



## Voraussetzung und verwandte Themen

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

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

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

[www.versuchsmethoden.de/Multiple\\_Regression.pdf](http://www.versuchsmethoden.de/Multiple_Regression.pdf)

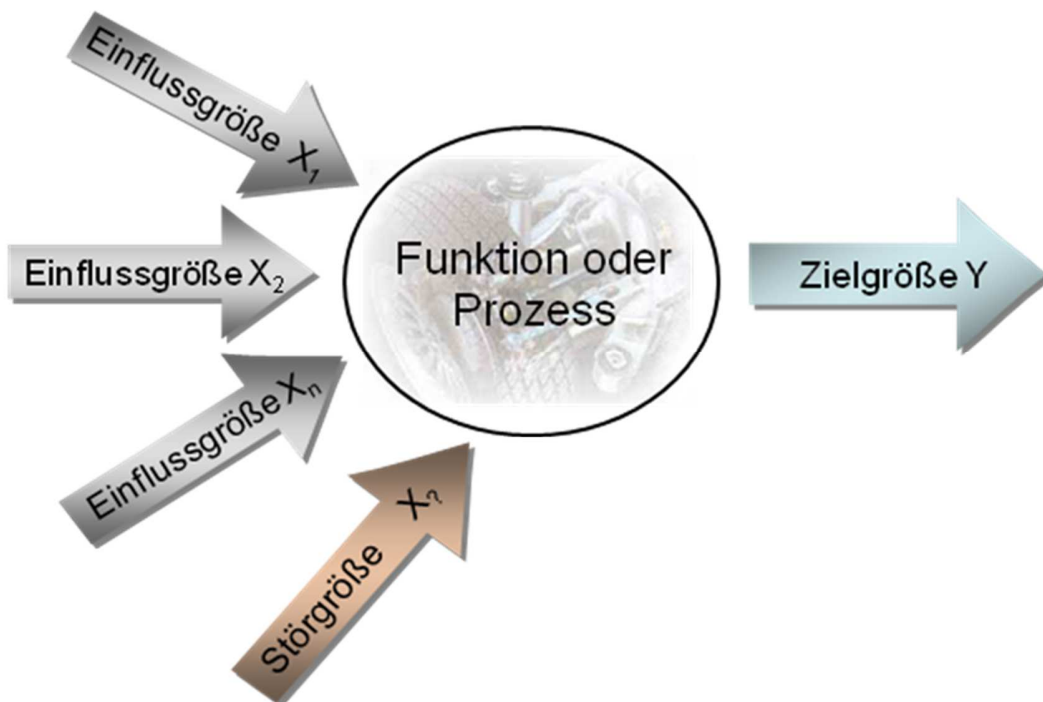
Weitere Versuchpläne sind am Ende aufgelistet

**Stichworte:** Statistische Versuchsplanung – DoE – Vollfaktoriell – Taguchi - DSD – Plackett-Burman - D-Optimal – Wechselwirkungen – quadratisches Modell

## Einführung

Mit einer Versuchsplanung sollen die Wirkungen von mehreren Einflussparametern auf eine Zielgröße eindeutig bestimmbar sein und mögliche Wechselwirkungen erkannt werden.

Die Aufgabe ist es, Versuche so zu kombinieren, dass die Zusammenhänge einer Funktion oder eines Prozesses bestmöglich durch eine spätere Auswertung wiedergegeben werden können. Es gibt Einflussgrößen, die gezielt variiert werden können, aber auch oft Störgrößen.



