

## Pinion goes KISSsoft: Ein cleveres Schaltgetriebe

Dipl.-Ing. Christoph Lermen, pinion GmbH  
Dipl.-Ing. Jürg Langhart, KISSsoft AG

Ob pures Abenteuererlebnis beim Biken, idyllisches Fahren in der Natur, effiziente Fortbewegung in der Stadt – das Fahrradfahren hat in der heutigen Zeit einen sehr hohen Stellenwert. Auch die technischen Weiterentwicklungen im Fahrradbau gehen unvermindert weiter. Ein Beispiel hierfür ist die Firma pinion, welche die stetig höheren Anforderungen von Drehmomentübertragung mit minimalem Wirkungsgradverlust und Laufgeräusch mit einem Schaltgetriebe neu umsetzen. Das von zwei jungen Ingenieuren entwickelte Produkt pinion p-1, gewährleistet mit dem Konzept eines Schaltgetriebes eine minimale Baugröße sowie wartungsfreien Betrieb und übertrifft somit die bestehenden Schaltungen wie Naben- oder Kettenschaltung.

Als Berechnungsprogramm wurde KISSsoft eingesetzt, welches mit seinen umfangreichen Möglichkeiten der Maschinenelementberechnung das geeignete Werkzeug für die Entwicklung von der Konzeptionierung bis zur Optimierung der Verzahnung ist.



Bild 1: Pinion-Entwickler Michael Schmitz und Christoph Lermen bei der Arbeit

### Am Anfang war die Idee

Die Idee zu diesem revolutionären Fahrradgetriebe kam den zwei Ingenieuren Christoph Lermen und Michael Schmitz im Jahr 2006, während ihrer Werkstudienzeit im Entwicklungszentrum des Sportwagenherstellers Porsche. In der nachfolgenden vierjährigen Entwicklungszeit haben die Konstrukteure an ihrer Idee gefeilt, unermüdlich Details optimiert, Varianten verworfen, Prototypen gebaut und auf eigens entwickelten Prüfständen getestet. Das, was 2006 als Skizze auf einer Serviette begonnen hatte, sorgte an der Eurobike 2010 in Friedrichshafen für einige Aufregung

und helle Begeisterung. Neben zahlreichen Feldtests mit mehreren Getrieben war die bislang schwerste Bewährungsprobe die erfolgreiche Himalaya-Überquerung des Extremradlers Felix Fröhlich im Sommer 2010, nach der zwar die Federgabel erneuert werden musste – das Getriebe lief jedoch tadellos.

## Ein revolutionäres Fahrradgetriebe

Das Getriebe der Stuttgarter Firma pinion wird nicht wie bei den handelsüblichen Ketten- oder Nabenschaltungen hinten eingebaut, sondern im Tretlagerbereich in der Fahrradmitte. Anstelle des Tretlagers befindet sich in einem Fahrradrahmen für das p-1 Getriebe ein Befestigungsbügel, der als integraler Bestandteil mit dem Fahrradrahmen verschweisst ist. Das Getriebe wird an diesem Befestigungsbügel angeschraubt. Die mittige und der Anordnung des Motorrads nachempfundene Lage sowie das dementsprechend leichte Hinterrad mit nur einem Ritzel ergeben eine optimale Fahrdynamik. Für vollgefederte Fahrräder bedeutet das ein spontaneres Ansprechen der Federung und mehr Grip.



Bild 2: Fahrradgetriebe pinion p-1

Durch die Kompaktheit des Getriebes, welches knapp 2,7 Kilogramm wiegt und mit einem kleinen Kettenrad gepaart ist, ergibt sich nicht nur eine grössere Bodenfreiheit, sondern es fallen auch abstehende Schaltungsbauteile weg. Damit ist auch Schluss mit abgerissenen Schaltwerken, verbogenen Kettenrädern, abspringenden Ketten und der Gefahr von Umwelteinflüssen wie unter anderem Schmutz, Wasser, Schlamm sowie Sand.

Das pinion-Konstrukt verfügt über 18 voll nutzbare Gänge, wobei im Aluminiumgehäuse zwei hintereinandergeschaltete Stirnradsätze enthalten sind: Die eine mit drei Übersetzungsstufen ist grob abgestuft (analog zu den vorderen Kettenrädern bei der Kettenschaltung), diejenige mit sechs Übersetzungsstufen ist fein abgestuft (analog zur Kassette bei der Kettenschaltung). Die 18 Gänge ergeben sich ohne Überschneidungen durch Multiplikation der beiden Gangstufen. Das Gesamtübersetzungsverhältnis beträgt 634%, was dem Übersetzungsverhältnis eines Profi-Mountainbikes entspricht.



