

Tutorial Series

Wellensysteme – Starter 1-Stufen Planeten-Getriebe

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	2
1.1 Ziel des Tutorials	2
1.2 Software Version.....	2
1.3 Hinweise	2
2. MESYS Wellensysteme	2
2.1 Allgemein	2
2.2 Beschreibung	3
3. Software Handbuch	3
3.1 Online-Handbuch	3
3.2 Handbuch als PDF	3
4. Projekt eines Wellensystems	4
4.1 Inhalt des Tutorials	4
4.2 Ausgangslage.....	4
4.2.1 Anforderungen	4
4.2.2 Definition Bauteile	4
4.3 Abbildung	6
4.3.1 Erstellen des Files.....	6
4.3.2 Gruppen	6
4.3.3 Komponenten.....	7
4.3.4 Verzahnungen	9
4.3.5 Stützen	11
4.3.6 Belastungen	14
4.3.7 Schmierstoff	15
5. Berechnung	15
5.1 Einstellungen	15
5.2 Berechnungsschritt	16
6 Resultate.....	16
6.1 Resultateübersicht	16
6.2 Übersicht Zahnradverbindungen	16
6.2.1 Zahnradberechnung.....	16
6.2.2 Resultate Zahnradverbindungen	17
6.3 Lastkollektive.....	17
6.4 Grafische Darstellung von Resultaten	17
6.4.1 Übersicht	17
6.4.2 Menü Grafiken	18
6.4.3 Export.....	19

1. Vorwort



1.1 Ziel des Tutorials

Dieses Starter-Tutorial zu Wellenberechnungs-Extension [MESYS Wellensysteme](#) hat das Ziel, User mit den Funktionalitäten der Software bekanntzumachen und weitere Eindrücke über die Mächtigkeit der rechnerischen Betrachtung von Aspekten aus dem Einsatz von parallelen Wellen zu erhalten. Im Sinne einer Einschränkung, werden hier nur Themen und Einstellungen erwähnt oder behandelt, welche auch einer angenommenen Vertrautheit mit dem Produkt und den Übungsinhalten gerecht werden. Wenden Sie sich ungehindert an [MESYS](#), sollten in der Verwendung der Software Fragen auftauchen.

1.2 Software Version

Dieses Tutorial wurde mit MESYS Wellenberechnung Version 12-2024 vom 11.02.2025 erstellt.

1.3 Hinweise

-  Ein blauer Pfeil bedeutet eine Aufforderung an den Leser.
-  Ein grüner Pfeil bedeutet eine Schlussfolgerung oder Wirkung.

2. MESYS Wellensysteme

2.1 Allgemein

Um sich ein Bild von den Möglichkeiten der MESYS Wellensysteme zu machen, laden wir Sie herzlich ein, die MESYS-Website an der spezifischen Adresse für [Wellensysteme](#) zu besuchen.

Bitte schauen Sie sich auch die entsprechenden Artikel für Wellen oder Verzahnungen unter [Home/Downloads](#) /Kategorien gemäss Bild 2 an:

Bild 1

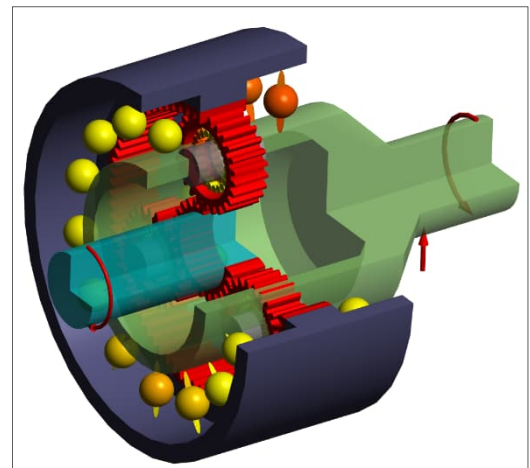
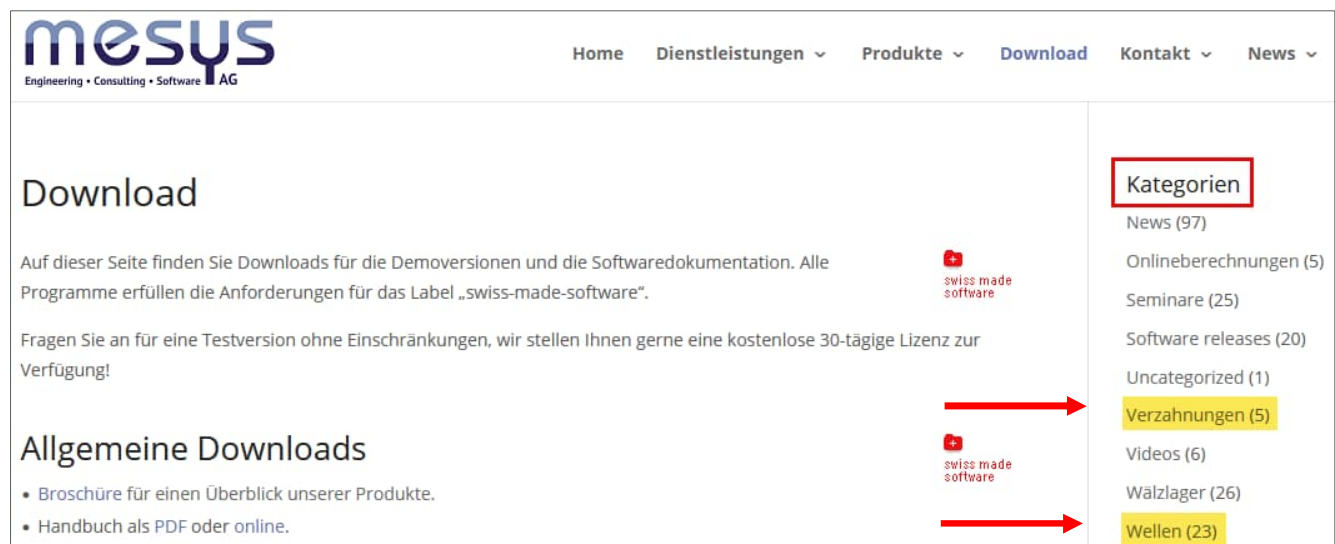



Bild 2

2.2 Beschreibung

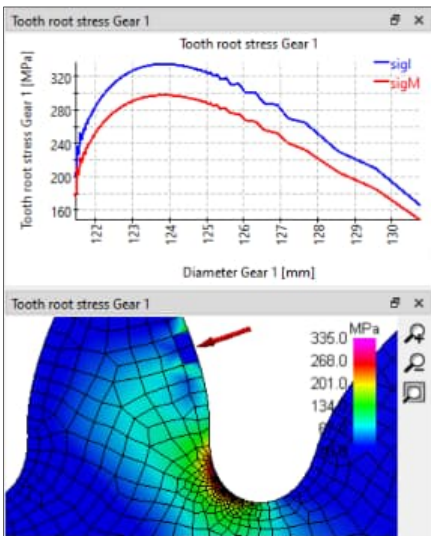


Bild 3

MESYS Wellensysteme ist eine Software-Erweiterung zu **MESYS Wellenberechnung**. Damit besteht die Möglichkeit, parallele und koaxiale Wellen in Gruppen darzustellen (Bild 4) und diesen weiter Beziehungen, Verbindungen, Bedingungen oder Belastungen zu vergeben. Es lassen sich daraus allgemein dynamische sowie statische Zustände eines Getriebe-Systems, oder spezifisch resultierende Lagerzustände analysieren.

Mit weiterführender Lizenz können auf entsprechende Normen (ISO 21771-1 / ISO 6336) gestützte Zahnradberechnungen ausgeführt werden (**Stirnradberechnung**).

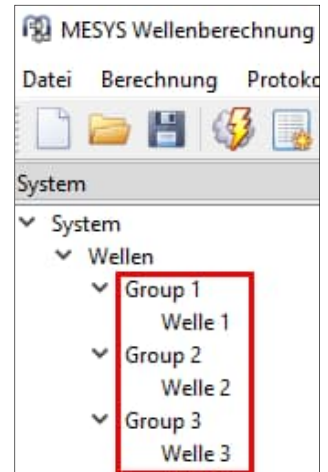


Bild 4

3. Software Handbuch

3.1 Online-Handbuch

Das Software Online-Handbuch ist über die Benutzeroberfläche abrufbar, indem das Menü "Hilfe" unter dem Punkt "Handbuch F1" angewählt wird (Bild 5).

Sie können das Online-Handbuch jederzeit lokal mit positionsspezifischen Inhalten direkt über Ihre Tastatur F1 öffnen oder über die [Website](#) finden.



Bild 5

3.2 Handbuch als PDF

Das Software-Handbuch finden Sie in den Hauptsprachen auch als PDF-Format im MESYS-Installationsverzeichnis (Bild 6).

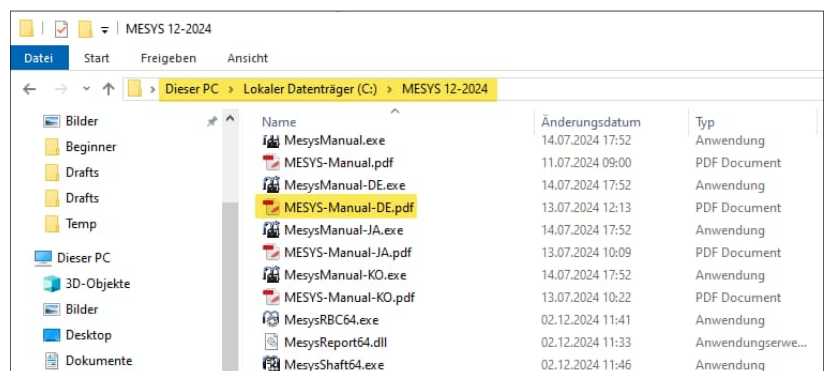


Bild 6

4. Projekt eines Wellensystems

4.1 Inhalt des Tutorials

Für die Automation von Pick & Place eines integralen Produktionssystems ist ein mit 4 kW Elektroantrieb bestücktes, 1-stufiges Planetengetriebe auszulegen. Für diese Aufgabenstellung soll mittels MESYS Wellensysteme eine rechnerische Bestätigung für die vorgesehene Konfiguration des Planetengetriebes gefunden werden.

