

## Untersuchungen dynamischen Verhaltens von Getrieben mit Standard- und Hoch- verzahnungen



Skoc, A., Wieczorek, A.

*Im Maschinenbau spielen heutzutage dynamische Untersuchungen eine große Rolle, sie sind besonders wichtig für Antriebe, die bei Zahnradgetrieben eingesetzt werden. Damit das dynamische Verhalten vom Getriebe in der Bewertungs-, Entwicklungs-, Herstellungs- bzw. Betriebsphase vorausgesehen werden kann, werden Kenntnisse über das dynamische Verhalten von Getrieben und die Ursachen der Intensivierung benötigt. In letzter Zeit weisen Konstrukteure besonderes Interesse an Getrieben mit Hochverzahnung und Verzahnungsfaktor  $\varepsilon_a \approx 2,0$  auf. Bisher wurden die dynamischen Eigenschaften von hochverzahnten Getrieben im Vergleich zu anderen Getrieben nicht genug erforscht. In diesem Artikel werden die neuen Versuchsergebnisse dargestellt. In diesen Versuchen sollte ermittelt werden, ob die Hochverzahnung die dynamischen Zahnkräfte reduziert und wie groß der Einfluss bei dem Vergleich mit der Standardverzahnung ist.*

*In machine designing dynamic phenomenon research was put foreword in the spotlight, mainly it must be related to driving units, where are commonly applied some gear trains. One could foreseen a dynamic state of a gear train in some fazes of valuation, design, manufacturing and exploitation, there is necessary to have a knowledge about dynamical phenomena occurring in a gear train as well as recognition of reasons of their intensification. In recent years important interest of designers is excited by high tooth profile gears with transversal contact ratio 2,0. Some dynamic properties those gears have not been recognized sufficiently in comparison to other gears. In the paper there is presented some experimental results, which were carried out to know, if and how much using high profile tooth some contact forces are decreasing comparatively to standard profile tooth.*

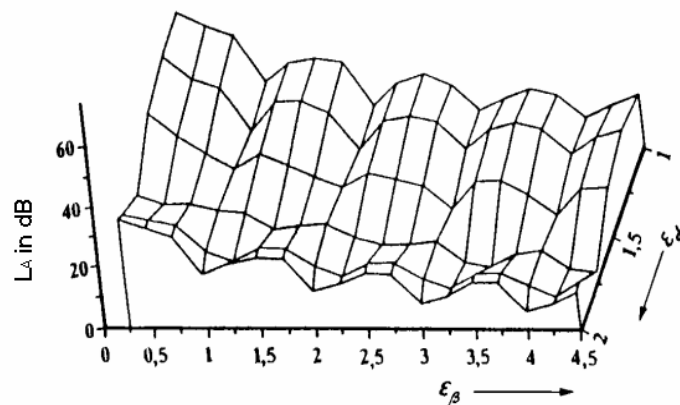
## 1 Einführung

Für die häufig zum Einsatz kommenden Zahnradgetriebe haben die technischen und wirtschaftlichen Merkmale, wie Lebensdauer, Leistung, Wirkungsgrad als auch Zuverlässigkeit eine besondere Bedeutung.

Die Kopplungen mit Antriebsmotor und abtriebsverbundenen Zahnradgetriebe erzeugen ein federelastisches System mit bestimmten Massen, die bei Anregung schwingen. Diese Schwingungen, die selbst auch anregend wirken, entstehen aus äußeren Quellen, wie Antrieb oder Abtrieb, bzw. inneren Teilen von Getrieben und werden durch die ganze Anlage geleitet. Beim Entwurf von Getrieben hat man keinen Einfluss auf äußere dynamische Einflüsse, die die Anregung verursachen können. Doch bestimmte Konstruktions- und Technologische Parameter der entworfenen Getriebe lassen sich so wählen, dass der innere Anregungseinfluss verkleinert wird.

