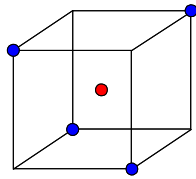




2K-TEILFAKTORIELLE VERSUCHSPLÄNE (FRACTIONAL FACTORIAL)



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank

2

2K-TEILFAKTORIELLE VERSUCHSPLÄNE



Lernziele

Sie kennen die **Vorteile teilfaktorieller Versuchspläne**.

Sie kennen und verstehen das **Konzept der Auflösung (Resolution)**.

Sie kennen die **Nomenklatur** teilfaktorieller Versuchspläne.

Sie können teilfaktorielle in **Minitab** erstellen und auswerten.

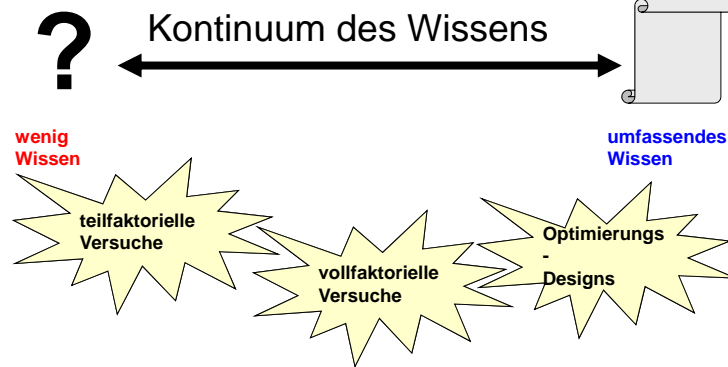
Sie kennen die **Konsequenzen der Überlagerung** für die Ergebnisinterpretation.

Sie können teilfaktorielle Versuche bei Bedarf **erweitern** (auffalten).

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Sequenzielle Vorgehensweise



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Warum teilfaktorielle Versuchspläne?

Wenn die Anzahl der Faktoren ansteigt, so steigt auch die Anzahl der notwendigen Teilversuche. Mit teilfaktoriellen Versuchsplänen kann der **Versuchsaufwand** erheblich reduziert werden:

Anzahl Faktoren	runs	
	2k-faktoriell	teilmfaktoriell (1/2 - 1/4 - 1/8 - 1/16 ... Fraktion)
3	8	4
4	16	8
5	32	16 - 8
6	64	32 - 16 - 8
7	128	64 - 32 - 16 - 8

Hauptanwendung der teilfaktoriellen Versuchspläne ist das Screening, d.h. eine relativ **große Zahl von Faktoren in wenigen Teilversuchen** werden untersucht, um festzustellen, ob sie überhaupt einen Einfluss haben.

Durch die Reduktion des Versuchsaufwands muss jedoch in Kauf genommen werden, dass nicht mehr alle Wechselwirkungen aufgelöst werden können. Im Extremfall sind Haupteffekte durch 2-fach Wechselwirkungen überlagert.

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Anzahl Wechselwirkungen im Versuchsplan

Die Anzahl der 2fach und mehrfach-Wechselwirkung wächst mit Erhöhung der Faktoren deutlich an.

Die Summe der Anzahl Effekte entspricht der Anzahl Versuche -1 (vollfaktoriell)

Anzahl Faktoren	Anzahl der Effekte		
	der Faktoren	der 2fach WW	3fach WW 4fach WW, ...
1	1	0	0
2	2	1	0
3	3	3	1
4	4	6	5
5	5	10	16
6	6	15	42
7	7	21	99
8	8	28	219

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Teilfaktorielle Versuchspläne

Teilfaktorielle Versuche basieren auf

dem Prinzip der "Spärlichkeit der Effekte" (Sparsity of Effects):

→ Systeme werden gewöhnlich durch **wenige Haupteffekte** und **Wechselwirkungen niedriger Ordnung** dominiert.

der Projektionseigenschaft:

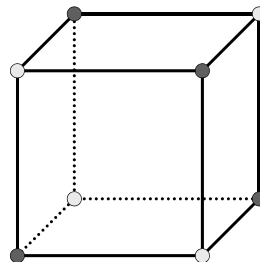
→ **Teilfaktorielle Versuchspläne repräsentieren vollfaktorielle Versuchspläne**, wenn einige **Faktoren nicht signifikant** sind.

