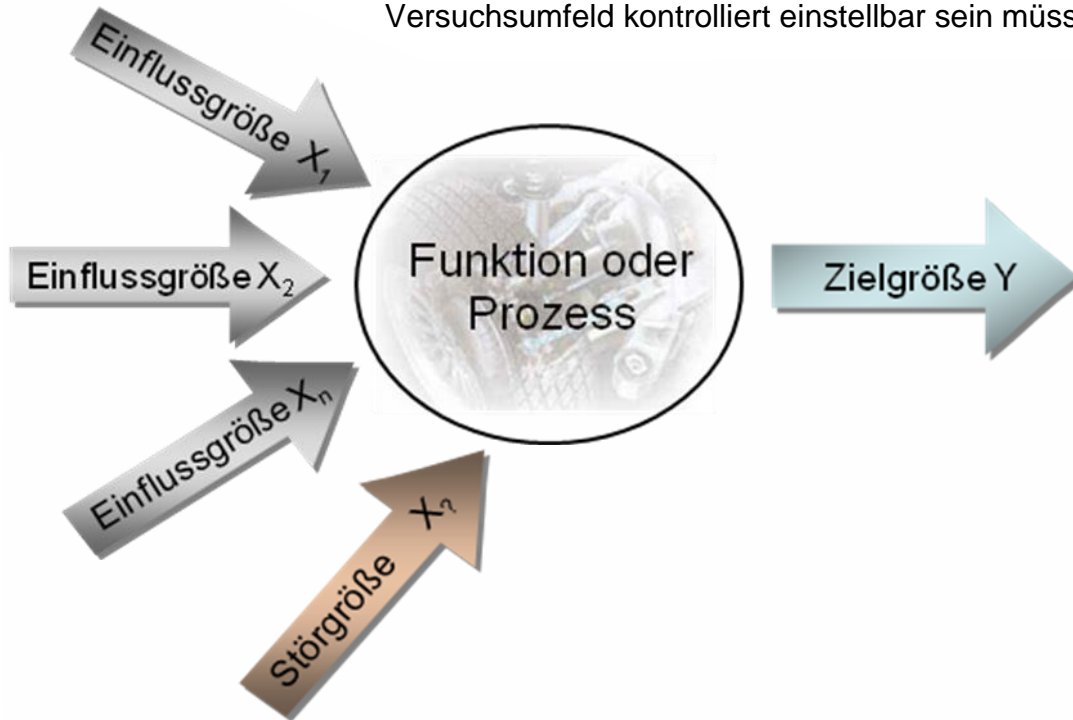


Grundlagen

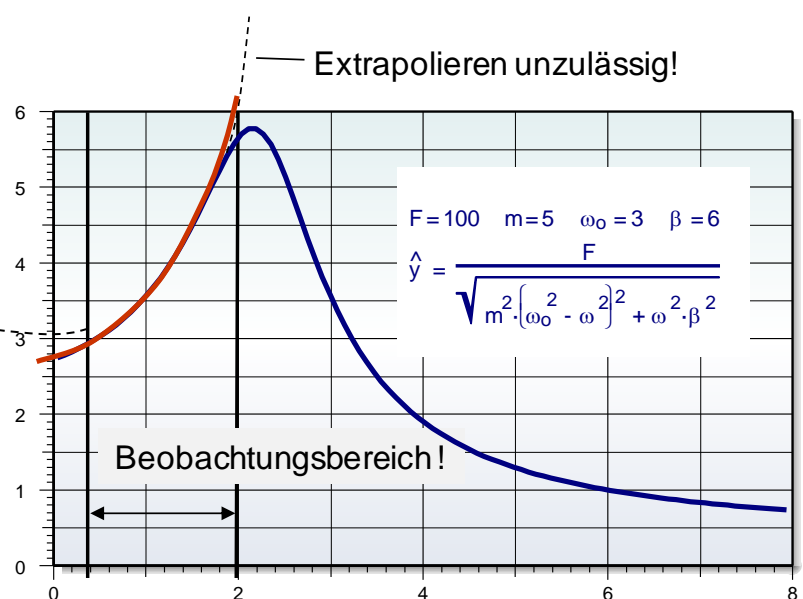
Die Aufgabe ist es Versuche so zu kombinieren, dass die Zusammenhänge einer Funktion oder eines Prozesses bestmöglich durch eine spätere Auswertung wiedergegeben werden können. Es gibt Einflussgrößen, die gezielt variiert werden können, aber auch oft Störgrößen, die zumindest im Versuchsumfeld kontrolliert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



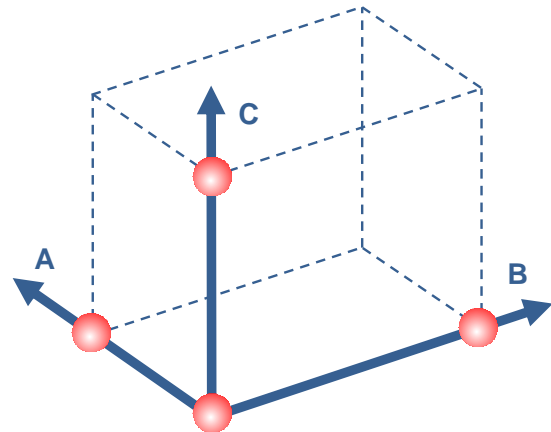
Die Wirklichkeit soll durch ein vereinfachtes Modell beschrieben werden. Dabei sind unter Umständen Nichtlinearitäten und Wechselwirkungen zu berücksichtigen. Die vereinfachten Modelle mit quadratischen und kubischen Ansätzen können jedoch oft den realen Verlauf nicht vollständig wiedergeben. Es ist im Versuchsplan deshalb vorher genau zu überlegen, für welchen Beobachtungsbereich das Modell gelten soll. Für ein Feder-Masse-System, wie im Bild rechts dargestellt, reicht im vorderen Bereich ein quadratischer Ansatz:

$$y = a \cdot \omega + b \cdot \omega^2 + \dots + konst$$

Der weitere Kurvenverlauf ist damit aber nicht gültig. Ein Extrapolieren würde völlig falsche Ergebnisse liefern. Dieses Problem ist allzu oft der Grund für das Scheitern einer DoE.



