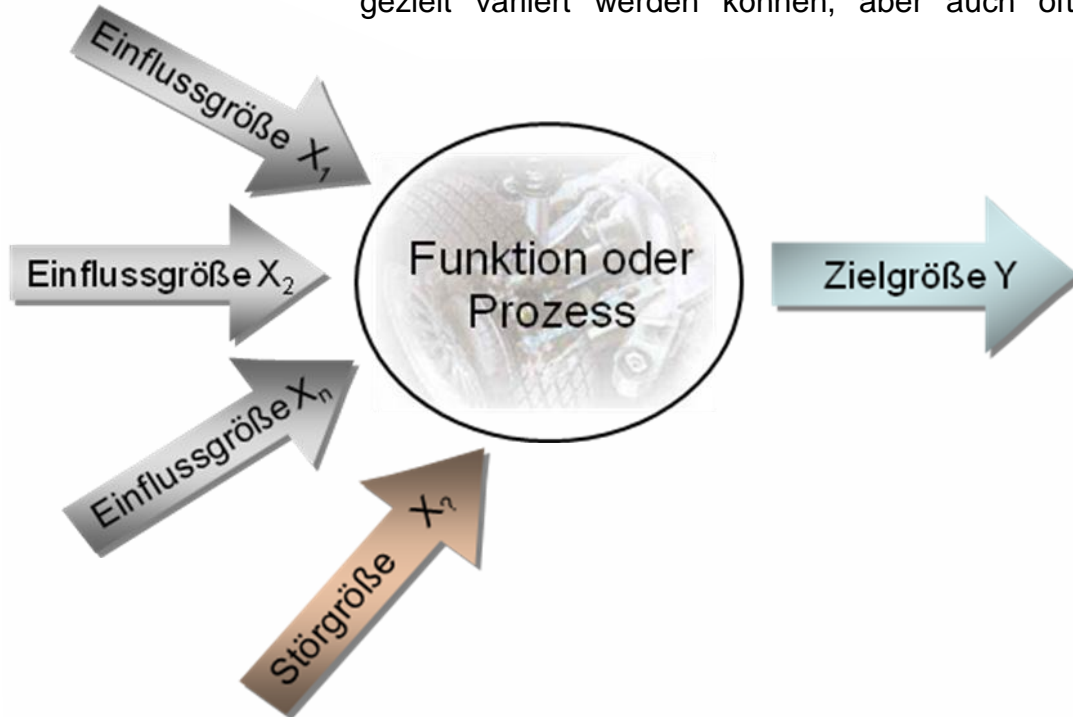


Grundlagen

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 auch

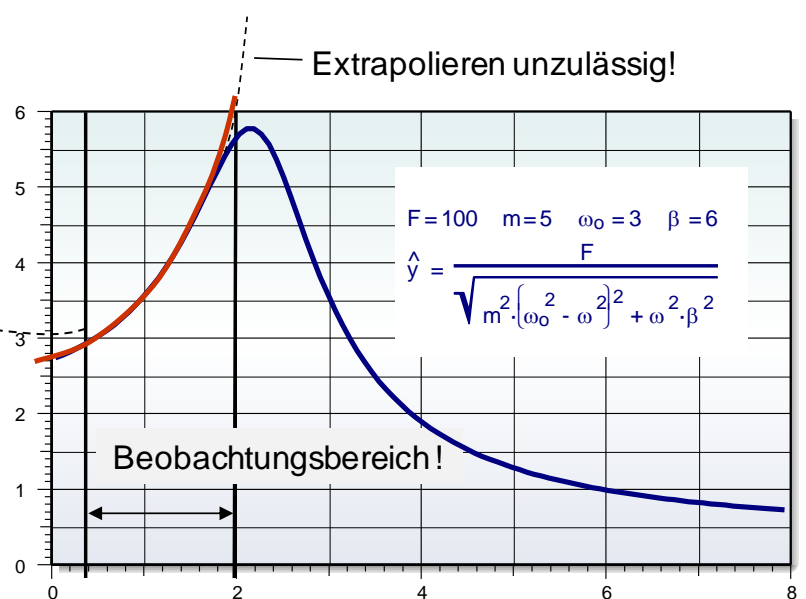


Störgrößen, die zumindest im Versuchsumfeld kontrolliert einstellbar sein müssen.