Einer der wichtigsten Gründe der dynamischen Anregung ist die Änderung der Steifigkeit der Verzahnung durch das Variieren der Anzahl der im Eingriff befindlichen Zahnpaare.

Wie die Arbeiten /1-8/ gezeigt haben, kann die Steigerung der Profilüberdeckung eine Lärminderung bringen. Deutlich ist auf **Bild 1** sichtbar, wo die Rechnungsergebnisse der Anregungspegel  $L_A$  in Abhängigkeit von Profilüberdeckung und Sprungüberdeckung nach /5/ dargestellt sind.



**Bild 1:** Rechnungsergebnisse des Anregungspegels  $L_A$  in Abhängigkeit von der Profilüberdeckung und Sprungüberdeckung nach /5/

In Verbindung mit dargestellten Ergebnissen im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Vergleich dynamischen Verhaltens zwischen Getrieben mit verschiedenen Profilüberdeckungen durchgeführt.

## 2 Ziel, Bereich und Voraussetzungen der Untersuchungen

Das Ziel der in diesem Artikel vorgestellten Untersuchungen war der Vergleich des dynamischen Verhaltens zwischen Getrieben mit Hochverzahnung (Profilüberdeckung  $\approx 2,0$  und  $\approx 1,625$ ) und Getrieben mit Standardverzahnung ( $\approx 1,625$ ). Sie wurden auf einem Prüfstand Typ FZG durchgeführt (**Bild 2**).



**Bild 2:** Der Prüfstand mit Messgeräten

Der Prüfstand besteht aus folgenden Teilen:

- 2 Beschleunigungsaufnehmer Typ 4335 Bruel&Kjaer mit Ladungsverstärker,
- Analysator – ein Messerfassungssystem, das auf DAQBoard 2005 Iotech basiert.

Das System wird durch ein DasyLAB 6.0 von National Instruments (USA) betrieben.

Die Parameter der untersuchten Zahnräder wurden in der **Tabelle 1** zusammengefasst.

Untersuchungs- räder	$h^*$	$\varepsilon_a$	$c_{gm}$	$n_E$	$\zeta_f$ Ritzel/Rad
STS	2,25	1,625	18,26	7857	-2,314/-2,192
WS-3.0	3,0	2,030	16,94	7655	-3,905/-3,904
WS-2.7	2,7·m	1,625	14,04	7132	-2,212/-2,288

**Tabelle 1:** Parameter der untersuchten Verzahnungen, wobei  $h^*$ -Zahnhöhenfaktor,  $\varepsilon_a$  - Profilüberdeckungsgrad,  $c_{gm}$ - mittlere Gesamtfedersteifigkeit,  $n_E$  - Resonanzdrehzahl,  $\zeta_f$  - spezifisches Gleiten (am Fuss).

Als Werkstoff für die Zahnräder wurde Stahl 41Cr4 verwendet und sie wurden wärmebehandelt (verbessert). Alle untersuchten Zahnräder wurden nach der Genauigkeitsklasse Nr. 7 nach DIN 3962 hergestellt. Die Messungen wurden im Frequenzbereich von 89 Hz bis 1300 Hz und mit dem Lastfaktor  $Q = 2T/(b \cdot dt^2)$  /9/ von 0,18 bis 0,89 MPa durchgeführt.

Aufgrund gemessener Torsionsbeschleunigungen wurde das dynamische Übermaß  $N_v$  ermittelt, welches mit der folgenden Formeln bestimmt wurde:

$$N_v = \frac{M_{din}}{M_{st}} \quad (1)$$

Mit  $M_{din}$  – dynamisches Moment, das in der Verzahnung generiert ist,

$M_{st}$  – statische Moment.

