

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:

Lebensdauerberechnung für ein 4MW Windkraftgetriebe: Zwei Planetenstufen und eine Stirnradstufe



Stichworte: Planetenstufe, Windkraft, Lastkollektiv, Umlaufgetriebe

Letzte Änderung: 16. Aug. 2005

1 Aufgabenstellung

Um verschiedene Verzahnungsvarianten eines Windkraftgetriebes (4MW) auf ihre rechnerische Lebensdauer hin rasch miteinander vergleichen zu können, soll ein Modell eines kompletten Getriebes erstellt werden. Die Lebensdauerberechnung der Zahnräder und der Wälzlager soll für ein vom Anwender definiertes Lastkollektiv (Drehmoment an der Eingangswelle) bestimmt werden. Die Resultate werden in einem Bericht zusammengefasst.

2 Lösungsprinzip

In KISSsys wird das komplette Getriebe, bestehende aus den beiden Planetenstufen und der Stirnradstufe, aufgebaut. Damit ist die Kinematik des Getriebes abgebildet. Die Anbindung der Lebensdauerberechnung für die Wälzlager und für die Zahnräder erlaubt dann die Festigkeitsrechnung der einzelnen Elemente basierend auf den wirkenden Lasten, die von KISSsys für alle Elemente errechnet werden. Es reicht also aus, das Antriebsmoment und die Antriebsdrehzahl zu definieren um die Belastung sämtlicher Elemente berechnen zu lassen. Die Lebensdauerberechnung der Zahnräder und der Lager wird über eine Schädigungsakkumulation in KISSsys vorgenommen. Das Bestimmen einer schädigungsäquivalenten Last aus dem Kollektiv ist hier nicht sinnvoll, da die Neigungen der Wöhlerlinien für die Lager und die Zahnräder nicht gleich sind. Lastkollektive an der Eingangswelle können entweder direkt über eine Schnittstelle aus Text Dateien gelesen oder manuell eingegeben werden.

Die für die Berechnung verwendeten Werte sind in Variablen gespeichert und stehen somit für die Ausgabe im Sinne eines Reports zur Verfügung. Die Dokumentation wird über eine entsprechende Funktion in der Bedienungsfläche vom Anwender angefordert und als Text-Dokument ausgegeben.

3 Beschreibung des Modells

3.1 Aufbau des Getriebes

Es handelt sich um ein zweistufiges Planetengetriebe, gefolgt von einer Stirnradstufe.

Technische Daten (Anhaltswerte):

Leistung	4MW
Nenn Drehmoment	2500kNm
Nenn Drehzahl	15Upm
Untersetzung	1:120
Durchmesser	2000mm
Länge	2800mm
Geforderte Lebensdauer	20Jahre

