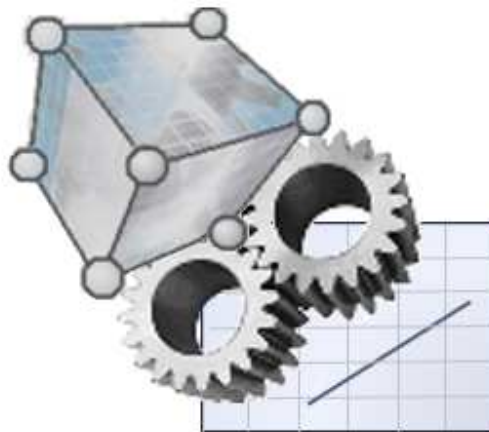




# Versuchsplanung

## Design of Experiment DoE



### Inhalt

Voraussetzung und verwandte Themen.....	2
Keywords.....	2
Einführung.....	2
Ziel und Nutzen .....	3
Fallbeispiel .....	3
Grundlagen.....	5
Literatur - Weiterführende Beschreibungen.....	9
Consulting & Schulungen .....	10
Hotline .....	10
Anwendung in Visual-XSel.....	11

## Voraussetzung und verwandte Themen

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

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

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

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

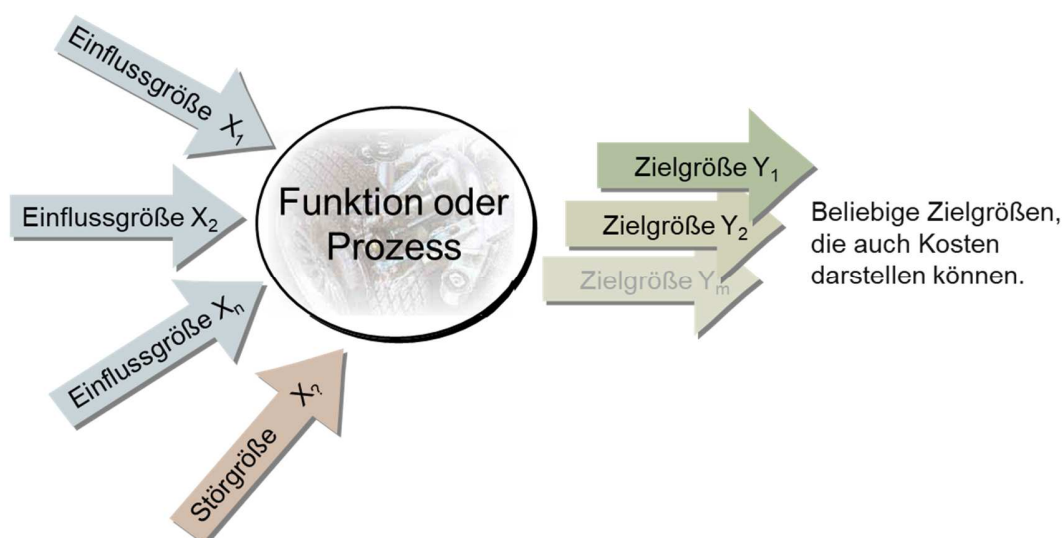
## Keywords:

Versuchsplanung, Design of Experiment, DoE, teilfaktoriell, faktoriell, fraktionell, Plackett-Burman, D-Optimal, Definitive Screening Designs, Wechselwirkungen, Modell, Software

## Einführung

Mit Hilfe der Versuchsplanung sollen die Wirkungen von mehreren Einflussparametern auf eine Zielgröße eindeutig bestimmt 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. Einflussgrößen werden in der DoE auch als Faktoren bezeichnet.



Leider scheitern Versuchsplanungen an der ungenügenden Vorbereitung, wenn nicht die richtigen Faktoren einbezogen werden. Die besten statistischen Methoden können dies in der Auswertung später nicht mehr aufdecken. Das Ziel einer Systemanalyse als Vorbereitung ist es die richtigen Einflussparameter zu erkennen und zu priorisieren. Die weniger wichtigen können weggelassen werden und reduzieren so den Versuchsaufwand.

## 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.

## Fallbeispiel

Es soll der Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeuges untersucht werden in Hinblick auf Motorleistung und Gewicht.

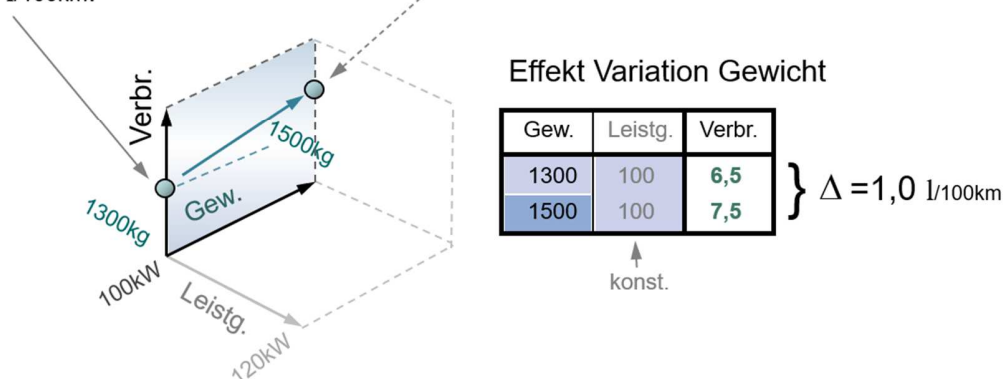
Es gibt eine Motorvariante mit 100kW und 120kW. Das Fahrzeuggewicht liegt zwischen 1300kg und 1500kg. Konstruktiv bleiben die Randbedingungen des Fahrzeuges gleich, die Motorleistung wird über Software gesteuert, das Fahrzeuggewicht durch Zusatzgewichte.

