



## Voraussetzung und verwandte Themen

Für diese Beschreibungen sind Grundlagen der Statistik vorteilhaft. Weiterführende und verwandte Themen sind:

[www.versuchsmethoden.de/Versuchsplanung.pdf](http://www.versuchsmethoden.de/Versuchsplanung.pdf)

## Einführung

Taguchi Genichi geb. 1924, ist ein japanischer Ingenieur, Statistiker und Experte für Qualitätsverbesserung.

Aufgrund des immer härter werdenden Wettbewerbs bei der industriellen Fertigung wurde die Anwendung von statistischen Verfahren in der Qualitätssicherung und Qualitätstechnik immer bedeutsamer. Taguchi entwickelte ab Ende der 1940er Jahre die nach ihm benannte Taguchi-Methode zur statistischen Versuchsplanung, um Qualitätsverluste zu minimieren und die Produkte sowie Herstellungsprozesse robuster gegenüber Störeinflüssen zu gestalten.

Die von ihm entwickelte Qualitätsphilosophie findet breite Anwendung in der industriellen Praxis.

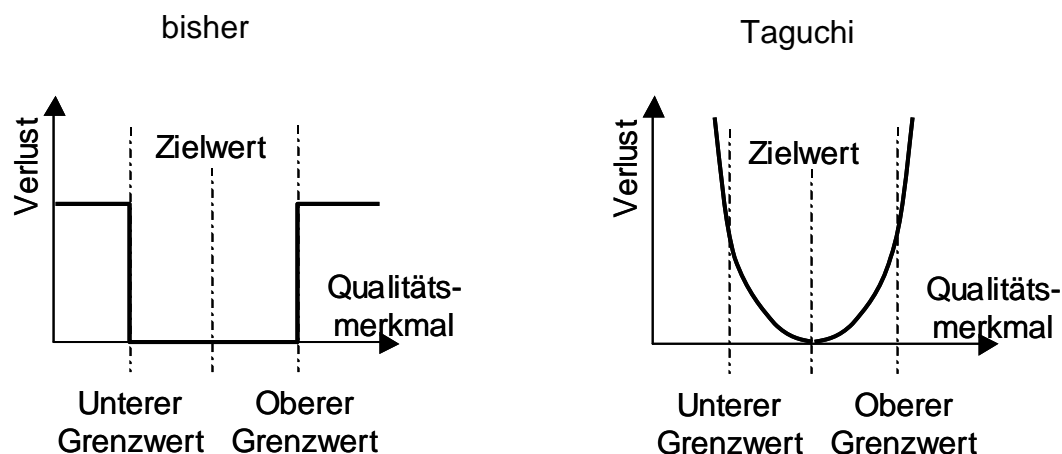
## Ziel und Nutzen

Letztendlich geht es bei seiner Methode darum, die Kosten zu minimieren, die ein Produkt verursacht – nicht nur dem Herstellerunternehmen selbst, sondern auch der Gesellschaft allgemein.

