

Einsatzmöglichkeiten von Statistik im Ingenieurwesen

Dr. Matthias Kohl

Vortrag des Monats
07.03.2006

Inhalt

- 1 Qualitätsprogramme am Beispiel Six Sigma
 - Kurzbeschreibung von Six Sigma
 - Die 2 Schlüsselmethoden von Six Sigma
 - Kritik an Six Sigma
- 2 Statistische Versuchsplanung anhand von Beispielen
 - Warum Statistische Versuchsplanung?
 - Beispiel: t-Test
 - Beispiel: Lineare Regression
 - Beispiel: ANOVA

Inhalt

- 1 Qualitätsprogramme am Beispiel Six Sigma
 - Kurzbeschreibung von Six Sigma
 - Die 2 Schlüsselmethoden von Six Sigma
 - Kritik an Six Sigma
- 2 Statistische Versuchsplanung anhand von Beispielen
 - Warum Statistische Versuchsplanung?
 - Beispiel: t-Test
 - Beispiel: Lineare Regression
 - Beispiel: ANOVA

Inhalt

- 1 **Qualitätsprogramme am Beispiel Six Sigma**
 - **Kurzbeschreibung von Six Sigma**
 - Die 2 Schlüsselmethoden von Six Sigma
 - Kritik an Six Sigma

- 2 **Statistische Versuchsplanung anhand von Beispielen**
 - Warum Statistische Versuchsplanung?
 - Beispiel: t-Test
 - Beispiel: Lineare Regression
 - Beispiel: ANOVA

Die (Erfolgs-)Geschichte von Six Sigma

- Von Bill Smith im Jahr 1986 bei Motorola eingeführt
- Populär v.a. durch den Erfolg bei General Electric (GE) –
Beitrag zum Betriebsergebnis: ca. 300 Mio. Euro (1997)
und ca. 600 Mio. Euro (1998)
- Weitere populäre Anwender:
AlliedSignal, Ford, Caterpillar, Microsoft, Seagate
Technology, Siemens, Merrill Lynch, Lear, 3M, etc.
- Findet mehr und mehr Verbreitung auch in kleinen und
mittleren Unternehmen

Die (Erfolgs-)Geschichte von Six Sigma

- Von Bill Smith im Jahr 1986 bei Motorola eingeführt
- Populär v.a. durch den Erfolg bei General Electric (GE) –
Beitrag zum Betriebsergebnis: ca. 300 Mio. Euro (1997)
und ca. 600 Mio. Euro (1998)
- Weitere populäre Anwender:
AlliedSignal, Ford, Caterpillar, Microsoft, Seagate
Technology, Siemens, Merrill Lynch, Lear, 3M, etc.
- Findet mehr und mehr Verbreitung auch in kleinen und
mittleren Unternehmen

Die (Erfolgs-)Geschichte von Six Sigma

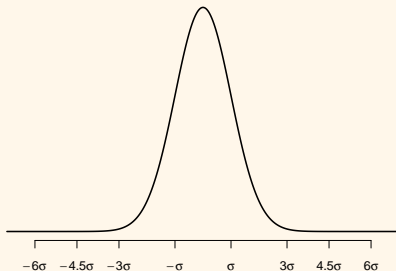
- Von Bill Smith im Jahr 1986 bei Motorola eingeführt
- Populär v.a. durch den Erfolg bei General Electric (GE) –
Beitrag zum Betriebsergebnis: ca. 300 Mio. Euro (1997)
und ca. 600 Mio. Euro (1998)
- Weitere populäre Anwender:
AlliedSignal, Ford, Caterpillar, Microsoft, Seagate
Technology, Siemens, Merrill Lynch, Lear, 3M, etc.
- Findet mehr und mehr Verbreitung auch in kleinen und
mittleren Unternehmen

Die (Erfolgs-)Geschichte von Six Sigma

- Von Bill Smith im Jahr 1986 bei Motorola eingeführt
- Populär v.a. durch den Erfolg bei General Electric (GE) –
Beitrag zum Betriebsergebnis: ca. 300 Mio. Euro (1997)
und ca. 600 Mio. Euro (1998)
- Weitere populäre Anwender:
AlliedSignal, Ford, Caterpillar, Microsoft, Seagate
Technology, Siemens, Merrill Lynch, Lear, 3M, etc.
- Findet mehr und mehr Verbreitung auch in kleinen und
mittleren Unternehmen

Der Begriff Six Sigma

Six Sigma bedeutet “sechs Standardabweichungen”



Six Sigma: **3.4 DPMO (defects per million opportunities)**
(unter Berücksichtigung einer Schwankung von $\pm 1.5\sigma$)

Die Ziele von Six Sigma

- **Qualitätsverbesserung** durch schlanke und variationsfreie Prozesse
- **Kostensenkung** durch Beseitigung von Verschwendung im Unternehmen
- **Weniger Bestände** durch höhere Prozess-Geschwindigkeit
- **Steigerung der Kundenbindung** durch kundenorientierte Produkte

Die Ziele von Six Sigma

- **Qualitätsverbesserung** durch schlanke und variationsfreie Prozesse
- **Kostensenkung** durch Beseitigung von Verschwendung im Unternehmen
- **Weniger Bestände** durch höhere Prozess-Geschwindigkeit
- **Steigerung der Kundenbindung** durch kundenorientierte Produkte

