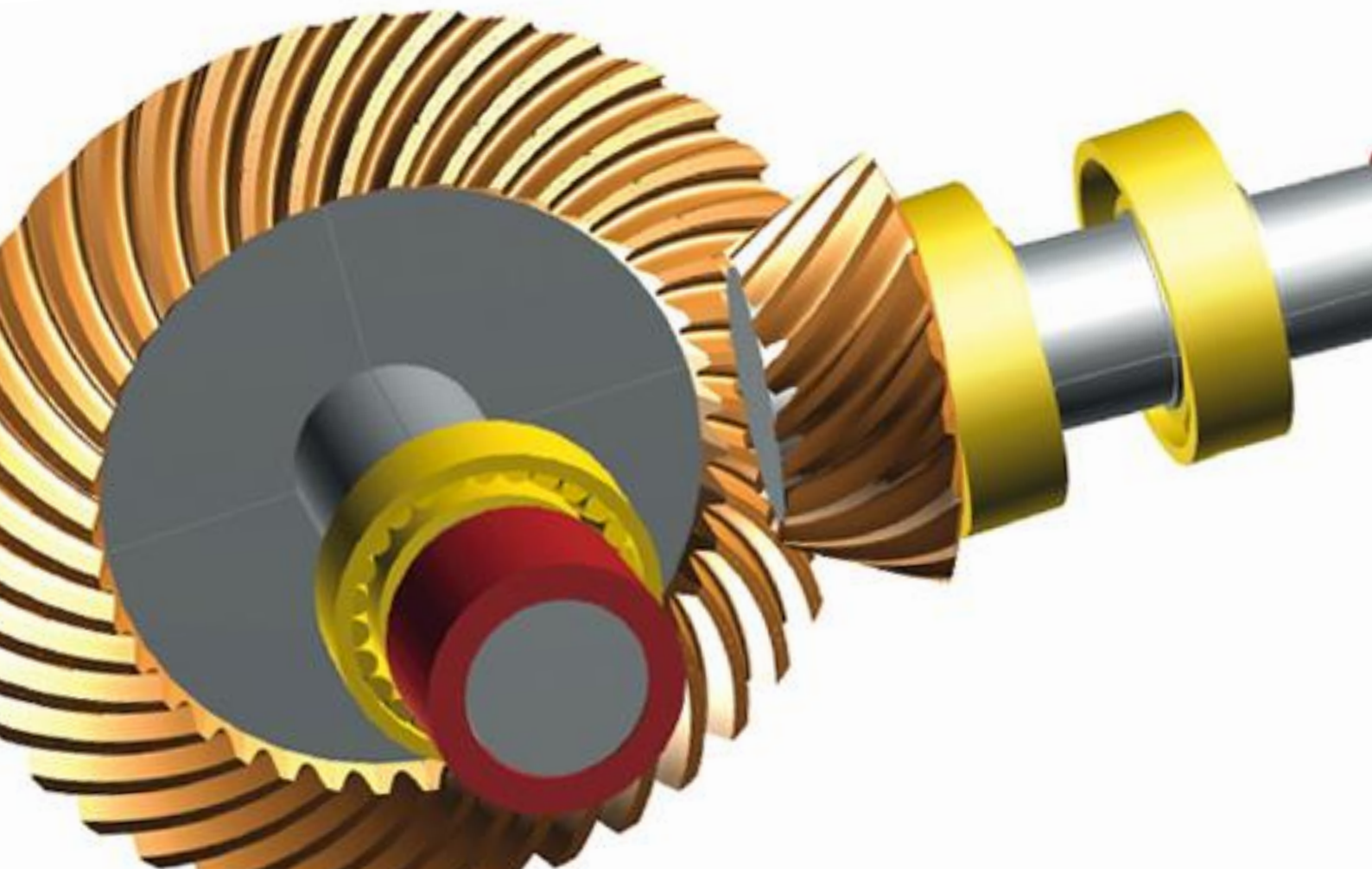


KISSsoft Spezifikationen

Zahnräder



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Stirnrad | 4 |
| 1.1 | Geometrieberechnung | 4 |
| 1.2 | Festigkeitsberechnung | 4 |
| 1.3 | Auslegung | 4 |
| 1.4 | Kontaktanalyse | 4 |
| 1.5 | Planeten | 5 |
| 1.6 | 2D/3D-Export | 5 |
| 2 | Lehrzahnrad | 5 |
| 3 | Zahnradpumpen | 5 |
| 4 | Kegelrad | 6 |
| 4.1 | Geometrieberechnung | 6 |
| 4.2 | Festigkeitsberechnung | 6 |
| 4.3 | Auslegung | 6 |
| 4.4 | Kontaktanalyse | 7 |
| 4.5 | Differentiale | 7 |
| 4.6 | Schnittstelle zu Herstellersoftware GEMS® | 7 |
| 4.7 | 3D-Export | 7 |
| 5 | Schnecken mit Globoidschneckenrädern | 7 |
| 5.1 | Geometrieberechnung | 8 |
| 5.2 | Festigkeitsberechnung | 8 |
| 5.3 | Auslegung | 8 |
| 5.4 | 2D/3D-Export | 8 |
| 6 | Schraubräder, Schnecken, Zylinderschneckenrad | 8 |
| 6.1 | Geometrieberechnung | 9 |
| 6.2 | Festigkeitsberechnung | 9 |
| 6.2.1 | ISO 6336/Niemann | 9 |
| 6.2.2 | VDI 2736 | 9 |
| 6.2.3 | Höchst | 9 |
| 6.2.4 | VDI 2545 | 9 |
| 6.2.5 | Statisch | 10 |
| 6.2.6 | Pech | 10 |
| 6.3 | Auslegung | 10 |
| 6.4 | 2D/3D-Export | 10 |
| 7 | Kronenräder | 10 |
| 7.1 | Geometrieberechnung | 10 |
| 7.2 | Festigkeitsberechnung | 10 |
| 7.3 | Auslegung | 11 |
| 7.4 | 2D/3D-Export | 11 |
| 8 | Unrundräder | 11 |
| 9 | Beveloidräder | 11 |