# Versuchsplanung - DoE

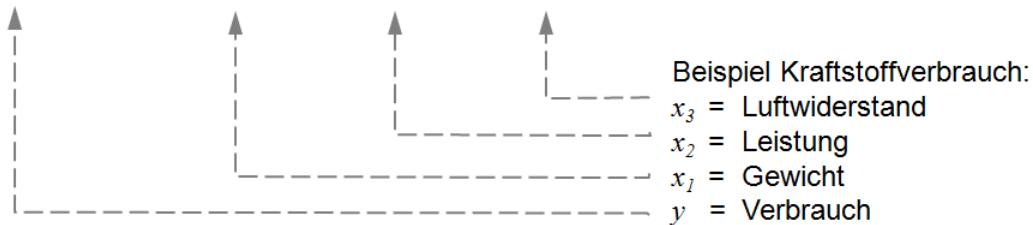
## Ziel und Nutzen

Gegenüber Einzelversuchen können mit der DoE Wechselwirkungen erkannt werden. Die Auswertbarkeit ist im Vergleich zu ungeplanten Datensammlungen wesentlich besser. Durch die Ermittlung einer Modellgleichung können optimale Einstellungen bestimmt werden, selbst wenn sie nicht Bestandteil der Versuchsplanung waren. Mit der DoE-Methode werden Versuche und Kosten reduziert.

## Grundlagen

Die Wirklichkeit soll durch ein vereinfachtes Modell beschrieben werden. Soll z.B. der Verbrauch eines Fahrzeugs in Abhängigkeit der Einflussgrößen Gewicht, Motorleistung und Luftwiderstand bestimmt werden, so wird zunächst folgender vereinfachter Ansatz gemacht:

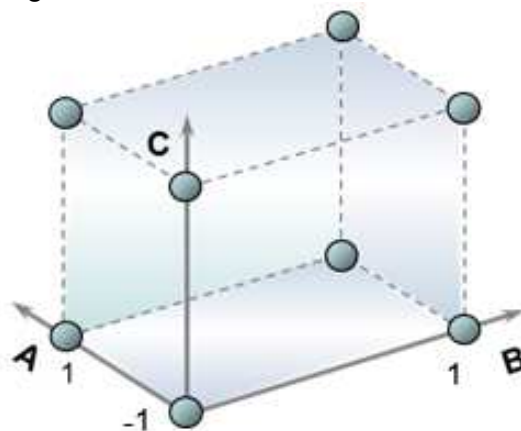
$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 \dots (b_0 = \text{Konstante})$$



Diese Modellgleichung ließe sich beliebig erweitern. Die Koeffizienten  $b$  beschreiben die Stärke der Einflussparameter. Der Versuchsplan ist so aufzubauen, dass man diese Koeffizienten bestmöglich bestimmen kann. Hierfür ist der vollfaktoriellen Versuchsplan am besten geeignet. Um das Schema besser verstehen zu können, werden in der folgenden Darstellung die „Einstellwerte“ normiert verwendet. Für das Gewicht ist die kleine Stufe 1300kg mit -1 und die obere bei 1500kg mit +1 belegt. Verallgemeinert sollen die Einflussgrößen mit A=Gewicht, B=Leistung, C=Luftwiderstand bezeichnet werden. Weitere mögliche Parameter D, E, etc. sind denkbar.

## Vollfaktorieller Versuchsplan

Ein vollfaktorieller Versuchsplan entsteht, wenn alle möglichen Einstellungen der Faktoren miteinander



kombiniert werden.

Die Anzahl der hierfür benötigten Versuche ist mit

	A	B	C	D	E	
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	-1	-1
4	1	1	-1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	-1
8	1	1	1	-1	-1	-1
9	-1	-1	-1	1	-1	-1
10	1	-1	-1	1	-1	-1
11	-1	1	-1	1	-1	-1
12	1	1	-1	1	-1	-1
13	-1	-1	1	1	-1	-1
14	1	-1	1	1	-1	-1
15	-1	1	1	1	-1	-1
16	1	1	1	1	-1	-1
17	-1	-1	-1	-1	1	-1
18	1	-1	-1	-1	1	-1

# Versuchsplanung - DoE

$p$ =Anzahl der Faktoren und je zwei Einstellungen:  $n = 2^p$

Bei 2 Faktoren sind es zunächst 4 Versuche, bei 3 ergeben sich 8, dann 16, usw. Jeder weitere Faktor führt zu einer Verdoppelung. Der Aufwand wird sehr schnell zu groß. Bestimmte Kombinationen werden für die Bestimmung der Modellkoeffizienten aber nicht gebraucht (z.B. die 3-fach Wechselwirkung  $A*B*C$ ). Deshalb gibt es die sogenannten teilfaktoriellen Versuchspläne.

