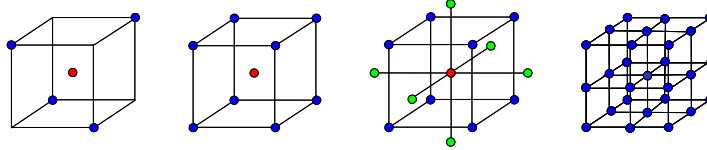




DESIGN OF EXPERIMENTS LEITFADEN



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank

2

DOE-LEITFADEN



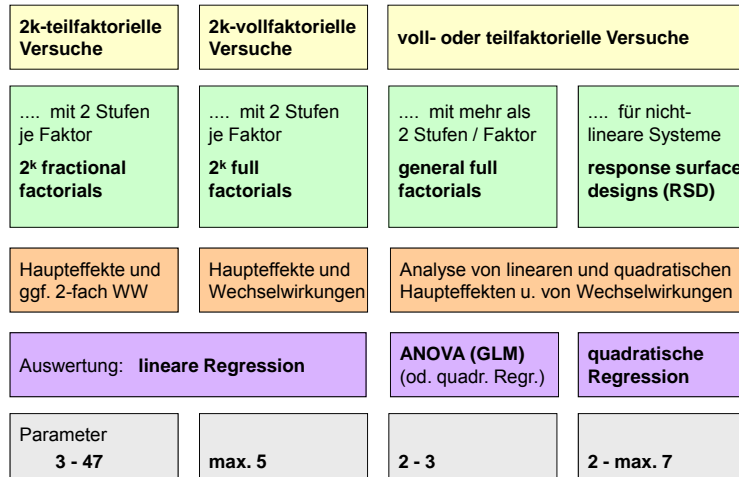
Lernziele

- Sie erkennen, dass die **Planung** entscheidend ist für den Erfolg eines Experiments.
- Sie kennen die erforderlichen **Schritte zur Planung, Durchführung und Analyse** eines Experiments..
- Sie Sie wissen, worauf sie bei den einzelnen Schritten besonders **achten** müssen..
- Sie bekommen eine Reihe **praktischer Hinweise**.

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



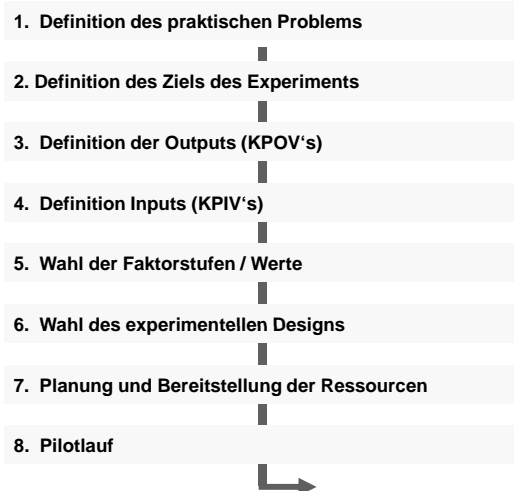
Überblick über verschiedene Versuchspläne



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



DoE-Leitfaden (1)



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



DoE-Leitfaden (2)



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



1. Definition des praktischen Problems

Definieren Sie möglichst genau Ihre praktische Problemstellung.

Definieren Sie die **Messgrößen**, an denen Sie das Problem festmachen können:

- RTY (rolled throughput yield)
- COPQ (costs of poor quality)
- DPMO (defects per million opportunities)
- μ / σ
- c_p / c_{pk} etc.

2. Definition des Ziels des Experiments

Was ist Ihr **Output**?

Das Ziel wird im allgemeinen sein, den Effekt der Inputs auf die Outputs zu ermitteln, d.h., die Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen den KPIV's (key process input variables) und den kritischen Produktcharakteristiken, um die Performance zu optimieren.

Funktion: $y = f(x)$

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



3. Definition der Outputs (KPOV's)

Wollen Sie **einen oder mehrere Outputs** untersuchen?

Wollen Sie **Mittelwert** oder **Streuung** oder beides betrachten?

Wollen Sie **maximieren** oder **minimieren** oder einen **Zielwert** mit möglichst wenig Streuung erreichen?

Liegen **kontinuierliche (variable)** oder zumindest **diskrete (ganzzahlige)** Daten vor?

Ist eine **Umwandlung von attributiven Daten in diskrete Variablen** (Zahlenreihe zur Kategorisierung der Ergebnisse) möglich?
(Falls ja, stellen Sie die Korrelation der attributiven Daten mit den diskreten Grössen sicher und überprüfen Sie das neue Messsystem mittels Gage R&R.)