Für die weitere Einführung der Versuchskombinationen soll zunächst ein linearer Zusammenhang angenommen werden. Zur Bestimmung nur der Einzeleinflüsse (Effekte) wird zuerst ein Versuch bei unterer Stufe jedes Faktors als Basis- oder Ausgangsmessung benötigt. Danach wird jeder Faktor alleine variiert (obere Stufe des Beobachtungsbereiches). Diese Vorgehensweise wird auch „One factor at the time“ genannt. Nebenstehendes Bild soll dies verdeutlichen. Der vordere Punkt ist die Basismessung, die anderen stellen die obere Stufe der Faktoren „A“, „B“ und „C“ dar. Mit dieser Versuchsanordnung ist es nicht möglich, herauszufinden, wie das System reagiert, wenn mehrere Faktoren zu gleichen Zeit verändert werden. Ergibt sich z.B. bei A und B auf oberer Stufe eine überproportionale Veränderung der Zielgröße gegenüber der Summe der Einzeleffekte, so liegt eine Wechselwirkung vor. Diese Wechselwirkungen lassen sich nur mit zusätzlichen Versuchen bestimmen. Neben der fehlenden Möglichkeit hier Wechselwirkungen auswerten zu können, besteht außerdem den Nachteil, dass eine „Ungleichgewicht“ der Versuchsanordnung vorliegt. Die Tabelle der Versuchseinstellungen führt zu einer unerwünschten Korrelation der Faktoren. Ziel der Versuchsplanung ist es auch dies zu vermeiden, um damit sicherzustellen, dass die Faktoren voneinander unabhängig sind. Neben den klassischen Versuchsplänen, wie den [voll- und teilfaktoriellen](#) wird in der Praxis oft ein sogenannter D-Optimaler Versuchsplan angewendet.



D-Optimale Versuchspläne

Das Ziel von D-Optimalen Plänen ist mit minimalem Aufwand Versuchspläne zu erstellen, die die gewünschten Effekte und Wechselwirkungen eindeutig abbilden. Dies ist ein entscheidender Vorteil gegenüber teilfaktoriellen Plänen, bei denen Wechselwirkungen z.T. miteinander vermengt sind.

Mit p = Anzahl Faktoren berechnet sich die Anzahl der einfachen Wechselwirkungen:

$$p' = p \cdot (p-1) / 2$$

Die höheren Wechselwirkungen (z.B. ABC, ABD, ACD, usw.) werden in der Regel nicht berücksichtigt, da ihr Einfluss gegenüber den einfachen meist geringer ist. Sie würden auch den Umfang der Versuche sprengen.

Insgesamt wird für einen Versuchsplan mit zwei Einstellungen folgende Anzahl Versuche benötigt:

Konstante	: 1
Haupteffekte (Faktoren)	: p
Wechselwirkungen	: $p \cdot (p-1) / 2$
Σ	: $p + p \cdot (p-1) / 2 + 1$

Im Falle eines quadratischen Modells kommen noch einmal p Versuche hinzu (mit mittlerer Einstellung). Weiterhin werden ca. 5 Versuche benötigt, um genügend Information über die Streuungen zu erhalten (Signifikanzen der Faktoren).

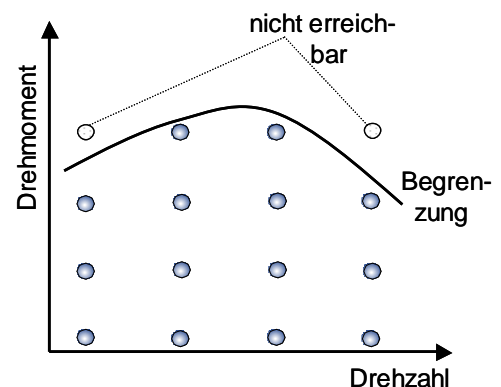
Ein D-Optimaler Plan wird nicht mit einem festem Schema generiert, sondern iterativ aufgebaut. Er hat u.a. folgende wichtige Eigenschaften:

- Maximierung der Determinante $\text{Det}(X^T X)$ (Kennzahl für Auswertbarkeit)
- Minimierung der Korrelationen und Vertrauensbereiche
- Möglichst gute Ausbalancierung, d.h. gleiche Anzahl von Stufen (gilt nur für Randbereiche -1 und $+1$, nicht für Zwischenwerte)

Insbesondere aufgrund der Zielsetzung, dass alle Wechselwirkungen bei geringer Versuchsanzahl erkannt werden sollen, verhindert dass diese Pläne vollständig orthogonal sind. D.h. gewisse Korrelationen lassen sich nicht vollständig beseitigen. In der Auswertung über Multiple Regression ist dies jedoch ein untergeordneter Nachteil.