Die Ziele von Six Sigma

- **Qualitätsverbesserung** durch schlanke und variationsfreie Prozesse
- **Kostensenkung** durch Beseitigung von Verschwendung im Unternehmen
- **Weniger Bestände** durch höhere Prozess-Geschwindigkeit
- **Steigerung der Kundenbindung** durch kundenorientierte Produkte

Die Ziele von Six Sigma

- **Qualitätsverbesserung** durch schlanke und variationsfreie Prozesse
- **Kostensenkung** durch Beseitigung von Verschwendung im Unternehmen
- **Weniger Bestände** durch höhere Prozess-Geschwindigkeit
- **Steigerung der Kundenbindung** durch kundenorientierte Produkte

Hidden Factory

Bis zu 30% Einsparpotential durch Vermeidung von:

- Nacharbeit
- Doppelarbeit
- Ausschuss
- Lagerhaltung

Hidden Factory

Bis zu 30% Einsparpotential durch Vermeidung von:

- Nacharbeit
- Doppelarbeit
- Ausschuss
- Lagerhaltung

Hidden Factory

Bis zu 30% Einsparpotential durch Vermeidung von:

- Nacharbeit
- Doppelarbeit
- Ausschuss
- Lagerhaltung

Hidden Factory

Bis zu 30% Einsparpotential durch Vermeidung von:

- Nacharbeit
- Doppelarbeit
- Ausschuss
- Lagerhaltung

Hidden Factory

Bis zu 30% Einsparpotential durch Vermeidung von:

- Nacharbeit
- Doppelarbeit
- Ausschuss
- Lagerhaltung

Inhalt

- 1 **Qualitätsprogramme am Beispiel Six Sigma**
 - Kurzbeschreibung von Six Sigma
 - **Die 2 Schlüsselmethoden von Six Sigma**
 - Kritik an Six Sigma

- 2 **Statistische Versuchsplanung anhand von Beispielen**
 - Warum Statistische Versuchsplanung?
 - Beispiel: t-Test
 - Beispiel: Lineare Regression
 - Beispiel: ANOVA

Prozessoptimierung (DMAIC)

Define: Formulierung messbarer Verbesserungsziele

Measure: Messung der IST-Situation

Analyze: Identifikation der Problemursachen

Improve: Optimierung der Prozesse

Control: Kontrolle und Steuerung der verbesserten Prozesse

Prozessoptimierung (DMAIC)

Define: Formulierung messbarer Verbesserungsziele

Measure: Messung der IST-Situation

Analyse: Identifikation der Problemursachen

Improve: Optimierung der Prozesse

Control: Kontrolle und Steuerung der verbesserten Prozesse

Prozessoptimierung (DMAIC)

Define: Formulierung messbarer Verbesserungsziele

Measure: Messung der IST-Situation

Analyze: Identifikation der Problemursachen

Improve: Optimierung der Prozesse

Control: Kontrolle und Steuerung der verbesserten Prozesse

Prozessoptimierung (DMAIC)

Define: Formulierung messbarer Verbesserungsziele

Measure: Messung der IST-Situation

Analyze: Identifikation der Problemursachen

Improve: Optimierung der Prozesse

Control: Kontrolle und Steuerung der verbesserten Prozesse

Prozessoptimierung (DMAIC)

Define: Formulierung messbarer Verbesserungsziele

Measure: Messung der IST-Situation

Analyze: Identifikation der Problemursachen

Improve: Optimierung der Prozesse

Control: Kontrolle und Steuerung der verbesserten Prozesse

Prozess-/Produktentwicklung (DMADV)

Define: Formulierung messbarer Ziele

Measure: Messung der Anforderungen

Analyze: Entwicklung und Vergleich von Alternativen

Design: Optimierung des ausgewählten Designs

Verify: Test und Freigabe des neuen Prozesses bzw. Produktes

Prozess-/Produktentwicklung (DMADV)

Define: Formulierung messbarer Ziele

Measure: Messung der Anforderungen

Analyze: Entwicklung und Vergleich von Alternativen

Design: Optimierung des ausgewählten Designs

Verify: Test und Freigabe des neuen Prozesses bzw.
Produktes

Prozess-/Produktentwicklung (DMADV)

Define: Formulierung messbarer Ziele

Measure: Messung der Anforderungen

Analyze: Entwicklung und Vergleich von Alternativen

Design: Optimierung des ausgewählten Designs

Verify: Test und Freigabe des neuen Prozesses bzw. Produktes

Prozess-/Produktentwicklung (DMADV)

Define: Formulierung messbarer Ziele

Measure: Messung der Anforderungen

Analyze: Entwicklung und Vergleich von Alternativen

Design: Optimierung des ausgewählten Designs

Verify: Test und Freigabe des neuen Prozesses bzw.
Produktes

Prozess-/Produktentwicklung (DMADV)

Define: Formulierung messbarer Ziele

Measure: Messung der Anforderungen

Analyze: Entwicklung und Vergleich von Alternativen

Design: Optimierung des ausgewählten Designs

Verify: Test und Freigabe des neuen Prozesses bzw. Produktes

Zentrale Rolle der Statistik

Measure: Deskriptive Statistik

Analyze: Statistische Schätz- und Testverfahren,
Regressionsanalyse, Varianzanalyse (ANOVA),
Zeitreihenanalyse