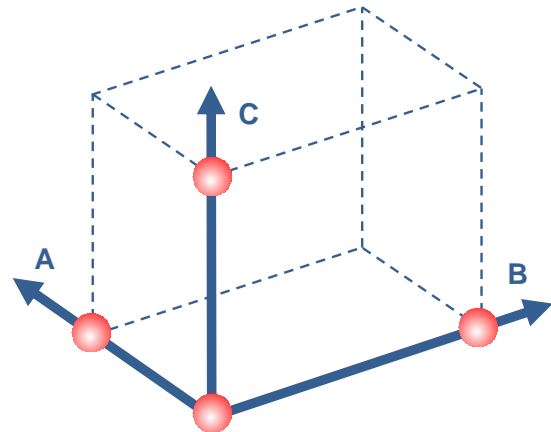
Die Wirklichkeit soll durch ein vereinfachtes Modell beschrieben werden. Dabei sind unter Umständen Nichtlinearitäten und Wechselwirkungen zu berücksichtigen. Die vereinfachten Modelle mit quadratischen und kubischen Ansätzen können jedoch oft den realen Verlauf nicht vollständig wiedergeben. Es ist 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.

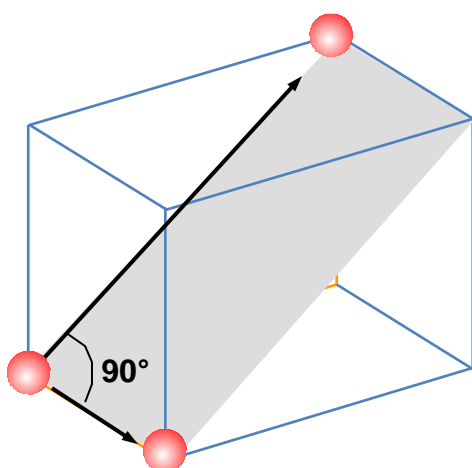


Für die weitere Einführung der Versuchskombinationen soll zunächst ein linearer Zusammenhang angenommen werden. Zur Bestimmung nur der Einzeleinflüsse (Effekte) wird zuerst ein Versuch bei unterer Stufe jedes Faktors als Basis- oder Ausgangsmessung benötigt. Danach wird jeder Faktor alleine variiert (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. In diesem Zusammenhang spricht man auch von einer sogenannten Orthogonalität.

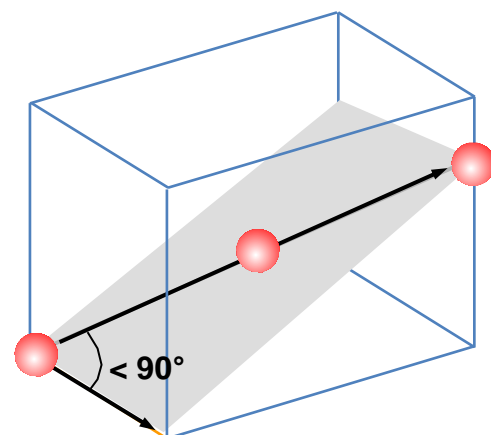


Orthogonalität

Sind die Faktoren $x_1, x_2 \dots x_n$ unabhängig voneinander und ist die Korrelation unter ihnen 0, so ist der Versuchsplan orthogonal. Jeder Faktor kann Werte annehmen, ohne die Werteeinstellungen der anderen Faktoren zu verändern. Dies ist in der unteren Darstellung nicht der Fall. B lässt sich nicht unabhängig von A verändern.