## Grundlagen

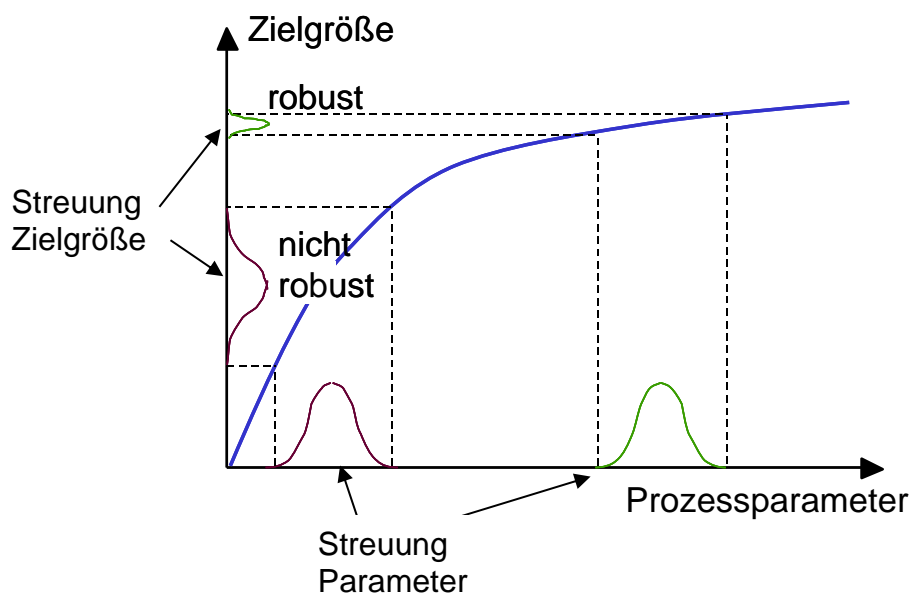
Neben der Betrachtung einer Zielgröße, die es zu optimieren gilt, hebt Taguchi vor allem das Streuverhalten in den Vordergrund.

Die Toleranz eines Bauteiles wird nicht als Herstellungsgrenzwert gesehen, sondern als „Verlustfunktion“. Taguchis Ziel entspricht dem zeitgemäßen Qualitätsverständnis, das den Kunden in den Mittelpunkt stellt. Für den Kunden reduziert sich der Gebrauchswert eines Produktes kontinuierlich mit der Abweichung vom Zielwert.



Ein wichtiges Ziel der Produkt- und Prozessentwicklung ist die Minimierung der Streuung. Die Minimierung der Streuung darf aber nicht dadurch erreicht werden, dass der Entwickler enge Toleranzen vorgibt! Vielmehr soll eine Unempfindlichkeit gegen diese Streuung erreicht werden.

Die Entwicklungsstrategie ist deshalb robuste Systeme zu schaffen. Prozesse sind robust, wenn das Prozessergebnis möglichst wenig von unvermeidlichen Schwankungen der Parameter, Materialeigenschaften, Umgebungsbedingungen usw. abhängt. Dabei können nichtlineare Zusammenhänge helfen. Für den dargestellten Zusammenhang eines Prozessparameters auf eine Zielgröße wirkt sich die Streuung im rechten Bereich weniger aus, als für den linken Bereich.



Für einen robusten Prozess sucht man diesen Bereich. Die Zielgröße kann in den meisten Fällen durch andere Parameter variiert und auf Sollwert gebracht werden.

Als „Maß“ für die Streuung schlägt Taguchi das so genannte „Signal-Rausch-Verhältnis“ (signal-to-noise-ratio, kurz SN-Verhältnis) vor.

$$S/N = 10 \log \left( \frac{\bar{Y}^2}{s^2} \right)$$

Diese SN-Verhältnis beinhaltet auch die Zielgröße als Mittel, wodurch es auch von dessen Niveau abhängig ist. Dies kann gewünscht sein, wenn Parameter mit unterschiedlichen Größenverhältnissen verglichen werden sollen. Interessiert nur die Standardabweichung  $s$ , so ist auch das so genannte Robustheitsmaß zu verwenden:

$$\text{Robustheit} = 10 \log \left( \frac{1}{s^2} \right)$$

## Berücksichtigung von Störgrößen

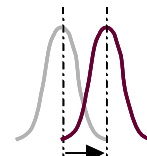
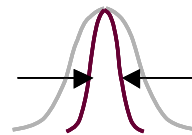
Zu den unter Taguchi Versuchspläne beschriebenen Varianten kann für die Faktoren, die auch Steuergrößen genannt werden, ein weiterer Versuchsplan hinzugefügt werden, der so genannte Störgrößen berücksichtigt. Störgrößen sind Einflüssen, die man normalerweise nicht beeinflussen kann, aber mit denen das Produkt leben muss. Dieser

wird um 90° gedreht als „äußeres Versuchsfeld“ angeordnet. Die verschiedenen Stufen des äußeren Feldes werden wie mehrmalige Realisierungen der Steuergrößen behandelt. Mittelwert und Streuung sind zwei verschiedene getrennt behandelte Zielgrößen.

