



DIE METHODE

Kostengünstig, effizient und schnell Produkte und Prozesse verbessern



Systematische Optimierungsverfahren verbessern mit geringem Aufwand Prozesse und Produkte

- Eine phänomenologische Darstellung der statistischen Versuchsplanung -

Sie kennen das Problem: Ihr komplexer Fertigungs- oder Entwicklungsprozess ist von vielen Einstellgrößen abhängig. Sie wollen etwas verbessern, wissen aber nicht, an welchen "Schrauben" Sie drehen sollen.

In dieser Situation bekommen Sie vielleicht den Rat, es doch einmal mit statistischer Versuchsplanung zu probieren. Schön – aber was ist das?

Ziel dieses Beitrages ist, eine allgemein verständliche Übersicht über die Wirkung und den Nutzen der statistischen Versuchsplanung zu geben sowie Anforderungen an die Vorgehensweise darzustellen.

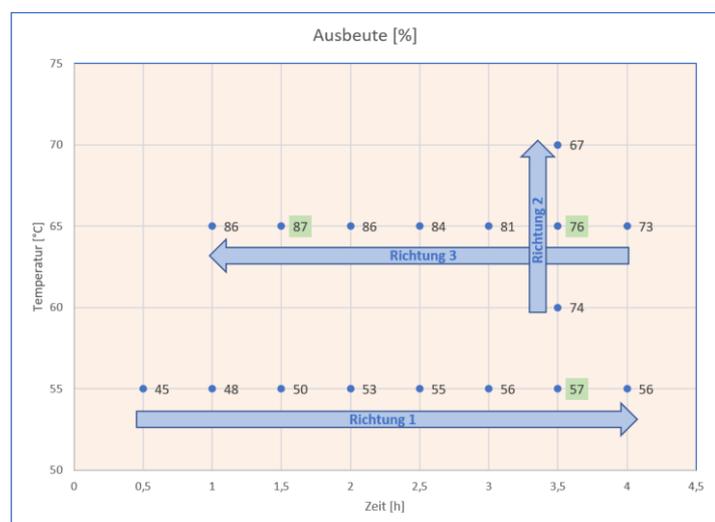
Die Intention von Verbesserungsprojekten ist, mit möglichst geringem Aufwand das Verhalten eines Prozesses in Abhängigkeit seiner Einstellgrößen kennen zu lernen, um gezielte Optimierungen vornehmen zu können.

Herkömmliche Methode:

Angenommen, Sie vermuten, dass Ihr Problem nur von zwei Parametern abhängt. Dann legen Sie los: ein Parameter wird festgehalten und der andere variiert. Danach wird der nächste Parameter variiert. Diese Vorgehensweise wird "One factor at a time" genannt. Die Folge: Nach einer Vielzahl von Versuchen ist das Prozessverhalten lediglich punktweise an den Orten der Versuchseinstellungen bekannt.

Beispielhaft dargestellt ist die Ausbeute einer Reaktion in Abhängigkeit von Temperatur und Reaktionszeit (nur zwei betrachtete Parameter mit 17 Versuchen).

| Zeit [h] | Temperatur [°C] | Ausbeute [%] |
|----------|-----------------|--------------|
| 0,5 | 55,0 | 45 |
| 1,0 | 55,0 | 48 |
| 1,5 | 55,0 | 50 |
| 2,0 | 55,0 | 53 |
| 2,5 | 55,0 | 55 |
| 3,0 | 55,0 | 56 |
| 3,5 | 55,0 | 57 |
| 4,0 | 55,0 | 56 |
| 3,5 | 60,0 | 74 |
| 3,5 | 65,0 | 76 |
| 3,5 | 70,0 | 67 |
| 4,0 | 65,0 | 73 |
| 3,0 | 65,0 | 81 |
| 2,5 | 65,0 | 84 |
| 2,0 | 65,0 | 86 |
| 1,5 | 65,0 | 87 |
| 1,0 | 65,0 | 86 |





Der Informationsgehalt der Ergebnisse, verglichen mit der u.a. systematischen Vorgehensweise, ist sehr gering. So ist nach den 17 Versuchen z.B. nicht bekannt, wie sich eine Variation der Temperatur bei z.B. einer Reaktionszeit von einer halben Stunde auf die Ausbeute auswirkt, da diese Größen nicht direkt gemessen wurden. Ein globales Verständnis der Zusammenhänge wird nicht erreicht.

