

Messgenauigkeit von Einflankenprüfmaschinen für Kegelräder

Measuring accuracy of
single-flank gear roll inspection machines
for bevel gears



Firma GEARTEC.CZ bietet verschiedene Kegelradprüfgeräte im Bereich 100 – 2500 mm

GEARTEC.CZ offers various inspection machines for bevel gears from 100 – 2500 mm

GTB100



GTB1600



GTB500



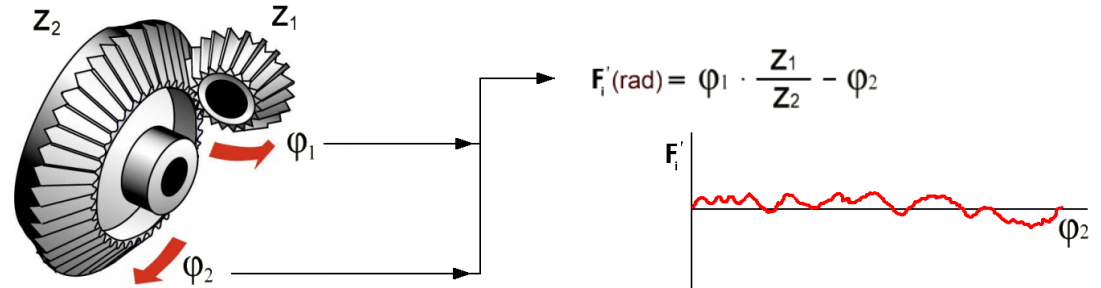
GTB1250



Einflankenmessung - Prinzip

Single-flank measuring - principle

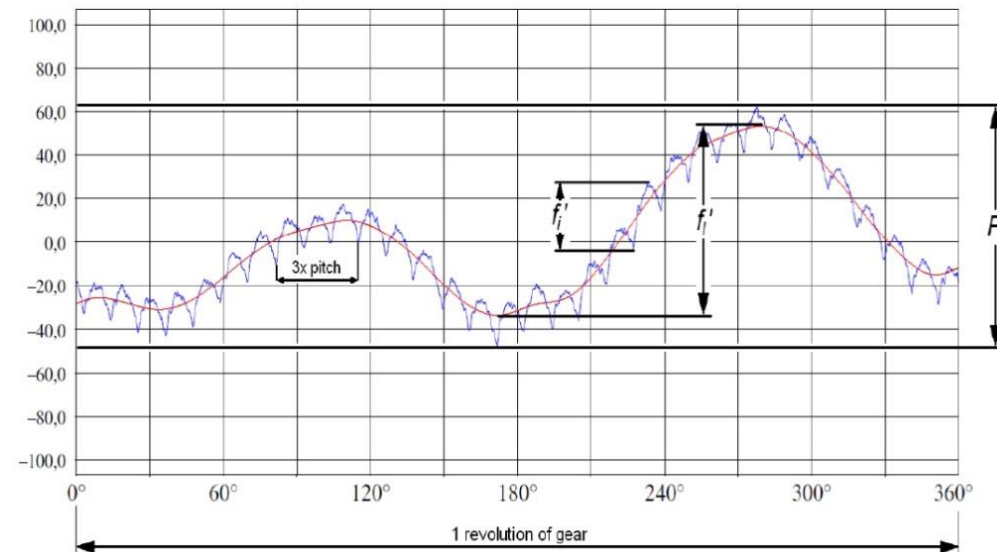
- › Einbaumass ist während Messung konstant
Mounting distance is constant during measurement
- › Linke und rechte Flanke werden separat gemessen
Left and right flank are measured separately
- › Hochgenaue Rotationsgeber für die Spindelachse
High precision rotary encoder for spindle axis
- › Genauigkeit 1 wsec - 1 µm am Durchmesser 200 mm
Accuracy 1 arcsec – 1 µm on diameter 200 mm
- › Messung des Übersetzungsfaktors
Measurement of transmission errors



$$F_i'(\mu\text{m}) = F_i'(\text{rad}) * \frac{D_2(\text{mm})}{2} * 1000$$

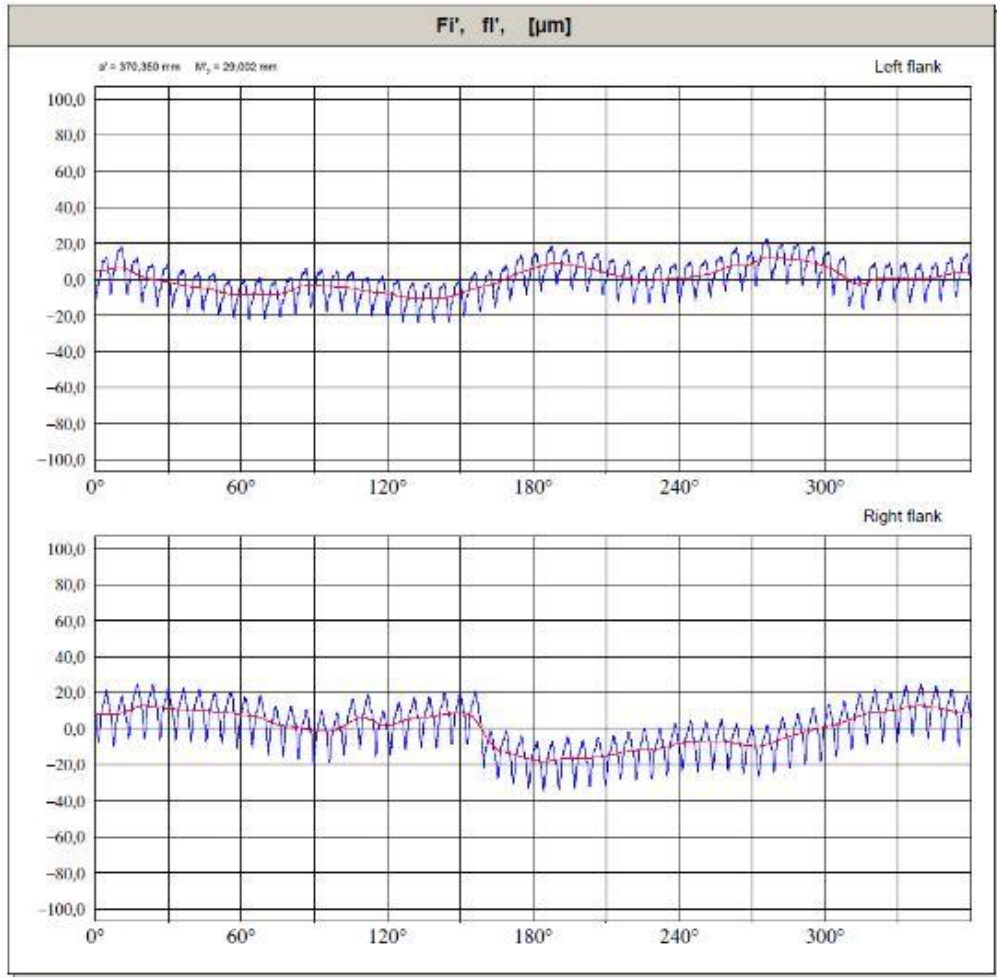
Single flank deviations

- F_i' - Einflanken-Wälzabweichung / Tangential composite deviation
- f_i' - Einflanken – Wälzsprung / Tooth to tooth composite deviation
- f_l' - Langwelliger Anteil / Longwave component of tangential composite deviation
- f_k' - Kurzwelliger Anteil / Shortwave component of tangential composite deviation
- j - Flankenspiel / Backlash