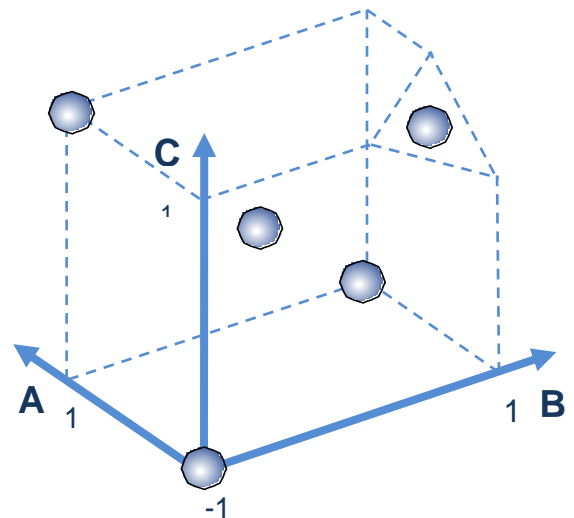
Vorteile- und Nachteile der D-optimalen Versuchspläne

- + Freie Wahl für die Zahl der Stufen pro Einflussfaktor. Die Stufenzahl kann von Faktor zu Faktor unterschiedlich gewählt werden.
- + Freie Wahl der Stufenabstände, die äquidistant oder nicht äquidistant gewählt werden können.
- + Freie Wahl für die Verteilung der Versuchspunkte im n -dimensionalen Versuchsraum
- + Freie Wahl des mathematischen Modells
- + Erweiterungsmöglichkeit durch neue Einflussfaktoren
- + Bestimmte Einstellungen und Kombinationen können ausgeschlossen werden, die nicht erreichbar sind (siehe Beispiel einer Drehmomentkurve)



- Der Versuchsplan ist nicht orthogonal, die Abweichungen sind aber meist nur klein
- Die Erstellung der Pläne ist nur mit entsprechenden Rechenalgorithmen möglich

Hinweise: Der dargestellte „Grundversuchsplan“ zur Bestimmung der Faktoren und Wechselwirkungen ist hier der Ausgangspunkt, bevor über die Determinante weitere Versuche hinzugefügt werden. In der Literatur findet man zur Bestimmung eines Grundversuchsplanes auch andere Vorgehensweisen auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll.



Erzeugung eines D-Optimalen Versuchsplanes

Es gibt verschiedene Verfahren für die Erzeugung von D-Optimalen Versuchsplänen. Diese sind insbesondere die genannten Exchange-Algorithmen beschrieben in /6/ und /10/. Eine andere Möglichkeit ist die hier gezeigte Methode der „Randomisierung“. Der Grundplan wird zunächst so angelegt, dass die Anzahl der Stufen möglichst gut ausbalanciert ist (siehe Beispiel mit 3 Faktoren rechts). Bei quadratischen, kubischen oder höherwertigeren Plänen werden die inneren Stufen (hier die 0) weniger oft belegt, da die Determinante stärker durch die außen liegenden Einstellungen erhöht werden kann. Danach erfolgt iterativ ein Tauschen der Positionen der Stufen auf ihren Plätzen. Dies ist besser, als wenn durch den Zufallsgenerator der Wert der Stufen direkt festgelegt wird. Denn hierdurch wird erreicht, dass die Anzahl der unteren, oberen und mittleren Stufen erhalten bleibt. Dieser Randomtausch wird solange wiederholt, bis die Determinante maximal und die Korrelation minimal ist, oder eine weitere Iteration keine nennenswerten Verbesserungen mehr bringt.

A	B	C
-1	-1	-1
-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1
1	1	1

A	B	C
-1	-1	-1
-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1
1	1	1

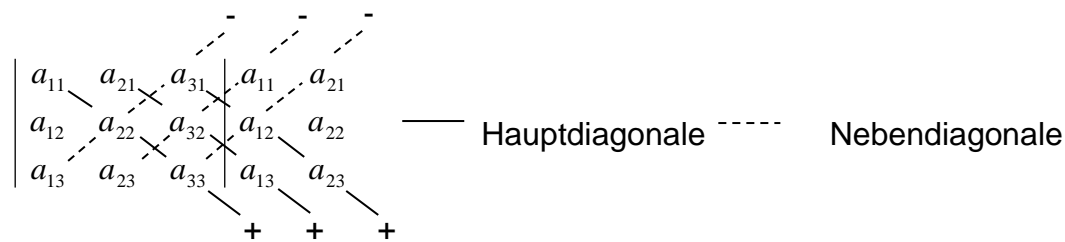
usw

Ein D-Optimalen Plan kann auch vereinfacht durch einen „Grundplan“ mit Zusatzversuchen aufgebaut werden. In diesem Grundplan ist zunächst jeder Faktor alleine auf hoher Stufe. Hinzu kommen dann noch die Kombination der Wechselwirkungen (jeweils paarweise Faktoren auf hoher Stufe). Dadurch sollen die Wechselwirkungen eindeutig bestimmbar sein. Die Zusatzversuche werden auch hier über Randomauswahl solange ausgetauscht, bis die Determinante optimal ist.