→ Durch **Eliminierung von uninteressanten Input-Variablen** können teilfaktorielle Versuchspläne vollfaktoriell werden.

sequentiell Experimentieren:

→ Teilfaktorielle Versuchspläne können zu **größeren Designs** erweitert werden.

→ "**Half-Fractions**" können "**umgefaltet**" werden zu vollfaktoriellen Designs.



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Logik teilfaktorieller Versuchspläne

Es sollen **vier Input-Variablen** untersucht werden, es stehen jedoch nur Ressourcen für **8 Versuche** zur Verfügung.

Da es keine weiteren unabhängigen Muster von plus- und minus-Einstellungen gibt, als diejenigen der expandierten Designmatrix, muss der 4. Faktor in einem bestehenden Muster variiert werden.

Gewöhnlich wählen wir das **Muster der Wechselwirkung höchster Ordnung**, da diese am ehesten nicht signifikant ist.

A	B	C	A*B	A*C	B*C	D (A*B*C)
-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Beispiel eines teilfaktoriellen Versuchsplans

A	B	C	D
-1	-1	-1	-1
+1	-1	-1	+1
-1	+1	-1	+1
+1	+1	-1	-1
-1	-1	+1	+1
+1	-1	+1	-1
-1	+1	+1	-1
+1	+1	+1	+1

- Wenn 4 Faktoren in 8 Versuchen getestet, so wird der **vierten Faktor** im Muster der **3-fach WW A*B*C** variiert.
- Die **Effekte von D** und **A*B*C** lassen sich in der Folge **nicht mehr voneinander trennen**, da sie dasselbe plus-/minus-Muster aufweisen, auf dem die Berechnung der Effekte basiert.
- Dasselbe gilt auch für alle anderen Haupteffekte und 3-fach WW, ebenso sind 2-fach WW mit anderen 2-fach WW überlagert oder vermischt ($A=B*C*D / A*B=C*D / A*B*C=D$ etc.).

Hinweis

- Werden in einem teilfaktoriellen Versuch halb so viele Versuche durchgeführt wie beim vollfaktoriellen (hier: 8 anstatt $2^4 = 16$), spricht man auch von einer **halben Fraktion**.

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Auflösung teilfaktorieller Versuchspläne

Für die Reduktion des Versuchsaufwands ist jedoch auch ein Preis zu zahlen: Wechselwirkungen höherer Ordnung sind mit anderen Effekten vermengt und können nicht mehr voneinander unterschieden werden.

Um die **Vermengung** abzuschätzen, verwenden wir das Konzept der **Auflösung** (Resolution).

Design mit Resolution III

Haupteffekte sind mit **Wechselwirkungen zweiter Ordnung** vermengt.

Design mit Resolution IV

Haupteffekte sind mit **Wechselwirkungen dritter Ordnung** überlagert.

2-fach Wechselwirkungen sind mit anderen **2-fach Wechselwirkungen** vermengt.

Design mit Resolution V

Haupteffekte sind mit **4-fach Wechselwirkungen** überlagert, **2-fach** mit **3-fach** Wechselwirkungen.



Mögliche Versuchspläne in Minitab



Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design
> Display Available Designs...

Create Factorial Design - Display Available Designs

Available Factorial Designs (with Resolution)

Runs	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	Full	III												
8		Full	IV	III	III	III								
16			Full	V	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III
32				Full	VI	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
64					Full	VII	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
128						Full	VIII	VI	V	V	IV	IV	IV	IV

Available Resolution III Plackett-Burman Designs

Factors	Runs	Factors	Runs	Factors	Runs
2-7	12,20,24,28,...,48	20-23	24,28,32,36,...,48	36-39	40,44,48
8-11	12,20,24,28,...,48	24-27	28,32,36,40,44,48	40-43	44,48
12-15	20,24,28,36,...,48	28-31	32,36,40,44,48	44-47	48
16-19	20,24,28,32,...,48	32-35	36,40,44,48		

Help OK



Notation teilfaktorieller Versuche

Die allgemeine Notation für einen teilfaktoriellen Versuchsplan ist:

$$2_{R}^{k-p}$$

wobei:

- k → Anzahl der Faktoren im Experiment
- p → Anzahl der "Faltungen"
- 2^{k-p} → Anzahl der Teilversuche
- R → Auflösung (Resolution)

