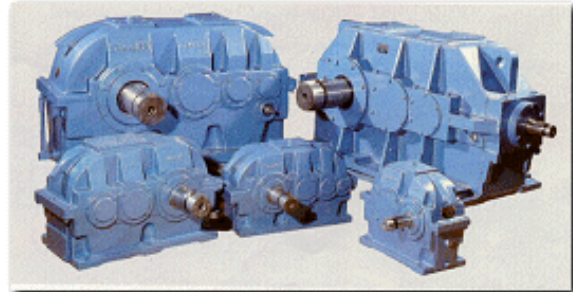


KISSsoft AG
Frauwis 1
CH - 8634 Hombrechtikon
Telefon: +41 55 264 20 30
Fax: +41 55 264 20 33
Email: info@KISSsoft.ch

KISSSOFT
Berechnungssoftware für den Maschinenbau

KISSsys Anwendung:

Automatisierte Grobauslegung von zweistufigen Getrieben



Stichworte: Stirnradgetriebe, Auslegung, zweistufige Getriebe

Letzte Änderung: 16. Aug. 2005

1 Aufgabenstellung

Basierend auf einer nominellen Leistung/Drehzahl und einer gewünschten Untersetzung kann ein zweistufiges Stirnrad-Getriebe automatisch ausgelegt werden (Zahnräder, Wellen und Wälzlager). Übersetzungsaufteilung, Zahnbreiten und Achsabstände können wahlweise ausgelegt oder vorgegeben werden.

Der Anwender hat nach der Auslegung die Möglichkeit, einzelne Parameter der Verzahnung zu optimieren und im Anschluss einen Festigkeitsnachweis des Getriebes anzufordern. Der Aufwand für die Auslegung eines Getriebes soll dadurch massiv reduziert werden.

2 Lösungsprinzip

Es wird ein KISSsys-Modell für die Berechnung der Kinematik und Leistung des zweistufigen Getriebes aufgebaut. Über Tabellen werden eine Konfigurationsmöglichkeit und Ergebnisübersichten geschaffen. Die KISSsoft Auslegungsfunktionen (Auslegung einer einzelnen Stufe basierend auf Sollleistung und Sollübersetzung) können automatisiert aufgerufen werden, so dass ein erster Grobentwurf nach wenigen Eingaben zur Verfügung steht. Bei der Detaillierung des Entwurfs stellt das Modell eine Übersicht über die wesentlichen Ergebnisse und Zugriff auf die KISSsoft-Berechnungen zur Verfügung.

3 Beschreibung des Modells

3.1 Aufbau des Getriebes

Es handelt sich um ein zweistufiges Stirnradgetriebe mit drei Wellen, die je mit zwei Wälzlagern gelagert sind. An der ersten und letzten Welle ist eine Kupplung für den An- respektive Abtrieb vorhanden. Die Wellenenden mit den Kupplungen können beide auf derselben oder auf verschiedenen Seiten des Getriebes liegen. Die Wellen sind am Anfang in einer Ebene angeordnet, können aber auch tangential zu einander versetzt liegen. Je drei Wälzlager liegen in einer Ebene, sie können aber nach der Grobauslegung noch verschoben werden.