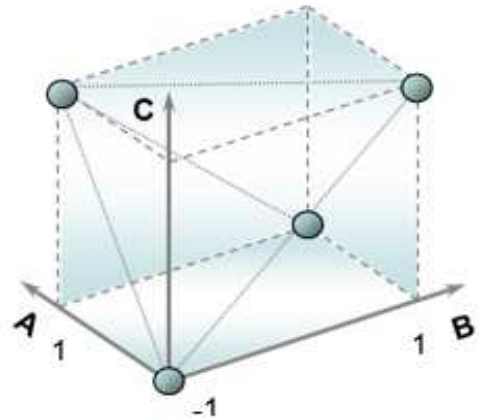
## Teilfaktorielle Versuchspläne

Allgemein wird der letzte Faktor, oder mehrere durch das Produkt der vorhergehenden Spalten (Faktoren) gebildet.

	A	B	C	D	E
1	-1	-1	-1	-1	1
2	-1	-1	-1	1	-1
3	-1	-1	1	-1	-1
4	-1	-1	1	1	1
5	-1	1	-1	-1	-1
6	-1	1	-1	1	1
7	-1	1	1	-1	1
8	-1	1	1	1	-1
9	1	-1	-1	-1	-1
10	1	-1	-1	1	1
11	1	-1	1	-1	1
12	1	-1	1	1	-1
13	1	1	-1	-1	1
14	1	1	-1	1	-1
15	1	1	1	-1	-1
16	1	1	1	1	1

Der Nachteil dieser Versuchspläne ist, dass in bestimmten Kombinationen Zweifachwechselwirkungen miteinander

vermengt sind. Im Verhältnis zum Aufwand ist der einzig nutzbare Plan der mit 5 Faktoren. Da hier zur Bildung der letzten Spalte bereits 4 vorherige verwendet werden, gibt es keine Vermengungen der Wechselwirkungen und es werden für 5 Faktoren 16 Versuche benötigt.



## Plackett-Burman-Versuchspläne

Von Plackett-Burmann gibt es feste Strukturen mit entweder 12, 20 oder 24 Versuchen, die von den teilfaktoriellen

abgeleitet sind. Bei dem Schema mit 20 und 24 Versuchen sind allerdings die Wechselwirkungen ebenfalls stark vermengt. Beim Schema mit 12 Versuchen sind die Wechselwirkungen jedoch nur zu 1/3 vermengt, sodass eine Auswertung mit Hilfe der multiplen Regression möglich ist. Mit nur 4 Faktoren wären alle möglichen 2-fach-Wechselwirkungen auswertbar (Spalte E wird nicht benötigt). Denkbar ist die Anwendung mit bis zu 5 Faktoren, wenn man davon ausgehen kann, dass in der Auswertung nicht alle Wechselwirkungen relevant sind (nur zu empfehlen für erfahrene Anwender).

	A	B	C	D	E
1	1	-1	1	-1	-1
2	1	1	-1	1	-1
3	-1	1	1	-1	1
4	1	-1	1	1	-1
5	1	1	-1	1	1
6	1	1	1	-1	1
7	-1	1	1	1	-1
8	-1	-1	1	1	1
9	-1	-1	-1	1	1
10	1	-1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	-1	-1
12	-1	-1	-1	-1	-1

