

Bewerten der Streuung des Messsystems

Beispiel 1: Durchmesser von Benzineinspritzdüsen

Problem

Ein Hersteller von Benzineinspritzdüsen installiert ein neues digitales Messsystem. Prüfer möchten ermitteln, wie gut das neue System die Düsen misst.

Datenerfassung

Techniker wählen zufällig neun Einspritzdüsen aus allen wichtigen Quellen der Prozessvariation (Maschine, Zeit, Schicht, Arbeitsplatzwechsel), damit die typischerweise produzierten Düsen repräsentiert werden. Sie kodieren die Einspritzdüsen, um die Messungen, die an den einzelnen Düsen gemacht werden, zu identifizieren.

Der erste Prüfer misst die 9 Einspritzdüsen in zufälliger Reihenfolge. Dann misst der zweite Prüfer die 9 Einspritzdüsen in einer anderen zufälligen Reihenfolge. Jeder Prüfer wiederholt den Prozess ein zweites Mal, so dass sich insgesamt 36 Messungen ergeben.

Anmerkung Für zuverlässige Messsystemanalysen müssen die Prüfteile zufällig entnommen und in zufälliger Reihenfolge gemessen werden.

Die Spezifikation für die Durchmesser der Einspritzdüsen liegt bei 9012 ± 4 Mikrometer. Die Toleranz beträgt 8 Mikrometer.

Werkzeuge

- **Messsystemanalyse (gekennzeichnet)**

Datensatz

Einspritzdüse.MTW

Variable	Beschreibung
Einspritzdüse	Gemessene Benzineinspritzdüse
Prüfer	Prüfer, der die Messung durchführte
Durchlaufreihenfolge	Ursprüngliche Durchlaufreihenfolge des Experiments
Durchmesser	Gemessener Durchmesser der Düse (Mikrometer)

Messsystemanalyse

Was ist eine Messsystemanalyse?

Eine Messsystemanalyse bewertet die Eignung eines Messsystems für eine gegebene Anwendung. Wenn Sie die Ausgangskenngröße eines Prozesses messen, berücksichtigen Sie zwei Streuungsquellen:

- Streuung zwischen den Teilen
- Streuung des Messsystems

Wenn die Streuung des Messsystems verglichen zur Streuung zwischen den Prüfobjekten groß ist, können die Messwerte vielleicht keine nützlichen Informationen liefern.

Wann verwendet man eine Messsystemanalyse?

Man verwendet eine Messsystemanalyse vor der Erfassung der Prozessdaten (z.B. um zu analysieren, ob der Prozess unter Kontrolle ist oder um die Prozessfähigkeit zu analysieren), um zu bestätigen, dass das Messsystem beständig und genau misst sowie angemessen zwischen den Prüfobjekten unterscheiden kann.

Wozu verwendet man eine Messsystemanalyse?

Eine Messsystemanalyse beantwortet Fragen wie:

- Kann das Messsystem angemessen zwischen verschiedenen Prüfobjekten unterscheiden?
- Ist das Messsystem über die Zeit stabil?
- Ist das Messsystem über die Spannweite der Prüfobjekte genau?

Beispiel:

- Kann ein Viskosimeter angemessen zwischen der Viskosität mehrerer Farbproben unterscheiden?
- Muss eine Waage regelmäßig neu kalibriert werden, um Kartoffelchipsstüten genau zu wiegen?
- Misst ein Thermometer die Temperatur für alle im Prozess verwendeten Temperatureinstellungen genau?

Gekreuzte Messsystemanalyse

Was ist eine gekreuzte Messsystemanalyse?

Eine gekreuzte Messsystemanalyse schätzt, welcher Anteil der gesamten Prozessstreuung durch das Messsystem verursacht wird. Die gesamte Prozessstreuung setzt sich aus der Streuung in den Prüfobjekten und der Streuung des Messsystems zusammen. Die Streuung des Messsystems setzt sich zusammen aus:

- Wiederholbarkeit – Streuung aufgrund des Messgeräts oder die beobachtete Streuung, wenn der gleiche Prüfer wiederholt mit dem gleichen Gerät das gleiche Prüfobjekt misst
- Reproduzierbarkeit – Streuung aufgrund des Messsystems oder die beobachtete Streuung, wenn verschiedene Prüfer das gleiche Prüfobjekt mit dem gleichen Gerät messen

Um die Wiederholbarkeit zu schätzen, misst jeder Prüfer jedes Prüfobjekt mindestens zweimal. Um die Reproduzierbarkeit zu schätzen, müssen mindestens zwei Prüfer die Prüfobjekte messen. Die Prüfer sollten die Prüfobjekte in zufälliger Reihenfolge messen, und die ausgewählten Prüfobjekte sollten die mögliche Spannweite der Messwerte repräsentieren.

Wann verwendet man eine gekreuzte MSA?

- Man verwendet eine Messsystemanalyse, um ein Messsystem zu bewerten oder zu qualifizieren, bevor man es einsetzt, um einen Prozess zu überwachen oder zu verbessern.
- Man verwendet die gekreuzte Analyse, wenn jeder Prüfer jedes Prüfobjekt (oder Prüflos bei einer zerstörenden Prüfung) mehrmals misst.

Gekreuzte Messsystemanalyse (Fortsetzung)

Wozu verwendet man eine gekreuzte Messsystemanalyse?