Im Folgenden soll ein nachvollziehbares Beispiel für einen einfachen D-Optimalen Plan gezeigt werden. Dieser ist zwar streng genommen nicht ganz der optimale, soll aber das Prinzip verdeutlichen:

Beispiel:

Für den Fall einer 3x3 Matrix berechnet sich die Determinante nach Sarrus nach dem dargestellten Schema:



Die Spalten 1 und 2 werden nochmals an die rechte Seite gesetzt. Die Determinante D errechnet sich dann mit:

$$D = a_{11} a_{22} a_{33} + a_{21} a_{32} a_{13} + a_{31} a_{12} a_{23} - a_{31} a_{22} a_{13} - a_{11} a_{32} a_{23} - a_{21} a_{12} a_{33}$$

Gesucht wird ein D-Optimaler Plan mit 5 Versuchen zur Bestimmung von 3 Hauptfaktoren und einer Wechselwirkung AB (Vollfaktoriell $2^3 = 8$ Versuche).

	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1

Vollfaktorieller Versuchsplan = Kandidatensatz

↓	A	B	C
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
5	-1	-1	1
4	1	1	-1

Nummer im Kandidatensatz

Grundplan D-Optimal (alle Hauptfaktoren + Wechselwirkung AB)

← Gesucht: optimaler Zusatzversuch

Im Grundplan sind bereits die Versuche 2,3,4 und 5 aus dem Kandidatensatz enthalten. Es sind nun der Reihe nach die verbleibenden Versuche 1,6,7 und 8 nacheinander einzusetzen, bis die bestmögliche Determinante entsteht. Erster Versuch mit Kandidat 1:

$$X_1 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad X_1^T = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$X' = X^T X$ wird Wert für Wert über folgende Formel berechnet:

$$x'_{j,i} = \sum_{k=1}^n x_{k,i}^{(T)} x_{j,k} \quad \text{mit } j = \text{Spaltenindex, } i = \text{Zeilenindex}$$

$$X^T X_1 = \begin{bmatrix} 5 & 1 & -1 \\ 1 & 5 & -1 \\ -1 & -1 & 5 \end{bmatrix} \quad \left| \begin{array}{ccc|cc} 5 & 1 & -1 & 5 & 1 \\ 1 & 5 & -1 & 1 & 5 \\ -1 & -1 & 5 & -1 & -1 \end{array} \right.$$

$$\text{Det}(X^T X)_1 = (5)(5)(5) + (1)(-1)(-1) + (-1)(1)(-1) - (-1)(5)(-1) - (5)(-1)(-1) - (1)(1)(5) = 112$$

Nächster Versuch mit Kandidat 6:

$$X_6 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad X_6^T = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$X^T X_6 = \begin{bmatrix} 5 & -1 & -1 \\ -1 & 5 & -3 \\ -1 & -3 & 5 \end{bmatrix} \quad \left| \begin{array}{ccc|cc} 5 & -1 & -1 & 5 & -1 \\ -1 & 5 & -3 & -1 & 5 \\ -1 & -3 & 5 & -1 & -3 \end{array} \right.$$

$$\text{Det}(X^T X)_6 = (5)(5)(5) + (-1)(-3)(-1) + (-1)(-1)(-3) - (-1)(5)(-1) - (5)(-3)(-3) - (-1)(-1)(5) = 64$$

Was ein erheblich schlechterer Wert ist, als mit Kandidat 1. Insgesamt errechnen sich für die weiteren Kandidaten folgende Determinanten:

Kandidat	$\text{Det}(X^T X)$
1	112
6	64
7	64
8	112

Somit bildet entweder Kandidat 1 oder 8 die optimale Determinante.