In der Regel sind in realen Prozessen auch nicht vernachlässigbare Wechselwirkungen zwischen den Einstellgrößen vorhanden, können aber mit herkömmlichen Methoden nicht erkannt werden.

Warum ist die Anwendung der statistischen Versuchsplanung so effizient?

In der Regel kennen Sie die wirklich wichtigen und wirksamen Einflussgrößen zu Beginn einer Optimierung noch nicht. Hier bietet die Methode der statistischen Versuchsplanung in drei Schritten einen sehr schnellen Weg zum Ziel:

1: Problemuntersuchung und Hypothesenbildung

Im ersten Schritt werden die vermuteten Einflussgrößen auf die Zielgröße gesammelt. In der Regel haben Mitarbeiter schon ein gutes Gefühl für diese Parameter (manchmal aber auch falsche Vorstellungen). Weiterhin gibt es vielleicht bereits Versuche aus der Vergangenheit oder Daten aus der laufenden Produktion. In diesem Fall kann eine Analyse historischer Daten (so der Fachbegriff) erste Zusammenhänge aufzeigen.

Darüber hinaus werden in Workshops mit Fachleuten (Entwickler, Verfahrenstechniker, Produktionsmitarbeiter, ...) Hypothesen über die Zusammenhänge des Problems sowie eine Liste möglicher Einflussgrößen erarbeitet (z.B. Verwendung Ishikawa Diagramm oder weiterer Kreativitätstechniken).

2: Screening

Im Schritt 1 werden i.d.R. viele mögliche Einflussgrößen gesammelt. Würden nun mit allen möglichen Kombinationen, womöglich noch mit der "One factor at a time"-Methode, Versuche durchgeführt, würde der Aufwand durch die vielen notwendigen Experimente extrem hoch und kostenintensiv werden.

In dieser Phase der Problemlösung wird nun ein sog. Screeningversuchsplan erstellt, der die in Schritt 1 vermuteten Parameter systematisch variiert. Je nach Problemstellung wird aus einer Vielzahl von möglichen Versuchsplantypen ein geeigneter Plan ausgewählt, der einen guten Kompromiss zwischen Aufwand und Aussagekraft darstellt. Da beim Screening der Fokus auf die Identifikation dieser signifikanten Einflussgrößen gelegt wird, ist es ausreichend, mit den vielen Parametern Versuche nach einem einfachen Ansatz sowie unter vereinfachten Annahmen durchzuführen (Screeningversuchsplan).

Nun werden die Versuche nach Plan durchgeführt und die interessierenden Zielgrößen gemessen.

Hier kommt nun die Statistik zum ersten Mal ins Spiel: würde man keine der vermuteten Einflussgrößen ändern, sondern einfach nur Versuche wiederholen, so würde



sich die interessierenden Zielgrößen aufgrund der normalen Streuung von Prozess sowie Messung einer Gauß'schen Glockenkurve der Normalverteilung annähern.

Das gleiche Ergebnis erhält man, wenn man Parameter bei den Versuchen ändert, die keinen wirklichen (signifikanten) Einfluss auf die Zielgröße haben.

Nur die i.d.R. wenigen Einflussgrößen, die das Problem signifikant beeinflussen, zeigen bei der statistischen Auswertung bei der Zielgröße eine Abweichung von der Normalverteilung.

