

# EINE EINFÜHRUNG IN DIE TAGUCHI METHODE

*Mahendra S Hundal*

## Kurzfassung

Produkte und Verfahren sind immer vielen Umständen unterworfen, die beeinflussen wie gut sie funktionieren. Diese Umstände können systemintern sein, z.B. Größenvariationen, Änderungen der Werkstoffeigenschaften, etc. oder extern sein, z.B. die Fertigungsmaschinen, die Arbeiter, die Umgebungsbedingungen, die Benutzung des Produkts, etc.. Das Abweichen der Produktleistung von den Erwartungen ist für den Kunden unbefriedigend. Die Essenz der Taguchi-Methoden ist die Minimierung der Einflüsse dieser Faktoren. Dieses Ziel wird mit Justieren der betreffenden Systemparameter erreicht [1]. Die Schwerpunkte des Taguchi-Vorgehens sind die folgenden:

1. Die Qualität des Produkts sollte die Voraussetzung sein. Sie soll im Produkt mit einkonstruiert werden. Die Qualität soll nicht durch Inspektion und anschließende Beseitigung der Minderqualitätsexemplare erreicht werden.
2. Für jeden Hauptparameter soll ein Ziel gesetzt werden. Die Abweichungen des Produkts vom Zielwert sind die Qualitätsverluste.
3. Das Produkt soll für äußere, unkontrollierbare Faktoren unempfindlich sein.

## 1 Einleitung

Seit dem Anfang des Industriezeitalters ist die Veränderlichkeit der Produktparameter durch Festlegung von Grenzen kontrolliert worden. Diese sind die sogenannten "guten und schlechten" Grenzen. Teile, bzw. Systeme werden angenommen oder abgewiesen jenach dem, wie die festgelegten Parameter innerhalb oder außerhalb der Grenzen liegen.

Nehmen wir zum Beispiel als Konstruktionsparameter die benötigte Kraft zum Schließen einer Autotür an [2]. Durch Experimente hat man herausgefunden daß diese Türschließkraft (TSK) zwischen 20 N und 60 N liegen soll. Alle Exemplare, für die die TSK zwischen diesen Grenzen liegt, werden angenommen.

Wenn man bedenkt, daß eine Tür mit Schliesskraft von 59 N angenommen wird, während die andere mit 61 N zurückgewiesen wird, liegt in diesem Vorgehen folgender Irrtum: Die meisten Leute können zwischen diesen beiden Zahlen (59 und 61 N) nicht unterscheiden. Beide Kräfte sind in ihrer Wirkkraft zu hoch.

Das Taguchi-Vorgehen schlägt ein Festhalten des Zielwerts vor, in diesem Fall 40 N. Jede Abweichung von diesem Ziel stellt Kosten oder Verluste dar und soll bestraft werden. Also die Parameter des Türschlußmechanismus, (z.B. die Federkraft, Hebelverhältnis, etc.) sollen so gewählt werden, daß die TSK nach 40 N gesetzt wird und nicht in einem beliebigen Spielraum von 20 bis 60 N liegen kann.

Der Verlust der Qualität ist einfach mit einer Quadratfunktion zu bestimmen. Für eine Kraft  $F$ , Zielwert  $T (= 40 \text{ N})$  und Koeffizient  $k$ , ist die Verlustfunktion  $L$ , im Fall der TSK

$$L = k(F-T)^2 \quad (1)$$

Das 'beste' Produkt ist eines, dessen Leistung die geringste Abweichung vom Zielwert zeigt. Taguchi erkennt drei Stufen des Konstruktionsprozesses. Die erste Etappe heißt

1) Die normale Konstruktion (*System/Primary Design*), mit der das Produkt realisiert wird, welches die Zielleistung erreicht.

Ist eine Verbesserung der Leistung erforderlich, kann man sie entweder durch:

2) Eine Änderung der Parameterwerte (*Parameter/Secondary Design*), oder

3) Die Anwendung engerer Toleranzen (*Tolerance/Tertiary Design*) erreichen.

Beim *Parameter Design* handelt es sich um die Einstellung der Systemparameter, womit eine Verbesserung der Qualität ohne eine Kostenerhöhung erreicht wird. Das Ziel dieses Konstruktionsprozesses ist das Festlegen von Parameterwerten, die das System am unempfindlichsten gegen Umgebungsfaktoren machen. Solche Parameterwerte werden mit Anwendung von statistischen Methoden (*design of experiments*) festgelegt.