# Versuchsplanung - DoE

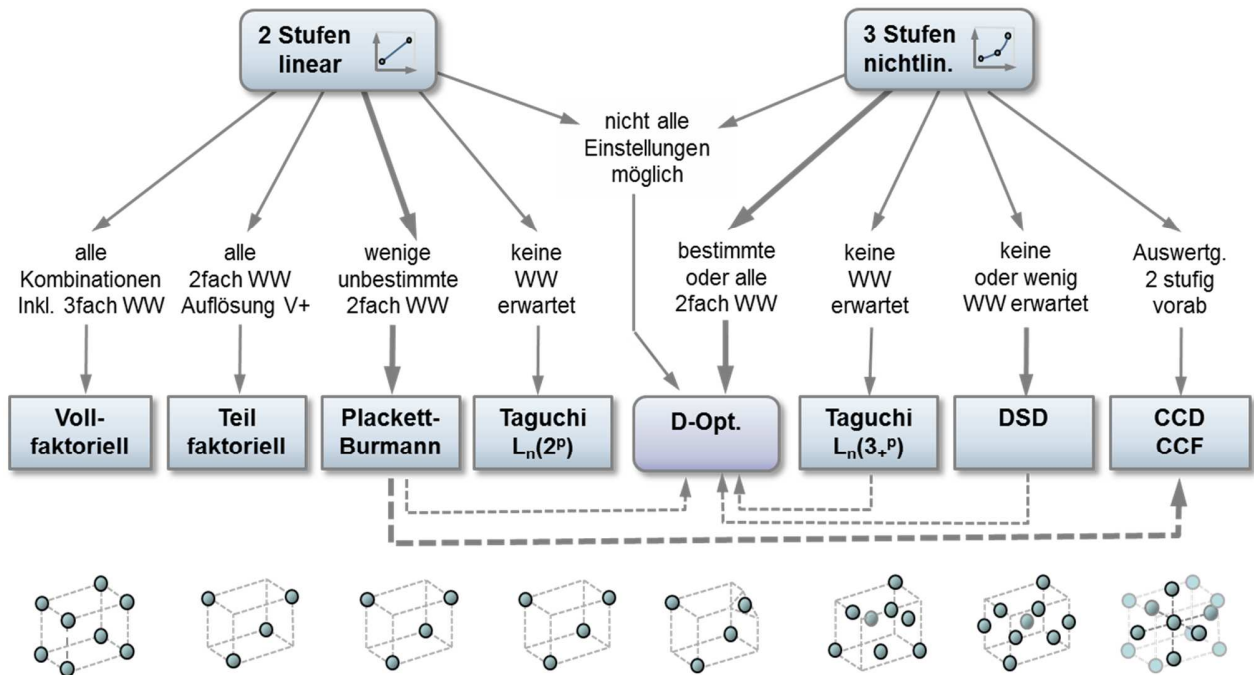
## Weitere Versuchspläne

[www.versuchsmethoden.de/D-Optimal.pdf](http://www.versuchsmethoden.de/D-Optimal.pdf)

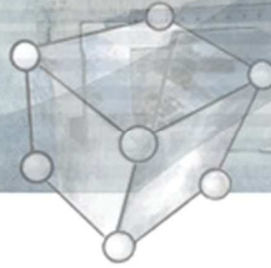
[www.versuchsmethoden.de/Definitive\\_Screening\\_Designs.pdf](http://www.versuchsmethoden.de/Definitive_Screening_Designs.pdf)

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

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



	Vollfakt.	Teilfakt.	Plackett-Burman	Taguchi	DSD	CCD	D-Opt.
orthogonal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—
quadratisch	✓	—	—	teilweise	✓	✓	✓
kubisch	✓	—	—	teilweise	—	✓	✓
Wechselwirkungen	✓	teilw. Typ IV, oder Typ V+	teilw. bei ausr. Freiheitsgr.	—	teilw. bei ausr. Freiheitsgr.	entspr. Grundplan	✓
Anzahl Versuche	sehr groß	mittel	gering	sehr gering	sehr gering	groß	gering
Teilauswert vorab	—	—	—	—	—	✓	—
Einschränk möglich	—	—	—	—	—	—	✓



## Software – Literatur – Consulting – Schulungen



### Software

Unsere Software **Visual-XSel** ist ein leistungsfähiges Tool für alle wichtigen statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden. Nicht umsonst ist diese Software in vielen großen Firmen im Einsatz – [crgraph.de/Referenzen](https://www.crgraph.de/Referenzen).

Weitere Informationen zum aktuellen Thema finden Sie auf den nächsten Seiten oder unter [crgraph.de/Versionen](https://www.crgraph.de/Versionen)



### Eigene Literatur

Unser **Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden** beinhaltet weiterführende Themen, z.B. zu Systemanalysen, Weibull- und Zuverlässigkeitsmethoden, Versuchsplanung und Datenauswertung, sowie zur Mess-System-Analyse und Prozessfähigkeit.