Bild 3: Schaltgetriebe pinion p-1

Dieser Schaltmechanismus bietet aufgrund der 18 unterschiedlichen Übersetzungsverhältnisse weitere Vorteile: Das Hochschalten ist unter voller Last möglich – für das Herunterschalten muss ähnlich zu anderen System die Trittkraft reduziert werden. Anders als bei der Kettenschaltungen wird hier auch das Schalten im Stand möglich. Alle 18 Gänge lassen sich über einen Drehgriffschalter am Lenkrad in weniger als einer Umdrehung durchschalten. Der Fahrer kann so bei Bedarf mehrere Gänge mit einem Handgriff schalten. In jedem Fahrzustand und auch während des Schaltens ist ein Gang eingelegt – womit auch das Leertreten wegfällt und das Verletzungsrisiko sinkt.

Die von pinion in Zusammenarbeit mit KISSsoft entwickelte Zahnrad-Technologie ermöglicht schliesslich einen besonders hohen Wirkungsgrad des Getriebes.

### **Berechnung mit KISSsoft**

KISSsoft bietet neben dem eigentlichen Festigkeitsnachweis nach Normen eine Fülle an weiteren Funktionalitäten, welche den Konstrukteur während seines gesamten Konstruktionsprozesses unterstützen.

Der Weg von einem Pflichtenheft zu einem fertigen Getriebe beinhaltet nach einer ersten Dimensionierung die Auslegung der optimalen Verzahnungsdaten. Die Festigkeit der Verzahnung ist dabei eine Grundanforderung, eine Verzahnung muss demnach die geforderte Lebensdauer erfüllen – sei es im Hinblick auf Fussbruch oder Flankentragfähigkeit. Die zu erreichende Sollsicherheit wird in der Praxis, solange keine eigenen Werte vorliegen, häufig mit  $S_{Fmin} = 1.4$  (für Fussbruch) oder  $S_{Hmin}=1.0$  (für Flankenfestigkeit) festgelegt. Aufgrund von verschiedenen Einflüssen wie zum Beispiel falschen Lastannahmen oder kleinen Verzahnungsmodulen kann die Sollsicherheit höher oder niedriger ausfallen als zuerst angenommen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, bietet KISSsoft dem Konstrukteur die Möglichkeit, seine eigenen – beispielsweise in Prüfversuchen ermittelten – Sollsicherheiten in der Berechnung zu hinterlegen, und anschliessend basierend auf diesen Werten eine optimierte Auslegung zu erhalten.

In der Auslegungsphase sind für den Konstrukteur meistens verschiedene Verzahnungsparameter (wie beispielsweise Zähnezahlen oder Profilverchiebung) frei wählbar, während andere (wie beispielweise Übersetzung oder Bauraum) vorgegeben oder innerhalb enger Grenzen einzuhalten sind. Mit der Feinauslegung in KISSsoft ist die Möglichkeit vorhanden, die Makrogeometrie eines Stirnradpaares in einem sinnvollen Rahmen zu variieren und über die sich ergebenden Zwischenwerte alle möglichen Kombinationen rechnen zu lassen. Um im Hinblick auf die spätere Fertigung der Verzahnungen diejenigen Lösungen auszuschliessen, für welche keine Werkzeuge

vorhanden sind, kann in der Feinauslegung eine zu verwendende Werkzeugliste (Fräserliste) hinterlegt werden.

