

Effektive Optimierungsverfahren im Auslegungsprozess für Kettentriebe

Mit modernen Optimierungsmethoden kann die Auslegung von Kettentrieben mit komplexen Anforderungen automatisiert unterstützt werden. Dabei stehen die Minimierung der Reibung und die Funktionsabsicherung im Mittelpunkt. Um aus der Vielzahl möglicher Lösungen den besten Kompromiss zu identifizieren, setzt die IAV GmbH in ihrer Optimierungsplattform verschiedene Modellierungs- und Simulationswerkzeuge ein.

1 Einleitung

Der Steuertrieb verbindet Nockenwellen mit der Kurbelwelle und treibt die Ventilsteuerung des Motors an. Neben Zahnradern und -riemen sind Ketten die gebräuchlichsten Übertragungsmittel. Sowohl die Kurbelwellen- als auch die Nockenwellenanregungen beeinflussen die Wirkungsweise und Haltbarkeit des Kettentriebes. Durch kleinere Zylinderanzahl, aufgeladene Motoren oder Zylinderabschaltung steigt die Drehanregung der Kurbelwelle. Die Anregung der Nockenwelle wird durch höhere Variabilität wie Phasenverstellung, Ventilhubumschaltung bis zur Ventilabschaltung und zusätzliche Abnehmer, zum Beispiel die Kraftstoffpumpe, immer komplexer. Der zur Dämpfung eingesetzte hydraulische Kettenspanner kann durch geregelte Ölpumpen individuell mit Öl versorgt werden. Öleigenschaften (wie die Viskosität) ändern sich in Abhängigkeit von der Temperatur und beeinflussen das Dämpfungsverhalten des Kettenspanners. Auch die Längung der Kette während ihrer Lebensdauer muss berücksichtigt werden. Unter diesen Randbedingungen gilt es, eine kostengünstige und reibungsarme Konstruktion mit optimaler Spannerabstimmung im vorhandenen Bauraum zu finden.

Das Programmsystem „V-CD“ (für: Virtual Chain Drive) unterstützt die geometrische Auslegung und kinetostatische Abstimmung von Kettentrieben. Dem Anwender stehen eine Vielzahl von interaktiven, an CAD-Systeme angelehnte Methoden zur Verfügung, um mit den Grundelementen des Kettentriebes (Kette, Kettenrad, Führungs-/Spannschiene und Spannelement) ein parametrisches Modell aufzubauen, ohne dass ein vollständiges CAD-Modell benötigt oder erstellt werden muss. Mögliche Kollisionen zum Bauraum sowie der Kettentriebsteile untereinander werden automatisch überwacht. Das Modell stellt neben der fertigen Auslegung geometrische Kennwerte wie Umschlingungswinkel, freie Kettentrumlängen, Spannerkolbenweg und andere wichtige konstruktive Ergebnisse bereit. Weiterhin können von diesem Modell kinetostatische Kennwerte, wie zum Bei-

spiel das Verhältnis Vorspannkraft zu Spannerkraft und eine Abschätzung der Reibleistung abgeleitet werden.

Bei der Auslegung eines Kettentriebes müssen eine Vielzahl von Restriktionen und mehrere oft widersprüchliche Ziele berücksichtigt werden. Durch den Einsatz geeigneter multikriterieller Optimierungsverfahren ist es möglich, auf der Basis eines nicht abgestimmten Ausgangsmodells, bei dem die grundlegenden geometrischen Zusammenhänge abgebildet sind (Elemente, Trumverlauf,...) mögliche Kompromisse bezüglich dieser Ziele automatisiert zu berechnen und mit Methoden der mathematischen Entscheidungsunterstützung daraus geeignete Varianten auszuwählen. Nach der Festlegung eines Layouts wird die Dynamik des Kettentriebes untersucht. Das von V-CD automatisch erzeugte „XKetsim“-Modell wird mit den äußeren Anregungen ergänzt. Mit diesem Modell wird das dynamische Verhalten des Kettentriebes untersucht, aber auch das Spannsystem und geometrische Eigenschaften (zum Beispiel Unrundheit der Kettenräder) abgestimmt. Für diese Abstimmung müssen verschiedene Restriktionen und mehrere Ziele berücksichtigt werden. Durch den Einsatz effektiver multikriterieller Optimierungsverfahren kann auch diese Abstimmung automatisiert werden.

2 Multikriterielle Optimierung

Aufgabenstellungen bei der Auslegung von Kettentrieben sind dadurch gekennzeichnet, dass nicht nur ein Kriterium optimiert werden soll, sondern mehrere, sich meist widersprechende Ziele betrachtet werden müssen. Die Lösung einer multikriteriellen Optimierungsaufgabe ist mathematisch eine Menge nicht-dominierter Varianten – die Pareto-Menge. Eine Variante gehört zu dieser Menge, wenn es keine andere Variante gibt, die in allen Eigenschaften besser ist. Die Pareto-Menge ist somit die Menge aller möglichen Kompromisse.

