



HiPerMax[®] Die LuK Zahnkette für Getriebe

Zuverlässige Leistungsübertragung
im Antriebsstrang

Andreas Englisch
Michael Pichura



Einleitung

Ein moderner Antriebsstrang ist ohne Einsatz von Ketten nicht vorstellbar. Es gibt eine Vielzahl möglicher Applikationen, die Motorsteuerkette, die Getriebekette oder die Transferkette für den Allradantriebsstrang (Bild 1). Zunehmende Leistungsdichten und Anforderungen hinsichtlich Bauraum und Masse forcieren den Einsatz der Ketten für die unterschiedlichen Anwendungen. Steigende Motorleistungen bedingen auch eine Zunahme des Anteils der Allradfahrzeuge im Markt, um die Leistung sicher auf die Straße bringen zu können.

Es stellte sich die Frage, ob sich die Fortschritte, die bei der Entwicklung der CVT-Kette erzielt wurden, auf die Entwicklung einer Allradantriebskette übertragbar sind und es gleichzeitig möglich ist, die Eigenschaften der sich bereits im Markt befindlichen Produkte zu übertreffen.

Im Bild 2 dargestellt sind verschiedene Einsatzmöglichkeiten der Zahnkette. Es sind zu nennen

die Anwendung im Verteilergetriebe des Allradfahrzeuges, die Getriebezahnkette und die Anwendung in Hybridantriebssträngen, um den Achsabstand zwischen elektrischem Antrieb oder Getriebe und der Antriebsachse zu überwinden.

Die wesentlichen technischen Anforderungen des Kunden sind die Erreichung der geforderten Kettenfestigkeit in Verbindung mit einer geringen Kettenlänge. Gleichzeitig soll ein gutes akustisches Verhalten erzielt werden. Eine reduzierte Kettenbreite wirkt sich positiv auf den Bauraumbedarf des Getriebes im Fahrzeug aus.

Von der CVT-Kette zur Zahnkette

Gemeinsames Merkmal von CVT- und LuK Zahnkette ist die Verwendung von Wiegegelenken. Wiegegelenke eignen sich insbesondere dann, wenn gute Wirkungsgrade in Verbindung mit einer hohen Festigkeit der Kette gefordert sind. Die Wiegegelenke und der Kontaktbereich Wiegelenk zu Lasche wurden im Rahmen der CVT-