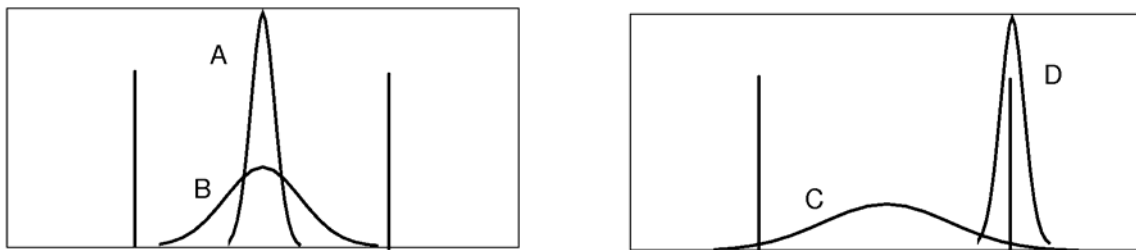


Bild 1. Wahrscheinlichkeitsverteilung der Federneigenschaften von 4 Herstellern

Bild 1 stellt die Wahrscheinlichkeitsverteilung einer Eigenschaft (z.B. Steifigkeit) der Federn dar, die von vier Quellen zugeliefert werden. Die Eigenschaften der Federn von den beiden Herstellern A und B liegen zwischen den oberen und unteren Grenzen und sind also annehmbar. Offenbar sind die Produkte von A höherer Qualität, denn dieser Hersteller hat ein enger kontrolliertes Produktrealisierungsverfahren. Von den Herstellern C und D ist der letztere vorzuziehen, obwohl 50% seiner Federn außerhalb der Grenzen liegen, viel mehr als die von C. Das Verfahren des Herstellers D ist besser kontrolliert als das von C. Der Hersteller D kann, z.B. durch Justierung eines Parameters, sein Produkt genau so gut machen wie der Hersteller A.

