



PRINZIPIELLE VERSUCHSMETHODEN

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



2

VERSUCHSMETHODEN

Lernziele

Sie kennen Methoden, um auf einfache Art und Weise und ohne statistisches Wissen Ansatzpunkte für **Problemursachen** zu schaffen.

In nachfolgenden Kapiteln lernen sie, wie die Ergebnisse bei Bedarf auch statistisch **interpretiert** werden können.

Übersicht der Versuchsmethoden

- Komponententausch
- paarweiser Vergleich
- Variablenvergleich
- einfaktorieller Versuch

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Komponententausch

Beim Komponententausch werden nacheinander einzelne Komponenten zweier Einheiten vertauscht und ihr Einfluss auf das Qualitätsmerkmal untersucht.

Ziele und Anwendungsbereiche

- Haupteinflussgrößen in einem Zusammenbau eingrenzen
- Versuchsaufwand im Vorfeld eines vollfaktoriellen Versuchs reduzieren
- in Prototypenphase, Vorserie

Randbedingungen

- Anzahl der möglichen Variablen sollte über 20 liegen (ansonsten sind effizientere Versuche sinnvoll)
- Einheiten müssen zerlegbar sein
- Unterschied zwischen „guten“ und „schlechten“ Einheiten muss signifikant und eindeutig definierbar sein
- signifikante Einflussgrößen müssen vorhanden sein

Vorteile

- einfach und wirkungsvoll (nur zwei Einheiten sind notwendig)
- schnelle Identifikation der Haupteinflussgrößen
- Wechselwirkungen sind direkt erkennbar

Nachteile

- nur für zerlegbare Einheiten anwendbar



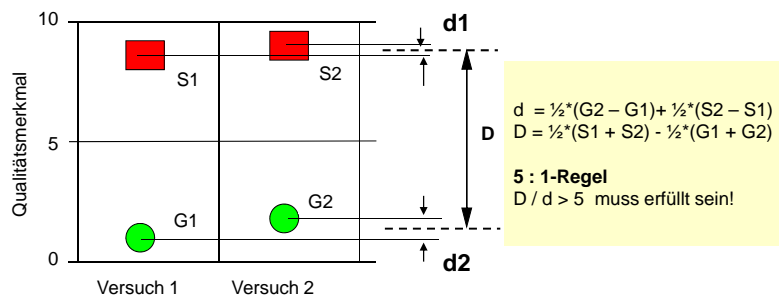
Vorgehen beim Komponententausch

Eingangstest (5:1 – Regel)

Mit dem Eingangstest wird geprüft, ob eine signifikante und wiederholbare Differenz zwischen guten und schlechten Einheiten besteht.

Vorgehen

Gute (G) und schlechte (S) Einheiten messen, zerlegen, wieder zusammenbauen und nochmals messen. D und d berechnen.





Beispiel für Komponententausch

Elektrogerät mit folgenden Baugruppen

- A – Mikroprozessor
- B – Transistor 1
- C – Transistor 2
- D – Netzschalter
- E – Kondensator
- F – Lager
- G – Gehäuse

Versuchsplan

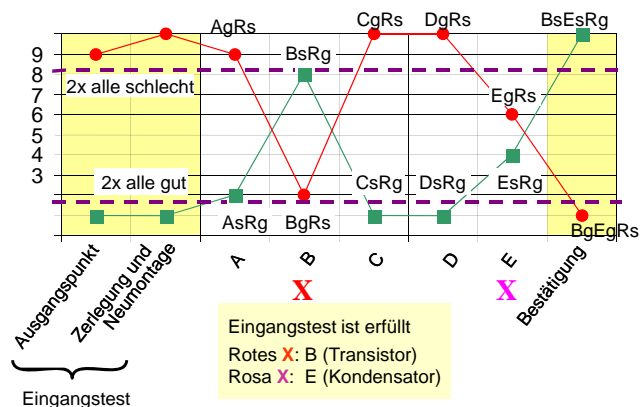
Versuch	Kombination	Ergebnis	Bemerkungen
Start	alles gut	1	Eingangstest
	alles schlecht	9	
zerlegt u. wieder zusammengebaut	alles gut	1	
	alles schlecht	10	
A	AsRg	2	
	AgRs	9	
B	BsRg	8	
	BgRs	2	
C	CsRg	1	
	CgRs	10	
D	DsRg	1	
	DgRs	10	
E	EsRg	4	
	EgRs	6	
Bestätigung	BsEsRg	10	
	BgEgRs	1	