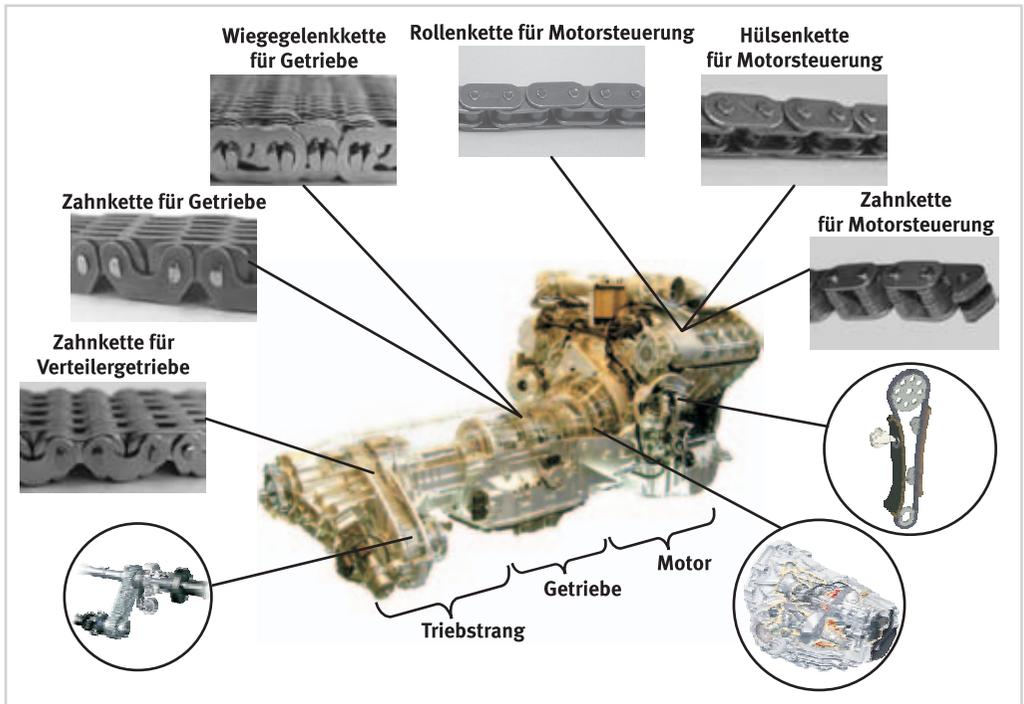


Bild 1 Anwendungsgebiete von Ketten im Fahrzeug

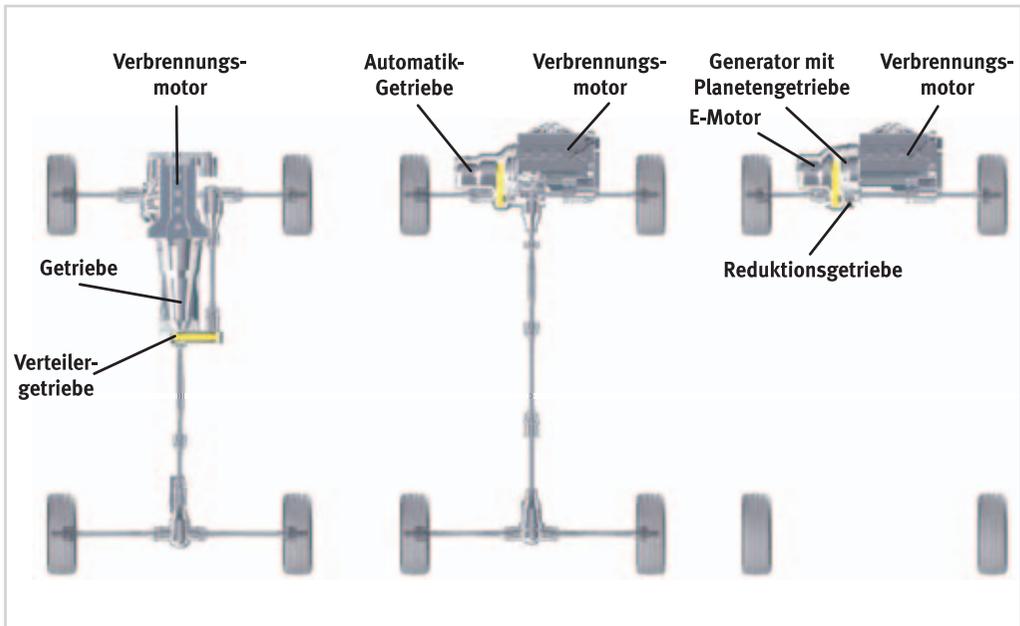


Bild 2 Anwendungsgebiete von Zahnketten

Entwicklung stetig mit dem Ziel weiterentwickelt, Festigkeit und Kinematik weiter zu verbessern. Die Ergebnisse konnten in weiten Bereichen auf die Zahnkette übertragen werden. Grundlagen aus der CVT-Kettenakustik konnten für die akustische Optimierung der Zahnkette verwendet werden.

Durch die Verwendung zweier unterschiedlicher Laschentypen (Bild 3) kann eine „Randomisierung“ des Kettenmusters vorgenommen werden, womit eine Verbesserung des akustischen Verhaltens erzielt wird. Eine Besonderheit der Kette ist die Verwendung von dickeren Laschen als die heute üblichen. Diese dickeren Laschen weisen einen höheren Glattschnittanteil auf. Damit ver-

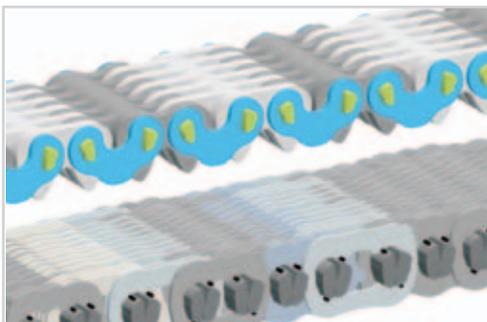


Bild 3 LuK Zahnkette (oben) und LuK CVT-Kette (unten)

bunden ist eine Reduzierung der Setzbeträge und in der Folge eine Reduzierung der Kettenlänge im Betrieb.