Zur Lösung multikriterieller Optimierungsaufgaben gibt es prinzipiell zwei Herangehensweisen. Mehrkriterielle Aufgaben können in eine einkriterielle Er-

satzaufgabe transformiert und mit einkriteriellen Optimierungsverfahren gelöst werden. Der Nachteil besteht darin, dass der Kompromiss schon im Vorfeld der Optimierung festgelegt werden muss. Eine Betrachtung anderer Kompromisse ist dabei nicht möglich, ohne die Berechnung erneut durchzuführen. Oftmals ist es im Voraus schwierig, die richtigen Bedingungen für den angestrebten Kompromiss festzulegen. Als zweiter Lösungsweg bieten sich echte multikriterielle Optimierungsverfahren an. Der Vorteil besteht darin, dass während der Optimierung nicht ein optimaler Punkt, sondern die Kompromissmenge berechnet wird. Im Vorfeld muss keine Einschränkung gemacht werden. Nach der Optimierung

Die Autoren



Dipl.-Math. (FH)
Steffen Kux
arbeitet in der Abteilung Methoden- und Softwareentwicklung im Geschäftsbereich Powertrain Entwicklung der IAV GmbH in Chemnitz.



Dipl.-Ing.
Uwe Parsche
ist Berechnungsingenieur im Geschäftsbereich Powertrain Entwicklung der IAV GmbH in Chemnitz.

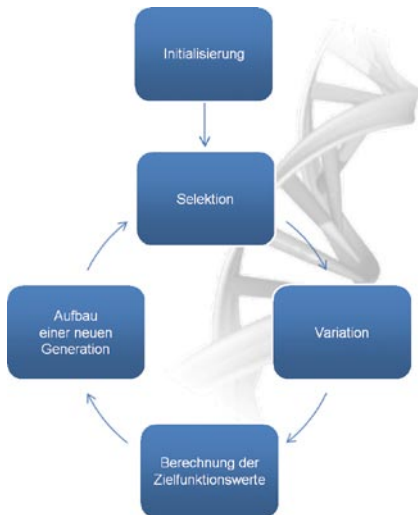


Bild 1: Prinzipieller Ablauf eines Optimierungsverfahrens auf Basis genetischer Algorithmen

kann diese Menge mit Methoden der mathematischen Entscheidungsunterstützung untersucht werden, um die Varianten auszuwählen, die den besten Kompromiss für die gesuchte Lösung darstellen. Der Rechenaufwand für multikriterielle Verfahren ist allerdings etwas höher als bei einkriteriellen Verfahren.

2.1 Genetische Algorithmen

Die Idee Genetischer Algorithmen, **Bild 1**, basiert darauf, Prinzipien der Evolution (Selektion, Kreuzung und Mutation), die aus der Biologie bekannt sind, auf Lösungsverfahren für mathematische Optimierungsaufgaben anzuwenden. Da diese heuristischen Verfahren keine strengen Anforderungen an die Gestalt der Aufgabe stellen (etwa hinsichtlich Verfügbarkeit von Gradienten, zusammenhängenden Gebieten oder Stetigkeit), sind sie gut zur Lösung von aufwändigen Optimierungsaufgaben geeignet, bei denen wenige oder keine Informationen über die Zielfunktionen bekannt sind und deren Berechnung mit großem Aufwand verbunden ist. Ein weiterer Vorteil dieser Verfahren ist, dass sie global arbeiten, was besonders dann wichtig ist, wenn die Zielfunktionen viele lokale Minima oder Maxima besitzen. Bei lokal arbeitenden Verfahren kann das leicht dazu führen, dass die Optimierung bei ungünstigen Startwerten zu einem dieser lokalen Extrempunkte konvergiert. Probabilistische modellbildende Evoluti-

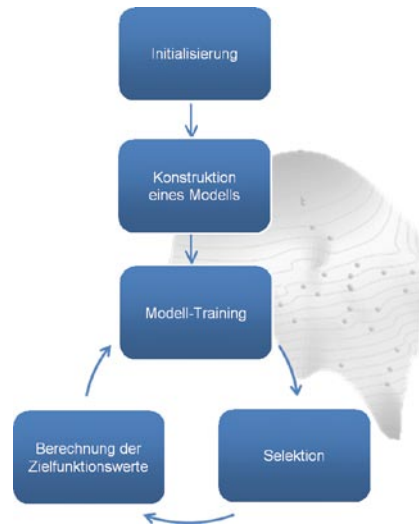


Bild 2: Optimierung mit Hilfe Ersatzmodell-gestützter Algorithmen

onsverfahren verwenden anstelle der Evolutionsprinzipien Kreuzung und Mutation die Informationen über die statistische Verteilung der Parameter. Aus der Kenntnis, welche Kombinationen gut waren und welche Abhängigkeiten zwischen den Parametern existieren, werden dann neue Varianten erzeugt. Besonders wenn die Optimierungsaufgabe viele Parameter besitzt, können die Stärken dieses Verfahrens ausgenutzt werden.