Diese Untersuchung vergleicht die Streuung des Messsystems mit der gesamten Prozessstreuung oder der Prozesstoleranz. Wenn die Streuung des Messsystems im Verhältnis zur Gesamtstreuung groß ist, kann das System möglicherweise nicht angemessen zwischen den Prüfobjekten unterscheiden.

Eine gekreuzte Messsystemanalyse kann zum Beispiel folgende Fragen beantworten:

- Ist die Streuung eines Messsystems klein verglichen mit der Streuung des Produktionsprozesses?
- Ist die Streuung eines Messsystems klein verglichen mit den Spezifikationsgrenzen des Prozesses?
- Welcher Anteil der Streuung in einem Messsystem wird durch Unterschiede zwischen den Prüfern verursacht?
- Kann ein Messsystem zwischen Prüfobjekten unterscheiden?

Beispiel:

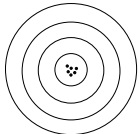
- Welcher Anteil der Streuung des gemessenen Kugellagerdurchmessers wird durch den Messschieber verursacht?
- Welcher Anteil der Streuung des gemessenen Kugellagerdurchmessers wird durch den Prüfer verursacht?
- Kann das Messsystem zwischen Kugellagern unterschiedlicher Größe unterscheiden?

Fehler des Messsystems

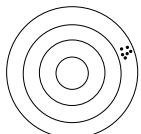
Fehler des Messsystems können in zwei Kategorien unterteilt werden:

- Genauigkeit ist die Differenz zwischen dem gemessenen und dem tatsächlichen Wert des Prüfobjektes.
- Präzision ist die Streuung, wenn dasselbe Prüfobjekt wiederholt mit dem gleichen Gerät gemessen wird.

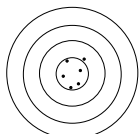
In jedem Messsystem kann einer der Fehler oder können beide Fehler auftreten. Beispielsweise kann ein Gerät ein Prüfobjekt präzise messen (kleine Abweichungen in den Messwerten), aber nicht genau. Oder ein Gerät kann genau sein (der Durchschnitt der Messungen liegt sehr nah bei dem Referenzwert), aber nicht präzise (die Messungen haben eine große Varianz). Oder ein Gerät ist weder genau noch präzise.



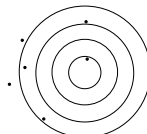
genau und präzise



ungenau, aber präzise



genau, aber unpräzise



ungenau und unpräzise

Genauigkeit

Die Genauigkeit eines Messsystems besteht aus drei Komponenten:

- Systematische Messabweichung – ein Maß für die Ungenauigkeit eines Messsystems; die Differenz zwischen dem beobachteten durchschnittlichen Messwert und einem Referenzwert
- Linearität – ein Maß, wie die Größe eines Prüfobjekts die systematische Messabweichung des Messsystems beeinflusst; der Unterschied in den beobachteten Messabweichungen über den Bereich der erwarteten Spannweite der Messwerte
- Stabilität – ein Maß, wie gut das System über die Zeit arbeitet; die Gesamtstreuung, die man mit einem bestimmten Gerät am gleichen Prüfobjekt erhält, wenn eine einzelne Kenngröße über die Zeit gemessen wird

Präzision

Die Präzision - oder Messvariation - hat zwei Komponenten:

- Wiederholbarkeit – Streuung aufgrund des Messgeräts oder die beobachtete Streuung, wenn der gleiche Prüfer wiederholt mit dem gleichen Gerät das gleiche Prüfobjekt misst
- Reproduzierbarkeit – Streuung aufgrund des Messsystems oder die beobachtete Streuung, wenn verschiedene Prüfer das gleiche Prüfobjekt mit dem gleichen Gerät messen

Bewerten des Messsystems

Verwenden Sie eine gekreuzte Messsystemanalyse, um zu untersuchen:

- wie gut das Messsystem zwischen den Prüfobjekten unterscheiden kann.
- ob die Prüfer beständig messen.

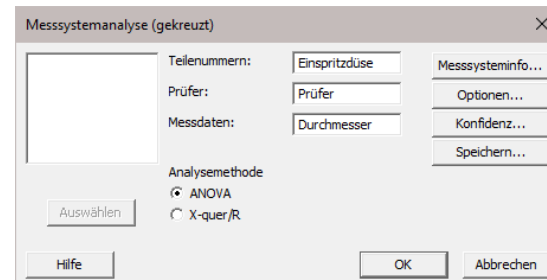
Toleranz

Die Spezifikationsgrenzen für die Durchmesser der Einspritzdüsen liegen bei 9012 ± 4 Mikrometer. Mit anderen Worten, der Düsendurchmesser darf bis zu 4 Mikrometer in beide Richtungen variieren. Die Toleranz ist die Differenz zwischen den Spezifikationsgrenzen: $9016 - 9008 = 8$ Mikrometer.

Wenn Sie in **Prozesstoleranz** einen Wert eingeben, können Sie schätzen, welchen Anteil der Toleranz die Streuung des Messsystems beansprucht.

Messsystemanalyse (gekreuzt)

1. Öffnen Sie Einspritzdüse.MTW.
2. Wählen Sie **Statistik > Qualitätswerkzeuge > Messsystemanalyse (MSA) > Messsystemanalyse (gekreuzt)** aus.
3. Vervollständigen Sie das Dialogfeld, wie nachstehend gezeigt.



4. Klicken Sie auf **Optionen**.
5. Wählen Sie unter **Prozesstoleranz** die Option **Differenz OSG - USG** aus, und geben Sie 8 ein.
6. Aktivieren Sie **Grafiken separat darstellen (eine Grafik pro Seite)**.
7. Klicken Sie in den einzelnen Dialogfeldern auf **OK**.