Ein Vergleich der LuK Zahnkette mit dem aktuellen Stand der Technik zeigt: Die LuK Zahnketten sind aufgrund der deutlich reduzierten Kettenlänge im Betrieb bei gleicher Laufleistung schmäler und benötigen deshalb weniger Bauraum im Getriebe. Ein weiterer positiver Nebeneffekt ist die Reduzierung der Anzahl der Bauteile und damit eine einfachere Montage der Kette.

Beschreibung der Bauteile

Die Zahnkette besteht aus den in Bild 4 dargestellten Bauteilen:

- B-Lasche
- S-Lasche
- Decklasche
- kurzes Wiegestück
- langes Wiegestück

Die zwei unterschiedlichen Zahnlaschentypen, B-Lasche und S-Lasche, unterscheiden sich in

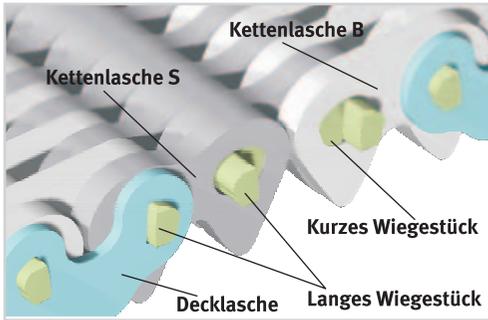


Bild 4 Bauteilbeschreibung Zahnkette

der Kontur der Zahnflanken. Um diese beiden Laschentypen bei der Montage einfach auseinanderhalten zu können, haben die Laschen zur automatisierten Unterscheidung einen geraden bzw. einen gebogenen Rücken. Die Decklasche verhindert das Herauswandern der Kette aus dem Zahnrad. Pro Gelenk ist ein langes Wiegestück verbaut, das in die Decklasche eingepresst und zusätzlich noch vernietet wird sowie ein kurzes Wiegestück, das von der Decklasche verdeckt und dadurch axial fixiert wird.

Der größte Vorteil der hier vorgestellten LuK Zahnkette ist, dass eine deutliche Einsparung bei der Kettenbreite und dem Kettengewicht möglich wird. Dieser Bauraum- und Gewichtsvor-

teil wirkt sich natürlich auch direkt positiv auf den Getriebebaubereich, das Getriebegewicht und die Gesamtkosten des Getriebes aus.

In Bild 5 sind zwei typische Anwendungsfälle für Verteilergetriebeketten dargestellt. Die Abbildung links zeigt eine ursprünglich 1,25" breite Kette. Bei dieser Anwendung sind eine nachgewiesene Breitenreduzierung von 12 % und damit verbunden eine Gewichtsreduzierung von 16 % möglich. Bei der rechts dargestellten 1,75" breiten Kette ist sogar eine Breitenersparnis von 14 % und eine Gewichtsersparnis von 19 % möglich.

Versuchsergebnisse

Erste Versuche bestätigen die rechnerischen Vorhersagen. In Bild 6 sind Laufzeiten von Ketten gemäß dem Stand der Technik und Laufzeiten von LuK-Zahnketten dargestellt, die unter gleichen Bedingungen auf dem gleichen Prüfstand erzielt wurden.

Der dargestellte Versuch wird in zwei Laststufen gefahren. Zunächst werden die Ketten bei konstanter Drehzahl und Temperatur bei 950 Nm belastet, bis die geforderte Laufzeit von 480 min erreicht ist. Dann wird das Drehmoment auf 1400 Nm erhöht und die Kette wieder bei glei-

