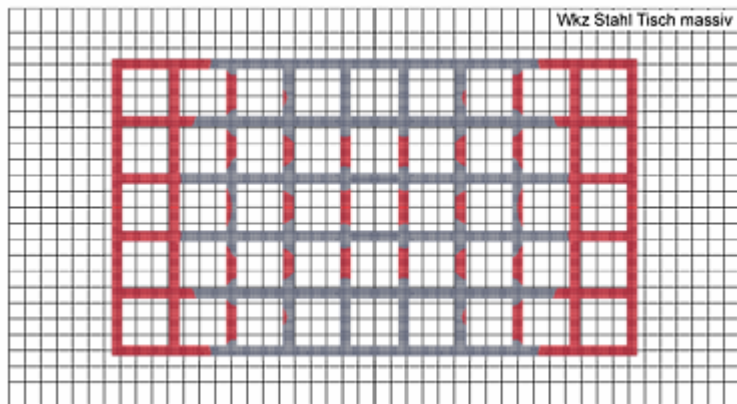
Kontakte Werkzeug - Schiebetisch Vergleich Werkzeug groß und klein



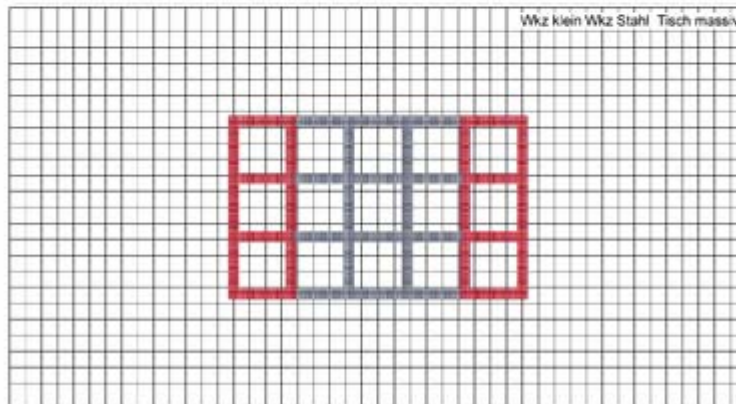
Wkz Guss
S-Tisch
massiv



Wkz Guss
S-Tisch
massiv



Wkz Stahl
S-Tisch
massiv



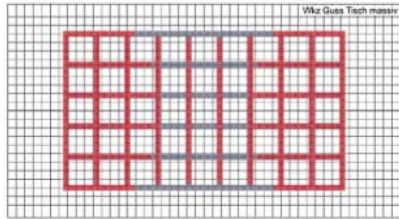
Wkz Stahl
S-Tisch
massiv



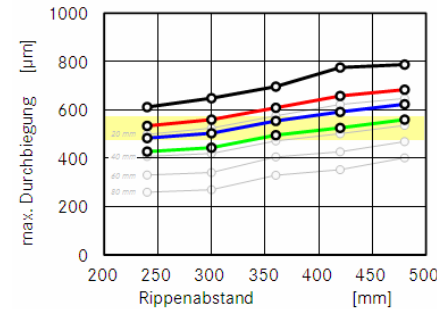
Gliederung

- o Einleitung/Motivation
- o Steifigkeit Umformmaschine
- o Steifigkeit Umformwerkzeug
- Haupteinflüsse
- o Zusammenfassung

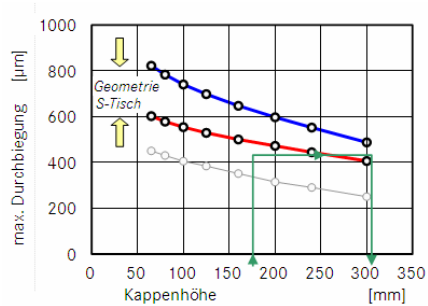
Zusammenfassung



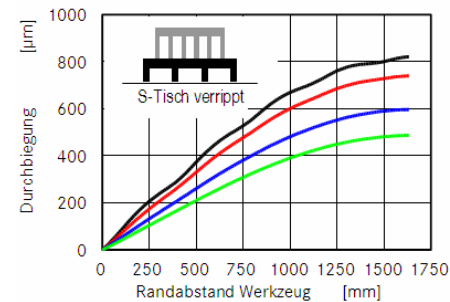
Gutes Tragverhalten wird dann erreicht, wenn das Werkzeug weicher als der Schiebetisch ist ...



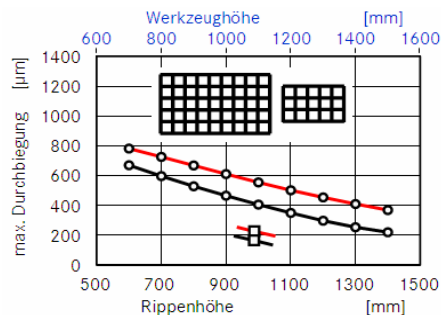
Zu einer bestimmten geforderten Werkzeugdurchbiegung gibt es mehrere Lösungen ...



Ein steifer Schiebetisch ermöglicht geringere Kappendicken ...



Bei geringen Kappendicken stellt sich eine wellige Oberfläche ein ...



Kleinere Werkzeuge haben bei gleicher Last und gleicher Höhe eine geringere Durchbiegung ...

... die Untersuchungen werden fortgeführt ...



Innovative Methoden zur Auslegung von Umformwerkzeugen im Fahrzeugbau (IMAUF)

ein vom BMBF im Zeitraum von
2007 bis 2010 gefördertes Verbundprojekt



**Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!**