Im Ergebnis des Screenings werden also die Parameter gefunden, die das Problem beeinflussen – die übrigen untersuchten Einflussgrößen werden als "nicht signifikant" identifiziert und können bei der weiteren Optimierung getrost vernachlässigt werden.

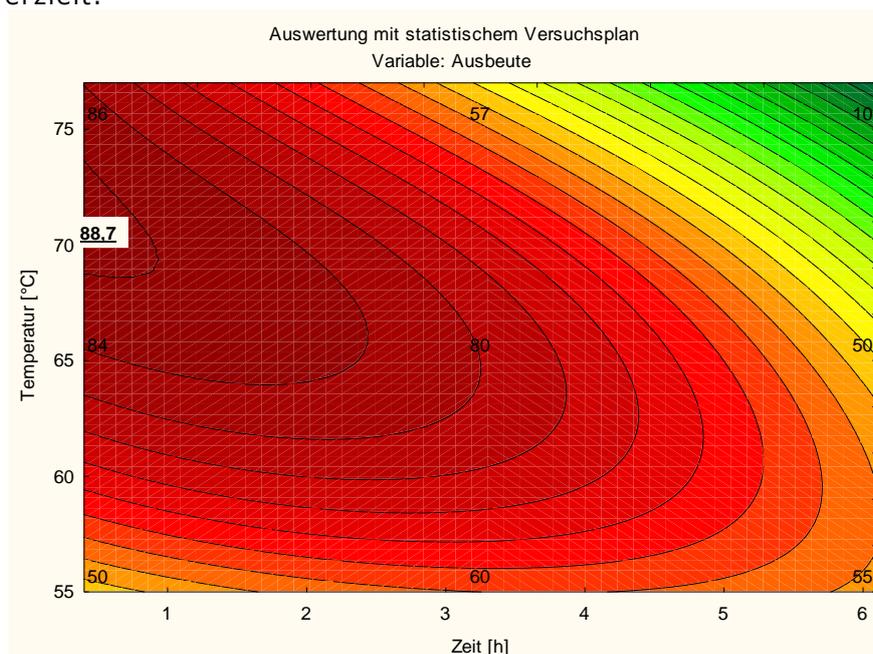
3: Optimierung

Aus den Schritten 1 und 2 sind nun also die wenigen, wirklich wirksamen Einflussgrößen bekannt.

Durch die Verwendung von aufwändigeren Versuchsplänen in der Optimierungsphase, allerdings nun mit nur wenigen Parametern, kommt es im Ergebnis zu qualitativ hochwertigen Ergebnissen mit geringem Aufwand. Das ist die Stärke der statistischen Versuchsplanung.

Ergebnis einer Optimierung mittels der statistischen Versuchsplanung (Design of Experiments, DoE)

Hier ein typisches Ergebnis der Problemstellung, die weiter oben mit der "One factor at a time"-Methode gezeigt wurde. Nach dem Screening wurde dieses Optimierungsergebnis (dargestellt als Contourplot) bereits mit 9 Versuchen (Messwerte der Ausbeute einzeln gezeichnet) erzielt.





Sofort fällt auf, dass eine viel größere Information über die Zusammenhänge im gesamten Parametergebiet gewonnen wurde. Das berechnete Optimum von 88,7 % liegt bei einer Reaktionszeit von 0,5 Stunden und einer Temperatur von 70,8 °C. In diesem Bereich ist die Produktion sehr stabil, d.h. Variationen der Prozesstemperatur und Reaktionszeit führen nicht zu starken Änderungen in der Ausbeute. Die Reaktion läuft bei geeigneter Temperatur sehr schnell ab, hohe Temperaturen führen bei längerer Einwirkzeit zur Zerstörung des Endproduktes.

Wie im Beispiel gezeigt, kann das gefundene Optimum nicht nur höher liegen als nach den Versuchen nach herkömmlicher Methode vermutet, sondern sich auch woanders befinden.