Zunächst muss eine Ausgangsmessung gemacht werden – Versuch 1

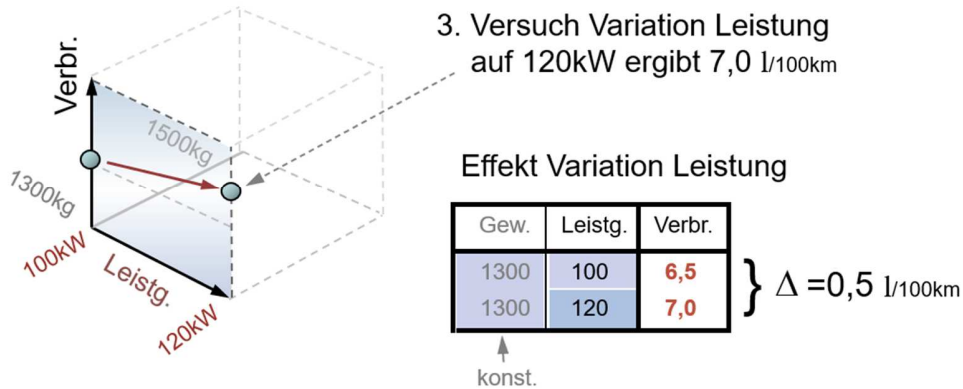
In einem weiteren Versuch 2 wird die Variation des Gewichtes untersucht.

1. Versuch bei Ausgangsvariante 100kW und 1300kg. Verbrauch im Testzyklus ergibt 6,5 l/100km.

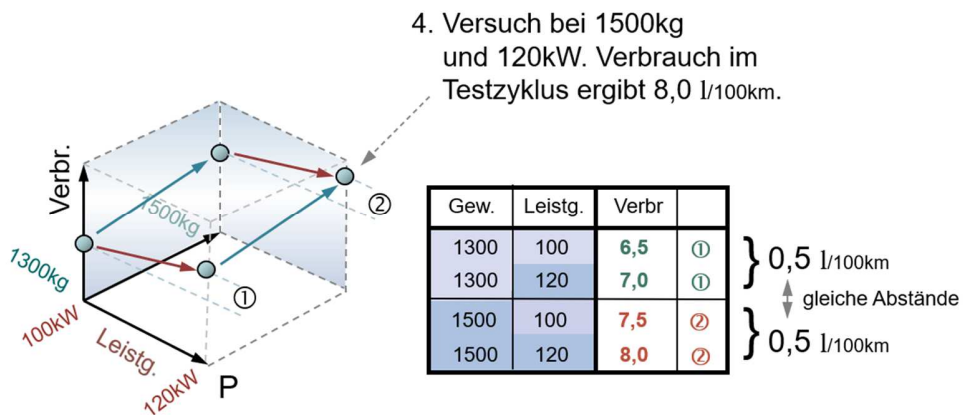
2. Versuch Variation Gewicht auf 1500kg. Verbrauch im Testzyklus ergibt 7,5 l/100km.



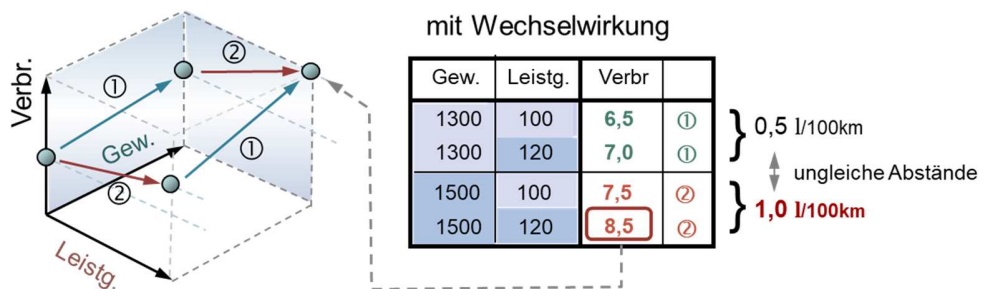
Der 3. Versuch soll den Einfluss der Leistung bestimmen. Minimale Anzahl Versuche = 3 (Grundstufe als Ausgangspunkt + 2 Variationen). Man nennt dies auch „One factor at the time“. Messfehler beeinflussen dabei die Ergebnisse relativ stark.



Der Verbrauch des 4. Versuches ist die Summe der Einzeleffekte von Gewicht und Leistung  $\Rightarrow$  keine Wechselwirkung.



Wechselwirkungen beschreiben das unterschiedliche Verhalten der Zielgröße bei Veränderung zweier Parameter.



Im letzten Bild ergibt jetzt der Verbrauch des 4. Versuches mehr als die Summe der Einzeleffekte von Gewicht und Leistung.  $\Rightarrow$  Eine Wechselwirkung ist hier vorhanden! Die Anstiege verlaufen nicht mehr parallel.

**Fazit:** Wenn es Wechselwirkungen gibt, was das entscheidende Ziel einer DoE ist, dann können diese nur in einem Versuchsplan eindeutig bestimmt werden.

## 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:

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

Beispiel Kraftstoffverbrauch:  
 $x_3$  = Luftwiderstand  
 $x_2$  = Leistung  
 $x_1$  = Gewicht  
 $y$  = Verbrauch

Diese Modellgleichung ließe sich beliebig erweitern. Die Koeffizienten  $b$  beschreiben die Stärke der Einflussparameter. Mathematisch wird eine Wechselwirkung als Produkt zweier Faktoren beschrieben, also allgemein als  $x_1 \cdot x_2$ .

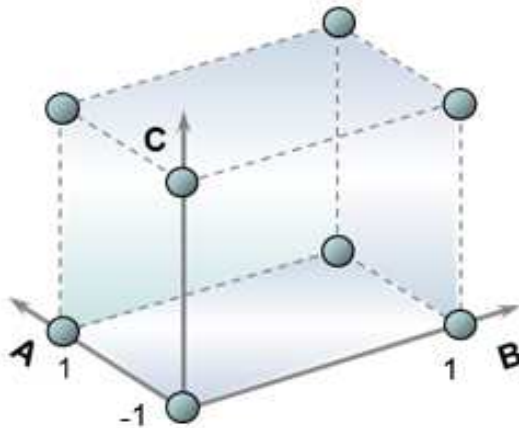
$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 \dots$$

Im vorherigen Fallbeispiel also das Produkt aus Gewicht \* Leistung. Der Koeffizient  $b_{12}$  beschreibt dann die Stärke der „Verschränkung“ in der Grafik, wie im letzten Bild des Fallbeispiels.