Interpretation der Ergebnisse

Tabellen der Varianzanalyse

Minitab verwendet die Varianzanalyse (ANOVA) zur Berechnung der Varianzkomponenten, die dann verwendet werden, um den Prozentsatz der Streuung aufgrund des Messsystems zu schätzen. Der Prozentsatz der Streuung erscheint in der Tabelle Messsystemanalyse R&R (gesamt).

Die Zweifache ANOVA-Tabelle beinhaltet Terme für das Prüfobjekt (Einspritzdüse), den Prüfer (Prüfer) und die Prüfer-Prüfobjekt-Wechselwirkung (Einspritzdüse*Prüfer).

Wenn der p-Wert für die Prüfer-Prüfobjekt-Wechselwirkung $\geq 0,05$ ist, erzeugt Minitab eine zweite ANOVA-Tabelle, die den Term der Wechselwirkung aus dem Modell ausspart. Um den standardmäßig vorgegebenen Fehler 1. Art von 0,05 zu ändern, klicken Sie im Hauptdialogfeld auf **Optionen**. Geben Sie in **Alpha für Ausschluss des Wechselwirkungsterms** einen neuen Wert (zum Beispiel 0,3) ein.

Hier ist der p-Wert für Einspritzdüse*Prüfer 0,707. Deshalb entfernt Minitab den Term der Wechselwirkung aus dem Modell und erzeugt eine zweite ANOVA-Tabelle.

Messsystemanalyse - ANOVA-Methode

Zweifache ANOVA-Tabelle mit Wechselwirkungen

Quelle	DF	SS	MS	F	p
Einspritzdüs	8	46,1489	5,76861	769,148	0,000
Prüfer	1	0,0400	0,04000	5,333	0,050
Einspritzdüs * Prüfer	8	0,0600	0,00750	0,675	0,707
Wiederholbarkeit	18	0,2000	0,01111		
Gesamt	35	46,4489			

α für Ausschluss des Wechselwirkungsterms = 0,05

Zweifache ANOVA-Tabelle ohne Wechselwirkungen

Quelle	DF	SS	MS	F	p
Einspritzdüs	8	46,1489	5,76861	576,861	0,000
Prüfer	1	0,0400	0,04000	4,000	0,056
Wiederholbarkeit	26	0,2600	0,01000		
Gesamt	35	46,4489			

Interpretation der Ergebnisse

Varianzkomponenten

Minitab berechnet außerdem eine Spalte der Varianzkomponenten (VarKomp) und verwendet die Werte, um %Beitrag mit Hilfe der ANOVA-Methode zu berechnen.

Die Tabelle der Varianzkomponenten schlüsselt die Quellen der Gesamtstreuung auf:

- **R&R (gesamt)** setzt sich zusammen aus:
 - **Wiederholbarkeit** – der Streuung aus wiederholten Messungen des gleichen Prüfers.
 - **Reproduzierbarkeit** – der Streuung, die auftritt, wenn das gleiche Prüfobjekt von verschiedenen Prüfern gemessen wird. (Diese kann wiederum in die Komponenten Prüfer und Prüfer-Prüfobjekt aufgeteilt werden.)
- **Zwischen den Teilen** – der Streuung der Messwerte zwischen verschiedenen Prüfobjekten.

Wozu verwenden Sie Varianzkomponenten?

Verwenden Sie die Varianzkomponenten, um die Streuung jeder einzelnen Quelle der Messfehler relativ zur Gesamtstreuung zu bewerten.

Idealerweise sollten die Differenzen zwischen den Prüfobjekten den größten Anteil der Streuung begründen; die Streuung durch Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit sollte sehr klein sein.

R&R (gesamt)

Varianzkomponenten

Quelle	VarKomp	%Beitrag (der VarKomp)
R&R (gesamt)	0,01167	0,80
Wiederholbarkeit	0,01000	0,69
Reproduzierbarkeit	0,00167	0,11
Prüfer	0,00167	0,11
Zwischen den Teilen	1,43965	99,20
Gesamtstreuung	1,45132	100,00

Interpretation der Ergebnisse

Prozentualer Beitrag

%Beitrag basiert auf den Schätzwerten der Varianzkomponenten. Jeder Wert in VarKomp wird durch die Gesamtstreuung dividiert und dann mit 100 multipliziert.

Um zum Beispiel %Beitrag für Zwischen den Teilen zu berechnen, dividieren Sie VarKomp für Zwischen den Teilen durch Gesamtstreuung und multiplizieren mit 100:

$$(1,43965/1,45132) * 100 \approx 99,20$$

Folglich kommen 99,2 % der Gesamtstreuung in den Messungen aufgrund der Differenzen zwischen den Prüfobjekten zustande. Dieser hohe Wert für %Beitrag gilt als sehr gut. Wenn %Beitrag für Zwischen den Teilen hoch ist, kann das System zwischen Prüfobjekten unterscheiden.