Weiterhin liegen nach einer systematischen Analyse auch Kenntnisse über die Streuung des Prozesses sowie – und das ist häufig noch wichtiger – Information über die Wechselwirkungen zwischen Einstellgrößen vor. So führt in diesem Beispiel die Erhöhung der Temperatur, ausgehend von 60 °C bei Reaktionszeiten von z.B. fünf Stunden zu einem Abfall der Ausbeute, bei einer Stunde Reaktionszeit jedoch zu einer Zunahme.

Die Vorteile der statistischen Versuchsplanung, gerade bei realen Systemen mit mehreren Einflussgrößen, sind im Hinblick auf den Aufwand für die Experimente und die erzielten Erkenntnisse gravierend.

Wann sollten Sie diese Technik selbst anwenden?

Wenn Ihnen Begriffe, wie z.B. qualitative und quantitative Einfluss- und Zielgrößen, experimentelle und statistische Kontrolle von Störfaktoren, ANOVA, Regressions- und Residuenanalyse oder Vertrauensbereich geläufig sind, Sie ein entsprechendes Computerprogramm besitzen und neben Ihrer Tagesarbeit noch Zeit oder entsprechend ausgebildete Mitarbeiter haben, dann können Sie natürlich selbst tätig werden.

Aus unserer mehrjährigen Praxis wissen wir jedoch, dass die ausreichende Beschäftigung mit den Randbedingungen einer experimentellen Untersuchung in der Regel nicht stattfindet. Gerade das ist jedoch ein wesentlicher Erfolgsfaktor bei der Anwendung der Methode. Auch die Einarbeitung in die notwendigen Programme und die praktische Durchführung von Versuchsplangenerierung, Experiment und Datenauswertung setzen einen nicht vernachlässigbaren Zeiteinsatz voraus.

Daher ist es in der betrieblichen Realität deutlich effektiver und günstiger, einen externen Fachmann projektbezogen hinzuzuziehen. Durch seine Unterstützung sparen Sie in der Regel Geld, Zeit und auch Nerven. Sprechen Sie mich für weitergehende Informationen an!

Warum ist auch Prozesswissen nötig?

Eine rein mathematische Behandlung des Optimierungsproblems durch einen externen DoE-Fachmann birgt u.a. die Gefahr, so genannte Scheinkorrelationen (nonsense correlations) zu berechnen.

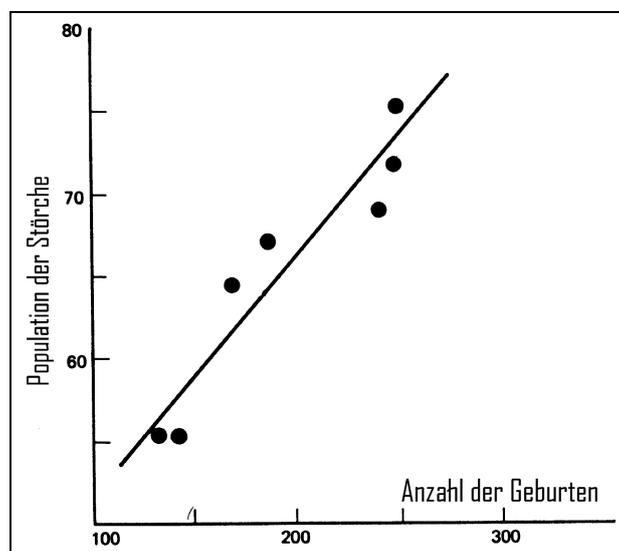
So würde man bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Anzahl der eingesetzten Feuerwehrleute bei einem Brand und der Schadenshöhe finden, dass der



Schaden umso größer ist, je mehr Feuerwehren vor Ort sind. Die Konsequenzen aus dieser "Erkenntnis" wären fatal.

Hier liegt die Ursache in einer sogenannten versteckten Variablen (hidden oder lurking variable), nämlich der Stärke des Brandes. Je stärker der Brand, umso mehr Feuerwehren werden eingesetzt. Bei stärkerem Brand ist aber auch in der Regel die Schadenshöhe größer.

