





---

# Der Interne Kurbelwellendämpfer (ICD)

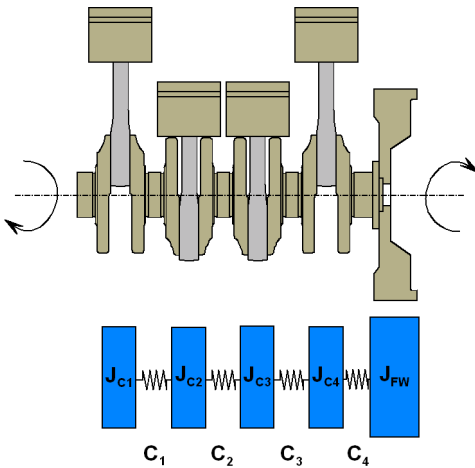
Friedrich Gerhardt  
Christian Fechner  
Steffen Lehmann  
Hermann Langeneckert

# Neues Einsatzgebiet für LuK-Torsionsschwingungsdämpfer

Neben den bekannten Produkten zur Reduzierung der Torsionsschwingungsprobleme des Fahrzeugantriebsstranges, zu denen Dämpfer in Kupplungsscheiben, Zweimassenschwungräder sowie Dämpfer für Wandlerüberbrückungskupplungen gehören, beschäftigt sich LuK verstärkt mit der Torsionsschwingungsproblematik im Verbrennungsmotor. Eine Neuentwicklung zu diesem Problemfeld ist ein Torsionsschwingungsdämpfer für die Kurbelwelle.

## Torsionsschwingungen der Kurbelwelle

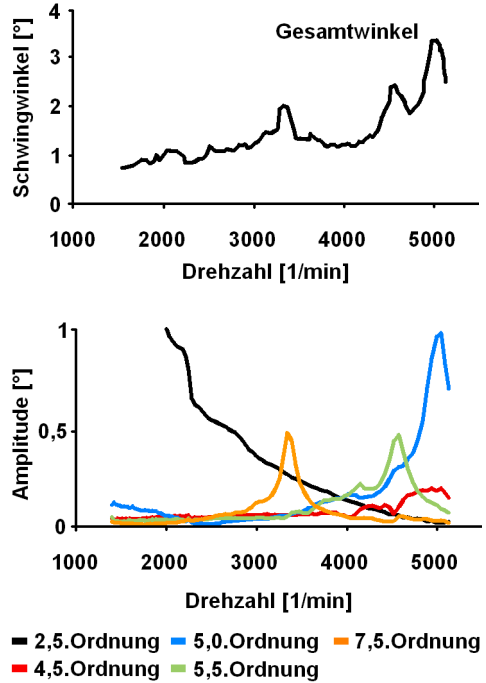
Die Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors stellt ein schwingungsfähiges System dar, mit allen damit verbundenen Problemen bei Resonanzdurchgängen bzw. längerem Betreiben des Motors in den Resonanzdrehzahlen.



**Bild 1:** Kurbelwelle als Schwingungssystem

Zu diesen Problemen gehören vor allem die großen Schwingwinkelamplituden (Verdrehung eines Kurbelwellenendes gegen das andere), die Geräusche verursachen und zu unzulässig hohen Torsionsspannungen in der

Kurbelwelle führen können. Torsionsbrüche sind die Folge.



**Bild 2:** Schwingwinkel und Ordnungsanalyse einer Kurbelwelle ohne Dämpfer

Bild 2 zeigt beispielhaft eine Messung an der Kurbelwelle eines Dieselmotors ohne Schwingungsdämpfer. Dargestellt sind der Verdrehwinkel der Kurbelwelle zwischen Schwungrad und dem anderen Kurbelwellenende bei Zylinder 1 sowie die Ordnungsanalyse der Schwingungsamplituden des freien Kurbelwellenendes über der mittleren Drehzahl. Der Gesamtverdrehwinkel zwischen Kurbelwellenende und Schwungrad beträgt bei den verschiedenen Resonanzdrehzahlen zum Teil mehr als das Doppelte des zulässigen Wertes. Betrachtet man die einzelnen Ordnungen, ist zu erkennen, dass die Maxima im Verdrehwinkel bei diesem Motor hauptsächlich durch die 5., 5,5. und 7,5. Ordnung hervorgerufen werden. Dabei wird jeweils die erste Eigenfrequenz der Kurbelwelle angeregt, die hier bei ungefähr 420 Hertz liegt.