4.2 Ausgangslage

4.2.1 Anforderungen

Folgende Anforderungen seien aufgrund der Schnittstellen zu Systemkomponenten zu berücksichtigen:

Eingangsdrehzahl:	2000 rpm
Motor Drehmoment:	ca. 30 Nm
Ausgangsdrehzahl Planetenträger:	400 rpm
Drehmomentabgabe:	ca. 150 Nm

4.2.2 Definition Bauteile

4.2.2.1 Zähnezahlen

Für den Planetensatz sind die folgenden Zähnezahlen gegeben, die auch eine Montierbarkeit unter 120° gewährleisten:

Zähnezahlen	Sonnenrad	20
	Planeten	29
	Hohlrad	-79

Bei festgehaltenem Hohlrad und Abtrieb über Planetenträger:

$$i = 1 + \frac{Z_R}{Z_S}$$

$$i = 1 + (79 / 20) = 4.95$$

i: Übersetzungsverhältnis

Z_R: Zähnezahl Hohlrad

Z_S: Zähnezahl Sonnenrad

Bei festgehaltenem Planetenträger und Abtrieb über das Hohlrad:

$$i = \frac{Z_R}{Z_S}$$

$$i = 79 / 20 = 3.95$$

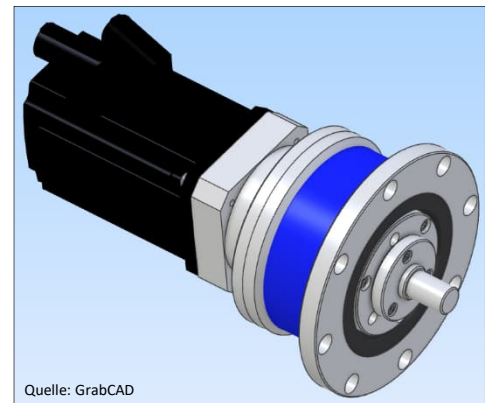
Bei festgehaltenem Sonnenrad und Abtrieb über den Planetenträger:

$$i = \frac{Z_R}{Z_R + Z_S}$$

$$i = 79 / (79 + 20) = 0.797$$

Bei einer Eingangsdrehzahl von 2000 rpm ergibt dies bei festgehaltenem Hohlrad eine Ausgangsdrehzahl über den Planetenträger von 404,04 rpm. Damit sei die Anforderung aus 4.2.1 erfüllt.

Bild 7



Quelle: GrabCAD

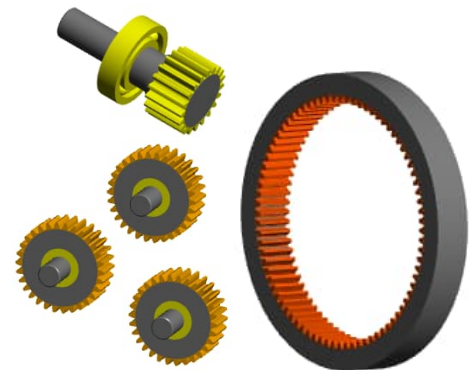


Bild 8

4.2.2.2 Geometrien und Positionen

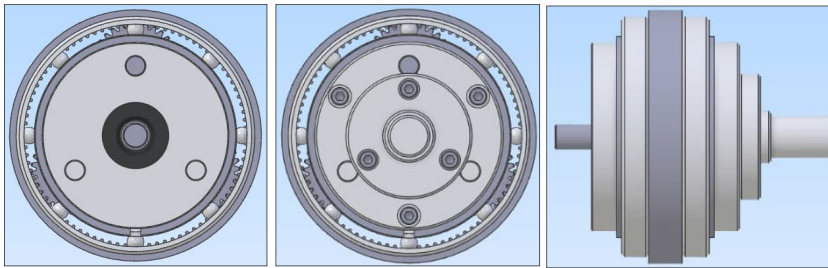
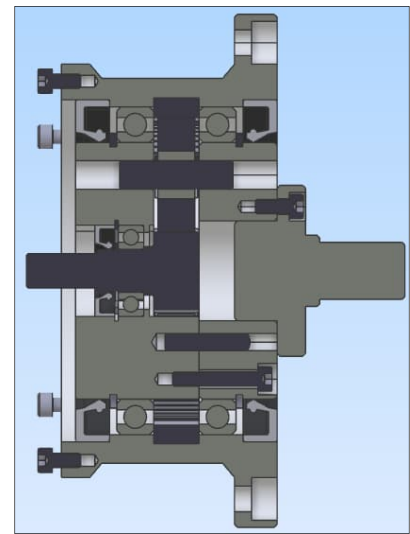
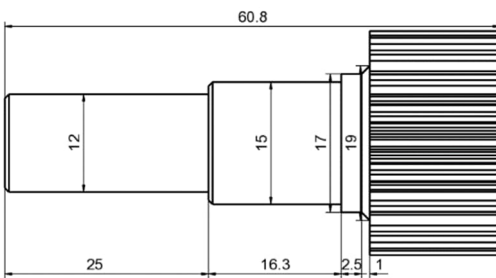


Bild 9



➔ Beachten Sie in der Folge die vereinfachten Geometrien der für die Berechnung zu berücksichtigenden Wellen.

Welle Sonnenrad



Geometrisch approximierter Planetenträger

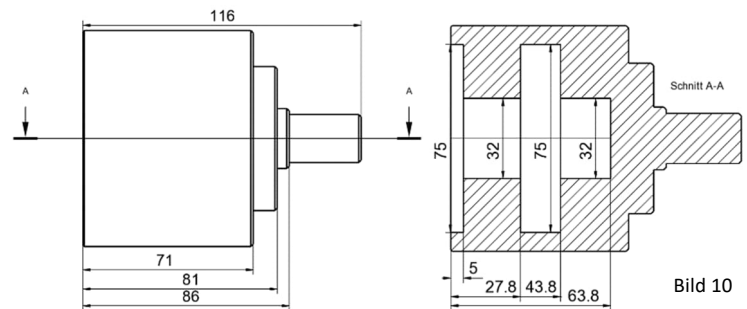


Bild 10

Hohlwelle

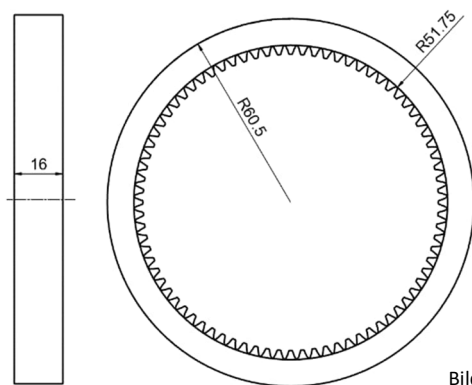


Bild 11

Eine sich unter Umständen auf den Planetenträger auswirkende, höherwertige Realitätsnähe bietet die MESYS Wellenberechnungs-Extension [FEM-Integration](#) (Bild 12). Hierbei besteht die Möglichkeit des Imports von Wellen, Gehäusen oder Planetenträgern als STEP oder Nastran-Netz.

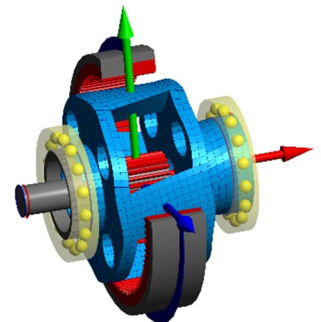


Bild 12

4.2.2.3 Parameter

Tabelle 1

Welle	Element	Name	Position	Parameter
Sonnenrad	Axiale Lage	X	0	
	Kupplung	Input	0.5	T = 30Nm
	Wälzlager	B1	29.5	Rillenkugellager 16002 generisch, radial unterstützt; Aussenring (OR) mit Planetenträger verbunden
	Stirnrad	VZ_SR	52.8	mn=1.25, α=20, b=16, z=20
	Support	Support Motor	5	Axial und radial unterstützt
	Drehzahl			Aktiviert, 2000 rpm

Planetbolzen	Axiale Lage	X	0	
	Support Planetenbolzen	PL1	0	Planetenlagerung, alles fest; mit Planetenträger verbunden
	Support Planetenbolzen	PL2	40	Planetenlagerung, alles fest; mit Planetenträger verbunden
	Wälzlager	B2	20	Nadellager, 10x17x13 mm; Z=11, Dw=3.5, Dpw=13.5, Lwe=13; radial und axial unterstützt; OR mit Planet verbunden
Planetenträger	Axiale Lage	X	17	
	Wälzlager	B3	8	Rillenkugellager 61818 generisch; Radial und axial nach links unterstützt; OR mit Gehäuse verbunden
	Wälzlager	B4	63.5	Rillenkugellager 61818 generisch; Radial und axial nach rechts unterstützt; OR mit Gehäuse verbunden
	Kupplung für Reaktionsmoment	Output	110	Breite=5
Planet	Axiale Lage	X	13.5	
	Stirnrad	VZ_PL	6.5	mn=1.25, $\alpha=20$, b=13, z=29
Hohlrاد	Axiale Lage	X	44.8	
	Stirnrad	VZ_HR	8	mn=1.25, $\alpha=20$, b=16, z=-79
	Support	Support	8	Alles fest
	Drehzahl			Aktiviert, 0 rpm

4.3 Abbildung

4.3.1 Erstellen des Files

Das idealisierte Getriebe soll in der Folge unter [vorgesehenen Konfiguration](#) und mit den gewünschten Belastungen untersucht werden.

➔ Starten Sie die MESYS Wellenberechnung oder öffnen Sie eine neue Datei über Symbol "Neu" oder das Menü "Datei" und wählen Sie 'Neu' (Bild 13).



Bild 13

Das Projekt für die Wellenberechnung kann unter 'System' mit einem Namen und einer Beschreibung versehen werden (Bild 14).

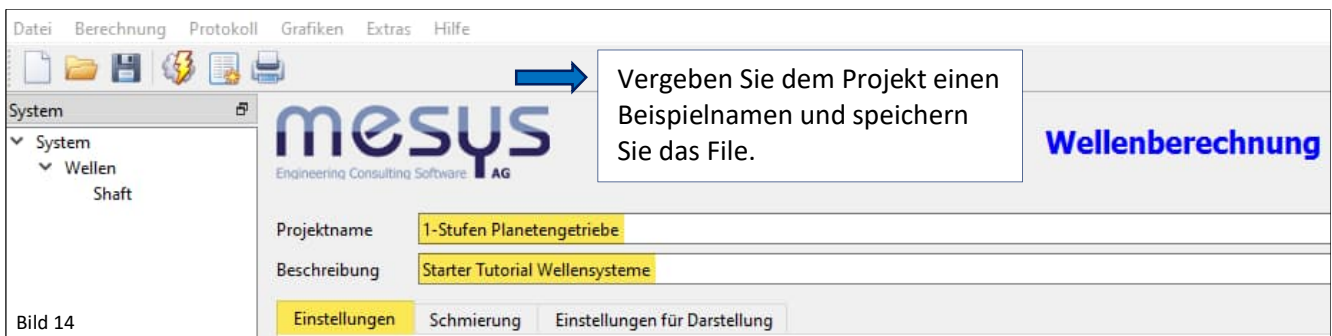


Bild 14

4.3.2 Gruppen

Um parallele Wellen zu berechnen, bedarf es gesonderter Gruppen.

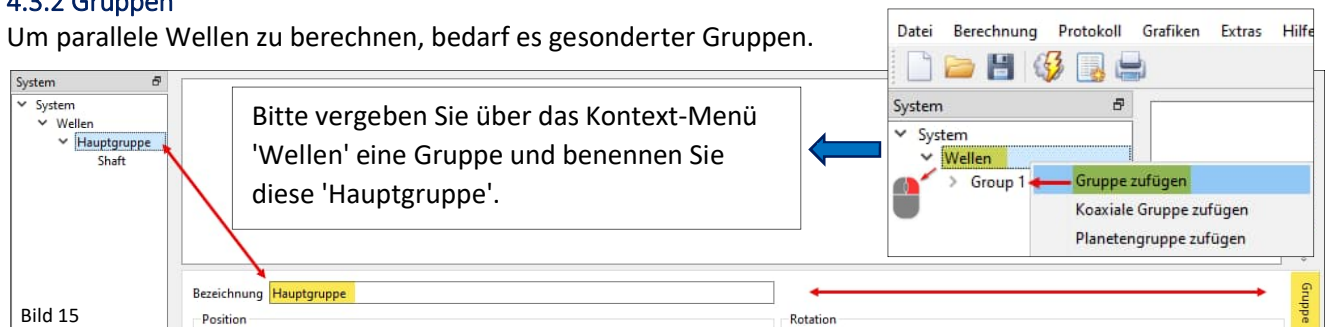


Bild 15

Bild 16

Bitte vergeben Sie über das Kontext-Menü 'Wellen' eine 'Planetengruppe' und benennen Sie diese ebenso. Stellen Sie 3 Planeten zu.