orthogonal



nicht orthogonal

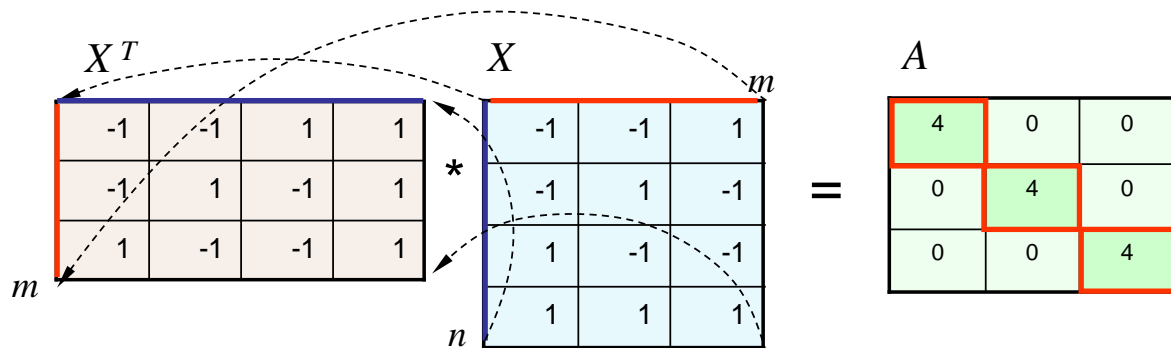
Über ein [Ursachen-Wirkungsdiagramm](#) ist es möglich, vorher solche Abhängigkeiten zu erkennen.

Korrelationen zwischen Faktoren können aber auch auftreten, wenn keine physikalisch/technischen Abhängigkeiten bestehen. Diese ergeben sich auch aufgrund einer entsprechend ungünstigen Versuchsanordnung, wie etwa die im Eingangsbild (one factor at the time).

Mathematische Betrachtung

Ist der Versuchsplan nicht ganz orthogonal, so ist die Auswertung mit Hilfe von Matrizen immer noch möglich. Die Methode zur Auswertung solcher Matrizen ist die Multiple Regression (siehe gleichnamiges Kapitel). Mit der klassischen Varianzanalyse ist dies nicht mehr möglich. Bei gleicher Streuung der Y-Werte sind die Vertrauensbereiche jedoch breiter als bei orthogonalen Plänen.

Der rechnerische Nachweis auf Orthogonalität ist folgendermaßen möglich:



X ist orthogonal, wenn bei $X^T X$ nur die Diagonale besetzt ist. Für genormte Bereiche $-1 \dots +1$ sind die Zahlen in der Diagonale gleich der Anzahl Zeilen n von X . (Hinweis: die Spur entspricht der Kovarianz).

$$a_{j,i} = \sum_{k=1}^n x_{k,j}^T \cdot x_{i,k}$$

$$a_{j,i} = \sum_{k=1}^n x_{j,k} \cdot x_{i,k}$$

ohne transp.
Spalten/Zeilen
vertauschen

Beispiel:

$$a_{1,1} = (-1) \cdot (-1) + (-1) \cdot (-1) + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 4$$

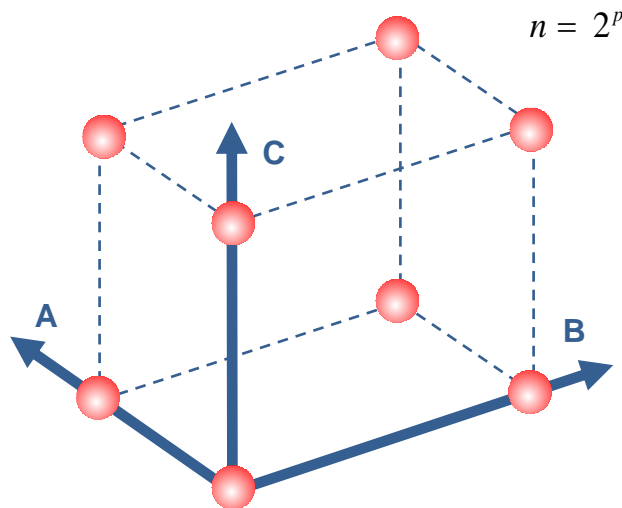
$$a_{2,1} = (-1) \cdot (-1) + 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 0$$

j : Spaltenindex; i : Zeilenindex

Die folgenden klassischen Versuchspläne sind bezüglich ihrer Hauptfaktoren orthogonal.