Control/Verify: Statistische Testverfahren, Zeitreihenanalyse

Zentrale Rolle der Statistik

Measure: Deskriptive Statistik

Analyze: Statistische Schätz- und Testverfahren,
Regressionsanalyse, Varianzanalyse (ANOVA),
Zeitreihenanalyse

Control/Verify: Statistische Testverfahren, Zeitreihenanalyse

Zentrale Rolle der Statistik

Measure: Deskriptive Statistik

Analyze: Statistische Schätz- und Testverfahren,
Regressionsanalyse, Varianzanalyse (ANOVA),
Zeitreihenanalyse

Control/Verify: Statistische Testverfahren, Zeitreihenanalyse

Inhalt

- 1 **Qualitätsprogramme am Beispiel Six Sigma**
 - Kurzbeschreibung von Six Sigma
 - Die 2 Schlüsselmethoden von Six Sigma
 - **Kritik an Six Sigma**
- 2 **Statistische Versuchsplanung anhand von Beispielen**
 - Warum Statistische Versuchsplanung?
 - Beispiel: t-Test
 - Beispiel: Lineare Regression
 - Beispiel: ANOVA

Kritik an Six Sigma

- Keine “neue” Erfindung: ähnliche Programme bereits seit ca. 1920
- Six Sigma eigentlich 4.5 Sigma
- Annahme einer einzigen normalverteilten Fehlerquelle
- Alle Fehlerquellen innerhalb eines Prozesses bzw. Produktes haben fast die gleiche Standardabweichung
- Vereinbarkeit von Six Sigma und Kreativität

Kritik an Six Sigma

- Keine “neue” Erfindung: ähnliche Programme bereits seit ca. 1920
- Six Sigma eigentlich 4.5 Sigma
- Annahme einer einzigen normalverteilten Fehlerquelle
- Alle Fehlerquellen innerhalb eines Prozesses bzw. Produktes haben fast die gleiche Standardabweichung
- Vereinbarkeit von Six Sigma und Kreativität

Kritik an Six Sigma

- Keine “neue” Erfindung: ähnliche Programme bereits seit ca. 1920
- Six Sigma eigentlich 4.5 Sigma
- Annahme einer einzigen normalverteilten Fehlerquelle
- Alle Fehlerquellen innerhalb eines Prozesses bzw. Produktes haben fast die gleiche Standardabweichung
- Vereinbarkeit von Six Sigma und Kreativität

Kritik an Six Sigma

- Keine “neue” Erfindung: ähnliche Programme bereits seit ca. 1920
- Six Sigma eigentlich 4.5 Sigma
- Annahme einer einzigen normalverteilten Fehlerquelle
- Alle Fehlerquellen innerhalb eines Prozesses bzw. Produktes haben fast die gleiche Standardabweichung
- Vereinbarkeit von Six Sigma und Kreativität

Kritik an Six Sigma

- Keine “neue” Erfindung: ähnliche Programme bereits seit ca. 1920
- Six Sigma eigentlich 4.5 Sigma
- Annahme einer einzigen normalverteilten Fehlerquelle
- Alle Fehlerquellen innerhalb eines Prozesses bzw. Produktes haben fast die gleiche Standardabweichung
- Vereinbarkeit von Six Sigma und Kreativität

Inhalt

- 1 Qualitätsprogramme am Beispiel Six Sigma
 - Kurzbeschreibung von Six Sigma
 - Die 2 Schlüsselmethoden von Six Sigma
 - Kritik an Six Sigma
- 2 Statistische Versuchsplanung anhand von Beispielen
 - Warum Statistische Versuchsplanung?
 - Beispiel: t-Test
 - Beispiel: Lineare Regression
 - Beispiel: ANOVA

Warum Versuchsplanung?

- **Zeit und Kostenersparnis:** möglichst geringe Anzahl von Einzelversuchen
- **Systematische Vorgehensweise:** Festlegung der Untersuchungsziele bereits am Anfang
- **Verbesserte Kosten-Nutzen-Analyse:** bereits vor Versuchsdurchführung
- **Bessere Ableitung von Maßnahmen:** systematische Darstellung der Ergebnisse

Warum Versuchsplanung?

- **Zeit und Kostenersparnis:** möglichst geringe Anzahl von Einzelversuchen
- **Systematische Vorgehensweise:** Festlegung der Untersuchungsziele bereits am Anfang
- **Verbesserte Kosten-Nutzen-Analyse:** bereits vor Versuchsdurchführung
- **Bessere Ableitung von Maßnahmen:** systematische Darstellung der Ergebnisse

Warum Versuchsplanung?

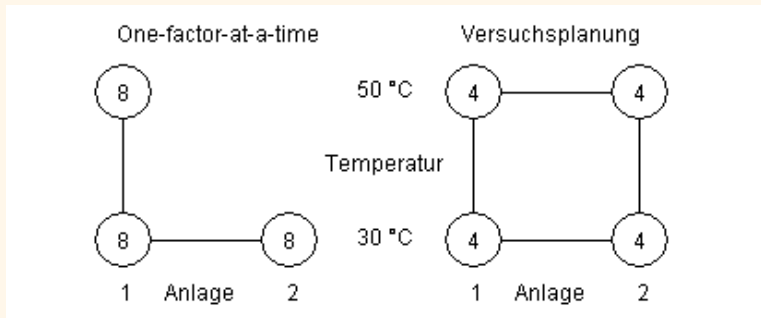
- **Zeit und Kostenersparnis:** möglichst geringe Anzahl von Einzelversuchen
- **Systematische Vorgehensweise:** Festlegung der Untersuchungsziele bereits am Anfang
- **Verbesserte Kosten-Nutzen-Analyse:** bereits vor Versuchsdurchführung
- **Bessere Ableitung von Maßnahmen:** systematische Darstellung der Ergebnisse

Warum Versuchsplanung?