## Funktion Schwingungs- dämpfer

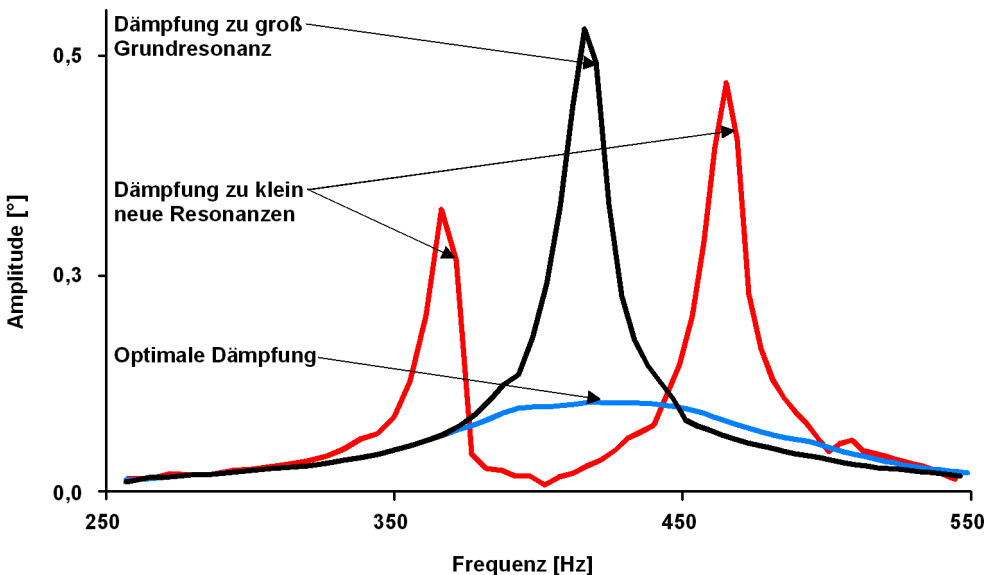
Zur Reduzierung der Kurbelwellenbelastung werden Schwingungsdämpfer oder Schwingungstilger eingesetzt. Stand der Technik sind Schwingungsdämpfer mit Federkopplung (Gummidämpfer) bzw. ohne Federkopplung (Viskositätsdämpfer).

Ein Dämpfer mit Federkopplung besteht prinzipiell aus einer Drehmasse mit einem definierten Massenträgheitsmoment, die über Federelemente mit der Kurbelwelle verbunden ist. Aus der Verdrehsteifigkeit der Federelemente und dem Massenträgheitsmoment der Drehmasse ergibt sich die Eigenfrequenz des Dämpfers, die auf die Eigenfrequenz der Kurbelwelle abgestimmt sein muss.

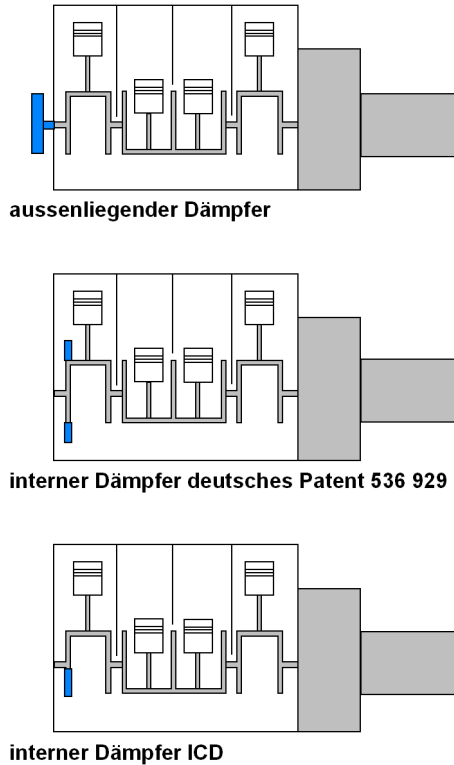
In Bild 3 ist die grundsätzliche Wirkung eines Dämpfers mit Federkopplung auf die Resonanzkurve einer Kurbelwelle dargestellt.

