


***** S.1
** ANZINGER - ZAHNRAD - PROGRAMM "A-Z-P" **
** Version 2.2.1426(GCC 5.3.0), 12.Feb.2016 **

** > Hier könnte Ihr frei wählbarer Firmenname stehen <  **

** Tragfähigkeitsberechnung von evolventischen Stirnrädern **
** (C) 1993-2016, Prof. Dr.-Ing. M. Anzinger, Augsburg **
** Tel. +49(0)821-314855, info@geostirn.de **
** Download <http://www.geostirn.de> **

Datum: 12.02.2016

Projektbezeichnung:
Planetengetriebe Paarung Planet Hohlrad


Nr: 16272-3018 


Eingabedaten:



MN=4.00,Z1=45,Z2=-108,B1=20.0,B2=24.0,A=-127.0,X1=0.04271,
N1=240,PL2=3,NP1=1,KA=1.111,KHBET=1.444,KRAFT=10,
MAT2=21,SFMIN=1.,RA01=1.8,RA01F=1.5,Z0=23,X0=-0.33,

Rechnung nach ISO 6336 (2006), Corrigendum 1 (2008)

Warnungen (**) und Hinweise (*) (Rad3 = Rad 1+2) 

-
- * Rad1: Werkstoffwerte für ZF7 / 20MnCr5 E
 - * Rad2: Werkstoffwerte für 42CrMo4 V, gasnitriert
 - * Alle Abmessungen für mittlere Toleranzlage des Flankenspiels
 - * Öldaten unvollständig, Mineralöl ISO VG 100 angenommen
 - * Rad1: Vorfertigung mit Formfräser im Einzelteilverfahren
 - * Rad1: Endbearbeitung mit Formwerkzeug im Einzelteilverfahren
 - * Rad3: Verzahnungsqualität 6 nach ISO 1328 angenommen
 - * Rad2: Für Zahnfuß auf jeder Seite max. 1*mn Überstand mittragend
 - ** Kopfkantenbruch durch Schneidrad-Fussformkreis: .000/ 1.373mm
Schneidrad: Grundkreis = 86.452, Fussformkreis = 86.852mm
 - ** Rad2: Kopfkantenbruch durch gegebene Kantenbrechflanke am Wzg.
 - * Rad2: Annahme für Hohlrad: Zahnkranzdicke = 4*Modul
 - * Lastaufteilungsfaktor KGAM nach ISO/IEC 61400-4
 - * Annahme für MRED: feststehender Innenzahnkranz
 - * KHBET: direkte Eingabe gemäß Vereinbarung/Simulationsrechnung
 - ** Rad2: $q_s > 4.0$, relativ scharfe Fußrundung (sehr sichere Rechnung)!
 - * Rad2: Annahme für Zahnfuß: kein Wechsel der Kraftrichtung
 - ** Rad1: Zahnfuß-Festigkeitsminderung durch Schleifkerben
 - * μ -m für Fressen nach FZG/Schlenk, nicht nach DIN
 - * Fresstragfähigkeit mit modifizierter Rechnung, nicht streng nach DIN 
 - * Keine Verschleißrechnung, da v größer als 1 m/s ist
 - * Bedingung für Anregungspegel LA: $0.25 \leq \text{epsbeta} \leq 4.5$

 - * Rad1: Drehmoment begrenzt durch geforderte Zahnfußsicherheit

 Geometriedaten für Flankenspiel-Passung 25c / 25c (DIN3967)