- **Zeit und Kostenersparnis:** möglichst geringe Anzahl von Einzelversuchen
- **Systematische Vorgehensweise:** Festlegung der Untersuchungsziele bereits am Anfang
- **Verbesserte Kosten-Nutzen-Analyse:** bereits vor Versuchsdurchführung
- **Bessere Ableitung von Maßnahmen:** systematische Darstellung der Ergebnisse

Beispiel: Vergleich zweier Anlagen

Relevanter Unterschied: 2 Standardabweichungen



Versuchsplanung: mehr Information trotz weniger Versuche!

Warum Statistik?

- Versuchswiederholungen sind nicht kontrollierbaren, zufälligen Schwankungen unterworfen
- Ermittlung des erforderlichen Versuchsumfangs, um (technologisch) relevante Unterschiede zu erkennen
- Analyse und quantitative Ermittlung der Unterschiede (statistische Schätzverfahren)
- Absicherung gegen Fehlentscheidungen (statistische Testverfahren)

Warum Statistik?

- Versuchswiederholungen sind nicht kontrollierbaren, zufälligen Schwankungen unterworfen
- Ermittlung des erforderlichen Versuchsumfangs, um (technologisch) relevante Unterschiede zu erkennen
- Analyse und quantitative Ermittlung der Unterschiede (statistische Schätzverfahren)
- Absicherung gegen Fehlentscheidungen (statistische Testverfahren)

Warum Statistik?

- Versuchswiederholungen sind nicht kontrollierbaren, zufälligen Schwankungen unterworfen
- Ermittlung des erforderlichen Versuchsumfangs, um (technologisch) relevante Unterschiede zu erkennen
- Analyse und quantitative Ermittlung der Unterschiede (statistische Schätzverfahren)
- Absicherung gegen Fehlentscheidungen (statistische Testverfahren)

Warum Statistik?

- Versuchswiederholungen sind nicht kontrollierbaren, zufälligen Schwankungen unterworfen
- Ermittlung des erforderlichen Versuchsumfangs, um (technologisch) relevante Unterschiede zu erkennen
- Analyse und quantitative Ermittlung der Unterschiede (statistische Schätzverfahren)
- Absicherung gegen Fehlentscheidungen (statistische Testverfahren)

Inhalt

- 1 Qualitätsprogramme am Beispiel Six Sigma
 - Kurzbeschreibung von Six Sigma
 - Die 2 Schlüsselmethoden von Six Sigma
 - Kritik an Six Sigma
- 2 Statistische Versuchsplanung anhand von Beispielen
 - Warum Statistische Versuchsplanung?
 - **Beispiel: t-Test**
 - Beispiel: Lineare Regression
 - Beispiel: ANOVA

Problemstellung

Vergleich der Mittelwerte zweier Meßreihen

Voraussetzung 1: Metrische, intervallskalierte Daten

Voraussetzung 2: Normalverteilte bzw. zumindest symmetrisch verteilte Daten

Problemstellung

Vergleich der Mittelwerte zweier Meßreihen

Voraussetzung 1: Metrische, intervallskalierte Daten

Voraussetzung 2: Normalverteilte bzw. zumindest symmetrisch verteilte Daten

Problemstellung

Vergleich der Mittelwerte zweier Meßreihen

Voraussetzung 1: Metrische, intervallskalierte Daten

Voraussetzung 2: Normalverteilte bzw. zumindest symmetrisch verteilte Daten

Beispiele

- Sind die Produkte zweier Fertigungslinien identisch?
- Sind die Ergebnisse nach einer Wartung identisch zu vorher?
- Ist ein neues Verfahren besser als das alte?
- Besitzt eine neue Materialcharge die gleiche Qualität wie die alte?

Beispiele

- Sind die Produkte zweier Fertigungslinien identisch?
- Sind die Ergebnisse nach einer Wartung identisch zu vorher?
- Ist ein neues Verfahren besser als das alte?
- Besitzt eine neue Materialcharge die gleiche Qualität wie die alte?

Beispiele

- Sind die Produkte zweier Fertigungslinien identisch?
- Sind die Ergebnisse nach einer Wartung identisch zu vorher?
- Ist ein neues Verfahren besser als das alte?
- Besitzt eine neue Materialcharge die gleiche Qualität wie die alte?

Beispiele

- Sind die Produkte zweier Fertigungslinien identisch?
- Sind die Ergebnisse nach einer Wartung identisch zu vorher?
- Ist ein neues Verfahren besser als das alte?
- Besitzt eine neue Materialcharge die gleiche Qualität wie die alte?

Beispiel: Schichtdicken

Auf zwei Anlagen wurde galvanisch eine Schicht abgeschieden

Frage: Liefern die Anlagen unterschiedliche
Schichtdicken?