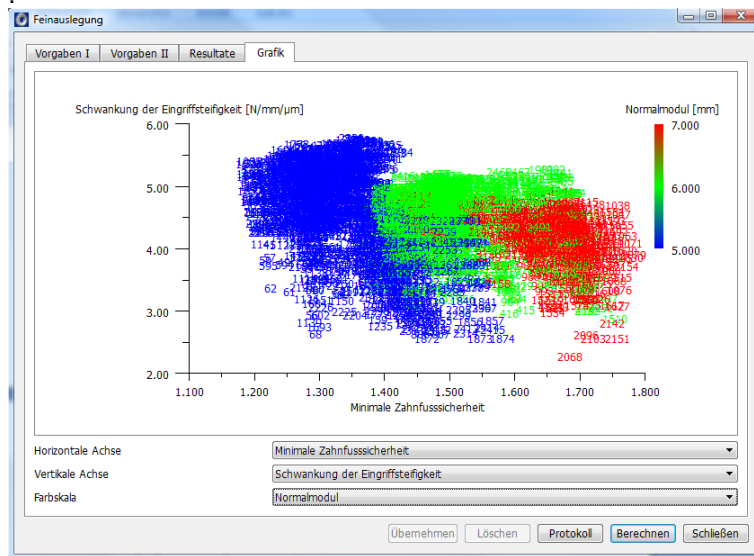


Bild 4: KISSsoft Feinauslegung , unter anderem mit der möglichen Verwendung von Fräserlisten

Die Feinauslegung bietet dem Konstrukteur sehr viele Lösungen, welche zur besseren Übersicht grafisch oder numerisch angezeigt sowie verglichen werden können. Insbesondere die Grafik ermöglicht eine schnelle Abschätzung der Wertebereiche, und häufig sind neben den zu erwartenden Resultaten auch überraschende Lösungen dabei, welche erst aufgrund der aufwändigen Kombinationsrechnung ersichtlich werden.

Neben der Festigkeit werden auch sehr viele weitere Kriterien wie Wirkungsgrad, Gewicht und auch Drehwegabweichung (aus der Kontaktanalyse) ersichtlich. Diese helfen dem Konstrukteur, die für seinen Fall passende Lösung zu finden.

Im Anwendungsfall des Schaltgetriebes der Firma Pinion war eine geräuschoptimierte Verzahnung gefordert und somit auch eine bereits optimierte Makrogeometrie der Verzahnung hinsichtlich Ruhiglauf. Mit der KISSsoft-Feinauslegung wurde über eine kombinierte Hoch- und Schrägverzahnung eine optimale Überdeckung erreicht, welche gemäss der Theorie der minimalen Eingriffsteifigkeitsschwankung bereits eine minimale Geräuschanregung nach sich zieht. Eine spätere Optimierung der Mikrogeometrie über Profilkorrekturen und Flankenlinienkorrekturen wurde dann unter Berücksichtigung der Wellendurchbiegungen und Lagernachgiebigkeiten durchgeführt und mit der Kontaktanalyse verifiziert.

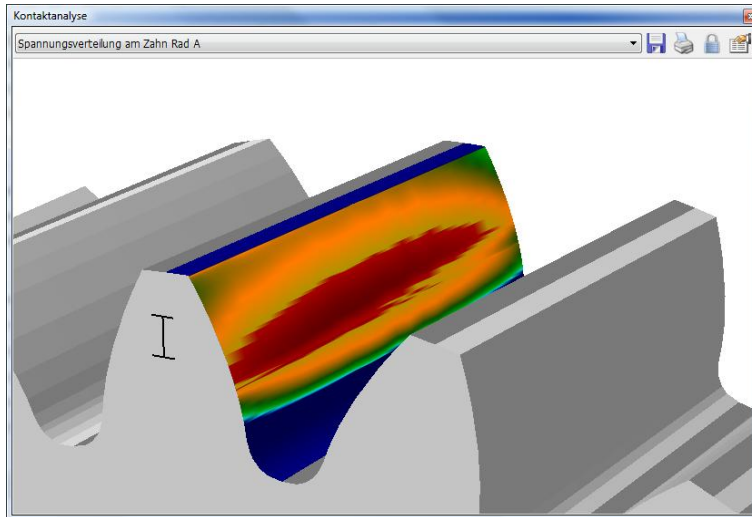


Bild 5: Kontaktanalyse und Tragbildbewertung

Nach Abschluss der Auslegung und Festlegung der Korrekturen folgt im Konstruktionsprozess häufig der Anspruch, die Fertigung genauer zu betrachten und die Anzahl der Werkzeuge zu reduzieren. Dazu bietet KISSsoft die Möglichkeit, mit den tatsächlichen Werkzeugen über verschiedene Fertigungsschritte eine Analyse durchzuführen und die resultierende Verzahnungsgeometrie zu prüfen. Von Interesse ist dabei beispielsweise der resultierende Formkreis aus der letzten Bearbeitung, aber auch der Erhalt entsprechender Kontroll- und Prüfmasse. Da KISSsoft die tatsächlichen Werkzeuggeometrien verwendet, werden auch überschneidende oder teil-überschneidende (semi topping) Werkzeuge berücksichtigt.