Bild 17

Bitte beachten Sie, dass Sie alternativ über das Kontextmenü auf 'Wellen' (Bild 17) ein vorgefertigtes System "Planetengetriebe" zuweisen können.

4.3.3 Komponenten

4.3.3.1 Zuweisung

Bild 18

Weisen Sie der Hauptgruppe 3 Wellen zu und benennen Sie diese gemäss [Tabelle 1](#).

Weisen Sie der Planetengruppe 2 Wellen zu und benennen Sie diese gemäss [Tabelle 1](#).

4.3.3.2 Geometrien

An dieser Stelle sollten alle Geometrien übertragen werden.

Bild 19

Bild 20

Bitte bilden Sie die Geometrie der Hauptgruppe gemäss den [Darstellungen unter 4.2.2.2](#) nach.

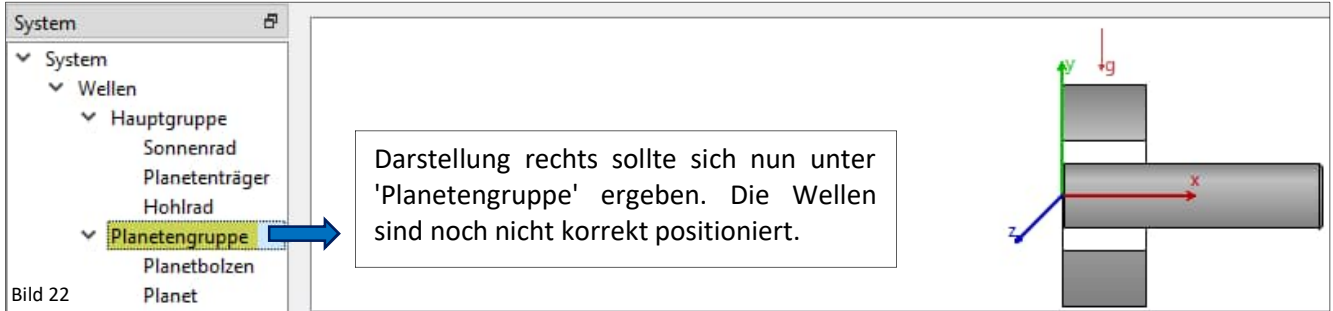
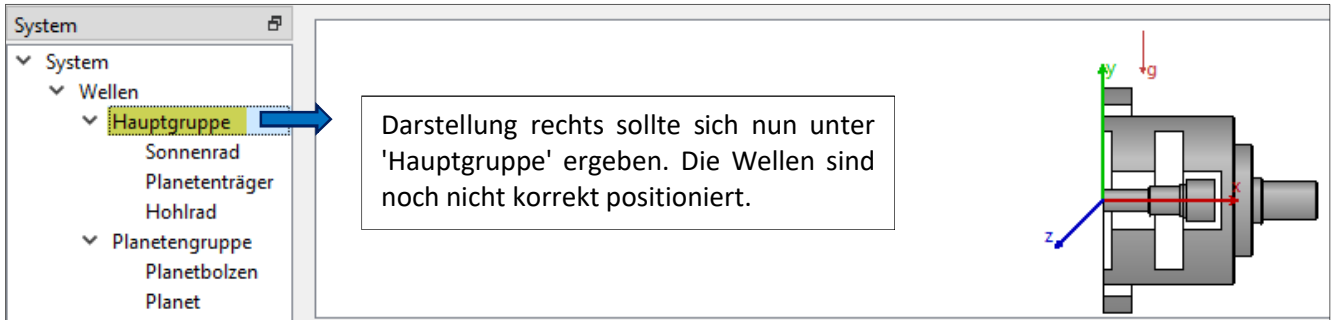
Entnehmen Sie die Geometrien für Planetbolzen und Planet aus den Bildern 20 / 21 unterhalb.

Bild 21

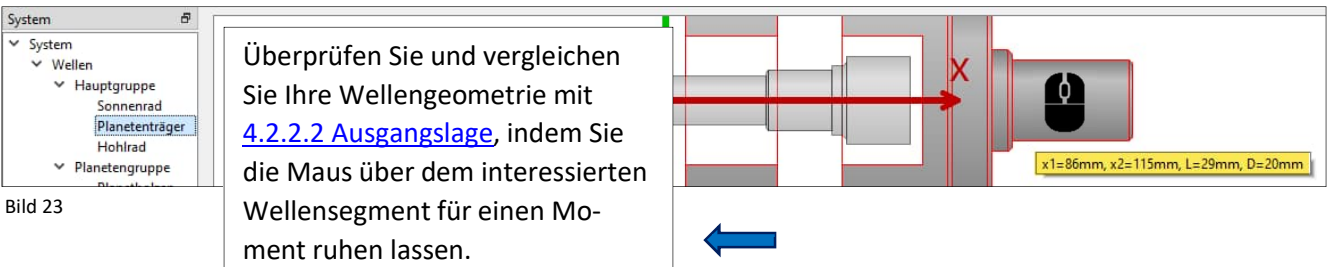
Allgemein				Geometrie	Belastung	Randbedingungen	Querschnitte
Aussengeometrie							
	Länge [mm]	Durchmesser 1 [mm]	Durchmesser 2 [mm]				
1	25	12					

Allgemein				Geometrie	Belastung	Randbedingungen	Querschnitte
Aussengeometrie							
	Länge [mm]	Durchmesser 1 [mm]	Durchmesser 2 [mm]				
1	40	10					

Allgemein				Geometrie	Belastung	Randbedingungen	Querschnitte	Einstellungen
Aussengeometrie								
	Länge [mm]	Durchmesser 1 [mm]	Durchmesser 2 [mm]					
1	13	34						
L=13mm								
Innengeometrie								
	Länge [mm]	Durchmesser 1 [mm]	Durchmesser 2 [mm]					
1	13	17						

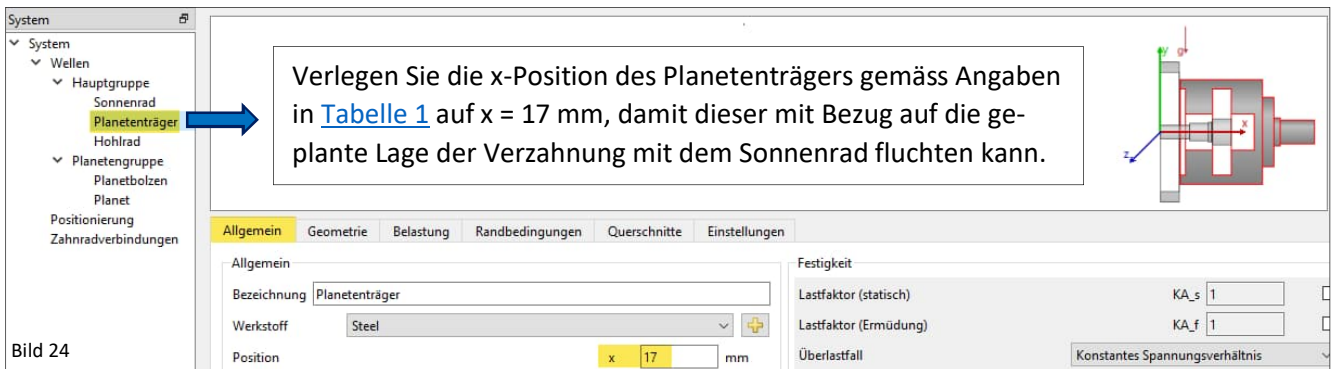


Alternativ können die Wellen-Geometrien via Import im Step-Format erstellt werden. Gerne verweisen wir hierzu auf [weiterführende Informationen](#) aus dem Handbuch.



4.3.3.3 Positionen im Raum

Lassen Sie uns an dieser Stelle, die grundsätzlichen axialen Positionen eingeben, um eine Basis für die nachträglichen [Positionierungen](#) der Wellen in Funktion der Verzahnungen zu ermöglichen.



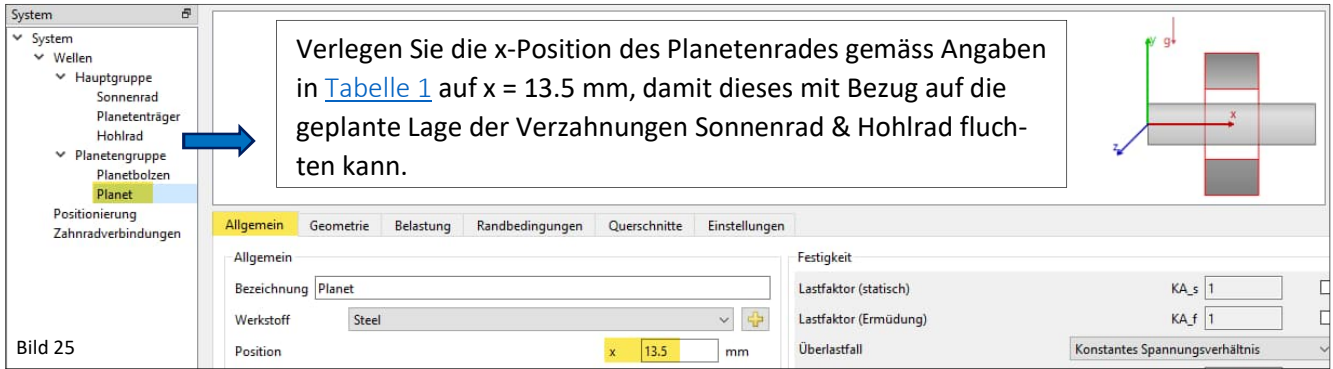


Bild 25

Das Hohlrad soll erst während der [Verzahnungs-Positionierung](#) in die richtige axiale Lage gebracht werden. Belassen Sie es vorerst an seiner aktuellen Position.