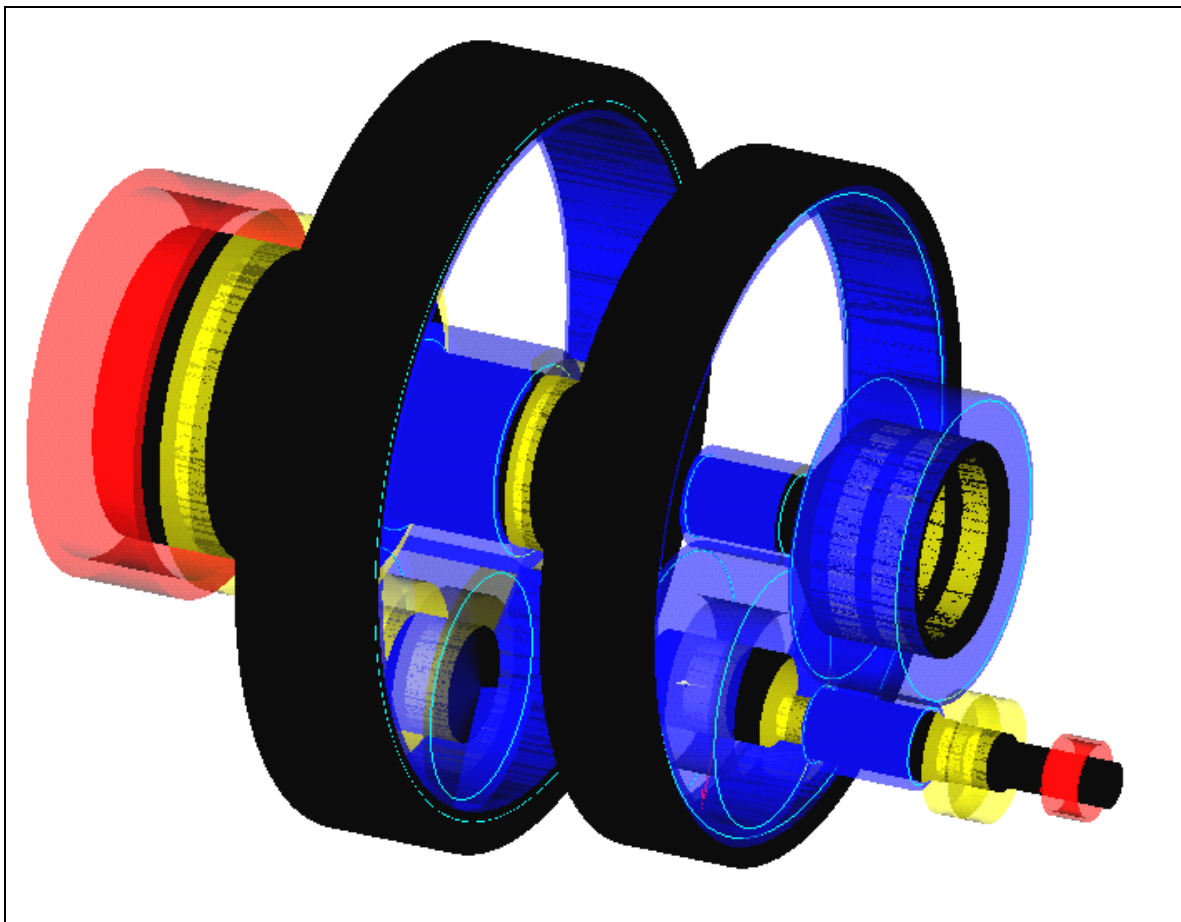


Abbildung 3.1-1 Aufbau des Getriebes: Schwarz: Wellen, Blau: Zahnräder, Gelb: Wälzlager, Rot: Kupplungen

Die beiden Ringe der Planetenstufe werden festgehalten, die erste Stufe weist fünf, die zweite Stufe drei Planeten auf (in der 3D Darstellung ist jeweils nur ein Planet dargestellt). Die beiden Ringe drehen nicht, sie werden über eine Momentenstütze gehalten. Dies wird in KISSsys durch Einfrieren des Bewegungsfreiheitsgrades erreicht. Der Leistungsfluss ist wie folgt abgebildet:

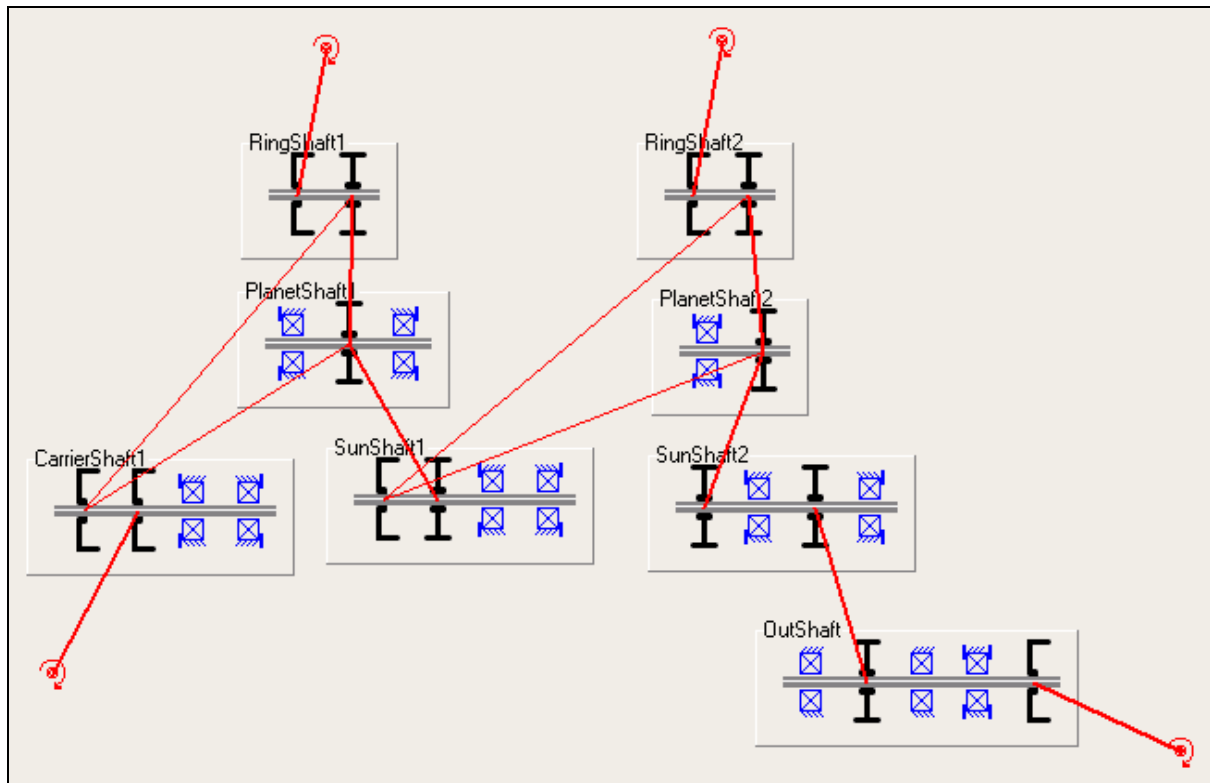


Abbildung 3.1-2 Prinzipische Skizze des Getriebes mit Leistungsfluss (rot), Maschinenelementen (Welle, Zahnrad, Kupplung, Lager) sowie Leistungsein- und -ausgängen.

Der dreidimensionalen Abbildung und dem Schema für den Leistungsfluss ist die Baumstruktur des Getriebes mit allen Maschinenelementen zu Grunde gelegt:

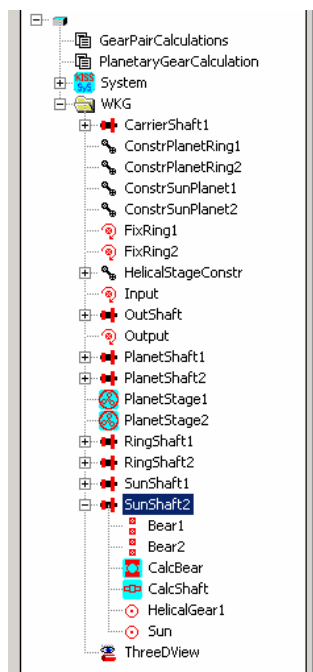


Abbildung 3.1-3 Baumstruktur des Windkraftgetriebes bestehend aus mehreren Wellen, Leistungsein- und -Ausgängen und Verbindungen. Am Beispiel der Welle der Sonne der zweiten Planetenstufe sind die auf der Welle platzierten Elemente (Lager, Zahnräder) gezeigt.

3.2 Definition der wirkenden Lasten

Der Anwender kann über die Anwender-Maske die wirkende Drehzahl und das Drehmoment an der Eingangswelle (Rotornabe) bestimmen, die Eingabe der Nominalwerte erfolgt über einen Dialog:

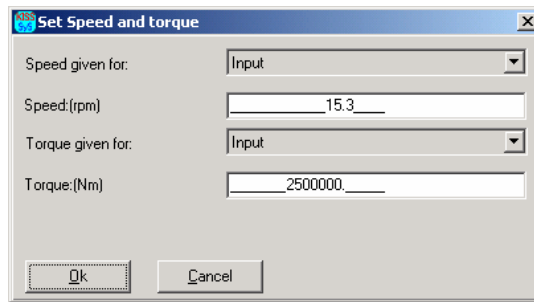


Abbildung 3.2-1 Dialog zur Definition von Eingangsdrehzahl und Eingangsmoment.