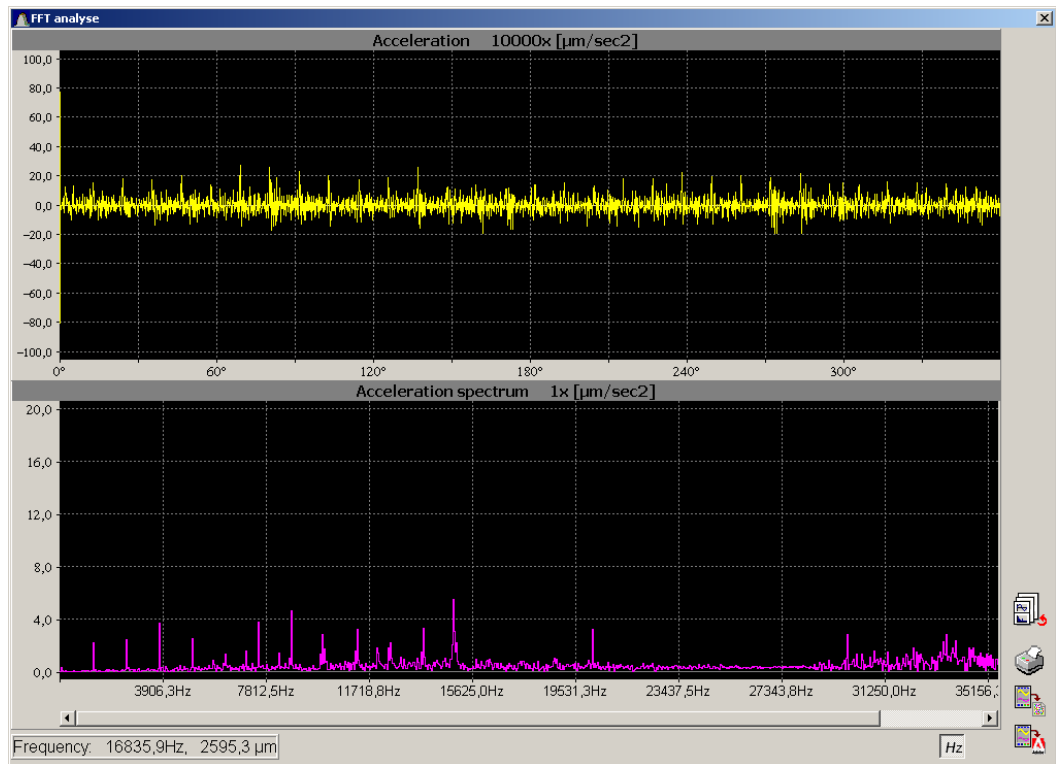
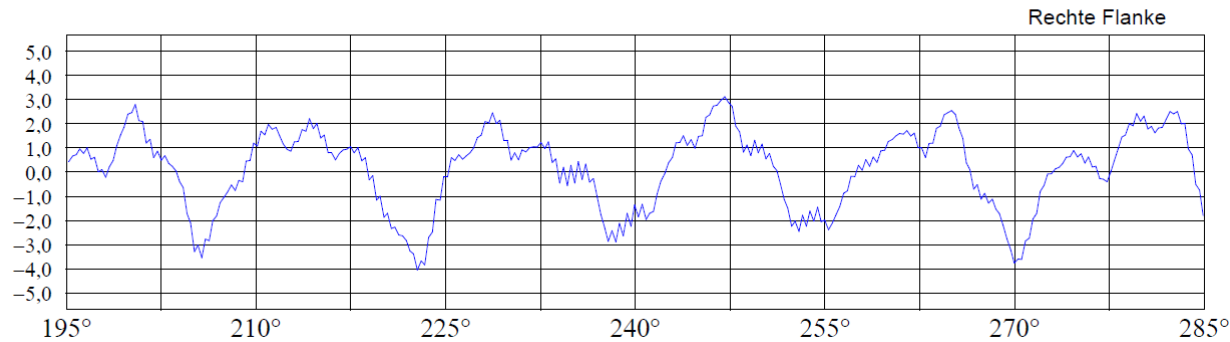


Mögliche Auswertungsdiagramme

Possible results



fk' - Kurzwelliger Anteil, [µm]

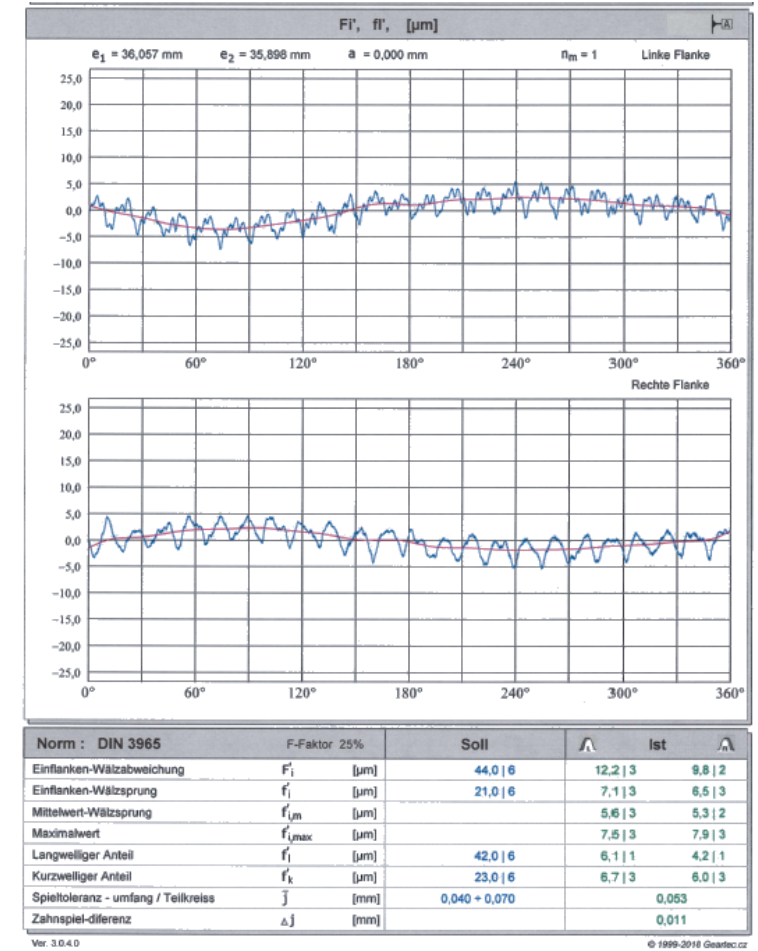
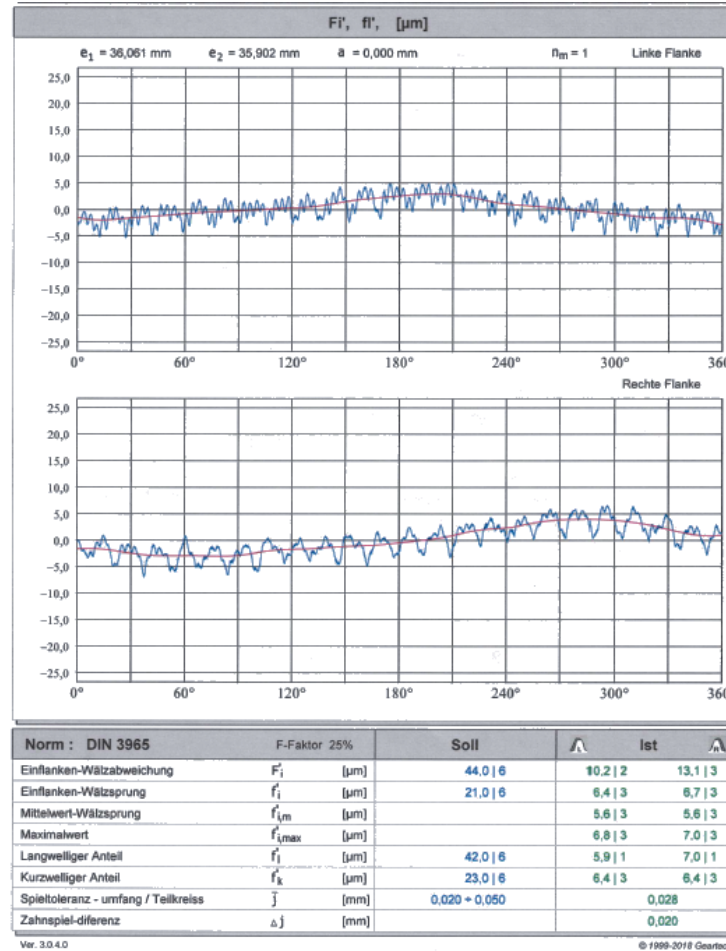