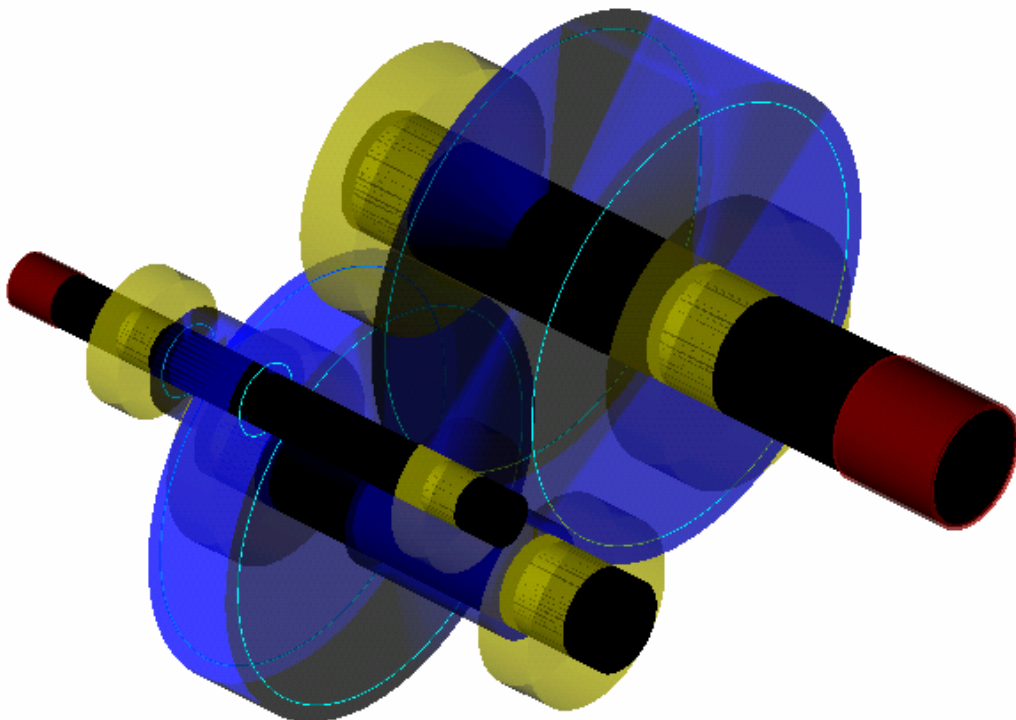


Abbildung 3.1-1 Getriebe mit 45° Winkel zwischen den Wellen. Blau: Zahnräder, Schwarz: Wellen, Gelb: Wälzlager, Rot: Kupplungen

3.2 Ein- und Ausgabefenster zur Bedienung

Dem Anwender stehen im Wesentlichen fünf Fenster (Interfaces) zur Bedienung zur Verfügung

- Interface zur automatisierten Auslegung „Sizing“
- Interface zur Definition globaler Parameter „GlobalData“
- Interface zur Kontrolle der Verzahnungsparameter „HelicalGears“
- Interface für den abschliessenden Festigkeitsnachweis „Verification“
- 3D Ansicht des Getriebes zur Kontrolle „kSys3Dview“