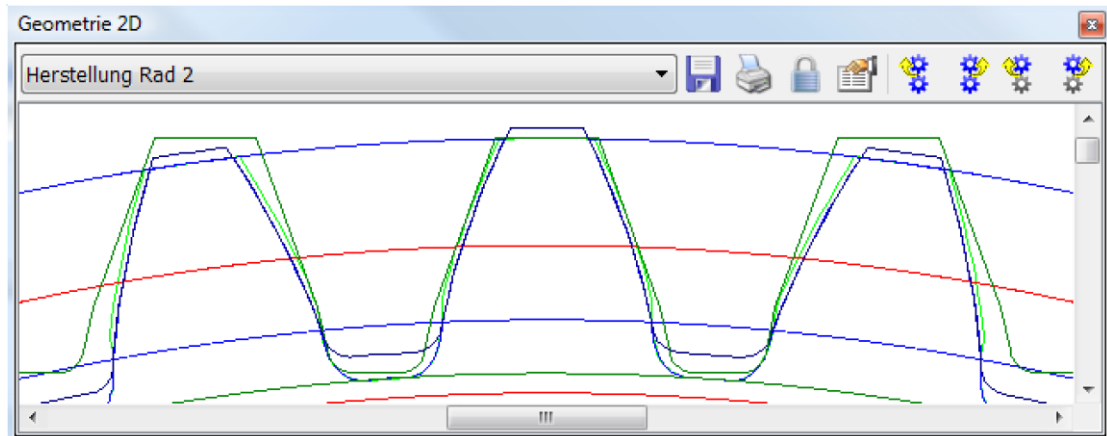


Bild 6: Analyse über verschiedene Herstellschritte

## Fazit

Die Vorteile des Fahrradgetriebes pinion p-1 liegen auf der Hand: Durch das Wegfallen von Schaltwerk und Umwerfer kommt es nicht mehr zu Defekten oder Kettenklemmern. Die Schaltung wird schmutzresistenter und somit nahezu wartungsfrei, zudem ergibt sich durch die mittige Positionierung ein zentralerer Schwerpunkt des Bikes und eine höhere Bodenfreiheit. Der Entfall der Kassette sorgt für ein leichteres Hinterrad und dadurch auch für geringere ungefederte Massen. Das pinion-Getriebe gewährleistet Schalten im Stand und Hochschalten unter Last. Die intuitive Bedienung über einen Drehgriffschalter ermöglicht es dem Fahrer, auf jede Situation blitzschnell zu reagieren und bei Bedarf mehrere Gänge mit einem Handgriff zu schalten.

Damit sich die Anforderungen des Lastenheftes hinsichtlich Gangzahl, Übersetzungsbandbreite, minimaler Baugröße und Gewicht erfüllen liessen, musste jedes Bauteil in vielen Schritten opti-

miert und verbessert werden. Um diese Herausforderungen rechnerisch bewältigen zu können, wurde speziell im Bereich der Zahnräder das Berechnungsprogramm KISSsoft verwendet. Diese modular aufgebaute Software ist in der Lage, von der ersten Dimensionierung über die Optimierung der Verzahnungsparameter und Profilkorrekturen bis hin zu den Fertigungsanalysen, alle Schritte eigenmächtig zu meistern.

Die Firma pinion GmbH mit Sitz in Stuttgart existiert seit rund zwei Jahren und besteht im Wesentlichen aus den Ingenieuren Christoph Lermen und Michael Schmitz. Die Getriebebeschaltung pinion p-1 ist noch nicht im Handel und soll im Frühling des kommenden Jahres als serienreifes Produkt verfügbar sein. [www.pinion.eu](http://www.pinion.eu)

Die in der Schweiz ansässige Firma KISSsoft AG entwickelt seit 1998 ein modular aufgebautes Berechnungsprogramm zur Nachrechnung, Optimierung und Auslegung von Maschinenelementen. Die Anwendung erstreckt sich vom einfachen Maschinenelement bis zur automatischen Auslegung kompletter Getriebe. [www.KISSsoft.AG](http://www.KISSsoft.AG)