Unsere Erfahrungen zeigen

Our experience shows

Der gleiche Radsatz, gibt verschiedene Resultate

The same gear set provides with different results



Unsere Kunden kommen mit verschiedenen Fragen

Our customers rise following questions:

Gibt die Messmaschine die richtigen Resultate?

mögliche Ursachen von Ungenauigkeiten ...

Does the machine provide with correct results?

possible causes of inaccuracy ...

➤ Ungenaue Rotationsgeber

➤ Inaccurate rotation encoders

➤ Ungenaue Spannung

➤ Inaccurate clamping

➤ Zähnezahl

➤ Number of teeth

➤ Messgeschwindigkeit

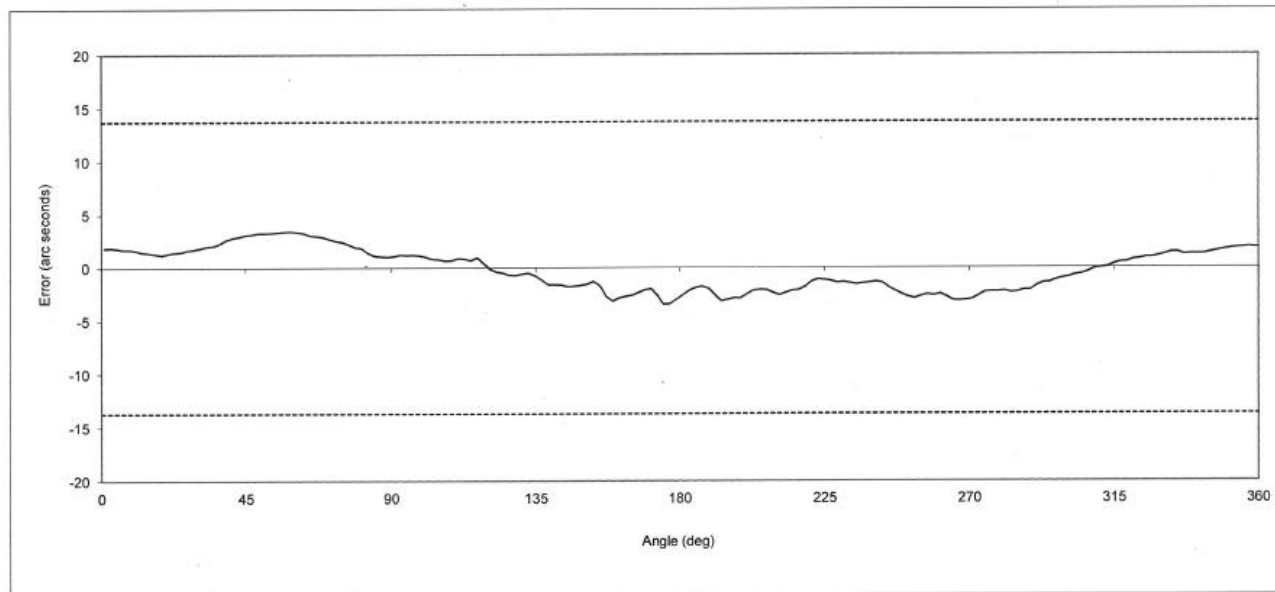
➤ Measuring speed

Ungenaue Rotationsgeber

Inaccurate rotation encoders

Pitch: 20 µm
Tested By: MJ
Test Date: 12/06/2017 at 21:12

Line Count: 23600
Angular Error: ± 3.4 arc sec
(Equivalent Linear Error: ± 1.3 µm)