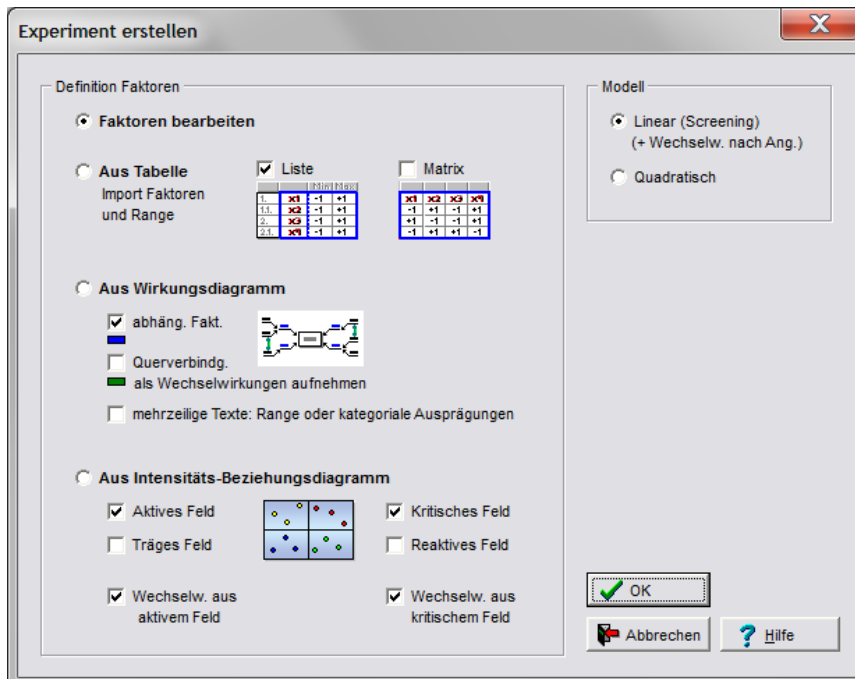
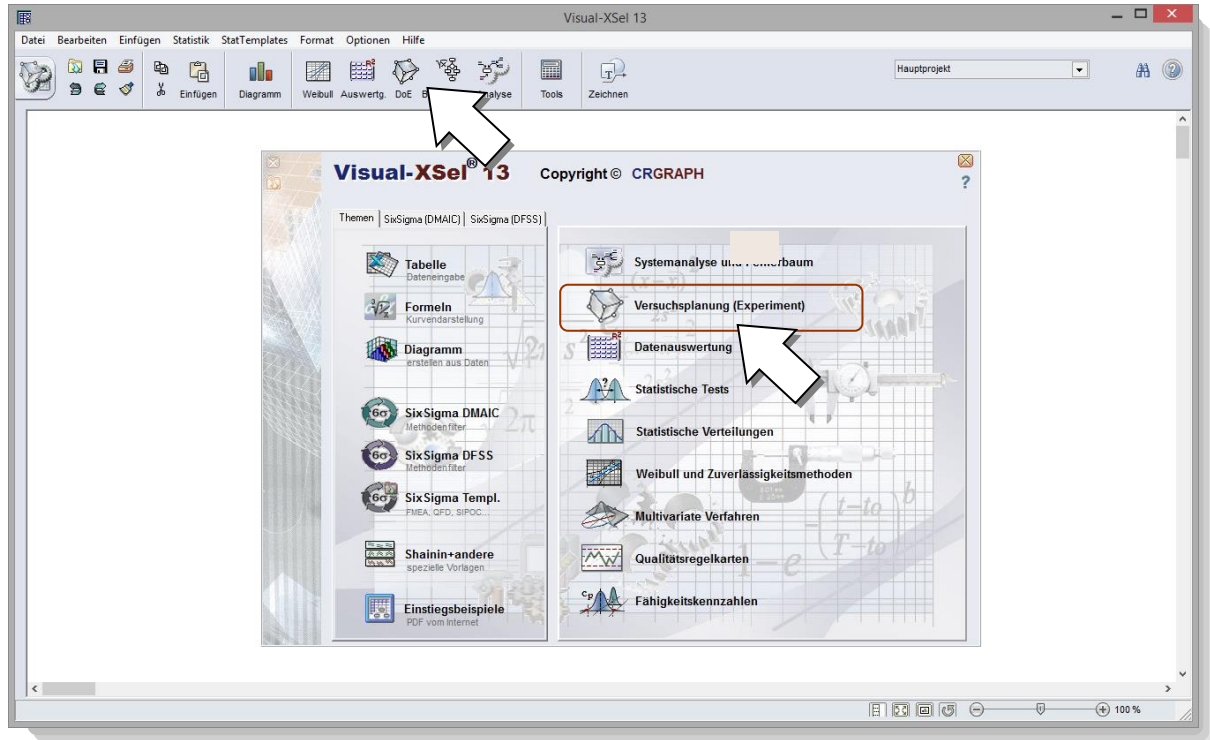
Hinweis:

Im Grundplan müsste eigentlich ein weiterer Versuch zur Bestimmung der Konstanten enthalten sein. Dieser wurde hier unterschlagen. In Hinblick auf einen möglichst einfachen Aufbau um Umfang wurde dieses Beispiel bewusst reduziert gehalten.

Zur Auswertung der Matrix siehe auch Kapitel [Multiple Regression](#).