Diese Nominalwerte können um ein Lastkollektiv (Häufigkeit, Drehmoment und Drehzahl) erweitert werden. Die Lastkollektive können direkt aus einem Textfile gelesen werden. Dazu werden sie über einen Dialog ausgewählt:

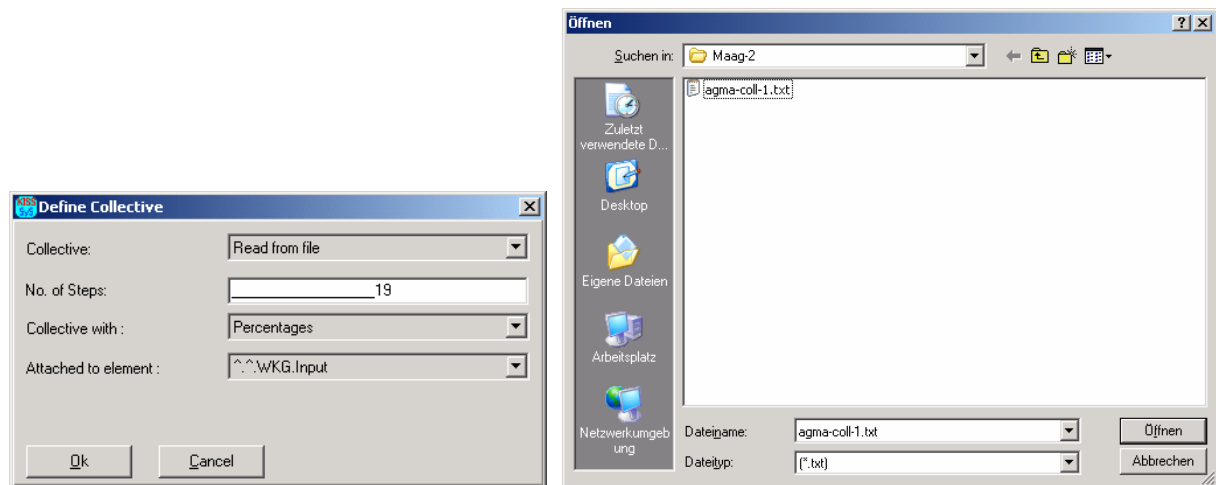


Abbildung 3.2-2 Auswahl des anzuwendenden Lastkollektives über einen KISSsys Dialog

Das Kollektiv wird dann gelesen und in KISSsys abgespeichert:

	Frequency	Torque	Speed
0	7.092e-007	1.4737	1
1	4.2109e-006	1.4474	1
2	4.0558e-006	1.4211	1
3	1.5691e-005	1.3947	1
4	2.8812e-005	1.3684	1
5	8.2002e-005	1.3421	1
6	0.00012854	1.3158	1
7	0.00046542	1.2895	1
8	0.00084218	1.2632	1
9	0.0024379	1.2368	1
10	0.007092	1.2105	1
11	0.011525	1.1842	1
12	0.015514	1.1579	1
13	0.048758	1.1316	1
14	0.082002	1.1053	1
15	0.12854	1.0789	1
16	0.22606	1.0526	1
17	0.27482	1.0263	1
18	0.20168	1	1

Abbildung 3.2-3 Eingelesenes Lastkollektiv, Drehzahl bleibt konstant auf Nominalwert. Linke Spalte: Häufigkeit (Summe=1), Mittlere Spalte: relatives Drehmoment, Rechte Spalte: Relative Drehzahl

Weiter kann der Anwender Angaben zur Schmierung (Schmiermittel, Schmierungsart und Temperatur) machen:

.....			
.....	Lubrication		
.....	Lubricant	Öl: XP 100	
.....	Temperature	75	
.....	Type	oil injection	
.....		oil bath lubrication	
.....		oil injection	
.....		Grease lubrication	
.....		Dry-running	

Abbildung 3.2-4 Auswahl von Schmiermittels Temperatur und Schmierart aus Listen.