Durch den Dämpfer werden die Schwingungseigenschaften der Kurbelwelle verändert. Das System erhält einen zusätzlichen Freiheitsgrad, bei Dämpfung Null verschwindet die ursprüngliche Resonanzstelle völlig, dafür treten zwei neue Resonanzen auf. Bei sehr hoher Dämpfung ergibt sich keine Wirkung, der Dämpfer ist quasi starr angekoppelt, es zeigt sich annähernd die Grundresonanz der Kurbelwelle. Bei richtiger Auslegung der Dämpfung treten weder die neuen noch die ursprünglichen Resonanzen störend hervor.

Zumindest im PKW-Bereich sind die eingesetzten Kurbelwellendämpfer außerhalb des Motors am freien Kurbelwellenende befestigt und häufig in die Riemenscheibe integriert (Bild 4 oben). Systembedingt (Energieaufnahmekapazität der Federelemente, Wärmehaushalt, Temperaturabhängigkeit von Dämpfung und Federrate) setzen sie für ihre Funktion bestimmte Mindestmassenträgheitsmomente voraus.



**Bild 3:** Vereinfachte Darstellung der Vergrößerungsfunktion einer Kurbelwelle mit federgekoppeltem Schwingungsdämpfer



**Bild 4:** Anordnung von Kurbelwellendämpfern

## Interner Schwingungsdämpfer

Für einige neue Motorgenerationen ist vorgesehen (zum Teil aus Bauraumgründen), die Nebenaggregate nicht mehr durch Umschlingungsmittel am freien Kurbelwellenende sondern anderweitig anzutreiben. Um einen damit verbundenen Bauraumvorteil auch tatsächlich nutzen zu können, muss aber der Schwingungsdämpfer aus dem Bereich des entfallenen Riementriebes entfernt werden.

Bereits aus den 30er Jahren des vorigen Jahrhunderts gibt es Patente zu federgekoppelten Dämpfern direkt im Kurbelgehäuse. Darin war entweder vorgesehen, ringförmige Dämpfer

auf den bestehenden Außendurchmesser der Kurbelwange zu setzen (Bild 4 Mitte) oder ziemlich komplexe Mechanismen in die Kurbelwange einzubauen. Doch der dafür notwendige zusätzliche Bauraum und die erschwerten Einsatzbedingungen im Kurbelgehäuse haben die Realisierung solcher Ideen verhindert und auch den Einsatz von Gummi- oder Viskositätsdämpfern im Kurbelgehäuse zumindest bei PKW-Motoren bisher ausgeschlossen.

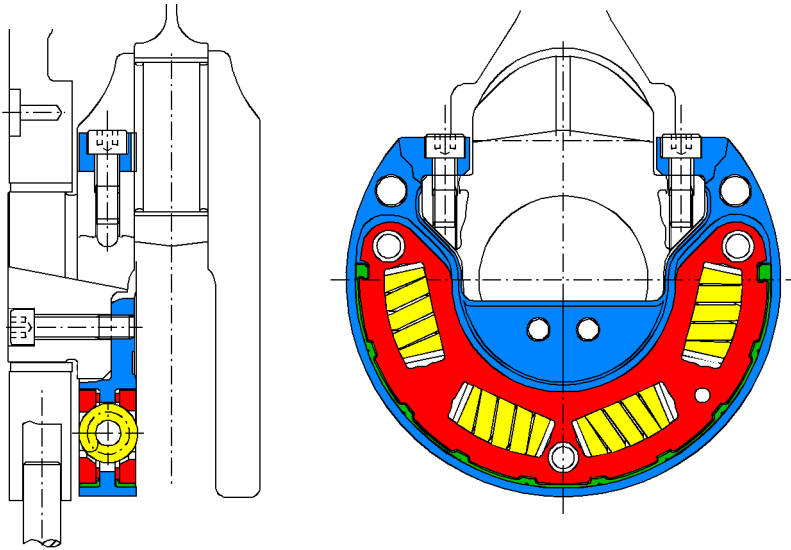
Die Idee von LuK war, den Dämpfer möglichst bauraumneutral in die Kurbelwange zu integrieren (Bild 4 unten). Dazu kann der Dämpfer nicht als geschlossener Ring ausgeführt werden, sondern muss hufeisenförmig ausgebildet sein.