In Anlehnung an Kleppmann (2003), S. 1 ff.

Beispiel: Schichtdicken

Auf zwei Anlagen wurde galvanisch eine Schicht abgeschieden

Frage: Liefern die Anlagen unterschiedliche
Schichtdicken?

In Anlehnung an Kleppmann (2003), S. 1 ff.

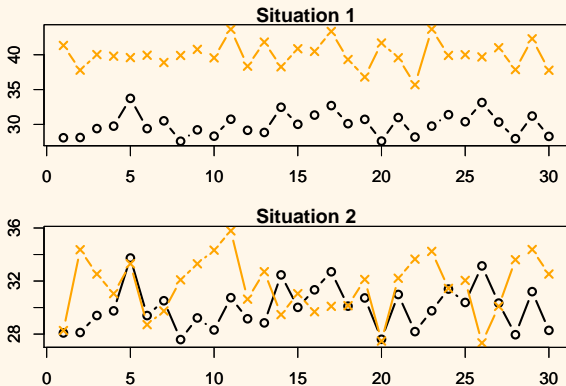
Beispiel: Schichtdicken

Auf zwei Anlagen wurde galvanisch eine Schicht abgeschieden

Frage: Liefern die Anlagen unterschiedliche
Schichtdicken?

In Anlehnung an Kleppmann (2003), S. 1 ff.

Graphische Darstellung der Daten



Durchführung des t-Tests

Resultat: Mittelwerte beider Anlagen hoch signifikant verschieden ($p\text{-Wert} < 0.001$ bzw. $p\text{-Wert} = 0.002$)

Inhalt

- 1 Qualitätsprogramme am Beispiel Six Sigma
 - Kurzbeschreibung von Six Sigma
 - Die 2 Schlüsselmethoden von Six Sigma
 - Kritik an Six Sigma
- 2 **Statistische Versuchsplanung anhand von Beispielen**
 - Warum Statistische Versuchsplanung?
 - Beispiel: t-Test
 - **Beispiel: Lineare Regression**
 - Beispiel: ANOVA

Problemstellung

Gibt es einen Zusammenhang zwischen 2 oder mehr Variablen; d.h.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$$

Voraussetzung 1: Normalverteilte Fehler ε

Voraussetzung 2: Abhängige Variable y metrisch,
intervallskaliert

Beispiel: Abhängigkeit des Produktionsoutput vom Input

Problemstellung

Gibt es einen Zusammenhang zwischen 2 oder mehr Variablen; d.h.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$$

Voraussetzung 1: Normalverteilte Fehler ε

Voraussetzung 2: Abhängige Variable y metrisch,
intervallskaliert

Beispiel: Abhängigkeit des Produktionsoutput vom Input

Problemstellung

Gibt es einen Zusammenhang zwischen 2 oder mehr Variablen; d.h.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$$

Voraussetzung 1: Normalverteilte Fehler ε

Voraussetzung 2: Abhängige Variable y metrisch, intervallskaliert

Beispiel: Abhängigkeit des Produktionsoutput vom Input

Problemstellung

Gibt es einen Zusammenhang zwischen 2 oder mehr Variablen; d.h.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$$

Voraussetzung 1: Normalverteilte Fehler ε

Voraussetzung 2: Abhängige Variable y metrisch,
intervallskaliert

Beispiel: Abhängigkeit des Produktionsoutput vom Input

Beispiel: Produkt-Haltbarkeit

Produkt-Haltbarkeit in Abhängigkeit des hydraulischen Drucks
bei der Herstellung und einer Säurekonzentration

Ziel: Untersuchung der Haltbarkeit in Abhängigkeit von
Druck und Säurekonzentration

Quelle: Breyfogle (2003), Example 26.1

Beispiel: Produkt-Haltbarkeit

Produkt-Haltbarkeit in Abhängigkeit des hydraulischen Drucks
bei der Herstellung und einer Säurekonzentration

Ziel: Untersuchung der Haltbarkeit in Abhängigkeit von
Druck und Säurekonzentration

Quelle: Breyfogle (2003), Example 26.1

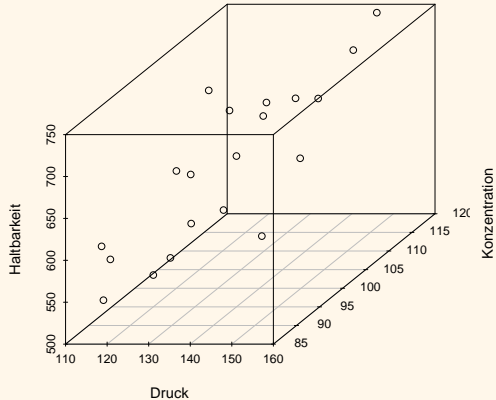
Beispiel: Produkt-Haltbarkeit

Produkt-Haltbarkeit in Abhängigkeit des hydraulischen Drucks
bei der Herstellung und einer Säurekonzentration

Ziel: Untersuchung der Haltbarkeit in Abhängigkeit von
Druck und Säurekonzentration