Genauigkeitsprotokoll von Hersteller

Rotary encoder certificate by producer

Mögliche Fehler für Radsatz D = 50mm

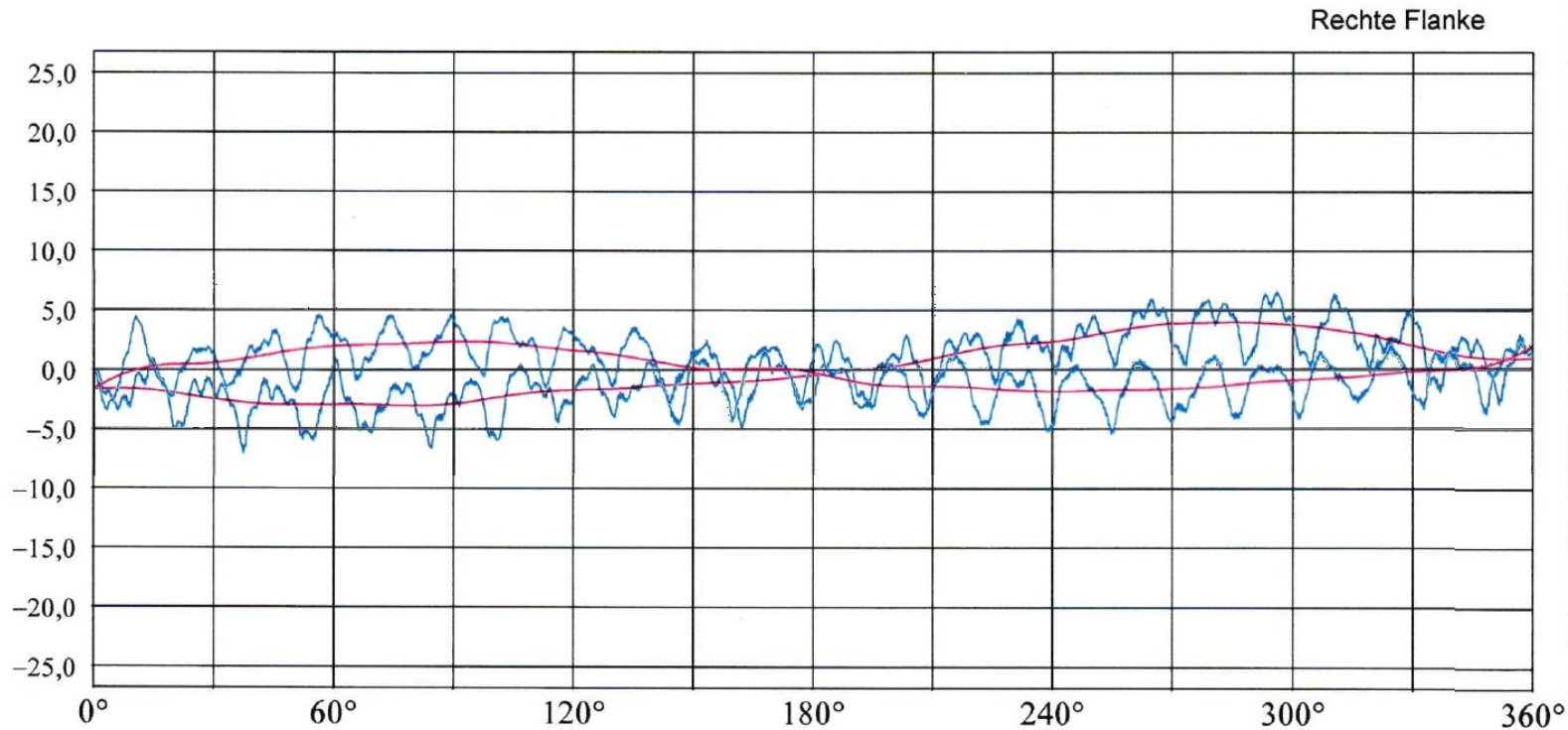
Possible error for gear set D = 50mm

$$\Delta f_l' = 50 * \frac{3,4}{3600} * \frac{\pi}{180} = 0,0008 \text{ mm}$$

Das gleiche Rad, zweimal gemessen

The same gear measured twice

$\Delta f'_i = 5 \mu\text{m}$
 = 41,25 arcsec



Norm : DIN 3965	F-Faktor 25%	Soll	Δ	Ist	Δ
Einflanken-Wälzabweichung	F'_i [μm]	44,0 6	10,2 2	13,1 3	
Einflanken-Wälzsprung	f'_i [μm]	21,0 6	6,4 3	6,7 3	
Mittelwert-Wälzsprung	$f'_{i,m}$ [μm]		5,6 3	5,6 3	
Maximalwert	$f'_{i,max}$ [μm]		6,8 3	7,0 3	
Langwelliger Anteil	f'_l [μm]	42,0 6	5,9 1	7,0 1	
Kurzwelliger Anteil	f'_k [μm]	23,0 6	6,4 3	6,4 3	
Spieltoleranz - umfang / Teilkreis	\bar{j} [mm]	0,020 + 0,050		0,028	
Zahnspiel-diferenz	Δj [mm]			0,020	

Ver. 3.0.4.0

© 1999-2018 Geartec.cz

Norm : DIN 3965	F-Faktor 25%	Soll	Δ	Ist	Δ
Einflanken-Wälzabweichung	F'_i [μm]	44,0 6	12,2 3	9,8 2	
Einflanken-Wälzsprung	f'_i [μm]	21,0 6	7,1 3	6,5 3	
Mittelwert-Wälzsprung	$f'_{i,m}$ [μm]		5,6 3	5,3 2	
Maximalwert	$f'_{i,max}$ [μm]		7,5 3	7,9 3	
Langwelliger Anteil	f'_l [μm]	42,0 6	6,1 1	4,2 1	
Kurzwelliger Anteil	f'_k [μm]	23,0 6	6,7 3	6,0 3	
Spieltoleranz - umfang / Teilkreis	\bar{j} [mm]	0,040 + 0,070		0,053	
Zahnspiel-diferenz	Δj [mm]			0,011	

Ver. 3.0.4.0

© 1999-2018 Geartec.cz

Leider, Protokoll vom Hersteller ist nicht richtig

Unfortunately, the certificate by the producer is not correct

Mögliche Lösung?

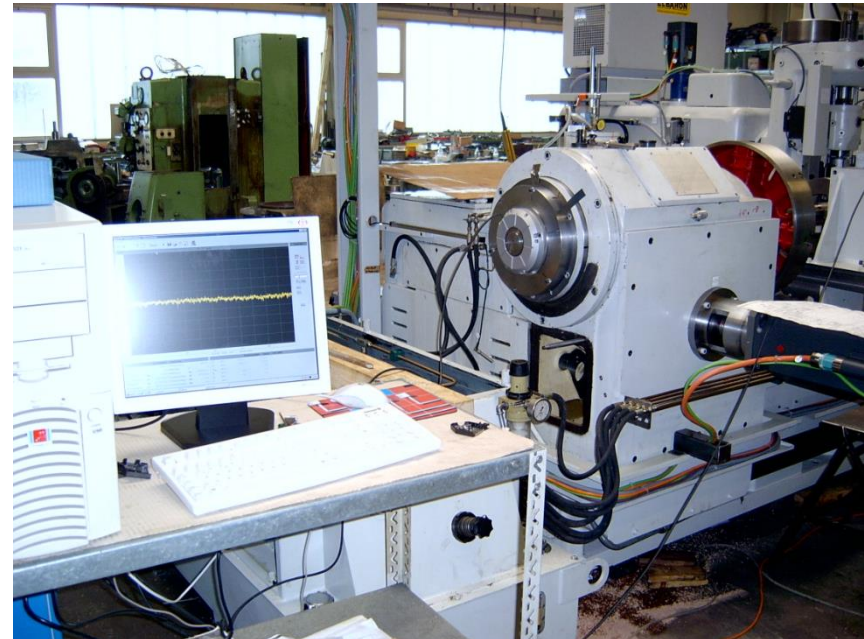
Selbstbau - hochgenaue Messeinheit entwickeln ...

Possible solution?

own construction – high accurate measuring unit development ...