| | | |
|-----|--|----|
| 9.1 | Geometrieberechnung | 11 |
| 9.2 | Festigkeitsberechnung | 12 |
| 9.3 | 2D/3D-Export | 12 |
| 10 | Zahnformberechnung..... | 12 |
| 11 | Weitere verzahnungsspezifische Berechnungen..... | 12 |

1 Stirnrad

Für die Berechnung von Stirnradverzahnungen stehen die Konfigurationen Einzelrad, Stirnradpaar, Planetenstufe, Ritzel mit Zahnstange, 3-Räderkette und 4-Räderkette zur Verfügung. Die Kinematik als Doppelplanet kann innerhalb der 4-Räderkette berücksichtigt werden. Alle Berechnungsmodule liefern eine sehr umfangreiche Geometrieberechnung unter Berücksichtigung aller relevanten Toleranzen. Das Spiel wird für die hergestellten Räder, im Montagezustand und im Betrieb berechnet. Zur Qualitätssicherung stehen Kugel- und Rollenmasse sowie Zahnweiten zur Verfügung. Für die gewählten Qualitäten werden die zulässigen Herstelltoleranzen nach verschiedenen Normen in einem Protokoll zusammengefasst. Übliche Profil- und Flankenkorrekturen können dabei definiert werden. Diese werden bei der Berechnung der Zahnform und der Kontaktanalyse berücksichtigt.

1.1 Geometrieberechnung

Die Geometrie der Stirnräder wird als evolventische Verzahnung auf Basis vom Abwälzen des Bezugsprofils mit dem Zahnrad berechnet. Alternativ zum Bezugsprofil können Werkzeuggeometrien (Stossrad, Fräser) mit Protuberanz und Knickfussflanke vorgegeben werden. Ein Vorbearbeitungsschritt kann direkt vorgegeben werden, weitere Herstellungsschritte sind unter 'Zahnform' möglich. Die Geometrie wird für drei Fälle gerechnet: spielfreie Verzahnung, oberes Abmass und unteres Abmass. Für die Profilverschiebung gibt es eine Auslegungsfunktion nach verschiedenen Kriterien (ausgeglichenes Gleiten, Spitzen- und Unterschnittgrenze, max. Fuss- oder Flankensicherheit usw.), ebenso für den Achsabstand.

1.2 Festigkeitsberechnung

Die Festigkeitsberechnung von Stirnrädern erfolgt nach den Normen ISO, DIN, AGMA, VDI, GOST, BV-RINA, DNVGL und vielen mehr. Die Schadensarten umfassen Zahnfußbruch, Grübchenbildung, Verschleiss, Fressen und Graufleckigkeit. Es werden Sicherheitsfaktoren, Lebensdauer, übertragbare Drehmomente und die Zuverlässigkeiten berechnet. Für die Breitenlastverteilung steht die Methode nach ISO 6336, Anhang E, zur Verfügung. Für die Kunststoffberechnungen stehen mehrere VDI Richtlinien sowie die statische Berechnung zur Verfügung. Mittels Lastkollektiven können die Beanspruchungen detailliert vorgegeben und Schädigungen ermittelt werden. Bei Schleifkerben und speziellen Fussformen kann die Zahnfußspannung mit FE bestimmt werden.

1.3 Auslegung

KISSsoft liefert zahlreiche Unterstützungen für die Auslegung von Verzahnungen. Für die Neuauslegung von Stirnrädern liefert die Grobauslegung Vorschläge auf der Basis von Last und Sollübersetzung. Die Feinauslegung variiert systematisch Verzahnungsparameter, filtert die Varianten und stellt die sich ergebenden Lösungen dem Ingenieur als Liste oder in einer grafischen Übersicht zur Auswahl. Für die Mikrogeometrie führt eine Auslegungsfunktion die Variation von Korrekturen durch und liefert auf der Basis der Kontaktanalyse die massgeblichen Resultate zur Last- und Geräuschoptimierung der Verzahnung. Weiter stehen zahlreiche Auslegungshilfen für Profilverschiebung, Achsabstand, Hochverzahnung und viele mehr zur Verfügung.