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:



Bei 3 Faktoren ergeben sich also 8 Versuche. Allgemein erstellt man einen vollfaktoriellen Plan (normiert -1 und 1) einfach auf folgende Weise: Beginnend in der ersten Spalte wird alternierend -1, 1, -1 usw. geschrieben. In der nächsten Spalte schreibt man mit doppelter Häufigkeit alternierend -1,-1, 1, 1,-1,-1 usw. In der dritten Spalte wiederum mit doppelter Häufigkeit, wie in der vorhergehenden, bis alle Faktoren belegt sind. Der Versuchsplan lässt sich einfach durch die Tabellenfunktion

`=(-1)^AUFRUNDEN(ZEILE()/2^(SPALTE()-1);0)`

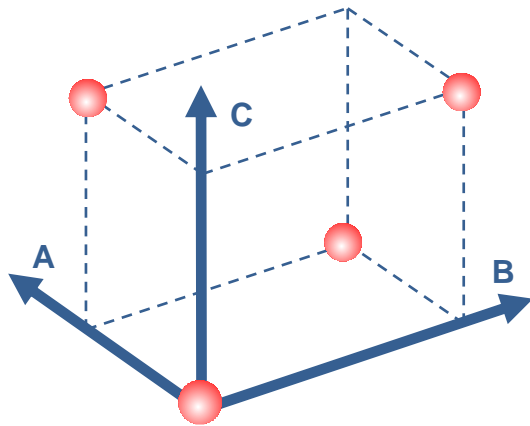
erzeugen (Formel in A1 eingeben und mit der Maus bei gedrückter Strg-Taste über den Bereich ziehen).

Der Vorteil des vollständigen Versuchsplans ist, dass sich alle Wechselwirkungen erklären lassen. So ist der Einfluss von A*B*C ebenso enthalten. Die Anzahl der Versuche nimmt mit der Anzahl der Faktoren jedoch schnell sehr stark zu, sodass ab ca. 5 Faktoren der Versuchsplan in der Praxis zu aufwendig wird. Es stellt sich die Frage, wie man ihn vereinfachen kann. Die höchste Wechselwirkung hat in den meisten Fällen einen nur untergeordneten Einfluss. Verzichtet man auf diese Aussage, so kann man anstelle der Kombination, die A*B*C enthält, einen weiteren Faktor setzen und man erhält einen teilfaktoriellen Versuchsplan (fraktional faktoriell).

	B	C	D	E	F	
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

Allgemein werden die letzten oder der letzte Faktor durch das Produkt der vorhergehenden Spalten (Faktoren) gebildet. Ein 2^{4-1} Versuchsplan sieht entsprechend wie rechts dargestellt



aus. Die Spalte D ergibt sich durch die Multiplikation von $A \cdot B \cdot C$. Der Nachteil dieses Versuchsplanes ist, dass keine Dreifachwechselwirkungen mehr bestimmbar sind, und Zweifachwechselwirkungen miteinander vermengt sind: AB mit CD, AC mit BD und AD mit BC, da die jeweiligen Spaltenprodukte identisch sind. Erst ab dem Produkt mit mindestens 4 Spalten, z.B.

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

$F=ABCD$ sind 2fach Wechselwirkungen nicht mehr vermengt. Diese Pläne haben eine so genannte Auflösung von mindestens V (siehe /3/ und /6/). Die Anzahl der Versuche berechnet sich durch: $n = 2^{p-q}$. Man bildet diesen Versuchsplan zunächst wie den vollfaktoriellen, jedoch mit q Faktoren weniger. Die Einstellungen der fehlenden Faktoren q werden durch das Produkt aller vorhergehenden Spalten gebildet. Diese nennt man auch Generatoren. Auf einen Blick gibt es bis 12 Faktoren folgende Übersicht:

$n \setminus p$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	2^2 vollst.	2^{3-1} III									
8		2^3 vollst.	2^{4-1} IV	2^{5-2} III	2^{6-3} III	2^{7-4} III					
16			2^4 vollst.	2^{5-1} V	2^{6-2} IV	2^{7-3} IV	2^{8-4} IV	2^{9-5} III	2^{10-6} III	2^{11-7} III	2^{12-8} III
32				2^5 vollst.	2^{6-1} VI	2^{7-2} IV	2^{8-3} IV	2^{9-4} IV	2^{10-5} IV	2^{11-6} IV	2^{12-7} IV
64					2^6 vollst.	2^{7-1} VII	2^{8-2} V	2^{9-3} IV	2^{10-4} IV	2^{11-5} IV	2^{12-6} IV
128						2^7 vollst.	2^{8-1} VIII	2^{9-2} VI	2^{10-3} V	2^{11-4} V	2^{12-5} IV

	Vollständige Pläne -> alle Wechselwirkungen
	V+ Fraktionelle Pläne -> alle 2fach Wechselwirkungen bestimmbar, Auflösung $\geq V$
	IV Fraktionelle Pläne -> 2fach Wechselw. vermengt, Haupteff. vermengt mit 3fach WW
	III Fraktionelle Pläne -> 2fach Wechselw. vermengt, Haupteff. vermengt mit 2fach WW !

Alle teilfaktoriellen Pläne mit einer Auflösung V oder höher sind unkritisch in der Auswertung. Der Aufwand nimmt jedoch auch hier schnell über 6 Faktoren zu, sodass dann eher D-Optimale Versuchspläne zu empfehlen sind, bei denen immer alle Wechselwirkungen ermittelt werden können. Versuche mit Auflösung kleiner V werden eingesetzt um die wichtigsten Einflüsse zu erkennen. Dies nennt man auch

Screening. Auch hier hat man aber mit D-Optimalen Versuchsplänen bei gleicher Anzahl Versuche immer noch die Chance Wechselwirkungen aufzulösen (siehe folgende Kapitel). Die entsprechenden Auflösungen hier noch mal als Übersicht:

Vor- und Nachteile der vollfaktoriellen Versuchspläne

- + Orthogonale Versuchsanordnung mit allen Wechselwirkungen (auch 3fach, etc.)
- + Absolut beste Auswertbarkeit.
- Zu großer Aufwand bei Anzahl der Parameter > 4 .

Vor- und Nachteile der teilfaktoriellen Versuchspläne

- + Orthogonale Versuchsanordnung mit geringerem Versuchsaufwand als vollfaktoriell.
- + Bei 5 Faktoren bester Kompromiss für Auswertung, alle 2fach Wechselwirkungen auswertbar (Auflösung V).
- Je nach Typ sind Wechselwirkungen mehr oder minder vermengt (Auflösung III und IV).

Die Alternative zu den klassischen teilfaktoriellen Versuchsplänen ist oft der Plackett-Burman-Versuchsplan. Hier sind die Vermengungen nicht 100%, sondern nur zu einem geringeren Teil.

Plackett-Burman-Versuchspläne

Für Voruntersuchungen bzw. so genannte Screening-Versuchen eignen sich besonders Plackett-Burman-Versuchspläne (nur für 2 Stufen). Diese Versuchspläne sind von den teilfaktoriellen 2^{p-q} abgeleitet und lassen sich in Stufen von 4 Versuchen konstruieren. Mit 12 Versuchen lassen sich z.B. 11 Effekte bestimmen. Es wird jedoch empfohlen, mindestens zwei Spalten nicht mit Faktoren zu belegen.

Plackett-Burman-Versuchspläne haben gegenüber den klassischen teilfaktoriellen Plänen (Auflösung III) den entscheidenden Vorteil, dass bestimmte 2fach Wechselwirkungen untereinander und mit Faktoren nicht vollständig, sondern nur teilweise vermengt sind. Für Pläne mit 12 Versuchen und Verwendung von bis zu 11 Spalten ergibt sich eine max. Korrelation von 0,333 für 2fach WW untereinander und mit Faktoren. Bei Plänen mit 20 Versuchen und Verwendung von bis zu 19 Spalten kommt eine max. Korrelation von 0,6 vor. Unter Umständen ist diese Korrelation zu hoch für Auswertungen von Wechselwirkungen, insbesondere wenn hohe Streuungen vorliegen. Allerdings ist bei der Auswertung mit der Methode PLS eine zusätzliche Sicherheit gegen Korrelationen gegeben, ob Wechselwirkungen relevant sind.