**Zähnezahl	z	45	-108	-
Übersetzungsverhältnis	i	2.400		-
Achsabstand	a	-127.000		mm
Modul im Normalschnitt, Stirnschnitt	mn,mt	4.000	4.000	mm
Nenn-Profilverschiebungsfaktor	x	0.043	-0.300	-
Erzeugungs-Profilverschiebungsfaktor	xE	0.094	-0.364	-
Zahnbreite	b	20.000	24.000	mm
Normal- und Stirneingriffswinkel	alf	20.000	20.000	°
Schrägungswinkel am Teil-,Grundkreis	bet	0.000	0.000	°
Stirn-Betriebseingriffswinkel	alfwt	21.205		°
**Profil- und Sprungüberdeckung	eps	1.504	0.000	-
Durchmesser Teilkreis	d	180.000	-432.000	mm
Grundkreis	db	169.145	-405.947	mm
Wälzkreis	dw	181.429	-435.429	mm
**Kopfkreis	da	188.342	-426.400	mm
Kopf-Formkreis	dFa	188.342	-429.146	mm
Kopf-Nutzkreis	dNa	188.342	-429.146	mm
**erzeugter Fußkreis	df	169.957	-444.617	mm
Fuß-Formkreis	dFf	172.971	-443.563	mm
Fuß-Nutzkreis	dNf	175.638	-441.948	mm
Zahnkopfdicke im Normalschnitt	san	2.898	*****	mm
tatsächliches Kopfspiel	C	1.138	1.221	mm
**Werkz.Profil <- Kopfhöhe (DIN -/2)	haP0	5.397	5.000	mm
für Vor- <- Kopfrundungsradius	raP0	*****	0.400	mm
verzahnen <- Fräser-Protuberanz	prP0	0.000	0.000	mm
<- Fuß-Formhöhe	hFfP0	3.877	4.274	mm
<- Kantenbrechwinkel	alfKP0	40.000	40.000	°
.. Fertig- -> Kopfhöhe	haP0-F	4.667	*****	mm
verzahnen -> Kopfrundungsradius	raP0-F	*****	*****	mm
nur für Rad 2: Schneidraddaten	Z0,X0	23.000	-0.330	-
Bearbeitungszugabe f. Feinbearb.	q	0.136	0.000	mm
oberes Zahndickenabmaß	Asne	-0.115	-0.155	mm
Zahndickentoleranz	Tsn	0.050	0.060	mm

Allgemeine Einflussgrößen

**Drehmoment je Eingriff	T	711.838	1708.412	Nm
Drehzahl	n	240.000	100.000	1/min
Umfangsgeschwindigkeit (Dmr. d)	v	2.262		m/s
gesamte übertragene Wälzleistung	P	53.671		kW
Anzahl der Eingriffe	PL	1	3	-
Nennumfangskraft am Dmr. dw, db	Fwt,Fbt	7847.037	8416.918	N
Nennlinienlast (am Teilkreisdmr.)	Ft/b	395.466		N/mm
Krümmungsradius am Eingriffsbeginn A	roA	23.658	-69.594	mm
Ersatzkrümmungsradius im Wälzpunkt C	roC	56.248		mm
Krümmungsradius am Eingriffsende E	roE	41.421	-87.357	mm
**Radkörperfaktor, Bezugsprofilfaktor	CR,CB	0.878	0.950	-
Einzel-, Eingriffsfedersteifigkeit	cs,cgam	13.070	18.013	N/mm/µm
**Zulässige Verzahnungsabweichungen (ISO-Qualität 6) und Rauheiten				
Kopfrücknahme (optim. Wert 34 µm)	Ca	0.0	0.0	µm
Flankenwinkelabweichung	fHbet	8.4	9.1	µm
Profilformabweichung u. Einlaufbetrag	ff,yff	12.8	1.0	µm
Teilungsabw. und Einlaufbetrag	fpe,ype	10.9	0.8	µm
gemittelte Rautiefe, Zahnflanke	RzH	3.0	3.0	µm
gemittelte Rautiefe, Zahnfuß	RzF	10.0	10.0	µm