1.4 Kontaktanalyse

Für Geräusch- und Festigkeitsoptimierungen wird die Kontaktanalyse unter Last verwendet. Auf der Grundlage der Zahnsteifigkeitsberechnung nach Weber/Banaschek wird unter Berücksichtigung der Zahnbiegung der örtliche Kontakt bestimmt. Miteinbezogen werden auch die Wellendurchbiegungen, Lagerdurchsenkungen und Flankenmodifikationen, womit eine realitätsnahe Analyse des Zahneingriffes möglich ist.

Als Resultate werden neben der Spannungsverteilung und Drehwegabweichung auch Steifigkeitsverlauf, örtlicher Schmierpalt, örtlicher Verschleiss und viele weitere Kriterien zur Bewertung von Wirkungsgrad, Geräusch und Lebensdauer ausgegeben.

1.5 Planeten

Die Berechnung einer Planetenstufe beinhaltet die konventionelle Kinematik mit Sonne, Planet und Hohlrads. Die Drehmomente und Drehzahlen können wahlweise an jedem Zahnrad vorgegeben werden. Für die Bewertung des Hohlrades steht zusätzlich die VDI 2737 zur Verfügung. Spezifische Berechnungen wie die Montierbarkeit der Planeten in einer regelmässigen Teilung und viele mehr, werden ebenfalls durchgeführt. Die Kontaktanalyse erlaubt eine detaillierte Bewertung der Schiefstellungen der einzelnen Komponenten, sowie eine Abschätzung der Planetenträgerdeformation mittels FE.

1.6 2D/3D-Export

KISSsoft stellt zahlreiche Schnittstellen zu allen gängigen CAD-Programmen zu Verfügung. Die Verzahnungen können einerseits als 2D-Grafik ausgegeben werden. Zusätzlich steht eine 3D-STEP-Ausgabe zur Verfügung, welche sämtliche Flankenmodifikationen beinhaltet. Mit der Messgitterausgabe kann eine topologische Messung durchgeführt werden. Zusätzlich zu dem 3D-Zahnradmodell werden auch die Herstelldaten auf Ihrer Fertigungszeichnung eingefügt. Damit entfällt das aufwendige Konstruieren oder das manuelle Übertragen der Parameter.

2 Lehrzahnrad

Dieses Berechnungsmodul in KISSsoft erlaubt die Auslegung und Kontrolle von Lehrzahnradern. Für die Zweiflanken-Wälzprüfung wird ein Lehrzahnrad benötigt, welches mit dem zu prüfenden Zahnrad zusammen auf einem Prüfgerät abgewälzt wird. Beim Prüfvorgang werden Prüfrad und Lehrzahnrad axial leicht zusammengedrückt, so dass sie spielfrei abwälzen. Die Variation des Achsabstandes wird genau gemessen, der so bestimmte Maximalwert ist der Zweiflanken-Wälzfehler. Um eine verbindliche Aussage über das Laufverhalten des Prüfrades nach dem Einbau ins Getriebe zu erhalten, sollte beim Prüfvorgang die aktive Evolvente des Prüfrades möglichst vollständig überwälzt werden. Hingegen muss unbedingt vermieden werden, dass das Lehrzahnrad zu tief in den Fussbereich eingreift: Wenn der Fussformkreis des Prüfrades unterschritten wird, ergibt sich eine Eingriffsstörung, welche das Messresultat massiv verfälscht.

Zu jedem Zahnrad einer Stirnrad-Berechnung kann die Lehrzahnrad-Auslegung aufgerufen werden. Beim Öffnen der Auslegung wird das passende Norm-Lehrzahnrad nach DIN 3970 vorgeschlagen. Mit der Wahl Kopfkreis Lehrzahnrad kontrollieren kann geprüft werden, ob ein bereits vorhandenes Lehrzahnrad verwendet werden kann. Die Berechnung kontrolliert bei maximaler und minimaler Toleranzlage der Zahndicke des Prüfrades und über welchen Bereich der Evolvente abgewälzt wird. Mit der Wahl Kopfkreis Lehrzahnrad auslegen wird ein Lehrzahnrad bestimmt, welches optimal zur Prüfung des Prüfrades geeignet ist.

3 Zahnradpumpen

KISSsoft bietet eine umfangreiche Option zur Berechnung der wesentlichen Eigenschaften von Zahnradpumpen (Aussen- und Innenzahnpumpen).

Die Veränderung der wichtigen Parameter einer Pumpe während des Zahneingriffs werden berechnet und dargestellt. Dazu gehören geometrische Parameter wie das eingeklemmte Volumen (zwischen zwei Zahnpaaren im Eingriff, Rückführvolumen), das Volumen mit kritischer Zuflussfläche (Ölzustrom sollte möglichst kontinuierlich sein), engste Stelle (kleinster Abstand zwischen dem ersten Zahnpaar ohne Berührung), Zuflussgeschwindigkeit, Ölzufluss beim Eingang (mit Fourieranalyse zur Beurteilung der Geräuschentwicklung), Volumen unter Eingangsdruck. Weitere wichtige Ausgaben sind der Verlauf des Drehmomentes an beiden Zahnrädern, der Verlauf der Hertzschen Pressung, der Gleitgeschwindigkeit und der Verschleisskenngrösse. Bei der Berechnung der Kräfte kann die Hertzsche Abplattung im Zahnkontakt mitberücksichtigt werden, da dieser Effekt einen

beträchtlichen Einfluss hat. Das eingeklemmte Volumen ist abhängig von der Pumpenkonstruktion unter Eingangs- oder Ausgangsdruck, dies wird durch eine entsprechende Eingabe bestimmt und hat einen bedeutenden Einfluss auf den Drehmomentverlauf.

