

# Analyse der aktuellen Zahnwellenverbindungsnormen DIN 5480 und ISO 4156

Dschiwischow, W.; Niklaus, J.

*Für Zahnwellen-Verbindungen existieren weltweit unterschiedlichste Normen, wie z.B. DIN 5480, ISO 4156, ANSI B92.1, JIS D 2001, NF E 22-144/145, BS 6186, die alle unterschiedliche Meßverfahren beinhalten. Im Zuge eines DFG Projekts wurden diese Normen im Einzelnen untersucht, wobei als Hauptziel die darin enthaltenen Toleranzwerte analysiert wurden.*

*World wide there are many different standards like DIN 5480, ISO 4156, ANSI B92.1, JIS D 2001, NF E 22-144/145, BS 6186 for the measurement of involute spline connections. The main target of the DFG Project is to analyse the tolerance-values of the different involute spline standards.*

## 1 Einleitung

Eine Möglichkeit zur Übertragung von Drehmomenten bietet die Zahnwellen-Verbindung. Bei diesem Verbindungstyp wird das Drehmoment von einem Bauteil zum anderen über die Zahnflanken der Zähne übertragen. Diese Zahnflanken haben überwiegend Evolventenprofil. Als Hauptforderungen an die Zahnwellen-Verbindungen ergeben sich dabei die sichere Übertragung des Drehmoments, sowie die Gewährleistung eines u.U. funktional erforderlichen Spiels.

Die Zahnwellen-Verbindungen welche zur Gruppe der formschlüssigen Welle-Nabe-Verbindungen gehören, weisen ein deutlich komplizierteres Verbindungsprofil als z.B. Passfederverbindungen oder gar zylindrische Pressverbindungen auf /2/. Um die Hauptanforderung an die Zahnwellen-Verbindung, nämlich die sichere Übertragung des Drehmoments zu gewährleisten, müssen alle gleichzeitig im Kontakt stehenden Flanken der Außen- und Innenverzahnungen über ein entsprechendes Passungsverhalten verfügen. Hierbei spielt die Zahnwellenverbindungsstolerierung eine wichtige Rolle und soll daher im Folgenden näher analysiert werden.

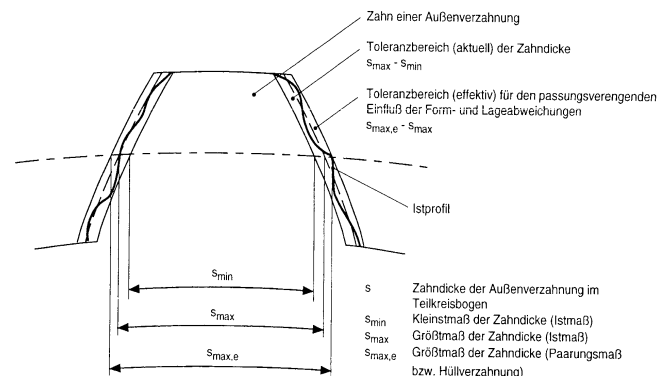
Aufgrund der Fülle von verschiedenen Zahnwellenverbindungsnormen, wurde für den Vergleich mit

der DIN 5480 /3/, die ISO 4156 /4/ ausgewählt, da sie große Übereinstimmungen mit den länderspezifischen Normen (speziell ANSI 92.2) enthält. Zur Gewährleistung des erforderlichen Flankenspiels, werden für die Paarung von Außen- und Innenverzahnung Abmaße vom spielfreien Zustand festgelegt. Dabei wird die Zahndicke der Außenverzahnung, bzw. die Lückenweite der Innenverzahnung toleriert.

Durch das maximal zulässige Flankenspiel und die erreichbaren Fertigungstoleranzen beim Verzahnen, wird das maximal zulässige Abmaß bestimmt. Ähnlich einer Rundpassung von Welle und Bohrung ergibt sich durch die Paarung einer Außenverzahnung mit einer Innenverzahnung ein Passungsitz nach ISO 286, jedoch aufgrund der Anzahl der Formelemente und ihrer starren Verknüpfung mit wesentlich komplizierterem Verhalten.