Eine weitere Eigenschaft evolutionärer Verfahren ist deren Unempfindlichkeit gegen unzulässige Lösungen, die bei technischen Problemstellungen dadurch entstehen, dass bei entsprechenden Parameterkonstellationen die technische Machbarkeit nicht mehr gegeben oder die Simulation nicht möglich ist. Genetische Algorithmen arbeiten stets nach dem gleichen Prinzip. Im Gegensatz zu einem direkten Suchverfahren wird zeitgleich eine ganze Menge (Population) an Varianten (Individuen) betrachtet. In jeder Iteration (Generation) wird aus der aktuellen Population eine neue erzeugt. Da die Individuen einer Population unabhängig voneinander sind, können deren Zielfunktionswerte gleichzeitig berechnet werden, wodurch diese Verfahren leicht parallelisierbar sind.

2.2 Ersatzmodell-gestützte Verfahren

Bei Ersatzmodell-gestützten Optimierungsalgorithmen wird auf der Basis der schon bekannten Varianten ein mathe-

matisches Modell für die Zielfunktionen erstellt, **Bild 2**. Die Zielfunktionswerte des Modells und eine Abschätzung, an welcher Stelle das Modell noch unsicher ist, werden zur Bestimmung neuer Punkte verwendet. Diese Punkte werden berechnet und zur Modellverbesserung und Vorhersage der Optima der Zielfunktionen verwendet. Als Approximationsverfahren wird ein Kriging-Verfahren eingesetzt. Bei diesen Verfahren werden die gegebenen Punkte durch ein lineares Modell und die Abweichung der einzelnen Punkte vom Modell beschrieben. Zur Beschreibung der Modellabweichung wird davon ausgegangen, dass naheliegende Punkte großen und weiter entfernte Punkte geringeren Einfluss haben. Da über die Gestalt der Zielfunktionen nichts bekannt ist, wird eine vereinfachte Form des Kriging-Verfahrens verwendet, bei dem von einem konstanten Verlauf des linearen Modells ausgegangen wird. Der Aufwand zur Bestimmung der Modellparameter für ein gutes Approximationsmodell ist groß, so dass im Vergleich zu den Genetischen Algorithmen deutlich mehr Zeit im Optimierungsverfahren benötigt wird. Bei komplexen Funktionswertberechnungen tritt dieser Aufwand in den Hintergrund. Durch die gute Konvergenz dieser Verfahren müssen deutlich weniger Punkte berechnet werden. Diese Verfahren sind durch geeignete Erweiterungen auch parallelisierbar.

2.3 Mathematische Entscheidungsunterstützung

Aus der Ergebnismenge der multikriteriellen Optimierung müssen die Varianten ausgewählt werden, die unter vorgegebenen Randbedingungen gute Kompromisse darstellen. Dazu werden die Daten geeignet normiert. Relations- und Erfolgsgraphen helfen, die Zusammenhänge visuell darzustellen. Mit Clustering-Methoden kann untersucht werden, ob gute Kompromisse auf der Basis ähnlicher Parameter entstehen oder ob es unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten gibt. Mit Hilfe von Filtermethoden können die Varianten ermittelt werden, die einem vorgegebenen Wunschpunkt am nächsten kommen. In der Regel wird dafür der theoretische Punkt mit den jeweils besten Ausprägungen aller Varianten verwendet (Idealpunkt). Einzelne Kriterien können gewichtet und unterschiedliche

29. UND 30. JANUAR 2009 | MÜNCHEN | MTZ KONFERENZ - MOTOR



Alternative Antriebe für Automobile

Internationale Konferenz

Eine Veranstaltung in Zusammenarbeit mit



- _ Hybridkonfiguration
- _ Brennstoffzellen
- _ Zukünftige Verbrennungsmotoren
- _ Alternative Energieträger

ATZlive
Abraham-Lincoln-Straße 46
65189 Wiesbaden | Deutschland

Telefon +49(0)611. 7878-131
Telefax +49(0)611. 7878-452
atzlive@springer.com

PROGRAMM UND ANMELDUNG
www.ATZlive.de

Abstandsnormen eingesetzt werden. Durch statistische Methoden können Trends, Streubänder, Abhängigkeiten und weitere Zusammenhänge analysiert und visualisiert werden.

2.4 Verteiltes Rechnen

Eine weitere Herausforderung ist der hohe Aufwand zur Berechnung der Funktionswerte. Der Erhöhung der Rechenkapazität durch schnellere Prozessoren sind durch die verfügbare Technik Grenzen gesetzt. Eine signifikante Verkürzung der Rechenzeiten wird durch Parallelisierung der Funktionswertberechnungen erzielt. Dies kann durch die Nutzung aller Prozessorkerne eines Rechners geschehen, so dass zum Beispiel zwei (Dual-Core) oder vier (Quad-Core) parallele Rechnungen ausgeführt werden können. Weiterhin bietet sich die Kopplung von mehreren Rechnern zu einem Rechnernetzwerk an.