Weitere Informationen finden Sie unter [crgraph.de/Literatur](https://www.crgraph.de/Literatur)



### Consulting & Schulungen & Six Sigma

Bei unseren Inhouse- oder Online-Schulungen wird die praxisnahe Anwendung von statistischen Methoden vermittelt. Wir haben über 20 Jahre Erfahrung, insbesondere in der Automobilindustrie und unterstützen Sie bei Ihren Problemstellungen, führen Auswertungen für Sie durch, oder erstellen firmenspezifische Auswertevorlagen.

Weitere Informationen finden Sie unter [crgraph.de/Schulungen](https://www.crgraph.de/Schulungen)



Wir



### Hotline

Haben Sie noch Fragen, oder Anregungen? Wir stehen Ihnen gerne zur Verfügung:

Tel. +49 (0)8151-9193638

e-mail: [info@crgraph.de](mailto:info@crgraph.de)

Besuchen Sie uns auf unserer Home-Page: [www.crgraph.de](https://www.crgraph.de)

# Versuchsplanung - DoE

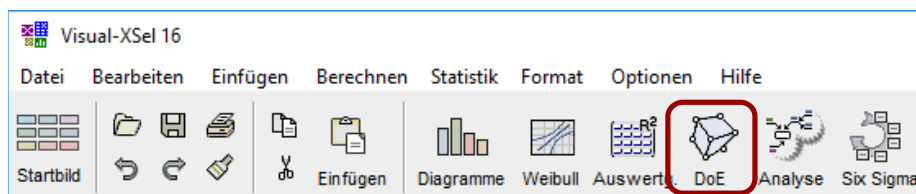
## Anwendung in Visual-XSel 16.0

[www.crgraph.de](http://www.crgraph.de)

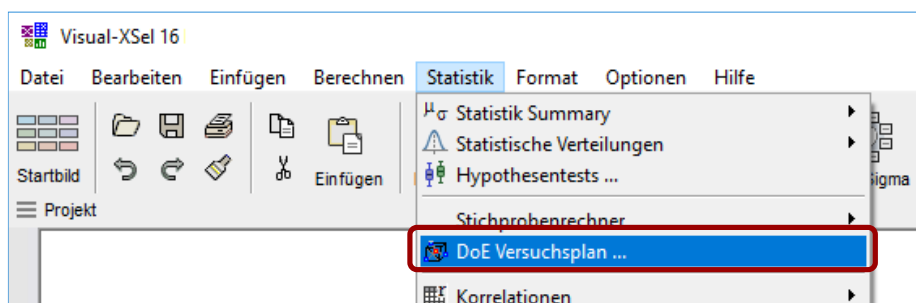
Verwenden Sie für den Einstieg die Versuchsplanung im Leitfaden:



oder die Ikone



oder den Menüpunkt





## Versuchsplanung - DoE

Der erste Schritt zur Erstellung einer DoE ist die Faktoren zu definieren, (auch als Parameter bezeichnet). Drücken Sie hierzu die Taste **quantitativ** für metrische Einstellwerte, oder **kategorial** für Varianten, definiert durch textliche Beschreibung. Diese dürfen max. 20 Zeichen umfassen.

Geben Sie für jeden Faktor die gewünschten Einstellwerte vor (mindestens 2). Optional ist die Angabe einer Einheit möglich.