Das Ergebnis der LuK Überlegungen ist der interne Kurbelwellendämpfer, auf Englisch: **Internal Crankshaft Damper (ICD)**, in Bild 5 montiert auf einer für den Dämpfer entsprechend modifizierten Kurbelwelle.

Der Dämpfer befindet sich auf der ersten Kurbelwange und wird durch zwei Radialschrauben und, je nach Einsatzfall, mit einer oder zwei Axialschrauben auf der Kurbelwelle befestigt und anschließend zusammen mit dieser in den Motorblock eingebaut (Bild 6). Der Dämpfer ersetzt gleichzeitig eines der Gegenwichte der Kurbelwelle.



**Bild 5:** Kurbelwelle mit ICD



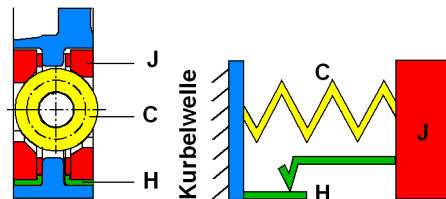
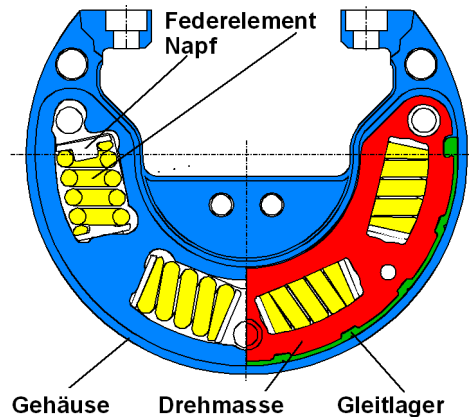
**Bild 6:** Einbausituation ICD

## ICD Aufbau und Funktion

Der ICD zählt zu den federgekoppelten Dämpfern. Das Gehäuse ist direkt mit der Kurbelwelle verbunden, zwischen Gehäuse und Drehmasse befindet sich eine Dämpfungseinrichtung (Bild 7). Die Drehmasse selbst wird gebildet aus zwei Blechen zur Federführung, einer Distanzscheibe und einem axial wirkenden Federblech zum Toleranzausgleich, verbunden durch Abstandsbolzen. Die Reibungsdämpfung erfolgt hauptsächlich in den Kunststoffgleitlagern, von denen die Fliehkraft der Drehmassen aufgenommen wird. Die Federelemente sind in Näpfen geführte Stahl Druckfedern.

Die Druckfedern sind zur Vermeidung von Unstetigkeiten beim Nulldurchgang der Drehmasse gegeneinander vorgespannt. Beim Schwingen in eine Richtung wird die Hälfte der Federn stärker gespannt, während die andere Hälfte entlastet wird, ohne die Vorspannung völlig zu verlieren (Bild 8).

$$H = f(n) ; C = \text{const} ; J = \text{const} .$$

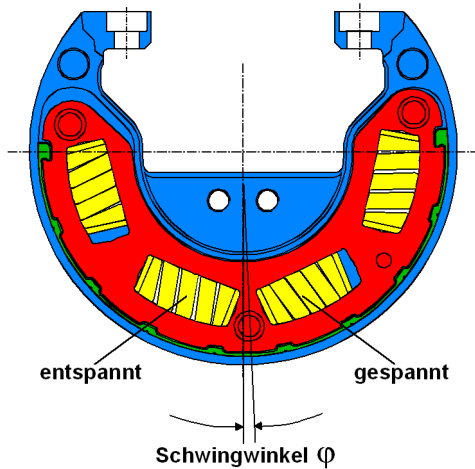


**Bild 7:** Aufbau und Funktion

Stahldruckfedern haben gegenüber Gummifederelementen den Vorteil der konstanteren Federrate über der Temperatur und ermöglichen auf Grund ihrer höheren Energieaufnahmekapazität größere Schwingwinkel. Dadurch benötigt ein Dämpfer mit Stahldruckfedern bei gleicher Wirkung wie ein Gummidämpfer ein