R&R (gesamt)

Varianzkomponenten

Quelle	VarKomp	%Beitrag (der VarKomp)
R&R (gesamt)	0,01167	0,80
Wiederholbarkeit	0,01000	0,69
Reproduzierbarkeit	0,00167	0,11
Prüfer	0,00167	0,11
Zwischen den Teilen	1,43965	99,20
Gesamtstreuung	1,45132	100,00

Prozesstoleranz = 8

R&R (gesamt)

Quelle	StdAbw	Streu. in Unters. (6 × SA)	%Streu. in Unters. (%SU)	%Toleranz (SU/Tol)
R&R (gesamt)	0,10801	0,64807	8,97	8,10
Wiederholbarkeit	0,10000	0,60000	8,30	7,50
Reproduzierbarkeit	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Prüfer	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Zwischen den Teilen	1,19986	7,19913	99,60	89,99
Gesamtstreuung	1,20471	7,22824	100,00	90,35

Anzahl der eindeutigen Kategorien = 15

Interpretation der Ergebnisse

Verwendung der Varianz im Vergleich zur Standardabweichung

%Beitrag basiert auf der Gesamtvarianz, daher summiert sich die Spalte zu 100 % auf.

Minitab zeigt ebenfalls Spalten mit Prozentsätzen basierend auf der Standardabweichung jedes Terms. Diese Spalten, bezeichnet mit %Streuung in Untersuchung und %Toleranz, summieren sich normalerweise nicht zu 100 % auf.

Die Verwendung der Standardabweichung als Maß für die Streuung erlaubt aussagekräftige Vergleiche, da sie in den gleichen Einheiten gemessen wird wie die Messwerte und die Toleranz.

R&R (gesamt)

Varianzkomponenten

Quelle	VarKomp	%Beitrag (der VarKomp)
R&R (gesamt)	0,01167	0,80
Wiederholbarkeit	0,01000	0,69
Reproduzierbarkeit	0,00167	0,11
Prüfer	0,00167	0,11
Zwischen den Teilen	1,43965	99,20
Gesamtstreuung	1,45132	100,00

Prozesstoleranz = 8

R&R (gesamt)

Quelle	StdAbw	Streu. in Unters. (6 × SA)	%Streu. in Unters. (%SU)	%Toleranz (SU/Tol)
R&R (gesamt)	0,10801	0,64807	8,97	8,10
Wiederholbarkeit	0,10000	0,60000	8,30	7,50
Reproduzierbarkeit	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Prüfer	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Zwischen den Teilen	1,19986	7,19913	99,60	89,99
Gesamtstreuung	1,20471	7,22824	100,00	90,35

Anzahl der eindeutigen Kategorien = 15

Interpretation der Ergebnisse

Prozentuale Streuung in Untersuchung

Verwenden Sie %Streu. in Unters., um die Streuung des Messsystems mit der Gesamtstreuung zu vergleichen.

Minitab berechnet %Streu. in Unters., indem jeder Wert in Streu. in Unters. durch die Gesamtstreuung dividiert und mit 100 multipliziert wird.

%Streu. in Unters. für R&R (gesamt) ist

$$(0,64807/7,22824) * 100 \approx 8,97 \%$$

Minitab berechnet Streu. in Unters. als das 6-fache der Standardabweichung für jede Streuungsursache.

6s-Prozessstreuung

Typischerweise ist die Prozessstreuung definiert als 6s, wobei s die Standardabweichung ist, die als Schätzwert für σ herangezogen wird. Wenn die Daten normalverteilt sind, fallen ungefähr 99,73 % der Daten in den Bereich von 6 Standardabweichungen (± 3 Standardabweichungen vom Mittelwert), und ungefähr 99 % der Daten fallen in den Bereich 5,15 Standardabweichungen ($\pm 2,575$ Standardabweichungen vom Mittelwert).

Anmerkung Die Automotive Industry Action Group (AIAG) empfiehlt die Verwendung des Faktors 6 in Messsystemanalysen.

R&R (gesamt)

Quelle	StdAbw	Streu. in Unters. (6 × SA)	%Streu. in Unters. (%SU)	%Toleranz (SU/Tol)
R&R (gesamt)	0,10801	0,64807	8,97	8,10
Wiederholbarkeit	0,10000	0,60000	8,30	7,50
Reproduzierbarkeit	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Prüfer	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Zwischen den Teilen	1,19986	7,19913	99,60	89,99
Gesamtstreuung	1,20471	7,22824	100,00	90,35

Anzahl der eindeutigen Kategorien = 15

Interpretation der Ergebnisse

Prozentsatz der Prozesstoleranz

Das Vergleichen der Streuung des Messsystems mit der Toleranz ist oft informativ.

Wenn Sie die Toleranz eingeben, berechnet Minitab %Toleranz. Dieser Wert vergleicht die Streuung des Messsystems mit den Spezifikationsgrenzen. %Toleranz ist der Prozentsatz der Toleranz, der durch die Streuung des Messsystems eingenommen wird.

Die Streuung des Messsystems ($6 \cdot \text{StdAbw}$ für R&R (gesamt)) wird durch die Toleranz dividiert. Das Ergebnis wird mit 100 multipliziert und als %Toleranz ausgegeben.

%Toleranz für R&R (gesamt) ist: $(0,64807/8) \cdot 100 \approx 8,10 \%$

Welche Metrik verwenden Sie?

Verwenden Sie %Toleranz oder %Streu. in Unters., um Ihr Messsystem abhängig von seiner Anwendung zu bewerten.

- Wenn das Messsystem zur Prozessverbesserung verwendet wird (Reduzieren der Streuung in den Prüfobjekten), ist %Streu. in Unters. ein besserer Schätzwert für die Präzision der Messungen.
- Wenn das Messsystem die Prüfobjekte relativ zu den Spezifikationsgrenzen bewertet, ist %Toleranz eine angemessenere Metrik.

