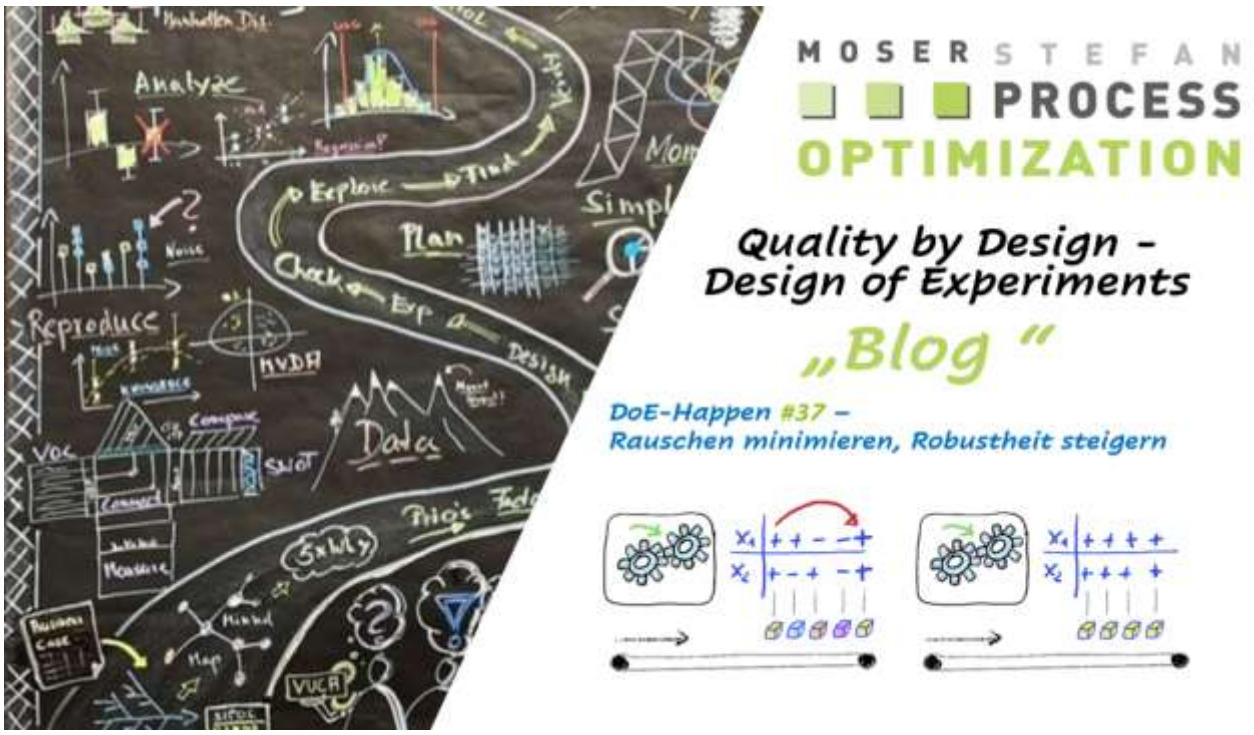


DoE-Happen #37 - Rauschen minimieren, Robustheit steigern

06. Jan. 2025 / Stefan Moser

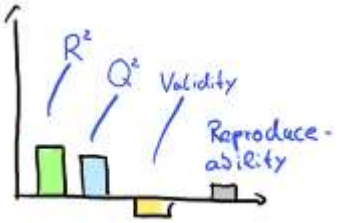
Hallo liebe DoE-Interessierte,

In diesem Artikel zeige ich Ihnen, wie Sie Rauschen analysieren, Störgrößen identifizieren und gezielt gegensteuern können, um Ihre Prozesse robuster zu machen.