Beispiel: vier Faktoren werden in $2^{4-1} = 2^3 = 8$ Teilversuchen untersucht.
Das Design hat die Auflösung IV.

$$\frac{1}{2^1} * (2^4) = 2^{-1} * 2^4 = 2^{4-1} \rightarrow 2_{IV}^{4-1}$$



Beispiel Reaktionsrate

Ziel: - Erstellen des Versuchsdesigns und der Alias Tabelle

Output: % Reacted

Inputs:

- Förderrate [Liter/Minute] 12 / 18
- Katalysator [Typ] A / B
- Rührgeschwindigkeit [rpm] 80 / 100
- Temperatur [°C] 150 / 180
- Konzentration [%] 3 / 5

**Rahmen-
bedingung:** Sie haben nur Mittel für 16 Teilversuche, um die gegebenen fünf Parameter zu untersuchen.

Aufgaben:

1. Erstellen des teilfaktoriellen Designs
2. Bestimmen der Auslösung des Designs
3. Erzeugen der Alias-Tabelle der überlagerten Effekte



Erzeugung der Designmatrix

Wir erstellen das Design unter:



Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design...

Create Factorial Design

Type of Design

- 2-level factorial (default generators) [2 to 15 factors]
- 2-level factorial (specify generators) [2 to 15 factors]
- Plackett-Burman design [2 to 47 factors]
- General full factorial design [2 to 9 factors]

Number of factors: 5

Designs

Designs	Runs	Resolution	Z**[k-p]
1-level fractional	8	III	2**[0-1]
2-level fractional	16	IV	2**[0-1]
2-level fractional	32	Full	2**[0-1]

Number of center points: 0 [per block]

Number of replicates: 1 [for corner points only]

Number of blocks: 1

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Erzeugung der Designmatrix



Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design → Option > Factors

→ Eingabe der Faktorennamen und Faktorstufen

Modify Design - Modify Factors

Factor	Name	Type	Low	High
A	Förderrate	Numeric	12	18
B	Katalysator	Text	A	B
C	Rühr-Gesch	Numeric	80	100
D	Temperatur	Numeric	150	180
E	Konzentration	Numeric	3	5

attributiver Faktor

Hinweise

Der Faktortyp kann nachträglich nicht mehr geändert werden!
 Faktorstufen bei attributive Merkmale als Text eingeben, damit Verwechslungen zu variablen Merkmalen vermieden werden (→ Response Optimizer).

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Minitab Session Window

Fractional Factorial Design

```
Factors: 5 Base Design: 5; 16 Resolution: V
Runs: 16 Replicates: 1 Fraction: 1/2
Blocks: 1 Center pts (total): 0
```

Design Generators: E = ABCD

Alias Tabelle

```
A + BCDE
B + ACDE
C + ABDE
D + ABCE
E + ABCD
AB + CDE
AC + BDE
AD + BCE
AE + BCD
BC + ADE
BD + ACE
BE + ACD
CD + ABE
CE + ABD
DE + ABC
```

Das Design hat die **Resolution V**

- Haupteffekte sind mit **mindestens 4-fach** Wechselwirkungen vermengt
- 2-fach sind mit **mindestens 3-fach WW** vermengt

Wir haben eine **halbe Fraktion**, d.h. wir führen nur die **Hälfte** eines 2k-vollfaktoriellen Designs durch.

Die **Alias Table** gibt Auskunft über die Vermengung der Faktoren.

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Beispiel



Analysieren wir die Daten in der Datei: **Reaktionsrate.mtw**

Das sind Daten mit dem gleichen Design, wie wir eben erstellt haben.

Fractional Factorial Design

```
Factors: 5 Base Design: 5; 16 Resolution: V
Runs: 16 Replicates: 1 Fraction: 1/2
Blocks: 1 Center pts (total): 0
```

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank

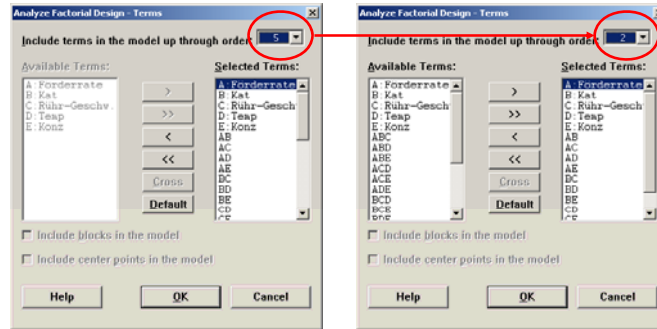


Beispiel

Da wir mit **Resolution V** arbeiten, reduzieren wir das Modell sofort auf 2-fach WW.