3 Optimierung im Auslegungsprozess von Kettentrieben

Im Entwicklungsprozess von Kettentrieben werden zunehmend mathematische Optimierungsmethoden eingesetzt, um aufwändige Entwicklungsschritte zu automatisieren und Modellparameter zu optimieren. Zur Geometrie- und Layout-Optimierung wird ein kinetostatisches Modell eingesetzt. Für andere Aufgaben (zum Beispiel die Trumkraftminimierung) ist ein dynamisches Modell notwendig. Im Folgenden werden aus beiden Bereichen je eine Aufgabe und deren Lösung exemplarisch dargestellt.

3.1 Geometrieoptimierung

Ausgangspunkt für die Optimierung ist ein nicht abgestimmtes Kinetostatikmodell in V-CD, bei dem die geometrischen Zusammenhänge definiert sind. Dazu gehören unter anderem die verwendete Kette, die Positionen der Kettenräder, Zähnezahlen und die prinzipielle Anordnung der Schienen und des Spannelements. Da das Modell aber nicht hinsichtlich der Zielgrößen angepasst sein muss, kann es mit sehr geringem Aufwand erstellt werden.

Ziel der Optimierung ist es, die Führungsschienen und insbesondere die Spannschiene und das Spannelement auf Basis der geometrischen und kineto-

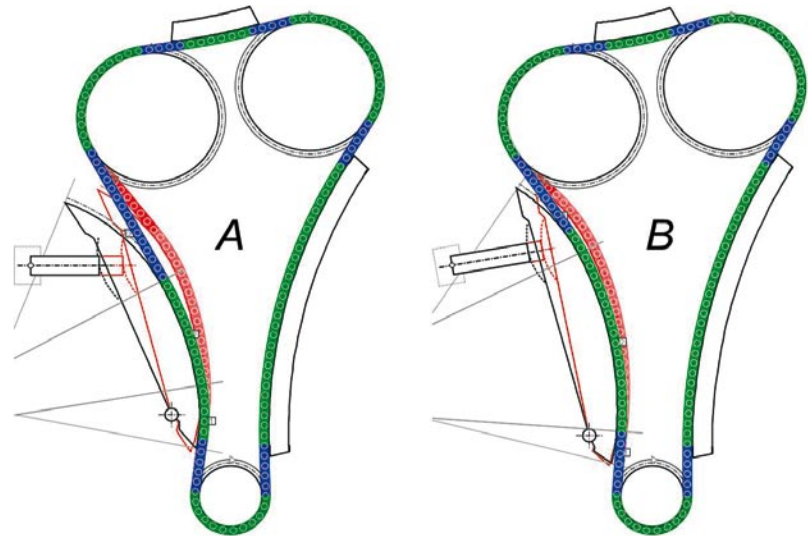


Bild 3: Geometrieoptimierung: Ausgangsmodell (A) und optimiertes Layout (B)

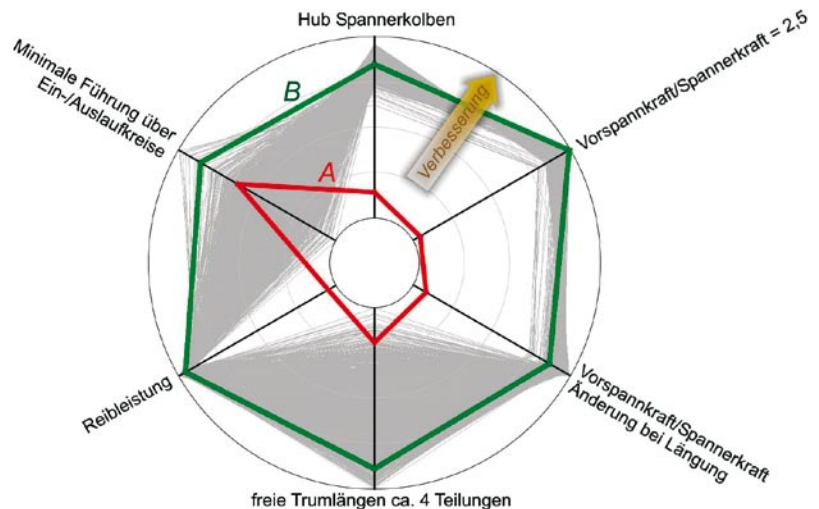


Bild 4: Erfolgsgraph Geometrieoptimierung: Ausgangsvariante (A) und optimiertes Layout (B)

statischen Vorgaben auszulegen. Als Optimierungsvariablen werden die Parameter der Spannschiene und Führungsschienen, die Position des Drehpunktes der Spannschiene und die Position und Richtung des Spannelements verwendet. Dabei ist es sinnvoll, die Schienen als abhängige Kreisbögen mit tangentialen Übergängen zu parametrieren. Die Positionen von Kettenrädern können als Parameter verwendet werden, wenn es die konstruktiven Randbedingungen erlauben. Bei der Optimierung der Schienenkonturen besteht die Schwierigkeit darin, geeignete mathematische Formulierungen für komplexe geometrische Zusammenhänge zu formulieren. So sollen die Längen der freien Trumstücke an der