Eine Toleranz wird allgemein definiert als Differenz zwischen zulässigem Größt- und Kleinmaß. Sie wird bestimmt durch Größe und Lage. Die Größe einer Toleranz wird von den sog. Grundtoleranzen bestimmt, die einerseits nach Nennmaßbereichen und andererseits nach Qualitäten (Kurzzeichen IT) gestuft sind (DIN 7151) /1/. Dies gilt auch für die hier zur Analyse anstehende DIN 5480 und eingeschränkt auch für die ISO 4156.

Bei Zahnwellen-Verbindungen ist das Paarungsmaß die Zahndicke bzw. Zahnücke einer formidealen Gegenverzahnung, mit der die zu prüfende Verzahnung gerade noch zu paaren ist, **Bild 1** /5/.



**Bild 1:** Toleranzproblematik an Zahnwellen

**2 Ziele der Analyse**

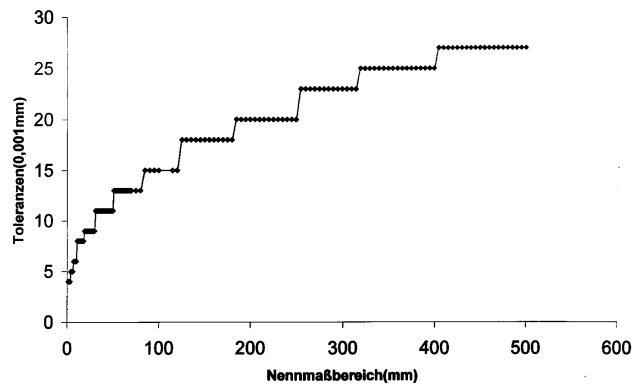
Die Analyse soll zeigen, ob die in den Normen existierenden Toleranzwerte auf der Basis funktionaler Anforderungen an Zahnwellen-Verbindungen stimmen oder überarbeitungswürdig sind. Für die optimale Erfüllung der Hauptfunktion „Drehmoment übertragen“ sollte die aufgebrachte Last gleichmäßig über dem Umfang und der Verbindungslänge auf alle Zähne verteilt werden. Dies bedeutet, daß bei der Aufbringung von Drehmoment, ein gleichmäßiger Kontakt zwischen den Zähnen der Außenverzahnung und der Innenverzahnung vorhanden sein sollte.

Wenn die Zahndicken bzw. die Zahnlücken der einzelnen Zähne verschiedene Toleranzgrößen haben, dann treten bei der Aufbringung von Drehmoment vor allem in den Bereichen großer Zahndicken bzw. kleiner Zahnlücken die ersten Kontakte auf. Die restlichen Zähne übertragen entweder weniger oder gar kein Drehmoment. Aus Toleranzberechnungsgrundlagen ergibt sich, daß zur Berechnung der Toleranzen von zueinander passenden Bauteilen, daß Nennmaß verwendet werden soll.

Als Konsequenz daraus ergibt sich, daß bei kleinem Nennmaß die dazugehörigen Toleranzen ebenfalls klein sein müssen, bzw. bei größerem Nennmaß die Toleranzen groß sein müssen. Dies hängt natürlich auch maßgeblich von den Qualitäten (IT) ab. Diesen Zusammenhang stellt das folgende Diagramm dar, **Bild 2**.

