

## Smarte Schalter

Induktive Faktor-1-Sensoren  
für höhere Schaltabstände

LIVE@



**Automatisierungstechnik**  
Die intelligente Produktion  
von morgen – ein Fallbeispiel

**Fluidtechnik**  
Carbon-faserverstärkter  
Kunststoff in der Hydraulik

**Special Antriebstechnik**  
Eine Vorschau auf die  
MDA 2015 in Hannover

# Designt nach der logarithmischen Spirale

**Ein Getriebe, das bislang in keinem Lehrbuch steht**



Thomas Bayer: „Ingenieure können ihre Maschinen mit dem Galaxie Antriebssystem endlich einmal konzeptionell neu überdenken und Entwicklungssprünge realisieren, die bislang nicht möglich waren“

*Ein völlig neuartiges Antriebssystem soll die Präzision, Dynamik und Produktivität der nächsten Maschinengeneration um Faktoren steigern können. „Das sind reale und belegbare Ergebnisse unserer Kunden“, erklärt Thomas Bayer Leiter, Galaxie Antriebssysteme Wittenstein AG. Der Ingenieur und Erfinder blickt im Gespräch mit der Redaktion auf den Schöpfungsprozess zurück.*

#### Was war für Sie der Anstoß zur Erfundung und Entwicklung einer neuen Antriebsgattung?

Wittenstein ist auf Innovationen im Getriebesektor spezialisiert. Vor allem unsere Planetengetriebe gehören zu den präzisesten und steifsten im Markt. Optimierungen sind immer noch möglich, aber richtig große Entwicklungssprünge waren nicht in Sicht. Deshalb stellte ich mir die Frage: Wie sehen Getriebe aus, die unsere Kunden für die nächste Generation an Hochleistungsmaschinen benötigen?

#### Wie sind Sie bei Ihrer Suche nach einer neuen-Lösung vorgegangen?

Mit einem Team von drei Mitarbeitern stellten wir alle bekannten Konzepte gegenüber: Stirnrad, Planetenrad,

Hypoidgetriebe, Harmonic-Drive-Prinzip, Exzentergetriebe mit Evolvente und Zykloid-Getriebe in verschiedensten Bauformen. Jedes Konzept verfügt über seine spezifischen Stärken und Schwächen. Aber kein Getriebe konnte alles gleich gut. Steifigkeit, Tragfähigkeit,

Menschen haben das Problem, durch das erlernte Wissen und die Erfahrung vorgeprägt zu sein. Vor einer Aufgabe gestellt, werden sie automatisch in bekannte Denkrichtungen gedrängt. Wenn aber die ideale Lösung nicht in ihrem Denkmuster vorhanden ist, können sie die ideale Lösung auch niemals finden! Die Erfindermethode TRIZ half uns aus dieser Sackgasse heraus.

#### Mit der TRIZ-Methode kann man seine eigenen Denkmuster verlassen?

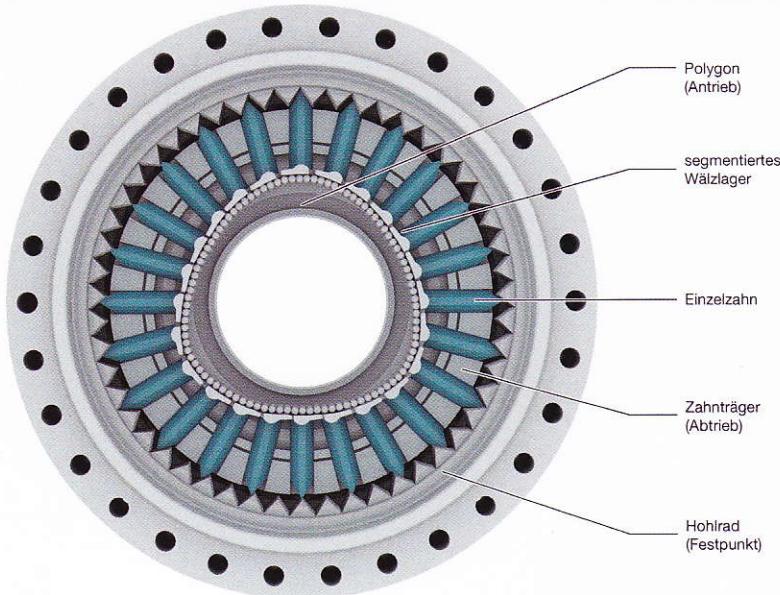
Ja, der Vorteil der TRIZ-Methode ist, dass sie sehr abstrakte Hinweise gibt. Die Methode führt zu der Frage, wo das Grundproblem, der Grundkonflikt ist. Alle mechanischen Konzepte verfügen über