Die Berechnung erlaubt die Analyse von beliebigen geradverzahnten Stirnrädern mit evolventischen und nicht-evolventischen Zahnformen.

4 Kegelrad

Die Berechnung von Geometrie, Festigkeit und Toleranzen für gerad-, schräg- sowie bogenverzahnte Kegelräder und für die Herstellarten "Face Hobbing" und "Face Milling" lässt sich in KISSsoft durchführen. Die Geometrie und Kontrollmasse werden nach ISO 23509 oder anderen Normen berechnet. Der Festigkeitsnachweis ist nach üblichen Normen wie ISO 10300 oder weiteren möglich. Für Differentialkegelräder ist ein statischer Nachweis verfügbar.

Für die Auslegung stehen Funktionalitäten wie die Grobauslegung oder die Feinauslegung zur Verfügung. Für Differentialkegelräder werden zusätzlich spezifische Parameter ausgegeben. Bestehende Datensätze können mittels "Umrechnungsfenstern" bequem umgerechnet werden.

Die Kontaktanalyse berechnet die Tragbildlage mit Berücksichtigung von Balligkeiten, Winkelkorrekturen oder auch topologischen Korrekturen. Ausserdem werden auch die Lageabweichungen VHJ von Ritzel und Rad berücksichtigt.

Die Verzahnungen können als 3D-Modelle inklusive der Flankenkorrekturen in CAD ausgegeben werden und bogenverzahnte Kegelräder im STEP-Format mit Messgitterpunkten. Die 3D-Modelle werden auf Basis der ISO 23509 gerechnet, die Zahnform ist aus der Ersatzstirnverzahnung abgeleitet.

4.1 Geometrieberechnung

Die Berechnung der Geometrie und Verzahnungskräfte wird nach der Norm ISO 23509 durchgeführt. Das ist die weltweit gültige und anerkannte Norm für Kegel- und Hypoidräder, und gilt gleichermassen für die Verzahnverfahren Face Hobbing und Face Milling. Für die Geometrieberechnung von Hypoidrädern beinhaltet die Norm drei verschiedene Berechnungsgänge. Diese ergeben sich aufgrund der historisch unterschiedlichen Berechnungsmethoden der Maschinenhersteller Gleason, Klingelnberg und Oerlikon.

4.2 Festigkeitsberechnung

Für die Festigkeit stehen verschiedene Normen für verschiedene Schadensarten zur Verfügung. Für die Schadensarten Zahnfussbruch und Grübchen stellt die ISO 10300 die aktuelle Norm dar. Diese beinhaltet als erste Norm überhaupt eine durchgängige Berechnung für Kegel- und Hypoidräder für beide Verzahnverfahren Face Hobbing und Face Milling. Weitere Schadensarten wie das für Hypoidräder wichtige Fressen sowie auch Flankenbruch können nach anerkannten und dokumentierten Normen oder Literaturstellen gerechnet werden. Auch anwendungsspezifische Normen wie die DNV 42.1 oder für Kunststoffberechnungen die VDI 2545 sind verfügbar, und viele mehr.

4.3 Auslegung

Für die Neuauslegung von Kegelrädern liefert die Grobauslegung einen Vorschlag auf der Basis von Last und Sollübersetzung. Die Feinauslegung variiert systematisch Verzahnungsparameter wie Spiralwinkel, Achsversatz, und weitere, filtert die Varianten und stellt die sich ergebenden Lösungen dem Ingenieur als Liste oder in einer grafischen Übersicht zur Auswahl. Für die Mikrogeometrie führt eine Auslegungsfunktion die Variation von Flankenmodifikationen durch und liefert auf der Basis der Kontaktanalyse die massgeblichen Resultate zur Last- und Geräuschoptimierung der Verzahnung.

4.4 Kontaktanalyse

Die Kontaktanalyse für Kegelräder basiert auf dem Ansatz nach Weber/Banaschek und ermöglicht eine Abrollsimulation mit variabler Betriebslast. In die Kontaktanalyse gehen auch die Verzahnungskorrekturen wie Balligkeiten, Winkelkorrekturen sowie auch topologische Korrekturen ein. Die Kegelrad-Geometrie ist für die Verfahren Face Hobbing und Face Milling verfügbar, die Zahnform ist aus der Ersatzstirnverzahnung abgeleitet. Zusätzlich können in der Kontaktanalyse die Verlagerungswerte VHJS respektive EPGS vorgegeben werden, entweder über eine eigene Eingabe oder aufgrund der Wellen oder des Getriebedesigns.

4.5 Differentiale

KISSsoft ermöglicht die Berechnung und Auslegung von Differentialkegelrädern nach spezifischen Merkmalen von geschmiedeten Kegelrädern. Dazu gehört in der Auslegung die Variationsrechnung für beispielsweise Kopf- und Fusskegelwinkel und Zahnhöhen. Die Prüfung der geometrischen Parameter wie Überdeckung und grösstmöglicher Fussrundungsradius erfolgt an mehreren Stellen über die Zahnbreite und ermöglicht somit eine umfassende Bewertung des Radsatzes. Auch die für Differentiale typische Eigenschaft der Kopf- und Fussberandungen Schwimmhaut kann in KISSsoft abgebildet werden. Die Bewertung der deutlich reduzierten gemeinsamen Flanke und der dadurch erhöhten Flankenpressung kann mit der Kontaktanalyse in KISSsoft exakt vorgenommen werden.