Ag – Bauteil A aus
gutem Produkt
Rs – restliche Bauteile
aus schlechtem
Produkt

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Graphische Auswertung der Ergebnisse



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Wechselwirkungsanalyse

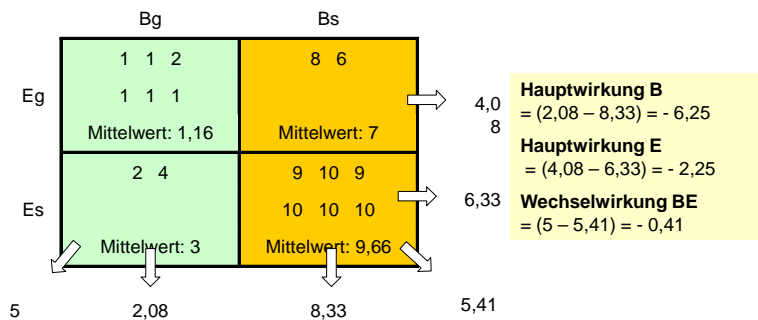
Beispiel Elektrogerät

In jedes Feld die Ergebnisse aller Versuche eintragen, für die B und E in den entsprechenden Stufen vorliegen.

Für jedes Feld den Mittelwert bestimmen.

Nochmalige Mittelwertbildung in den Spalten, Zeilen und Diagonalen

Je höher die Differenz von Spalten-, Zeilen- und Diagonalsummen, desto stärker ist die Wirkung des Parameters.



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank

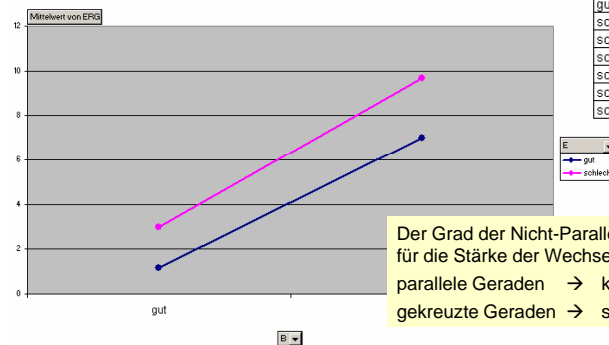


Grafische Auswertung der Ergebnisse

Beispiel Elektrogerät

Zusammenfassung

Der Parameter B hat den größten Einfluss auf das Ergebnis (rotes X), der Parameter E hat einen geringeren Einfluss (rosa X). Die Wechselwirkung zwischen B und E ist vernachlässigbar.



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Regeln beim Komponententausch

2 Produkte auswählen, bei denen das Qualitätsmerkmal **so unterschiedlich wie möglich** ist.

Produkte zerlegen, wieder zusammenbauen und nochmals messen. Durch das Zerlegen und wieder Zusammenbauen dürfen sich die Ergebnisse nicht signifikant verändern, ansonsten ist die Hauptursache im Montageprozess zu suchen und nicht im Teil selbst.

Prüfen, ob eine **signifikante und wiederholbare Differenz** zwischen guten und schlechten Einheiten besteht (5:1 Regel).

Entscheidungsgrenzen / Zufallsstreuungsbereich für jede Einheit festlegen.

Die Einzelteile in der **Reihenfolge ihrer erwarteten Wichtigkeit** austauschen.

Jeder Tausch, bei dem das **Ergebnis außerhalb der Entscheidungsgrenzen** liegt, bedeutet, dass die Komponente zum **Unterschied** zwischen den Einheiten beiträgt.

Wenn 2 oder mehrere signifikante Komponenten ermittelt worden sind, den **Schlusslauf** durchführen. Dabei werden die getesteten Teile als Gruppe gegen alle nicht getesteten Teile als Gruppe geprüft. Wenn eine vollständige Umkehr damit erzielt wird, haben die bis jetzt nicht getauschten Komponenten keinen signifikanten Einfluss. Der Versuch kann damit beendet werden.

Eine **Versuchsmatrix** anlegen, in der alle signifikanten Komponenten als Variablen angelegt sind. Alle ermittelten Messwerte eintragen. Analyse auf Wechselwirkungen.

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Paarweiser Vergleich

Es werden "gute" und "schlechte" Einheiten miteinander verglichen und auf signifikante Unterschiede untersucht.