**Abschätzung der Geräuschanregung (FVA133, LA für 0.25<epsbeta<4.5)			
Geräusch aus Zahnbreite, Eingr.frequ.	LB,LF	26.0	45.1 dB
Anregungspegel, Gesamtpegel	LA,LFZ*****		dB
**Anwendungsfaktor			
	KA	1.111	-
Lastaufteilungsfaktor Planetengetr.	Kgam	1.100	-
auf Ritzelwelle reduzierte Masse			
	mred	0.111	kg/mm
Bezugsdrehzahl n/n-res	N	0.089	-
**Dynamikfaktor			
	Kv	1.038	-
**Breitenfaktoren für Flanke,Fuß			
	KHbet,KFbet	1.444	1.290 -
Hilfsfaktor, Einlaufbetrag γ -alpha			
	qa,ya	0.251	0.769 -
**Stirnfaktoren Flanke,Zahnfuß			
	KHalf,KFalf	1.000	1.000 -
**Produkt aller K-Faktoren Flanke,Fuß			
	KH,KF	1.831	1.636 -
statisch für Zahnfuß, sqrt(KFa*KFb)	KFstat*****		1.202 -
**Zahnreibungszahl für Verlustleistung			
Summe der Tangentialgeschwindigkeiten	vSigma	1.636	m/s
Ersatzkrümmungsradius Normalschnitt	rhored	56.248	mm
arithmetischer Mittenrauwert	Ra	0.500	μ m
Faktor für Rauheitseinfluss	XR	0.841	-
mittlere Zahnreibungszahl	μ -m	0.046	-
Info: Schmierfilmdicke im Wälzpunkt	hC	0.382	μ m
**Verlustleistung aus Zahnbelastung für 3 Eingriff(e)			
Verzahnungs-Wirkungsgrad	WIRK	99.88	%
Verzahnungsverlustleistung	PVZ	0.063	kW
**Werkstoff-Kennwerte für 1 % Ausfallwahrscheinlichkeit			
Zahnradwerkstoff		20MnCr5_E	42CrMo4_V_gn
Zahnflanken-Dauerfestigkeit	sHlim	1470.0	1070.0 N/mm ²
Zahnfuß-Dauerfestigkeit	sFlim	470.0	385.0 N/mm ²
statische Zahnfußfestigkeit	sFst	1200.0	500.0 N/mm ²
Oberflächenhärte in Brinell	HB	680.0	520.0 HBW
Info: optim. Härtetiefe Flanke, Fuß	EHT	1.3	0.6 \pm 0.15mm
**kinemat. Viskosität bei 40°/100°C			
	ny	100.0	11.3 mm ² /s
Viskositätsindex, Richtungskonstante	VI,moil	99.4	3.5 -
Öltemperatur	ttaOil	50.0	°C
kinemat. Viskosität bei Öltemperatur	nyteta	61.5	mm ² /s
dynam. Viskosität bei Öltemperatur	etatet	54.0	mPa*s
Schmierungsart: Tauchschmierung			

Rechenergebnisse zur Grübchen-Tragfähigkeit

Auftretende Zahnflankenpressung				
Zonenfaktor, Elastizitätsfaktor	ZH,ZE	2.416	189.812	-/*
Schrägenfaktor (ISO 6336, corrig.1)	Zbet	1.000		-
Überdeckungsfaktor	Zeps	0.912		-
Einzeleingriffsfaktoren	ZB,ZD	1.075	1.000	-
maßgebende Breite für Flankenkontakt	bmin	20.00		mm
nominelle Flankenpressung im Wälzp. C	sigH0	473.6		N/mm ²
max. Flankenpressung in B, D	sigH	688.7	640.9	N/mm ²
Einflüsse auf die Grübchenfestigkeit				
Werkstoffpaarungsfaktor	ZW	1.000	1.000	-
mittl. Rautiefe bezogen auf roC=10mm	Rzrel	1.687		-
Rauheitsfaktor	ZR	1.063		-
Schmierstoff-Faktor	ZL	0.955		-
Geschwindigkeitsfaktor	Zv	0.952		-
Größeneinflussfaktor	ZX	1.000	1.000	-
Grübchendauerfestigkeit (ZNT = 1.0)	sigHd	1419.6	1033.3	N/mm ²
Grübchen-Sicherheitsfaktoren				
gegen Dauerfestigkeit (ISO 85%)	SH	1.75	1.37	-
Drehmoment-Sicherheit	SH ²	3.07	1.88	-