Ein anderes berühmtes Literaturbeispiel: Trägt man die Anzahl der in den Jahren 1930 bis 1936 im Raum Oldenburg beobachteten Störche gegen die Anzahl der Geburten in der Region auf, so ergibt sich folgendes Bild:



Quellen: Ornithologische Monatsberichte, 44, Nr. 2, Jahrgang 1936
Ornithologische Monatsberichte, 48, Nr. 1, Jahrgang 1940
Statistisches Jahrbuch Deutscher Gemeinden, 27-22, Jahrgang 1932-1938, Gustav Fischer, Jena

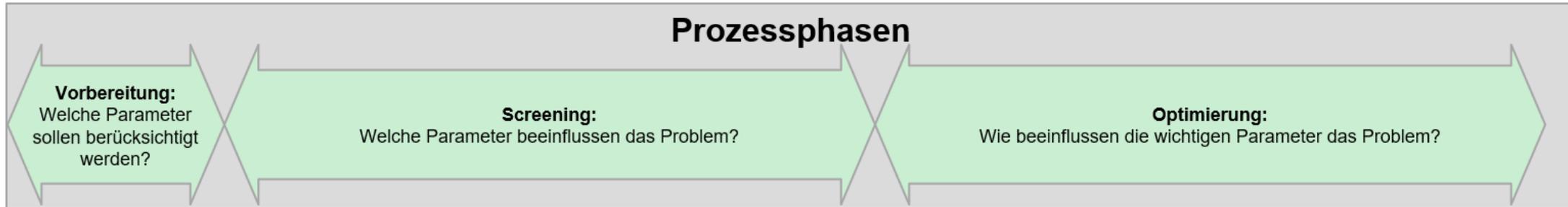
Allein unsere Erfahrung (Prozesswissen) hindert uns, diesen völlig zufälligen Befund zu interpretieren.

Zusammenfassung

- Die Anwendung der statistischen Versuchsplanung liefert mit geringem Aufwand eine umfangreiche und verlässliche Information über den untersuchten Prozess und ist damit Grundlage einer effektiven Optimierung.
- Die praktische Durchführung ist nur mit entsprechendem mathematischem Wissen incl. einer speziellen DoE-Software, Erfahrung sowie ausreichender Bearbeitungszeit erfolgreich. Die Beauftragung eines externen Fachmanns lohnt sich fast immer.
- Ohne die partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen Prozessfachmann und DoE-Experte ist das Ergebnis in der Regel nicht optimal.
- Die statistische Versuchsplanung ist allerdings nur eine Methode im "Werkzeugkasten" eines Dienstleistungsunternehmens für Optimierung.

Gesamtprozess Optimierung mittels DoE

Durch geeignete Strukturierung und Zusammenarbeit von DoE-Experte sowie dem Kunden als Prozess-
experten ergibt sich ein kostengünstiges und zufriedenstellendes Ergebnis





Über den Autor

Herr Dr. Härtl hat allgemeinen Maschinenbau in Bochum und Texas, USA, studiert. Abschluss Promotion im Jahr 1989.

Nach 13 Jahren Angestelltentätigkeit in verschiedenen Verantwortungsbereichen der Fertigungsindustrie ist er seit 2002 für seine Kunden als selbstständiger Unternehmensentwickler tätig.

Dabei hat er viele Optimierungsprojekte mit teilweise sehr kurzen ROI-Zeiten bearbeitet.



Kontakt: Optimierungspartner Dr.-Ing. Axel Härtl

Steinfeld 110
23858 Feldhorst
Mobil: +49 171/38 38 019

E-Mail: info@optimierungspartner.de
Web: www.optimierungspartner.de
www.linkedin.com/in/axelhaertl

Messenger: Threema und Signal
Videoconf.: Zoom und TEAMS