4.6 Schnittstelle zu Herstellersoftware GEMS®

Für Kegelräder mit konventioneller Herstellung steht eine Schnittstelle zu GEMS® zur Verfügung, welche eine direkte Analyse des Kegelrades mit den tatsächlichen Maschineneinstellungen im Verbund mit der Auslegungssoftware ermöglicht.

4.7 3D-Export

Für die Ausgabe von Kegelrad 3D-Modellen steht eine 3D-STEP-Ausgabe zur Verfügung. Es werden die Bauarten mit konischer Zahnhöhe, konstanter Zahnhöhe, sowie Gerad-, Schräg- und Bogenverzahnung unterstützt, die Zahnform ist aus der Ersatzstirnverzahnung abgeleitet. Die Modelle können Flankenmodifikationen wie Balligkeiten und Winkelkorrekturen enthalten, sowie auch topologische Modifikationen. Mit dem Messgitterausgabe kann eine topologische Messung durchgeführt werden.

5 Schnecken mit Globoidschneckenrädern

Mit diesem Modul kann die Berechnung von Zylinderschnecken gepaart mit Globoidrädern erfolgen. Dabei ist es möglich, die Geometrie, den Wirkungsgrad, die Temperatursicherheit, die Grübchensicherheit, die Verschleissicherheit, den Zahnbruchsicherheit und die Durchbiegesicherheit der Zylinder-Schneckenrad-Paarungen durchzuführen. Die Berechnung des Anfahr-Verhaltens ist ebenfalls möglich. Diverse Schneckenrad-Werkstoffe werden als zusätzliche Datendatei mitgeliefert. Die Flankenformen ZA, ZN, ZI (ZE), ZK, ZH (ZC) können in die Berechnung einfließen. Der Berechnungsablauf folgt der DIN 3996 bzw. ISO/TR 14521. Bei der Berechnung der Schneckengeometrie nach DIN 3975 oder ISO/TR 14521 sind die Kontrollmasse (Rollen- und Kugelmassse der Schnecke für Flankenform ZA, ZN, ZI, ZK) möglich. Die Berücksichtigung der Fertigungstoleranzen erfolgt nach DIN 3974-1 und 3974-2 (1995). Zusätzliche Auslegungsfunktionen für die Zahnbreite, den Achsabstandes und den Steigungswinkel stehen zur Verfügung.

5.1 Geometrieberechnung

Die Berechnung der Geometrie wird nach den Normen ISO/TR 14521 und DIN 3996 durchgeführt. Die Flankenformen ZA, ZN, ZI (ZE), ZK, ZH (ZC) werden unterstützt. Bei der Berechnung der Schneckengeometrie nach DIN 3975 oder ISO/TR 14521 sind die Kontrollmasse (Rollen- und Kugelmasse der Schnecke für Flankenform ZA, ZN, ZI, ZK) möglich. Die Berücksichtigung der Fertigungstoleranzen erfolgt nach DIN 3974-1 und 3974-2 (1995).

5.2 Festigkeitsberechnung

Die Festigkeitsberechnungen nach DIN 3996 und ISO/TR 14521 für Zylinderschnecken mit Globoidrad beinhalten: Wirkungsgrad, Temperatursicherheit, Grübchensicherheit, Verschleissicherheit, Zahnbruch- und Durchbiegesicherheit. Die Daten für diverse Schneckenrad-Werkstoffe werden mitgeliefert. Berechnet wird auch das Anfahr-Drehmoment unter Last, welches bei der Auslegung von Antrieben sehr wichtig sein kann. In KISSsoft ist ebenfalls eine einfache Festigkeitsberechnung nach AGMA 6034 für Zylinderschnecken mit Globoidrad oder nach AGMA 6125 für Globoidschnecken mit Globoidrad verfügbar.

5.3 Auslegung

Eine einfache Vorauslegung von Schneckenradpaaren findet nach dem folgenden Vorgehen statt: Nach Eingabe des Übersetzungsverhältnis und der Zähnezahln der Schnecke wird ein Vorschlag berechnet für den Modul, Mittenkreis der Schnecke, Teilkreis und der Zahnbreite des Rades.

Durch die Variation von unterschiedlichen Parametern können Geometrie-Varianten von KISSsoft erstellt werden. Für alle vorgeschlagenen Varianten kann die Festigkeit berechnet und die Darstellung in Listenform ausgedruckt werden. Eine grafische Darstellung, bei welcher der dargestellte Inhalt variiert werden kann, ist sehr hilfreich beim Auffinden des optimalen Lösungsraums. Einzelne Varianten können zur detaillierten Untersuchung in die Hauptberechnung übernommen werden.

