



ISO Normung Kegelräder: Überblick und Gedanken zur Methode „A“

Dr. Joachim Thomas, ZG Hypoid GmbH



- 1. ISO Normung Kegelräder**
- 2. Berechnungsmethoden B...C**
- 3. Beispielrechnung**
- 4. Schlussfolgerungen**



1. ISO Normung Kegelräder

ISO/TC60/SC2: Tragfähigkeitsberechnung

ISO

International Standard Organisation

TC 60

Technical Committee: Getriebe
Sekretariat: ANSI
Vorsitz: Thomas Maiuri

SC 1

Sub Committee: Nomenklatur u. Schneckengetriebe
Sekretariat: BSI
Vorsitz: Dr. Paul Bradley

SC 2

Sub Committee: Tragfähigkeitsberechnung
Sekretariat: DIN
Vorsitz: Dr. Ralf Möllendorf



1. ISO Normung Kegelräder

ISO/TC60/SC2/WG13: Kegelräder

WG 13

Working Group: Kegelräder

Vorsitz: Dr. Joachim Thomas

Delegierte:

USA: Claus Weyand, Amir Aboutaleb (AGMA)

UK: N.N.

Japan: Ryohei Takeda

Finnland: Jesse Rontu

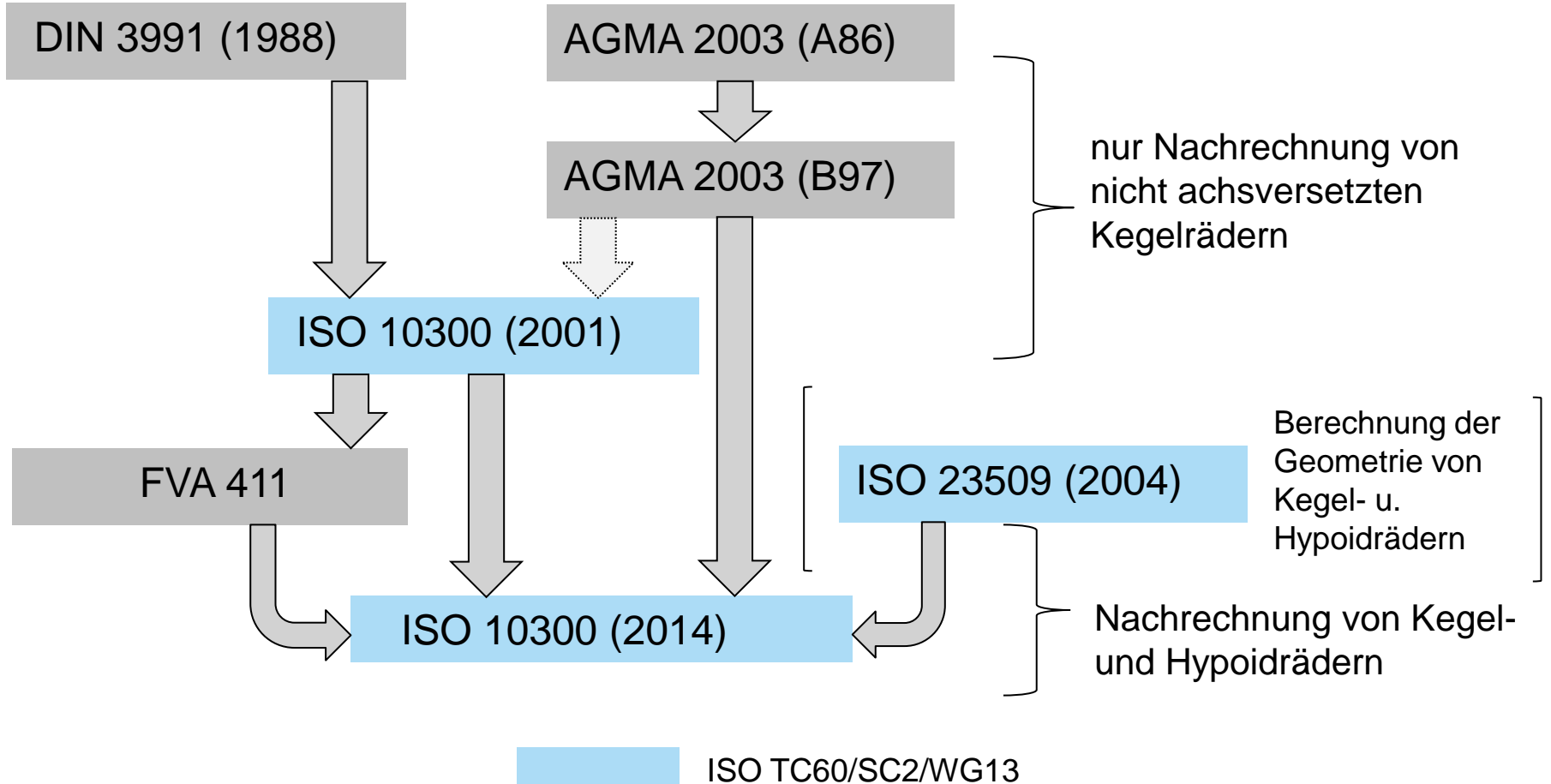
Schweiz: Jürg Langhart

Deutschland: Dr. Ralf Hess, Rudolf Houben,
Josef Pellkofer, N.N. (DIN / VDMA)