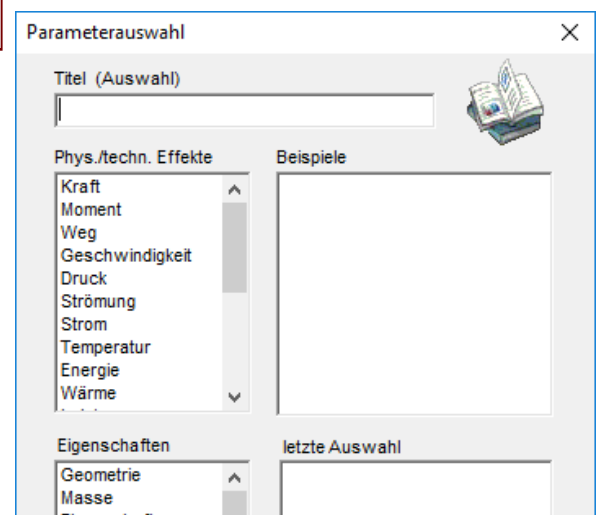
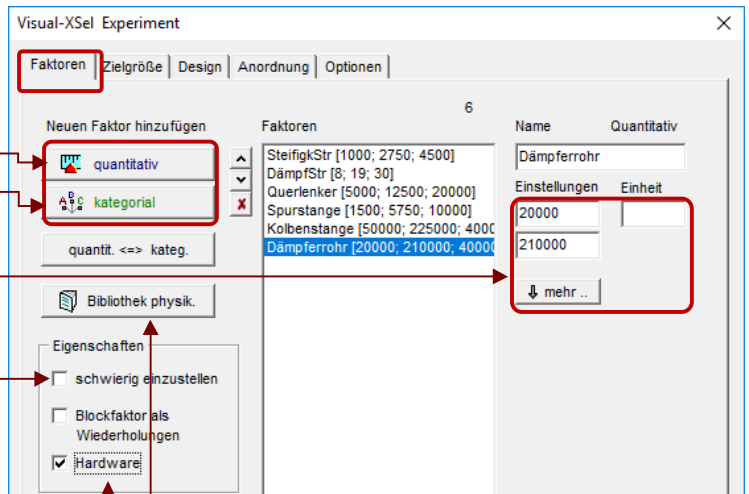
Wenn ein Faktor **schwierig einzustellen** ist, wird die Versuchsreihenfolge hierdurch optimal festgelegt (möglichst wenig „Umrüstungen“).

Wird die Option **Hardware** gesetzt, ist es möglich eine Tabelle für die notwendig herzustellenden Varianten auszugeben.

Die **Bibliothek physikalischer** Einflussgrößen öffnet eine Dialogbox einer Parameterauswahl, die dabei hilft, nochmal zu überprüfen evtl. einen wichtigen Einfluss zu übersehen.

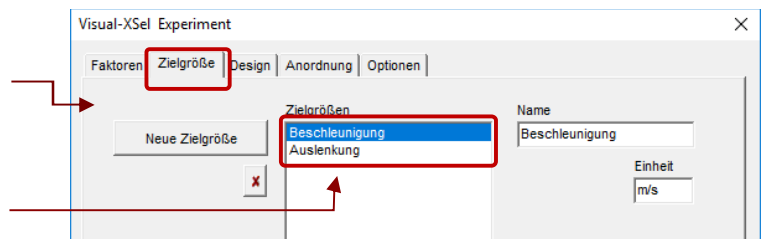
Um einen Titel zu übernehmen, muss man in die Liste der **Phys./tech. Effekte** links doppelklicken.

Die Auswahl kann erweitert werden, indem in der Titelzeile neue Parameter eingegeben werden.



Die **Zielgröße** wird unter einem eigenen Reiter eingegeben. Klicken Sie auf die Taste Neue Zielgröße und ändern den Namen.

Es können bis zu 16 Zielgrößen definiert werden. In der später erzeugten Tabelle sind dass die Spaltennamen, für die zu befüllenden „Messwerte“.



