



## Systematische Optimierungsverfahren verbessern mit geringem Aufwand Prozesse und Produkte

- Eine phänomenologische Darstellung der statistischen Versuchsplanung -

Sie kennen das Problem: Ihr komplexer Fertigungsprozess ist von vielen Einstellgrößen abhängig. Sie wollen etwas verbessern und wissen 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:

Alle Parameter bis auf einen werden festgehalten und dieser eine 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 punktuell 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).

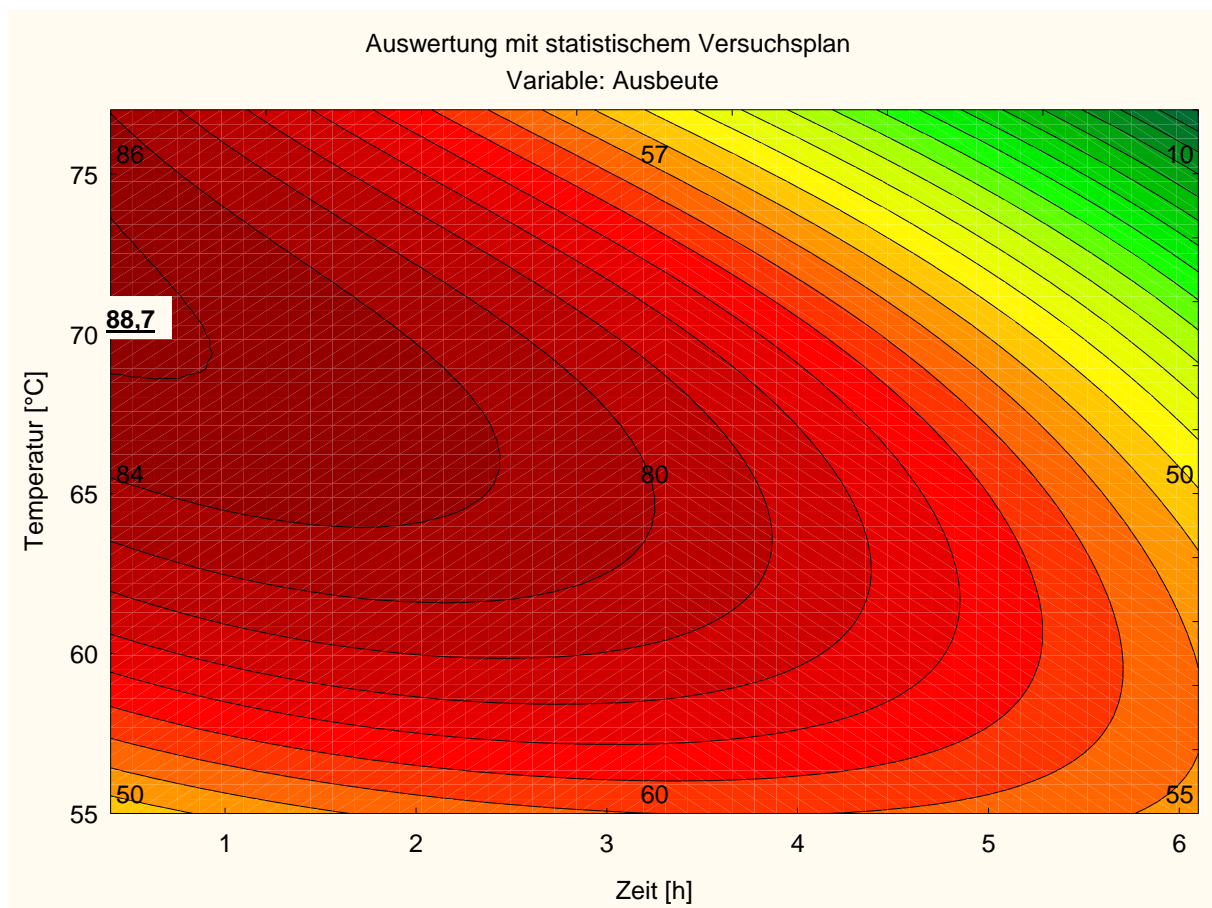
Zeit [h]	Temperatur [°C]	Ausbeute [%]
0,5	55,0	50,0
1,0	55,0	52,9
1,5	55,0	55,4
2,0	55,0	57,3
2,5	55,0	58,8
3,0	55,0	59,7
3,5	55,0	60,2
4,0	55,0	60,1
3,5	60,0	74,7
3,5	65,0	78,4
3,5	70,0	71,3
4,0	65,0	74,4
3,0	65,0	81,4
2,5	65,0	83,6
2,0	65,0	84,9
1,5	65,0	85,3
1,0	65,0	84,8



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 oder vier Stunden etc. 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 immer auch Wechselwirkungen zwischen den Einstellgrößen vorhanden, können aber mit herkömmlichen Methoden nicht erkannt werden.