Der Versuchsplan ist so aufzubauen, dass man diese Koeffizienten bestmöglich bestimmen kann. Hierfür ist der vollfaktorielle 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.

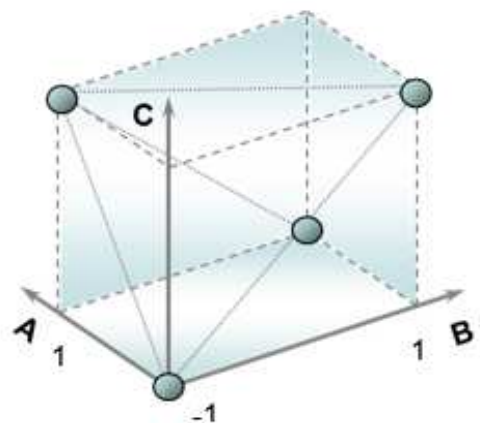


Die Anzahl der hierfür benötigten Versuche ist mit  $p$ =Anzahl der Faktoren und je zwei Einstellungen:

$$n = 2^p$$

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.

	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



### Teilfaktorielle Versuchspläne

Teilfaktorielle, auch fraktionell genannte Pläne haben eine wesentlich geringere Anzahl Versuche, als vollfaktoriell. Wenn der letzte Faktor durch das Produkt der vorhergehenden gebildet wird, ist es die Hälfte, siehe Tabelle unten. Werden mehrere durch das Produkt der vorhergehenden Spalten (Faktoren) gebildet, sind es immer weniger. Der Nachteil dieser Versuchspläne ist, dass in bestimmten Kombinationen Zweifachwechselwirkungen miteinander vermengt sind. Im Verhältnis zum Aufwand ist der einzig nutz-

	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

volle 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

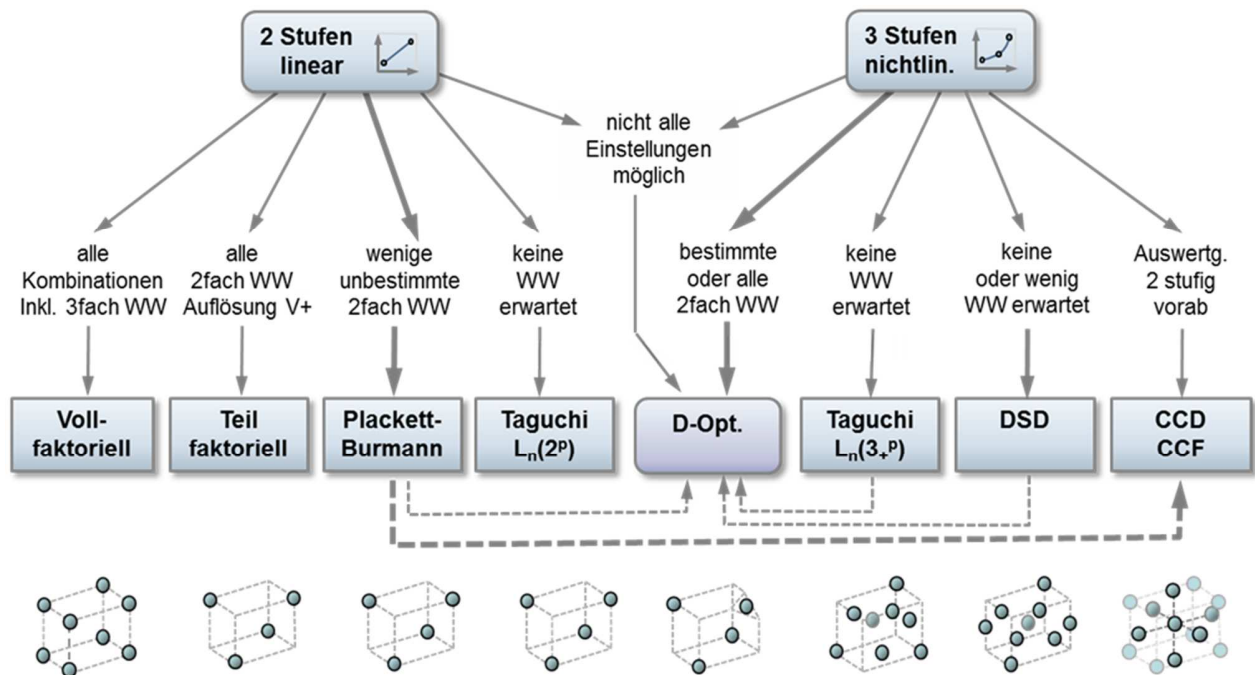
Von Plackett-Burmann gibt es feste Strukturen mit entweder 12, 20 oder 24 Versuchen, die von den teilfaktoriellen abgeleitet sind. Bei dem Schema mit 20 und 24 Versuchen sind allerdings die Wechselwirkungen ebenfalls stark vermengt. Beim Schema mit 12 Versuchen sind die Wechselwirkungen jedoch nur zu 1/3 vermengt, so dass eine Auswertung

	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

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).

### Weitere Versuchspläne

Folgende Übersicht zeigt die wichtigsten Versuchspläne, wobei es neben den vorher beschriebenen auch sogenannte 3-stufige für nichtlineare Zusammenhänge gibt:



Taguchi-Versuchspläne sind ebenfalls eine Art teilfaktorielle Pläne mit extrem wenigen Versuchen und der Möglichkeit auch nichtlineare Verläufe bestimmen zu können. Wechselwirkungen lassen sich jedoch praktisch nicht auswerten.