1. ISO Normung Kegelräder

Tragfähigkeitsberechnung v. Kegelrädern



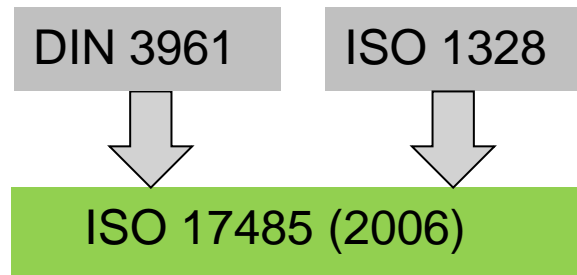


1. ISO Normung Kegelräder

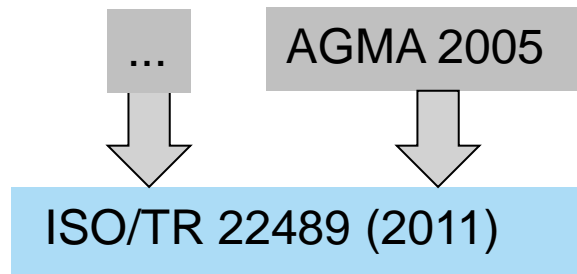
Tragfähigkeitsberechnung v. Kegelrädern



Zusätzliche Normen bzw. Empfehlungen:

Toleranzen für Kegel- und Hypoidräder



Technischer Report:
Konstruktionsempfehlungen
für Kegelradgetriebe



-  ISO TC60/SC1/WG2 (Ad hoc: Bevel Gears)
-  ISO TC60/SC2/WG13



1. ISO Normung Kegelräder

Tragfähigkeitsberechnung v. Kegelrädern

Festigkeitsrechnung	ISO 10300-1 (2014)	Einführung und allgem. Einflussfaktoren
	ISO 10300-2 (2014)	Zahnflankentragfähigkeit (Grübchen)
	ISO 10300-3 (2014)	Zahnfußtragfähigkeit
	ISO/TS 10300-4	Flankenbruchtragfähigkeit
Tribologie	ISO/TS 10300-20	Fresstragfähigkeit
	ISO/TS 10300-22	Graufleckentragfähigkeit
Beispiele	ISO/TR 10300-30	Beispielrechnungen zu den Teilen 1...3
	ISO/TR 10300-32	Beispielrechnungen zur Fresstragfähigkeit



gültig



in Arbeit



geplant



1. ISO Normung Kegelräder

Methoden in der Norm

Method A	die genaueste, höchstwertige Rechenmethode, bzw. nachgewiesene Tragfähigkeit am Realbauteil, z.B. durch (Spannungs-)Messungen.
Method B	die beste (vereinfachte) Rechenmethode
Method C	eine weiter vereinfachte Rechenmethode
Method D...	...

- In der ISO 10300 sind Methoden B und für manche Faktoren Methoden C wiedergegeben.
- Ziel ist es immer, die Methoden so weiter zu entwickeln, dass sie sich der Methode A bestmöglich annähern.
- Es immer erlaubt, auch einzelne Faktoren mit Hilfe einer höheren Methode zu bestimmen, wenn eine solche zur Verfügung steht. Dabei besteht die Schwierigkeit, ob eine solche Methode ggf. auch bei Geschäftspartnern anerkannt ist.
- Fragestellung: Wie nah ist die Methode B1 der ISO 10300 an der Methode A?



1. ISO Normung Kegelräder
2. Berechnungsmethoden B...C
3. Beispielrechnung
4. Schlussfolgerungen



2. Berechnungsmethoden B...C

Sicherheiten

$$S_{H 1,2} = \frac{\sigma_{HP 1,2}}{\sigma_{H 1,2}} \geq S_{H, \min}$$

- S_H : Grübchensicherheit
- σ_{HP} : Zulässige Flankenpressung
- σ_H : Flankenpressung
- $S_{H, \min}$: minimale Grübchensicherheit

$$S_{F 1,2} = \frac{\sigma_{FP 1,2}}{\sigma_{F 1,2}} \geq S_{F, \min}$$

- S_F : Sicherheit gegen Zahnfußbruch
- σ_{FP} : Zulässige Zahnfußspannung
- σ_F : Zahnfußspannung
- $S_{F, \min}$: minimale Zahnfußbruchsicherheit



2. Berechnungsmethoden B...C

Spannungen

Method B1

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_n}{l_{bm} \cdot \rho_{ers}}} \cdot Z_E \cdot Z_{LS} \cdot Z_{M-B} \cdot \sqrt{K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot Z_K}$$

a)

b)

c)

Method B1

$$\sigma_{F1,2} = \frac{F_{vmt}}{b_v \cdot m_{mn}} \cdot Y_{Fa1,2} \cdot Y_{Sa1,2} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_{BS} \cdot Y_{LS} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha}$$

a)

b)

c)