Unsere GTM, mobile Einheit

Our GTM, mobile unit



Messung vom rotierenden Tisch

Measuring of rotary table

Messung in Ausgangslage, cw

Measuring in initial position, cw

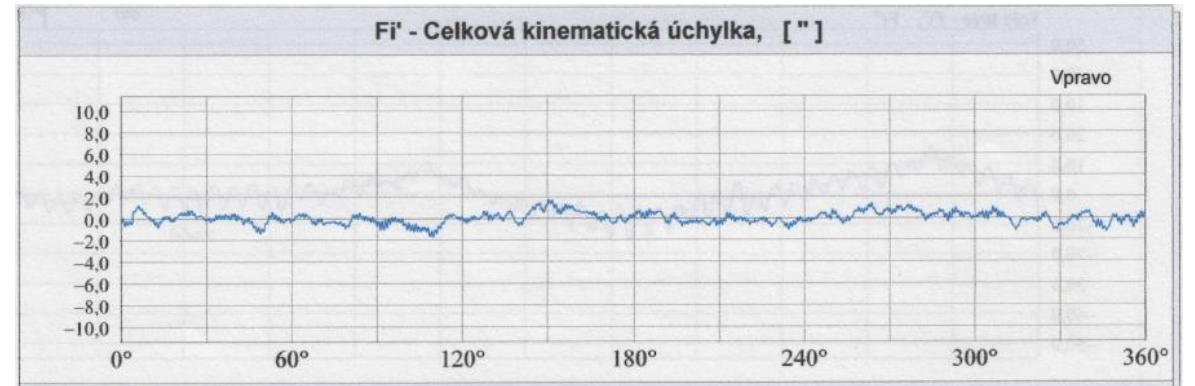
Messung +180 grad, cw

Measuring + 180 degree, cw

Messung allgemein, ccw

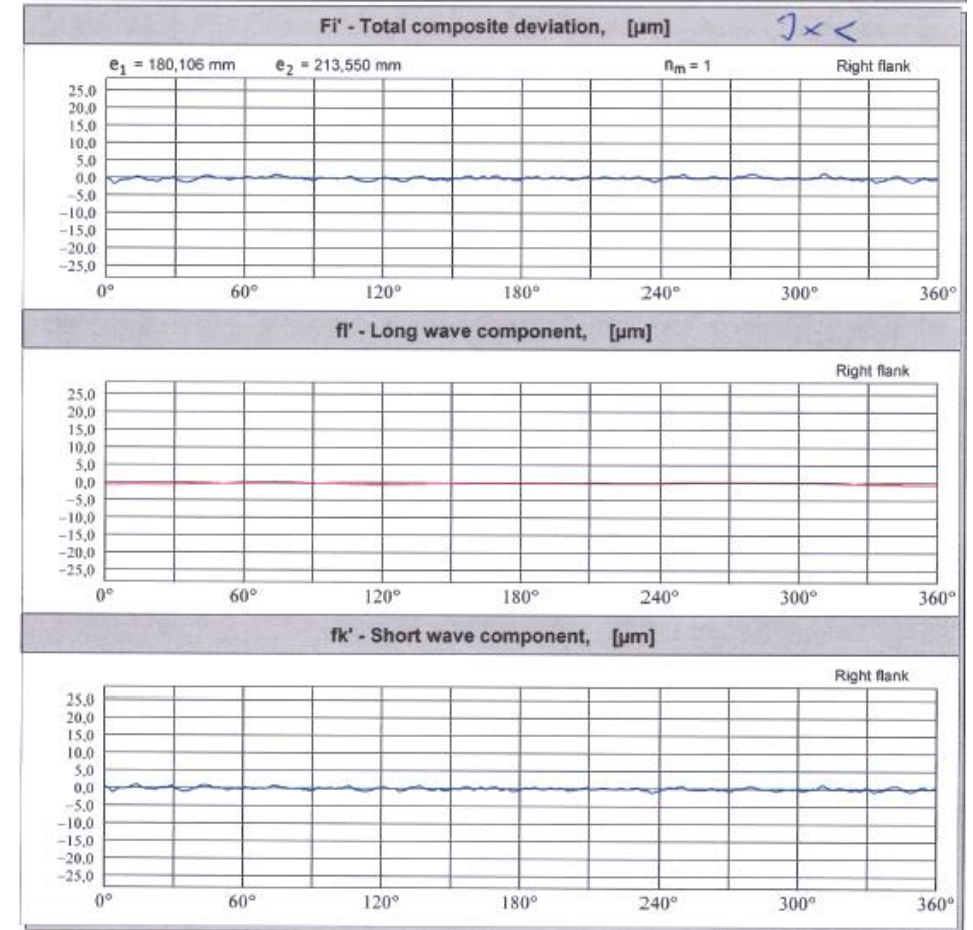
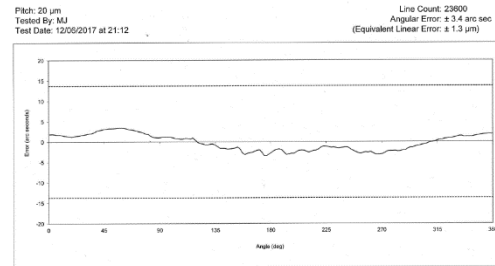
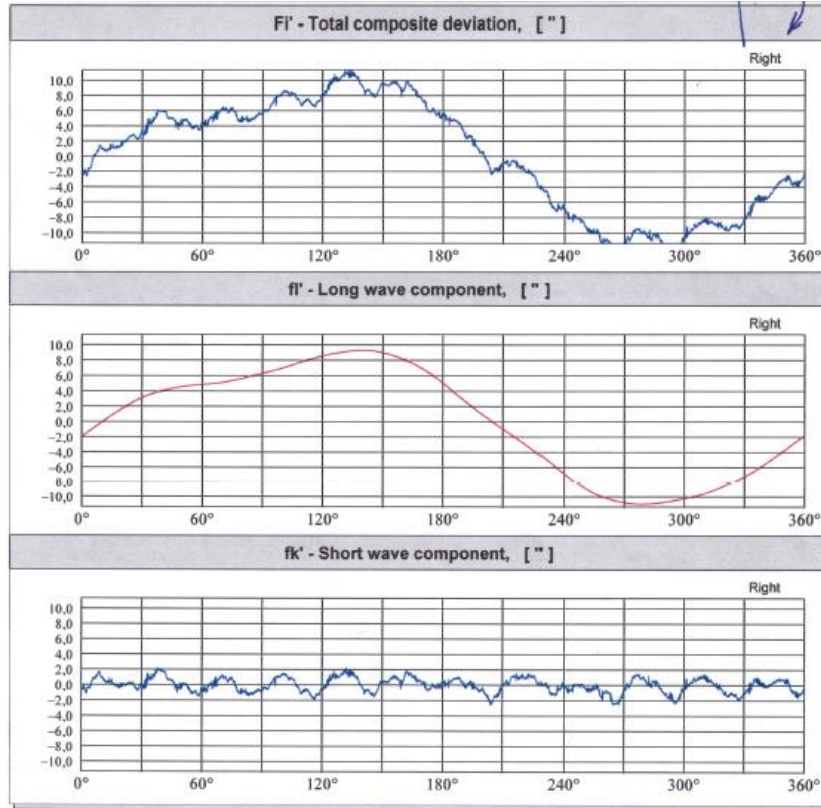
Measuring, whatever position, ccw