Stat > DOE > Factorial > Analyse Factorial Design... > Terms



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank

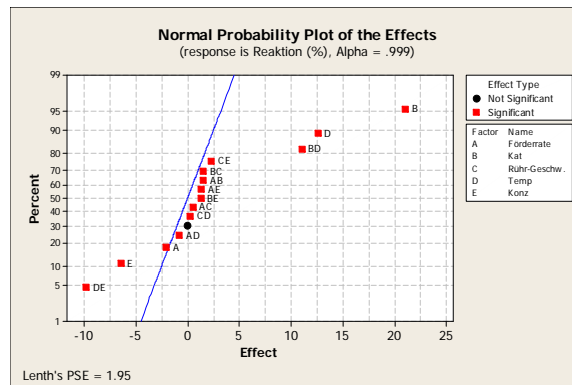


Effects Plot

Da wir **keine Versuchswiederholungen** haben, bekommen wir zunächst **keine p-Werte**. Anhand des **Normal Probability Plots** oder eines **Pareto-Diagramms** der Effekte können wir jedoch abschätzen, welche Effekte kaum signifikant sind.



Stat > DOE > Factorial > Analyse Factorial Design... > Graphs... > Normal
Alpha = 0,99



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Endgültiges Modell

Wir **entfernen** sukzessive **nicht signifikante Terme** und erhalten so unser endgültiges **Modell**.

Factorial Fit: Reaktion (%) versus Kat; Temp; Konz

Estimated Effects and Coefficients for Reaktion (%) (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		67,225	0,6841	98,27	0,000
Kat	21,100	10,550	0,6841	15,42	0,000
Temp	12,625	6,313	0,6841	9,23	0,000
Konz	-6,425	-3,213	0,6841	-4,70	0,001
Kat*Temp	11,075	5,538	0,6841	8,09	0,000
Temp*Konz	-9,800	-4,900	0,6841	-7,16	0,000

S = 2,73647 R-Sq = 97,88% R-Sq(adj) = 96,82%

Analysis of Variance for Reaktion (%) (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	2583,53	2583,53	861,175	115,00	0,000
2-Way Interactions	2	874,78	874,78	437,391	58,41	0,000
Residual Error	10	74,88	74,88	7,488		
Lack of Fit	2	7,50	7,50	3,751	0,49	0,656
Pure Error	8	67,38	67,38	8,423		
Total	15	3533,19				

Lack of fit: Fehlanpassung des Modells

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Endgültiges Modell

Die einzigen wichtigen Faktoren (Inputs) sind **Katalysator**, **Temperatur** und **Konzentration**; wir können daher die Analyse **ohne** die Faktoren **Förderrate** und **Rührgeschwindigkeit** wiederholen.

Damit erhalten wir ein **vollfaktorielles Design** für 3 Faktoren mit zwei Replikationen.

Signifikant sind auch die Wechselwirkung **Katalysator*Temp** und die Wechselwirkung **Temp*Konzentration**.

Lack of Fit / Fehlanpassung

In der ANOVA-Tafel erhalten wir eine Zeile "Lack of Fit". Der "Lack of Fit" beurteilt eine **mögliche Fehlanpassung** des Modells.

Interpretation des "Lack of Fit"

- p-Wert > 0,05 keine Fehlanpassung
- p-Wert < 0,05 Fehlanpassung des Modells (möglicherweise wurde ein signifikanter Term wesentlich aus dem Modell entfernt).