- a) : Kräfte, Geometrie
- b) : (Geometrische) Einflussfaktoren
- c) : Kraftfaktoren
- Z_K : Kegelradfaktor = 0,85

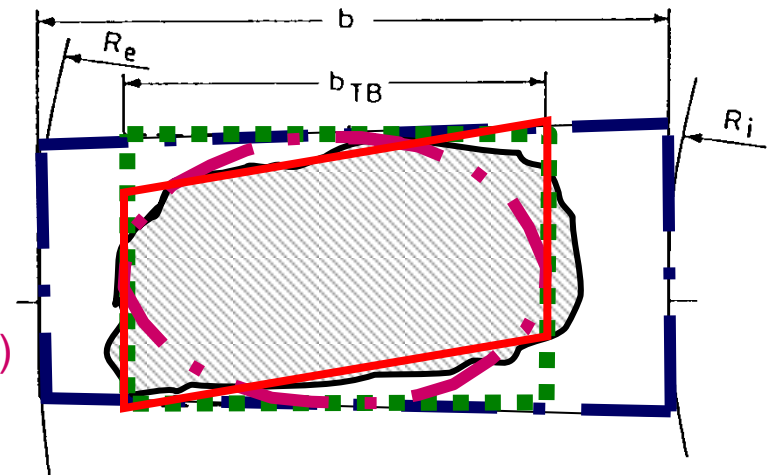
→ Einfluss der tragenden Zahnbreite bzw. der Breitenballigkeit

2. Berechnungsmethoden B...C

Eingriffsfeld

- 0) max. Eingriffsfeld (ohne Balligkeit)
- 1) Beispiel eines realen Eingriffsfeldes
- 2) quadratisches Eingriffsfeld DIN 3991
- 3) elliptisches Eingriffsfeld AGMA u. ISO 10300 (01)
- 4) Eingriffsfeld n. FVA 411: Parallelogramm

Eingriffsfeld (schematisch)



ISO 10300 (2014):

Methode B1 wie 4); Tragbildbreite b_{TB} abhängig von der „effektiven“ Tragbildbreite

- Wenn die tatsächlich Tragbildbreite unbekannt ist, dann kann üblicherweise ein Wert von $0.85 b$ verwendet werden.
- Das ist keine Vorschrift aus der Norm, lediglich eine Empfehlung.
- In der Realität ist die Tragbildbreite von der Breitenballigkeit abhängig und ist für jeden Lastfall unterschiedlich groß.