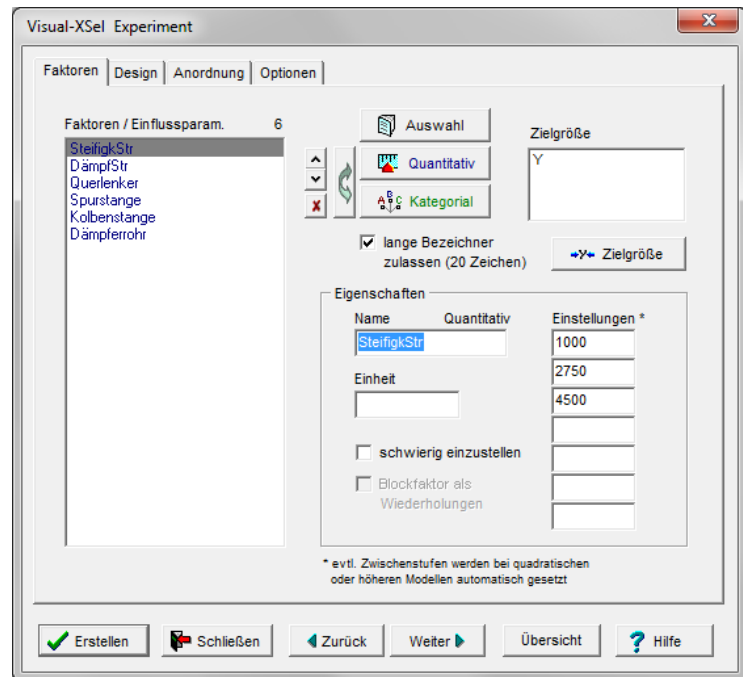
Anwendung in Visual-XSel® 13.0

www.crgraph.de/WebDownload.htm



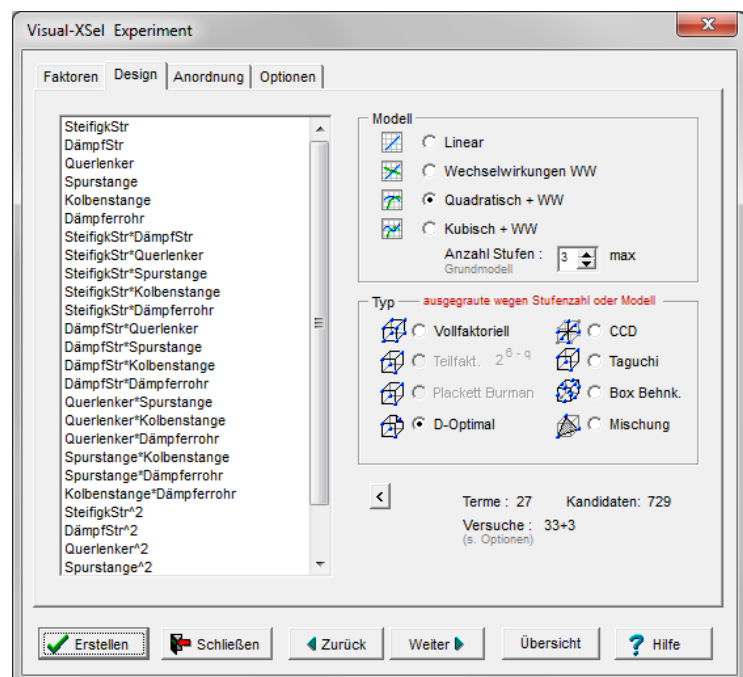
In Visual-XSel gibt es unterschiedliche Möglichkeiten einen Versuchsplan zu erstellen oder zu importieren. Im folgendem wird die direkte Eingabe von Faktoren beschrieben. Die weiteren Optionen sind in der Beschreibung der [Systemanalyse](#) aufgeführt.

Versuchspläne (Experimente) erstellt man direkt im Dialogfenster unter dem Menüpunkt *Daten/Versuchspläne* im Hauptfenster oder über die Ikone der Einstiegsmaske. Eine empfehlenswerte Vorgehensweise ist jedoch über die Verwendung eines Wirkdiagramms, siehe [Systemanalyse](#). Unter der Rubrik **Faktoren** werden die gewünschten unabhängigen Parameter oder Faktoren definiert. Diese können entweder **Quantitativ** oder **Kategorial** sein. Quantitative Faktoren können beliebige Zahlenwerte innerhalb einer fest-



zulegenden unteren und oberen Grenze haben, die neben den Namen einzugeben sind. Kategoriale Faktoren sind textliche Bezeichnungen für bestimmte Vorgänge oder Bauteile, z.B. Lieferant A und B usw. Es können bis zu 7 kategoriale Bezeichnungen je Faktor definiert werden. Für lineare Beziehungen reichen 2 Einstellungen für quantitative Größen. Für nichtlineare Zusammenhänge müssen mindestens drei Einstellungen verwendet werden (quadratisches Modell). Siehe hierzu auch Kapitel D-Optimale Versuchspläne. Es wird aber zunächst nur die obere und untere Stufe jedes Faktors benötigt. Durch die spätere Wahl des quadratischen Modells kommen automatisch die Zwischenwerte hinzu. Die untere Stufe mit der kleinsten Zahl ist

die Grundstellung. Alle weiteren Einstellungen kommen mindestens einmal im Versuchsplan vor. Sie müssen nicht gleiche Abstände haben. Nachdem die unabhängigen Faktoren benannt wurden, ist noch die Zielgröße zu definieren. Wird diese nicht eingegeben, so erhält diese automatisch die Bezeichnung Y. Im späteren Versuchsplan wird eine leere Spalte mit diesem Namen angefügt, in die die Ergebnisse der Versuche eingetragen werden.



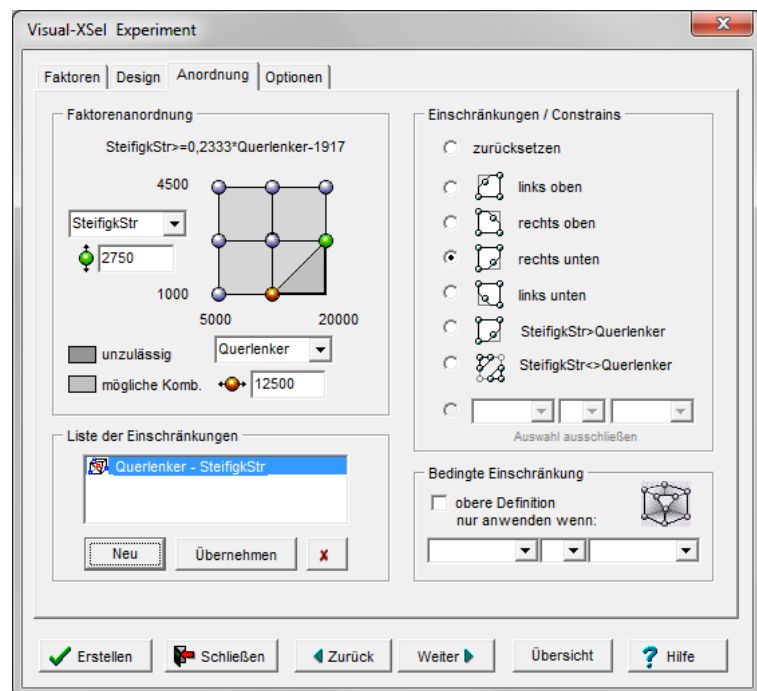
die Grundstellung. Alle weiteren Einstellungen kommen mindestens einmal im Versuchsplan vor. Sie müssen nicht gleiche Abstände haben. Nachdem die unabhängigen Faktoren benannt wurden, ist noch die Zielgröße zu definieren. Wird diese nicht eingegeben, so erhält diese automatisch die Bezeichnung Y. Im späteren Versuchsplan wird eine leere Spalte mit diesem Namen angefügt, in die die Ergebnisse der Versuche eingetragen werden.