4.3.3.4 Koordinaten

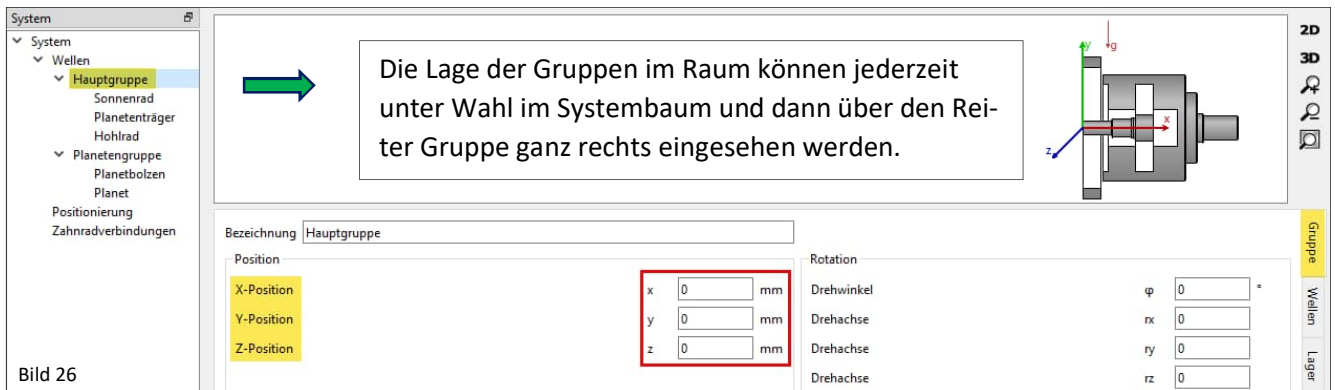


Bild 26

4.3.4 Verzahnungen

4.3.4.1 Eingabe

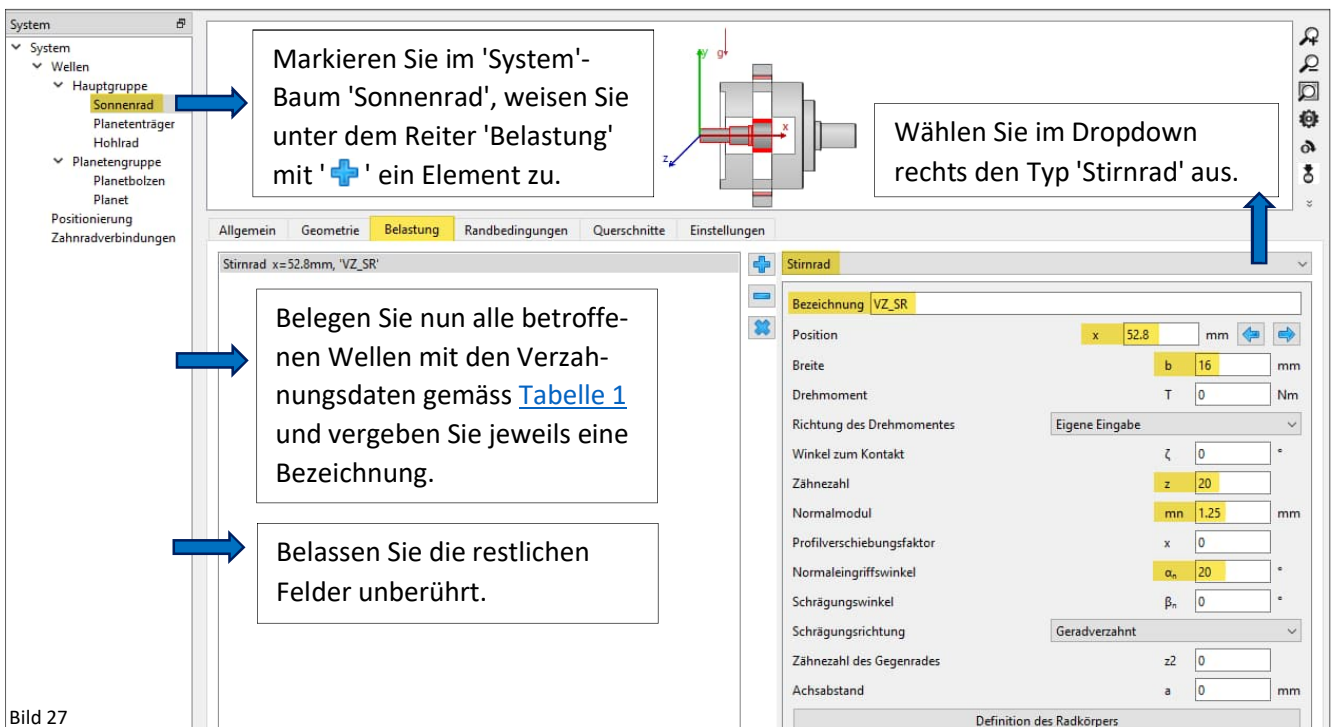


Bild 27

Hohlrad

Stirnrad	Bezeichnung	VZ_HR
	Position	x 8 mm
	Breite	b 16 mm
	Drehmoment	T 0 Nm
	Richtung des Drehmomentes	Eigene Eingabe
	Winkel zum Kontakt	ζ 0 °
	Zähnezahl	z -79
	Normalmodul	mn 1,25 mm
	Profilverschiebungsfaktor	x 0
	Normaleingriffswinkel	α_n 20 °

Planet

Bild 28

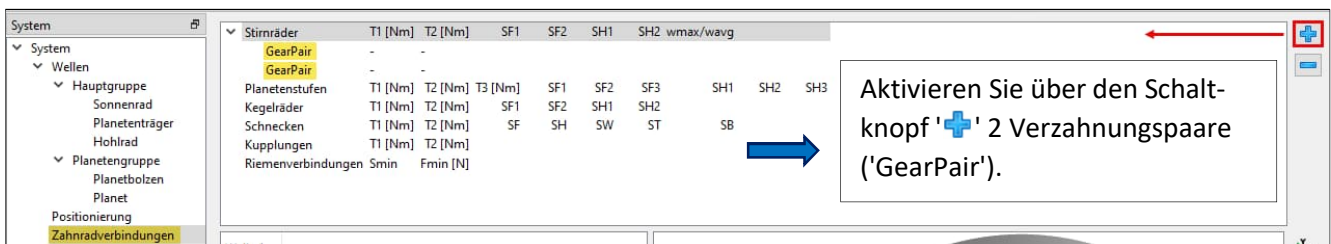
Stirnrad	Bezeichnung	VZ_PL
	Position	x 6.5 mm
	Breite	b 13 mm
	Drehmoment	T 0 Nm
	Richtung des Drehmomentes	Eigene Eingabe
	Winkel zum Kontakt	ζ 0 °
	Zähnezahl	z 29
	Normalmodul	mn 1,25 mm
	Profilverschiebungsfaktor	x 0
	Normaleingriffswinkel	α_n 20 °

➡ Geben Sie für Innenverzahnungen jeweils negative Zähnezahlen ein.

4.3.4.2 Zahnradverbindungen

Die Verzahnungen müssen in einem nächsten Schritt einander zugeordnet werden. Unter dem System-Baum kann das Fenster 'Zahnradverbindungen' eingesehen werden (Bild 29).

Bild 29



Die Wellen und Zahnräder, die in Kontakt stehen, können Sie hier definieren. Gleichzeitig werden die Grunddaten des Zahnradpaares angezeigt. Zusätzlich zu den Eingaben an der einzelnen Welle, lassen sich die Zahnraddaten nach Berechnungsschritt in diesem Fenster auch gemeinsam modifizieren und bezüglich Sicherheit bewerten (Bild 29).

➡ Verbinden Sie die beiden Verzahnungs-Paare wie in Bild 30 dargestellt und wählen Sie dafür geeignete Farben.

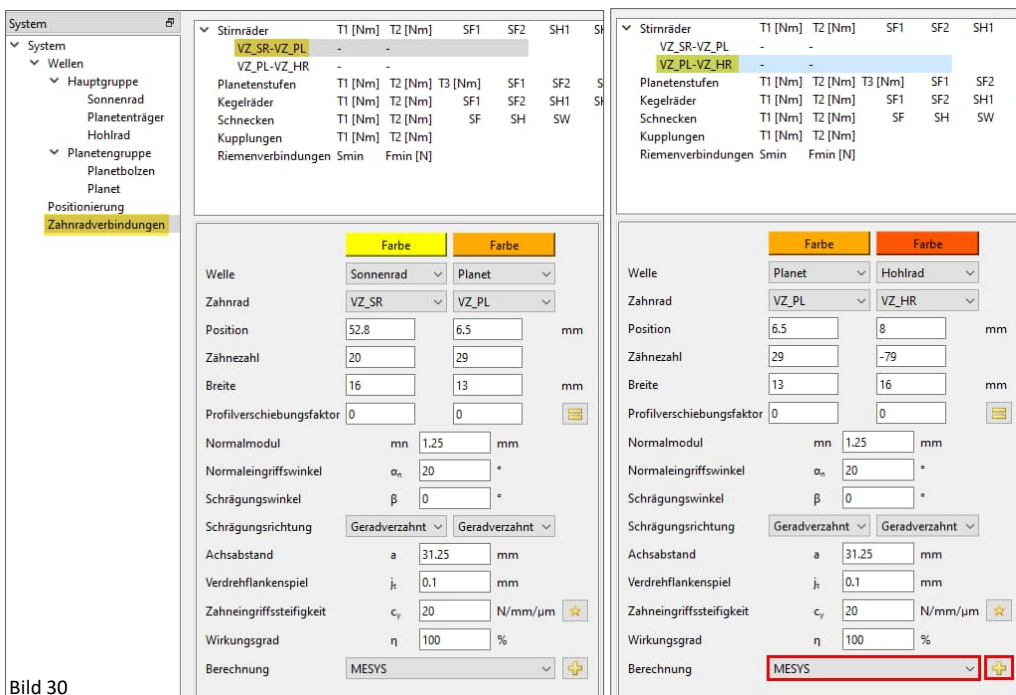


Bild 30

Besteht Bedarf, mit der Lizenz für [Stirnradberechnung](#) zu arbeiten, kann die Verzahnungsberechnung gemäss Bild 30 über 'Berechnung' aktiviert und über die einschlägigen Ein- und Ausgaben bewertet werden.

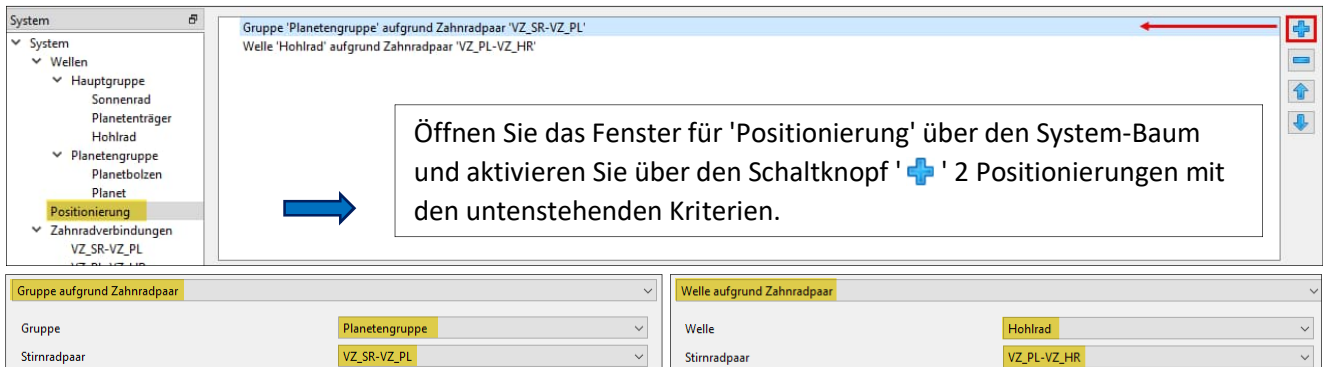
Gerne möchten wir auf weiterführende Schriften oder das Handbuch unter [Zahnradverbindungen](#) verweisen.