2. Berechnungsmethoden B...C

Kraftfaktoren

$$K_A \cdot K_V \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha}$$

für die Grübchensicherheit

$$K_A \cdot K_V \cdot K_{F\beta} \cdot K_{F\alpha}$$

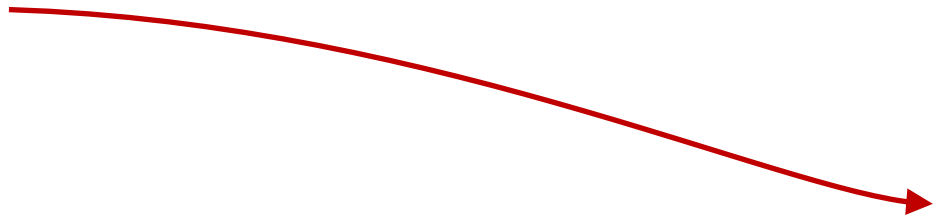
für die Zahnfußsicherheit

K_A : Anwendungsfaktor

K_V : Dynamikfaktor

$K_{H\beta}, K_{F\beta}$: Lastverteilungsfaktoren

$K_{H\alpha}, K_{F\alpha}$: Profillastfaktoren



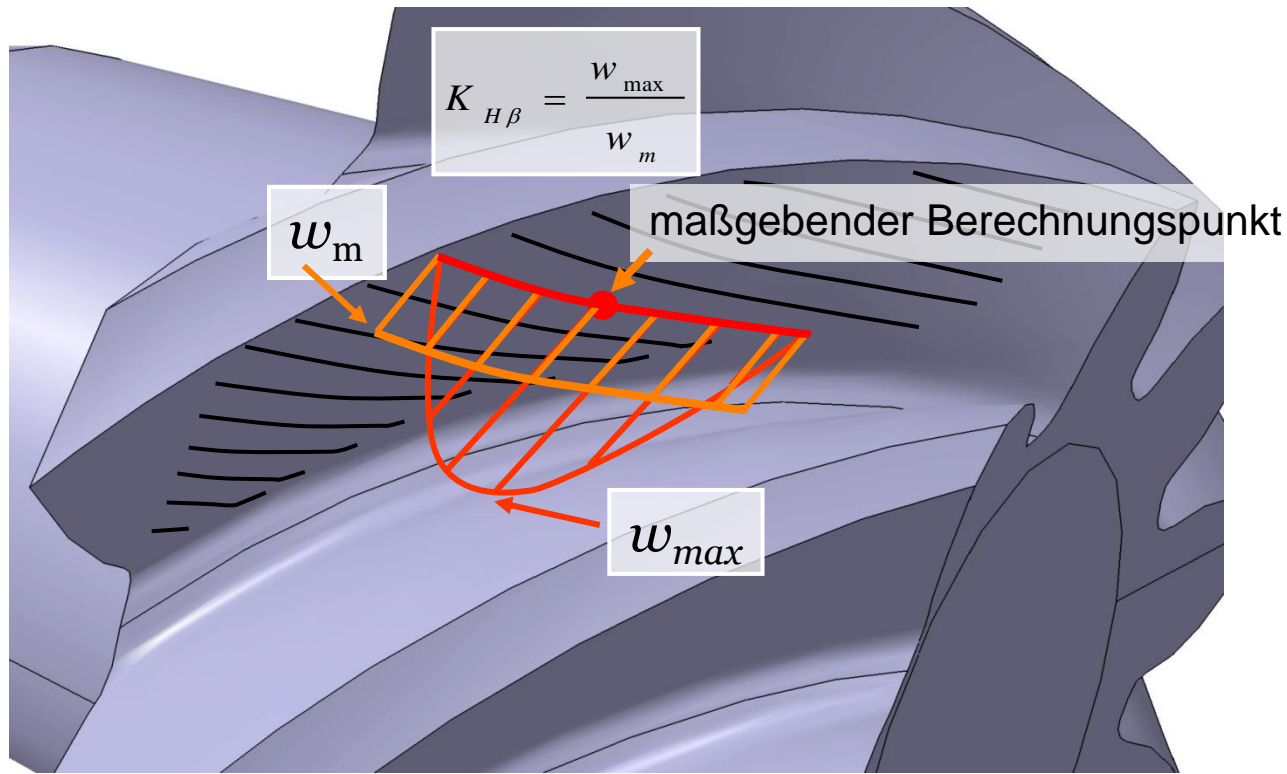


2. Berechnungsmethoden B...C

Lastverteilungsfaktor $K_{H\beta}$

Der **Lastverteilungsfaktor** $K_{H\beta}$ berücksichtigt ungleichförmige Lastverteilung auf der Flanke.

Definition:



w_{\max} : maximale Linienlast

w_m : mittlere, auf die Traglinienlänge bezogene Linienlast



2. Berechnungsmethoden B...C

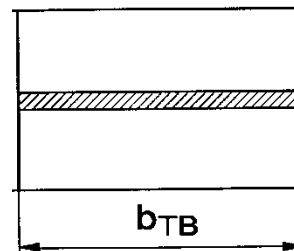
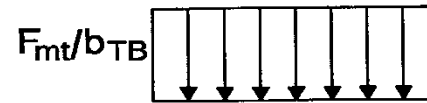
Lastverteilungsfaktor $K_{H\beta}$

Für Lastverteilungsfaktoren sind in der ISO 10300 nur Angaben für die Methode C enthalten, aber es wird darauf hingewiesen, dass Methode B eine Last-Zahnkontaktanalyse (LZKA) sein könnte.

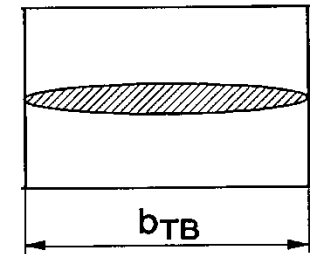
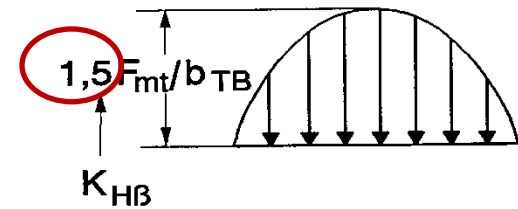
Methode C: $K_{H\beta-C} = 1,5 K_{H\beta-be}$

➤ **Balligkeit.**

ohne Balligkeit



mit Balligkeit



➤ **Achsverlagerungen** aufgrund der Montagebedingungen, z.B. Lagerungsart:



2. Berechnungsmethoden B...C

Montagefaktor $K_{H\beta-be}$

Der **Montagefaktor** $K_{H\beta-be}$ berücksichtigt die Verlagerungen von Rad und Ritzel unter Last aufgrund der Anordnung der Lagerungen:

Verification of contact pattern	Mounting conditions of pinion and gear		
	both straddle mounted	one cantilever - one straddle mounted	both cantilever mounted
Contact pattern is checked:			
For each gear set in its carrier under full load	1.00	1.00	1.00
For each gear set under light test load	1.05	1.10	1.25
For a sample gear set and estimated for full load	1.20	1.32	1.50
Note: Based on optimum tooth contact pattern under maximum operating load as evidenced by results of a deflection test on the gears in their respective mountings.			