Vielleicht hatten Sie das auch schon einmal, dass ihr eine schöne DoE aufgesetzt habt, bei der Analyse aber festgestellt wurde, dass die Reproduzierbarkeit bescheiden ist, das Rauschen groß und das Modell sehr fragwürdig? Dieser Fall begegnet mir öfter, wenn meine Studenten nach der "Halbwertzeit" der Informationen aus dem DoE-Kurs, Experimente durchführen und dann meinen Rat einholen.

Oftmals hatten die Studenten schon ein Gefühl dafür, dass irgendetwas zusätzliche Variation in ihre Versuchsdurchführung bringt. Aus diesem Grund haben sie einige oder sogar alle Experimente mehrfach wiederholt.

Dies zeigt sich dann gerne in Modellen, deren Modellgüte wie folgt aussieht:

	• R^2: „Goodness of fit“ – Ein Maß für die Beschreibbarkeit der Beobachtungen durch das Modell. • Q^2: „Goodness of predictions“ – Ein Maß für die Vorhersagbarkeit (Lage) von neuen Experimenten innerhalb des Versuchsraums. • Validity: „Lack of fit“ – Ein Maß dafür, wie stark Experimente um die berechnete Lage streuen (Rauschen). • Reproducibility: Ein Maß für die Wiederholbarkeit der Experimente.

Dies sieht auf den ersten Blick bescheiden aus, da die Balken des „Model Summary Plot“ idealerweise alle höher und vor allem im positiven Bereich sein sollten. Dennoch können auch mit

einem weniger guten Modell verschiedene Aspekte untersucht werden, die wertvolle Hinweise liefern können.

Deshalb: Um festzustellen, ob hier etwas noch auszuwerten ist, sollten wir uns die folgenden Fragen stellen:

1. **Haben Sie einige Experimente reproduziert?**
2. **Kommt das Rauschen, die unerwünschte Variation, aus dem Prozess oder der Umgebung?**
3. **Wo sind Ihre Zielbereiche und wie ist die Lage Ihrer Ergebnisse dazu?**
4. **Wie sollten die Ergebnisse aufbereitet werden?**

Schauen wir uns die Fragen nacheinander an.

Frage 1: Haben Sie einige Experimente reproduziert?

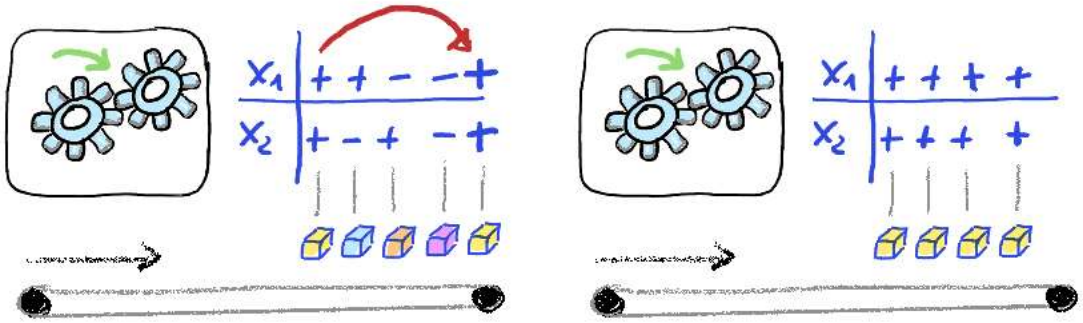


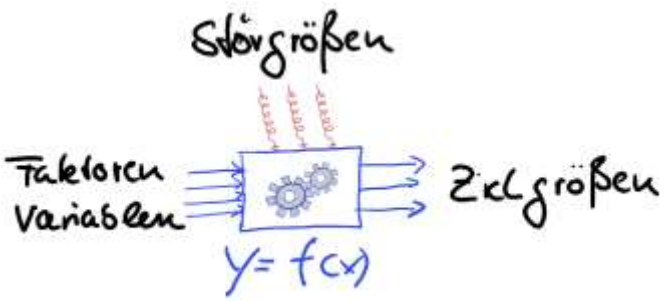
Abbildung 1: Prozess mit wiederholten Ergebnissen auf Basis unterschiedlicher oder gleicher Einstellungen