Einzelne Faktoren können auch wieder gelöscht werden (Pfeiltaste oberhalb Quantitativ). Zu beachten ist, dass die Anzahl der Versuche insbesondere bei vollfaktoriellen Versuchsplänen mit der Anzahl der Faktoren erheblich zunimmt. In der ersten Spalte des Versuchplanes steht später die Nummerierung der Versuchsreihenfolgen. Unter Umständen erfordert die Variation einer oder mehrerer

Faktoren einen zu großen Aufwand (z.B. wegen Maschineneinstellungen). Es sind dann bestimmte Kombinationen hintereinander durchzuführen. Dies erreicht man, indem der Faktor auf „*schwierig einzustellen*“ gesetzt wird.

Im nächsten Schritt (Taste **Weiter** oder Rubrik **Design**) wird das Design oder der Typ des Versuchsplanes festgelegt. Als Modell steht **Linear**, **Wechselwirkungen**, **Quadratisch** und **Kubisch** zur Verfügung. Entsprechend der Auswahl, werden in einer Auswahlliste links die benötigten Terme hinzugefügt. Einzelne können auch wieder gelöscht werden (Pfeiltaste), z.B. wenn bekannt ist, dass bestimmte Wechselwirkungen nicht vorkommen. Als Typ kann **Vollfaktoriell**, **Teilfaktoriell**, **Taguchi**, **zentral zusammengesetzt** und **D-Optimal**, sowie **Mischung-D-Opt.** gewählt werden. Weiter unten wird gleichzeitig mit der Modell- und Typauswahl die Anzahl der so genannten Kandidaten und die Anzahl der benötigten Versuche angezeigt. Die Kandidaten entsprechen immer denen des vollfaktoriellen Versuchsplanes. Für ein quadratisches Modell mit 4 Faktoren werden also $3^4=81$ Versuche benötigt. Zusätzlich können auch noch Zentralpunkte mit den mittleren Werten und Wiederholungen gewählt werden. Siehe hierzu Optionen. Für rein lineare Beziehungen werden die orthogonalen Versuchspläne nach Taguchi empfohlen.

Unter der Rubrik **Anordnung** können zunächst die Versuchsanordnungen für jeweils zwei Faktoren angezeigt werden. Dabei lassen sich auch **Einschränkungen (Constraints)** definieren, die in der Versuchsdurchführung nicht erreichbar sind. Hierzu ist rechts eine Auswahl zu treffen, über den Bereich der nicht verwendet werden soll, (dunkelgrauer Bereich). Unterhalb der Faktorennamen können die konkreten Zahlenwerte hierfür eingegeben werden. Die Standardvorgabe ist der jeweilige Mittelwert. Auch kategoriale



Faktoren können ausgeschlossen werden (letzte Auswahl unter Einschränkungen). Dies macht jedoch nur Sinn, wenn diese zusammen mit **bedingten Einschränkungen** anderer Faktoren nicht mit aufgenommen werden sollen. Ansonsten würde man diese kategoriale Variante unter Faktoren erst gar nicht aufnehmen. Bedingte Einschränkungen gelten aber auch für quantitative Faktoren. Z.B. kann es sein, dass physikalisch ein Bereich eines Faktors nur nicht erreichbar ist, wenn gleichzeitig die Einstellung eines anderen Faktors dies verhindert.

Nach diesen Eingaben ist die Taste **Neu** zu drücken, um diese Einschränkungen für den Versuchsplan festzuhalten. In der Liste unten links können Sie alle gemachten Einschränkungen sehen und wieder löschen. Zum Ändern vorhandener Definitionen ist eine Auswahl in der Liste anzuklicken. Danach können Zahlenwerte oder Bereiche geändert werden. Zum Abspeichern ist die Taste **Übernehmen** zu drücken. Für ein und dieselbe Faktorkombination lassen sich mehrere Einschränkungen nacheinander definieren, z.B. Abschneiden der linken oberen und rechten unteren

Ecke.

Unter der Rubrik **Optionen** gibt es noch eine Reihe von Einstellungen, die bei Bedarf gewählt werden können. Zusätzlich kann die untere Einstellung der Faktoren wiederholt werden. Die obere Einstellung ist im Grundversuchsplan nicht enthalten und kann hinzugenommen werden. Ist zu erwarten, dass sich die Streuungen des Systems bei unterer und oberer Einstellung stark unterscheiden, so sind in beiden Wiederholungen sinnvoll. Ohne Wiederholungen mindestens einer Zusatzauswahl ist keine Auswertung über den „pure Error“ und über ein evtl. Lack of Fit möglich (siehe ANOVA in multipler Regression). Für D-Optimale Pläne gibt es weiterhin **Zusatzversuche** zu dem Grundversuchsplan. Diese sind standardmäßig 5. Siehe hierzu Kapitel D-Optimale Versuchspläne. Für das Modell Linear und Wechselwirkungen sollte die Anzahl nicht 0 betragen, da sonst zu wenig Freiheitsgrade für die Bestimmung der p-Values vorhanden sein können.