Quelle: Breyfogle (2003), Example 26.1

Daten



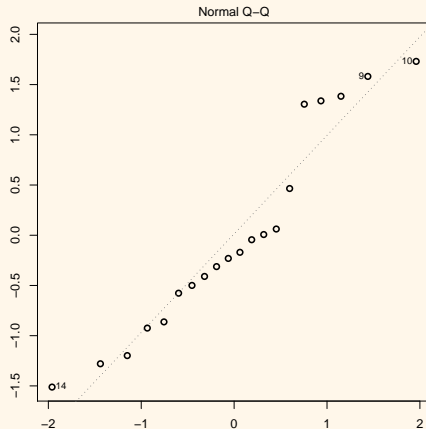
Volles Modell

$$\text{Haltbarkeit} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Druck} + \beta_2 \cdot \text{Konzentration}$$

⇒ Schätzung mit Kleinste-Quadrate-Regression

Diagnose volles Modell I

Überprüfung der Normalverteilung der Residuen



Diagnose volles Modell II

① β_0 ist nicht signifikant (p-Wert = 0.718)

② Übergang zum Teilmodell

$$\text{Haltbarkeit} = \beta_1 \cdot \text{Druck} + \beta_2 \cdot \text{Konzentration}$$

⇒ Schätzung mit Kleinste-Quadrate-Regression

Diagnose volles Modell II

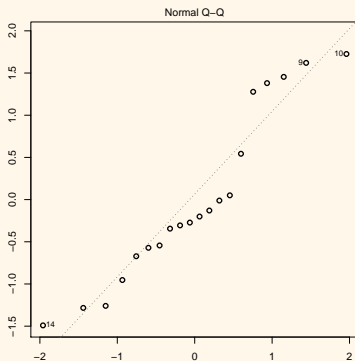
- 1 β_0 ist nicht signifikant (p-Wert = 0.718)
- 2 Übergang zum Teilmodell

$$\text{Haltbarkeit} = \beta_1 \cdot \text{Druck} + \beta_2 \cdot \text{Konzentration}$$

⇒ Schätzung mit Kleinste-Quadrate-Regression

Diagnose Teilmodell

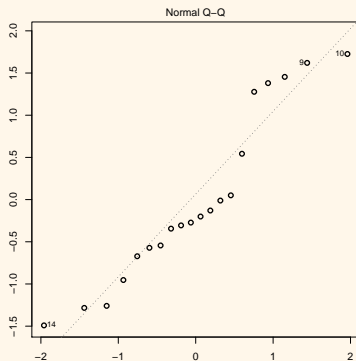
1 Überprüfung der Normalverteilung der Residuen



2 β_1 und β_2 sind hoch signifikant (p-Wert < 0.001)

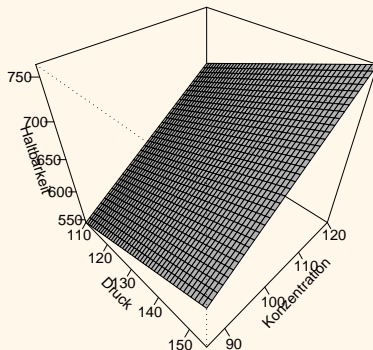
Diagnose Teilmodell

1 Überprüfung der Normalverteilung der Residuen



2 β_1 und β_2 sind hoch signifikant (p-Wert < 0.001)

Regressionsfunktion für das Teilmodell



Inhalt

- 1 Qualitätsprogramme am Beispiel Six Sigma
 - Kurzbeschreibung von Six Sigma
 - Die 2 Schlüsselmethoden von Six Sigma
 - Kritik an Six Sigma
- 2 Statistische Versuchsplanung anhand von Beispielen
 - Warum Statistische Versuchsplanung?
 - Beispiel: t-Test
 - Beispiel: Lineare Regression
 - **Beispiel: ANOVA**

Problemstellung

Einfluß verschiedener Faktoren auf den Output; d.h.

$$y = \mu + \alpha + \beta + \gamma + \alpha : \beta + \alpha : \gamma + \beta : \gamma + \alpha : \beta : \gamma + \varepsilon$$

Voraussetzung 1: Normalverteilte Fehler ε

Voraussetzung 2: Abhängige Variable y metrisch,
intervallskaliert

Beispiel: Abhängigkeit des Produktionsoutput von
Inputfaktoren

Problemstellung

Einfluß verschiedener Faktoren auf den Output; d.h.

$$y = \mu + \alpha + \beta + \gamma + \alpha : \beta + \alpha : \gamma + \beta : \gamma + \alpha : \beta : \gamma + \varepsilon$$

Voraussetzung 1: Normalverteilte Fehler ε

Voraussetzung 2: Abhängige Variable y metrisch,
intervallskaliert

Beispiel: Abhängigkeit des Produktionsoutput von
Inputfaktoren

Problemstellung

Einfluß verschiedener Faktoren auf den Output; d.h.

$$y = \mu + \alpha + \beta + \gamma + \alpha : \beta + \alpha : \gamma + \beta : \gamma + \alpha : \beta : \gamma + \varepsilon$$

Voraussetzung 1: Normalverteilte Fehler ε

Voraussetzung 2: Abhängige Variable y metrisch,
intervallskaliert

Beispiel: Abhängigkeit des Produktionsoutput von
Inputfaktoren

Problemstellung

Einfluß verschiedener Faktoren auf den Output; d.h.

$$y = \mu + \alpha + \beta + \gamma + \alpha : \beta + \alpha : \gamma + \beta : \gamma + \alpha : \beta : \gamma + \varepsilon$$

Voraussetzung 1: Normalverteilte Fehler ε

Voraussetzung 2: Abhängige Variable y metrisch,
intervallskaliert

Beispiel: Abhängigkeit des Produktionsoutput von
Inputfaktoren

Beispiel: Gewinderollen

Auf drehenden, runden Rohling werden Gewinde gerollt

Ziel: Reproduzierbare Gewindetiefe von 4.3 mm

Werkzeug: Zwei verschiedene Werkzeugformen

Druck: Anpressdrücke von 60 und 90 bar

Material: Zwei verschiedene Lieferchargen

Quelle: Kleppmann (2003), S. 110 f.