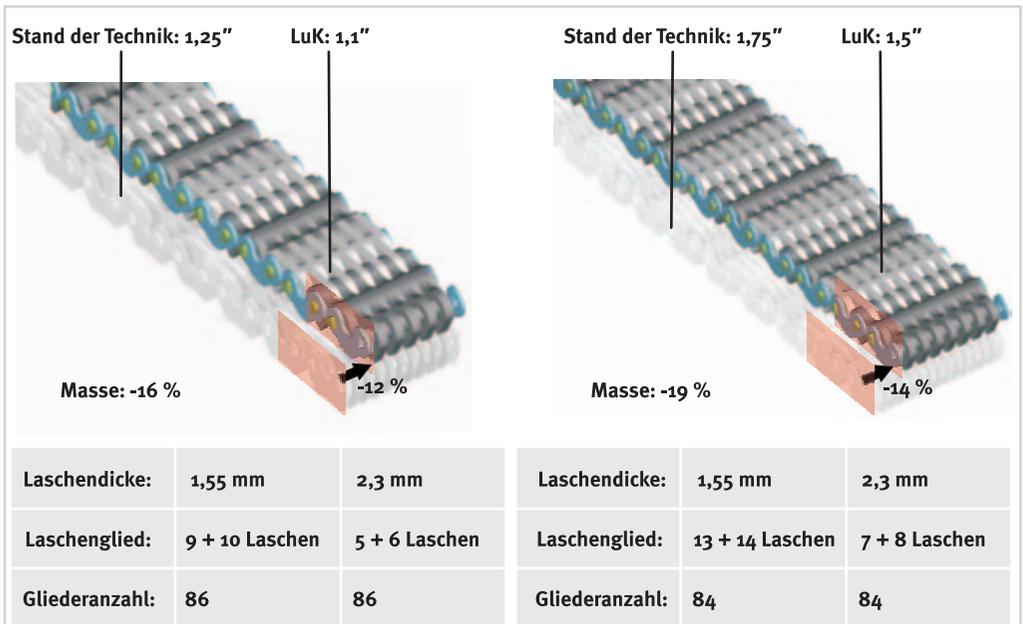


Bild 5 Beispiele typischer Verteilergetriebeketten

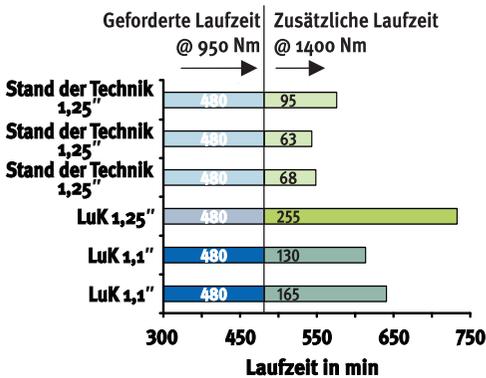


Bild 6 Erste Ergebnisse der Festigkeitstests

cher konstanter Drehzahl belastet, bis diese reißt. Die oberen drei Balken zeigen die erzielten Laufzeiten von 1,25" breiten Ketten gemäß dem derzeitigen Stand der Technik. Der vierte Balken von oben zeigt die mit einer ebenfalls 1,25" breiten LuK Zahnkette erreichte Laufzeit. Diese Laufzeit geht deutlich über die Laufzeit der Ketten nach dem Stand der Technik hinaus. Das zeigt, dass die LuK Zahnkette bei gleicher Kettenbreite ein höheres Moment übertragen kann bzw. bei gleichem Moment die Kettenbreite reduziert werden kann. Die untersten beiden Balken zeigen die mit der schmaleren LuK Kette mit 1,1" im Vergleich erzielten Laufzeiten, die immer noch einen guten Festigkeitsvorteil darstellen.

Die Ergebnisse eines weiteren wichtigen Versuchs zeigt Bild 7. Dabei werden die elastischen Dehnungen der unterschiedlichen Ketten vergleichend dargestellt. Diese elastische Dehnung wirkt sich direkt auf das für die Auslegung der Verteiler-