R&R (gesamt)

Quelle	StdAbw	Streu. in Unters. ($6 \times SA$)	%Streu. in Unters. (%SU)	%Toleranz (SU/Tol)
R&R (gesamt)	0,10801	0,64807	8,97	8,10
Wiederholbarkeit	0,10000	0,60000	8,30	7,50
Reproduzierbarkeit	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Prüfer	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Zwischen den Teilen	1,19986	7,19913	99,60	89,99
Gesamtstreuung	1,20471	7,22824	100,00	90,35

Anzahl der eindeutigen Kategorien = 15

Interpretation der Ergebnisse

R&R (gesamt)

Die Ergebnisse in %Streu. in Unters. zeigen, dass das Messsystem weniger als 10 % der gesamten Streuung in dieser Untersuchung erklärt. Die Ergebnisse in %Toleranz zeigen, dass das Messsystem weniger als 10 % der Toleranzbreite einnimmt.

R&R (gesamt):

- %Streu. in Unters. – 8,97
- %Toleranz – 8,10

Erinnern Sie sich daran, dass %Toleranz und %Streu. in Unters. mit unterschiedlichen Teilern berechnet werden. Die Spannweite der Toleranz (8) ist in diesem Beispiel größer als die Gesamtstreuung in der Untersuchung (7,22824), daher ist %Toleranz niedriger.

R&R (gesamt)

Quelle	StdAbw	Streu. in Unters. (6 × SA)	%Streu. in Unters. (%SU)	%Toleranz (SU/Tol)
R&R (gesamt)	0,10801	0,64807	8,97	8,10
Wiederholbarkeit	0,10000	0,60000	8,30	7,50
Reproduzierbarkeit	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Prüfer	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Zwischen den Teilen	1,19986	7,19913	99,60	89,99
Gesamtstreuung	1,20471	7,22824	100,00	90,35

Anzahl der eindeutigen Kategorien = 15

Interpretation der Ergebnisse

Anzahl der eindeutigen Kategorien

Der Wert von Anzahl der eindeutigen Kategorien schätzt, wie viele verschiedene Gruppen von Prüfobjekten das System unterscheiden kann.

Die Anzahl der eindeutigen Kategorien, die zuverlässig beobachtet werden kann, berechnet sich über:

$$\frac{S_{\text{Teil}}}{S_{\text{Messsystem}}} \times \sqrt{2}$$

Minitab rundet diesen Wert zu einer ganzen Zahl ab, es sei denn, der Wert wird als kleiner 1 berechnet. In diesem Fall setzt Minitab die Anzahl der eindeutigen Kategorien = 1.

Anzahl der Kategorien	Bedeutet...
< 2	Das System kann nicht zwischen Prüfobjekten unterscheiden.
= 2	Die Prüfobjekte können - wie bei attributiven Daten - in hohe und niedrige Gruppen geteilt werden.
≥ 5	Das System ist akzeptabel (gemäß AIAG) und kann zwischen den Prüfobjekten unterscheiden.

Hier ist die Anzahl der eindeutigen Kategorien 15. Das zeigt an, dass das System außerordentlich gut zwischen den Teilen unterscheiden kann.

Anmerkung Die AIAG empfiehlt, dass die Anzahl der eindeutigen Kategorien 5 oder mehr beträgt. Siehe [1] in den Referenzen.

R&R (gesamt)

Varianzkomponenten

Quelle	VarKomp	%Beitrag (der VarKomp)
R&R (gesamt)	0,01167	0,80
Wiederholbarkeit	0,01000	0,69
Reproduzierbarkeit	0,00167	0,11
Prüfer	0,00167	0,11
Zwischen den Teilen	1,43965	99,20
Gesamtstreuung	1,45132	100,00

Prozesstoleranz = 8

R&R (gesamt)

Quelle	StdAbw	Streu. in Unters. (6 × SA)	%Streu. in Unters. (%SU)	%Toleranz (SU/Tol)
R&R (gesamt)	0,10801	0,64807	8,97	8,10
Wiederholbarkeit	0,10000	0,60000	8,30	7,50
Reproduzierbarkeit	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Prüfer	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Zwischen den Teilen	1,19986	7,19913	99,60	89,99
Gesamtstreuung	1,20471	7,22824	100,00	90,35

Anzahl der eindeutigen Kategorien = 15

Interpretation der Ergebnisse

Streuungskomponenten

Das Diagramm Streuungskomponenten stellt die Ausgabe der Tabelle Messsystemanalyse R&R (gesamt) in der Ausgabe grafisch dar.

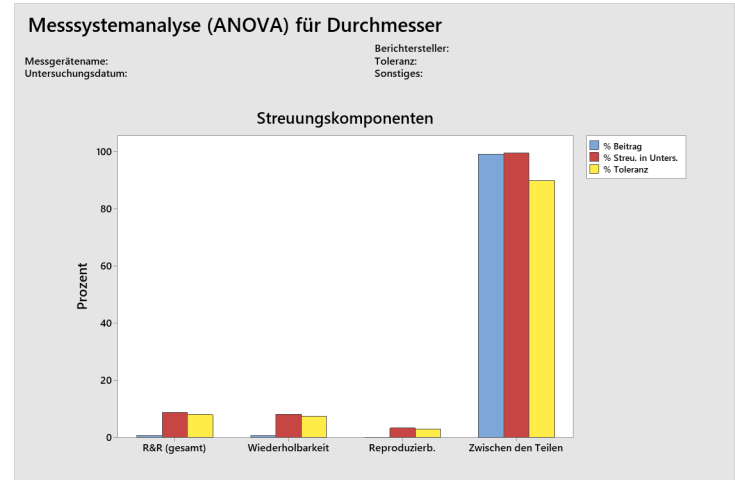
Anmerkung Sie können im Unterdialoefeld **Optionen** entscheiden, dass diese Grafiken auf separaten Seiten dargestellt werden.