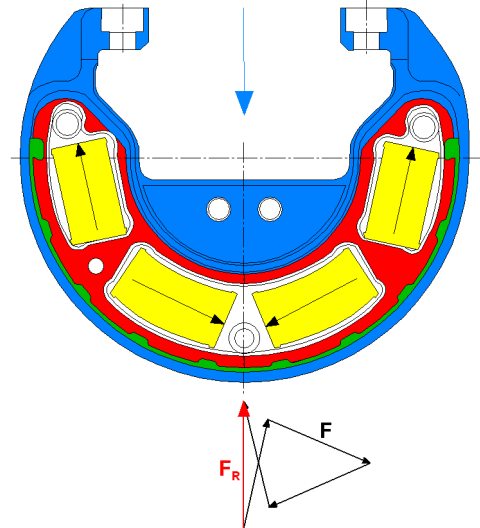
massen bleibt für die Erzeugung der Reibungsdämpfung konstant.

Aus dem Zusammenspiel von Fliehkraft und Druckfedervorspannkraft ergibt sich die Möglichkeit verschiedene Hysterese- bzw. Reibungsverläufe über der Drehzahl darzustellen. (Beispielhaft in Bild 10)



**Bild 8:** Druckfederbetätigung bei Schwingbewegung des Dämpfers

geringeres Massenträgheitsmoment der Drehmasse. Nur deshalb ist bei den eingeschränkten Bauraumverhältnissen im Kurbelgehäuse ein funktionierender Kurbelwellendämpfer darstellbar.

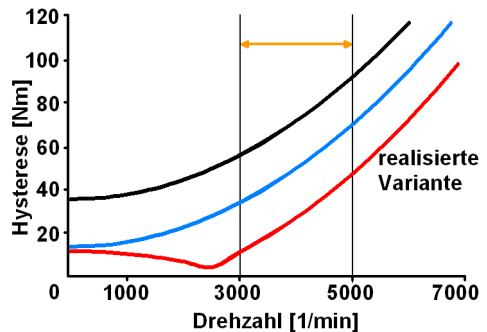


- F** = Federvorspannung
- F<sub>R</sub>** = Resultierende der Federvorspannung
- ↓** = Fliehkraft

**Bild 9:** Federvorspannung im ICD

Durch die nicht geschlossene Form des Dämpfers ergibt sich zwangsläufig eine Drehzahlabhängigkeit der auf die Gleitlager wirkenden Kräfte. Durch geschickte konstruktive Anordnung der Druckfedern kann deren Vorspannung bzw. der sich daraus ergebende Kraftvektor genutzt werden, die Lagerkraft über der Drehzahl zu reduzieren oder zu verstärken, um je nach Einsatzfall die optimale Dämpferreibung zu realisieren (siehe Bild 9). Vorteil dieser Lösung ist, dass ein Großteil der Dämpfung unabhängig von der Kraft eines axialen Federelements und dessen Verschleiß- und Setzverhalten über der Lebensdauer ist. Die Fliehkraft der Dämpferdreh-