Rechenergebnisse zur Zahnfußtragfähigkeit

Auftretende Zahnfuß-Biegespannung				
Zahnfußsehne (30°/60°-Tangente)	sFn	8.794	10.166	mm
Fußrundungsradius	rhoF	1.800	1.020	mm
Biegehebelarm (Eingriffspunkt D)	hFe	4.923	4.655	mm
Lastangriffswinkel (D)	alfe	21.179	21.165	°
Formfaktor (für Biegenennspannung)	YF	1.516	1.073	-
Spannungskorrekturfaktor	YS	2.048	3.017	-
Schrägenfaktor, Hochverzahnungsf.	Ybet,YDT	1.000	1.000	-/-
Zahnkranzdickenfaktor	YB	1.000	1.000	-
maßgebende Breite für Zahnfußspg.	bF	20.000	24.000	mm
Zahnfuß-Nennspannung ohne K-Faktoren	sigF0	307.0	266.7	N/mm ²
max. auftretende Zahnfußspannung	sigF	502.1	436.2	N/mm ²
Einflüsse auf Zahnbiegefestigkeit				
relative Stützziffer (abh. von YSg)	YdrelT	0.999	1.091	-
relativer Oberflächeneinflussfaktor	YRrelT	1.002	1.001	-
Größeneinflussfaktor	YX	1.000	1.000	-
periodische Lastumkehr nach NP Umdr.	NP	1	*****	-
Mittelspannungs-Einflussfaktor	YM	0.695	1.000	-
Abmessung der Schleifkerben	tg/rhog	0.042	0.000	-
Festigkeitsminderung d. Schleifkerbe	SCHLK	9.5	0.0	%
Zahnfußdauerfestigkeit (YNT = 1.0)	sigFd	590.7	840.5	N/mm ²
Zahnfuß-Sicherheitsfaktoren				
gegen Dauerfestigkeit (ISO 85%)	SF	1.00	1.64	-
gegen stat. Festigkeit, KA*Kgam*Kv=1	SB	6.95	3.97	-






Berechnung der Fresstragfähigkeit (DIN 3990-4, modifiziert 

Allgemeine Einflussgrößen (für Integral- und Blitztemperatur)


Schrägungsfaktor für Fressen	KBgam	1.000	-
Schmierfaktors	XS	1.000	-
Blitzfaktor	XM	49.994	...
FZG-Kraftstufe / Testmoment	TlT	10	372.6 Nm
Massentemperatur im FZG-Test	TMT	165.7	°C
Gefügefaktor	XWrelT	1.000	-

Berechnungsmethode: Integraltemperatur-Verfahren

Auf tretende Integraltemperatur

maßgebende Linienlast	wBt		697.883	N/mm
Geometriefaktor für Ritzelzahnkopf	XBE		0.031	-
Winkelfaktor	Xab		0.995	-
Eingriffsfaktor	XQ		1.000	-
Kopfrücknahmefaktor	XCa		1.026	-
Kopfrücknahme durch Einlauf	Cay		2.1	4.6 µm
mittl. Zahnreibungszahl für Fressen	myB		0.050	-
Blitztemperatur am Ritzelkopf	TflaE		4.6	K
Überdeckungsfaktor	Xeps		0.293	-
mittlere Blitztemperatur	Tfint		1.4	°C
Massentemperatur für Fressen	TMint		51.0	°C
Integraltemperatur	Tint		53.0	°C

Grenzwert der Integraltemperatur






mittl. Blitztemperatur im FZG-Test	TfintT		74.5	°C
Fress-Integraltemperatur	TintS		277.5	°C

Sicherheitsfaktor (Integraltemperatur-Verfahren)

Temperatur-/ Drehmomentsicherheit	SSint,SSL	5.24	76.00	-
-----------------------------------	-----------	------	-------	---

Berechnungsmethode: Blitztemperatur-Verfahren

Auf tretende maximale Kontakttemperatur

maßgebende Linienlast	wBt		724.261	N/mm
Reibungszahl (min / max)	myB		0.043	0.054 -
örtliche Blitztemperatur in A, B	Tfla		3.6	2.3 K
örtliche Blitztemperatur in D, E	Tfla		1.5	1.8 K
Maximalwert der Blitztemperatur	Tflamax		3.6	K
Massentemperatur	TMfla		51.7	K
Maximalwert der Kontakttemperatur	TBmax		55.4	°C

Grenzwert der Kontakttemperatur

max. Blitztemperatur im FZG-Test	TflamaxT		146.1	K
Fresstemperatur	TflaS		311.8	°C

Sicherheitsfaktor (Blitztemperatur-Verfahren)

Sicherheitsfaktor f. Kontakttemp.	SSfla		48.92	-
-----------------------------------	-------	--	-------	---