#### Ein Hochleistungsgetriebe mit dynamisierten Einzelzähnen und hydrodynamischem vollflächigem Zahneingriff

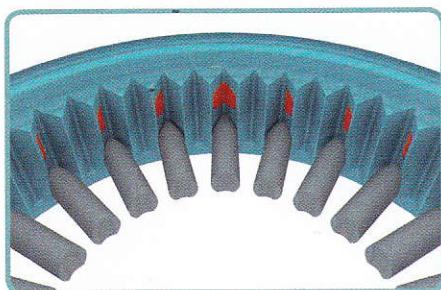
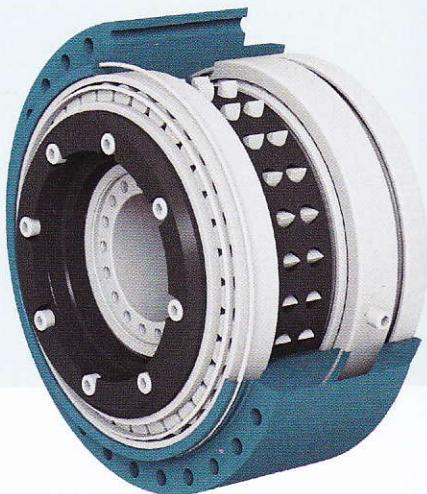
Spielfreiheit, Präzision, große Hohlwelle usw. Alles auf einmal und um Faktoren besser – das wollten wir!

Wir haben dann zehn Getriebegattungen entwickelt, die letztendlich nur Varianten der bekannten Konzepte waren.

Zahnräder oder sind Varianten davon. Der Großteil der Zähne ist jedoch nur selten im Eingriff – sie machen überwiegend „Urlaub“. Der Linienkontakt der evolventischen Verzahnung begrenzt wegen der hohen Hertzschene Pressungen die



**01** Der Antrieb erfolgt über das Polygon mit segmentiertem wälzgelagertem Außenring; der Abtrieb erfolgt über den Zahnräger.



**02** Flächiger Zahneingriff: Bis zu 6,5 Mal mehr Drehmoment übertragende Fläche bietet Galaxie. Die Hydrodynamik im Zahnkontakt sorgt für geringe Reibung und hohe Wirkungsgrade.

übertragbaren Momente maßgeblich. Das sind die beiden Grundprobleme aller Zahnradgetriebe und verschwendetes Potenzial! Der TRIZ-Prozess führte uns für die Lösung dieser Grundprobleme der Zahnradgetriebe zu folgenden innovativen Grundprinzipien: Segmentierung, Äquipotenzial, Dynamisierung und örtliche Qualität.

#### Ist das nicht sehr abstrakt?

Ja, ich war mir aber sicher, dass – falls es eine ideale Lösung gibt – diese in den genannten Prinzipien zu finden sein musste. Das war ein einsamer Prozess von mehreren Wochen und schließlich entstand der Gedanke: Wozu braucht man Zahnräder, wenn nur die Zähne für die Kraftübertragung notwendig sind? Wir segmentierten das Zahnrad in einzelne Zähne. Nächster Schritt war das Äquipotenzial (geringe Varianz in der potentiellen Energie): Gesucht war nun eine Lösung mit möglichst vielen Zähnen im Dauereingriff. Das ist aber eine klassische

Zahnkupplung und kein Getriebe! Die TRIZ-Methode macht keine Kompromisse. Gesucht sind keine Kompromisse zwischen Konfliktpaaren. Es wird nur die ideale Lösung akzeptiert, die ausschließlich Vorteile bietet. Bis dahin bestand das Getriebe also aus einem innenverzahnten Hohlrad und einzelnen Zähnen.