Dafür sollten wir zuerst klären, um welche Art von Wiederholungen es sich hier gehandelt hat. Dabei können wir unterscheiden in:

- **Wiederholter Versuch:** (links) Wenn ein Experiment mehrmals, inkl. Setup-Phase, an verschiedenen Zeitpunkten des Versuchsplans wiederholt wurde.
- **Wiederholte Messungen:** (rechts) Wenn mit der gleichen Versuchseinstellung mehrere Teile produziert wurden, z. B. beim Spritzgießen oder Drucken eines Bauteils mit additiver Fertigung.

Wiederholte Versuche in der Sequenz: Variation durch Störgrößen erkennen

Tritt die Variation im Fall „**Wiederholte Versuche**“ auf, also zwischen Versuchen einer Versuchsreihe, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten mit gleichem oder zumindest sehr ähnlichem Setup durchgeführt wurden, deutet dies darauf hin, dass sich während der Versuchsreihe äußere Einflüsse verändert, haben könnten.



Sind diese Störgrößen dokumentiert, lassen sich ihre Effekte möglicherweise im Trend erkennen. Da sie jedoch oft nicht systematisch variiert wurden, können maximal Korrelationen mit den Zielgrößen analysiert werden. Die bewusst variierten Faktoren hingegen lassen sich in der Regel unabhängiger untersuchen und in einem Ursache-Wirkungs-Modell abbilden. Durch diese Analysen können Maßnahmen abgeleitet werden, um die Wirkung der Störgrößen zu mindern und den Prozess gezielt zu stabilisieren.

Fall: Wiederholte Messungen bzw. mehrere Teile pro Einstellung

Werden mehrere Teile mit einer Einstellung produziert und es ist auffällig, dass die Variation innerhalb dieser Teile ungewöhnlich ausfällt, muss davon ausgegangen werden, dass diese Variation entweder innerhalb des Prozesses oder beim Vermessen der Teile entsteht. Die Problematik hierbei besteht darin, dass die Versuchsplanung auf Basis der Faktoren keine Hinweise dazu geben kann, da die Faktoreinstellungen während der Produktion der Teile nicht „bewusst“ verändert wurden.

Trotzdem kann es sinnvoll sein, die Umgebungsbedingungen oder das Verfahren zu hinterfragen, mit dem die Teile produziert wurden, um weitere Erkenntnisse zu gewinnen. Beispielsweise könnte der Prozess noch nicht stationär gewesen sein, sodass die Teile während der Einfahrphase produziert wurden. Ebenso könnte zusätzliche Variation durch den Probenzug oder die Art der Messung entstehen. Es ist beispielsweise nicht ungewöhnlich, dass bei Messungen wie Zugprüfungen, Schlagzähigkeiten oder Endmaßen geometrischer Bauteile (z. B. Fahrradrahmen) durch das Einspannen Normalspannungen induziert werden, die die Messergebnisse (z. B. Lagewerte) verfälschen können.