Jede Balkengruppe repräsentiert eine Streuungsquelle. Als Standardeinstellung hat jede Gruppe zwei Balken, die %Beitrag bzw. %Streuung in Untersuchung entsprechen. Wenn Sie eine Toleranz oder eine historische Standardabweichung hinzufügen, werden Balken für %Toleranz oder %Prozess angezeigt.

In einem guten Messsystem ist die größte Streuungskomponente die Streuung zwischen den Prüfobjekten. Wenn stattdessen dem Messsystem eine große Streuung zugeordnet ist, kann es eine Korrektur benötigen.

Für die Daten der Einspritzdüsen macht der Unterschied in den Prüfobjekten den größten Anteil der Streuung aus.

Anmerkung Für die Maßeinheiten %Streu. in Unters., %Prozess und %Toleranz lassen sich die Balken Wiederholbarkeit und Reproduzierbarkeit nicht zum Balken R&R (gesamt) aufsummieren, da diese prozentualen Anteile auf Standardabweichungen und nicht auf Varianzen basieren.



Interpretation der Ergebnisse

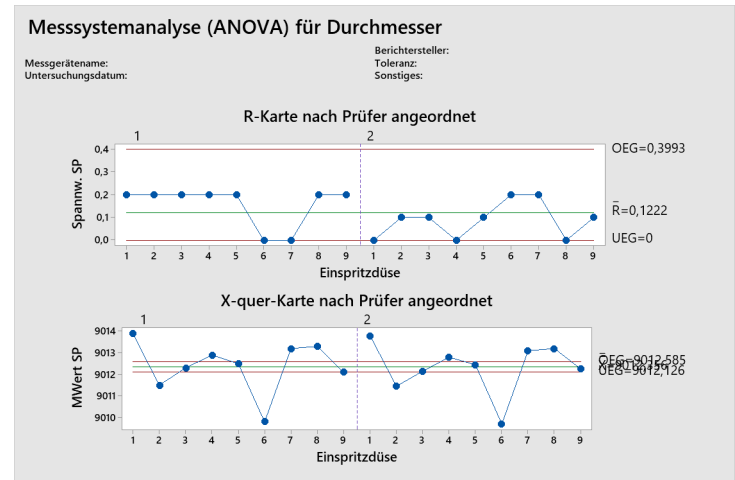
R-Karte

Die R-Karte ist eine Regelkarte der Spannweiten. Sie stellt die Prüferbeständigkeit grafisch dar. Eine R-Karte besteht aus:

- Eingezeichneten Punkten, die für jeden Prüfer die Differenz zwischen dem größten und dem kleinsten Messwert jedes Prüfobjekts darstellen. Wenn die Messwerte gleich sind, ist die Spannweite = 0. Die Punkte sind für jeden Prüfer eingezeichnet.
- Einer Mittellinie, die dem Gesamtmittelwert der Spannweiten entspricht (Durchschnitt aller Teilgruppenspannweiten).
- Eingriffsgrenzen (OEG und UEG) für die Spannweiten der Teilgruppen. Diese Grenzen werden mittels der Streuung in den Teilgruppen berechnet.

Wenn irgendwelche Punkte auf der R-Karte über der oberen Eingriffsgrenze (OEG) liegen, hat der Prüfer Schwierigkeiten, die Prüfobjekte beständig zu messen. Der Wert von OEG nimmt die Anzahl, wie oft der Prüfer ein Prüfobjekt misst, mit in die Berechnung auf. Wenn die Prüfer beständig messen, sind die Spannweiten relativ zu den Daten klein und die Punkte liegen innerhalb der Eingriffsgrenzen.

Anmerkung Die R-Karte wird gezeigt, wenn die Anzahl der Wiederholungen kleiner als 9 ist; andernfalls erscheint eine S-Karte.



Interpretation der Ergebnisse

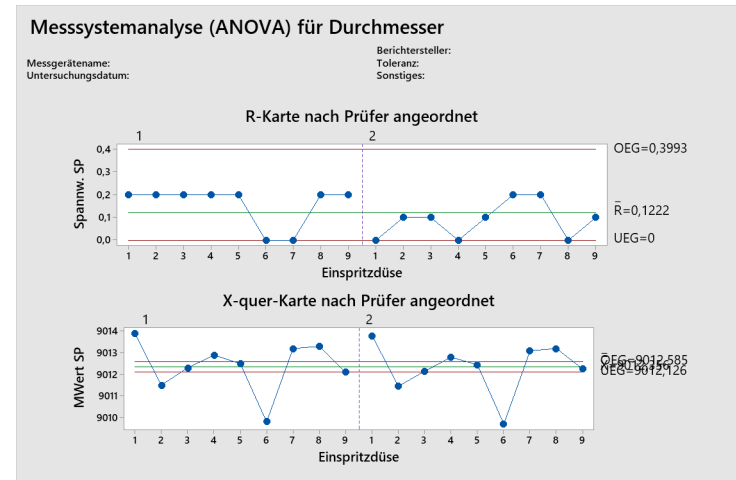
X-quer-Karte

Die X-quer-Karte vergleicht die Streuung in den Prüfobjekten mit der Komponente der Wiederholbarkeit. Die X-quer-Karte besteht aus:

- Eingezeichneten Punkten, die für jeden Prüfer den durchschnittlichen Messwert jedes Prüfobjekts darstellen.
- Einer Mittellinie, die dem Gesamtdurchschnitt aller Prüfobjektmesswerte aller Prüfer entspricht.
- Eingriffsgrenzen (OEG und UEG), die auf der Anzahl der Messungen in jedem Durchschnitt und dem Wiederholbarkeitsschätzwert basieren.