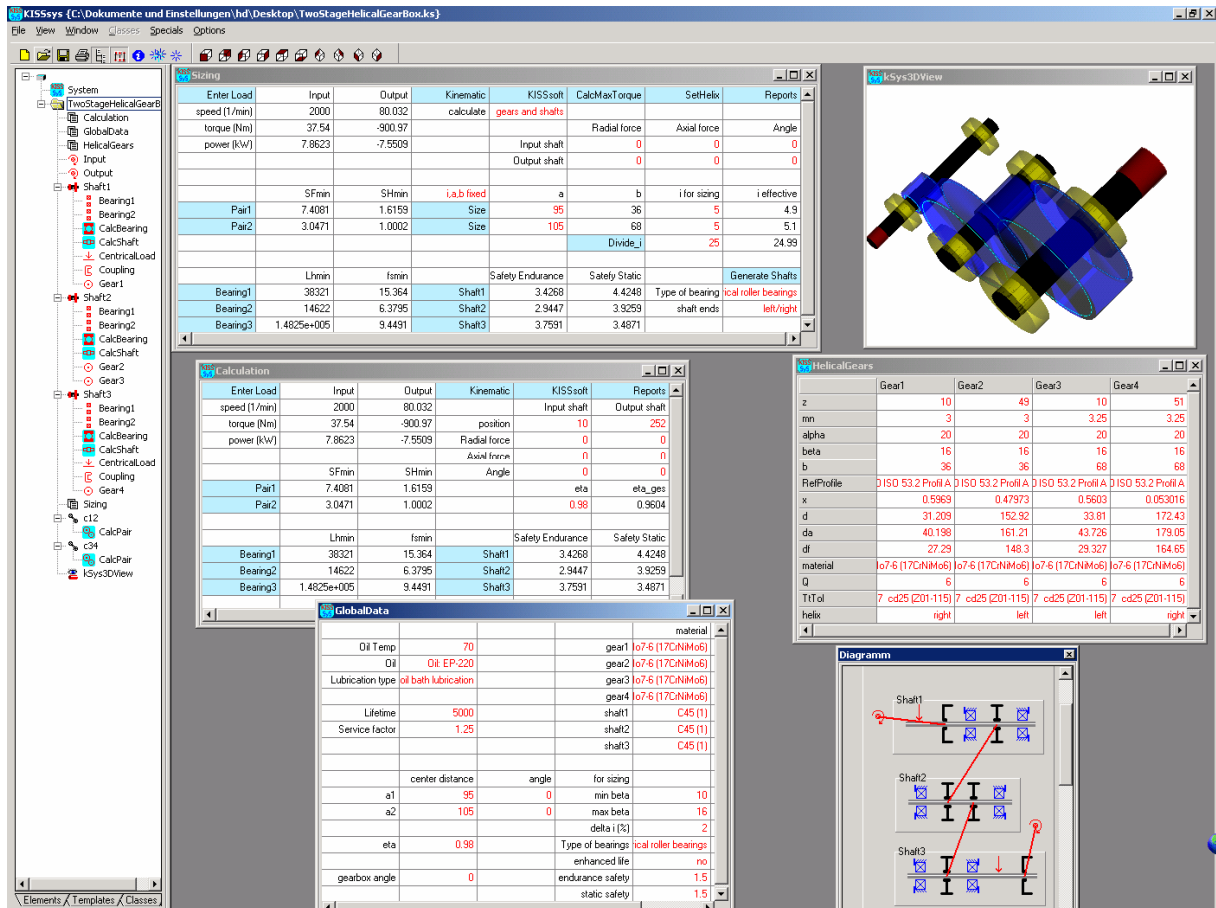


Abbildung 3.2-1 Linker Rand: Baumstruktur des Modells

Mitte, oben nach unten: Auslegung, Nachrechnung, Globale Parameter

Rechts, oben nach unten: 3D Ansicht, Zahnradaten, Schema

Blau hinterlegte Zellen kennzeichnen Funktionen die per Doppelklick aufgerufen werden. Felder mit roter Schrift sind Eingabefelder, entweder kann hier ein Wert aus einer Liste ausgewählt oder direkt eingegeben werden.

3.3 Prinzipielles Vorgehen zur Auslegung

- 1) Vorgabe der globalen Parameter im Fenster „Global Data“. Es sind die unten gezeigten Parameter anzugeben, diese können jederzeit geändert werden.

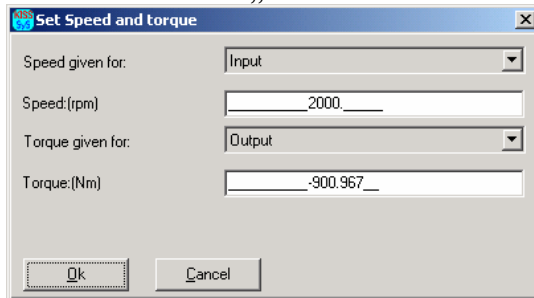
GlobalData		material
Oil Temp	70	gear1 io7-6 (17CrNiMo6)
Oil	Oil: EP-220	gear2 io7-6 (17CrNiMo6)
Lubrication type	oil bath lubrication	gear3 io7-6 (17CrNiMo6)
		gear4 io7-6 (17CrNiMo6)
Lifetime	5000	shaft1 C45 (1)
Service factor	1.25	shaft2 C45 (1)
		shaft3 C45 (1)
	center distance	angle
a1	95	45
a2	105	-45
		delta i (%)
eta	0.98	Type of bearings ical roller bearings
gearbox angle	0	enhanced life no
		endurance safety 1.5
		static safety 1.5

Abbildung 3.3-1 Fenster „Global Data“

Parameter	Erklärung
Oil Temp	Temperatur des Schmiermittels
Oil	Art des Schmiermittels, Auswahl aus Liste
Lubrication type	Art der Schmierung, Auswahl aus Liste
Lifetime	Geforderte Lebensdauer des Getriebes
Service factor	Anwendungsfaktor
center distance, a1, a2	Vorgabe für Achsabstände
angle, a1, a2	Vorgabe für relative Winkel der Achsen
Eta	Wirkungsgrad pro Stufe
gearbox angle	Lage des Getriebes im Raum
min beta, max beta	Zulässiger Bereich des Schrägungswinkel
delta i(%)	Zulässiger Fehler der Untersetzung pro Stufe
Type of bearings	Art der Wälzlager, Auswahl aus Liste
enhanced life	Erweiterte Lebensdauerberechnung für Wälzlager, Auswahl aus Liste
endurance safety	Geforderte Sicherheit gegen Ermüdung
static safety	Geforderte Sicherheit, statisch

2) Angabe der zu übertragenden Leistung aus Drehzahl und Drehmoment, Berechnung der Kinematik über Funktionen.

- Vorgabe von Ein- oder Ausgangsdrehzahl
- Vorgabe von Ein- oder Ausgangsdrehmoment
- Über die Funktion „Enter Load“ im Fenster „Sizing“ Aufruf des Dialoges:



- Berechnen der Kinematik über die Funktion „Kinematic“ im Fenster „Sizing“

3) Aufteilen der Untersetzung auf die beiden Stufen.