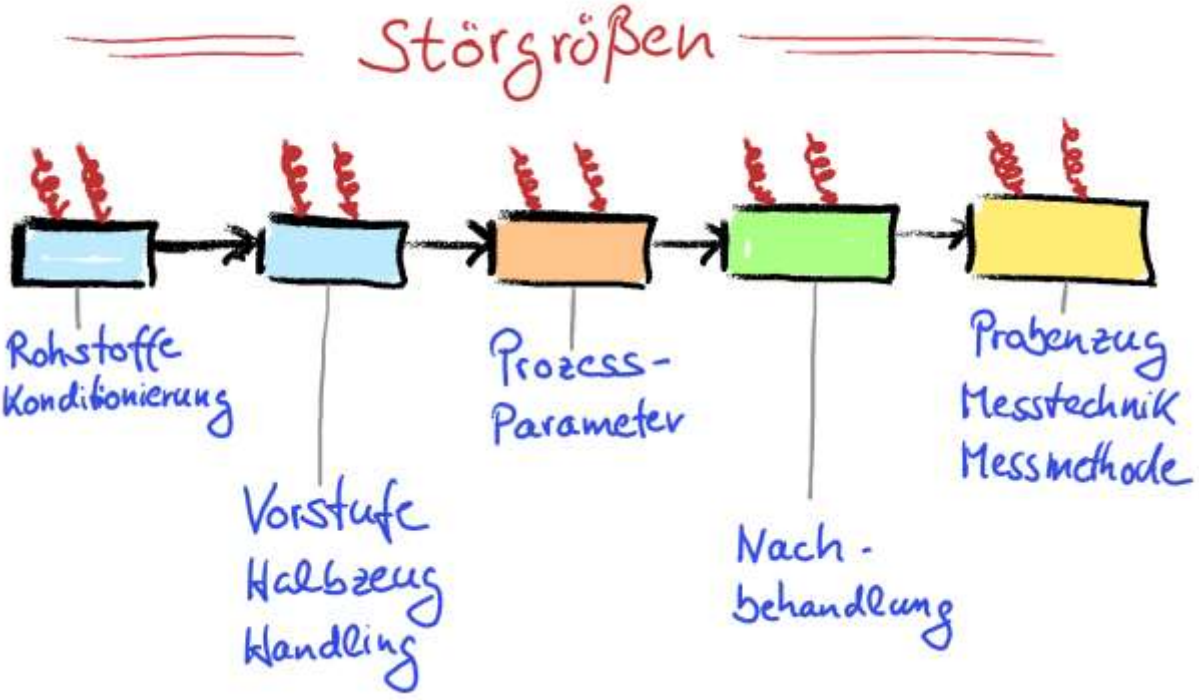
Frage 2: Kommt das Rauschen, die ungewünschte Variation aus dem Prozess oder der Umgebung

Was ist Rauschen?

Rauschen bezieht sich auf unkontrollierte Variabilitäten oder Störungen, die während eines Experiments auftreten können. Es gibt verschiedene Formen von Rauschen:

- **Messrauschen:** Abweichungen, die durch Ungenauigkeiten der Messinstrumente verursacht werden.
- **Umgebungsrauschen:** Störungen durch nicht kontrollierbare Umweltbedingungen wie Temperatur oder Luftfeuchtigkeit.
- **Prozessrauschen:** Variabilitäten, die durch Schwankungen im eigentlichen Prozess entstehen, z. B. durch Materialunterschiede oder Bedienereinflüsse.

Rauschen kann die Ergebnisse verzerren und die Aussagekraft der gewonnenen Daten stark beeinträchtigen, wenn es nicht systematisch untersucht und gegebenenfalls reduziert wird.