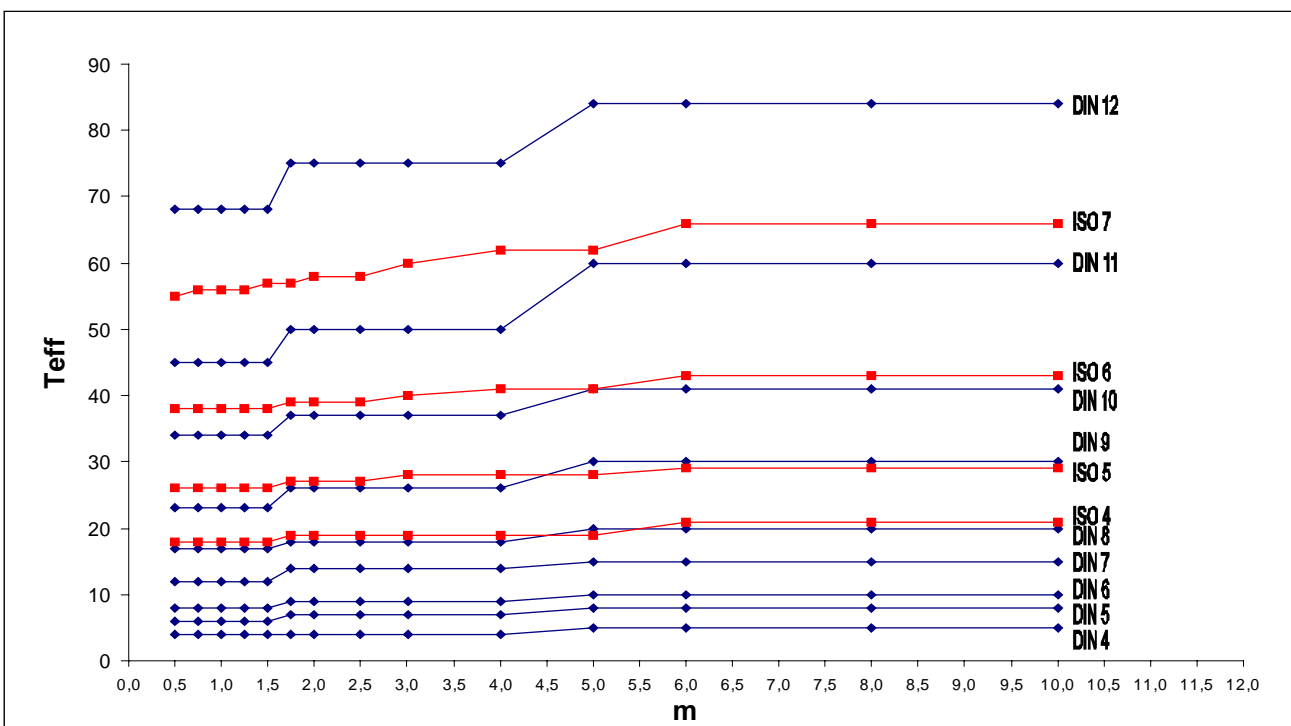
Bei Zahnwellen-Verbindungen bezieht sich das Nennmaß auf die Zahndicke, bzw. auf die Zahn-

lücke, jedoch nicht auf den Durchmesser als Produkt aus Zähnezahl und Modul. Die Zahndicke, bzw. Zahnlücke im Teilkreisbogen wird im wesentlichen alleine durch den Modul (m) definiert. Profilverschiebung und Eingriffswinkel haben nur einen geringen Einfluß. Das bedeutet, daß die Zahnwellen-Verbindung bei kleinem Modul dementsprechend kleine Zahndicken und bei großem Modul, große Zahndicken aufweist.