- Vorgabe der Gesamtübersetzung
- Automatische Aufteilung auf die beiden Stufen über die Funktion „Divide_i“
- Vorschlag für die Aufteilung kann manuell korrigiert werden:

	Input shaft	0	0	
	Output shaft	0	0	
i,a,b fixed	a	b	i for sizing	
Size	95	36	6.8399	
Size	105	68	3.655	
		Divide_i	25	
	Safety Endurance	Safety Static		Genera
Shaft1	3.4268	4.4248	Type of bearing	ical roller

Änderbarer Vorschlag der Aufteilung

Funktion zur Aufteilung

Geforderte Gesamtübersetzung

Bemerkung: Die Funktion „Divide_i“ teilt die Untersetzung nach einem im Buch von G.Niemann dokumentierten Algorithmus aus, welcher für Stufe1 jeweils eine grössere Untersetzung vorschlägt. Dadurch ergibt sich für Stufe1 und Stufe2 bei der Auslegung jeweils ein etwa gleich grosser Achsabstand.

4) Erste Auslegung der beiden Stufen. Basierend auf der Belastung und den globalen Parametern werden für die beiden Stufen vier geeignete Zahnräder vorgeschlagen. Hierzu ist vorgängig die passende Einstellung aus der Liste „i fixed / i,a fixed / i,a,b fixed“ zu wählen. Normalerweise ist im ersten Schritt „i fixed“ zu wählen. Ist jedoch der Achsabstand gegeben, so ist aus der Liste z.B. „i,a fixed“ zu wählen. Dann wird über den Funktionsaufruf „Size“ (je einer pro Stufe) ein Vorschlag für eine Verzahnung mit der geforderten Untersetzung (und, falls so vorgegeben, den

geforderten Achsabständen) gemacht:

00	80.032	calculate	gears and shafts	
54	-900.97			Radial fo
23	-7.5509		Input shaft	
			Output shaft	
min	SHmin	i,a fixed		a
81	1.6159	Size	95	
71	1.0002	Size	105	
				Divid
min	fsmin	Safety Endurance	Safety St	

i,a fixed wählen

„Size“ zur Auslegung der ersten Stufe

„Size“ zur Auslegung der zweiten Stufe

Wenn die Zahnbreite bereits bekannt ist, kann „i,a,b fixed“ gewählt werden.

Die Hauptdaten der vorgeschlagenen Zahnräder sind im Fenster „HelicalGears“ angegeben:

	Gear1	Gear2	Gear3	Gear4
z	10	49	10	51
mn	3	3	3.25	3.25
alpha	20	20	20	20
beta	16	16	16	16
b	36	36	68	68
RefProfile	ISO 53.2 Profil A	ISO 53.2 Profil A	ISO 53.2 Profil A	ISO 53.2 Profil A
x	0.5969	0.47973	0.5603	0.053016
d	31.209	152.92	33.81	172.43
da	40.198	161.21	43.726	179.05
df	27.29	148.3	29.327	164.65
material	107-6 (17CrNiMo6)	107-6 (17CrNiMo6)	107-6 (17CrNiMo6)	107-6 (17CrNiMo6)
Q	6	6	6	6
Tol	7 cd25 (Z01-115)	7 cd25 (Z01-115)	7 cd25 (Z01-115)	7 cd25 (Z01-115)
helix	right	left	left	right

5) Die Breite der Zahnräder ist dabei ein rechnerischer Wert und sollte angepasst werden. Damit ist ein erster Vorschlag für die Verzahnung etabliert.

6) Auslegen der Wellen und Wälzlager. Basierend auf der geforderten Festigkeit (vorgegebene Mindest-Sicherheiten) respektive Lebensdauer wird automatisch eine grobe Wellengeometrie erstellt respektive geeignete Wälzlager gewählt:

95	36	6.8399	4.9
105	68	3.655	5.1
	Divide_i	25	24.99
safety Endurance	Safety Static		Generate Shafts
3.4268	4.4248	Type of bearing	ical roller bearings
2.9447	3.9259	shaft ends	left/left
3.7591	3.4871		

Lagertyp wählen

Konfiguration Wellenenden wählen

Auslegung von Wellen und Lagern

7) Jetzt steht ein erster Grobentwurf zur Verfügung. Mit der Schaltfläche „KISSsoft“ kann eine Nachrechnung aller Wellen, Zahnradpaare und Lager gestartet werden. Über die Schaltflächen „Pair1“/„Pair2“ können die Zahnradpaare detailliert werden. Die Wellengeometrie und Festigkeitsberechnung kann über „Shaft1“/„Shaft2“/„Shaft3“ definiert werden und die Lagerauswahl lässt sich entweder im Welleneditor oder in der Lagerberechnung ändern. Die axiale Position der Wellen zueinander wird durch die Zahnradmittelpunkte bestimmt. Alle Positionen auf der Welle können im KISSsoft Welleneditor definiert werden.