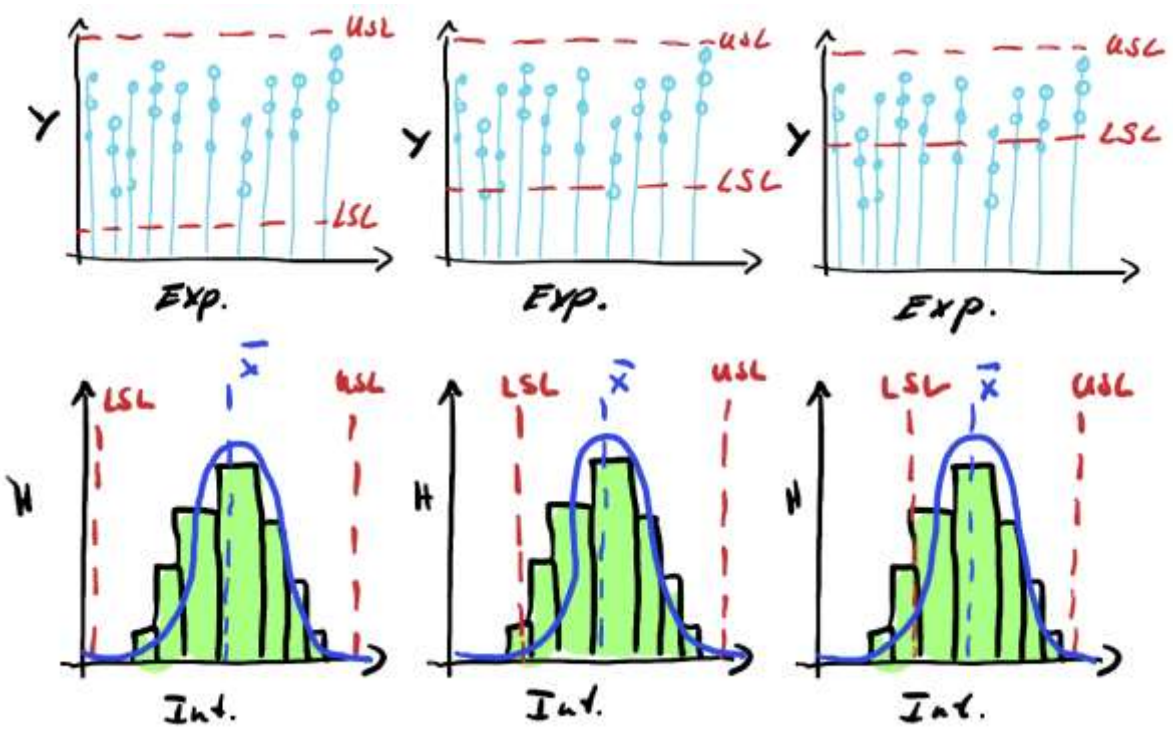


Möglicherweise haben Sie in einem ähnlichen Fall schon aufgrund der Analyse der Wiederholbarkeit Hinweise in Ihren Daten finden können. Dennoch ist es stets sinnvoll, den gesamten Prozess zumindest grob zu betrachten, um nichts zu übersehen, was im Prozess weniger gut definiert ist oder möglicherweise für Variation sorgt.

Hierbei bieten Prozessflowcharts oder Betrachtungen wie SIPOC und Ishikawa oftmals eine gute Anleitung, um den Ursachen für Variation auf den Grund zu gehen. Ebenfalls können diese Methoden dienlich sein, um Annahmen und Hypothesen zu überprüfen.

Beispiel: So könnte es z. B. in einem Umformprozess sein, dass Teile in verschiedenen Formnestern umspritzt wurden. In der Auswertung hatte sich ein Student an mich gewandt, da er den Sachverhalt nicht gut modellieren konnte. Ich war mir sicher, dass er alles gewissenhaft und gut geplant wie auch durchgeführt hatte. Allerdings hatte er die Abnahme der Schmelze-Temperatur im Kunststoff beim Durchfluten der drei Formnester nicht beachtet. Als wir diese nachträglich in seine Versuchsplanung als unkontrollierbare Größe einweben, konnten wir ein sehr gutes Modell erzeugen.

Frage 3: Wo sind Ihre Zielbereiche und wie ist die Lage Ihrer Ergebnisse dazu?



Diese Frage ist essenziell, denn wenn der Zielbereich der Ergebnisse aus dem rechten Replicate-Plot weit oberhalb der unteren Spezifikationsgrenze liegt, scheinen die Ergebnisse zwar stark zu streuen, jedoch in einem Bereich, der akzeptabel ist. Das heißt, dass Sie zwar kein perfektes Modell erhalten, jedoch eine Aussage darüber treffen können, wie robust oder fähig Ihr Prozess ist. Solche Ergebnisse finden Sie oft in Robustheitsstudien. Hier erscheint der Variationsbereich groß, weil die Unterschiede zwischen den Ergebnissen sehr klein sind.