$$\Delta f_i' = 1 \text{ arcsec}$$



GTM ANALYSE: Rotationsgenauigkeit der Spindel

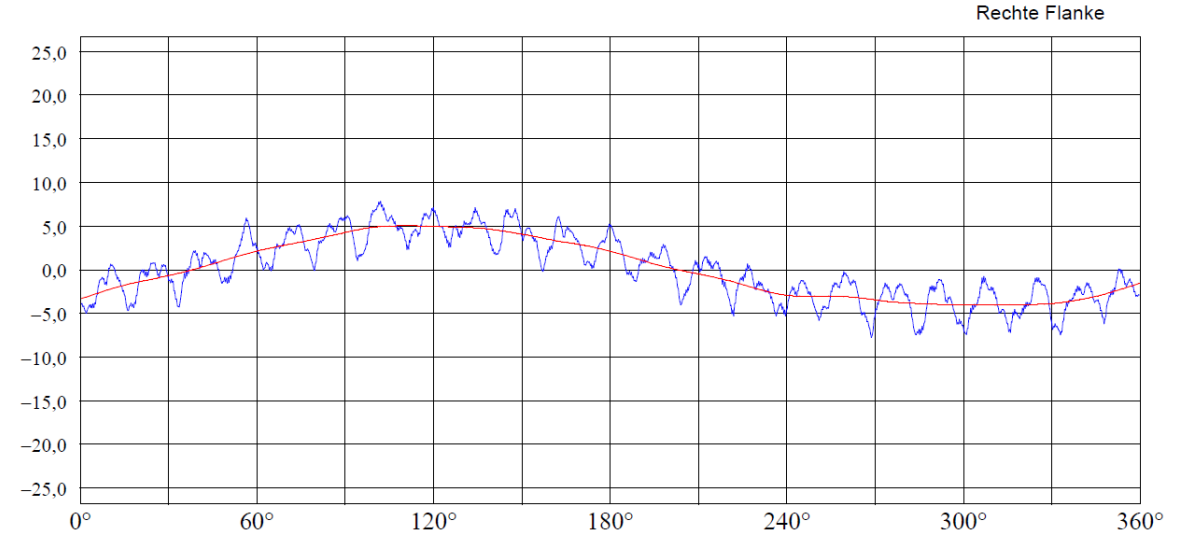
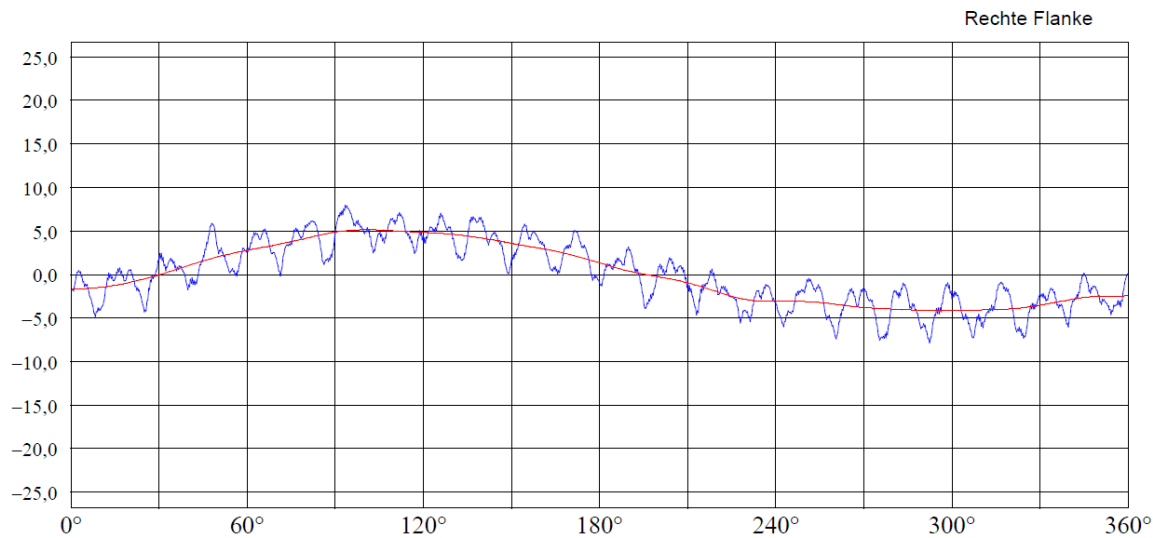
GTM ANALYSIS: Accuracy of spindle



Standard: DIN 3965	F-factor: 25%	Allowed	Measured
Total composite deviation	F_t' [µm]	85,0 6	2,6 1
Single flank composite dev.	f_i' [µm]	37,0 6	1,8 1
Mean value	$f_{i,m}$ [µm]		1,4 1
Max value	$f_{i,max}$ [µm]		2,2 1
Long wave component	f_l' [µm]	71,0 6	0,9 1
Short wave component	f_k' [µm]	42,0 6	1,7 1

Das gleiche Rad, zweimal gemessen mit GEARTEC Kompensation

The same gear measured twice with GEARTEC compensation



Norm : DIN 3965	F-Faktor 25%	Soll	f_L	Ist	f_R
Einflanken-Wälzabweichung	F'_i [μm]	44,0 6	15,2 3	15,5 3	
Einflanken-Wälzsprung	f'_i [μm]	21,0 6	6,7 3	7,1 3	
Mittelwert-Wälzsprung	$f'_{i,m}$ [μm]		5,8 3	5,8 3	
Maximalwert	$f'_{i,max}$ [μm]		7,5 3	7,6 3	
Langwelliger Anteil	f'_l [μm]	42,0 6	9,4 2	9,3 2	
Kurzwelliger Anteil	f'_k [μm]	23,0 6	6,5 3	6,7 3	
Spieltoleranz - umfang / Teilkreis	\bar{j} [mm]	0,020 + 0,050		0,027	
Zahnspiel-differenz	Δj [mm]			0,016	