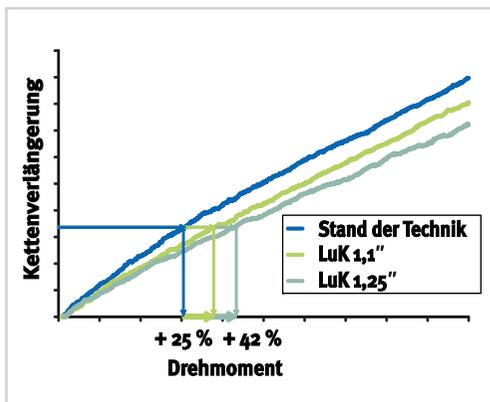


Bild 7 Erste Ergebnisse Vergleich elastische Dehnung

getriebekette sehr wichtige Ketten springmoment aus. Das Ketten springmoment ist das Moment, bei dem die Kette einen Zahn überspringt. Dieses Moment verhält sich proportional zu der im Versuch ermittelten Kraft, die im Bild 7 aufgetragen ist. Das Springmoment sollte möglichst hoch sein, woraus folgt, dass die elastische Dehnung der Kette möglichst gering ausfallen sollte.

Durch die optimierte Anlageform vom Wiegestück zur Lasche, die dickere Lasche und größere und sauberere Anlageflächen mit besserer Rechtwinkligkeit konnte die elastische Dehnung der LuK Zahnkette deutlich verringert und somit das Springmoment erhöht werden. Das Springmoment der schmaleren LuK Zahnkette erhöht sich um 25 %. Das Springmoment mit gleich breiter Kette erhöht sich sogar um 42 %.

Akustikoptimierung

Ein Schwerpunkt der Entwicklung der Zahnkette liegt in der Optimierung des Akustikverhaltens. Um das Akustikverhalten der Kette möglichst unauffällig zu gestalten, wurden viele unterschiedliche Laschengeometrien auf deren Einlaufverhalten hin untersucht.

In Bild 8 ist beispielhaft das Einlaufverhalten einer Zahnflanke auf das Zahnrad zu sehen. Zunächst trifft die, hier grün dargestellte, Innenflanke dieser Lasche mit dem Winkel α auf das Zahnrad auf. Diese lenkt dabei die Außenflanke der vorauslau-