Systematische Methode (Statistische Versuchsplanung, Design of Experiments, DoE)  
Zunächst das Ergebnis, das bereits mit 9 Versuchen (Messwerte der Ausbeute eingezeichnet) erzielt werden kann.



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 wesentlich höher liegen als nach den Versuchen nach herkömmlicher Methode vermutet, sondern sich auch ganz 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.

Wie später noch gezeigt wird, ist ein Ergebnis der statistischen Versuchsplanung eine analytische Funktion für das Prozessverhalten, aus der sich eine Vorhersage des Optimalpunktes ableiten lässt.

Die Vorteile, gerade bei Systemen mit mehreren Einflussgrößen, sind im Hinblick auf den Versuchsaufwand und die erzielten Erkenntnisse gravierend.

#### Was ist das Besondere an der systematischen Vorgehensweise?

Die grundsätzliche Philosophie der statistischen Versuchsplanung lässt sich in drei Punkte unterteilen:

- Die Natur kennt keine Sprünge (bis auf Phasenübergänge oder chaotische Systeme)
- Wenn das so ist, dann lässt sich jeder natürliche Vorgang in einem begrenzten Parameterbereich durch eine kontinuierliche Funktion approximieren.

Diese Funktion kann im einfachsten Fall ein linearer Polynomansatz von der Art  $y = a_0 + a_1 \cdot x$  oder auch eine Gleichung höherer Ordnung sein.

- Ziel (und im Prinzip nichts mehr) der statistischen Versuchsplanung ist die Bestimmung der Koeffizienten. Es werden nur so viele Versuche durchgeführt, wie nötig sind, um die Koeffizienten  $a_i$  zu berechnen.

Darüber hinaus werden noch einige Versuchspunkte (Wiederholungen, replications) eingestellt, um die Streuung des untersuchten Prozesses abschätzen zu können. Damit wird überprüft, welche Parameter  $a_i$  des Ansatzes signifikant und welche nur zufällig, d.h. ohne echte Wirkung sind. Damit ist das empirische Prozessmodell bekannt und kann für Optimierungszwecke genutzt werden. Somit ist der Aufwand, besonders bei vielen Einflussgrößen, erheblich geringer als bei unsystematischer, nicht modellgestützter Vorgehensweise.

#### 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, einen externen Berater projektbezogen hinzuzuziehen. Durch seine Unterstützung sparen Sie in der Regel Geld, Zeit und auch Nerven. Sprechen Sie uns für weitergehende Informationen an!

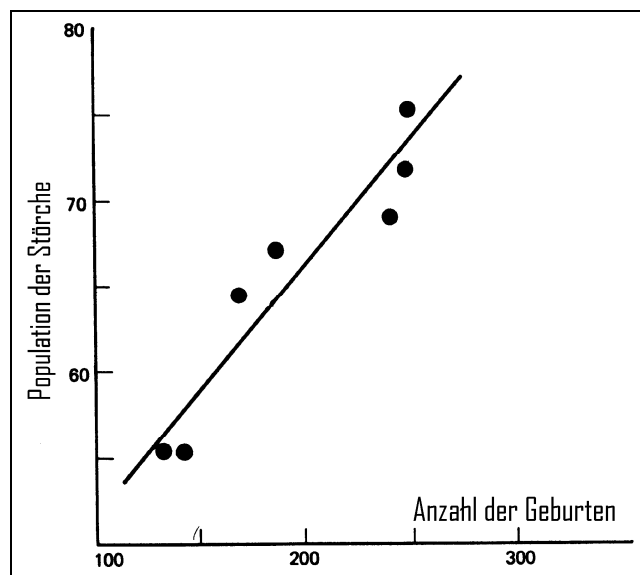
#### Warum ist auch Prozesswissen nötig?

Eine rein mathematische Behandlung des Optimierungsproblems durch einen externen Berater birgt u.a. die Gefahr, so genannte Scheinkorrelationen (nonsense correlation) 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 so genannten 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:



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 mathematischen Wissen, Erfahrung sowie ausreichender Bearbeitungszeit erfolgreich. Die Beauftragung eines externen Beraters lohnt sich fast immer.
- Ohne die partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen Prozessfachmann und externem Berater ist das Ergebnis in der Regel nicht optimal.
- Die statistische Versuchsplanung ist allerdings nur eine Methode im "Werkzeugkasten" eines Dienstleistungsunternehmens für Optimierung.