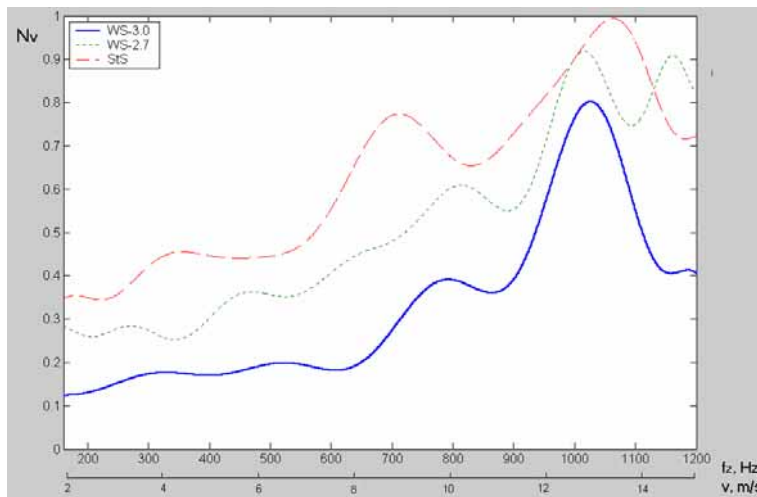
### 3 Versuchsergebnisse

Auf den **Bildern 3-5** sind die festgestellten Verläufe des dynamischen Übermaßes  $N_v$ , der Verzahnungen bei den Lastfaktoren  $Q = 0,18$ ;  $0,54$  und  $0,89$  MPa dargestellt.

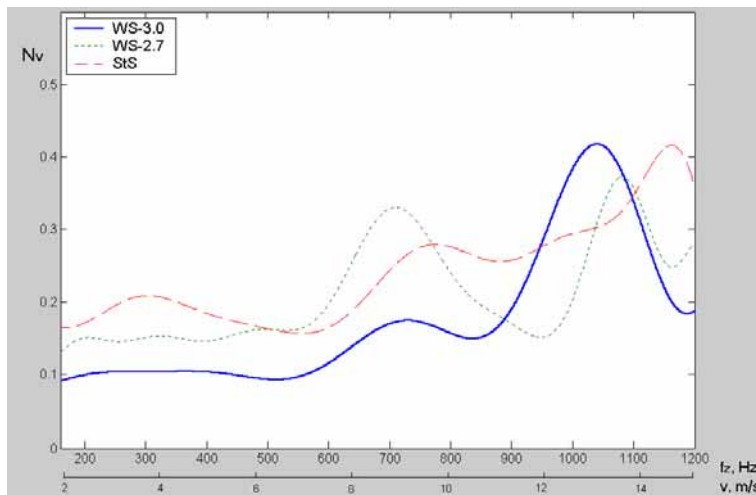
Auf den **Bildern 3-5** weist das Getriebe mit der Hochverzahnung WS-3.0 viel niedrigere Werte des dynamischen Übermaßes  $N_v$  als die Standardverzahnung auf. Aber man sieht auch bei der Steigerung der Lastmomente, dass der Unterschied zwischen den Verläufen des dynamischen Übermaßes  $N_v$  für Hochverzahnung und Standardverzahnung abnimmt.

Das Getriebe mit der Zahnhöhe  $h = 2,7$  mm (WS-2.7) weist auch niedrigere Werte des dynamischen Übermaßes  $N_v$  als die Standardverzahnung auf. Nur bei einer 1/4 Hauptresonanzfrequenz zeigt dieses Ge-