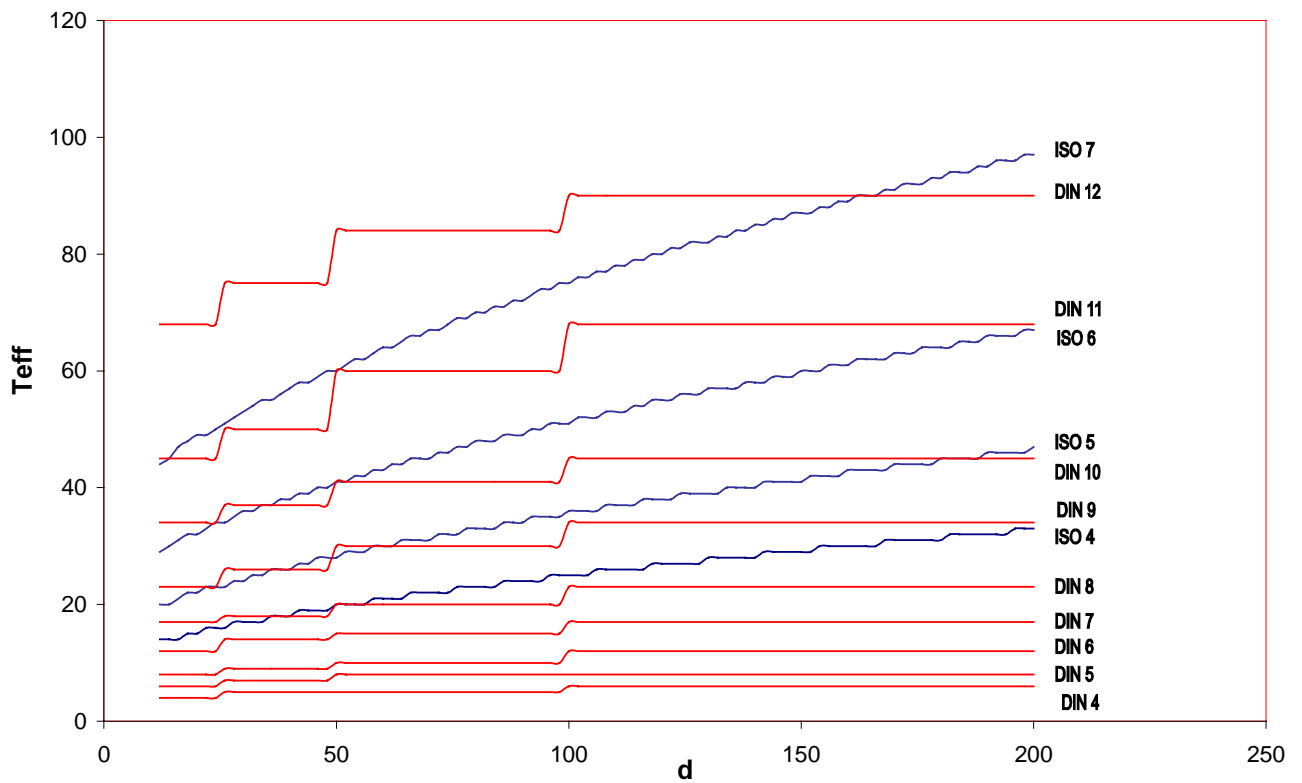


**Bild 2:** Abhängigkeit zwischen Nennmaßbereich und Toleranzen in ISO-Grundtoleranzen

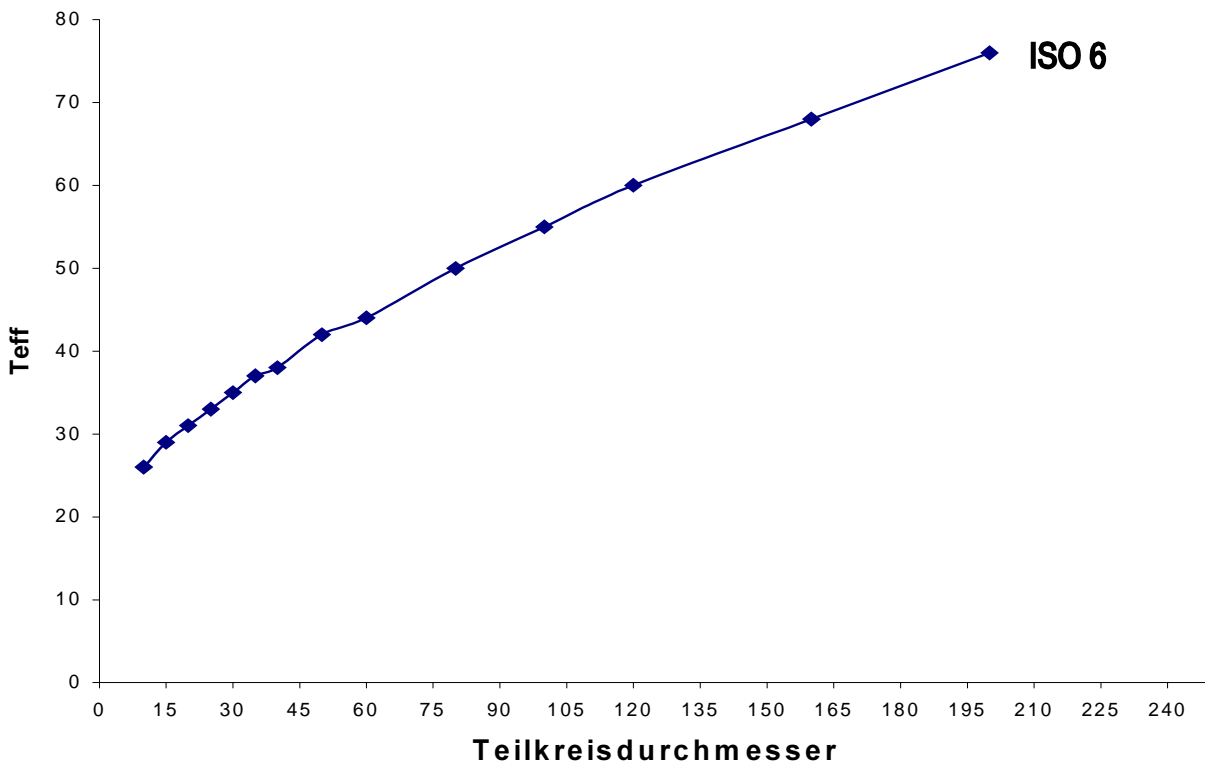
In den folgenden Diagrammen werden Abhängigkeiten zwischen Modul und Toleranz (effektiv), (Durchmesser konstant = 45mm), zwischen Durchmesser und Toleranz (effektiv) und zwischen Teilkreisdurchmesser und Toleranz (effektiv) (Zähnezahl konstant = 8) genauer analysiert, **Bild 3, 4** und **5**. Die überlagerten Einzelformabweichungen ergeben einen Betrag der effektiven Toleranz oder des effektiven Istbetrages.