Wurden bereits Versuche durchgeführt, die einbezogen werden sollen, so sind diese auf der Tabellenseite unter der Angabe **Fixpunkte** (Inclusions) einzugeben. In dieser Tabellenseite müssen die Faktornamen in der ersten Zeile in der Reihenfolge stehen, wie sie unter der Liste Faktoren stehen. Bei der Erstellung des Versuchsplanes wird geprüft, ob diese schon vorhanden sind. Wenn nicht, werden diese einzeln dem Versuchsplan hinzugefügt. Dieses Vorgehen kann auch dazu benutzt werden, bestimmte Einstellungskombinationen explizit mit aufzunehmen. Soll zu einem

bereits durchgeführten Versuchsplan, ein Faktor neu hinzukommen, so ist in der Tabelle, definiert unter **Fixpunkte**, eine weitere Spalte mit diesen Faktornamen aufzunehmen. Die Einstellung entspricht der bei den vorherigen Versuchen. Da dieser Faktor bisher nicht variiert wurde, sind in allen Zeilen natürlich die gleichen Werten einzutragen. Für D-Optimale Versuchspläne gibt es die Möglichkeit anstelle des **Kandidatensets** aus dem vollfaktoriellen Plan eine eigene Auswahl vorzugeben. Damit lassen sich z.B. auch Versuchsplanvarianten kombinieren. Ist anfänglich ein zentral zusammengesetzter Versuchsplan gewünscht, dieser aber in der Anzahl der Versuche zu groß, so kann im zweiten Schritt ein D-Optimaler Plan mit Kandidatenset eines zentral zusammengesetzten aufgebaut werden. Dieser benötigt evtl. erheblich weniger Versuche. Die Zieltabelle für den neuen Plan ist unter **Allgemein** dann auf z.B. T2 zu setzen. Man kann auch komplexere Einschränkungen und Selektionen, die manuell aus einem vollfaktoriellen Versuchsplan bearbeitet wurden, hier verwenden. Der Nachteil ist, dass man hierbei nicht mehr sicherstellen kann, dass die Auswertbarkeit zu 100% möglich ist. Demgegenüber erstellt man einen neuen Plan unter Einbeziehung einer vorhandenen Tabelle mit **Fixpunkte** immer als optimalen Versuchsplan und es werden evtl. notwendig Versuche zu den vorhandenen ergänzt.

Unter **Wiederholungen** ist es möglich jeden Versuch in der Tabelle mehrfach darzustellen. Dies ist sinnvoll, wenn eine entsprechende Streuung der Ergebnisse erwartet wird. In diesen Fall sind natürlich unter **Zusätzlich** keine Werte > 1 notwendig. Bei D-Optimalen Plänen kann es dabei jedoch zu Scheinkorrelationen kommen. Es empfiehlt sich die Wiederholungen in verschiedene Spalten zu schreiben. Ausgewertet wird dann der Mittelwert \bar{y}_m hieraus und z.B. die Standardabweichung s bzw. das S/N-Verhältnis nach Taguchi. Dies ermöglicht insbesondere robuste Systeme zu erstellen (siehe Beispiel ..\6_Datenauswertung\ *Beispiel_Taguchi.vxg*).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	R1	R2	R3	R4	Y1	Y2	Y3	Y4	\bar{y}_m	s	S/N
1	3	100	20	1	2,85	3,69	4,35	3,07	3,49	0,67	14,27
2	5	100	20	1,5	3,33	3,29	5,02	4,72	4,09	0,91	13,06
3	3	200	20	1,5	4,34	4,32	4,82	4,56	4,51	0,23	25,72
4	5	200	20	1	2,78	3,58	5,39	4,05	3,95	1,09	11,15
5	3	100	50	1,5	5,77	5,92	6,5	6,09	6,07	0,32	25,70
6	5	100	50	1	4,28	5,04	6,97	5,79	5,52	1,15	13,65
7	3	200	50	1	5,3	6	6,85	5,53	5,92	0,69	18,73
8	5	200	50	1,5	5,76	5,74	7,52	7,02	6,51	0,90	17,18

Faktoren: B, C, D, E
 4 Wiederholungen: F, G, H, I
 =MITTELWERT(F2:I2)
 =WURZEL(1/3*((J2-F2)^2+(J2-G2)^2+(J2-H2)^2+(J2-I2)^2))
 =10*LOG(J2^2/K2^2)

Anstelle der Erzeugung von \bar{y}_m , s und S/N über Formeln, kann auch die Funktion Statistik/Statistic Summary verwendet werden. Der Tabellenbereich F1-I8 muss davor markiert sein.

Besteht die Befürchtung, dass die Reihenfolge der Versuche über der Zeit (z.B. wegen Umwelteinflüsse) einen Einfluss auf die Ergebnisse hat, so ist auf jeden Fall die Einstellung der Faktoren bei Beginn der Versuche am Ende nochmals zu wiederholen. Bei der Auswertung kann evtl. auch die Spalte der Versuchsreihenfolge als Pseudofaktor mit ausgewertet werden. Hierzu ist in der 1. Spalte ein Titel zu schreiben (z.B. *VNr*)

Nach Betätigung der Taste Ok wird der Versuchsplan in die unter **Allgemein** angegebene Tabellenseite geschrieben. Standardmäßig ist dies die Tabellenseite *Experiment*.

Das mehrmalige Erzeugen von D-Optimalen Plänen ergibt unterschiedliche Pläne, die weitgehend gleichwertig sind. Voll- oder teilfaktorielle Pläne sind immer gleich.

Im Kapitel **Systemanalyse** wird zur Erstellung von Versuchsplänen ein anderer Weg vorgeschlagen. Hier werden die Faktoren zunächst grafisch als Mindmap erstellt. Ist zunächst nicht klar, welche Faktoren auszuwählen sind, ist diese Vorgehensweise zu empfehlen.

Nach Durchführung der Versuche und Eingabe der Ergebnisse in die letzte Spalte, kann die **Multiple Regression** aufgerufen werden, um die Daten auszuwerten.