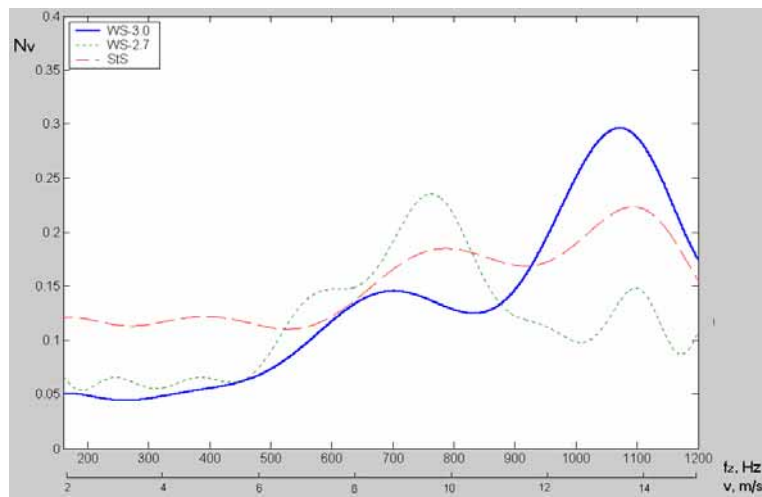
triebe höhere Werte des dynamischen Übermaßes  $N_v$  als die Standardverzahnung.



**Bild 3:** Verläufe des dynamischen Übermaßes  $N_v$  für die Varianten: WS-3.0, WS-2.7 und StS bei dem Lastfaktor  $Q = 0,18$  MPa.



**Bild 4:** Verläufe des dynamischen Übermaßes  $N_v$  für die Varianten: WS-3.0, WS-2.7 und StS bei dem Lastfaktor  $Q = 0,54$  MPa.



**Bild 5:** Verläufe des dynamischen Übermaßes  $N_v$  für die Varianten: WS-3.0, WS-2.7 und StS bei dem Lastfaktor  $Q = 0,89$  MPa.

#### 4 Zusammenfassung

Aufgrund der vorgestellten Messergebnisse der Torsionsbeschleunigungen können folgende Schlussfolgerungen formuliert werden:

Die Räder mit der Profilüberdeckung  $\approx 2,0$  haben das beste dynamische Verhalten von allen untersuchten Zahnradgetrieben.

Bei Laststeigerung nimmt die Güte bei der Verzahnung ab, die einen ganzzahligen Profilüberdeckungsgrad ( $\approx 2,0$ ) hat.

Die Getriebe mit Hochverzahnungen WS-3 und WS-2.7 weisen niedrigere Werte des dynamischen Übermaßes  $N_v$  im Vergleich zur Standardverzahnung auf.

#### 5 Literatur

- /1/ Weck, M, Lachenmaier S.: Auslegung evolventischer Sonderverzahnungen für schwingungs- und geräuscharmen Lauf. Industrie-Anzeiger, 105/1983.
- /2/ Weck, M.: Moderne Leistungsgetriebe. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo 1995.
- /3/ Knabel, W.: Geräusche und Schwingungen an Stirnradgetrieben. Untersuchung geometrischer Einflüsse bei hohen Drehzahlen und Belastungen. Diss. TU München, 1977.

- /4/ Lachenmaier, S.: Auslegung von evolventischen Sonderverzahnungen von Schwingungs- und geräuscharm Lauf von Getrieben. VDI-Forschungsberichte Reihe 11, Nr. 54; Düsseldorf 1983. Diss. RWTH Aachen.
- /5/ Müller, R.: Schwingungs- und Geräuschanregung bei Stirnradgetrieben. Diss. TU München, 1990.
- /6/ Salje, H.: Konstruktive Geräuschkinderungsmaßnahmen durch gezielte Profilkorrekturen und Hochverzahnungen. Forschungsvorhaben Nr. 98/I, Frankfurt 1985.
- /7/ Salje, H.: Tragfähigkeits- und Geräuschuntersuchungen an Hochverzahnungen - Abschlussbericht. Forschungsvorhaben Nr. 98/II, Frankfurt 1987.
- /8/ Döbereiner, R.: Tragfähigkeit von Hochverzahnungen geringer Schwingungsanregung. Diss TU München, 1998.
- /9/ Niemann, G., Winter H.: Maschinenelemente, t. II : Getriebe allgemein, Zahnradgetriebe - Grundlagen, Stirnradgetriebe. Berlin, Springer, 1989.