Oft verwendeter Wert für die Berechnung nach ISO 10300:

$$K_{H\beta-C} = 1,5 \cdot 1,1 = 1,65$$

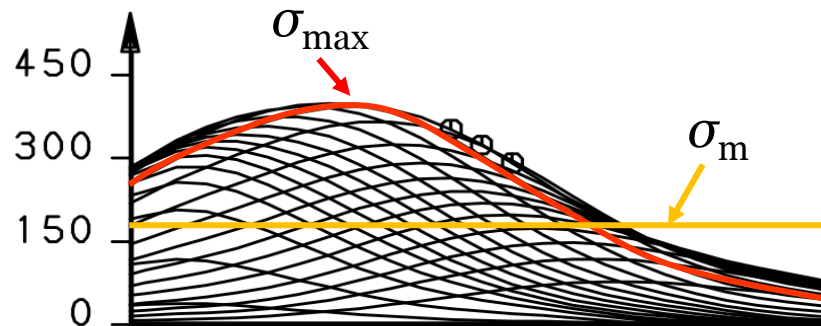
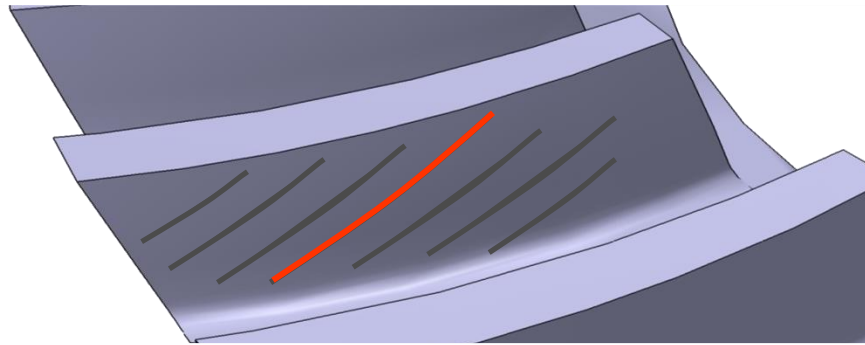


2. Berechnungsmethoden B...C

Lastverteilungsfaktor $K_{F\beta}$

Der **Lastverteilungsfaktor** $K_{F\beta}$ berücksichtigt die ungleichförmige Verteilung der Belastung am Zahnfuß.

Definition:



$$K_{F\beta} \cdot Y_{BS} = \frac{\sigma_{F \max}}{\sigma_{Fm}}$$

σ_{Fmax} : maximale Zahnfußspannung

σ_{Fm} : mittlere Zahnfußspannung



2. Berechnungsmethoden B...C

Lastverteilungsfaktor $K_{H\beta}$

Für Lastverteilungsfaktoren sind in der ISO 10300 nur Angaben für die Methode C enthalten, aber es wird darauf hingewiesen, dass Methode B eine Last-Zahnkontaktanalyse (LZKA) sein könnte.

Method C: $K_{F\beta-C} = K_{H\beta-C} / K_{F0}$

mit K_{F0} : Breitenkrümmungsfaktor

“Der Breitenkrümmungsfaktor K_{F0} berücksichtigt die Verlagerung des Tragbildes unter verschiedenen Belastungen, die am geringsten ist, wenn die Längskrümmung am Auslegungspunkt der einer Evolventenkurve entspricht. Dieser Effekt ist gemeinhin bekannt und hängt vom Werkzeugradius r_{c0} und vom Spiralwinkel β_{m2} ab.” (Source: ISO 10300-1 (2014)).

$1,00 \leq K_{F0} \leq 1,15$: das bedeutet, dass der maximale Effekt eines kleinen Werkzeugradius 15% beträgt.



1. ISO Normung Kegelräder
2. Berechnungsmethoden B...C
3. Beispielrechnung
4. Schlussfolgerungen



3. Beispielrechnung

Verzahnungs- und Belastungsdaten

	Ritzel		Rad	
Zahnezahlen	8		53	-
Achsenwinkel		90.0000		Grad
Achsversatz		36.0000		mm
mittlerer Normalmodul		5.8000		mm
mittlerer Schraegungswinkel	-50.2148		40.0533	Grad
Teilkegelwinkel	12.0711		77.7424	Grad
Kopfkegelwinkel	12.0711		77.7424	Grad
Fusskegelwinkel	12.0711		77.7424	Grad
Eingriffswinkel Zug	20.0000		20.0000	Grad
Eingriffswinkel Schub	20.0000		20.0000	Grad
Spiralrichtung	LH		RH	-
Zahnbreite	75.0000		70.0000	mm
mittlere Teilkegellaenge	173.3654		205.4823	mm
aueszere Teilkreisdurchmesser	88.1944		470.0000	mm
aueszere Zahnhoehe	13.0500		13.0500	mm
Profilverschiebungsfaktor	0.1300		-0.1300	-
Zahndickenaenderungsfaktor	0.0305		-0.0655	-
Normalzahndickensehne	9.9357		7.8015	mm
Betriebsart	Zug			
treibendes Rad	Ritzel			
Werkstoff	18CrNiMo7-6		18CrNiMo7-6	-
Schmierstoff		ISO-VG-220		-
Achswinkelabweichungen		0.0000		Grad
Achslageabweichungen		0.0000		mm
axiale Verschiebung	0.0000		0.0000	mm
Drehmoment	4000.0000		26500.0000	Nm
Drehzahl	331.0000		49.9623	1/min
Leistung		138.6490		kW
Geforderte Lebensdauer		2.0000		h
Lastwechselzahl	0.0397		0.0060	Mio.