3.3 Aufrufen der Berechnung, Darstellung der Resultate

Im User Interface (siehe Abbildung unten) kann der Anwender nach Definition der Belastung und der Getriebeparameter die Schädigungsrechnung durch Doppelklick auf die Funktion „Calc. Lifetime“ starten.

The screenshot displays the KISSsys software interface for a strength analysis of a 4MW wind turbine gearbox. The main window is titled 'UserInterface' and contains several data tables and a 3D model.

Strength analysis of a 4MW wind turbine gear box

Exe. Calculations	Calc. Kinematic	Speed / Torque	Input	Output
	Calc. Lifetime	Nominal Speed	15.3	-1801.1
	General Report	Nominal Torque	2.5e+006	21237
	Analysis Reports	Reduction	1	117.72
		Efficiency	1	1

Results		Foot [h]	Pitting [h]	Scoring Int [-]
Planet Stage 1	Sun	6.6845e+025	6.6845e+025	11.744
	Planet	3.7136e+026	3.7136e+026	
	Ring	3.7136e+026	3.7136e+026	53.492
Planet Stage 2	Sun	1.282e+025	337.31	9.7593
	Planet	1.0763e+026	1.0763e+026	
	Ring	1.0763e+026	1.0763e+026	53.492
Helical Stage	Driving Gear	9.2535e+024	9.2535e+024	17.356
	Driven Gear	3.3432e+025	3.3432e+025	
Bearings	Carrier Shaft 1	2.4263e+008	1.5107e+011	
	Planet Shaft 1	1.3155e+005	1.5107e+011	
	Sun Shaft1	0.0113	1.5107e+011	
	Planet Shaft 2	0		
	Sun Shaft 2	0.15178	0.081364	6729.8
Output Shaft	95.986	462.92		

Collective

	Frequency	Torque	Speed
0	7.092e-007	1.4737	1
1	4.2109e-006	1.4474	1
2	4.0559e-006	1.4211	1
3	1.5691e+005	1.3947	1
4	2.9912e+005	1.3694	1
5	8.2002e+005	1.3421	1
6	0.00012954	1.3159	1
7	0.00046542	1.2895	1
8	0.00094218	1.2632	1
9	0.0024379	1.2368	1
10	0.007092	1.2105	1
11	0.011525	1.1842	1
12	0.015514	1.1579	1
13	0.048758	1.1316	1
14	0.082002	1.1053	1
15	0.12854	1.0789	1
16	0.22606	1.0526	1
17	0.27482	1.0263	1
18	0.20168	1	1

Diagram

gears (foot and pitting, according to DIN, ISO or AGMA), bearing considering lubricant, temperature and lubrication type read torque spectra from file, damage accumulation calculated kinematics are calculated modify gear parameters using KISSsoft gear calculation automatic report generation with all load and strength info

Abbildung 3.3-1 Gesamtansicht von KISSsys mit dem UserInterface (Tabelle in der rechten oberen Ecke)

Diese Funktion berechnet für jede einzelne Stufe des Lastkollektives die Schädigungen (basierend auf den Bauteilwöhlerlinien) der einzelnen Wälzlager und Zahnräder. Die Schädigung wird laufend akkumuliert und am Schluss in eine rechnerische Lebensdauer umgerechnet. Die Berechnung der Zahnräder kann dabei nach DIN, ISO oder AGMA Normen erfolgen, die der Wälzlager nach Standardberechnung oder erweitert nach ISO281.

Die Zahngeometrien lassen sich durch Aufruf der KISSsoft-Berechnungen verändern und optimieren. Das Nachrechnen einer neuen Variante dauert dann lediglich Sekunden:

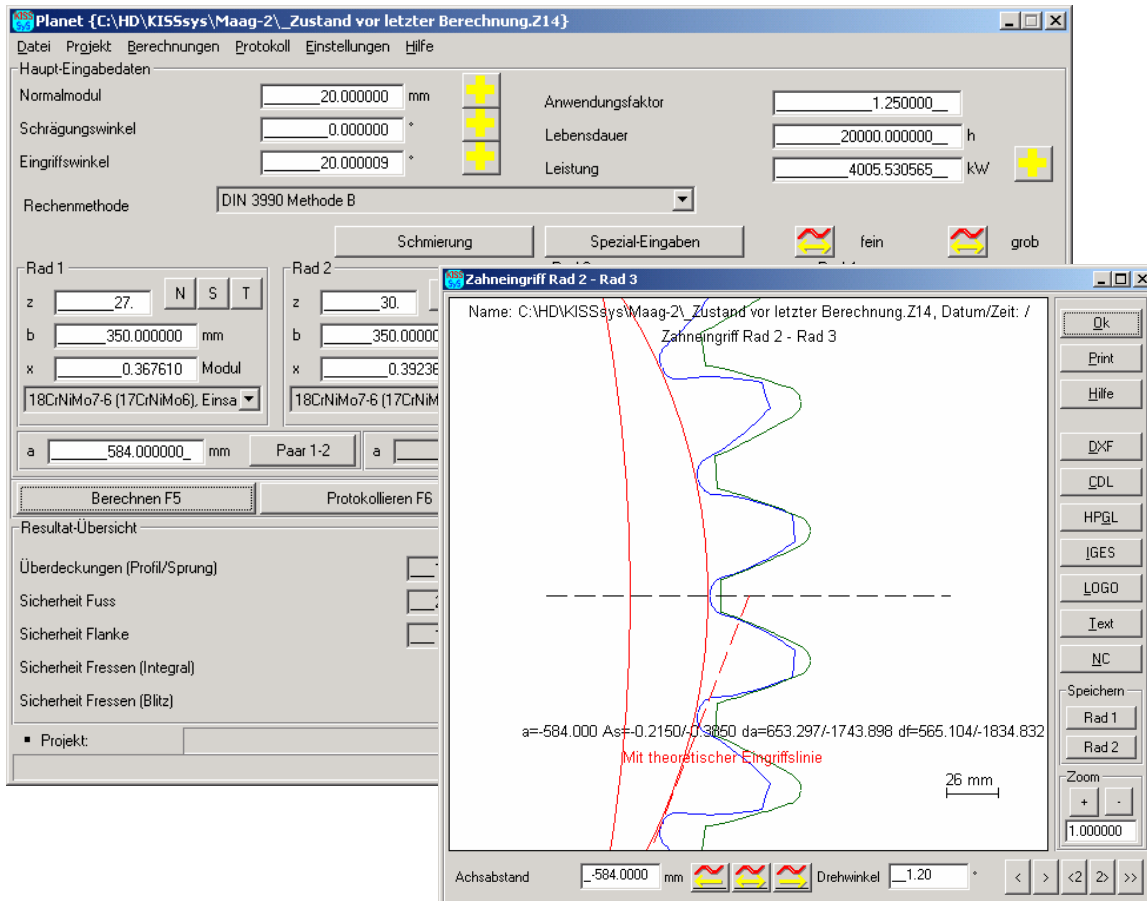


Abbildung 3.3-2 Optimierung der Zahnform in KISSsoft, automatischer Austausch der Daten zwischen KISSsoft und KISSsys. Rechts: Zahnform, Planet-Ring.

4 Zusammenfassung

Vorteil dieser Systemsicht ist es, anhand eines bestehenden Modells eines Getriebes oder Antriebsstrangs, in kurzer Zeit umfangreiche Parameterstudien durchführen zu können. Während der Aufbau eines solchen Modells Zeit und Aufwand erfordert, ist die Zeitersparnis bei der nachfolgenden Optimierung der Verzahnung und Nachrechnung der einzelnen Elemente enorm, insbesondere wenn komplexe Lastkollektive durchgerechnet werden.

Die Funktion, sämtliche Berechnungen direkt als Textprotokolle auszugeben reduziert den Aufwand für die Dokumentation erheblich. Benutzerdefinierte Vorlagen erlauben es sogar, technische Berichte komplett automatisch erstellen zu lassen. Die vom typischen Ingenieur nicht sonderlich geschätzte Arbeit für die Dokumentation wird damit auf ein Minimum reduziert.

Das illustrierte Modell kann beliebig erweitert werden. Ein nächster Schritt wäre beispielsweise, Kräfte und Biegemomente an der Nabe einzuführen um die Lagerbelastung der Eingangswelle realistischer zu gestalten.