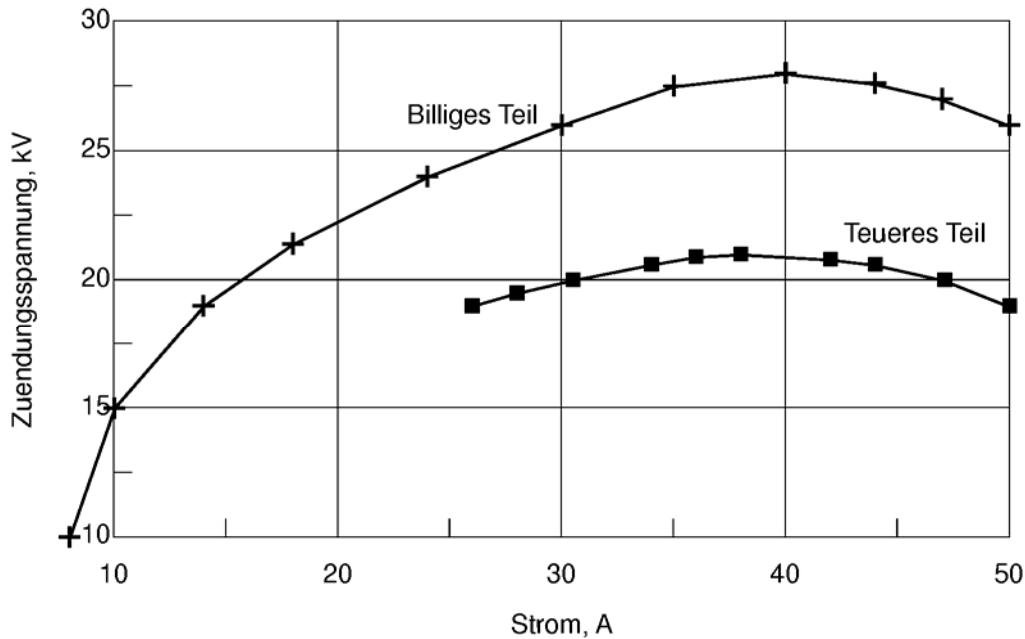


Bild 2. Kennlinien der Hochspannungserzeuger

### 1.1 Beispiel *Parameter Design*: Zündungsgerät

Als Beispiel für das Zündungssystem eines Verbrennungsmotors, sollte man sich zwischen Teilen zur Hochspannungserzeugung entscheiden: einem billigen Teil und einem teureren Teil [3], [4]. Die Kennlinien dieser beiden Teile zeigt Bild 2. Das Teil muß eine Spannung von 20 kV erzeugen. Das teure Teil zeigt nur eine kleine Abweichung von dem Nominalwert (20 kV), während das billige Teil eine viel höhere Abweichung zeigt. Bemerkenswert ist, daß in der Nähe von 20 kV der Wert der Ausgangsgröße einer Änderung der Eingangsgröße, d.h. des Stroms, sehr empfindlich ist. Im Gegensatz dazu, in der Nähe von 28 kV ist die Ausgangsspannung stabil und zeigt kaum eine Abweichung, wenn eine Änderung des Eingangsstroms stattfindet. Die kostengünstigere Lösung ist also die Verwendung des billigen Hochspannungserzeugers mit einem Spannungsteiler, der die Spannung von 28 kV an 20 kV reduziert. Der Spannungsteiler ist auch ein stabiles und billiges Teil.

### 1.2 Beispiel *Tolerance Design*: Die Türschließkraft

Die wünschenswerteste TSK ist also  $T = 40 \text{ N}$ . Bei diesem Wert sind die Kunden zufrieden und der Lieferant braucht keine Nachstellungen oder Reparaturen durchzuführen. Der Ausdruck "Lieferant" wird in einem allgemeinen Sinn benutzt und kann den Autohersteller, bzw. den Kleinhändler bezeichnen. Wenn die TSK  $F$  von dem Zielwert  $T$  abweicht, werden Kosten verursacht - Garantiekosten, Zeitverlust des Kunden, etc.. Diese Kosten werden als die Verlustfunktion  $L$  bezeichnet. Taguchi nennt diese Kosten als ein Verlust der Gesellschaft.

Im allgemeinen mag so ein Verlust verschiedene Ursachen haben: ein Produkt das der Umwelt schadet, geräuschvoll ist, unnötige Verspätungen verursacht, etc. In manchen Fällen kann man den Verlust ganz einfach feststellen, z.B. den Wärmeverlust von einem Fenster. In anderen Fällen ist so eine Abschätzung viel schwerer.

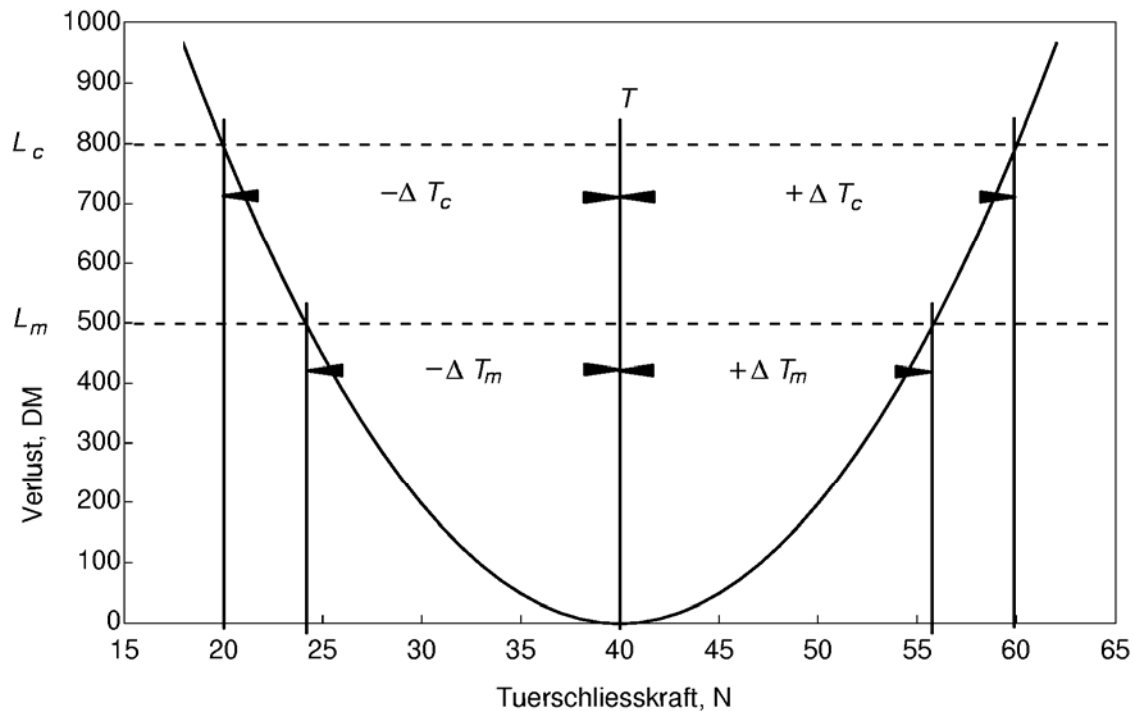


Bild 3. Die quadratische Verlustfunktion

Man findet die Beziehungen zwischen Verlust und Toleranzen durch die quadratische Verlustfunktion, wie unten beschrieben. Siehe Bild 3.