Im mittleren Plot hingegen zeigt sich, dass der Prozess eher grenzwertig aufgestellt ist. Der Prozess ist weniger robust oder sicher und somit nicht fähig. Dennoch könnte Ihr Modell Ihnen Hinweise darauf geben, welcher Faktor zumindest für die Variation verantwortlich ist. Zudem könnten mit dokumentierte Störgrößen helfen, die Ursachen für die grenzwertige Performance aufzudecken.

Frage 4: Wie sollten die Ergebnisse aufbereitet werden?



Die Ergebnisse sollten möglichst datenbasiert und sachlich aufbereitet werden. Idealerweise untermauern Sie diese mit Grafiken, die die wichtigsten Erkenntnisse anschaulich darstellen. Berücksichtigen Sie dabei, welche Zielgruppen die Daten verstehen sollen – von Ingenieuren bis hin zu Managemententscheidern. So können Sie sicherstellen, dass Entscheidungen fundiert und nachvollziehbar sind. Damit befähigen Sie Entscheider dazu, sinnvolle und nachhaltige Entscheidungen zu treffen.

Fazit: Verstehen und kontrollieren Sie Rauschen in Ihren Experimenten, um die Robustheit und Zuverlässigkeit Ihrer Prozesse zu verbessern. Nutzen Sie systematische Analysen, kluge Visualisierungen und gezielte Gegenmaßnahmen, um Ihre Ergebnisse auf das nächste Level zu heben. Teilen Sie Ihre Erfahrungen oder Fragen gerne in den Kommentaren!

Bleiben Sie experimentierfreudig und neugierig!



💬 Bleiben Sie am Ball! In den kommenden #DoE-Happen vertiefen wir diese und andere Fragestellungen. Bitte teilen Sie Ihre Erfahrungen z.B. bei LinkedIn in den #Kommentaren. Sie können Sie die Themenrichtung mitgestalten. Ich freue mich darauf, von Ihnen zu hören!

🎁 Für regelmäßige Updates besuchen Sie meine Webseite: www.stefan-moser.com, wo Sie eine Übersicht und die Chronologie der Blog-Reihe finden.

Ihr DFSS & DoE Trainer,

Stefan Moser

DFSS-Proj.-mgmt. Trainer, DoE & MVDA Lecturer, Trainer, Facilitator, Specialist SIMCA, MODDE, Impulse-Geber

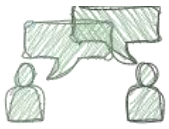
Mein Angebot zur Begleitung und Weiterentwicklung:

Ich biete DoE-Kurse an, die vom Einsteiger- bis zum Masterkurs reichen. Dabei decke ich alle relevanten Bereiche ab: von Fokus-Kursen zu Themen wie Screening, Charakterisierung, Optimierung und Robustheit bis hin zu Spezialkursen zu Mischungs- und Formulierungsdesigns, Stabilität oder spezifischen hierarchischen Designs wie Red Mup.

Neben diesen Kursen unterstütze ich meine Kunden bei der Versuchsplanung – sei es durch gezielte Beratung oder in Form von Troubleshooting oder Workshops. Ich begleite Sie in allen Phasen: von der Problemformulierung und Machbarkeitsstudie über die Optimierung bis zur robusten Absicherung Ihrer Prozesse.

Neben meinem Lieblingsthema DoE biete ich auch Kurse in den Bereichen MVDA, DFSS und QFD an. Hier unterstütze ich unter anderem die Ausbildung zum DFSS-Manager in den Stufen Yellow, Green und Black Belt. Diese Kurse realisiere ich in Zusammenarbeit mit meinen Partnern.

Wenn Sie Ihre Prozesse und Methoden auf das nächste Level bringen möchten, finden wir gemeinsam die passende Lösung!



Wenn Sie dazu mehr erfahren möchten, So finden Sie diese Hinweise auf meiner Webseite. www-stefan-moser.com

Gerne können Sie mich auch direkt anschreiben unter info@stefan-moser.com