Beispiel: Gewinderollen

Auf drehenden, runden Rohling werden Gewinde gerollt

Ziel: Reproduzierbare Gewindetiefe von 4.3 mm

Werkzeug: Zwei verschiedene Werkzeugformen

Druck: Anpressdrücke von 60 und 90 bar

Material: Zwei verschiedene Lieferchargen

Quelle: Kleppmann (2003), S. 110 f.

Beispiel: Gewinderollen

Auf drehenden, runden Rohling werden Gewinde gerollt

Ziel: Reproduzierbare Gewindetiefe von 4.3 mm

Werkzeug: Zwei verschiedene Werkzeugformen

Druck: Anpressdrücke von 60 und 90 bar

Material: Zwei verschiedene Lieferchargen

Quelle: Kleppmann (2003), S. 110 f.

Beispiel: Gewinderollen

Auf drehenden, runden Rohling werden Gewinde gerollt

Ziel: Reproduzierbare Gewindetiefe von 4.3 mm

Werkzeug: Zwei verschiedene Werkzeugformen

Druck: Anpressdrücke von 60 und 90 bar

Material: Zwei verschiedene Lieferchargen

Quelle: Kleppmann (2003), S. 110 f.

Beispiel: Gewinderollen

Auf drehenden, runden Rohling werden Gewinde gerollt

Ziel: Reproduzierbare Gewindetiefe von 4.3 mm

Werkzeug: Zwei verschiedene Werkzeugformen

Druck: Anpressdrücke von 60 und 90 bar

Material: Zwei verschiedene Lieferchargen

Quelle: Kleppmann (2003), S. 110 f.

Beispiel: Gewinderollen

Auf drehenden, runden Rohling werden Gewinde gerollt

Ziel: Reproduzierbare Gewindetiefe von 4.3 mm

Werkzeug: Zwei verschiedene Werkzeugformen

Druck: Anpressdrücke von 60 und 90 bar

Material: Zwei verschiedene Lieferchargen

Quelle: Kleppmann (2003), S. 110 f.

Datenmatrix

Material	Druck	Werkzeug	Einzelergebnisse		
a	60 bar	1	4.12	4.21	4.21
b	60 bar	1	4.17	4.03	4.10
a	90 bar	1	4.28	4.30	4.32
b	90 bar	1	4.31	4.32	4.30
a	60 bar	2	4.26	4.31	4.33
b	60 bar	2	4.23	4.19	4.21
a	90 bar	2	4.42	4.39	4.42
b	90 bar	2	4.46	4.43	4.40

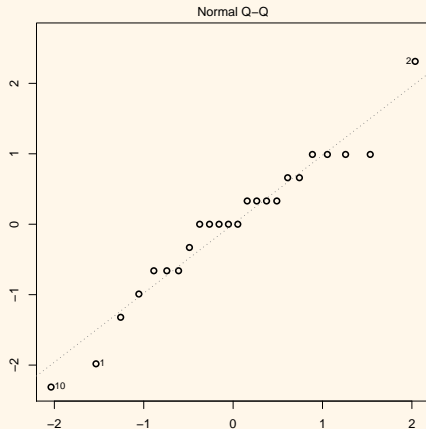
Volles Modell

$$\begin{aligned} \text{Gewindetiefe} &= \mu + \text{Matrial} + \text{Druck} + \text{Werkzeug} \\ &+ \text{Matrial} : \text{Druck} + \text{Material} : \text{Werkzeug} \\ &+ \text{Druck} : \text{Werkzeug} + \text{Material} : \text{Druck} : \text{Werkzeug} \\ &+ \varepsilon \end{aligned}$$

⇒ Schätzung mit Kleinste-Quadrate-Methode

Diagnose volles Modell I

Überprüfung der Normalverteilung der Residuen



Diagnose volles Modell II

- 1 Die Wechselwirkungen Material-Werkzeug, Druck-Werkzeug und Material-Druck-Werkzeug sind nicht signifikant
- 2 Übergang zum Teilmodell

$$\begin{aligned} \text{Gewindetiefe} = & \mu + \text{Material} + \text{Druck} + \text{Werkzeug} \\ & + \text{Material} : \text{Druck} + \varepsilon \end{aligned}$$