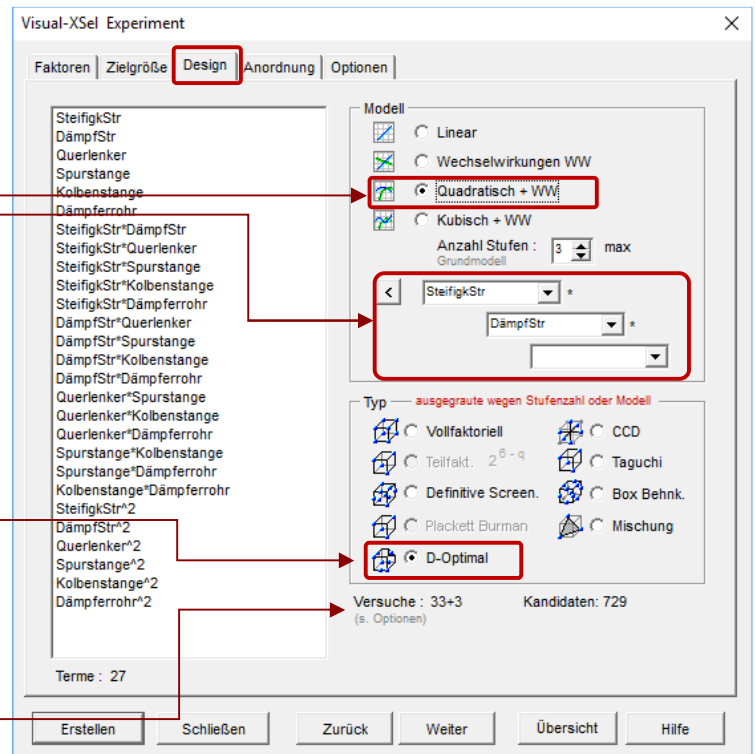
# Versuchsplanung - DoE

Der nächste Schritt ist das **Modell** und den **Typ** festzulegen. Hier wurde ein quadratisches Modell mit Wechselwirkungen gewählt.

Ab Version 16.0 sind auch 3-fach-Wechselwirkungen möglich. Diese können gezielt ausgewählt werden, wobei hierfür Vorkenntnisse genutzt werden sollten. Es ist nicht zu empfehlen, alle möglichen Kombinationen zu setzen. 3-fach-Wechselwirkungen können nur bei Typ Vollfaktoriell und D-Optimal verwendet werden.

Der Standard-Typ ist D-Optimal, der die meisten Anwendungsmöglichkeiten hat. Falls bei vorhandener Anzahl Parameter ein anderer Typ geeigneter wäre, so wird dies angezeigt.

Die sich ergebende Anzahl Versuche + Wiederholungen, z.B. im Zentrum, wird unten rechts dargestellt.



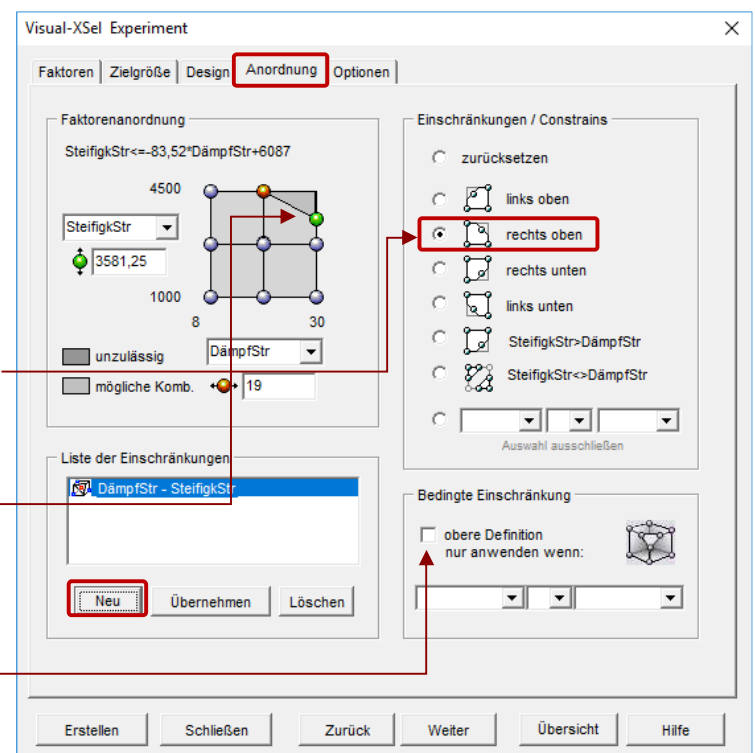
Unter der Rubrik **Anordnung** können für den Versuchsplan Einschränkungen getroffen werden, die z.B. technisch oder physikalisch nicht möglich sind (nur bei D-Optimal und quantitativen Faktoren). Im Beispiel konnte die Kombination  $\text{SteifigStr}=4500$  bei  $\text{DämpfStr}=30$  wegen zu hoher Kräfte nicht erreicht werden. Jede Einstellung für sich alleine ist aber möglich.