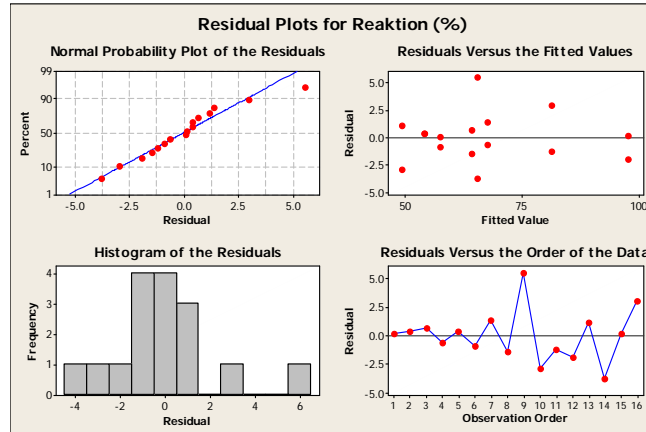
HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Residuen-Diagnostik



Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design > Graphs > Four in one



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank

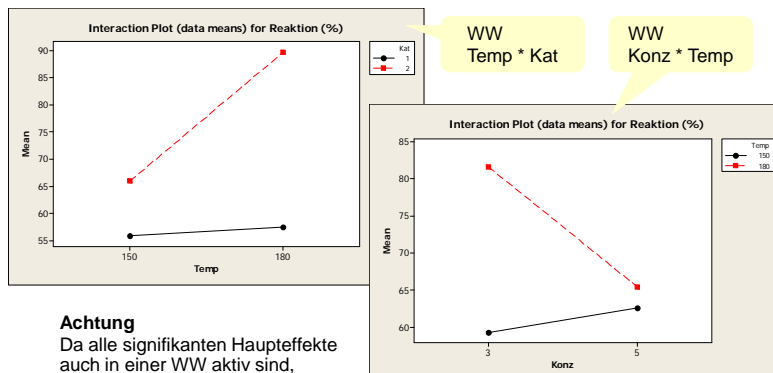


Wechselwirkungsplots

Erstellen und interpretieren Sie die Wechselwirkungsplots



Stat > DOE > Factorial > Factorial Plots... > Graphs > Interaction Plot



Achtung

Da alle signifikanten Haupteffekte auch in einer WW aktiv sind, stellen wir nur die Wechselwirkungsplots dar!

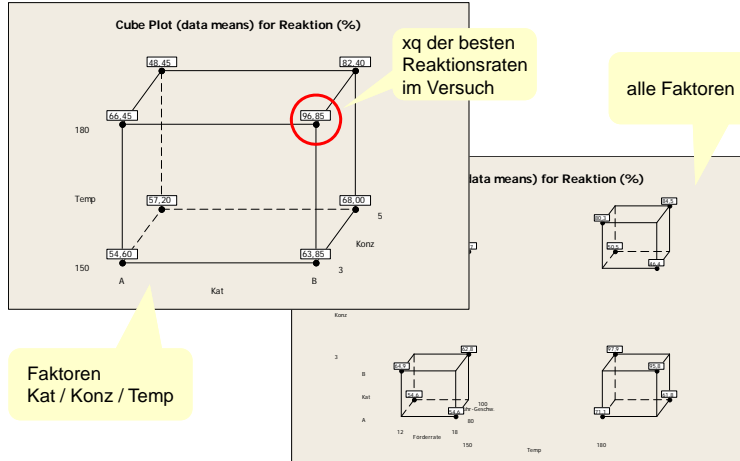
HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Cube Plot



Stat > DOE > Factorial > Factorial Plot... > Cube Plot > Setup



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank

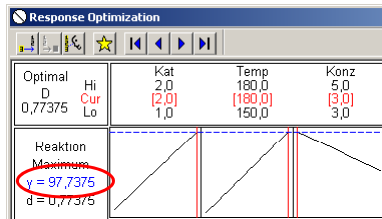


Response Optimizer



Stat > DOE > Factorial > Response Optimizer...

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
C10 Reaktion (%)	Maximize	90	100		1	1



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Ergebnisprognose

Förderrate	Kat	Rühr-Geschw.	Temp	Konz	Reaktion (%)	FITS1	RESI1
12	B		80	180	5	80,3	81,5125
18	B		80	180	3	95,8	97,7375
12	A		100	180	5	50,5	49,3375
18	A		100	180	3	61,8	65,5625
12	B		100	180	3	97,9	97,7375
18	B		100	180	5	84,5	81,5125

Die **besten Einstellungen** erhalten wir für:

- Katalysator: B (+1)
- Temperatur: 180°C (+1)
- Konzentration: 3% (-1)
- Förderrate / Rühr-Geschw. nicht signifikant → Einstellung kostenoptimal

Die **Ergebnisprognose** dafür ist:

- Mittelwert: $\mu = 97,7375$
- Streuung: $\sigma = 2,74$ (Wurzel (Lack of fit = 7,50))