**Bild 3:** Abhängigkeitsdiagramm zwischen Modul und Toleranz (effektiv), (Durchmesser 45mm)



**Bild 4:** Abhängigkeitsdiagramm zwischen Durchmesser und Toleranz (effektiv), ( $m = 2$ )

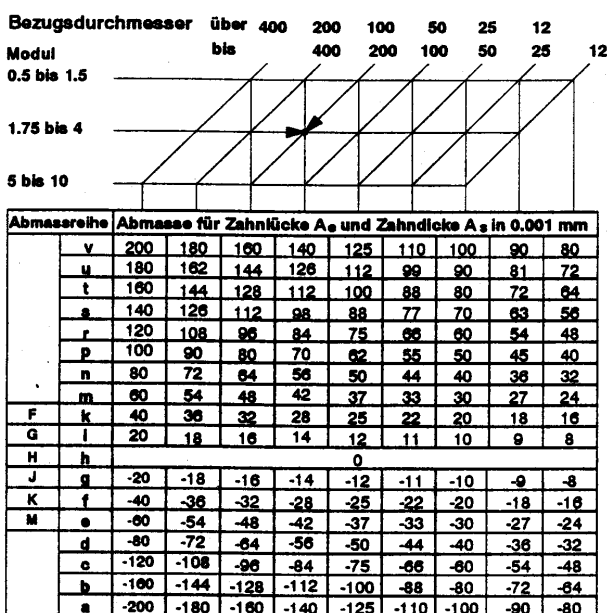


**Bild 5:** Abhängigkeitsdiagramm zwischen Teilkreisdurchmesser und Toleranz (effektiv), ( $z = \text{konstant}$ )

Im **Bild 3** wird unter Annahme eines konstanten Durchmessers, die Abhängigkeit zwischen Modul und Toleranz (effektiv) aufgezeigt. Wie in diesem Diagramm z.B. anhand der DIN4 Kurve deutlich zu erkennen ist, steigt die Toleranz trotz eines sich vergrößerndes Modul kaum an. Unter der vorher getroffenen Aussage, daß der Modul die Zahndicke bzw. die Zahnücke definiert, müßte beim Anstieg des Modul, die Toleranz auch entsprechend zunehmen.