Ver. 3.0.4.0

© 1999-2018 Geartec.cz

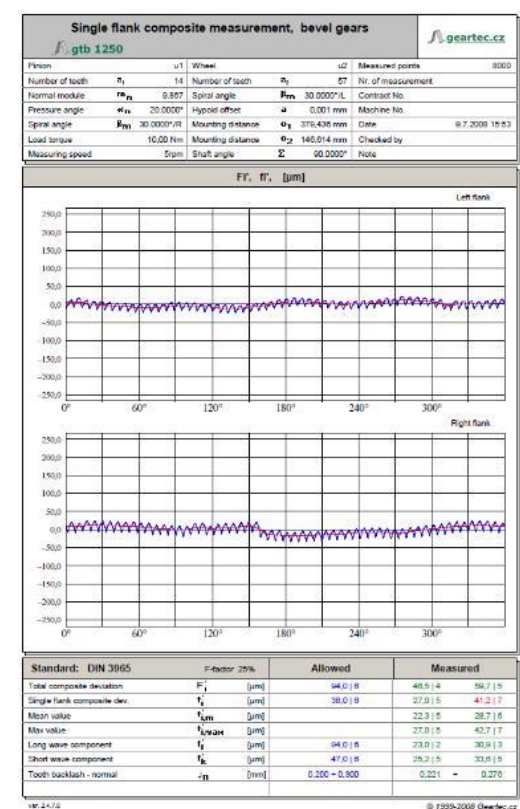
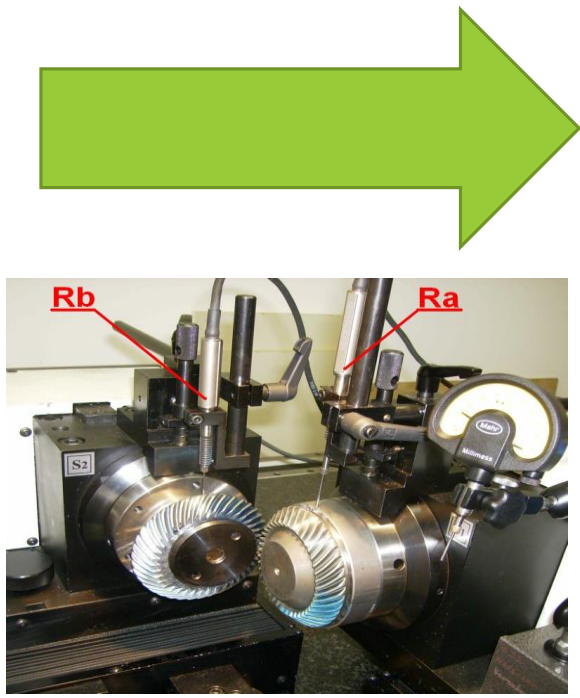
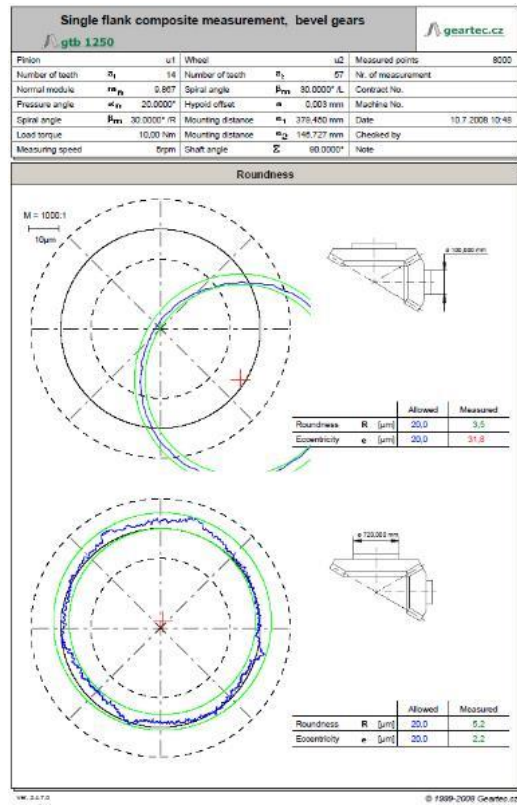
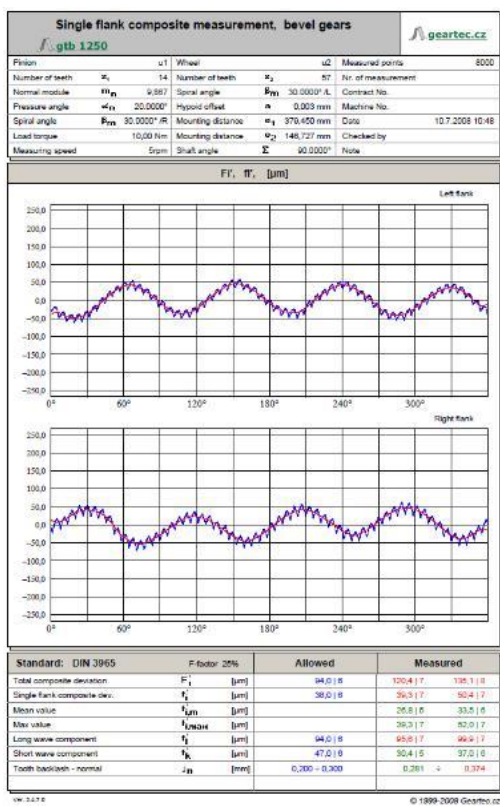
Norm : DIN 3965	F-Faktor 25%	Soll	f_L	Ist	f_R
Einflanken-Wälzabweichung	F'_i [μm]	44,0 6	14,9 3	15,3 3	
Einflanken-Wälzsprung	f'_i [μm]	21,0 6	7,2 3	7,0 3	
Mittelwert-Wälzsprung	$f'_{i,m}$ [μm]		5,8 3	5,9 3	
Maximalwert	$f'_{i,max}$ [μm]		7,3 3	7,5 3	
Langwelliger Anteil	f'_l [μm]	42,0 6	9,3 2	9,1 2	
Kurzwelliger Anteil	f'_k [μm]	23,0 6	6,5 3	6,7 3	
Spieltoleranz - umfang / Teilkreis	\bar{j} [mm]	0,020 + 0,050		0,027	
Zahnspiel-differenz	Δj [mm]			0,015	