Tipp: Eine bessere Alternative sind die relativ neuen Definitive Screening Designs - DSD. Bis auf einen Faktor müssen allerdings alle anderen 3-stufig sein und Wechselwirkungen können nur vollständig in einer bestimmten Erweiterung ausgewertet werden.

Die sogenannten D-Optimalen Versuchspläne sind etwas aufwendiger, sind aber extrem flexibel, benötigen wenig Versuche und können auch bestehende Versuche miteinbeziehen.

Die Central-Composite-Designs, oder Central-Composite-Face Pläne bauen auf Voll- oder Teilfaktoriellen Grundplänen auf und haben eine sternförmige Ergänzung um nicht-lineare Verläufe auswerten zu können. Sie benötigen jedoch sehr viele Versuche.

Wichtig ist es sich frühzeitig eine Strategie für die Abläufe festzulegen, um die Ziele zu erreichen.

Weiter Details gibt es in diesen Steckbriefen:

[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)



## Literatur - Weiterführende Beschreibungen

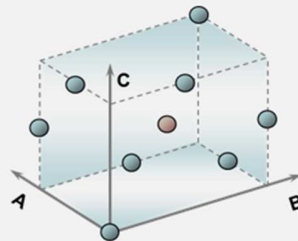
Ausführliche softwareunabhängige Beschreibungen zum Thema DoE und der dazugehörigen Auswertungen gibt es im

### Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden

#### Definitive Screening Designs DSD

Sogenannte Definitive Screening Designs sind sehr neu von Jones und Nachtshiem entwickelte Versuchspläne mit sehr geringem Versuchsumfang.

Sie ermöglichen die Auswertung von quadratischen Modellen und basieren deshalb auf 3 Stufen. Zwischen den Hauptfaktoren untereinander und den quadratischen Termen gibt es keine Vermengung (orthogonal). Die Wechselwirkungen sind nicht zu 100% vermengt.



Nr	A	B	C	D
1	0	1	-1	-1
2	0	-1	1	1
3	-1	0	-1	1
4	1	0	1	-1
5	-1	-1	0	-1
6	1	1	0	1
7	-1	1	1	0
8	1	-1	-1	0
9	0	0	0	0

In der generischen Erzeugung dieser Versuchspläne (iterativ mit Hilfe der Determinante) ergibt sich regulär die Anzahl Versuche mit  $n = 2^p + 2$ . Manche Pläne, z.B. für  $p=5$  sind dann allerdings teilweise zwischen den Hauptfaktoren vermengt. Hier müssen bis zu 3 Versuchszeilen ergänzt werden. Der Gesamtumfang ergibt sich somit zu:

$$n = 2^p + 2 + (1..3)$$

Alle Faktoren müssen durchgehend auf 3 Stufen sein und es lassen sich keine kategorialen Faktoren darstellen. Nachteilig ist auch, dass keine Auswertung aller möglichen



Weitere Informationen und Leseproben:

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

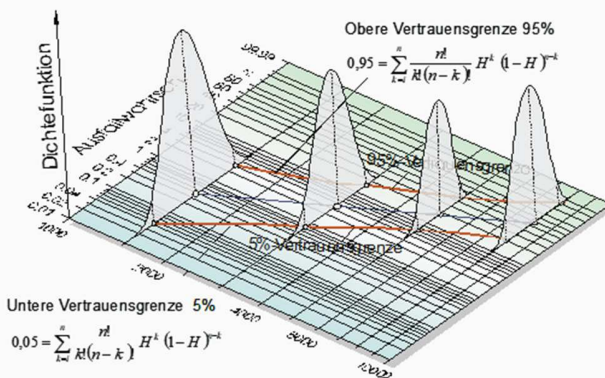
Speziell das Buch

### Weibull & Zuverlässigkeitsmethoden

vertieft anwendungsbezogen die Statistiken und Methoden rund um Weibull und aller weitere Verteilungen. Die Versuchsplanung behandelt hier spezielle Lebensdauerfragen aufgrund unterschiedlicher Belastungen, Temperaturen, etc.

#### 2.5.1 Vertrauensbereich der Weibull-Gerade

Bei der Weibull-Auswertung handelt es sich praktisch immer um eine Stichprobe. Die Gerade im Weibull-Diagramm entspricht also nur der Stichprobe. Je mehr Teile geprüft oder ausgewertet werden, desto mehr streuen die „Punkte“ um die Weibull-Gerade. Man kann statistisch eine Abschätzung über den Bereich der Grundgesamtheit machen. Hierfür wird ein sogenannter „Vertrauensbereich“ eingeführt. In der Regel gibt man diesen mit 90% an. Die obere Vertrauensgrenze entspricht dann einer Aussage-wahrscheinlichkeit von  $P_A=95\%$ .



Weitere Informationen und Leseproben:

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



## Consulting & Schulungen

Bei unseren Inhouse- oder Online-Schulungen wird die praxisnahe Anwendung von statistischen Methoden vermittelt. Wir haben über 25 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)

Sie haben ein konkretes Qualitätsproblem, oder wollen ein Produkt effizient und zuverlässig entwickeln? Sie wollen keine Statistik-Software anschaffen, weil diese voraussichtlich zu selten gebraucht wird, oder weil zu wenig Zeit zur Einarbeitung vorhanden ist? Dann sind unsere Q-Support Pakete genau das Richtige:

[crgraph.de/consulting](https://www.crgraph.de/consulting)