								Äußerers Feld Störgrößen										
								1	2	3	4							
Inners Feld Steuergrößen								A'	2	2	1	1						
								B'	2	1	2	1						
								C'	1	2	2	1						
								L <sub>4</sub> (2 <sup>3</sup> )										
								A	B	C	D	E	F	G	Ergebnis- feld			
1	1	1	1	1	1	1	1											
2	1	1	1	2	2	2	2											
3	1	2	2	1	1	2	2											
4	1	2	2	2	2	1	1											
5	2	1	2	1	2	1	2											
6	2	1	2	2	1	2	1											
7	2	2	1	1	2	2	1											
8	2	2	1	2	1	1	2											

In der Auswertung geht man grundsätzlich in 3 Schritten vor:

1. Faktoren mit den größten S/N-Verhältnissen suchen und festlegen
2. Festlegen der Faktoreinstellungen in der Zeile des größten S/N-Verhältnisses aus den Ergebnis-zeilen
3. Einstellen des richtigen Zielwertes (Mittelwertes) mit den übrigen Faktoren



Dieser Reihenfolge liegt zu Grunde, dass es meist viel leichter ist den Mittelwert zu verändern, als die Streuung zu reduzieren.

Die einzelnen Berechnungen hierfür werden durch folgendes Beispiel erläutert, das in der Vorlagendatei \Statistik Methoden\ [Beispiel\\_Taguchi.vxd](#) zu finden ist:

Ein elektrischer Schaltkreis enthält u.a. 4 Widerstände R1, R2, R3 und R4. Ziel ist es, dass die Ausgangsspannung möglichst stabil ist, bzw. wenig streut. R1 wird zwischen 3 und 5kΩ, R2 zwischen 100 und 200kΩ, R3 zwischen 20 und 50kΩ und R4 zwischen 1 und 1,5kΩ variiert. Die Störgrößen sind die Umgebungstemperatur (0-50°C), die Versorgungsspannung (4,5-5,5V) und der Lastwiderstand (4-16kΩ).



Als Versuchsplan für die Steuergrößen wurde ein L<sub>8</sub>(2<sup>4</sup>) Plan und für die Störgrößen ein L<sub>4</sub>(2<sup>3</sup>) gewählt (entspricht jeweils teilfaktoriellen Plänen 2<sup>4-1</sup> bzw. 2<sup>3-1</sup>).

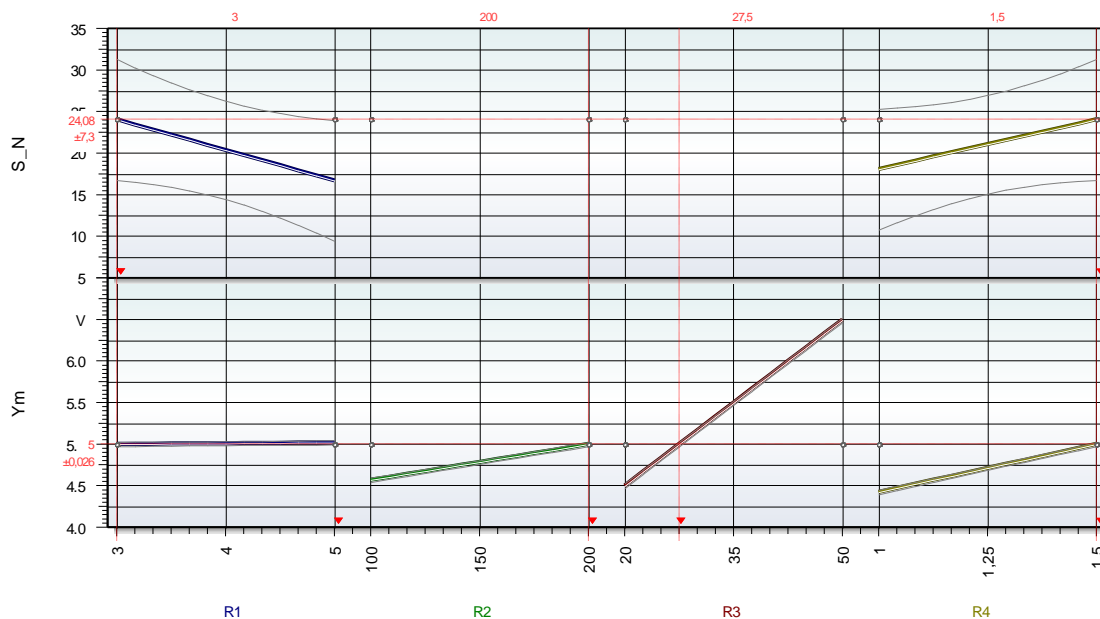
Zunächst werden für die Ergebnisse der Ausgangsspannungen jeder Versuchsreihe Mittelwert, Standardabweichung und S/N-Verhältnis ermittelt (in den drei letzten, bzw.