Ziele und Anwendungsbereiche

- Aufdecken von Wiederholungsmustern der Unterschiede zwischen guten und schlechten Einheiten bei z.B. Montageoperationen, Versuchsreihen

Randbedingungen

- Anzahl der möglichen Variablen sollte über 20 liegen (ansonsten sind effizientere Versuche sinnvoll)
- Einheiten sind nicht zerlegbar (ansonsten: Komponententausch)
- je 5 "gute" und "schlechte" Einheiten sind vorhanden
- "gut" und "schlecht" ist genau definiert und unterscheidet sich signifikant
- Einheiten müssen zufällig ausgewählt werden

Vorteile

- bei nicht zerlegbaren Einheiten anwendbar
- geringer Aufwand

Nachteile

- nur anwendbar, wenn mindestens 5 gute und schlechte Teile vorhanden sind

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Beispiel für paarweisen Vergleich

Bei Getränkeflaschen mit Kohlensäure kommt es vor, dass aufgrund von **Undichtigkeiten** ein **Druckverlust** in der Flasche entsteht. Das Ausgangsmaterial für die Analyse sind 5 Flaschenpaare mit je einer reklamierten und nicht-reklamierten Flasche.

Paar-Nr.	Beurteilung	festgestellte Unterschiede
1	gut	abgelöstes Etikett, Abfüllwoche 29
	schlecht	Abfüllwoche 28, beschädigter Hals, beschädigter Verschluss
2	gut	Abfüllwoche 29
	schlecht	abgelöstes Etikett, Abfüllwoche 28, beschädigter Hals
3	gut	Abfüllwoche 25
	schlecht	Abfüllwoche 26, beschädigter Verschluss
4	gut	Abfüllwoche 27
	schlecht	Abfüllwoche 28, beschädigter Hals
5	gut	Abfüllwoche 28, beschädigter Hals
	schlecht	Abfüllwoche 28, beschädigter Verschluss

Die **Haupteinflussgröße** hat mit der **Abfüllwoche 28** zu tun (4 Wiederholungen). Die undichten Flaschen stammen mit einer Ausnahme alle aus dieser Woche.

Ein weiterer Ansatzpunkt sind die **beschädigten Verschlüsse** (3 Wiederholungen), die nur bei den schlechten Flaschen vorkommen.

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Regeln

Mindestens 5 Paare von je einem guten und einem schlechten Teil auswählen. Jedes Paar besteht aus Teilen, von denen angenommen wurde, dass sie identisch sind, deren untersuchtes Qualitätsmerkmal jedoch sehr unterschiedlich war.

Möglichst viele **Parameter messen**.

Die Parameter innerhalb der Paare vergleichen. Ändert sich ein Parameter bei jedem Paar von gut nach schlecht in dieselbe Richtung, verbirgt sich dahinter eine Hauptursache (Rotes X).

Ist ein Parameter nicht ausschließlich, aber überwiegend bei den schlechten Einheiten zu finden, deutet dies auf eine Wechselwirkung mit einem anderen Parameter hin.

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Variablenvergleich

Beim Variablenvergleich werden die Haupteinflussgrößen durch Variation der **Einflussgrößen auf zwei Stufen** eingegrenzt.

Ziele und Anwendungsbereiche

- wichtige von unwichtigen Variablen trennen
- Versuchsanzahl eines vollfaktoriellen Versuchs reduzieren
- in Prototypenphase

Randbedingungen

- Variablenzahl 5 - 20
- signifikante Einflussgrößen müssen vorhanden sein (wenn alle Einflussgrößen einen ähnlich starken Effekt haben ist die Methode ungeeignet)
- je Einflussgröße sind 2 Einstellungsstufen notwendig
- Versuchsumfang: $(2 \times \text{Anzahl Parameter}) + 6$

Vorteile

- nur geringe Statistikkennnisse notwendig
- Wechselwirkungen werden erkannt
- Versuchsabbruch ist möglich, wenn dominante Faktoren gefunden werden

Nachteile

- nur starke Haupteffekte werden erkannt



Beispiel für Variablenvergleich

Untersuchter Prozess: Nähen von Sitzpolstern

Qualitätsmerkmal: Nahtverlauf
 Beurteilung der Naht: 1 mangelhaft
 10 sehr gut

Methode zur Beurteilung der Ergebnisse:

Transformation von attributiven Merkmalen (siehe Messsystem)

Faktoren mit Einfluss auf das Ergebnis:

Faktor	Beschreibung	Stufe	
		gut	schlecht
A	Stoffdicke	6 mm	4 mm
B	Fadenstärke	1 mm	0,25 mm
C	Stichlänge	3 mm	6 mm
D	Nadelstärke	1,5 mm	1,1 mm
E	Stoffkaschierung	4 mm	2 mm
F	Fadenspannung	100 Nm	45 Nm

gute Einstellung
bestmögliches Ergebnis

schlechte Einstellung
gerade noch
annehmbares Ergebnis



Beispiel für Variablenvergleich

Versuchsplan

Versuch	Kombination	Ergebnis	Bemerkungen
Eingangsversuch	alles gut	9	Eingangstest
	alles schlecht	3	
Wiederholungsversuch	alles gut	8	
	alles schlecht	2	
A	AsRg	7	Ag → Parameter A auf „guter“ Stufe
	AgRs	3	
B	BsRg	9	Rs → restliche Faktoren auf „schlechter“ Stufe
	BgRs	2	
C	CsRg	6	
	CgRs	4	
D	DsRg	8	5 : 1 – Regel
	DgRs	3	
E	EsRg	8	$d = \frac{1}{2} \cdot (G2 - G1) + \frac{1}{2} \cdot (S2 - S1)$
	EgRs	2	
F	FsRs	5	$D = \frac{1}{2} \cdot (S1 + S2) - \frac{1}{2} \cdot (G1 + G2)$
	FgRs	4	
Schlusslauf	CsFsRg	2	$D / d = 6$
	CgFgRs	9	

5 : 1 – Regel

$$d = \frac{1}{2} \cdot (G2 - G1) + \frac{1}{2} \cdot (S2 - S1)$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot (S1 + S2) - \frac{1}{2} \cdot (G1 + G2)$$

$$D / d = 6$$

→ $D / d > 5$ ist somit erfüllt

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Graphische Darstellung des Variablenvergleichs

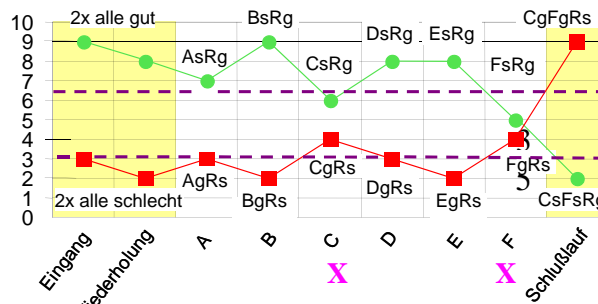
Rotes X

Es gibt kein Rotes X d.h. es liegt keine dominante Einflussgröße vor, die eine totale Umkehr bewirkt.

Rosa X

Eine teilweise Änderung des Ergebnisses gegenüber Eingangsversuch erfolgt mit den Faktoren C und F einzeln.

Bei gemeinsamer Änderung erfolgt eine totale Umkehr.



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Bestimmung der Einzel- und Wechselwirkungen

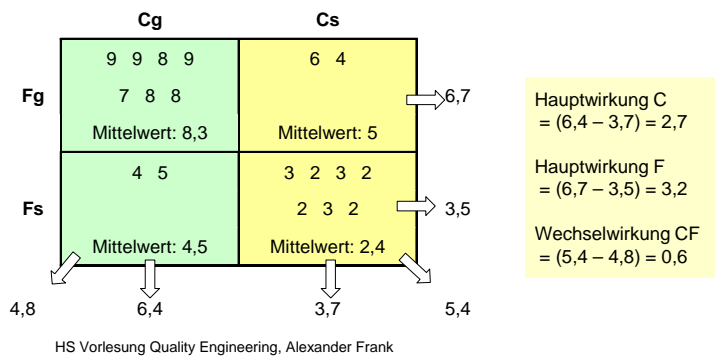
Beispiel: Nähen von Sitzpolstern

In jedes Feld die Ergebnisse aller Versuche eintragen, für die C und F in den entsprechenden Stufen vorliegen.

Für jedes Feld den Mittelwert bestimmen.

Nochmalige Mittelwertbildung in den Spalten, Zeilen und Diagonalen.