## 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)

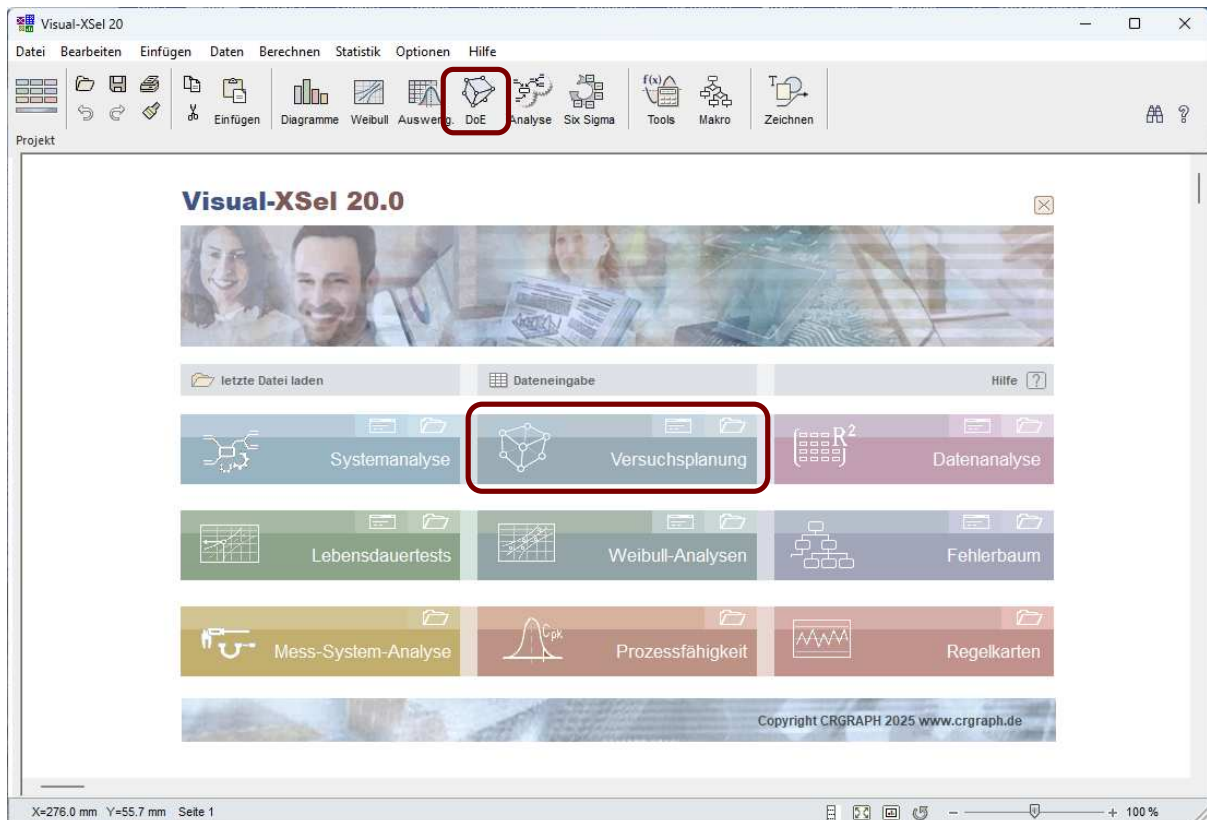
Besuchen Sie uns auf unserer Home-Page: [www.crgraph.de](https://www.crgraph.de)



## Anwendung in Visual-XSel

www.crgraph.de

Unsere Software **Visual-XSel** ist ein leistungsfähiges Tool für alle wichtigen statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden. Verwenden Sie für den Einstieg die **Versuchsplanung** im Leitfaden (siehe auch [crgraph.de/themen-index](http://crgraph.de/themen-index)), oder die Ikone **DoE**.



Hier finden Sie eine Übersicht und Einstiegsvideos:

[crgraph.de/visual-xsel-software/](http://crgraph.de/visual-xsel-software/)

Speziell zur DoE gibt es in Youtube ein Video:

[youtu.be/g9bj2r69jV0](https://youtu.be/g9bj2r69jV0)

Nicht umsonst ist diese Software in vielen namhaften Firmen im Einsatz:

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

Die folgende Beschreibung ist eine Anleitung und Einführung in die Erstellung von Versuchsplänen in Visual-XSel.

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.

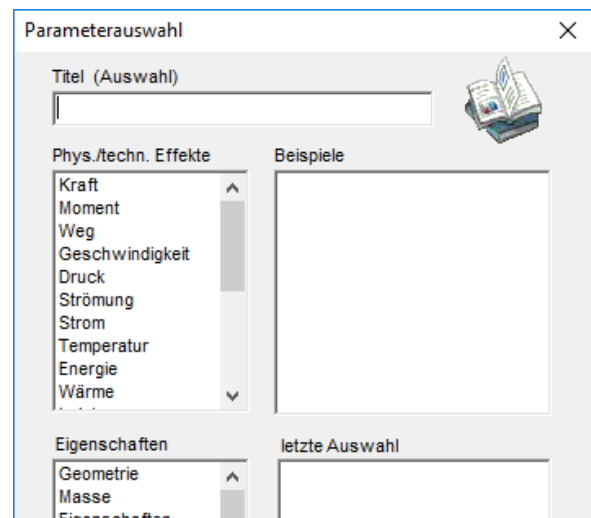
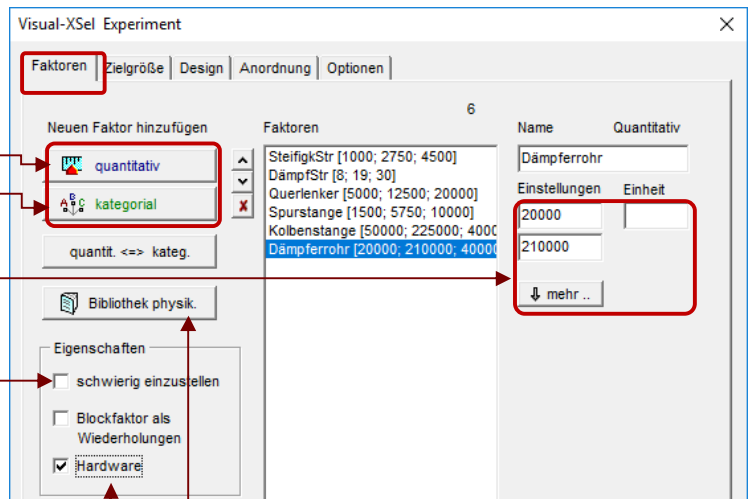
Wenn ein Faktor **schwierig einzustellen** ist, wird die Versuchsreihenfolge hierdurch optimal festgelegt (möglichst wenig „Umrüstungen“).