➔ Lassen Sie die restlichen verzahnungsspezifischen Parameter und Berechnungsmodi für den betrachteten Umfang dieses Tutorials unverändert.

4.3.4.3 Positionierung

Die Gruppen oder Wellen sollten nun in Funktion der Zahnradverbindungen noch relativ zueinander ausgerichtet werden. Ein auch im Detail rein axiales Positionieren der Wellen, wie in [Kapitel 4.3.3.3](#) reicht noch nicht. Im folgenden Prozess bringen wir alle Verzahnungen durch eine rechnerische Beziehung zueinander. Unter dem System-Baum kann das Fenster 'Positionierung' aktiviert werden (Bild 31). Die [Positionierungen](#) können mit verschiedenen Kriterien vorgenommen werden, wie etwa aufgrund von Zahnrad oder Gruppen zueinander.

Bild 31

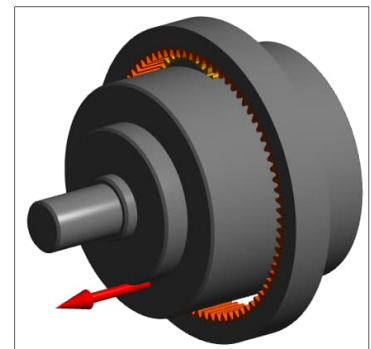


➔ Belassen Sie hierbei den Versatz in x-Richtung dx und den Winkel φ bei 0.

➔ Dadurch wurden nun Gruppe und Welle aufeinander ausgerichtet, was auch im rechten Fenster des Dialoges 'Zahnradverbindungen', 'Positionierung' und auch unter Fenster für 'Wellen' über den System-Baum aufgerufen und eingesehen werden kann (Bild 32).

➔ Die [Koordinaten der Gruppen](#), bzw. Wellen können wie bereits erwähnt, auch numerisch über Wahl System-Baum und dann Reiter 'Gruppe' ganz rechts, eingesehen werden.

Bild 32



4.3.5 Stützen

4.3.5.1 Wälzlager

Im Rahmen der Auslegung sei neben der Motorlagerung noch ein zusätzliches Wälzlager auf die Sonnenradwelle zu legen.

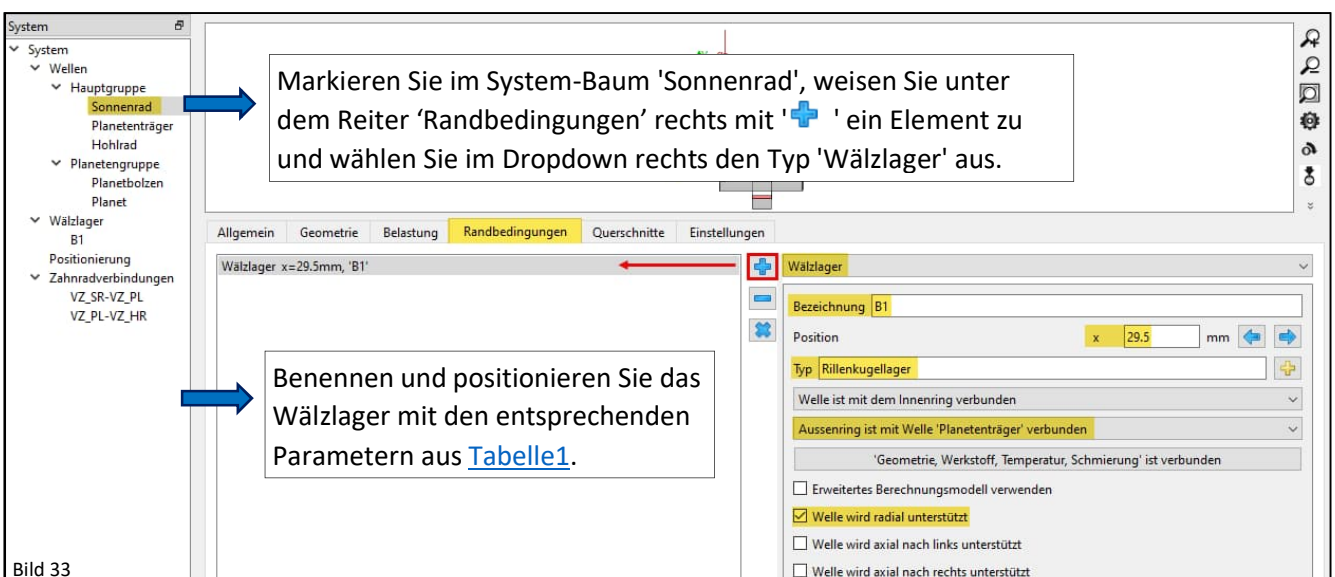
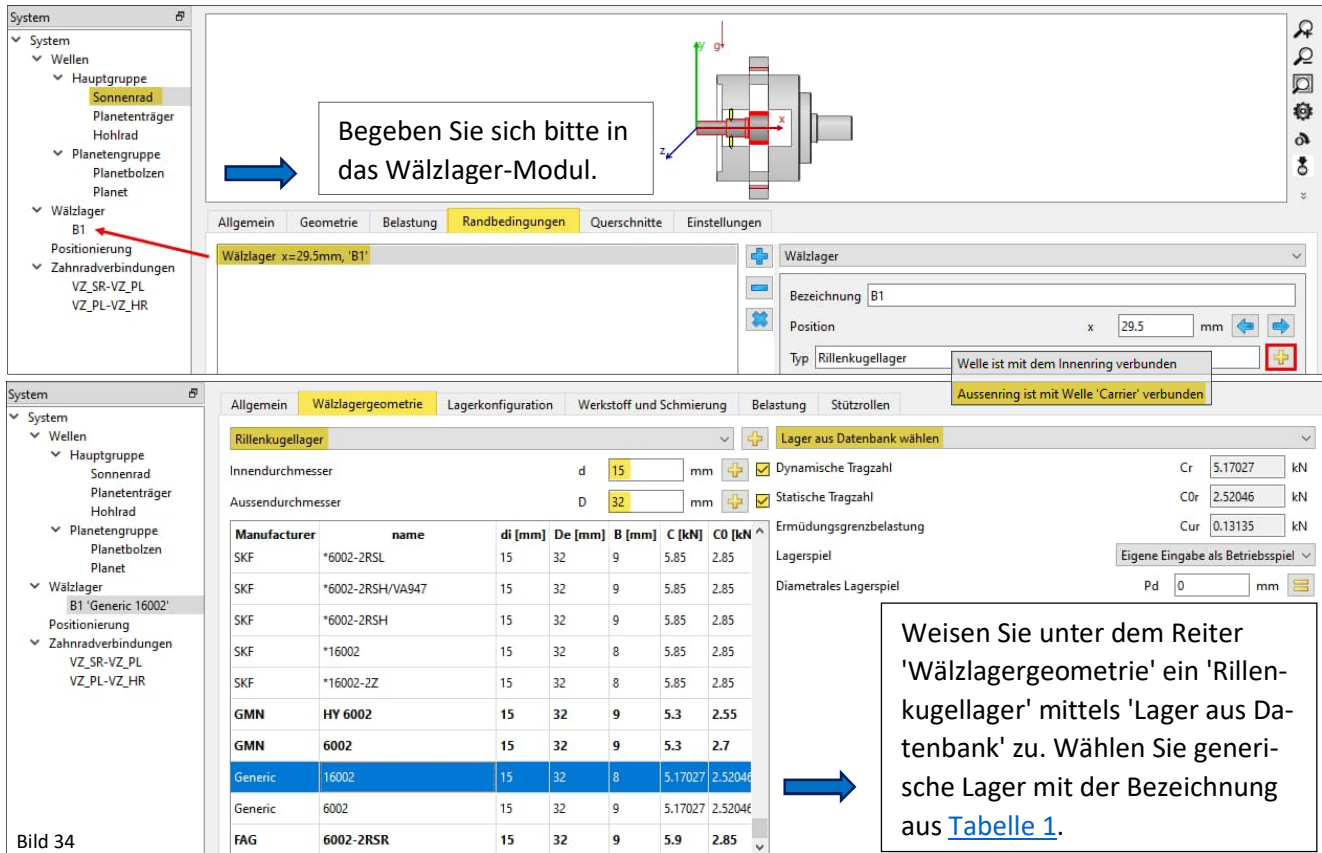


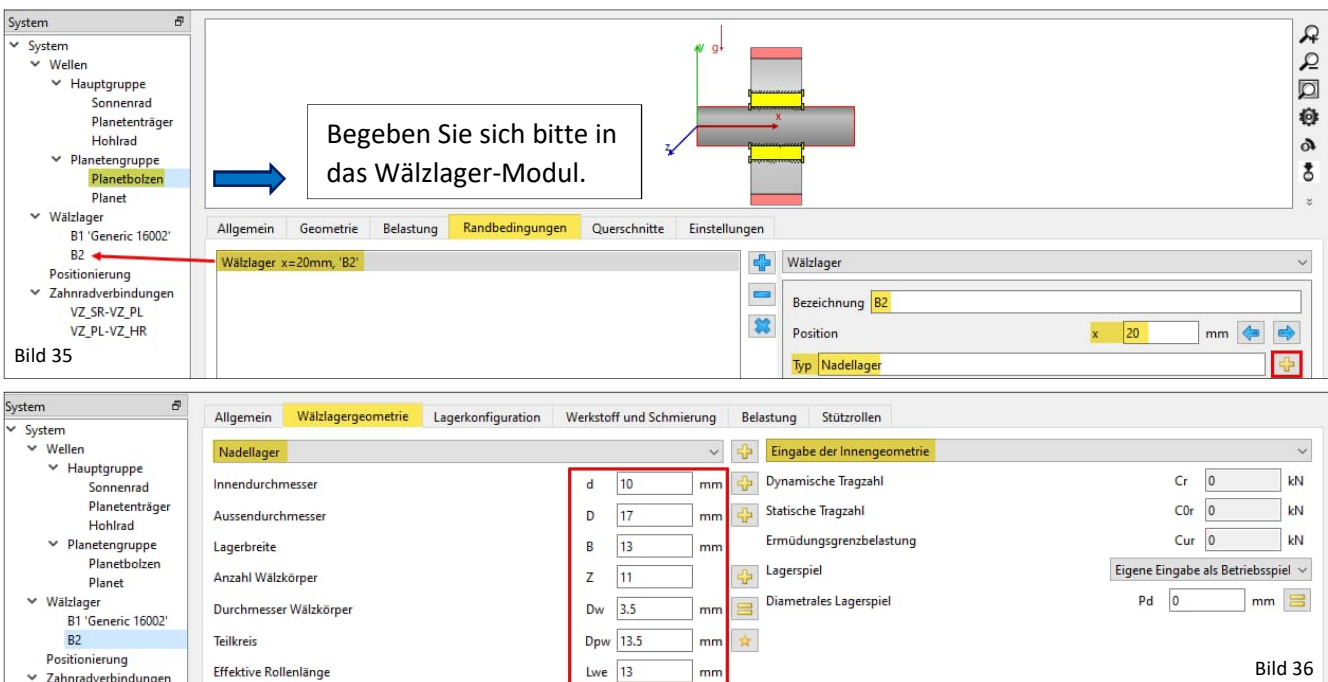
Bild 33

Von hier aus kann das Wälzlagermodul für eine spezifische Lagerauswahl über die '+' - Schaltfläche unten rechts, mittels Fenster, oder im System-Baum direkt über die nun hier stehende, stellvertretende Bezeichnung 'B1' erreicht werden (Bild 34).