Idealerweise sollte diese Grafik eine mangelnde Kontrolle zeigen, da die Prüfobjekte für eine Messsystemanalyse die typische Streuung zwischen den Prüfobjekten repräsentieren sollten. Es ist wünschenswert, mehr Streuung zwischen den Durchschnitten der Prüfobjekte zu beobachten, als man nur aus der Streuung durch wiederholte Messungen erwarten würde.

Wenn viele Punkte ober- und unterhalb der Eingriffsgrenzen liegen, sind die Ergebnisse nicht unter statistischer Kontrolle. Für diese Daten liegen viele Punkte jenseits der Kontrollgrenzen, was zeigt, dass die Variation in den Prüfobjekten viel größer ist als die durch das Messgerät verursachte Streuung.



Interpretation der Ergebnisse

Wechselwirkung Prüfer-Prüfobjekt

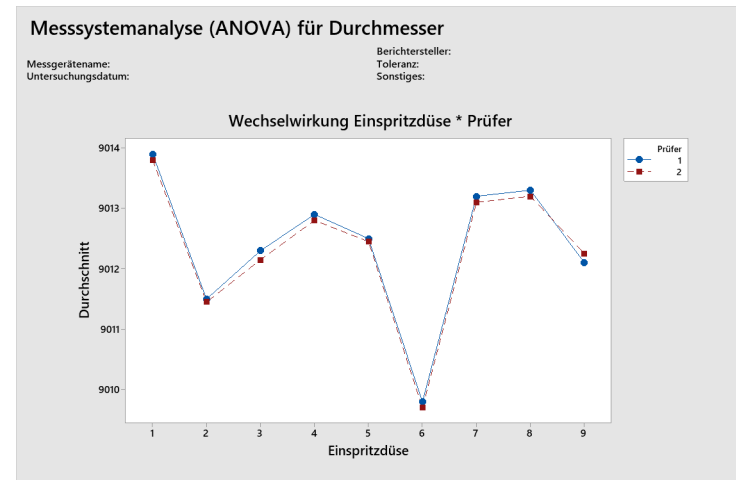
Das Diagramm Wechselwirkung Einspritzdüse*Prüfer zeigt die von jedem Prüfer erfassten durchschnittlichen Messwerte für jedes Prüfobjekt. Jede Linie verbindet die Durchschnitte für jeden einzelnen Prüfer.

Idealerweise fallen die Linien zusammen und die Durchschnitte variieren stark genug, so dass die Unterschiede zwischen den Prüfobjekten deutlich sind.

Dieses Muster...	Zeigt...
Die Linien sind fast identisch.	Die Prüfer sind in ihren Messungen sehr ähnlich.
Eine Linie ist beständig höher oder niedriger als die anderen.	Ein Prüfer misst die Prüfobjekte beständig höher oder niedriger als die anderen Prüfer.
Die Linien sind nicht parallel oder kreuzen sich.	Die Fähigkeit eines Prüfers, ein Prüfobjekt zu messen, ist abhängig davon, welches Prüfobjekt er misst (eine Wechselwirkung besteht zwischen Prüfer und Prüfobjekt).

Hier verlaufen die Linien sehr dicht aneinander und die Unterschiede zwischen den Prüfobjekten sind deutlich. Die Prüfer scheinen die Prüfobjekte ähnlich zu messen.

Anmerkung Die Signifikanz dieser Wechselwirkung wurde in der ANOVA-Tabelle auf Seite 9 gezeigt. Der p-Wert der Wechselwirkung beträgt 0,707. Somit ist die Wechselwirkung bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ nicht signifikant.



Interpretation der Ergebnisse

Messungen nach Prüfer angeordnet

Das Diagramm nach Prüfer angeordnet kann helfen zu bestimmen, ob die Messwerte und die Streuung in Abhängigkeit von den Prüfern beständig sind.

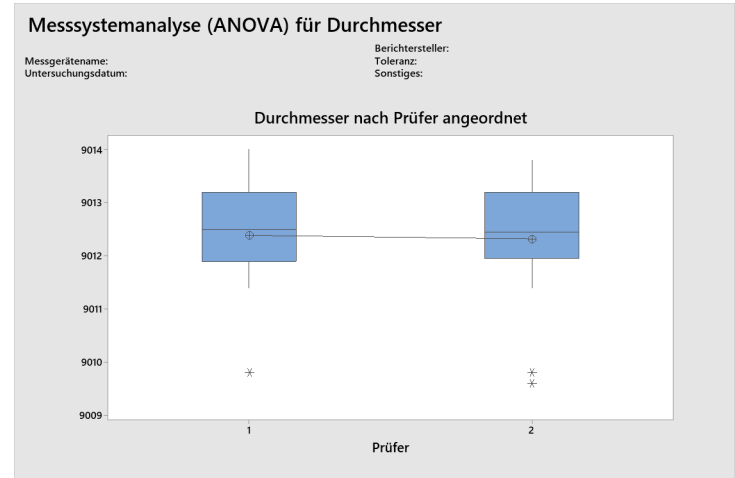
Das Diagramm nach Prüfer angeordnet zeigt alle Messwerte der Untersuchung angeordnet nach den Prüfern. Bei neun oder weniger Messungen für jeden Prüfer werden die Messungen von Punkten dargestellt. Liegen für jeden Prüfer mehr als neun Messungen vor, zeigt Minitab einen Boxplot an. In beiden Diagrammtypen stellen schwarze Kreise die Mittelwerte dar. Diese werden mit einer Linie verbunden.