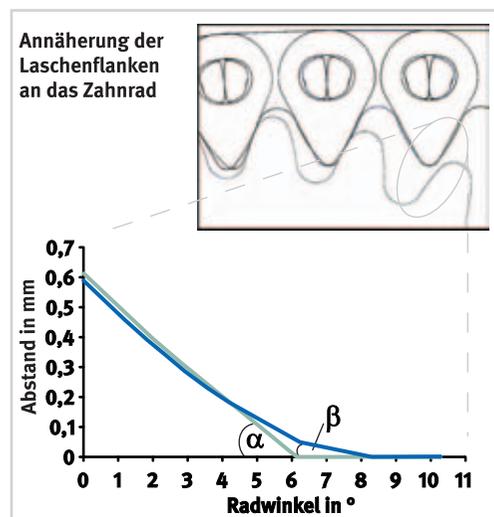


Bild 8 Beispiel einer Simulation der Einlaufkinematik

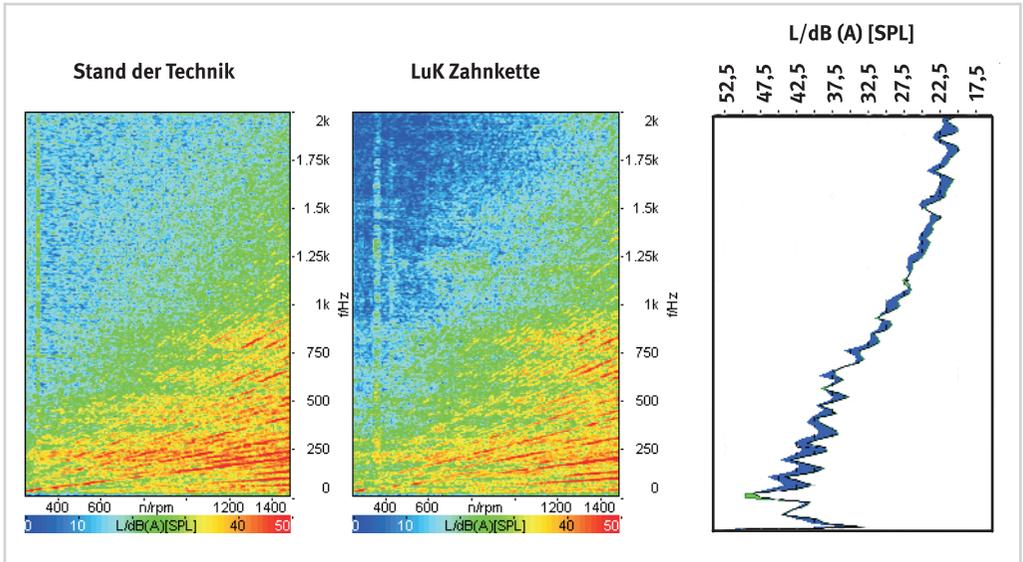


Bild 9 Auswertung von Messungen des Schalldruckpegels im Fahrzeuginnenraum

fenden Lasche ab, die dann zeitversetzt mit einem flacheren Einlaufwinkel β auf das Zahnrad auftrifft. Kriterien zur Bewertung sind der hier dargestellte kombinierte Einlaufwinkel (α und β), die Auftreffgeschwindigkeit sowie die Auslenkung der Lasche beim Einlauf. Untersucht wird auch das zur Randomisierung notwendige Zusammenspiel unterschiedlicher Laschentypen. Mit Fahrzeugmessungen werden die theoretisch erarbeiteten Akustikvorteile nachgewiesen.

bei den unterschiedlichen Frequenzen für die LuK Kette eine deutliche Pegelreduzierung von ca. 2 ... 3 dB nachweisen.

Simulation

Das modellierte 2D-System besteht aus einer Zahnkette, einem treibenden und einem angetriebenen Zahnrad. Die Zahnkette setzt sich aus einer Vielzahl einzelner Kettenlaschen zusammen, die

Bild 9 zeigt die Ergebnisse von Messungen des Schalldruckpegels im Innenraum der Fahrzeuge bei einem für Verteilergetriebe kritischen Betriebspunkt. Es wird im zweiten Gang mit Teillast beschleunigt. Die hier dargestellten Messungen wurden mit gleichem Fahrzeug und gleichem Getriebe durchgeführt, nur die Ketten sind getauscht worden. Beim Vergleich der Messungen kann man

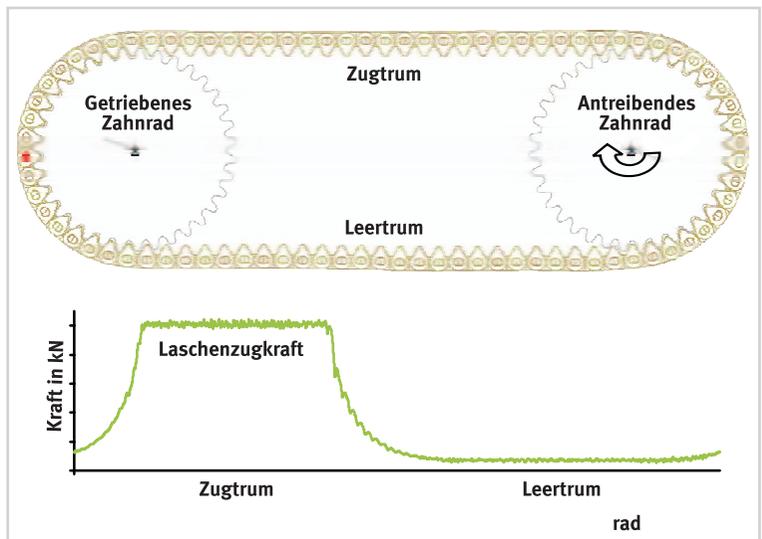


Bild 10 Simulation der Laschenzugkraft während eines Kettenumlaufes

über Wiegestücke gelenkig miteinander verbunden sind. Dabei sind die einzelnen Konturen der Zahnräder, Laschen (Zahnform und Bohrungsform) und Wiegestücke frei definierbar. Der Aufbau von randomisierten Kettenmustern ist möglich.