Manufacturer	name	di [mm]	De [mm]	B [mm]	C [kN]	CO [kN]
SKF	*6002-2RSL	15	32	9	5.85	2.85
SKF	*6002-2RSH/VA947	15	32	9	5.85	2.85
SKF	*6002-2RSH	15	32	9	5.85	2.85
SKF	*16002	15	32	8	5.85	2.85
SKF	*16002-2Z	15	32	8	5.85	2.85
GMM	HY 6002	15	32	9	5.3	2.55
GMM	6002	15	32	9	5.3	2.7
Generic	16002	15	32	8	5.17027	2.52046
Generic	6002	15	32	9	5.17027	2.52046
FAG	6002-2RSR	15	32	9	5.9	2.85

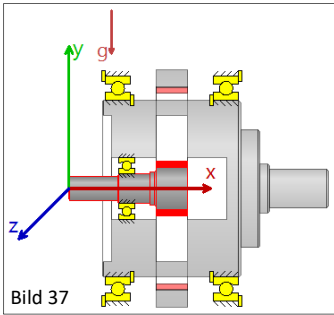
Aufgrund der radialen Platzverhältnisse, der Belastung und der anvisierten Lebensdauer, soll an den Planeten eine kundenspezifische Nadelhülse für B2 zum Einsatz kommen.



Innendurchmesser	Aussendurchmesser	Lagerbreite	Anzahl Wälzkörper	Durchmesser Wälzkörper	Teilkreis	Effektive Rollenlänge
d 10 mm	D 17 mm	B 13 mm	Z 11	Dw 3.5 mm	Dpw 13.5 mm	Lwe 13 mm

➡ Wählen Sie hier 'Eingabe der Innengeometrie' (Bild 36) und übertragen Sie die Werte gemäss [Tabelle 1](#).

➡ Die Tragzahlen werden beim ersten Berechnungsschritt automatisch nach ISO 281 berechnet.



➔ Setzen Sie nun die Wälzlager gemäss Parametern aus [Tabelle 1](#) auch für den Planetenträger (B3 / B4) auf (Bild 37).

➔ Lassen Sie im Rahmen dieses Tutorials die Lagereinstellung wie 'Lagerspiel' oder im Zusammenhang stehende Passungen unberührt. Gerne verweisen wir auf das [Starter Tutorial Basics](#) für Wälzlagerberechnung.

Lagerspiel	Eigene Eingabe als Betriebsspiel
Diametrales Lagerspiel	Pd 0 mm

4.3.5.2 Randbedingungen

➔ Markieren Sie im System-Baum 'Sonnenrad'.

➔ Weisen Sie unter dem Reiter 'Randbedingungen' rechts mit '+' ein Element zu und wählen Sie im Dropdown rechts den Typ 'Lager' aus.

➔ Vergeben Sie für dieses Lager die entsprechenden Parameter aus [Tabelle 1](#).

➔ Vergeben Sie dem Hohlrad ein 'Lager' mit den entsprechenden Parameter aus [Tabelle 1](#).

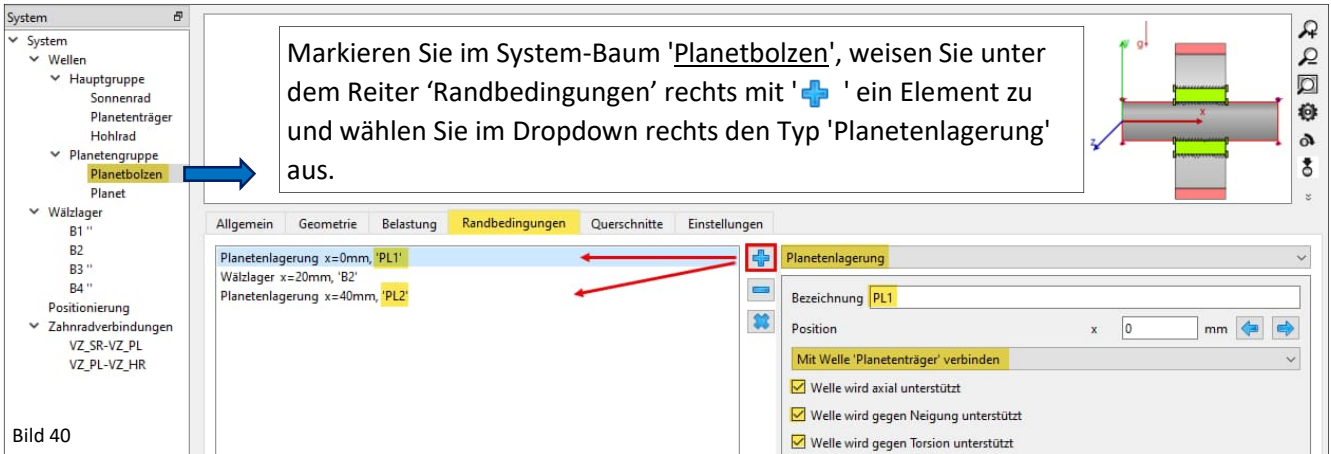
Da unser Getriebe auch ein Eingangsdrehmoment erhalten wird, sollte eine Aufnahme der Summe aller Drehmomente definiert werden. Das Element 'Kupplung für Reaktionsmoment' liefert hier diese Definition (Bild 39).

➔ Markieren Sie im System-Baum 'Planetenträger'.

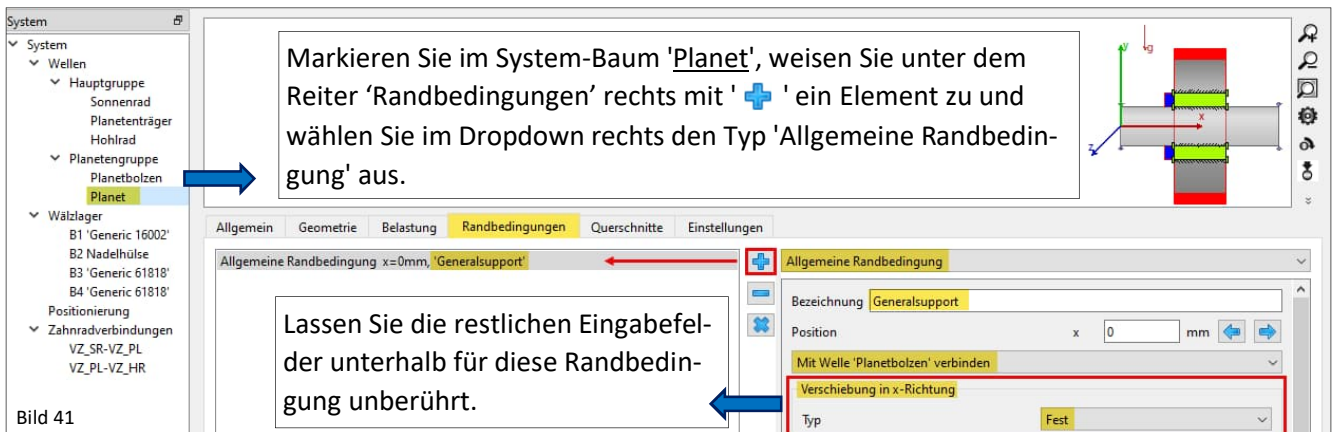
➔ Weisen Sie unter dem Reiter 'Randbedingungen' rechts mit '+' ein Element zu und wählen Sie im Dropdown rechts den Typ 'Kupplung für Reaktionsmoment' aus.

➔ Vergeben Sie für diese Kupplung die entsprechenden Parameter aus [Tabelle 1](#).

➔ Bitte beachten Sie, dass die Breite der Darstellung einer Kupplung, sowie etwa die Aktivierung von Eigenfrequenzberechnung für das Reaktionsmoment für diese Berechnung keine Relevanz aufweisen.

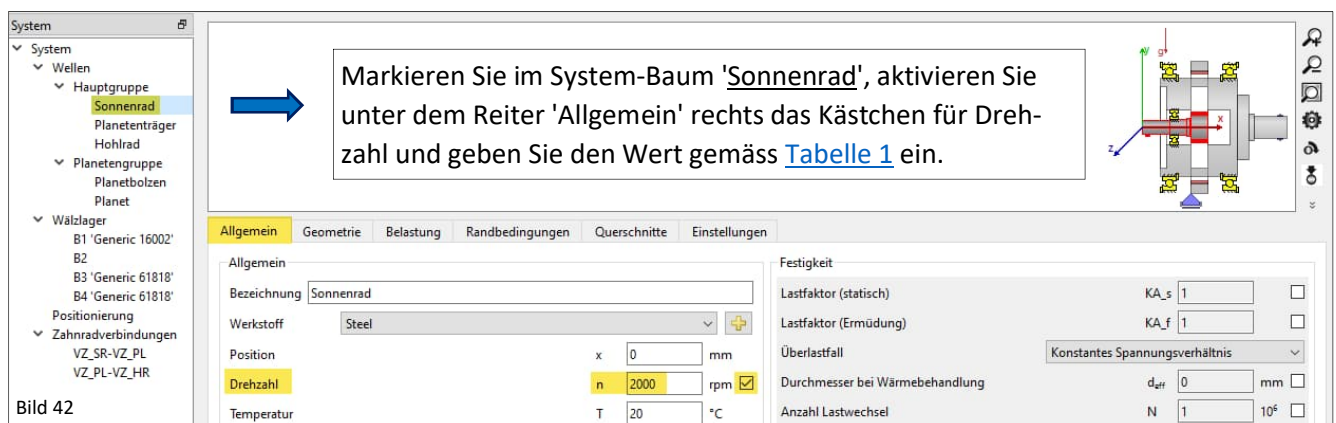


Zu guter Letzt, soll auch die bei der Nadelbüchse fehlende axiale Abstützung der Planeten ergänzt werden. Solche durch etwa Anschlagdeckel, oder Bundringe realisierten Abstützungen können hier wie in Bild 41 gezeigt, abgebildet werden.



4.3.6 Belastungen

4.3.6.1 Drehzahlen

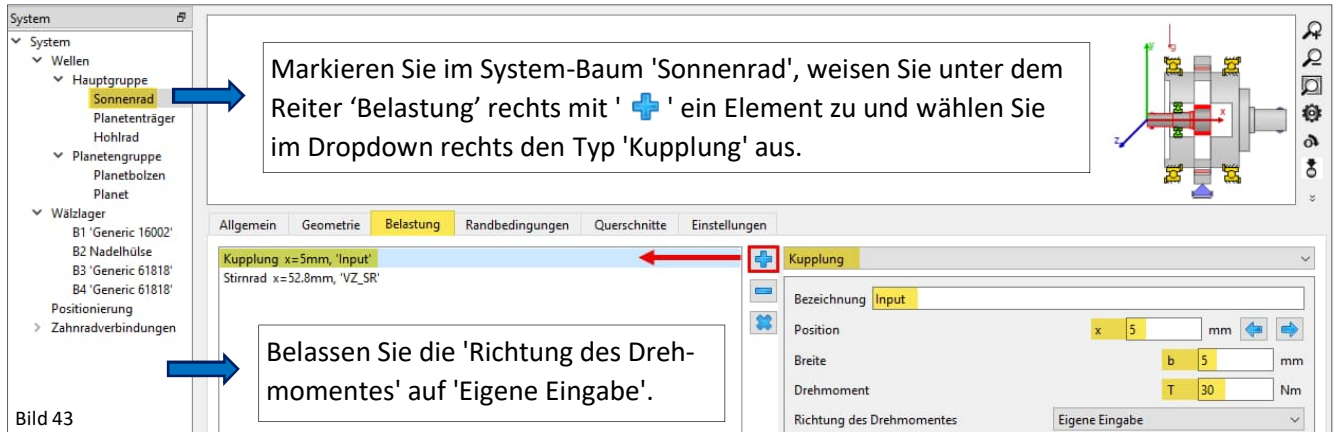


➡ Bitte aktivieren Sie für das Hohlrad die Drehzahl und vergeben Sie dort 0 rpm.