Faktoren untereinander sind in jedem Fall nicht miteinander vermengt (orthogonal).

Nach Auswertung mit Hilfe der Schrittweisen Regression fallen normalerweise eine große Zahl von 2fach Wechselwirkungen heraus. Dadurch bieten sich Plackett-Burman-Versuchspläne dann an, wenn eine Abschätzung vorher unbekannter WW gemacht werden sollen, aber der Versuchsaufwand möglichst klein sein muss. Bestätigungsversuche sind in jedem Fall zu empfehlen.





Anwendung in Visual-XSel® 11.0

Programm noch nicht auf dem Rechner?
Installation in 5 Minuten:

www.crgraph.de/WebDownload.htm



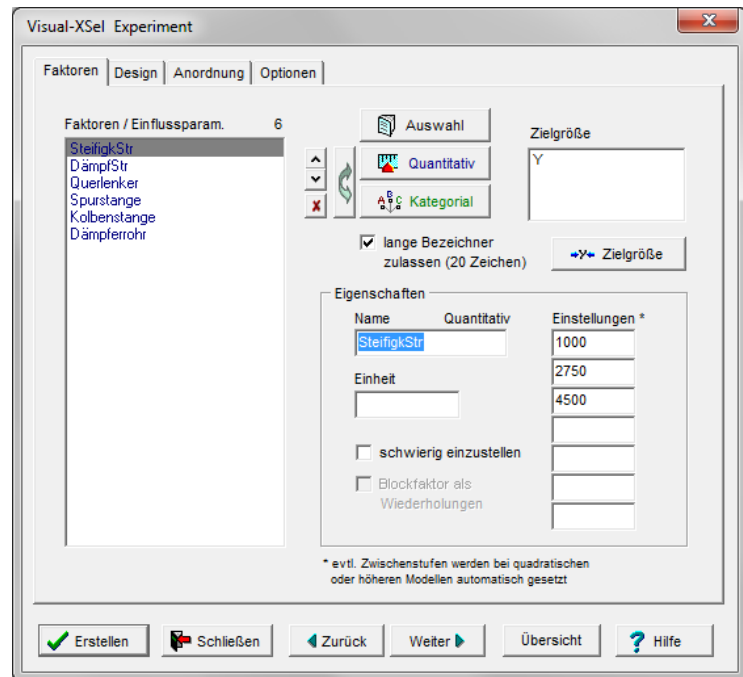
Der Einstiegsleitfaden

← Dieses Symbol oben links öffnet erneut den Leitfaden

Aktuelle Einstiegsbeispiele aus dem Internet.

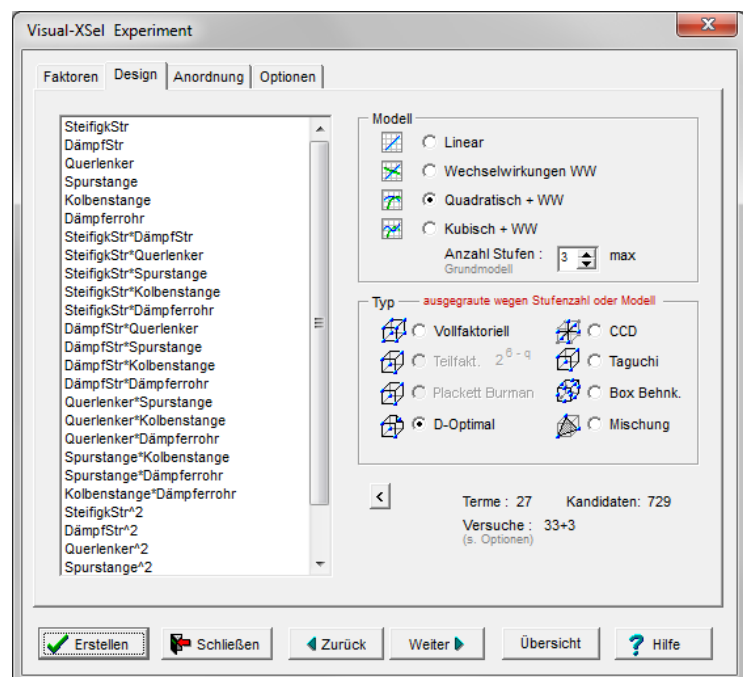
[Visual XSel Einstieg Beispiele.pdf](#)

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.