Spannschiene im ungelängten und im gelängten Zustand sinnvoll sein und der Trum möglichst wenig über die Einlauf- und Auslaufkreise geführt werden. Weitere Zielfunktionen werden direkt aus den verfügbaren geometrischen und kinetostatischen Kennwerten abgeleitet.

Für die Optimierung des Layouts des Triebes werden folgende Ziele berücksichtigt:

- Minimierung des Kolbenhubs des Spannelements
- Verhältnis von Vorspannkraft zu Spannerkraft (ungelängte Kette) rund 2,5
- Minimierung der Änderung des Verhältnisses zwischen gelängtem und ungelängtem Zustand
- Minimierung der Reibleistung

- Länge der freien Trumstücke: etwa vier Kettenglieder
- Minimierung der Kontaktlänge über die Ein- und Auslaufkreisbögen.

Die ersten drei Zielfunktionen dienen zur kinetostatischen Abstimmung des Spannsystems. Die beiden letzten Zielfunktionen bilden die beschriebenen geometrischen Bedingungen ab. Eine Herausforderung für das verwendete Optimierungsverfahren ist der Umstand, dass insbesondere zu Beginn der Optimierung sehr viele unzulässige Varianten erzeugt werden. Das liegt darin begründet, dass bei großzügigen Parametergrenzen viele Varianten erzeugt werden, die technisch nicht realisierbar sind, etwa weil die Spannschiene die Kettenüberlänge nicht mehr ausgleichen kann oder Bauteile kollidieren. Für diese Art von Aufgaben bieten sich Genetische Algorithmen an. Da diese Aufgaben viele variable Parameter besitzen, sind probabilistische modellbildende Genetische Algorithmen besonders geeignet. Bei einer Modellgröße von 100 Individuen und 100 Generationen und einem Austausch von 50 % der Individuen pro Generation, sind 5100 Varianten zu berechnen. Durch den Zusammenschluss mehrerer Computer im Compute-Netzwerk (insgesamt 30 CPUs) benötigt diese Optimierung nur 30 Minuten. Im Anschluss an die Optimierung kann mit Methoden der Entscheidungsunterstützung ein geeigneter Kompromiss ausgewählt werden (bei der Filterung wurden die beiden letzten Ziele höher gewichtet). Die ausgewählte Variante ist bezüglich aller Ziele ausgewogen und stellt eine deutliche Verbesserung gegenüber der Ausgangsvariante dar, **Bild 3** und **Bild 4**. Mit Hilfe der Optimierung ist es gelungen, ein geometrisches Layout zu finden, bei dem das Spannsystem kinetostatisch abgestimmt, **Bild 5**, und die Reibung minimal ist, **Tabelle 1**.

3.2 Minimierung der Trumkräfte

Auf der Basis des optimierten Geometriemodells von V-CD wird ein Modell für XKet-Sim erzeugt. Das um die Anregungen der Nockenwellen und der Kurbelwelle erweiterte Dynamikmodell bildet die Ausgangsbasis, um den Kettentrieb hinsichtlich seiner dynamischen Belastungen zu optimieren. Durch Abstimmung des hydraulischen Spanners und dem Einsatz von unrunder Kettenrädern kann die Belastung der Kette

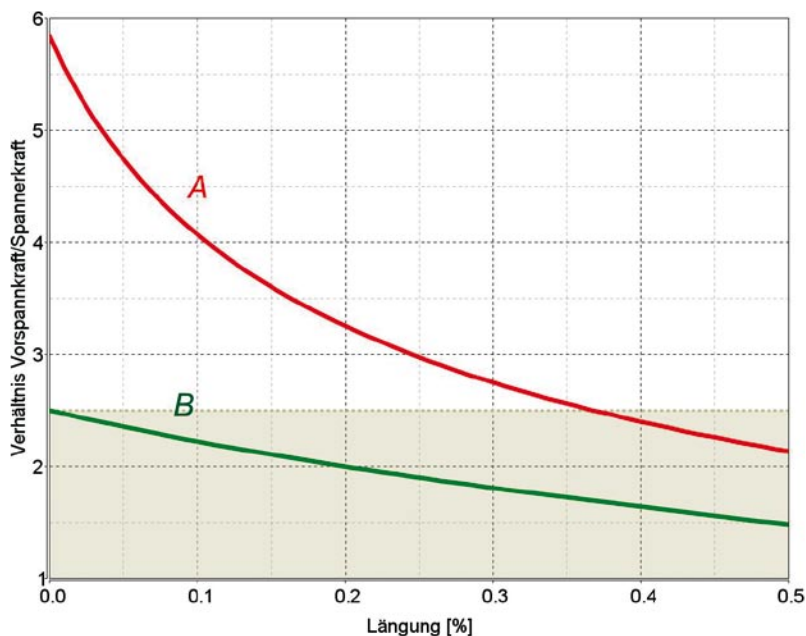


Bild 5: Spannerkraftabstimmung: Ausgangsvariante (A) und optimiertes Layout (B)