4.3.6.2 Drehmoment

Das Eingangs Drehmoment für das Planeten-Getriebe sei wie in den [Anforderungen](#) definiert 30 Nm.

→ Die 'Richtung des Drehmomentes' kann entweder durch sein Vorzeichen oder durch die Auswahl "Welle wird angetrieben" / "Welle treibt an" definiert werden.



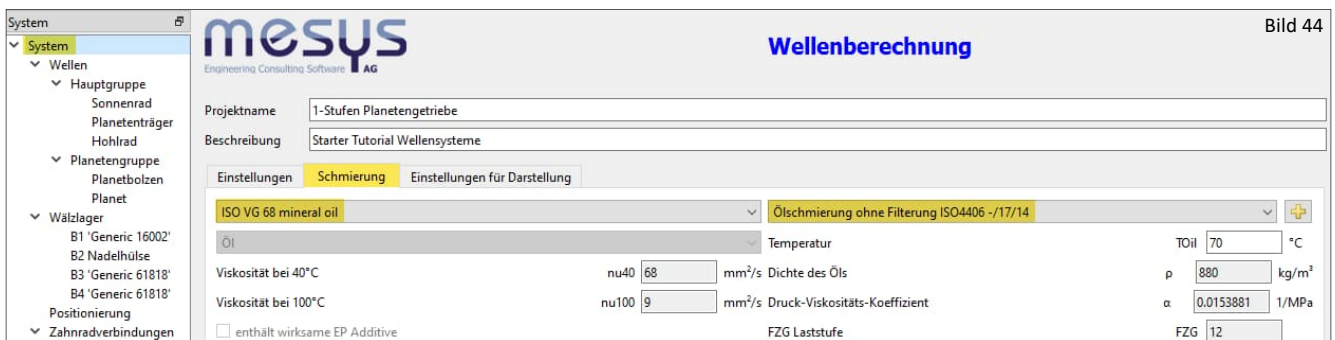
Markieren Sie im System-Baum 'Sonnenrad', weisen Sie unter dem Reiter 'Belastung' rechts mit '+' ein Element zu und wählen Sie im Dropdown rechts den Typ 'Kupplung' aus.

Belassen Sie die 'Richtung des Drehmomentes' auf 'Eigene Eingabe'.

Bild 43

4.3.7 Schmierstoff

→ Bitte weisen Sie den Schmierstoff gemäss Bild 44 zu.



Wellenberechnung

Projektnamen: 1-Stufen Planetengetriebe
 Beschreibung: Starter Tutorial Wellensysteme

Einstellungen Schmierung Einstellungen für Darstellung

ISO VG 68 mineral oil Öl schmierung ohne Filtration ISO4406 -/17/14

Temperatur: 70 °C

Viskosität bei 40°C: nu40 68 mm²/s Dichte des Öls: ρ 880 kg/m³

Viskosität bei 100°C: nu100 9 mm²/s Druck-Viskositäts-Koeffizient: α 0.0153881 1/MPa

enthält wirksame EP Additive FZG Laststufe: FZG 12

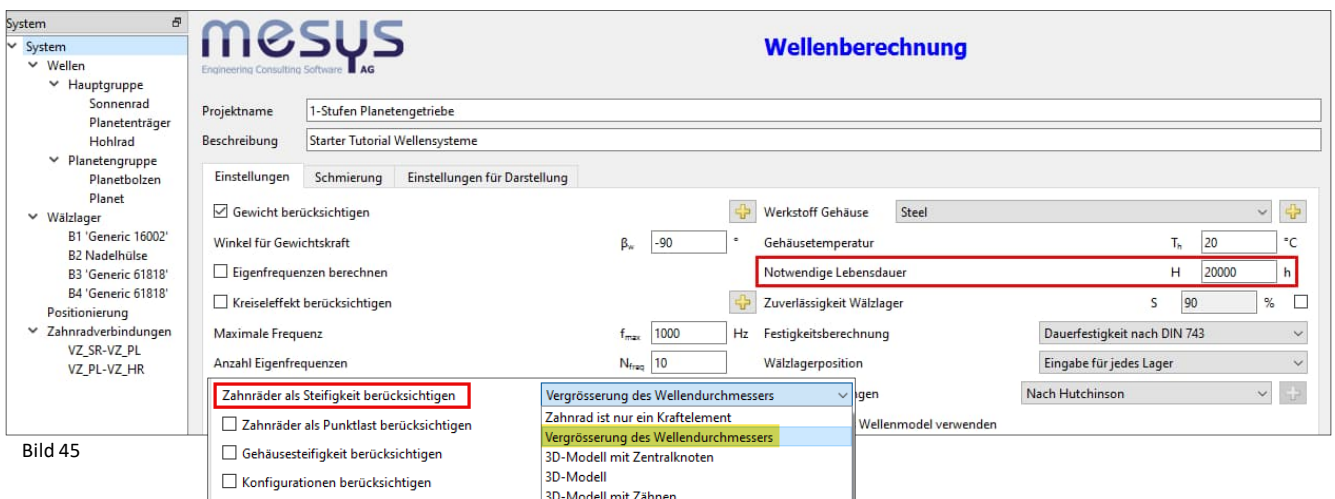
Bild 44

→ Hiermit ist die Eingabe der Parameter für die rechnerische Darstellung des Getriebes abgeschlossen.

5. Berechnung

5.1 Einstellungen

Für Zahnradberechnungen sollte, wenn möglich die "erforderliche Lebensdauer H" im Fenster 'Einstellungen' des System-Baumes / System definiert werden (Bild 45). Dieser Wert fließt neben der Bewertung der Verzahnung auch in die Berechnung der Wellenfestigkeit nach DIN 743 ein. Sehen Sie für weitere Informationen das Handbuch unter [Notwendige Lebensdauer](#), resp. [Festigkeitsberechnung](#), ein.



Wellenberechnung

Projektnamen: 1-Stufen Planetengetriebe
 Beschreibung: Starter Tutorial Wellensysteme

Einstellungen Schmierung Einstellungen für Darstellung

Gewicht berücksichtigen Werkstoff Gehäuse: Steel

Winkel für Gewichtskraft: β_w -90 ° Gehäuse Temperatur: T_a 20 °C

Eigenfrequenzen berechnen Notwendige Lebensdauer: H 20000 h

Kreiseffekt berücksichtigen Zuverlässigkeit Wälzlager: S 90 %

Maximale Frequenz: f_{max} 1000 Hz Festigkeitsberechnung: Dauerfestigkeit nach DIN 743

Anzahl Eigenfrequenzen: N_{max} 10 Wälzlagerposition: Eingabe für jedes Lager

Zahnrad als Steifigkeit berücksichtigen Zahnrad ist nur ein Kräftelement

Zahnrad als Punktlast berücksichtigen Vergrößerung des Wellendurchmessers

Gehäusesteifigkeit berücksichtigen 3D-Modell mit Zentralknoten

Konfigurationen berücksichtigen 3D-Modell

Wellenmodell verwenden 3D-Modell mit Zähnen

Bild 45

Ausserdem ist es sinnvoll eine Wahl für die möglichen Einstellungen zu "Zahnräder als Steifigkeit berücksichtigen" vorzunehmen (Bild 45). Bei "Vergrösserung des Wellendurchmessers" beispielsweise, wird der Wellendurchmesser automatisch auf den Fusskreisdurchmesser plus $0.4 \cdot \text{Modul}$ erhöht. Für den Fusskreisdurchmesser wird eine Fusshöhe des Bezugsprofils von 1.25 angenommen. Bitte entnehmen Sie die entsprechenden Inhalte der weiteren Einstellungen aus dem Handbuch unter [Zahnräder als Steifigkeit berücksichtigen](#).

5.2 Berechnungsschritt

Der Berechnungsschritt kann über den Menüpunkt 'Berechnung'/Berechnen', direkt über das Icon unter dem Menüband oder einfach durch Betätigen von F5 ausgeführt werden.

➡ Bitte starten Sie die Berechnung.

➡ Achten Sie auf das grüne Häkchen unten rechts, was die Konsistenz des Berechnungsschrittes bestätigt.



6 Resultate

6.1 Resultateübersicht

Bild 46

Result overview											
Minimal bearing reference life	minL10hr	128220	h	Minimal bearing modified reference life	minLnmrh	17956.2	h	Minimal static safety for bearings (ISO 17956)	minSOeff	8.83033	
Maximal equivalent stress	maxSigV	163.751	MPa	Minimal root safety for gears	minGearSF	2.58534		Minimal flank safety for gears	minGearSH	0.910531	
Maximal displacement in x	maxUx	0.000207666	mm	Maximal displacement in radial direction	maxUr	0.108541	mm	Maximal bearing stress	pmax	1352.28	MPa

Die Resultateübersicht am unteren Rand des Fensters zeigt die wichtigsten Ergebnisse an (Bild 46). Dessen Inhalte können über das Menü Extras / Resultateübersicht nach eigenem Bedarf konfiguriert werden.

➡ Es zeigt sich durch die Wahl eines höher viskosen Schmierstoffes, dass sich die modifizierte Referenzlebensdauer (Bild 47) substantiell und auf das Niveau von [Wert H](#) erhöhen liesse.

Bild 47

Resultateübersicht											
Minimale Referenzlebensdauer	minL10hr	128220	h	Minimale modifizierte Referenzlebensdauer	minLnmrh	20906.2	h	Minimale statische Sicherheit Wälzlager (ISO 17956)	minSOeff	8.83033	
Maximale Vergleichsspannung	maxSigV	163.751	MPa	Minimale Sicherheit Zahnfuss	minGearSF	2.58534		Minimale Sicherheit Zahnflanke	minGearSH	0.929774	
Maximale Verschiebung in x	maxUx	0.000207661	mm	Maximale Verschiebung in radialer Richtung	maxUr	0.108541	mm	Maximale Pressung in Wälzlagern	pmax	1352.28	MPa

6.2 Übersicht Zahnradverbindungen

6.2.1 Zahnradberechnung

➡ Die Verzahnungs-Resultate fördern auch Werte in Funktion der aktivierten Lizenz. In der vorliegenden Beispielberechnung, wurde die Verzahnungs-Berechnung aktiviert ([Bild 30](#)), wenn auch die Eingaben dazu nicht editiert wurden.