**Hauptarbeitsbereich**



**Bild 10:** mögliche Reibungsvarianten im ICD

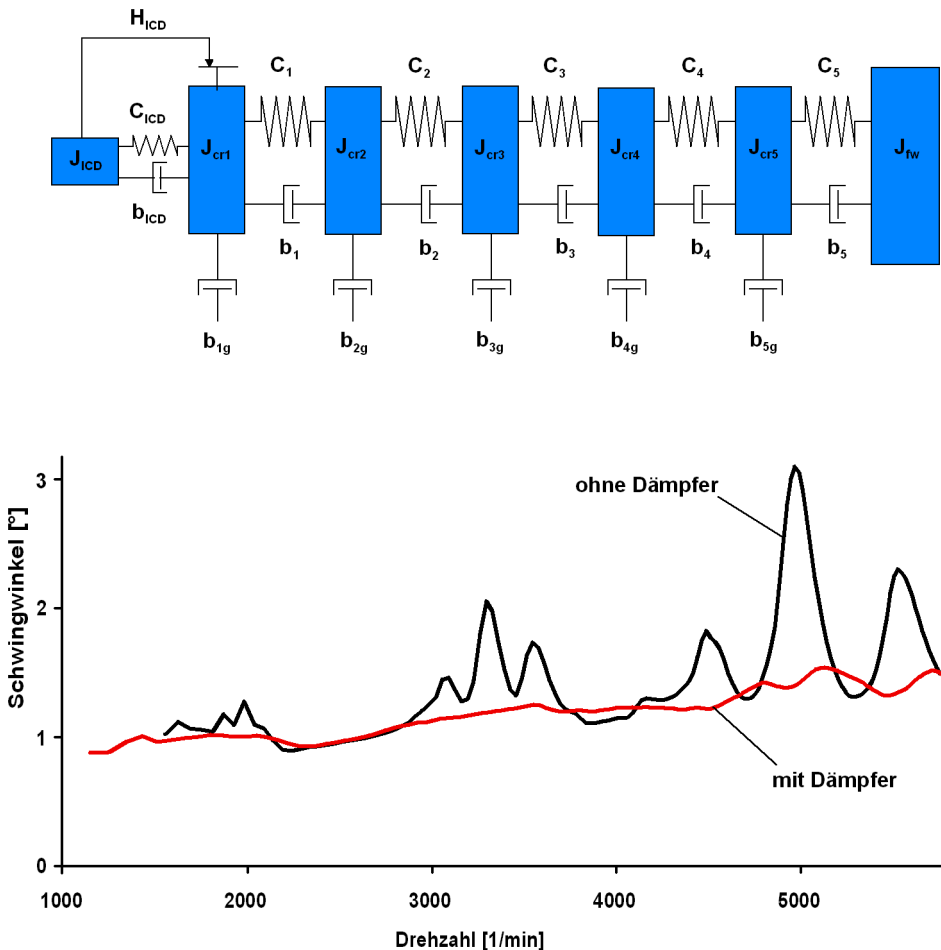


## Simulation und Messung

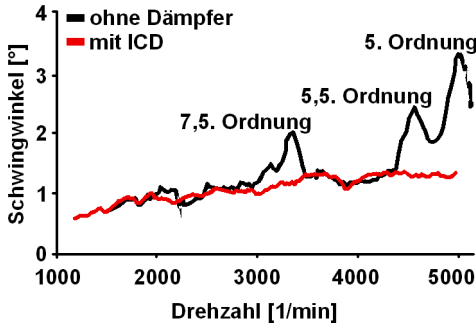
Basis für Simulationsrechnungen der Kurbelwelle sind, neben den konstruktiv definierten Motor- und Dämpferkennwerten, die bei den Messungen am Motor gewonnenen Daten. Mit diesen Simulationen wird das Schwingungsverhalten der Kurbelwelle nachgebildet. Bild 11 zeigt das Schwingungsmodell der Kurbelwelle des eingangs betrachteten Dieselmotors und die damit errechneten Verdrehwinkel der Kurbelwelle, vergleichend ohne Dämpfer und mit dem von LuK realisierten

ICD. Die durch die Resonanzen bedingten Spitzen im Kurbelwellenverdrehwinkel sind deutlich reduziert.

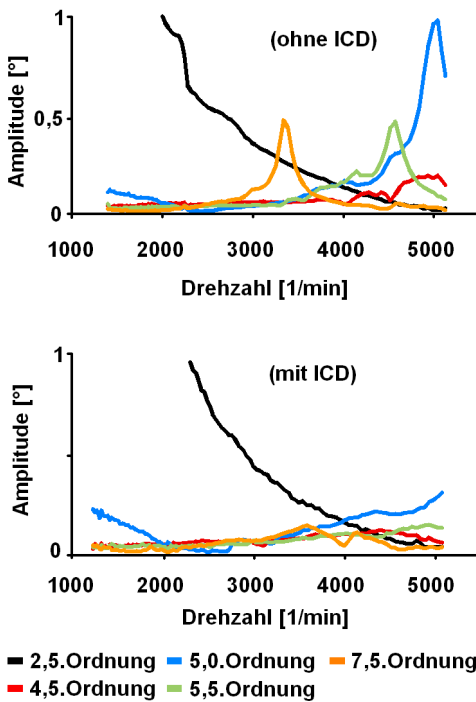
Die mit dem Simulationsmodell berechneten, theoretischen Reduzierungen des Kurbelwellenschwingswinkels durch Einsatz des ICD finden ihre Bestätigung in den Messungen am realen Motor (Bild 12). Auch in der Ordnungsanalyse zeigt sich die Reduzierung der Kurbelwellenbelastung. Die Hauptordnungen (5., 5,5., und 7,5. Ordnung) sind deutlich verringert (Bild 13).