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.

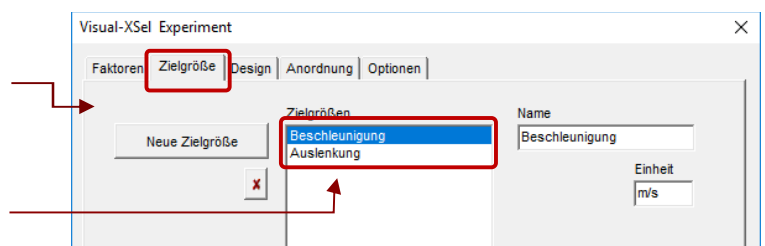
Um einen Titel zu übernehmen, muss man in die Liste der **Phys./tech. Effekte** links doppelklicken.

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“.

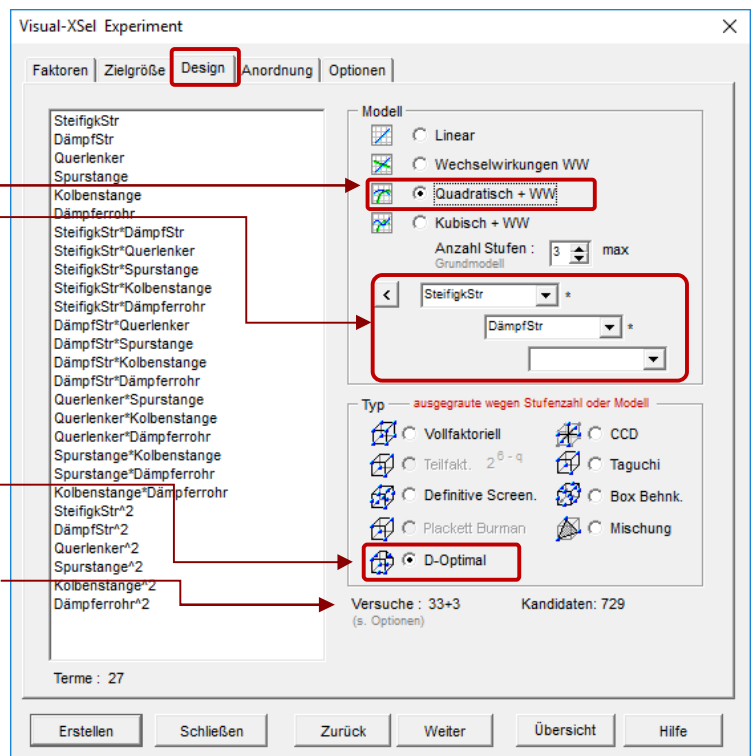


Der nächste Schritt ist das **Modell** und den **Typ** festzulegen. Hier wurde ein quadratisches Modell mit Wechselwirkungen gewählt.

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.



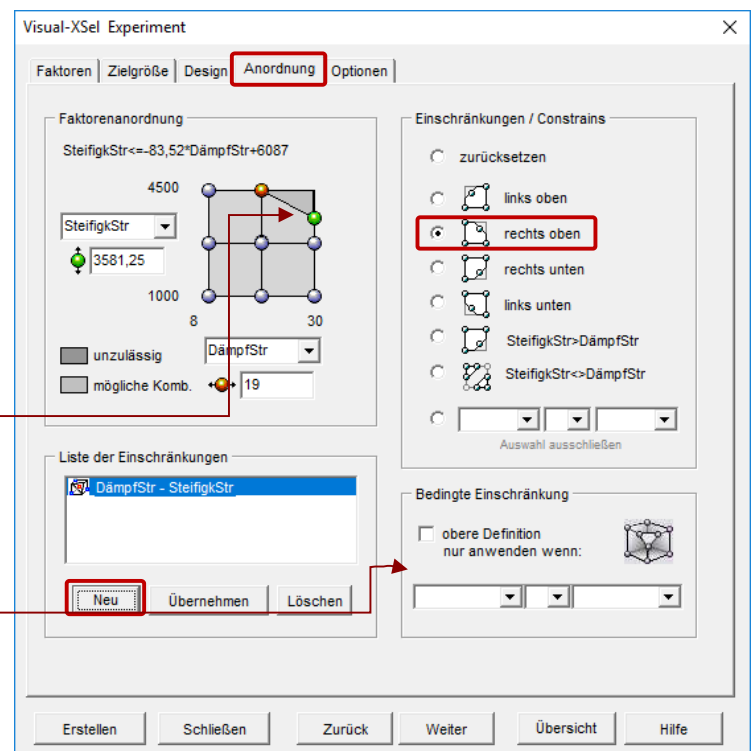
Unter der Rubrik **Anordnung** können für den Versuchsplan Einschränkungen getroffen werden, die z.B. technisch oder physikalisch nicht möglich sind (nur bei D-Optimal und quantitativen Faktoren). Im Beispiel konnte die Kombination  $SteifigStr=4500$  bei  $DämpfStr=30$  wegen zu hoher Kräfte nicht erreicht 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 Einschränkung nur bei weiteren Faktorkombinationen notwendig ist. Dies ist zu empfehlen, um der Versuchsraum nicht unnötig einzuschränken.