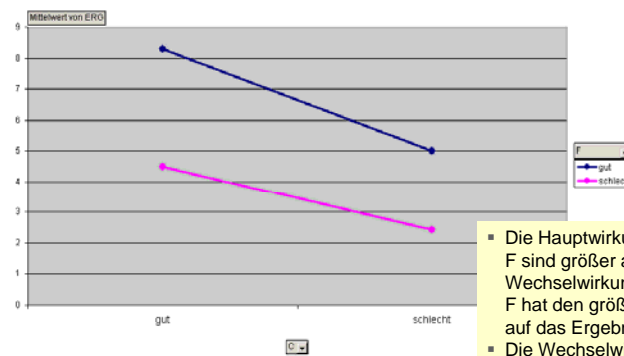
Je höher die Differenz von Spalten-, Zeilen- und Diagonalsummen, desto stärker ist die Wirkung des Parameters.



Grafische Auswertung der Ergebnisse

Beispiel: Nähen von Sitzpolstern

Graphische Auswertung der Wechselwirkung zwischen der Stichtlänge (C) und der Fadenspannung (F)



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Regeln

Liste der verdächtigen Variablen erstellen (z.B. anhand von gefundenen Indizien aus Vorversuchen)

Wertstufen für diejenigen Variablen festlegen, für die ein hohes bzw. ein niedriges Ergebnis erwartet wird

Variablen nach ihrer vermuteten Wichtigkeit sortieren (Alternative: nach Versuchsaufwand)

Startbedingungen überprüfen: je drei Stichproben für die Hoch- und Niedrig-Einstellung messen (5:1 Regel); ist die Startbedingung nicht erfüllt, kann der Versuch dennoch durchgeführt werden, um den Einfluss der einzelnen Variablen kennen zu lernen (→ siehe weiter hinten).

Entscheidungsgrenzen für die Ergebnisse festlegen

Variablen in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit tauschen und jeweils mindestens 3 Stichproben entnehmen; immer auch das Spiegelbild prüfen

Wenn zwei oder mehr signifikante Variablen gefunden wurden: Versuche abbrechen und den Schlusslauf durchführen

Im Schlusslauf die signifikanten Variablen als Gruppe tauschen

Schlusslauf ist bestanden, wenn sich die Ergebnisse komplett umkehren

Eine vollfaktorielle Matrix zur Wechselwirkungsanalyse für die signifikanten Variablen mit den Daten aus dem gesamten Versuch erstellen

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Beispiel für nicht bestandenen Eingangstest

Ein nicht bestandener Eingangstest (5 : 1 Regel) bedeutet, dass der Unterschied zwischen guter und schlechter Parametereinstellung der untersuchten Variablen gegenüber der Wiederholgenauigkeit sehr gering ist.

Folgende Ursachen dafür sind möglich::

Bei einzelnen Parametern ist die Annahme für eine gute und schlechte Einstellung falsch (vertauscht).

Keiner der betrachteten Parameter ist rotes X oder rosa X, die Hauptursachen liegen außerhalb der betrachteten Variablen.

Eine Verbesserung ist technologisch nicht möglich.

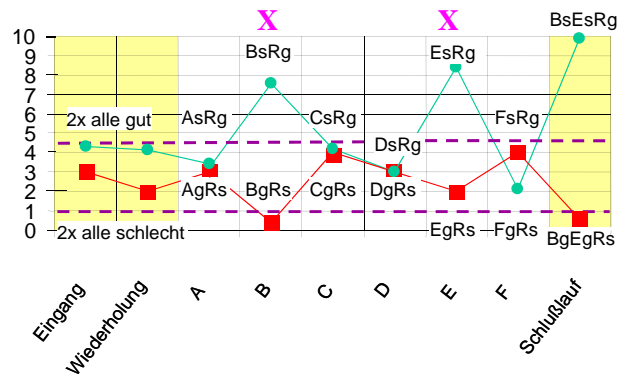
Weiteres Vorgehen

Der Versuch kann dennoch durchgeführt werden, um die Parameter mit einem starken Einfluss auf das Ergebnis zu identifizieren.

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Beispiel für nicht bestandenen Eingangstest



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Einfaktorieller Versuch

Beim einfaktoriellen Versuch werden die Haupteinflussgrößen durch die Variation der Einflussgrößen um ihren Idealwert eingegrenzt.