3. Beispielrechnung

ISO10300 Methode B(C)

Eingaben für die erste Berechnung nach ISO10300 (Methode B1):

Rel. Tragbildbreite:

$$b_{\text{eff}} = 0,85 b$$

Lagerungsfaktor:

$$K_{\text{H}\beta\text{-be}} = 1,1$$

Methode C

=>

$$K_{\text{H}\beta\text{-C}} = 1,65$$

Methode C

=>

$$K_{\text{F}\beta\text{-C}} = 1,435 \quad \text{mit } K_{\text{F}0} = 1,15$$

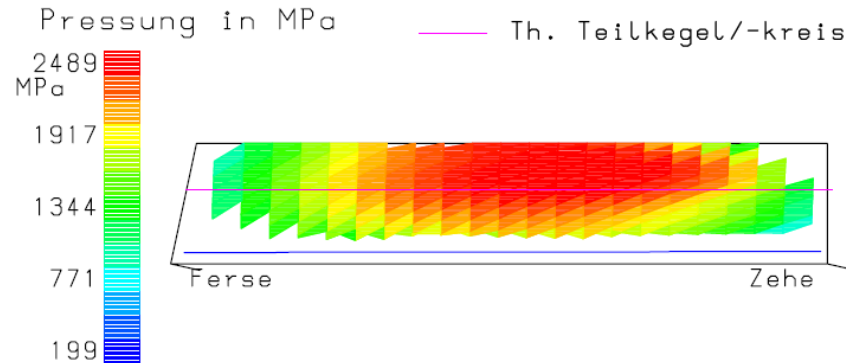
Ergebnisse:

		Wert-Ritzel	Wert-Rad
Grübchentragfähigkeit			
Nennflankenpressung, sig_H0-ISO	[N/mm ²]	1850,749	1850,749
Maßgebende Flankenpressung, sig_H-ISO	[N/mm ²]	2377,330	2377,330
Grenzfestigkeit, sig_Hlim-ISO	[N/mm ²]	1510,000	1510,000
Zulässige Flankenpressung, sig_HP-ISO	[N/mm ²]	2281,617	2281,617
Sicherheit gegen Grübchen, S_H-ISO	[-]	0,960	0,960
Fußtragfähigkeit			
Fußrundungsradius, rho_f	[-]	2,760	1,969
Nennfußspannung, sig_F0	[N/mm ²]	884,708	984,672
Maßgebende Fußspannung, sig_F	[N/mm ²]	1269,364	1412,791
Grenzfestigkeit, sig_Flim	[N/mm ²]	500,000	500,000
Zulässige Fußspannung, sig_FP	[N/mm ²]	1673,460	2098,104
Sicherheit gegen Fußbruch, S_F	[-]	1,318	1,485



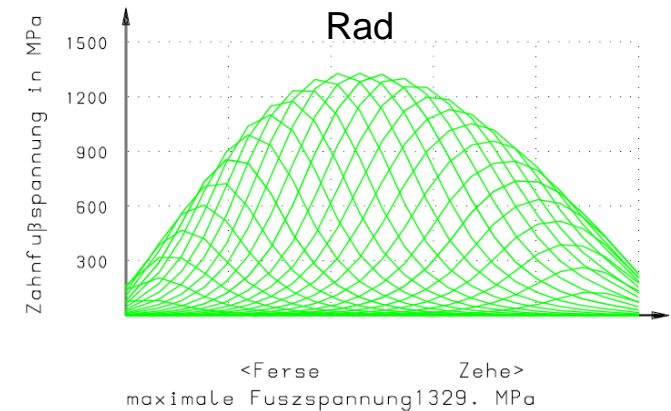
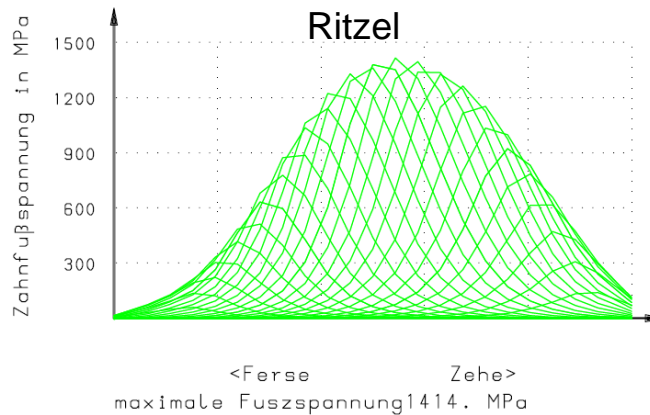
3. Beispielrechnung

Becal*) LZKA - Vergl. zu ISO (Methode B/C)