5.4 2D/3D-Export

Die korrekte Zahnform der Zylinderschnecke wird in der Geometrie 2D dargestellt. Die korrekte Zahnform des Globoidschneckenrades wird in der Geometrie 3D in Abhängigkeit des gewählten Schneckenprofils dargestellt. Über CAD-Schnittstellen ist es möglich, die Zylinderschnecken als zweidimensionale DXF- oder IGES-Datei auszugeben. Als dreidimensionale Modelle im STEP-Format können die Zylinderschnecke und das Globoidschneckenrad ausgegeben werden. Eine grafische Kontaktanalyse ist mit dem Dünnwandmodell in der Geometrie 3D möglich.

Für die im Maschinenbau üblichen CADs werden auch Integrationen angeboten, welche ein 3D-Modell der Zylinderschnecke direkt im CAD aufbauen. Ein Export des Globoidrades ist hier nicht möglich. Mit der 3D-Variante Dünnwandmodell kann eine grafische Tragbildanalyse vorgenommen werden. Dazu ist mit dem entsprechenden Funktionsknopf ein Rad leicht gegen das andere zu verdrehen bis das Tragbild erscheint – schliesslich sind beide Räder abzuwälzen. Um die Räder nicht zu sehr gegeneinander zu verdrehen, wird empfohlen, die Anzahl der Rotationsschritte (bei den Eigenschaften) auf 30 oder höher zu setzen.

6 Schraubräder, Schnecken, Zylinderschneckenrad

Die Berechnung von Schraubrädern (Stirnräder mit gekreuzten Achsen) erfolgt nach G. Niemann, Maschinenelemente II, 1985. Die vorliegende Version beinhaltet die Berechnung und Kontrolle der Geometrie von Schraubrädern für beliebige Achswinkel. Dabei stehen unterschiedliche Methoden für den Festigkeitsnachweis zur Verfügung.

Durch eine Adaption der ISO auf den Punktkontakt bietet KISSsoft eine weitgehend standardisierte Berechnung für metallische Werkstoffe an. Zusätzlich sind auch noch Festigkeitsberechnungen für die Kombination Metall/Kunststoff und Kunststoff/Kunststoff integriert.

Die Geometrie und Kontroll- bzw. Fabrikationsmasse werden nach den üblichen Normen für Stirnräder mit Evolventenverzahnung ermittelt.

Eine Wirkungsgradberechnung steht auch zur Verfügung, dazu muss der Reibwert in der Verzahnung entsprechend vorgegeben werden.

6.1 Geometrieberechnung

Die Kollisionsprüfung in der 2D-Grafik (Eingriff) ist für Schraubräder nur beschränkt verwendbar, da sie nur für Achswinkel von 90° funktioniert und nur das Abwälzen der Projektion im Mittenschnitt (Achsschnitt-Schnecke / Stirnschnitt-Rad) darstellt. Bei Achswinkel $\Sigma \neq 90^\circ$ kann die Zahnform in der Eingriffsgrafik in mehreren parallelen Schnitten in axialer Richtung der Schnecke dargestellt werden.

6.2 Festigkeitsberechnung

6.2.1 ISO 6336/Niemann

Die Berechnung nach ISO 6336/Niemann findet Anwendung für metallische Werkstoffe.

Da die Art des Kontaktes anders ist als bei den Stirnrädern (Punkt- statt Linienkontakt), kann nicht direkt mit den Normen für die Stirnräder gearbeitet werden. Durch eine Adaption der ISO auf den Punktkontakt bietet KISSsoft aber eine weitgehend standardisierte Berechnung. Die Methode nach G. Niemann (Maschinenelemente, Band III), kombiniert mit der Methode ISO 6336, erlaubt eine moderne sowie umfassende Festigkeitsberechnung von Schraubrädern (Fuss-/Flankenfestigkeit, Verschleiss-Festigkeit und Fress-Sicherheit). Die Berechnung der Druckellipse nach Niemann berücksichtigt die spezielle Geometrie von Schraubrädern. Daraus wird die effektiv tragende Zahnbreite bestimmt. Die Zahnfussberechnung erfolgt analog nach ISO 6336, die Flankenfestigkeit nach Niemann unter Einbezug der Lebensdauerfaktoren nach ISO 6336, die Fress-Sicherheit, durch das Integraltemperatur-Verfahren, ebenfalls nach Niemann (entspricht der DIN3990).

6.2.2 VDI 2736

Die Berechnung nach VDI 2736 findet Anwendung für die Paarung einer Metallschnecke mit einem Kunststoffrad. Dies ist ein neu entwickelter Standard für Schraubradgetriebe zur Berechnung der Lebensdauer und statischen Festigkeit. Er ist nur gültig für die Werkstoffpaarung Metall/Kunststoff mit einem Achsenkreuzungswinkel von 90° . Das Rad 1 (Metallschnecke) muss eine Zähnezahl < 6 haben und das Rad 2 (Schraubrad) besteht aus einem teilkristallinen Thermoplast.

6.2.3 Höchst

Bei der Berechnungsmethode Schnecke nach Höchst wird auch die Festigkeitsberechnung für die Kombination einer Metallschnecke mit einem Kunststoffrad nach einem älteren Verfahren durchgeführt. Dieses ist nur gültig für Schneckenräder aus Hostaform® (POM), gepaart mit einer Stahlschnecke. Der zulässige Belastungskennwert c ist ein Mass für die Temperaturbeanspruchung. Des Weiteren werden die zulässige Flankenpressung und die Blockierfestigkeit des Schneckenrades überprüft. Für die Blockierfestigkeit ist nicht die Dauerbeanspruchung, sondern die Maximalbeanspruchung massgeblich.