Dagegen bewirkt eine Zunahme des Durchmessers der Zahnwellen-Verbindung einen deutlichen Anstieg der Toleranz, wie im **Bild 4** dargestellt. Der stärkere Anstieg bei den Toleranzklassen der ISO 4156 ist darin begründet, daß zur Berechnung der ISO-Gesamttoleranz, sowohl der Teilkreisdurchmesser als auch die Zahndicke herangezogen werden. Obwohl im **Bild 4** der Modul konstant bleibt, steigt die Toleranz erkennbar an.

Im **Bild 5** wird die Abhängigkeit zwischen Teilkreisdurchmesser und Toleranz (effektiv) für die Toleranzklasse 6 der ISO 4156 graphisch dargestellt. Da in diesem Diagramm die Zähnezah konstant bleibt, muß bei der Zunahme des Teilkreisdurchmessers gleichzeitig auch der Modul zunehmen. Aus diesem Grund steigt wie zu erkennen ist die Toleranz deutlich an. Dieser Anstieg der Toleranz über den Teilkreisdurchmesser ist vergleichbar mit dem Kurvenverlauf des ISO-Grundtoleranzen/ Nennmaßbereich-Diagramms (**Bild 2**).



**Bild 6:** Tabelle 7 für Abmaße und Toleranzen aus DIN 5480 – 1

Die Abhängigkeit der Toleranz vom Bezugsdurchmesser ist ebenfalls in der DIN 5480 – 1 in der Tabelle für Abmaße und Toleranzen beschrieben, **Bild 6**. Dort ist der Bezugsdurchmesser feiner unterteilt, nämlich in 7 Teilbereiche, als der Modul mit nur 3 Abmessungsbereichen. Dem Bezugsdurchmesser wird in der DIN 5480 eine größere Bedeutung zugewiesen, als dem Modul. Grund dafür sind die auf Wellen üblicherweise anzutreffenden weiteren Normteile, wie z.B. Kugellager mit ihren gestuften Durchmessern.

### 3 Zusammenfassung

Wie die Untersuchungen der Toleranzangaben innerhalb der Normen DIN 5480 und ISO 4156 gezeigt haben, beziehen sich die Toleranzangaben hauptsächlich auf den Durchmesser von Zahnwellen-Verbindungen ( $z \times m$ ) und nicht auf den Modul alleine. Normalerweise jedoch müßten die Toleranzangaben auf dem Modul alleine basieren, weil bei Zahnwellen-Verbindungen das Paarungsmaß die Zahndicke und Zahnücke ist. Die Zahndicke bzw. Zahnücke wird durch den Modul definiert, hierbei spielt auch die Profilverchiebung eine geringe Rolle. Für die sichere Drehmomentübertragung und das Flankenspiel muß man bei der Zahnwellentolerierung den Modul entweder als Basis nehmen, oder den Modul innerhalb der Berechnung stärker berücksichtigen.

Aus den zuvor genannten Gründen, sollte eine Überarbeitung der bestehenden Normen, im Hinblick auf eine stärkere Gewichtung des Moduls erfolgen.

### 4 Literatur

- 1/ Beitz, W.; Küttner, K.-H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau. Springer Verlag, 18. Aufl., Berlin 1995
- 2/ Decker, K.-H.: Maschinenelemente – Gestaltung und Berechnung. Carl Hanser Verlag, 8. Aufl., München 1982
- 3/ DIN 5480: Zahnwellenverbindungen mit Evolventenflanken. Teil 1 – 16, Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin
- 4/ ISO 4156: Straight cylindrical involute splines – Metric module, side fit – Generalities, dimensions and inspection. International Standardisation Organisation (ISO), Genf
- 5/ Li, Z.; Schäfer, G.: Gedanken zur Toleranzfestlegung für Zahnwellen-Verbindungen. Institutsmitteilung Nr. 24, IMW Clausthal 1999