Ver. 3.0.4.0

© 1999-2018 Geartec.cz

Weiteres Problem - Spanngenauigkeit

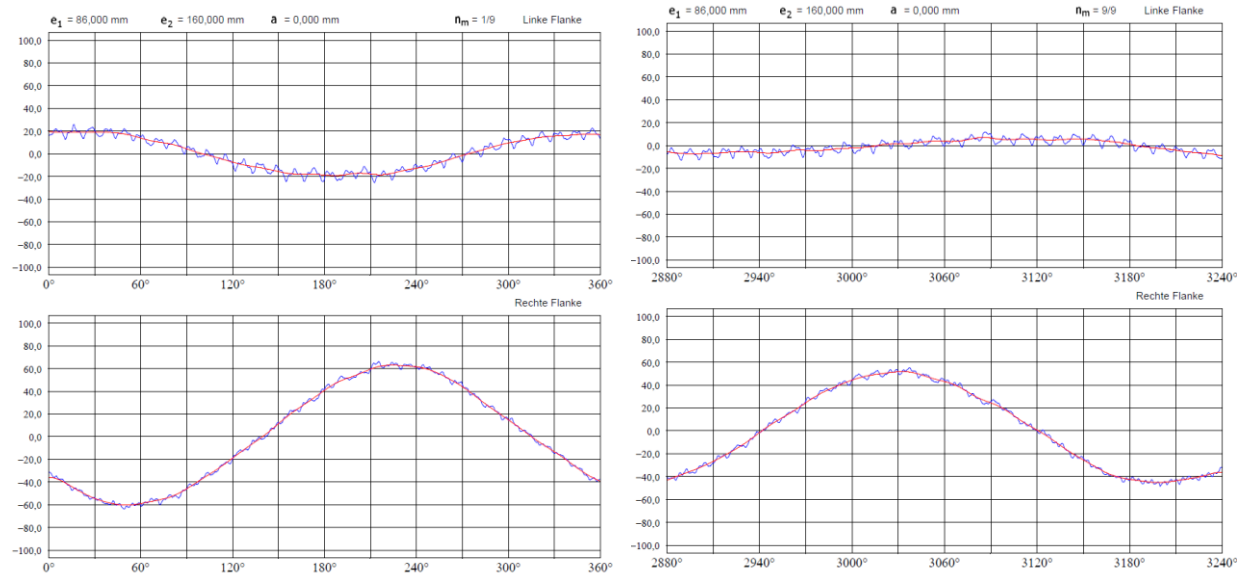
Another problem – clamping accuracy



Weiteres Problem – ungerade Zähnezahl

Another problem – commensurable number of teeth

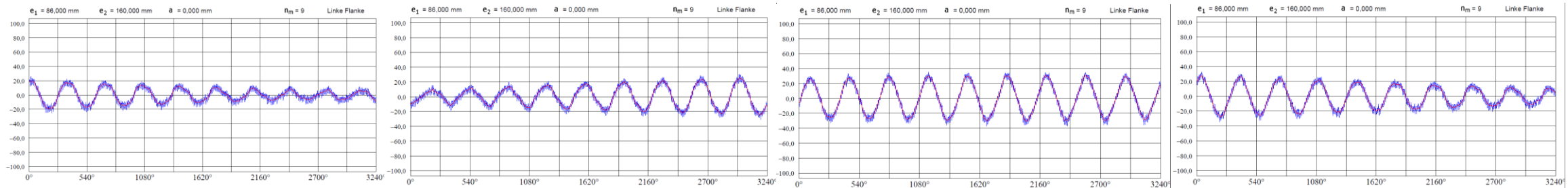
$z_1 = 31 \quad z_2 = 32$



$z_1 = 9 \quad z_2 = 49$

Optimale Messumdrehungen

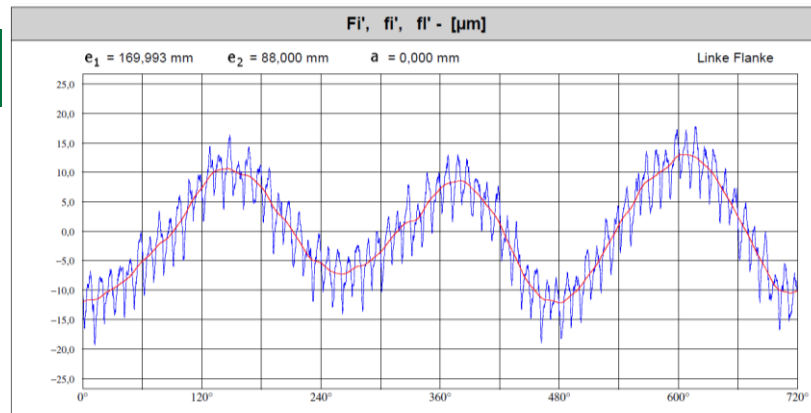
n_m	$i \cdot n_m$	Δz
9	49	0
2	11	1
7	38	1
4	22	2
5	27	2
3	16	3
6	33	3
1	5	4
8	44	4



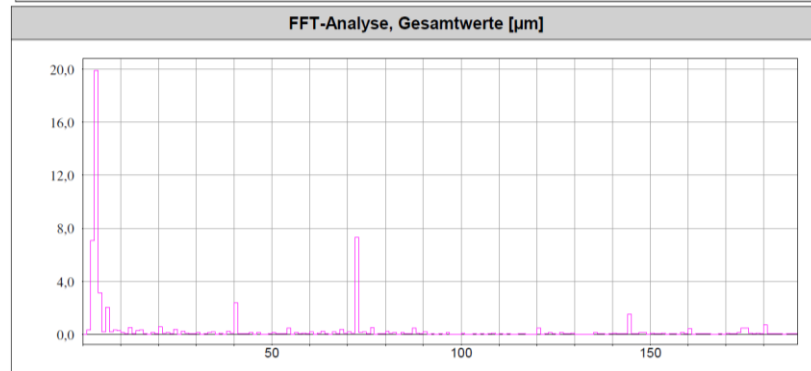
Optimale Messdrehzahlen

Optimal measuring speed

5 rpm



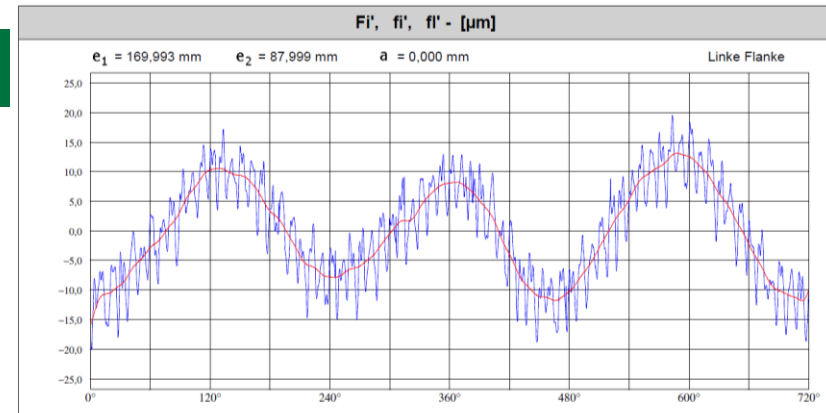
Norm : DIN 3965	F-Faktor 25%	Soll	Ist
Einflanken-Wälzabweichung	F'_i [μm]	63,0 6	35,9 5 28,6 4
Einflanken-Wälzsprung	f'_i [μm]	25,0 6	14,5 5 11,2 4
Mittelwert-Wälzsprung	$f'_{i,m}$ [μm]		10,1 4 8,4 3
Maximalwert	$f'_{i,max}$ [μm]		14,9 5 12,6 4
Langwelliger Anteil	f'_l [μm]	63,0 6	25,2 4 19,6 3
Kurzwelliger Anteil	f'_k [μm]	31,0 6	12,6 4 10,4 3
Spieltoleranz - umfang / Teilkreis	\tilde{j} [mm]	0,050 + 0,150	0,210
Zahnspiel-differenz	Δj [mm]		0,036



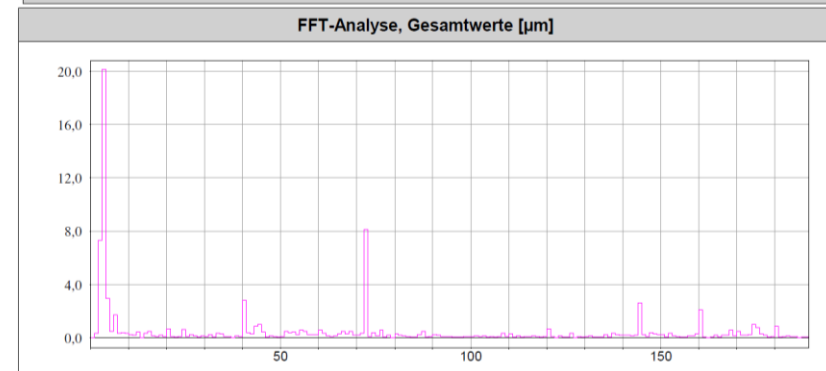
Ver. 3.0.6.0

© 1999-2018 Geartec.cz

60 rpm



Norm : DIN 3965	F-Faktor 25%	Soll	Ist
Einflanken-Wälzabweichung	F'_i [μm]	63,0 6	37,7 5 30,0 4
Einflanken-Wälzsprung	f'_i [μm]	25,0 6	15,3 5 12,3 4
Mittelwert-Wälzsprung	$f'_{i,m}$ [μm]		11,2 4 9,1 4
Maximalwert	$f'_{i,max}$ [μm]		17,3 5 16,8 5
Langwelliger Anteil	f'_l [μm]	63,0 6	26,6 4 20,4 3
Kurzwelliger Anteil	f'_k [μm]	31,0 6	13,9 4 11,2 4
Spieltoleranz - umfang / Teilkreis	\tilde{j} [mm]	0,050 + 0,150	0,204
Zahnspiel-differenz	Δj [mm]		0,044



Ver. 3.0.6.0

© 1999-2018 Geartec.cz



Unsere Empfehlung für Einflankenmessung

Our recommendation for single-flank measuring

- Ungenauigkeit von rotierenden Achsen messen und mathematisch kompensieren
Measure and mathematically compensate inaccuracy of rotation axis
- Nur hochgenaue Spannaufnahmen verwenden oder Spannungsungenauigkeit kompensieren
Use precise clamping fixtures or mathematically compensate inaccuracy of clamping
- Optimale Drehzahl verwenden
Measure optimal number of revolutions
- Optimale Messdrehzahlen verwenden
Measure with optimal measuring speed

VIELEN DANK / THANK YOU

Kamil Větrovec

info@geartec.cz

www.geartec.cz