- 8) In der Detaillierungsphase werden die Auslegungsfunktionen nicht mehr gebraucht, daher kann jetzt mit der Tabelle „Verification“ gearbeitet werden:

	Enter Load	Input	Output	Kinematic	KISSsoft	Reports
Eingabe Belastung	speed (1/min)	2000	80.032		Input shaft	Output shaft
	torque (Nm)	37.54	-900.97	position	10	252
	power (kW)	7.8623	-7.5509	Radial force	0	5
				Axial force	0	0
		SFmin	SHmin	Angle	0	0
	Pair1	7.4081	1.6159		eta	eta_ges
Aufruf KISSsoft Eingabemasken	Pair2	3.0471	1.0002		0.98	0.9504
		Lhmin	fsmin		Safety Endurance	Safety Static
	Bearing1	38321	15.364	Shaft1	3.4268	4.4248
	Bearing2	14622	6.3795	Shaft2	2.9447	3.9259
	Bearing3	1.4825e+005	9.4491	Shaft3	3.7591	3.4871

Gesamtprotokoll erzeugen
 Nachrechnung des Systems
 Eingabe äusserer Lasten auf Wellenenden

3.4 Wichtige Hinweise

- 1) Lage der Wellenenden: Die Wellenenden mit den Kupplungen können beide auf derselben oder auf verschiedenen Seiten des Getriebes liegen. Dies wird in der Liste „left/left“ etc. definiert (siehe Kapitel 3.3).
- 2) Konstruktion der Wellen: Bei der Auslegung der Wellen wird eine Geometrie erzeugt, die wesentliche Randbedingungen erfüllt. Mit einer Dauerfestigkeitsberechnung, welche automatisch Kerbwirkungen erkennt, wird der Wellendurchmesser bestimmt. Diese Art der Geometrie-Erzeugung und Festigkeitsberechnung kann nicht die Feinarbeit des Konstrukteurs übernehmen. Es ist deshalb wichtig, abschliessend in der Welleneingabe die Geometrie der Welle zu verfeinern und dort auch die zusätzlichen Kerbwirkungen einzutragen (z.B. Passfedern).
- 3) Funktion „CalcMaxTorque“: Diese Funktion bestimmt nach Durchführung der Feinarbeiten das maximal übertragbare Drehmoment mit Berücksichtigung der geforderten Mindest-Sicherheiten der Zahnräder und Wellen, sowie der geforderten Mindest-Lebensdauer der Lager.
- 4) Die Schrägungsrichtung der Zahnräder hat einen wesentlichen Einfluss auf die Wälzlager-Lebensdauer. Mit der Funktion „SetHelix“ kann die Zahnschrägungsrichtung des Rades auf der Abtriebswelle vorgegeben werden. Die Schrägungsrichtung der andern Zahnräder wird in logischer Verknüpfung gesetzt (die Zwischenwelle hat immer beide Zahnräder mit gleicher Schrägungsrichtung, damit sich die Axialkräfte kompensieren).

4 Zusammenfassung

Ähnlich wie die Funktion für die Grobauslegung eines Zahnradpaares in KISSsoft, die für eine gegebene Leistung und geforderte Lebensdauer ein Zahnradpaar vorschlägt, ist in KISSsys ein Modell erstellt worden, das diese Funktionalität auf Ebene des Gesamtgetriebes bietet. Damit ist innert kürzester Zeit ein zweistufiges Getriebe ausgelegt, das den geforderten Lebensdauern bei gegebener Belastung genügt. Mit den in KISSsoft integrierten Feinauslegungen für die einzelnen Stufen kann dieser Vorschlag weiter optimiert werden. Der Zeitaufwand für die Auslegung eines optimierten, zweistufigen Getriebes ist damit drastisch verkürzt und es können in kurzer Zeit verschiedene Varianten ausprobiert und miteinander verglichen werden.

Eine Erweiterung auf drei- und vierstufige Getriebe sowie für Getriebe mit Planeten- oder Kegelaradstufen ist in Arbeit.