ISO (Meth. B/C):

$$\sigma_{H_ISO} / Z_K = 2796,86 \text{ MPa}$$



ISO (Meth. B/C):

$$\sigma_{F1_ISO} = 1296,36 \text{ MPa}$$

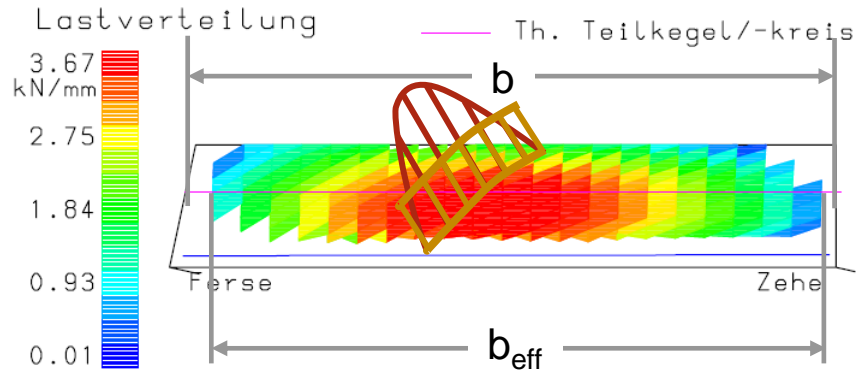
$$\sigma_{F2_ISO} = 1412,79 \text{ MPa}$$

*) Becal ist eine Software der FVA e.V. (Forschungsvereinigung Antriebstechnik)



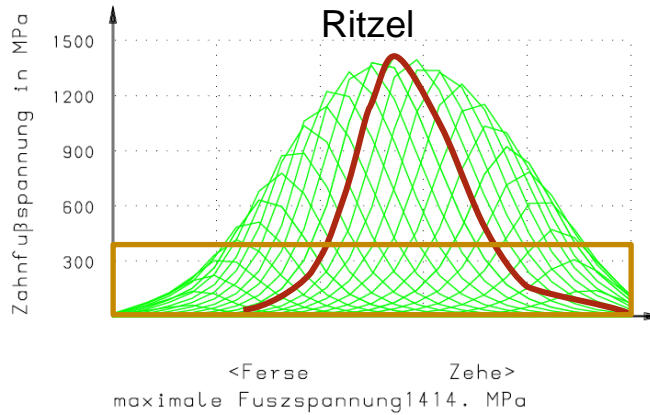
3. Beispielrechnung

Lastverteilungsfaktoren Methode B

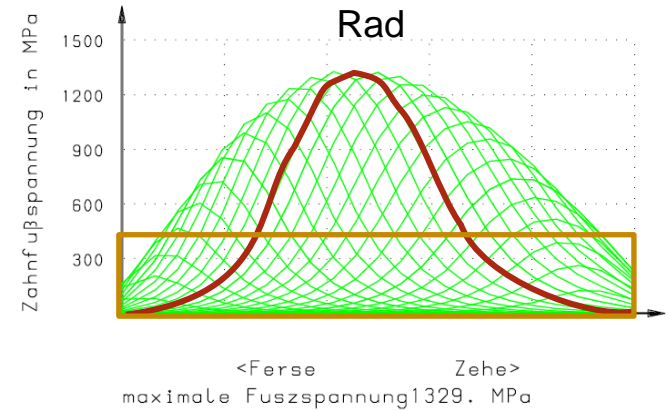


$$b_{eff} / b = 0,90$$

$$K_{H\beta} = w_{max} / w_m = 1,49$$



$$K_{F\beta 1} \cdot Y_{BS} = \sigma_{F1max} / \sigma_{F1m} = 3,44$$



$$K_{F\beta 2} \cdot Y_{BS} = \sigma_{F2max} / \sigma_{F2m} = 2,99$$



3. Beispielrechnung

ISO10300 Methode B(B)

Eingaben für die zweite Berechnung nach ISO 10300:

Rel. Tragbildbreite: $b_{\text{eff}} = 0,90 b$

Lastverteilungsfaktoren (Methode B): $K_{\text{H}\beta\text{-B}} = 1,49$

$K_{\text{F}\beta 1\text{-B}} = 1,67$ $K_{\text{F}\beta 2\text{-B}} = 1,45$

mit $Y_{\text{BS}} = 2,06$

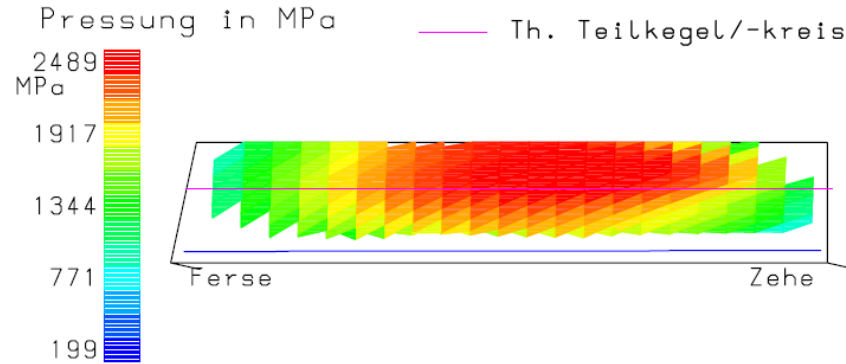
Ergebnisse:

		Wert-Ritzel	Wert-Rad
Grübchentragfähigkeit			
Nennflankenpressung, sig_H0-ISO	[N/mm ²]	1764,907	1764,907
Maßgebende Flankenpressung, sig_H-ISO	[N/mm ²]	2153,982	2153,982
Grenzfestigkeit, sig_Hlim-ISO	[N/mm ²]	1510,000	1510,000
Zulässige Flankenpressung, sig_HP-ISO	[N/mm ²]	2281,617	2281,617
Sicherheit gegen Grübchen, S_H-ISO	[-]	1,059	1,059
Fußtragfähigkeit			
Fußrundungsradius, rho_f	[-]	2,760	1,969
Nennfußspannung, sig_F0	[N/mm ²]	816,234	908,461
Maßgebende Fußspannung, sig_F	[N/mm ²]	1362,756	1315,294
Grenzfestigkeit, sig_Flim	[N/mm ²]	500,000	500,000
Zulässige Fußspannung, sig_FP	[N/mm ²]	1673,460	2098,104
Sicherheit gegen Fußbruch, S_F	[-]	1,228	1,595



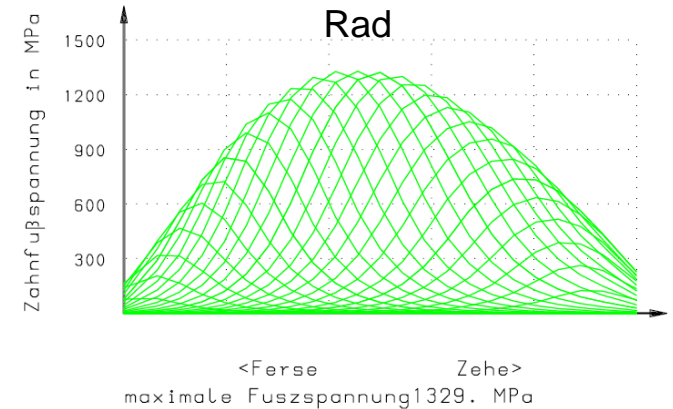
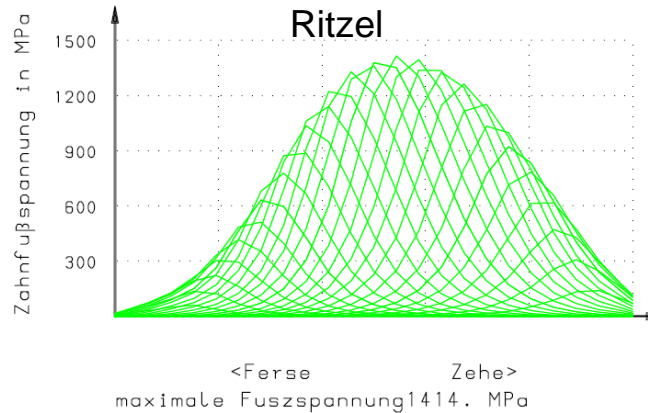
3. Beispielrechnung

Becal*) LZKA - Vergl. zu ISO (Methode B/B)



ISO (Meth. B/B):

$$\sigma_{H_ISO} / Z_K = 2534,09 \text{ MPa}$$



ISO (Meth. B/B):

$$\sigma_{F1_ISO} = 1362,76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{F2_ISO} = 1315,29 \text{ MPa}$$

*) Becal ist eine Software der FVA e.V. (Forschungsvereinigung Antriebstechnik)



1. ISO Normung Kegelräder
2. Berechnungsmethoden B...C
3. Beispielrechnung
4. Schlussfolgerungen



4. Schlussfolgerungen

- In der Normenreihe ISO10300 zur Berechnung der Kegelradtragfähigkeit sind aktuell Berechnungsvorschriften zu Zahnflanken- (Grübchen) und Zahnfußtragfähigkeit vorhanden, Berechnungsempfehlungen zur Fresstragfähigkeit, sowie technische Reports mit Beispielrechnungen. Die Normenreihe wird kontinuierlich ergänzt.
- Die aktuellen Berechnungsvorschriften enthalten insbesondere Einflüsse der Längsballigkeit nur sehr rudimentär (Methode C). Dies führt zu deutlichen Abweichungen der Ergebnisse im Vergleich zu höherwertigen Rechenmethoden, wie der Zahnkontaktanalyse unter Last (LZKA).
- Sobald man Ergebnisse der LZKA (Methode B) in die Berechnungsmethode nach ISO10300 einführt, sind die Unterschiede in den Endergebnissen (vernachlässigbar?) klein und ein Nachweis der Tragfähigkeit nach ISO gelingt.
- Wenn LZKA-Programme an realen Zahnrädern mit Hilfe von Messungen validiert wurden, sind diese Methode der Realität (Methode A) nach heutigem Wissensstand am nächsten.



Vielen Dank für
Ihre
Aufmerksamkeit!