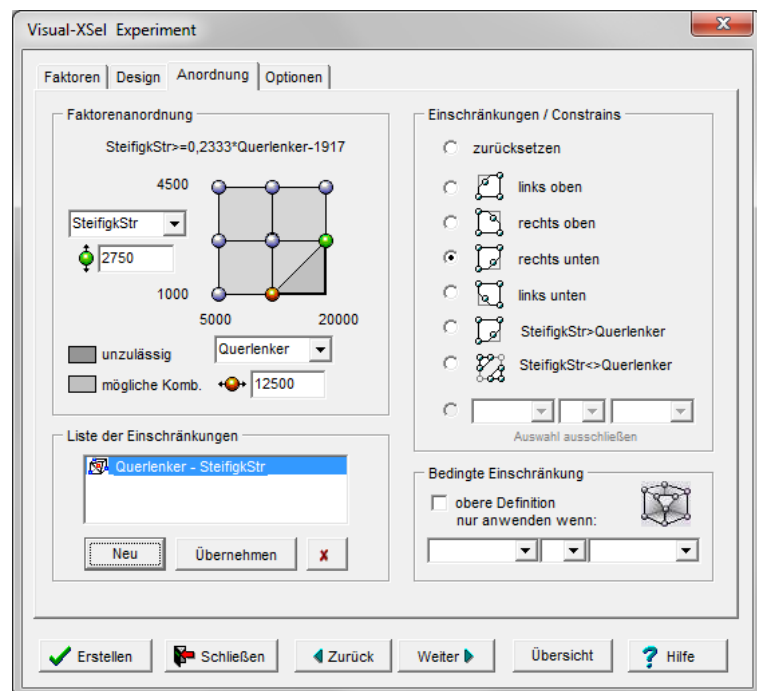
Die untere Stufe mit der kleinsten Zahl ist die Grundstellung. Alle weiteren Einstellungen kommen mindestens einmal im Versuchsplan vor. Sie müssen nicht gleiche Abstände haben. Nachdem die unabhängigen Faktoren benannt wurden, ist noch die Zielgröße zu definieren. Wird diese nicht eingegeben, so erhält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

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 ..\Statistik Methoden\ *Beispiel_Taguchi.vxg*).

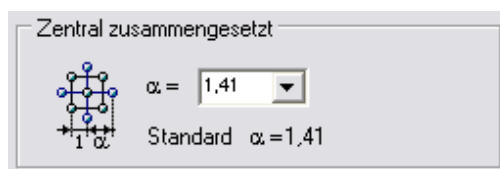
Faktoren					4 Wiederholungen				=WURZEL(1/3*((J2-F2)^2+(J2-G2)^2+(J2-H2)^2+(J2-I2)^2))		=MITTELWERT(F2:I2)		=10*LOG(J2^2/K2^2)	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L			
	R1	R2	R3	R4	Y1	Y2	Y3	Y4	\bar{y}_m	s	S/N			
1	3	100	20	1	2,85	3,69	4,35	3,07	3,49	0,67	14,27			
2	5	100	20	1,5	3,33	3,29	5,02	4,72	4,09	0,91	13,06			
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	13,85			
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			

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*)

Bei zentral zusammengesetzten Versuchen gibt es zusätzlich die Möglichkeit den Abstand des inneren Gitteraufbaues einzustellen. Die Standardeinstellung ist Wurzel(2)



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

Das mehrmalige Erzeugen von D-Optimalen Plänen ergibt unterschiedliche Pläne,

die weitgehend gleichwertig sind. Voll- oder teilfaktorielle Pläne sind immer gleich.

Im Kapitel **Systemanalyse** am Ende 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.