rechten Spalten = Ergebnisspalten):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1					Störgrößen							
2					Temp	0	50	0	50			
3					VSpann	4,5	4,5	5,5	5,5			
4		Faktoren = Widerstände				Lastwide	4	16	16	4		
5		R1	R2	R3	R4	1	2	3	4	ym	s	S/N
6	1	3	100	20	1	2,85	3,69	4,35	3,07	3,49	0,67	14,27
7	2	5	100	20	1,5	3,33	3,29	5,02	4,72	4,09	0,91	13,06
8	3	3	200	20	1,5	4,34	4,32	4,82	4,56	4,51	0,23	25,72
9	4	5	200	20	1	2,78	3,58	5,39	4,05	3,95	1,09	11,15
10	5	3	100	50	1,5	5,77	5,92	6,5	6,09	6,07	0,32	25,70
11	6	5	100	50	1	4,28	5,04	6,97	5,79	5,52	1,15	13,65
12	7	3	200	50	1	5,3	6	6,85	5,53	5,92	0,69	18,73
13	8	5	200	50	1,5	5,76	5,74	7,52	7,02	6,51	0,90	17,18

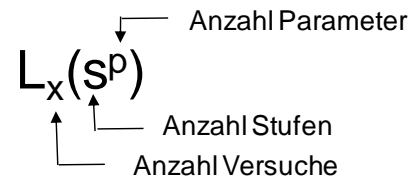
Die dazugehörigen Mittelwerte, Standardabweichungen und S/N-Verhältnisse der Effekte werden unter die Faktorenspalten geschrieben. Sie ergeben sich durch die jeweiligen Summen der Ergebnisspalten, bei denen die Faktoren auf der oberen Einstellung stehen, abzüglich der Summen der Zeilen, bei denen die Faktoren auf der unteren Einstellung stehen. Für R1 wurde berechnet:  $Y_{Eff} = 1/(n/2) * ((4,09+3,95+5,52+6,51)-(3,49+4,51+6,07+5,92)) = 0,02$ . Da jeweils zwei Einstellungen gefahren wurden, ist auch nur durch die Hälfte der Anzahl der Versuche (Zeilen) zu teilen. Analog gilt das gleiche Vorgehen für die Standardabweichung und das S/N-Verhältnis. Im vorliegenden Beispiel werden die beiden Faktoren R1 und R4 festgelegt, mit den absolut gesehen größten S/N-Verhältnissen (7,34 und 5,96), die Streuung zu minimieren. In der 3. Zeile ergibt sich mit 25,72 das größte S/N-Verhältnis der Ergebnisspalte. R1 und R4 werden nun auf die Einstellungen gesetzt, die für diese Zeile gilt (R1=3kΩ, R4=1,5kΩ). Sowohl mit R2, als auch mit R3 kann nun der gewünschte Zielwert von 5V Ausgangsspannung eingestellt werden (hier R3=34kΩ) – Quelle W. Kleppmann, Taschenbuch Versuchsplanung.