#### Wie ging es weiter?

Das nächste Grundprinzip, die Dynamisierung, fordert die Einzelzähne in Bewegung zu bringen. Das wurde schließlich mit einem Antriebspolygon gelöst. Dies in der Konzeptphase zu realisieren, war mathematisch sehr aufwendig. Für die Polygonlagerung benötigten wir eine zwei- oder dreieckige Lagerung. Also mussten ein Wälzlagern mit polygonförmigem Innenring und ein segmentierter Lageraußenring erfunden und entwickelt werden.

**Bietet das Getriebe mit der neuen Verzahnung und Kinematik auch eine exakt gleichförmige Übersetzung?**

Ja, der perfekte Gleichlauf wird erfüllt, wenn das Antriebspolygon so ausgeführt wird, dass Einzelzähne und Hohlrad entsprechend ihrer Verzahnung nach der sogenannten logarithmischen Spirale aneinander gleiten.

Manche Pflanzenarten, Schneckenhäuser und sogar Galaxien sind nach der logarithmischen Spirale designet. Da war mir klar, dass wir etwas Besonderes erfunden hatten, wenn die Mathematik dieses Getriebes auch in der Natur und sogar in Galaxien zu finden ist. Die Natur ist schließlich ein absolutes Vorbild in Bezug auf Effektivität und Design. So lag es nahe, das neue Getriebesystem auch Galaxie zu nennen.

Im Getriebebau gibt es als Grundverzahnungsarten die Evolvente, die Zykloide und ein paar Unterarten. Mit der Logarithmischen Spirale haben wir eine fundamental neue Funktion für Getriebeverzahnungen entdeckt und entwickelt. Das finden Sie noch in keinem Lehrbuch. Bis dahin stand die Erfindung dann schon zum Großteil.

#### Einsatzbeispiele für das neue Antriebssystem

In Werkzeugmaschinen erhöht das Galaxie Antriebssystem durch die dauerhafte Spielfreiheit, extreme Steifigkeit und Präzision die Werkzeugstandzeiten deutlich. Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe können erhöht werden. Die Fertigungsqualität steigt deutlich. Bewegte Fräsköpfe für die Bearbeitung sind nur noch halb so groß und ermöglichen es, noch kompaktere und leistungsdichtere Maschinen zu konstruieren. Vor allem A-, B- und C-Achsen im Präzisionsmaschinenbau, Achsen für das Waferhandling und überall, wo präzise Drehbewegungen und höchste Kräfte bei eingeschränktem Bauraum erforderlich sind, wird das Galaxie Antriebssystem eingesetzt werden. Auch der Ersatz von teuren Direktantrieben und Verspannantrieben ist aufgrund der dauerhaften Spielfreiheit eine interessante Option.



**03** Die Natur zum Vorbild: Logarithmische Spirale als neue Verzahnungsart

deshalb einen echten Flächenkontakt in der Verzahnung! Durch die Segmentierung des Zahnrades in Einzelzähne können außerdem fast alle Zähne gleichzeitig im Eingriff sein. Im Vergleich zu den besten schrägverzahnten Planetengetrieben erreicht Galaxie 6,5 Mal mehr Drehmoment übertragende Fläche! Das haben wir mit FEM bewiesen. Mit Galaxie lassen sich im Vergleich zu anderen Getrieben bei gleichem Bauraum ein Vielfaches an Torsionssteifigkeit und Überlastfähigkeit realisieren. Alle Kontakte wurden auf niedrige Flächenpressung hin entwickelt. Sowohl in den Führungsbohrungen der Einzelzähne als auch in der Verzahnung bildet sich ein hydrodynamischer Schmierspalt. Dadurch erreicht das hochübersetzende Getriebe heute Wirkungsgrade von zu bis 91 Prozent.