Gleichung kodiert (-1/+1)

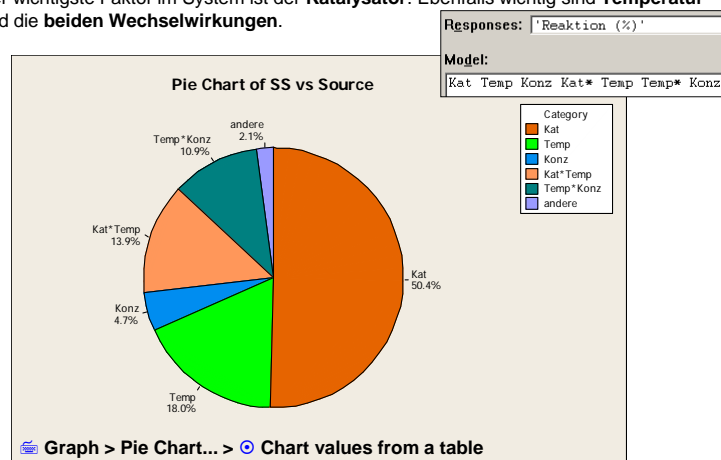
$$Y = -205-50,4 \cdot \text{kat} + 1,7 \cdot \text{Temp} + 50,7 \cdot \text{Konz} + 0,37 \cdot \text{Kat} \cdot \text{Temp} - 0,33 \cdot \text{Temp} \cdot \text{Kon}$$



Praktische Signifikanz

Wir rechnen unser endgültiges Modell nochmals im ANOVA-Menue.

Der wichtigste Faktor im System ist der **Katalysator**. Ebenfalls wichtig sind **Temperatur** und die **beiden Wechselwirkungen**.





Überprüfung von Überlagerungen

Da wir einen teilfaktoriellen Versuchsplan haben, sind die **Effekte** entsprechend der Alias Table **vermengt**. Kritisch ist v.a. die Überlagerung der 2-fach mit den 3-fach Wechselwirkungen (bei der Vermengung der Haupteffekte mit den 4-fach WW kann man davon ausgehen, dass die Effekte von den Haupteffekten herrühren).

Überlagert sind gemäss der Alias Table im Session Windows die Effekte von:

Alias Structure: $\underline{\text{Kat}}*\underline{\text{Temp}} \leftrightarrow \text{Förderrate}*\underline{\text{Rühr-Geschw.}}*\underline{\text{Konz}}$
 $\underline{\text{Temp}}*\underline{\text{Konz}} \leftrightarrow \text{Förderrate}*\underline{\text{Kat}}*\underline{\text{Rühr-Geschw.}}$

1. Möglichkeit zur Überprüfung überlagerter Wechselwirkungen

Die Praxis zeigt, dass i.d.R. **Haupteffekte** und ihre **Wechselwirkungen** aktiv sind.

- Von den in die überlagertem 3-fach WW eingebundenen Faktoren ist jeweils nur einer auch als Hauptfaktor signifikant (Kat bzw. Temp).
- Die in die 2-fach WW eingebundenen Faktoren (Kat*Temp bzw. Temp*Konz) sind alle auch als Hauptfaktoren signifikant.

→ Es ist somit wahrscheinlicher, dass die beobachteten Effekte von den **2-fach Wechselwirkungen** kommen und nicht von den **3-fach WW**.



Überprüfung von Überlagerungen

2. Möglichkeit zur Überprüfung überlagerter Wechselwirkungen

Bevor ein Prozess nach einem Versuch endgültig umstellt wird, muss noch ein **Bestätigungslauf** durchgeführt werden. Durch eine entsprechende Wahl der Faktorkombinationen kann dabei überprüft werden, ob man sich für die richtige der überlagerten Wechselwirkungen entschieden hat.

Einstellungen beim Bestätigungsversuch

Die **signifikanten Faktoren** werden beim Bestätigungslauf auf der identifizierten **optimalen Stufe** eingestellt.

Die nicht signifikanten Faktoren können **im Prinzip beliebig** eingestellt werden, da sie keinen Einfluss auf das Ergebnis haben dürften.

Um dies nachzuweisen werden die **nicht signifikanten Faktoren** auf denjenigen Stufen gefahren, die im Versuch nicht vorgekommen sind.