Definieren Sie rechts, welche Einschränkung nicht im Versuch gemacht werden soll. Konkrete Einstellungen lassen sich durch Ziehen mit der Maus bei den farbigen Punkten ändern.

Damit diese Einschränkung übernommen wird, muss noch die Taste **Neu** gedrückt werden.

Hinweis:

Unter **Bedingte Einschränkungen** kann definiert werden, ob die Einschrän-





## Versuchsplanung - DoE

kung nur bei weiteren Faktorkombinationen notwendig ist. Dies ist zu empfehlen, um der Versuchsraum nicht unnötig einzuschränken.

Unter **Optionen** können u.a. zusätzliche Versuche definiert werden. Für D-Optimal werden diese benötigt, um neben der Bestimmung des Modells die p-values zu berechnen.

Die darauf folgenden sind für die Berechnung der Messunsicherheit bei gleichen Parametereinstellungen („pure error“).

Alternativ können für jede Versuchskombination Wiederholungen vorgesehen werden. Das ist zu empfehlen, wenn durch Vorversuche bekannte ist, wie stark die Messungen streuen. Eine notwendige Anzahl zur sicheren Erkennung von Effekten lässt sich über die Taste „**berechnen**“ bestimmen.

Nur bei D-Optimal ist es möglich, bereits bestehende Ergebnisse zu berücksichtigen. Der Algorithmus fügt dann nur die Versuche hinzu, die notwendig sind, um die Auswertbarkeit sicherzustellen. Hierdurch kann u.U. eine große Anzahl Versuche eingespart werden.

### Hinweis:

Bei D-Optimal können auch Versuche vorgegeben werden, aus deren Untermenge mit Hilfe der besten Determinante die günstigste Auswahl getroffen wird. Damit lassen sich auch komplexere Einschränkungen treffen, wenn in der Tabelle nur „machbare“ Versuche „angeboten“ werden.

## Versuchsplanung - DoE

Mit der Taste **Erstellen**, bzw. **Fertig**, wird der Versuchsplan erstellt.

Zuvor erscheint noch eine abschließende Abfrage, ob die Reihenfolge der Versuche laufend, oder zufällig sein soll. Letztes ist zu empfehlen, damit zeitliche auftretende Störgrößen möglichst gleichverteilt in den Versuchen auftreten.

Sind unter dem Reiter **Faktoren** mindestens zwei Faktoren als Hardware deklariert, kann eine Tabelle erstellt werden, welche Teile bereitgestellt werden müssen. Diese Tabelle steht dann unter dem Tabellenreiter Hardware.

Für den Fall, dass, wie vorher beschrieben, keine Wiederholungen gewählt wurden, oder unter **Optionen/Zusätzlich** alle Einstellungen auf 0 stehen, werden hier nochmal 3 Wiederholungen empfohlen, damit die Streuung bewertet werden kann. Dies ist notwendig, um bei der Auswertung später den sogenannten „Pure Error“ und das „Lack of Fit“ berechnen zu können.

Benutzerinformation

Versuchsreihenfolge

Laufende Nummer  Zufällige Reihenfolge

Wiederholungen nebeneinander

Hardware - Varianten

Tabelle mit Anzahl unterschiedlicher Hardware erstellen  
Varianten stehen in Tabellenreiter "Hardware"

Wiederholungen

Wiederholungen sind notwendig zur Beurteilung der Streuung!

3 im Zentrum (nur quantitativ)  3 in Grundstufe  keine

Ok Hilfe

In der darauffolgenden Tabelle mit dem Versuchsplan sind die Ergebnisse in die Spalte der Zielgröße einzutragen. Die Auswertung erfolgt in der Regel mit der Multiplen Regression. Die weitere Beschreibung hierzu ist:

[www.versuchsmethoden.de/Multiple\\_Regression.pdf](http://www.versuchsmethoden.de/Multiple_Regression.pdf)