Mit diesem Simulationswerkzeug können beispielsweise die Größen Zugkraft, Kontaktkraft (Zahnrad zu Zahnlasche, Laschenanlage zu Wiegestückanlage, Wiegestück zu Wiegestück), Wirkungsgrad, Annäherungsgeschwindigkeit, Einlaufimpulsfolgen und Schwingungsamplituden analysiert werden.

In einem frühen Entwicklungsstadium können verschiedene Geometrieausführungen analysiert werden und somit Vorhersagen zu den Systemeigenschaften gemacht werden.

In Bild 10 ist die Laschenzugkraft während eines Kettenumlaufes dargestellt. Die gezeigte Laschenzugkraft entspricht der Summe der Kräfte aller parallel in diesem montierten Laschen für einen beispielhaften Betriebspunkt. Im getriebenen Zahnrad steigt die Laschenzugkraft nahezu exponentiell bis auf ein bestimmtes Niveau an. Im Zugtrum bleibt sie konstant auf diesem Niveau und fällt, sobald die beobachtete Lasche in das treibende Zahnrad einläuft, wieder

exponentiell ab. Im Leertrum liegt die Kraft auf konstant niedrigem Niveau.

Bild 11 zeigt die zu diesem Betriebspunkt zugehörigen Kontaktkräfte zwischen dem Zahnrad und den dort eingreifenden Kettengliedern als blaue Punkte. Die Laschenzugkräfte und die Kontaktkräfte sind in gleichem Maßstab dargestellt. Die Maximalwerte der Kontaktkräfte liegen bei der hier betrachteten Geometrie bei ca. 40 % der maximalen Laschenzugkräfte. Die maximalen Kontaktkräfte treten beim Auslauf aus dem getriebenen Zahnrad in das Zugtrum und beim Einlauf vom Zugtrum in das treibende Zahnrad auf. Die Ergebnisse zeigen, dass die Simulation die Verhältnisse an der Zahnkette gut abbildet.

Zusammenfassung

Die bei der CVT-Kette gewonnenen Erkenntnisse sind in die Entwicklung der HiPerMax® getauften LuK Zahnkette eingeflossen, so dass diese sich in wesentlichen Punkten positiv vom Stand der Technik abhebt. Besonders hervorzuheben sind die optimierten Konturen der Wiegestücke und der Laschen in Verbindung mit den 2,3 mm breiten Laschen. Dadurch ist es möglich, entweder bei gleicher Kettenbreite höhere Momente zu übertragen oder eine schmalere Kette bei gleichem Moment einzusetzen und die Vorteile bei Bauraum und Gewicht zu nutzen. Durch die reduzierte Längendehnung im Betrieb können höhere Spitzenmomente übertragen werden, bevor die Kette einen Zahn überspringt. Ferner lässt sich die Akustik von Verteilergetrieben mit der LuK Zahnkette HiPerMax® deutlich verbessern.

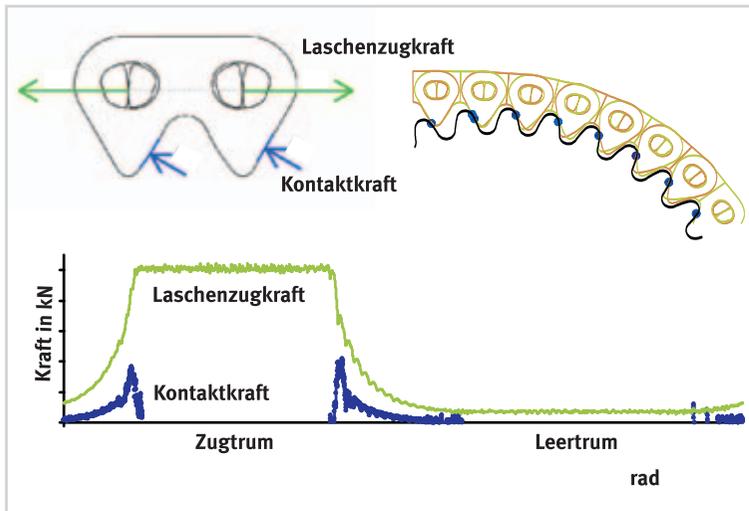


Bild 11 Simulation der Laschenzugkraft und der Kontaktkräfte während eines Kettenumlaufes