⇒ Schätzung mit Kleinste-Quadrate-Methode

Diagnose volles Modell II

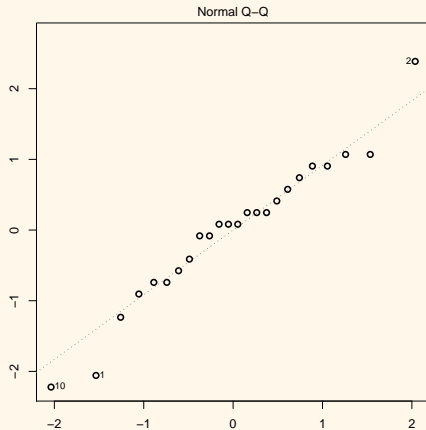
- 1 Die Wechselwirkungen Material-Werkzeug, Druck-Werkzeug und Material-Druck-Werkzeug sind nicht signifikant
- 2 Übergang zum Teilmodell

$$\begin{aligned} \text{Gewindetiefe} = & \mu + \text{Material} + \text{Druck} + \text{Werkzeug} \\ & + \text{Material} : \text{Druck} + \varepsilon \end{aligned}$$

⇒ Schätzung mit Kleinste-Quadrate-Methode

Diagnose Teilmodell I

Überprüfung der Normalverteilung der Residuen



Diagnose Teilmodell II

- Die Faktoren Druck und Werkzeug sind hoch signifikant (p-Wert < 0.001)
- Es gibt eine signifikante Wechselwirkung zwischen Druck und Material (p-Wert < 0.01)
- Der Faktor Material ist signifikant (p-Wert < 0.05)

Diagnose Teilmodell II

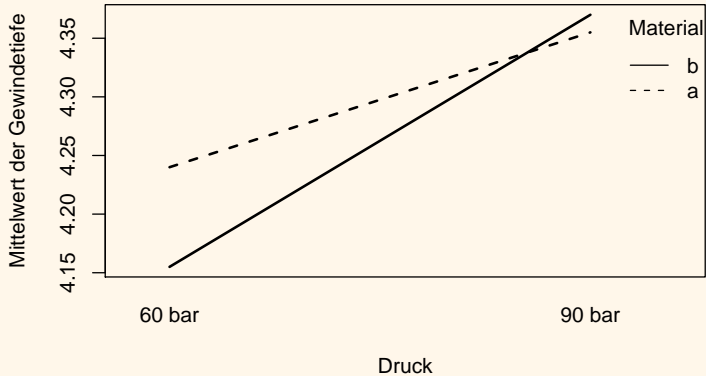
- Die Faktoren Druck und Werkzeug sind hoch signifikant (p-Wert < 0.001)
- Es gibt eine signifikante Wechselwirkung zwischen Druck und Material (p-Wert < 0.01)
- Der Faktor Material ist signifikant (p-Wert < 0.05)

Diagnose Teilmodell II

- Die Faktoren Druck und Werkzeug sind hoch signifikant (p-Wert < 0.001)
- Es gibt eine signifikante Wechselwirkung zwischen Druck und Material (p-Wert < 0.01)
- Der Faktor Material ist signifikant (p-Wert < 0.05)

Interaction-plot

Wechselwirkung zwischen Druck und Material



Zusammenfassung der Resultate

- Geringere Schwankungen für 90 bar Druck
- Mittelwert Werkzeug 1 (bei 90 bar): 4.305 mm
- Mittelwert Werkzeug 2 (bei 90 bar): 4.420 mm

Fazit: Durch Verwendung von Werkzeug 1 bei 90 bar Druck erreicht man größte Nähe zum Zielwert 4.30 mm.

Zusammenfassung der Resultate

- Geringere Schwankungen für 90 bar Druck
- Mittelwert Werkzeug 1 (bei 90 bar): 4.305 mm
- Mittelwert Werkzeug 2 (bei 90 bar): 4.420 mm

Fazit: Durch Verwendung von Werkzeug 1 bei 90 bar Druck erreicht man größte Nähe zum Zielwert 4.30 mm.

Zusammenfassung der Resultate

- Geringere Schwankungen für 90 bar Druck
- Mittelwert Werkzeug 1 (bei 90 bar): 4.305 mm
- Mittelwert Werkzeug 2 (bei 90 bar): 4.420 mm

Fazit: Durch Verwendung von Werkzeug 1 bei 90 bar Druck erreicht man größte Nähe zum Zielwert 4.30 mm.

Zusammenfassung der Resultate




- Geringere Schwankungen für 90 bar Druck
- Mittelwert Werkzeug 1 (bei 90 bar): 4.305 mm
- Mittelwert Werkzeug 2 (bei 90 bar): 4.420 mm

Fazit: Durch Verwendung von Werkzeug 1 bei 90 bar Druck erreicht man größte Nähe zum Zielwert 4.30 mm.

Bibliography I

-  **G. Box, W. Hunter und J. Hunter**
Statistics for Experimenters. Wiley & Sons, 1978.
-  **F.W. Breyfogle III**
Implementing Six Sigma. 2-te Auflage, Wiley & Sons, 2003.
-  **M. Harry, R. Schroeder**
Six Sigma. Campus Verlag, 2000.
-  **W. Kleppmann**
Taschenbuch Versuchsplanung. 3-te Auflage, Hanser, 2003.

Bibliography II

-  S. Lunau (Hrsg.), A. John, R. Meran, O. Roenpage und C. Staudter
Six Sigma+Lean Toolset. Springer, 2006.
-  Wikipedia - The Free Encyclopedia
Six Sigma.
http://en.wikipedia.org/wiki/Six_Sigma
-  Wikipedia - Die freie Enzyklopädie
Six Sigma.
http://de.wikipedia.org/wiki/Six_Sigma