- Passen die im **Bestätigungsversuch** erzielten Ergebnisse zu den Erwartungen, so hat man sich für die richtigen WW entschieden.
- Weichen die Ergebnisse des Bestätigungsversuchs stark von der Prognose ab, so ist dies ein Hinweis darauf, sich falsch entschieden zu haben.



Ergebnisbestätigung

CenterPt	Förderrate	Kat	Rühr-Geschw.	Temp	Konz	Reaktion (%)	FITS1
1	12	1	80	150	5	57,7	57,5875
1	18	1	80	150	3	54,6	54,2125
1	12	2	80	150	3	64,9	64,2375
1	18	2	80	150	5	67,0	67,6125
1	12	1	100	150	3	54,6	54,2125
1	18	1	100	150	5	56,7	57,5875
1	12	2	100	150	5	69,0	67,6125
1	18	2	100	150	3	62,8	64,2375
1	12	1	80	180	3	71,1	65,5625
1	18	1	80	180	5	46,4	49,3375
1	12	2	80	180	5	80,3	81,5125
1	18	2	80	180	3	95,8	97,7375
1	12	1	100	180	5	50,5	49,3375
1	18	1	100	180	3	61,8	65,5625
1	12	2	100	180	3	97,9	97,7375
1	18	2	100	180	5	84,5	81,5125

Wir führen **zwei Bestätigungsläufe** mit folgenden Einstellungen durch, da die Förder-rate und die Rühr-Geschwindigkeit im Modell als nicht signifikant ermittelt wurden.

CenterPt	Förderrate	Kat	Rühr-Geschw.	Temp	Konz	Reaktion (%)	Prognose
1	18	2	100	180	3	???	97,7375
1	12	2	80	180	3	???	97,7375

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Hinweise zu teilfaktoriellen Versuchsplänen

Center Points & Blocks

In teilfaktoriellen Versuchsplänen können **Center Points** und **Blocks** verwendet werden, genau wie in vollfaktoriellen Versuchsplänen.

Auffaltung von Versuchsplänen

Das Auffalten von Versuchsplänen bedeutet: **Wiederholung des Experiments** mit **geänderten Vorzeichen** (+1 wird -1).

Beispiel: Eine halbe Fraktion kann aufgefaltet werden und wird zum vollfaktoriellen Versuchsplan mit **zwei Blöcken**.

Durch sequentielles Zusammenbauen von Teilfraktionen kann die Resolution erhöht werden. Die Effekte von vermengten Termen lassen sich durch Auffaltungen sukzessive isolieren.

Entfernung nicht-signifikanter Terme aus dem Modell

Den gleichen Effekt wie das Auffalten hat die Entfernung nicht-signifikanter Hauptfaktoren: Wenn bei teilfaktoriellen Versuchen Parameter aus dem Modell entfernt werden, erhöht sich die Fraktion für die verbleibenden Faktoren um den Faktor 2 für jeden entfernten Faktor (1/16 Fraktion → 1/8 Fraktion, 1/2 Fraktion → vollfaktoriell)

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Übung

Ziel: Vergleich von vollfaktoriellen und teilfaktoriellen Versuchsplänen und Untersuchung des Informationsverlustes durch den teilfaktoriellen Versuchsansatz.

Output: Datendurchsatz: je größer desto besser.

Inputs:

- Programm Algorithmus: 1, 2
- Programm: 1, 2
- Speicher 1, 2
- Prozessor 1, 2

Replikationen: 3

Prozedur: - Analysieren und vergleichen Sie die Versuche in den Dateien



Vollfaktoriell.mtw und **Teilfaktoriell.mtw**

- Notation, Schlussfolgerungen, Unterschiede in den Ergebnissen des teil- und vollfaktoriellen Versuchs.



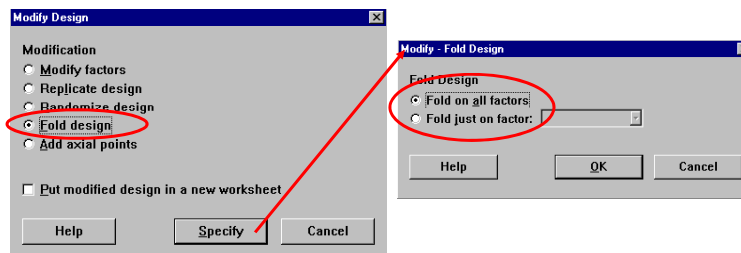
Auffalten von Versuchsplänen

Wenn wir die Effekte vermengter Faktoren nachträglich auflösen möchten, kann durch Auffaltung des Designs die Resolution erhöht werden.