**Bild 11:** Simulationsmodell der Kurbelwelle mit ICD und berechneter Schwingwinkel zwischen den beiden Kurbelwellenenden ohne und mit ICD



**Bild 12:** Messungen des Kurbelwellenschwingwinkels ohne und mit ICD

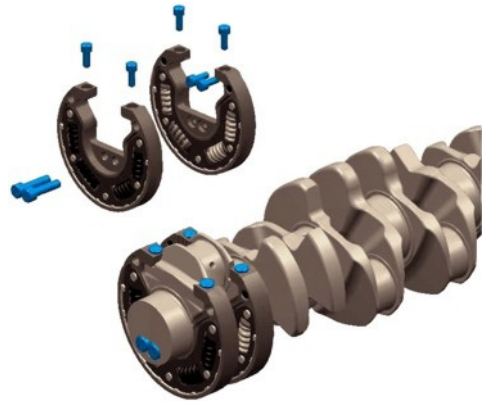


**Bild 13:** Vergleich der Ordnungsanalysen der Kurbelwellenmessungen ohne und mit ICD

## Erweiterungspotenzial

Alle voranstehenden Betrachtungen beziehen sich auf den Einsatz eines einzelnen ICD auf der Kurbelwelle. Mittlerweile arbeitet LuK an Anwendungen (z. B. 6-Zylinder Benzinmo-

toren), bei denen auf Grund des realisierbaren Massenträgheitsmomentes der Drehmassen dessen Wirkung nicht ausreichen würde oder unzulässig hohe Belastungen im Dämpfer auftreten würden. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, zwei nahezu identische Dämpfer auf den ersten beiden Kurbelwangen einzusetzen (Bild 14). Dabei müssen die Axialschrauben des einen Dämpfers durch die Bohrungen der Kurbelwelle zur Befestigung des anderen Dämpfers angezogen werden.



**Bild 14:** Befestigung von zwei Dämpfern auf der Kurbelwelle

## Zusammenfassung

Der LuK ICD kann mit Starter/ Generator-Systemen und Motoren mit riemenlosem Antrieb der Nebenaggregate eingesetzt werden. Die Installation des Dämpfers im Kurbelgehäuse ermöglicht eine kürzere Baulänge des Motors. Da der Dämpfer anstelle eines Gegengewichts montiert ist und der externe Dämpfer entfällt, kann die Masse des Motors um bis zu 2 kg reduziert werden. Durch den Einsatz von Stahl Druckfedern ist die Dämpferfunktion unabhängig von der Temperatur und in relativ engen Toleranzen darstellbar. Für unterschiedliche Anwendungen sind im ICD verschiedene Dämpfungskennlinien realisierbar. Somit stellt der LuK ICD eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung von Torsionsschwingungen der Kurbelwelle dar.

## Literatur

- [1] Mettig, H.: Die Konstruktion schnelllaufender Verbrennungsmotoren, Verlag Walter de Gruyter 1973, S. 62 - 70.
- [2] Autorenkollektiv Martin Behrens: Kraftfahrzeugmotoren - Auslegung und Konstruktion, VEB Verlag Technik 1987, S. 208 - 213.
- [3] Hafner, K. E., Maass, H.: Torsionsschwingungen in der Verbrennungskraftmaschine, Springer 1985, S. 361 - 412.
- [4] US-Patent 1 865 116
- [5] US-Patent 1 872 763
- [6] UK-Patent 247 911
- [7] Deutsches Patent 298 043
- [8] Deutsches Patent 536 929