Ist die Linie...	Dann...
Parallel zur x-Achse	Messen die Prüfer die Prüfobjekte im Durchschnitt ähnlich.
Nicht parallel zur x-Achse	Messen die Prüfer die Prüfobjekte im Durchschnitt unterschiedlich.

Verwenden Sie diese Grafik auch, um zu bewerten, ob die gesamte Streuung in den Messungen der Prüfobjekte für jeden Prüfer gleich ist:

- Ist die Streuweite der Messwerte ähnlich?
- Streuen die Messungen eines Prüfers mehr als die der anderen?

Hier scheinen die Prüfer die Prüfobjekte beständig, mit ungefähr gleicher Streuung, zu messen.



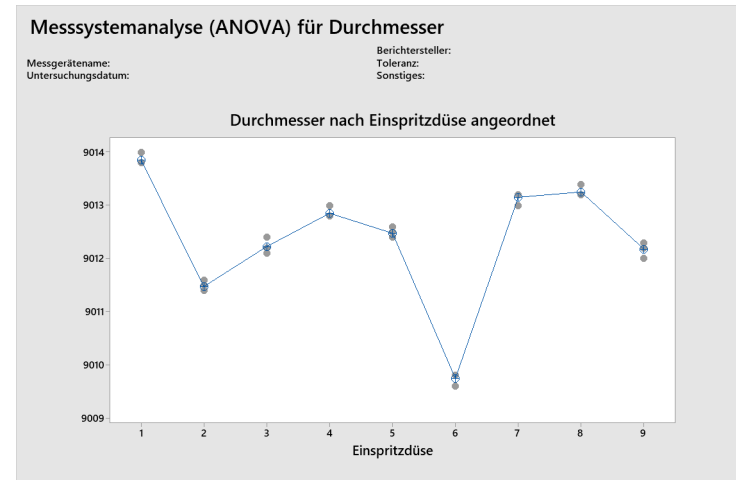
Interpretation der Ergebnisse

Messungen in Abhängigkeit vom Prüfobjekt

Das Diagramm nach Einspritzdüse angeordnet zeigt alle in der Untersuchung gemachten Messungen angeordnet nach den Prüfobjekten. Die Messwerte werden durch leere Kreise repräsentiert, die Mittelwerte durch ausgefüllte Kreise. Die Linie verbindet die durchschnittlichen Messwerte für jedes Prüfobjekt.

Idealerweise:

- Zeigen mehrere Messungen für jedes Prüfobjekt nur eine geringe Streuung (die leeren Kreise für jedes Prüfobjekt liegen eng zusammen).
- Variieren die Durchschnitte genug, so dass die Unterschiede zwischen den Prüfobjekten deutlich sind.



Abschließende Betrachtungen

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Das Messsystem der Einspritzdüsen trägt sehr wenig zur gesamten Streuung bei, wie sowohl die Tabelle der Messsystemanalyse als auch die Grafiken bestätigen.

Die Streuung aufgrund des Messsystems, entweder als %Streuung in Untersuchung oder als %Toleranz, ist kleiner als 10 %. Nach den AIAG-Richtlinien ist dieses System akzeptabel.

Zusätzliche Anmerkungen

Gekreuzte Messsystemanalysen sind wie andere Prozeduren der Messsystemanalyse geplante Experimente. Für zuverlässige Ergebnisse sind Randomisierung und repräsentative Stichprobenziehung wesentlich.

Abschließende Betrachtungen

Zusätzliche Anmerkungen

Grafikmuster, die eine geringe Streuung des Messsystems zeigen:

Grafik	Muster
R	Kleine durchschnittliche Spannweite
X-quer-Karte	Enge Eingriffsgrenzen und viele Punkte außer Kontrolle
nach Prüfobjekt angeordnet	Sehr ähnliche Messwerte für jedes Prüfobjekt über alle Prüfer und deutliche Unterschiede zwischen den Prüfobjekten
nach Prüfer angeordnet	Gerade horizontale Linie
Wechselwirkung Prüfer-Prüfobjekt	Überlagernde Linien

Die AIAG-Richtlinien für %Beitrag sind folgende:

%Beitrag	System ist...
1 % oder kleiner	Akzeptabel
1 % bis 9 %	Potenziell akzeptabel (abhängig von der Kritikalität der Messung, der Kosten, der Risiken etc.)
9 % oder größer	Inakzeptabel

Die AIAG-Richtlinien für die Tabelle der Messsystemanalyse sind wie folgt:

%Toleranz %Streu. in Unters. %Prozess	System ist...
10 % oder kleiner	Akzeptabel
10 % bis 30 %	Potenziell akzeptabel (abhängig von der Kritikalität der Messung, der Kosten, der Risiken etc.)
30 % oder größer	Inakzeptabel

Quelle: [1] in den Referenzen.