Wird in der multiplen Regression das S/N-Verhältnis als eigene Zielgröße mit ausgewertet, so lässt sich das Ergebnis über die Optimierung ebenfalls darstellen. R2 und R3 sind im Modell für S/N nicht signifikant.



## Taguchi Versuchspläne

Taguchi Pläne sind teilfaktorielle Versuchspläne, die meist „gesättigt“ sind und extrem wenig Versuche brauchen. Sie sind voll orthogonal und werden mit dem Buchstaben L gekennzeichnet. Der teilfaktorielle Versuchsplan mit 7 Faktoren wird z.B. zu:



$$2^{7-4} \Rightarrow L_8(2^7)$$

Für 7 Faktoren werden hier nur 8 Versuche angesetzt. D.h. man kann hiermit nur die Effekte der Faktoren selber und der Konstante bestimmen (gesättigt). Das Problem ist, dass neben der Vermengung von verschiedenen Wechselwirkungen auch eine Vermengung von Faktoren mit Wechselwirkungen bestehen. Deshalb werden diese Pläne nur empfohlen, wenn Wechselwirkungen auszuschließen sind.

Weitere Beispiel sind:

$L_4(2^3)$

	A	B	C
1	1	1	2
2	1	2	1
3	2	1	1
4	2	2	2

$L_9(3^4)$

	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Anstelle der Normierung -1 .. 1 werden die Einstellungen durch nummeriert. Es gibt auch Taguchi Versuchspläne mit 3 und 4 Stufen um nichtlineare Zusammenhänge darzustellen. Dabei sind Faktoren und Wechselwirkungen auch nicht mehr zu 100% vermengt, jedoch ist die Auswertung für Wechselwirkungen und quadratische (bzw. kubische) Terme kritisch (hohe Korrelation).

Taguchi Versuchspläne werden eingesetzt, um die wichtigsten Faktoren zu erkennen (Screening). Folgende Übersicht zeigt die wichtigsten Varianten:

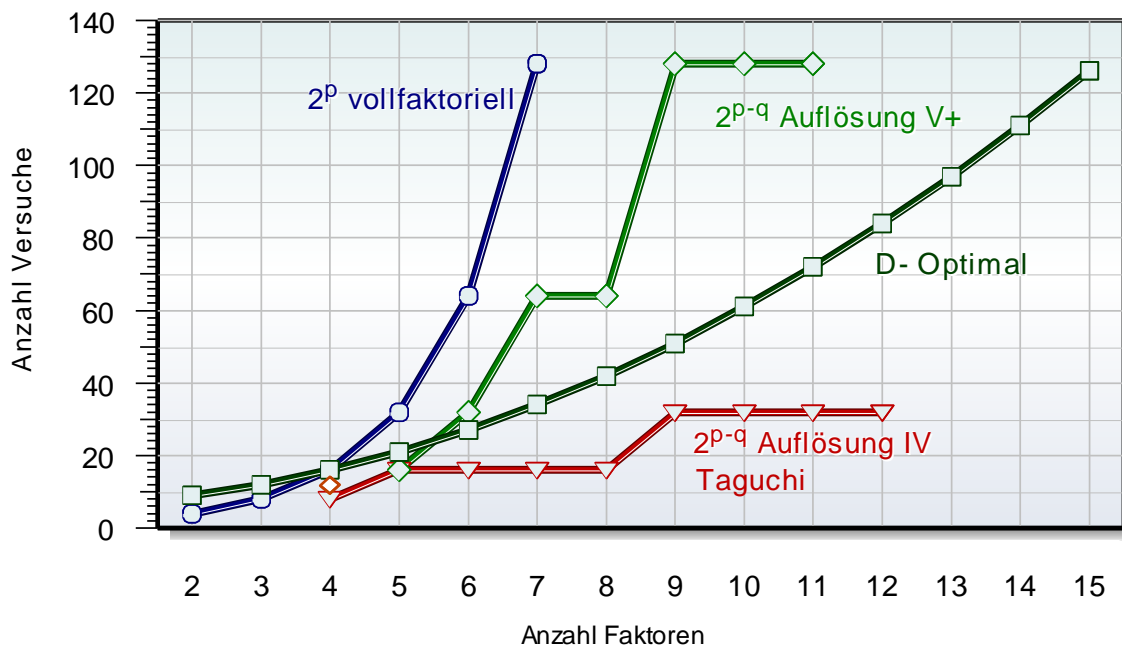
2 Stufen	3 Stufen	4 Stufen	5 Stufen
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$
$L_8(2^7)$	$L_{18}(2 \cdot 3^7)$	–	–
$L_{12}(2^{11})$ *	$L_{27}(3^{13})$	–	–
$L_{16}(2^{15})$	$L_{27}(3^{13})$	–	–
$L_{32}(2^{31})$	$L_{36}(3^{13})$	–	–