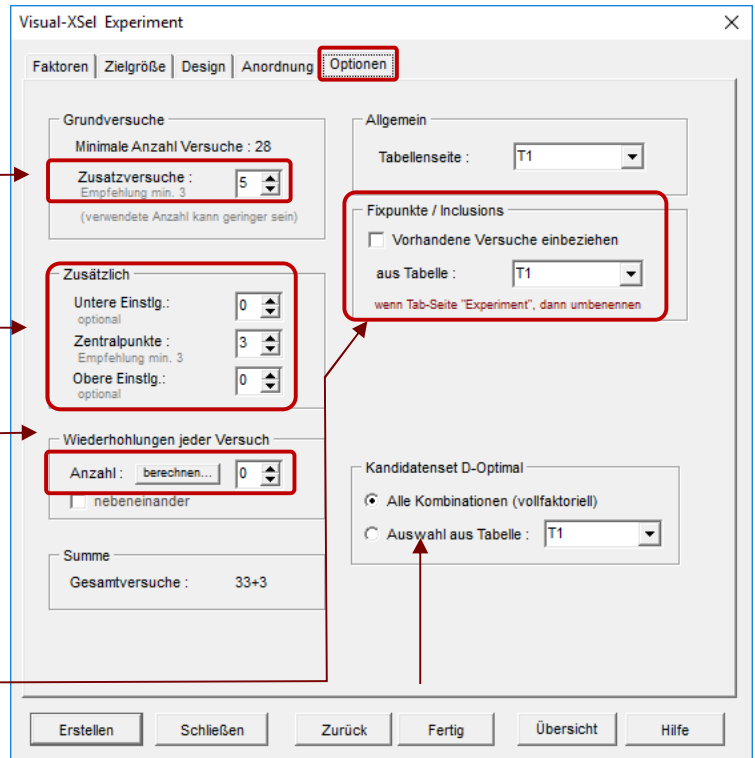


Unter **Optionen** können u.a. zusätzliche Versuche definiert werden. Für D-Optimal werden diese benötigt, um neben der Bestimmung des Modells die p-values zu berechnen.

Die darauffolgenden 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.

Tipp: 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. Best Practice ist es mit kleineren Plänen zu starten und diese dann über D-Optimal zu ergänzen, z.B. für nichtlineare Zusammenhänge.



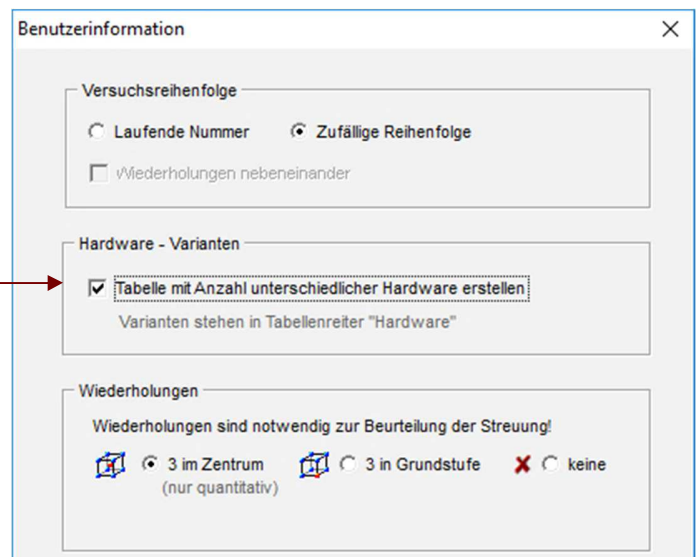
**Hinweis:**

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.

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.

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%20Regression.pdf)

## Zentralpunkte [Expertenwissen]

Tipp: Für ein lineares Modell kann über Zentralpunkte eine evtl. Nichtlinearität geprüft werden. Im Beispiel für Zentralpunkte aus dem Taschenbuch Versuchsplanung von Prof. Kleppmann gibt es 4 Zentralpunkte. Diese liegen von ihren Einstellungen genau in der Mitte der Faktoren Temperatur, Zeit und Katalysator.

Ist das Modell ausreichend linear, so müssen die Messergebnisse für die Zielgröße (hier die Ausbeute) in etwa in der Mitte der Ergebnisse für die Randbereiche liegen. Um dies zu testen, ist eine „Informationsspalte“ mit dem Namen „**CenterPnt**“ notwendig, die kennzeichnet, welche Zeilen die Zentralpunkte sind. Bei der Auswertung wird diese Spalte genauso behandelt, wie der Faktor Temp, Zeit und Kat. Das Ziel sollte hier aber sein, dass dieser Faktor **CenterPnt** über den p-Value nicht signifikant ist. Dann gibt es keinen Unterschied, ob der Zentralpunkt für das Model vorhanden ist, oder nicht und man kann von einem linearen Zusammenhang sprechen.

Hinweis: Gibt es im Modell nur Zentralpunkte, so kann kein quadratisches Modell bestimmt werden, da die Zuordnung auf jeweils nur einen Faktor nicht möglich ist.

Bei der Erstellung eines Versuchsplanes sollte man immer Wiederholungen im Zentrum auswählen.

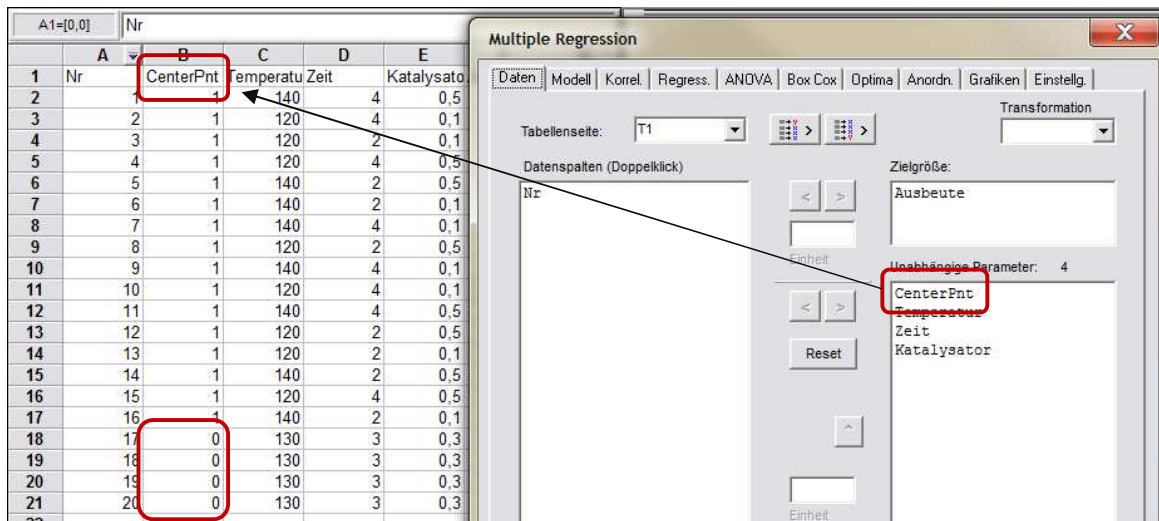
## Auswertung

Bei der späteren Auswertung wird zunächst geprüft, ob es Zentralpunkte gibt. Wenn ja, wie empfohlen, folgt eine Abfrage, ob eine zusätzliche Auswertung über eine Kennzeichnungsspalte **CenterPnt** erfolgen soll. Bestätigen Sie diese Abfrage mit Ja