minimiert werden, wobei die unrunder Kettenräder bestimmte Ordnungen der Anregung der Kurbelwelle und der Nockenwellen kompensieren. Vor allem beim Durchfahren einer Kettentriebsfrequenz im Betriebsdrehzahlbereich kann die optimale Anpassung der unrunder Kettenräder die Anregung dieser Motorordnung deutlich reduzieren. Infolgedessen kann die Spannervorspannung abgesenkt werden, wodurch eine weitere Verringerung der Reibung möglich wird. Da die Anregung in anderen Drehzahlbereichen unter Umständen verstärkt wird, ist es erforderlich, den gesamten Drehzahlbereich zu betrachten. Als Optimierungsvariablen werden die Parameter Spaltweite und Spannerkraft des hydraulischen Span-

ners und die Parameter der unrunder Kettenräder (Amplitude und Phasenwinkel der Unrundheit) verwendet.

Für die Optimierung müssen mehrere Ziele berücksichtigt werden:

- Minimierung der Trumkraftmaxima (über alle Trumabschnitte)
- Minimierung der Drehwinkelabweichungen der Nockenwellen
- Minimierung der Amplitudendifferenz der Unrundheit beider Nockenwellen.

Die letzte Zielfunktion dient dazu, im Nachgang an die Optimierung in der Kompromissmenge sowohl Lösungen mit optimaler Auslegung der Unrundheit, aber auch Konstruktionen mit Gleichteilen untersuchen zu können. Während der Opti-

Tabelle 1: Auswertung Geometrieoptimierung (p ... Kettenteilung)

	Ausgangsvariante	Optimierte Variante
Kolbenhub (maximale Längung – ungelängt)	18,3 mm	10,3 mm
Vorspannkraft/ Spannerkraft	ungelängt	5,8
	max. Längung	2,1
Freie Trumlängen an der Spannerscheibe	ungelängt	14,6 xp ; 5,2 xo
	max. Längung	9,0 xp ; 7,8 xp
Länge der Führung über die Ein-/Auslaufkreise	ungelängt	55,8 mm
	max. Längung	64,9 mm
Reibleistung (Verminderung zur Ausgangsvariante)	–	12 %

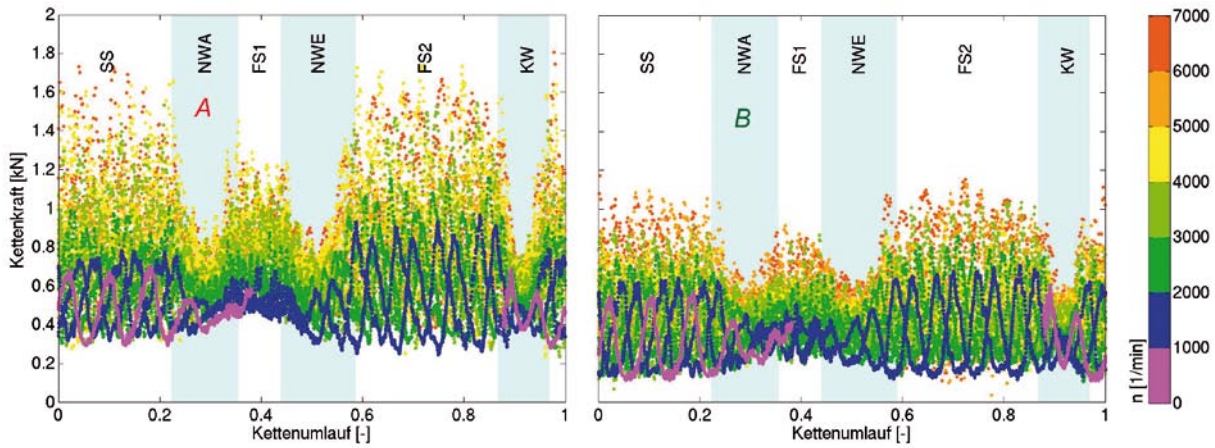


Bild 6: Trumkraftminimierung: Ausgangsvariante (A) und optimiertes Layout (B)