\* identisch mit Plackett-Burmann n=12

## Vor- und Nachteile:

- + Orthogonale Versuchsanordnung mit extrem wenigen Versuchsdurchläufen
- + Teilfaktorielles Versuchspläne mit bis zu 5 Stufen verfügbar
- + Geeignet für „Screening“ zum Darstellen der wichtigsten Einflüsse
- Vermengung der Wechselwirkungen entsprechend Auflösung III bedeutet, dass diese nicht ausgewertet werden können! (Ausnahme sind teilweise 3- und 4-stufige Versuchspläne, bei denen eingeschränkt Auswertungen möglich sind)

Im Vergleich der klassischen Versuchspläne und mit D-Optimal ergibt sich auf 2 Stufen folgender Vergleich für die Anzahl notwendiger Versuche:

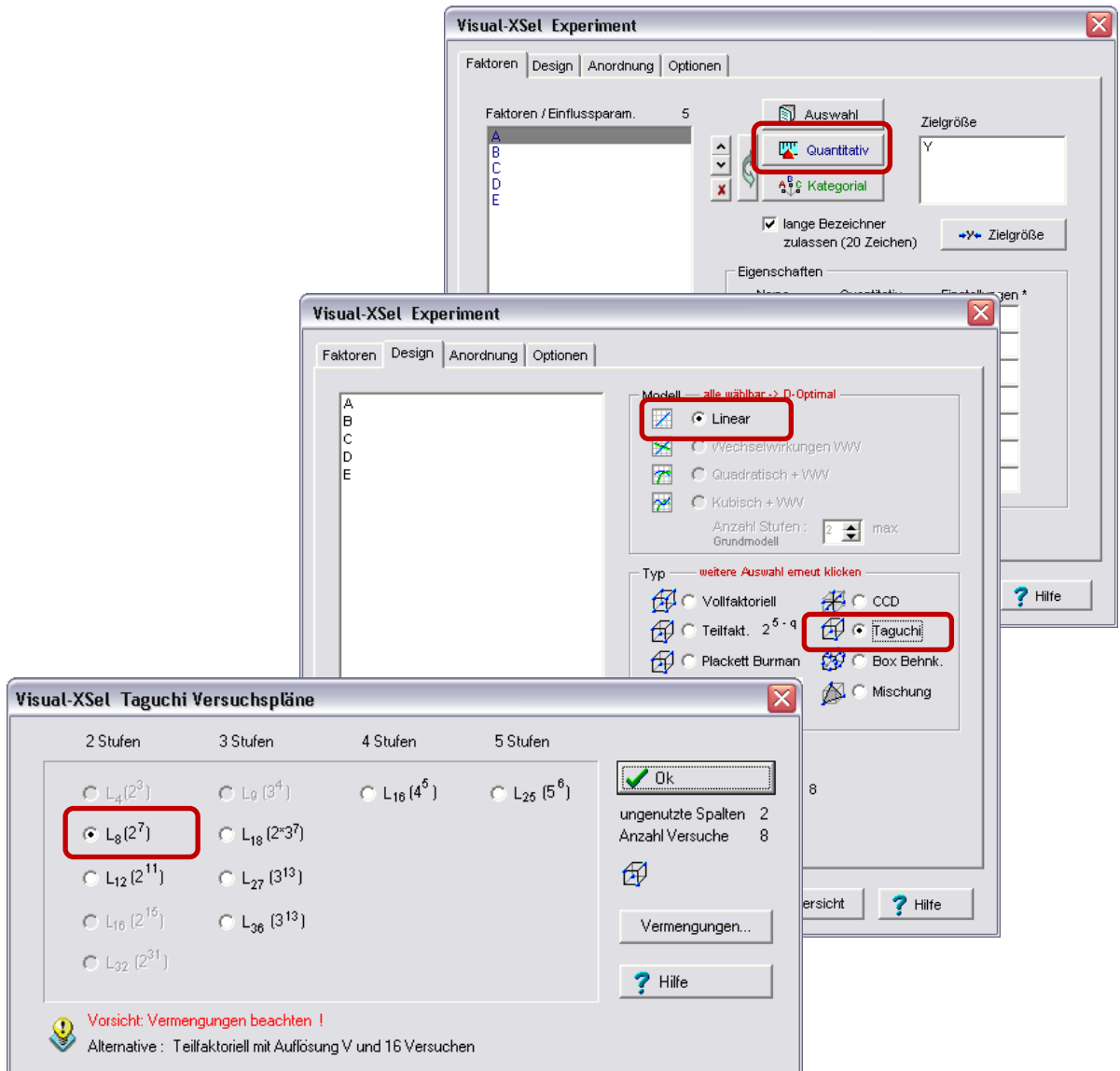
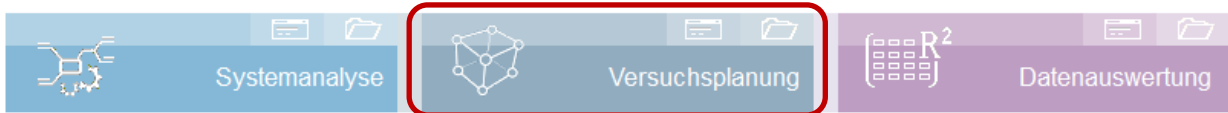


Der höhere Aufwand der klassischen Versuchspläne und des D-Optimalen erlaubt die Auswertung aller 2-fach Wechselwirkungen, was bei Taguchi nicht möglich ist.

# Anwendung in Visual-XSel 14.0

www.crgraph.de

Taguchi Versuchspläne sind unter dem Startleitfaden, oder unter der Ikone DoE auszuwählen:



Das Biespiel des robusten Systems mit den 4 Widerständen ist unter

*\\Templates\03\_Datenauswertung\Beispiel\_Taguchi.vxg*

zu finden.

## Literatur

### Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden

Die wichtigsten Methoden und Verfahren für die Praxis.

Beinhaltet statistische Methoden für Versuchsplanung & Datenanalyse, sowie Zuverlässigkeit & Weibull.

- Statistische Verteilungen und Tests & Mischverteilungen
- Six Sigma Einführung und Zyklen
- Systemanalysen Wirkdiagramm, FMEA, FTA, Matrizen-Methoden
- Shainin- und Taguchi-Methoden
- Versuchsplanung DoE, D-Optimal
- Korrelations- und Regressionsverfahren
- Multivariate Datenauswertungen
- Prozessfähigkeit – Messmittelfähigkeit MSA 4 und VDA 5
- Regelkarten
- Toleranzrechnung und Monte-Carlo-Simulation
- Statistische Hypothesentests
- Weibull und Lebensdaueranalysen
- Stichprobengröße

190 Seiten, Ringbuch

ISBN: 978-3-00-043678-9