System

- System
 - Wellen
 - Hauptgruppe
 - Sonnenrad
 - Planetenträger
 - Hohlrad
 - Planetengruppe
 - Planetbolzen
 - Planet
 - Wälzlager
 - B1 'Generic 16002'
 - B2 Nadelhülse
 - B3 'Generic 61818'
 - B4 'Generic 61818'
 - Positionierung
 - Zahnradverbindungen
 - VZ_SR-VZ_PL
 - VZ_PL-VZ_HR

Allgemein Geometrie Bezugsprofil Details für Festigkeit

Dynamikfaktor	K_v	1.02888	<input type="checkbox"/> Kopfrücknahme	C_2	0	0	µm
Lastverteilungsfaktor	K_y	1	<input type="checkbox"/> Fussrücknahme	C_1	0	0	µm
Breitenlastfaktor	$K_{\alpha\beta}$	1.25	<input checked="" type="checkbox"/> Oberflächenrauheit Zahnflanke	$R_{\alpha\beta}$	6	6	µm
<input type="checkbox"/> Profilkorrekturen kompensieren Deformationen			Oberflächenrauheit Zahnfuss	$R_{\alpha F}$	18	18	µm
<input type="checkbox"/> Begrenzte Grübchenbildung zulässig			Stegbreite	b_s	0	0	mm
Erforderlicher Sicherheitsfaktor Zahnfuss	$S_{\alpha min}$	1.4	Anzahl Eingriffe	N_M	1	1	
Erforderlicher Sicherheitsfaktor Zahnflanke	$S_{\alpha min}$	1	Wechselbiegung		Nein	Nein	
			Einflussfaktor der Mittelspannungsempfindlichkeit	Y_M	1	1	

Die Zahnradberechnung kann durch Auswahl des Zahnradpaares im Systembaum / 'Zahnradverbindungen' geöffnet werden. Die Zahnradparameter kann man hier editieren und beim Schliessen der Zahnradberechnung werden die Eingaben dann zurückgelesen.

Bild 48

6.2.2 Resultate Zahnradverbindungen

Im Fenster für 'Zahnradverbindungen' (Bild 49) werden für jede Verzahnung Drehmomente, Sicherheitsfaktoren für Zahnfuß- und Flanken-Sicherheit (SF / SH) und weiter die Breitenlastverteilung (wmax / wavg) nach ISO 6336 angezeigt.

Im unteren Fenster werden Leistungsdaten, geometrischen Daten und Profilverschiebungsfaktoren (x1 / x2) ausgegeben.

Es fällt im Rahmen unserer Auslegung hier auf, dass die Flanken-Sicherheit 'SH' mit 0.93 unter den üblichen Werten für Standard Industriegetriebe zu liegen kommt. Ein Blick in das Fenster für Zahnradverbindungen zeigt hingegen für beide Verzahnungspaare akzeptable Werte für Zahnfuß-Sicherheit SF und Breitenlastverteilung wmax/wavg.

System		T1 [Nm]	T2 [Nm]	SF1	SF2	SH1	SH2	wmax/wavg
Stirnräder								
VZ_SR-VZ_PL								
Planet 1		9.996	14.49	3.06	2.99	0.93	0.98	1.15
Planet 2		9.998	14.50	3.06	2.99	0.93	0.98	1.13
Planet 3		10.01	14.51	3.05	2.98	0.93	0.98	1.16
VZ_PL-VZ_HR								
Planet 1		-14.49	39.48	2.59	2.98	1.69	1.75	1.03
Planet 2		-14.50	39.49	2.59	2.98	1.69	1.75	1.02
Planet 3		-14.51	39.52	2.59	2.98	1.69	1.75	1.04
Planetenstufen	T1 [Nm]	T2 [Nm]	T3 [Nm]	SF1	SF2	SH1	SH2	SB
Kegelräder	T1 [Nm]	T2 [Nm]		SF1	SF2	SH1	SH2	
Schnecken	T1 [Nm]	T2 [Nm]		SF	SH	SW	ST	SB

	VZ_SR-VZ_PL	VZ_PL-VZ_HR
Welle 1	Sonnenrad	Planet
Welle 2	Planet	Hohlrad
P [W]	2093.51	1057.33
n1 [rpm]	2000	-696.621
n2 [rpm]	-696.621	1.49236e-88
u	1.450	2.724
a [mm]	30.625	30.625
mn [mm]	1.25	1.25
alpha [°]	20.0000	20.0000
beta [°]	0.0000	0.0000
z1	20	29
z2	29	-79
x1	0.000	0.000
x2	0.000	0.459

➔ Das Anwenden eines Profilverschiebungsfaktors beispielsweise von je 0.3 an VZ_SR und VZ_PL, erhöht die Zahnfuß-Sicherheit SF substantiell und erhöht die Flanken-Sicherheit auf >1 (Bild 50).

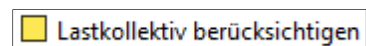
Stirnräder		T1 [Nm]	T2 [Nm]	SF1	SF2	SH1	SH2	wmax/wavg
VZ_SR-VZ_PL								
Planet 1		9.995	14.49	3.34	3.10	1.02	1.08	1.12
Planet 2		9.999	14.50	3.34	3.10	1.02	1.08	1.11
Planet 3		10.01	14.51	3.33	3.09	1.02	1.08	1.14
VZ_PL-VZ_HR								
Planet 1		-14.49	39.48	2.75	3.51	1.89	1.96	1.02
Planet 2		-14.50	39.50	2.75	3.50	1.89	1.96	1.02
Planet 3		-14.51	39.52	2.75	3.50	1.89	1.96	1.03

Bild 50

Besteht Bedarf, mit der Lizenz für [Stirnradberechnung](#) zu arbeiten, kann die Verzahnungsberechnung gemäss [Bild 30](#) aktiviert und über die einschlägigen Ein- und Ausgaben weiter bewertet werden. Gerne möchten wir auf den offiziellen Leistungsumfang oder das Handbuch unter [Zahnradverbindungen](#) verweisen.

6.3 Lastkollektive

Über das Systemfenster unter dem Reiter 'Einstellungen' kann ein Lastkollektiv eingegeben werden. Dadurch kann über den System-Baum das entsprechende Eingabefenster erreicht werden. Nähere Angaben dazu finden Sie in unserem [Shaft Starter Tutorial](#) oder im Handbuch unter [Berechnung mit Lastkollektiv](#).

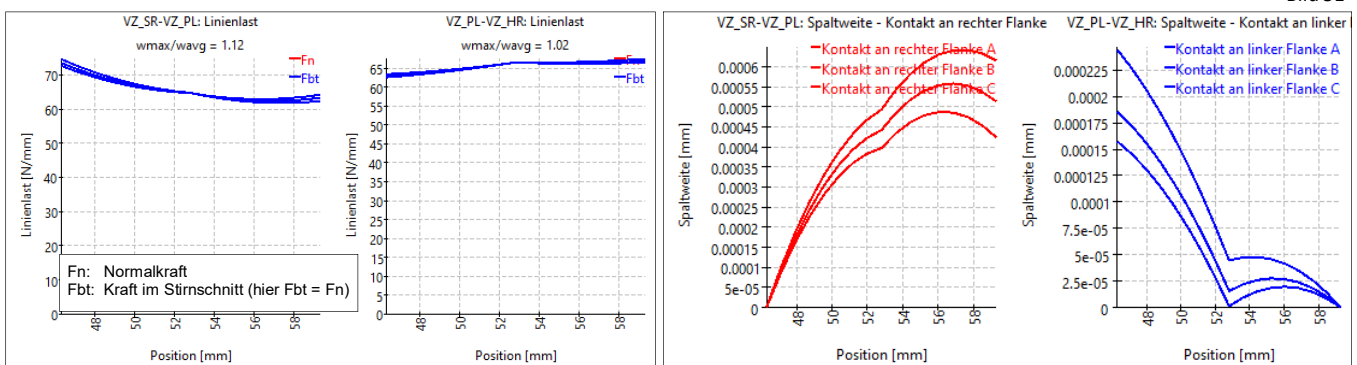


6.4 Grafische Darstellung von Resultaten

6.4.1 Übersicht

Nebst zahlreichen weiteren zur Bewertung der Verzahnung dienliche Grafiken unter dem Menü Grafiken, unterhalb die Linienlast und Spaltweite über Position für die vorliegende Berechnung (Bild 51).

Bild 51



- ➔ Die Linienlast (Bild 51) zeigt die Belastung aller 3 Kontakte an. Der geringe Unterschied ist auf das Gewicht der Wellen zurückzuführen.
- ➔ Die Spaltweite (Bild 51) gibt den Abstand zwischen den Flanken an, wenn die Lastübertragung nur an einem Punkt stattfinden würde. Im vorliegenden Fall würde eine Flankenlinienkorrektur auf Basis einer Spaltweite von max. 0.6 µm wirtschaftlich nicht zu rechtfertigen sein.
- ➔ Die obigen Diagramme wurden mit der Einstellung "Vergößerung des Wellendurchmessers" erstellt. Zahneingriffssteifigkeit, Wellen- und Lagersteifigkeit haben einen Einfluss auf diese Diagramme. Aber auch Fertigungsfehler und Gehäusesteifigkeit haben einen Einfluss auf das reale Getriebe.

6.4.2 Menü Grafiken

Eine zahlreiche Auswahl graphischer Resultate-Darstellungen steht über das Menü 'Grafiken' zur Verfügung (Bild 52).

Bild 52

Leistungsfloss Animiert, mit und ohne Verformung Zahnfußspannung

Die Grafiken können mit den aktuellen Ausgaben an die Hauptprogramm-Oberfläche angedockt werden und sind nach jeder Berechnung automatisch aktualisiert (Bild 53). Ziehen Sie die Grafiken in die Resultateübersicht oder unter die Menüleiste.

Bild 53

6.4.3 Export

Über den Menüpunkt 'CAD' kann das Wellensystem oder Komponenten daraus angezeigt und weiter mittels Kontextmenü auch als STEP-Datei zur Weiterverwendung exportiert werden.

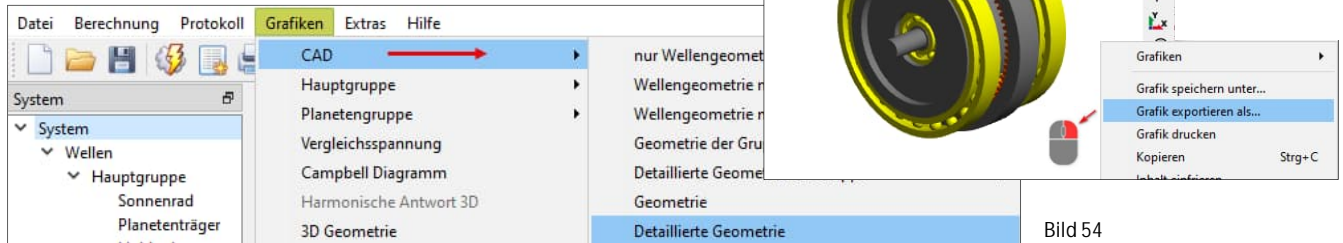


Bild 54

MESYS wünscht Ihnen eine lehrreiche und gewinnbringende Erfahrung mit unseren Tutorials. Bitte wenden Sie sich bei Unklarheiten, Anregungen oder Fragen, ungehindert an info@mesys.ch.