$\Delta T_C$  = Toleranzgrenze des Kunden

$L_C$  = Verlust für den Kunden, wenn die Kraft  $F$  vom Zielwert  $T$  im Wert  $\Delta T_C$  abweicht

$\Delta T_m$  = Toleranzgrenze des Lieferanten, die den Kosten  $L_m$  entspricht

$L_m$  = Kosten für den Lieferanten, um die Einstellungen in der Fabrik zu machen

Von Gleichung (1), mit  $F = T + \Delta T_C$ , findet man

$$L_C = k (\Delta T_C)^2 \quad (2)$$

Daher ist der Kostenkoeffizient

$$k = \frac{L_C}{(\Delta T_C)^2} \quad (3)$$

Nimmt man an, daß wenn die TSK bei der Toleranzgrenze des Kunden,  $\Delta T_C = 20$  N ist, dann ist der Verlust für ihn  $L_C = 800$  DM. Den Kostenkoeffizient nimmt man aus Gleichung (3) mit

$$k = \frac{800}{20^2} = 2$$

Wenn man weiter annimmt, daß den Lieferanten es  $L_m = 500$  DM kostet, die Reparaturen, bzw., Einstellungen in der Fabrik zu machen, dann kann man die Toleranzgrenze des Lieferanten,  $\Delta T_m$ , von der Verlustfunktionskennlinie, Bild 3 entnehmen:

$$\Delta T_m = 15.8 \text{ N}$$

Die obere und die untere Grenzen der TSK, die vom Lieferanten gesetzt werden müssen, sind demnach

$$UL = T + \Delta T_m = 55.8 \text{ N} \quad \text{und} \quad LL = T - \Delta T_m = 24.2 \text{ N}$$

Diese Werte sind im Bild 3 dargestellt. Diese Toleranzgrenzen sind für den Kunden befriedigender und für den Lieferanten preiswerter als die ursprünglich vorgeschlagenen Werte, d.h., 20 und 60 N.

## 2 Zusammenfassung

Die Taguchi-Methoden werden zur Realisierung robuster Produkte verwendet. Traditionell finden die statistischen Methoden Anwendung beim Ende der Herstellung des Produkts. Nach der Fertigung werden die Produkte kontrolliert - wenn ein bestimmter Anteil davon durchkommt, wird das gesamte Los für zufriedenstellend gehalten. Im Gegensatz dazu wenden die Taguchi-Methoden schon beim Konstruieren und Fertigen die statistischen Verfahren an. Die Systemparameter werden so eingestellt, daß das Produkt robuster wird, ohne eine Kostenerhöhung. Ein robustes System verhält sich unempfindlicher gegen Störungen von den Umgebungsfaktoren.

Es gibt eine ganze Reihe von Umständen, die die Leistung eines Produkts, bzw. Verfahrens, beeinflussen: (1) Jene, auf die der Konstrukteur keinen Einfluß hat, (2) Jene, auf die der Konstrukteur Einfluß haben könnte, aber es zu teuer werden würde und (3) Jene, die nur mit großem Aufwand kontrolliert werden können.

Das Ziel während der Realisierung des Produkts soll das folgende sein: Man bestimme die optimale Kombination der Faktoren die kontrollierbar sind, um das System unempfindlich zu machen, gegen Umstände, die nicht kontrollierbar sind, oder deren Regulierung zu teuer wird. Der Taguchi-Weg zur Produktrealisierung ist "nach dem Ziel streben" und nicht "zwischen den Anforderungsgrenzen bleiben."

### 3 Literaturverzeichnis

- [1] Hundal, M.S., "Systematic Mechanical Designing: A Cost And Management Perspective," New York, ASME Press, 1997.
- [2] Taguchi, G. and Clausing, D., "Robust Quality," Harvard Business Review, Jan-Feb 1990, 65-75.
- [3] "Taguchi Methods: Selected Papers Methodology and Applications," Dearborn, MI, ASI Press, 1988.
- [4] Taguchi, G., "Production of Vehicles and Quality Control," in [3].

Professor Mahendra S Hundal  
Department of Mechanical Engineering;  
The University of Vermont  
Burlington, Vermont 05405-0156, USA  
Tel: 1 802 656 1930  
Fax: 1 802 656 1929  
Internet: [hundal@emba.uvm.edu](mailto:hundal@emba.uvm.edu)