(KPOV Key Process **Output** Variable)



4. Definition der Input-Variablen (KPIV's)

Methoden zur Erarbeitung der KPIV's

Teamwork
Brainstorming
Isikawa, C&E-Matrix
FMEA, QFD
Process Mapping
Korrelation
Regression
Multi-Vari
ANOVA

Potentielle Wissensträger

Bedienungspersonal
Zulieferer/Kunden
Externe Know-how-Träger
Wissenschaftliche Theorie/Literatur
(KPIV Key Process **Input** Variable)



5. Wahl der Faktorstufen

Die Wahl der Faktorstufen ist sehr wichtig für ein aussagekräftiges Experiment.

Wählen Sie drastische Faktorstufen und beachten Sie die folgenden Hinweise:

- Werden die Faktoren zu eng gesetzt, kann der Effekt durch die Störgrößen zugedeckt werden.
- Werden die Faktorstufen zu breit gesetzt, so kann der Effekt durch **Krümmung** verkürzt werden. (Dies können Sie durch die Aufnahme von Center Points verhindern.)
- Beachten Sie die **natürlichen** oder **technischen Prozessgrenzen**.
- Nehmen Sie nur Stufen, die Sie auch in **Realität** einstellen würden.

Erarbeiten Sie die Faktorstufen mit einem **Team von Prozessspezialisten!**



6. Wahl des experimentellen Designs

Screening Designs

Ziel ist die Bestimmung der **wichtigsten** (vital few) **Inputs** aus einer grossen Anzahl von Variablen mit einer möglichst **geringen Anzahl** von Teilversuchen.

Wählen Sie extreme Faktorstufen (levels of setting), um sicherzugehen, dass Sie keinen Effekt übersehen (falls er existiert) und berücksichtigen Sie die aktuellen Prozessbedingungen.

Verwenden Sie teilfaktorielle Versuchspläne, wenn möglich mit Center Points.

Characterization Designs

Ziel ist die Identifizierung der wichtigsten Variablen (2 – 6 KPIV's).

Untersuchen Sie die Beziehungen zwischen den Variablen (**Wechselwirkungen**). Die Faktorstufen werden enger gesetzt.

Typischerweise werden full factorials oder Designs höherer Auflösung eingesetzt.

Optimization Designs

Ziel ist die Bestimmung der **optimalen Einstellungen** für die wichtigen Input-Variablen.

Typischerweise werden full factorials oder Response Surface Designs eingesetzt.



6. Wahl des experimentellen Designs

Stichprobengröße

Neben den Faktorstufen und den Störgrößen ist die Anzahl der **Versuchswiederholungen** entscheidend dafür, ob wichtige Effekte auch gefunden werden.

Bestimmen Sie den **minimalen Unterschied** im Response, den Sie finden wollen.

Schätzen Sie das **Sigma**, das Sie erwarten.

Legen Sie das **Risiko** und die gewünschte **Power** fest.

Ermitteln Sie in Minitab die erforderliche **Stichprobengröße**.



Stat > Power and Sample Size > 2-level factorial Design...

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



6. Wahl des experimentellen Designs

Behandlung von Störgrößen

Bekannte und vermeidbare Störgrößen sollten (unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit) soweit als möglich eliminiert werden.

Bekannte und unvermeidbare Störgrößen sollten **als Faktor aufgenommen, geblockt** (attributive Störgrößen) oder **als Kovariablen mitgeschrieben** (variable Störgrößen) werden.

Unbekannte Störgrößen könnten eine Rolle spielen.

Randomisieren Sie nach Möglichkeit die Teilversuche, um das Risiko eines systematischen Einflusses von Störgrößen auf das Experiment zu minimieren.

Über Störgrößen, die während der Datenaufnahme konstant waren, lässt sich keine Aussage treffen.

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



7. Planung und Bereitstellung von Ressourcen

Wie lange werden Sie den normalen **Prozessablauf unterbrechen**?

Wie viel wird Ihr **Experiment kosten**?

Informieren und trainieren Sie.

Legen Sie klare **Verantwortungsbereiche** fest.

Seien Sie bereit für **Veränderungen**.

Experimentieren ist ein **kontinuierlicher Lernprozess**.

8. Pilotlauf

Wann immer möglich, starten Sie zunächst einen **Pilotlauf mit der kritischsten Einstellkombination**. Dies dient der Sicherstellung, dass die Versuche wie geplant gefahren werden können und der Ausmerzung von Fehlern im **Versuchsablauf** und der **Datenerfassung**.

Stellen Sie sicher, dass alle Beteiligten ein klares **Verständnis** ihrer jeweiligen Aufgaben und Verantwortungen haben.

Der **Pilotlauf ist der erste Versuch ihres regulären Designs**.