Nr	A	B	C	D	E
1	Nr	Temperatu	Zeit	Katalysato	Ausbeute
2	1	140	4	0,5	68,5
3	2	120	4	0,1	56,7
4	3	120	2	0,1	52,8
5	4	120	4	0,5	56,5
6	5	140	2	0,5	62,2
7	6	140	2	0,1	61,5
8	7	140	4	0,1	67,9
9	8	120	2	0,5	53,6
10	9	140	4	0,1	70,2
11	10	120	4	0,1	55,2
12	11	140	4	0,5	67,2
13	12	120	2	0,5	54,1
14	13	120	2	0,1	54,1
15	14	140	2	0,5	62,9
16	15	120	4	0,5	54,6
17	16	140	2	0,1	61,8
18	17	130	3	0,3	62,8
19	18	130	3	0,3	60,5
20	19	130	3	0,3	62,9
21	20	130	3	0,3	61,8
22					

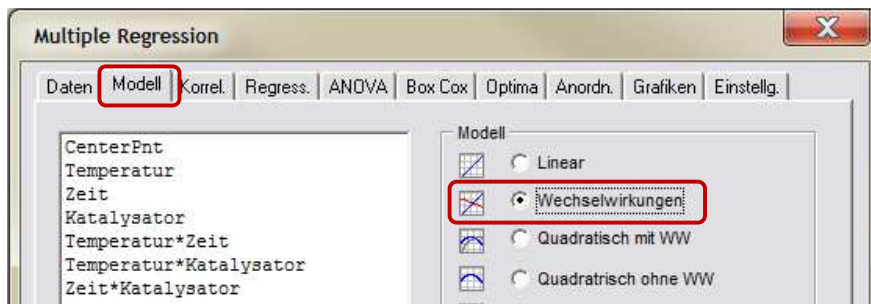
The screenshot shows a 'Multiple Regression' dialog box with a warning message: 'Achtung: Es gibt Zentralpunkte. Für die Bestimmung der Signifikanz der Zentralpunkte ist die Spalte und der Term "CenterPnt" mit aufzunehmen.' The dialog box has 'Ja' and 'Nein' buttons. A red box highlights the 'CenterPnt' column in the data table, and a red box highlights the 'Regress.' tab in the dialog box.

und es wird eine neue Spalte eingefügt:

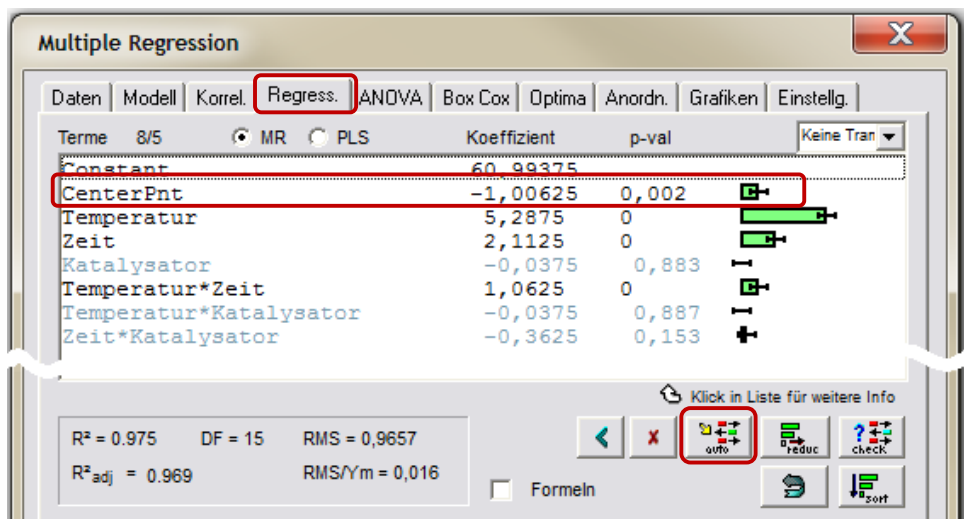


Überall, wo eine 0 vorkommt, gibt es Zentralpunkte. Ändern Sie nicht manuell diese Spalte und übernehmen Sie **CenterPnt** als Parameter für die spätere Auswertung.

Unter dem Reiter Modell werden über die Auswahl Wechselwirkungen keine Paare zwischen **CenterPnt** und den anderen Termen angelegt. Der Titel **CenterPnt** sollte deshalb nicht geändert werden.



Nach Auswahl der Taste Auto bleibt der **CenterPnt** signifikant.



Es ist deshalb also davon auszugehen, dass das Modell nichtlinear ist. Für jeden Parameter müssen in weiteren Versuchen getrennt quadratische Zusammenhänge untersucht werden, oder im Versuchsplan wird ein quadratisches Modell ausgewählt.

In dieser späteren Auswertung braucht der Term **CenterPnt** dann nicht mehr im Modell mit aufgenommen werden. Die Auswertung des **CenterPnt's** ist nur für das lineare Modell sinnvoll.

**Hinweis:**

In anderen Programmen wird als Constant der Werte ausgegeben, der hier die Summe von Constant + CenterPnt darstellt.