6.2.4 VDI 2545

Die Berechnung nach VDI 2545 findet bei einer reinen Kunststoffpaarung Anwendung.

Dabei handelt es sich um eine Anpassung der VDI 2545 – welche für Stirnräder verwendet wird – an die Schraubräder. Damit ist auch eine Festigkeitsberechnung für Achskreuzungswinkel ungleich 90° und für eine Kunststoff/Kunststoff-Paarung möglich.

6.2.5 Statisch

Die statische Berechnung führt eine statische Abschätzung gegen Bruch- und Streckgrenze durch. Die Berechnung von Schraubrädern gepaart mit einer Schnecke ergeben tendenziell zu tiefe Sicherheiten. Zusätzlich ist die Nachrechnung des Schneckenrades auf Scherung möglich.

6.2.6 Pech

Bei diesem Verfahren werden die plastische Verformung, der Verschleissgrad und der Gesamtverschleiss (im Normalschnitt am Wälzkreisdurchmesser) des Kunststoff-Schneckenrads berechnet.

6.3 Auslegung

Eine einfache Vorauslegung von Schraubradpaaren findet nach folgendem Vorgehen statt: Nach der Eingabe des Übersetzungsverhältnis und der Zähnezahls des Rades 1 (Schnecke) wird ein Vorschlag berechnet für den Modul, Achsabstand, Teilkreis Rad1 und 2 und die Zahnbreite des Rades.

Durch die Variation von unterschiedlichen Parametern können Geometrievarianten von KISSsoft erstellt werden. Für alle vorgeschlagenen Varianten lässt sich die Festigkeit berechnen und die Darstellung in Listenform ausdrucken. Eine grafische Darstellung, bei welcher der dargestellte Inhalt variiert werden kann, ist sehr hilfreich beim Auffinden des optimalen Lösungsraums. Einzelne Varianten können zur detaillierten Untersuchung in die Hauptberechnung übernommen werden.

6.4 2D/3D-Export

KISSsoft stellt zahlreiche Schnittstellen zu allen gängigen CAD-Programmen zu Verfügung. Die Verzahnungen können einerseits als 2D-Grafik ausgegeben werden. Zusätzlich steht eine 3D-STEP-Ausgabe zur Verfügung, welche sämtliche Flankenmodifikationen beinhaltet. Mit der Messgitterausgabe kann eine topologische Messung durchgeführt werden.

7 Kronenräder

Die Berechnung der Kronenräder in KISSsoft umfasst die Geometrie von Kronenrad und Ritzel, sowie die Berechnung der Festigkeit in Anlehnung an verschiedene Normen. Es werden auch Bauarten mit Achswinkel ungleich 90° sowie mit oder ohne Achsversatz von Ritzel unterstützt.

7.1 Geometrieberechnung

Die Berechnung der Zahnform erfolgt über die Simulation der Herstellung mit einem Stosssrad. Die Visualisierung erfolgt in einer 2D Darstellung innen, mittig und aussen. Insbesondere Unterschnitt und spitzer Zahn können in der 2D-Darstellung kontrolliert werden, wobei eine Kopfhöhenänderung zur Vermeidung von spitzem Zahn vorgegeben werden kann.

7.2 Festigkeitsberechnung

Die Festigkeitsberechnung basiert auf einer analogen Stirnradberechnung nach ISO 6336 oder DIN 3990, entsprechend der CrownGear-Methode, oder auf einer analogen Kegelradberechnung nach der ISO 10300 Methode. Durch die Berechnung der Berührungslinien und daraus abgeleitet, kann der hypothetische

Schrägungswinkel am Ersatz-Stirnrad bestimmt werden. Auch die Gleitgeschwindigkeit und die Fress-Sicherheit entlang der Zahnbreite kann so ermittelt werden.

7.3 Auslegung

KISSsoft stellt mehrere Auslegungshilfen zur Verfügung. Der Breitenversatz kann so ausgelegt werden, dass die vorgegebenen Eingriffswinkel innen und aussen erreicht werden können. Am Kronenrad können die Kopfhöhenänderungen aufgrund von der minimalen Zahndicke am Kopf ausgelegt werden.

7.4 2D/3D-Export

Ritzel und Kronenrad können im 3D-Modell-STEP-Format ausgegeben werden. Für das Ritzel können mehrere Flankenmodifikationen definiert werden. Die grafische Kontaktanalyse erlaubt die Prüfung des Zahnkontaktes mittels der Berührlinien mit dem Dünnwandmodell. Dadurch lässt sich das Tragbild optimieren. Die Modelle können anschliessend für eine FE-Analyse oder 5-Achsfräsen exportiert werden. Mit der Messgitterausgabe kann eine topologische Messung durchgeführt werden.

8 Unrundräder

Unrundräder werden eingesetzt, um sich ändernde Übersetzungsverhältnisse während eines Bewegungszyklus zu realisieren. Typische Anwendungen sind Stellgetriebe mit variablen Anforderungen an Drehzahl und Drehmoment.