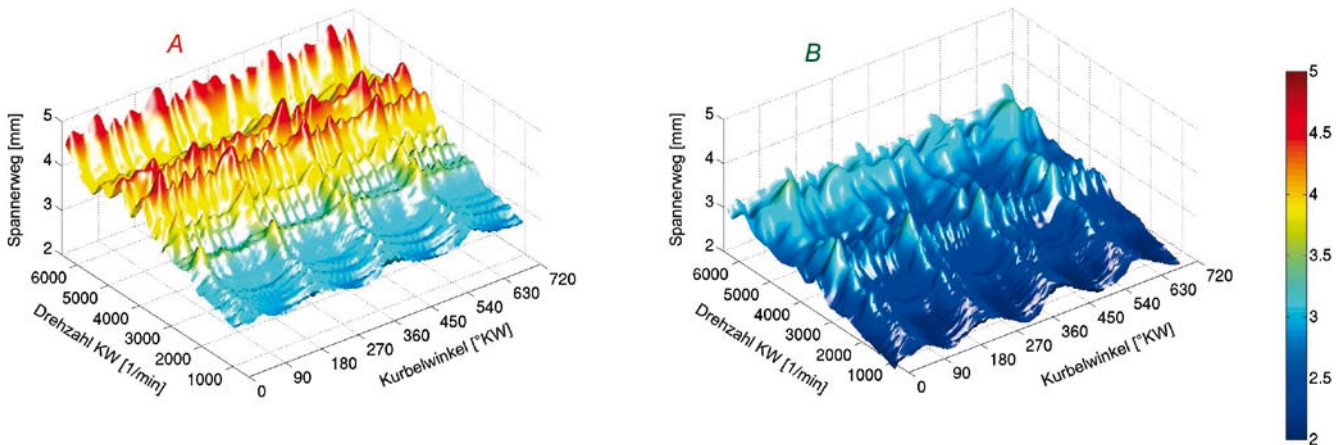


Bild 7: Spannerweg: Ausgangsvariante (A) und optimiertes Layout (B)

mierung muss dafür gesorgt werden, dass die minimalen Kettenkräfte einen unteren Grenzwert nicht unterschreiten, damit es nicht zu einem ungewollten Abheben der Kettenglieder von den Schienen kommt. Dazu wird die Nebenbedin-

gung formuliert, dass die Trumkraftminima über alle Trumabschnitte die vorgegebene Grenze von 50 N nicht unterschreiten. Zur Lösung dieser Aufgabe bieten sich besonders Ersatzmodell-gestützte Optimierungsverfahren an, da durch die sehr

aufwändige Funktionswertberechnung nur eine begrenzte Anzahl von Funktionsauswertungen möglich ist. Es sind nur wenige unzulässige Lösungen zu erwarten. Für die Optimierung wurden 1000 Varianten berechnet, was mithilfe

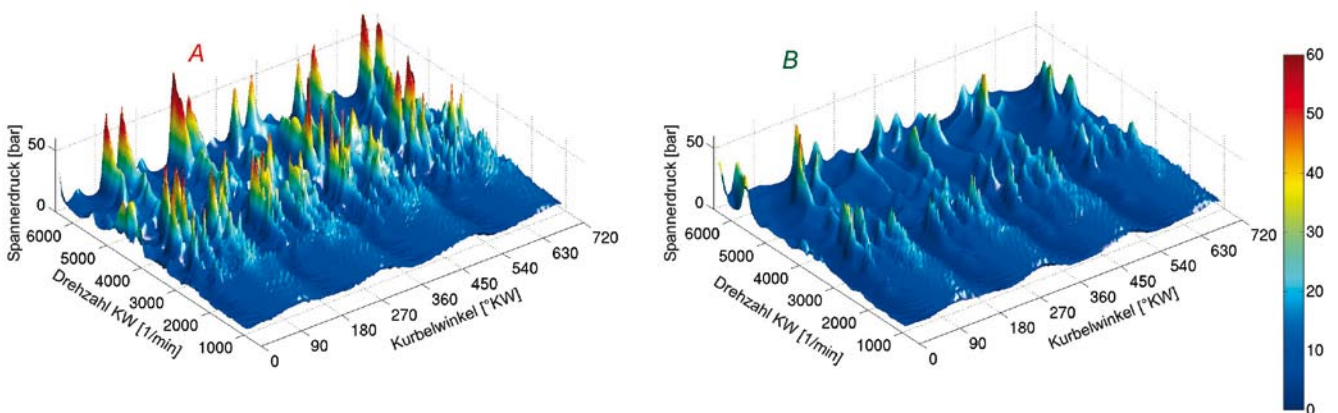


Bild 8: Spannerdruck: Ausgangsvariante (A) und optimiertes Layout (B)