9. Versuchsdurchführung

Beobachten Sie **sorgfältig** die Versuchsdurchführung und notieren Sie alle ungewöhnlichen Vorkommnisse.

Führen Sie ein **Logbuch**.

Seien Sie nach Möglichkeit während des Experiments **präsent**.

Achten Sie jedoch darauf, dass dadurch der Ablauf (Störgrößen) nicht anders ist, als sonst auch.

10. Datenanalyse

Führen Sie eine **sorgfältige und prompte Datenanalyse** durch, wie Sie es geübt haben.

Stellen Sie die Ergebnisse folgendermassen dar:

- graphisch
- beschreibend (descriptive)
- schliessend (inferential)



11. Statistische Schlussfolgerungen

Der **Gültigkeitsbereich** (Inferenzbereich) bezeichnet den **Bereich der Faktorstufen**, für den Schlussfolgerungen gezogen werden können. Der Gültigkeitsbereich hängt auch davon ab, wie wir das Experiment durchgeführt haben.

Ein enger Gültigkeitsbereich beschränkt sich auf einen kleinen Bereich des ganzen Prozesses (1 Schicht, 1 Maschine, 1 Charge etc.)

Ein weiterer Gültigkeitsbereich umfasst den **ganzen Prozess** (alle Schichten, alle Maschinen etc.)

Die **statistische Gültigkeit** ist bedroht durch

- eine zu geringe Stichprobengröße,
- ein nicht geeignetes Messsystem
- die Variation unbekannter Einflussgrößen.

Interne experimentelle Gültigkeit

- War es wirklich die Input-Variable, die den Output verändert hat oder war es eine Störgröße (siehe Behandlung von Störgrößen)? Bei teilfaktoriellen Versuchen ist zudem die Überlagerung von Effekten zu beachten.

Externe experimentelle Gültigkeit

- Können die Schlussfolgerungen auf ähnliche Prozesse ausgedehnt werden?



12. Ergebnisbestätigung

Führen Sie **immer einen Bestätigungslauf** durch, um Ihre Schlussfolgerungen zu überprüfen.

Normalerweise ist das ein Lauf mit den **optimierten Prozessbedingungen**.

Bei teilfaktoriellen Versuchen benutzen wir für **nicht signifikante Faktoren** diejenigen **Einstellungen**, die wir bisher **noch nicht realisiert** haben.



13. Praktische Schlussfolgerungen und Bericht

Praktische Auswirkungen der geänderten Prozessparameter

Investitionen

Verbrauchsmaterial und Prozesskosten

Organisation

Training

Vorbeugende Instandhaltung etc.

Abschlussbericht:

- Zusammenfassung (für das Management)
- Problembeschreibung und Hintergrund
- Ziele
- Design (inkl. KPIV's, KPOV's, Levels etc.)
- Datenanalyse und Resultate
- Schlussfolgerungen und Empfehlungen



14. Implementierung der Prozessverbesserung

Passen Sie alle relevanten **Prozessdokumentationen** an:

- Arbeitsanweisungen
- FMEA
- Process Map
- Prüfpläne
- Wartungsanweisungen etc.

15. Steuerung des geänderten Prozesses

Neue (geänderte) Parameter?

Neue Stichprobenerhebung (sampling scheme)?

Neue Kontroll-/Regelgrenzen?



Zusammenfassung

Experimentieren ist ein **sequentieller Vorgang**. Nicht jedes Experiment führt zum Ziel, aber jedes Experiment führt zu einem systematischen Zuwachs an Wissen über den Prozess.

In der Regel werden Sie nicht mit einem Experiment auskommen. Geben Sie deshalb max. 25% des Budgets für das erste Experiment aus.

Die **Planung des Experiments** ist sehr wichtig. Verwenden Sie genügend Zeit für die Vorbereitung. Planungsfehler lassen sich im nachhinein nur schlecht korrigieren.

Starten Sie mit **teilkfaktoriellen Versuchen**. Verwenden Sie wenn möglich **Center Points**. Beginnen Sie mit **vielen Input-Faktoren**.

Beachten Sie den Umgang mit **Störgrößen**.

Sorgen Sie dafür, dass Ihre **Ergebnisse** möglichst breite Gültigkeit haben.



Projektbezogene Übung

Identifizieren Sie für Ihr laufendes Projekt ein mögliches **Experiment**.

Listen Sie **Inputs, Outputs** und **Störgrößen**.

Nennen Sie ein Beispiel für je ein Experiment mit breitem und engem Gültigkeitsbereich (Interferenzbereich).

Identifizieren Sie **mögliche Bedrohungen** der internen und externen Gültigkeit.