Dabei gibt es die Möglichkeit, den Versuchsplan über alle Faktoren aufzufalten (alle Vorzeichen werden geändert) oder nur über einen Faktor (nur die Vorzeichen des einen Faktors werden geändert).



Stat > DOE > Modify Design...





Faltung von fraktionierten Versuchsplänen

Ausgangspunkt:

teilfaktorierter
Versuchsplan

A	B	C
-	-	+
+	-	-
-	+	-
+	+	+

aufgefaltet über
alle Faktoren
alle Vorzeichen
werden geändert

A	B	C
-	-	+
+	-	-
-	+	-
+	+	+
+	+	-
-	+	+
+	-	+
-	-	-

aufgefaltet
über A
nur Vorzeichen von
A werden geändert

A	B	C
-	-	+
+	-	-
-	+	-
+	+	+
+	-	+
-	-	-
+	+	-
-	+	+

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Beispiel: Auffalten von Versuchsplänen

Wir wollen 6 Faktoren in 16 Versuchen testen und haben den Verdacht, dass **Faktor B** mit anderen Faktoren in **Wechselwirkung** steht.

Wir erstellen einen teilfaktorieren Versuchsplan mit 8 Versuchen und falten den Versuchsplan um den Faktor B. Die Faltung um B bewirkt, dass der Faktor B zu ungunsten der anderen Faktoren von Überlagerungen entlastet wird.

OHNE FALTUNG

Alias Structure

A + BCE + DEF + ABCDF
 B + ACE + CDF + ABDEF
 C + ABE + BDF + ACDEF
 D + AEF + BCF + ABCDE
 E + ABC + ADF + BCDEF
 F + ADE + BCD + ABCEF
 AB + CE + ACDF + BDEF
 AC + BE + ABDF + CDEF
 AD + EF + ABCF + BCDE
 AE + BC + DF + ABCDEF
 AF + DE + ABCD + BCEF
 BD + CF + ABEF + ACDE
 BF + CD + ABDE + ACEF
 ABD + ACF + BEF + CDE
 ABF + ACD + BDE + CEF

FALTUNG auf Faktor B

Alias Structure

A + CE + CDF + ADEF
 B + ABCE + BDEF + ABCDF
 C + AE + ADF + CDEF
 D + EF + ACF + ACDE
 E + AC + DF + ACDEF
 F + DE + ACD + ACEF
 AB + BCE + BCDF + ABDEF
 AD + CF + AEF + CDE
 AF + CD + ADE + CEF
 BC + ABE + ABDF + BCDEF
 BD + BEF + ABCF + ABCDE
 BE + ABC + BDF + ABCDEF
 BF + BDE + ABCD + ABCEF
 ABD + BCF + ABEF + BCDE
 ABF + BCD + ABDE + BCEF

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Regeln für voll- und teilfaktorielle Versuche

Liste der **verdächtigen Variablen** erstellen, ggf. in Steuer- und Störgrößen unterteilen (z.B. anhand von gefundenen Indizien aus Vorversuchen).

Ausgehend von den bisherigen Prozesseinstellungen **zwei mögliche Wertstufen** (+) und (-) für die Steuergrößen festlegen. Es sollten möglichst weite Einstellungen gewählt werden – jedoch solche, die Sie in der Praxis auch einstellen würden.

Steuer- und Störgrößen auf starke Wechselwirkungen überprüfen.

Festlegen des Designs (voll- oder teilfaktoriell halbe / viertel / achte Fraktion, Anzahl Center Points, Blöcke, Anzahl Versuchswiederholungen).

Versuchsmatrix mit den möglichen plus-minus-Kombinationen, der gewählten Anzahl Center Points und der gewünschten Anzahl Wiederholungen erstellen.

Versuchsreihenfolgen mittels Zufallszahlen bestimmen (theoretisch).

Durchführen der Versuche, Protokoll schreiben (Log-Buch), ggf. Störgrößen mitschreiben.

Daten aus dem gesamten Versuch auf **Haupt- und Wechselwirkungen analysieren** und Schlussfolgerungen ziehen.

Ergebnisbestätigung durchführen.