Tabelle 2: Auswertung Trumkraftminimierung

		Ausgangsvariante	Optimierte Variante
Vorspannung		130 N	52 N
Unrundheit	Einlass-NW	0 mm	0,49 mm
	Auslass-NW	0 mm	0,49 mm
	Kurbelwelle	0 mm	0,01 mm
Spaltweite λ_r		35 μ m	60 μ m
Maximale Kettenkraft		1945 N	1215 N
Maximaler Schwingwinkel (Spitze-Spitze)	Einlass-NW	1,2°	1,2°
	Auslass-NW	1,5°	1,3°
Reibleistung (Verminderung zur Ausgangsvariante)		–	21 %

des Compute-Networks (insgesamt 32 CPUs) zirka 35 Stunden benötigte. Bei der Auswahl des Kompromisses wurden die Minimierung der Trumkräfte, **Bild 6**, und die Verwendung von Nockenwellenrädern mit gleicher Unrundheit höher gewichtet. Gleichzeitig wird der Kolbenweg des Spanners verringert, **Bild 7**. Aufgrund der Absenkung der Vorspannkraft und der Vergrößerung der Spaltweite werden der Spannerdruck abgesenkt, **Bild 8**, und die Reibleistung weiter reduziert, **Tabelle 2**.

3.3 Weitere Aufgaben

Die dargestellten Aufgaben und Lösungen sollen exemplarisch die Einsatzmöglichkeiten mathematischer Optimierungsmethoden in der Kettentriebsauslegung aufzeigen. Dabei sind aber auch andere Optimierungsparameter und Aufgaben möglich. Durch die Kopplung von V-CD und XKetSim ist es beispielsweise möglich, gleichzeitig geometrische Eigenschaften und das dynamische Verhalten des Triebs zu optimieren. Die eingesetzten Methoden lassen sich leicht auf andere Aufgabenbereiche anwenden. So ist der Einsatz auf die Auslegung von Riementrieben oder Rädertrieben, aber auch auf andere Anwendungen (zum Beispiel Ventiltriebsauslegung, Kurbeltriebsauslegung, Strömungssimulation, FEM-Anwendungen) möglich.

4 Zusammenfassung

Um den hohen Anforderungen zur Funktionsabsicherung und Verbrauchsreduzierung gerecht zu werden, ist es notwendig, jede Baugruppe optimal an die

gegebenen Randbedingungen anzupassen. Bei der Auslegung und Abstimmung von Steuertrieben ist diese Aufgabe aufgrund der Vielzahl an Restriktionen und Zielfunktionen sehr komplex. Multikriterielle Optimierungsverfahren und Methoden zur Entscheidungsunterstützung helfen dem Ingenieur bei der Findung optimaler und objektiver Lösungen und bei deren Bewertung. Durch die Verwendung nutzerfreundlicher Optimierungswerkzeuge ist die Methodik in der Praxis sehr gut anwendbar.

Literaturhinweise

- [1] Deb, K.: Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. 1st ed. John Wiley & Sons Chichester, 2002
- [2] Knowles, J., Huges, E.: Multi Objective Optimization on a Budget of 250 Evaluations, Evolutionary Multi-Criterion Optimization (EMO 2005), LNCS 3410, 176-190
- [3] Pelikan, M.: Hierarchical Bayesian Optimization Algorithm – Toward a new generation of Evolutionary Algorithms, Studies in Fuzziness and Soft Computing, Volume 170. Berlin: Springer, 2005
- [4] Stöcker, M.: Untersuchung von Optimierungsverfahren für rechenzeitaufwändige technische Anwendungen in der Motorenentwicklung. Diplomarbeit, TU Chemnitz, 2007

Download des Beitrags unter
www.MTZ-online.de

MTZ

Read the English e-magazine.
Order your test issue now:
SpringerAutomotive@abo-service.info

WWW.VIEWEGTEUBNER.DE

Die ganze Welt des Verbrennungsmotors



Richard van Basshuysen |
Fred Schäfer (Hrsg.)

Handbuch Verbrennungsmotor

Grundlagen, Komponenten,
Systeme, Perspektiven

4., akt. u. erw. Aufl. 2007. L, 1032 S.
mit 1556 Abb. (ATZ-MTZ Fachbuch)
Geb. EUR 99,00
ISBN 978-3-8348-0227-9

Das Handbuch Verbrennungsmotor enthält umfassende Informationen über Otto- und Dieselmotoren. In wissenschaftlich anschaulicher und gleichzeitig praxisrelevanter Form sind die Grundlagen, Komponenten, Systeme und Perspektiven dargestellt. In diese vierte Auflage wurden Kapitel über Motorradmotoren sowie Motormesstechnik aufgenommen.

Fax +49(0)611.7878-420

Ja, ich bestelle

Exemplare
Handbuch Verbrennungsmotor
ISBN 978-3-8348-0227-9 EUR 99,90

Firma 321 08 568

Name, Vorname

Abteilung

Straße (bitte kein Postfach)

PLZ | Ort

Datum | Unterschrift

Geschäftsführer: Dr. Ralf Birkelbach
AG Wiesbaden HRB 9754



TECHNIK BEWEGT.

VIEWEG+TEUBNER

Änderungen vorbehalten. Enthält im Buchhandel oder beim Verlag, zuzüglich Versandkosten