KISSsoft berechnet die Zahnform der gepaarten Unrundrädern auf Basis einer Fertigungssimulation mit einem Stossrad. Zahneingriff, Unterschnitt und spitzer Zahn können in den 2D-Zahneingriffsgrafiken visuell überprüft werden.

Die Vorgaben können auf drei verschiedene Arten geschehen:

- a) Achsabstand und Verlauf der Übersetzung
- b) Wälzkurve beider Unrundräder
- c) Wälzkurve eines Rades und der Achsabstand

Für Unrundgetriebe gibt es keine Festigkeitsberechnung. Die Festigkeit kann jedoch über die Berechnung von äquivalenten runden Stirnrädern in der Stirnradpaarberechnung abgeschätzt werden.

9 Beveloidräder

Beveloidzahnrad sind konische Zahnrad und entstehen durch Abwälzen mit einem, um einen vorgegebenen Winkel gekippten, zahnstangenartigen Werkzeug. Beveloidräder haben vor allem zwei Einsatzbereiche: Zum einen kann ein Achswinkel zwischen zwei kämmenden Zahnradern erzeugt werden, zum andern können zwei Beveloidräder mit gegensätzlichen Konuswinkeln genutzt werden, um eine spielfreie Verzahnung zu erzeugen. Beveloidräder mit einem Achswinkel können eingesetzt werden, um eine kompakte Bauform eines Getriebes zu erreichen.

9.1 Geometrieberechnung

Die Grundberechnung der Geometrie und der Zahnform eines einzelnen Beveloidrads bezieht sich auf K. Roth sowie auf einschlägige Normen für Stirnräder (z.B. DIN 3960, DIN 867 etc.). Demnach entsteht das Beveloidrad durch denselben Prozess wie ein Stirnrad, ausser dass sich die Profilverschiebung über die Zahnbreite ändert. Damit ändern sich auch alle Parameter, die von der Profilverschiebung abhängig sind. Bei Schrägverzahnungen

wird das Werkzeug zusätzlich zum Konuswinkel auch um den Schrägungswinkel geneigt. Dadurch entsteht im Stirnschnitt ein trapezförmiges Bezugsprofil mit unterschiedlichen Eingriffswinkeln auf der linken und der rechten Seite. Somit ergibt sich auch eine starke Veränderung der Zahnform, da sich z. B. die Grundkreise ändern. Durch die Veränderung der Profilverschiebung über die Zahnbreite, läuft man bei Beveloidrädern häufig Gefahr, dass man einen Unterschnitt im Fuss oder einen spitzen Zahn bekommt.

9.2 Festigkeitsberechnung

Da keine eigene Norm für die Festigkeitsberechnung von Beveloidrädern existiert, wird eine Ersatzstirnradverzahnung im mittleren Schnitt für die Berechnung zur Hand genommen. KISSsoft ermöglicht somit eine Bewertung der Festigkeit nach mehreren bei Stirnrädern üblichen Festigkeitsnormen wie ISO, DIN, AGMA und viele mehr. Die Vorgabe von Lastkollektiven ermöglicht eine detaillierte Vorgabe der Beanspruchungen und Ermittlung der Schädigungen.

9.3 2D/3D-Export

Die Beveloidräder können im 3D-Modell-STEP-Format ausgegeben werden. Für beide Räder können mehrere Flankenmodifikationen definiert werden. Die grafische Kontaktanalyse erlaubt die Prüfung des Zahnkontaktes mittels der Berührlinien mit dem Dünnwandmodell. Dadurch lässt sich das Tragbild mit Korrekturen wie Hohlballigkeit und Schrägungswinkelkorrekturen optimieren. Die Modelle können anschliessend für eine FE-Analyse oder 5-Achsfräsen exportiert werden. Mit der Messgitterausgabe kann eine topologische Messung durchgeführt werden.

10 Zahnformberechnung

Als Sonderberechnung können für Stirnräder beliebige viele Herstellschritte mit eigenen Fräserformen oder Zahnformen vorgegeben werden. Auf Wunsch wird damit die Geometrie des Gegenrades berechnet. Sämtliche resultierende Herstellschritte können in der Kontaktanalyse unter Last analysiert und im 3D-Modell ausgegeben werden. Für evolventische Verzahnungen kann eine Zahnfussoptimierung mittels elliptischer Fussrundung vorgenommen werden. Als nicht-evolventische Verzahnungen können Zykloiden- und Kreisbogenverzahnungen direkt definiert werden.

11 Weitere verzahnungsspezifische Berechnungen

KISSsoft erlaubt eine detaillierte Berechnung des Flankenspiels mit Einbezug von Einbaulagen und Betriebstemperaturbereichen. Für Kunststoffverzahnungen kann das Quellen berücksichtigt werden. Weiter kann die Einhärtetiefe nach verschiedenen Literaturangaben berechnet und ausgegeben werden. Im Zusammenhang mit der Fertigung werden verschiedene Berechnungen vorgenommen. Einerseits wird bei Schrägverzahnungen mit Balligkeit die entstehende Herstellverschränkung berechnet. Weiter wird bei der Auswahl von vorhandenen Abrichtscheiben geprüft, welche resultierenden Kopfrücknahmen entstehen werden.