Ziele und Anwendungsbereiche

- wichtige von unwichtigen Variablen trennen
- Versuchsanzahl eines vollfaktoriellen Versuchs reduzieren
- in Prototypenphase

Randbedingungen

- Variablenzahl 5-20
- signifikante Einflussgrößen müssen vorhanden sein (wenn alle Einflussgrößen einen ähnlich starken Effekt haben, ist die Methode ungeeignet)
- je Einflussgröße ist eine hohe, mittlere und tiefe Einstellungsstufe erforderlich
- Versuchsumfang: Anzahl Parameter $\times 2 + 5$

Vorteile

- nur geringe Statistikenkenntnisse notwendig
- Versuchsabbruch ist möglich, wenn dominante Faktoren gefunden werden
- geringer Versuchsaufwand, da immer nur ein Parameter variiert wird

Nachteile

- nur starke Haupteffekte werden erkannt
- Wechselwirkungen zwischen zwei Parametern werden nicht erkannt

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Beispiel einfaktorieller Versuch

Untersuchter Prozess: Nähen von Sitzpolstern
 Qualitätsmerkmal: Nahtverlauf
 Beurteilung der Naht: 1 mangelhaft
 10 sehr gut

Methode zur Beurteilung:
 Transformation von attributiven Merkmalen (siehe Messsystem)

Faktoren mit Einfluss auf das Ergebnis:

Faktor	Beschreibung	Stufen		
		gut	+	-
A	Stoffdicke	5 mm	6 mm	4 mm
B	Fadenstärke	1 mm	1,5 mm	0,25 mm
C	Stichlänge	3 mm	5 mm	2 mm
D	Nadelstärke	1,5 mm	1,7 mm	1,1 mm
E	Stoffkaschierung	4 mm	6 mm	2 mm
F	Fadenspannung	100 Nm	130 Nm	45 Nm

gute Einstellung:
 Idealzustand für die
 Parameter (Nennwert)

HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Beispiel

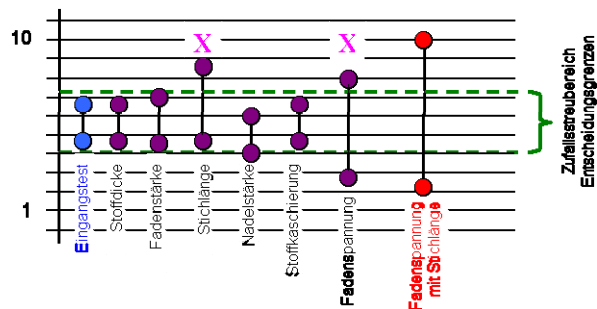
Eingangstest

Zur Beurteilung der Wiederholgenauigkeit sollten in der gut-Einstellung fünf unabhängige Versuche durchgeführt werden (z.B. durch Umstellen und Zurückstellen der Parameter)

Versuchsdurchführung

Die Parameter werden auf ihren gut-Wert (**Idealeinstellung**) eingestellt und beobachtet. Anschließend werden die Parameter einzeln auf ihre **Plus- und Minus-Position** eingestellt und eine Stichprobe entnommen. Die Mittelwerte werden in die Grafik eingetragen.

Auswertung



HS Vorlesung Quality Engineering, Alexander Frank



Regeln

Liste der **verdächtigen Variablen** erstellen (z.B. anhand von gefundenen Indizien aus Vorversuchen)

Jeder Variablen den **Idealwert** zuweisen sowie davon ausgehend **positive** und **negative** Abweichungen festlegen

Variablen nach vermuteter Wichtigkeit bzw. nach Versuchsaufwand sortieren

Eingangstest durchführen, um den Zufallsstrebereich festzustellen
(5 unabhängige Versuche auf der Ideal-Einstellung, Parameter nach jedem Versuch verstellen und wieder neu einstellen)

Entscheidungsgrenzen für die Ergebnisse festlegen

Variablen in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit auf den **+/- Einstellungen** variieren, die restlichen Parameter bleiben jeweils in der Ideal-Einstellung; jeweils mindestens 5 Stichproben entnehmen

Wenn zwei oder mehr **signifikante Variablen** gefunden wurden, kann der Versuch unterbrochen und der Schlusslauf durchgeführt werden.

Im **Schlusslauf** werden die signifikanten Variablen als Gruppe getestet: Ergibt sich eine Addition der Ergebnisse, liegen keine Wechselwirkungen vor.

Bei vermuteten **Wechselwirkungen**: vollfaktoriellen Versuch mit den signifikanten Variablen durchführen.