#### Welche weiteren Vorteile bietet nun das Galaxie Getriebe?

Das Getriebe läuft so gut wie verschleißfrei; auch nach zweieinhalb Jahren Praxiseinsatz im 24 Stunden Dauerlauf konnten wir keinerlei Spielzunahme feststellen. Das Getriebe kann durch eine Bauteilsortierung spielfrei eingestellt werden – ohne dass dabei die übertragbaren Drehmomente reduziert werden müssen! Da es nicht messbar verschleißt, bleibt es dauerhaft spielfrei. Eine Besonderheit gibt es noch: Die extrem hohe Steifigkeit des spielfreien Getriebes bleibt auch im Nulldurchgang bei wechselnder Last erhalten. Es bietet außerdem die größte Hohlwelle und einen sehr geringen, angenehmen Geräuschpegel. Außerdem erreicht es Drehmomente, für die andere Getriebegattungen mindestens zwei bis drei Baugrößen größer bauen.

#### Wird der Elektromotor nun nicht relativ groß ausfallen müssen, um das Potenzial des Getriebes auch voll ausnutzen zu können?

Es wird sicher schwer fallen, einen Motor mit großer Hohlwelle und der erforderlichen Leistungsdichte auf dem Markt zu finden. Daher hat Wittenstein Cyber Motor

für das Galaxie System einen Hochleistungsmotor entwickelt, der speziell auf die Eigenschaften des Getriebes abgestimmt ist. Motor und Getriebe bilden eine mechatronische Einheit bei der Durchmesser und Länge in etwa gleich groß sind. Auch eine Sensorik wurde integriert, um den neu entwickelten Hochleistungsmotor mit dem Getriebe zu einer hochkompakten Hohlwellenantriebseinheit mit Industrie 4.0-Konnektivität zu verschmelzen.

#### Welchen Nutzen kann der Maschinenbau mit dem Galaxie Antriebssystem umsetzen?

Das Galaxie Antriebssystem ist in allen wichtigen Eigenschaften gleichzeitig um Faktoren besser als vergleichbare Produkte. Dennoch ist es kein kannibalisierendes System, da die Produktionskosten noch höher sind. Allerdings haben unsere Lead-Kunden in den letzten zwei Jahren Serieneinsatz mit dem Galaxie Antriebssystem festgestellt, dass man mit bis zu 580% mehr Steifigkeit und deutlich höherer Präzision bisherige Grenzen deutlich überschreiten und somit die Produktivität extrem steigern kann. Der Preis für das Galaxie Antriebssystem ist dann definitiv zweitrangig.

#### Warum warteten Sie gut zwei Jahre mit der offiziellen Markteinführung des Galaxie Antriebssystems? War der Markt noch nicht reif dafür?

Der Markt war schon reif dafür. Jedoch sind die Funktionsprinzipien, wie der vollflächige hydrodynamische Zahneingriff sowie die Verzahnung des Galaxie Antriebes so fundamental neu und die Resultate in allen wichtigen Kennzahlen um Faktoren besser, dass wir neben eigenen Aussagen auch unsere ersten Kunden sprechen lassen möchten. Dafür ist nach mehr als zwei Jahren Serieneinsatz nun der Zeitpunkt gekommen. Ingenieure können ihre Maschinen jetzt mit dem Galaxie Antriebssystem endlich einmal konzeptionell neu überdenken und Entwicklungssprünge realisieren, die bislang nicht möglich waren.



**04** Das Galaxie Antriebssystem mit extrem leistungsdichtem Motor als mechatronische Einheit

#### Was fehlt jetzt noch?

TRIZ wies uns auf die besondere Bedeutung der örtlichen Qualität hin: Klassische Verzahnungen haben einen Wälzpunkt mit Schlupfbereichen. Die Linienberührung bildet bei Belastung nur kleine Druckellipsen. Wir entwickelten

[www.wittenstein.com](http://www.wittenstein.com)

**Schnellspannelemente**  
Stark. Selbstzentrierend. Schnell montiert.



**VMA**®

ANTRIEBSTECHNIK

EINFACH. PRÄZISE. BEWEGT.

