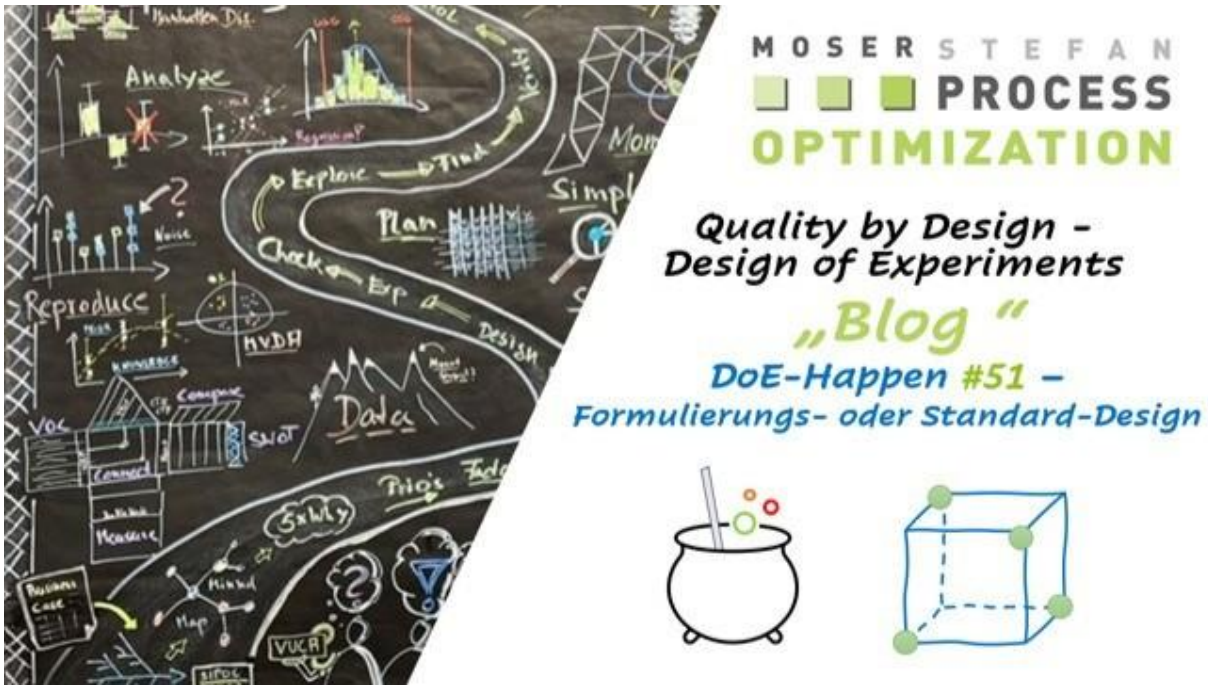

DoE-Happen #51: Wenn Komplexität DoE-Projekte blockiert – und wie wir sie oft mit „Frac-Fac"-Designs entschärfen können.

Es gibt Projekte, die starten voller Energie und guter Ideen – bis man merkt, dass das geplante Versuchsdesign mehr blockiert, als es hilft. Genau das passierte „Heinz", einem Teilnehmer eines meiner Versuchsplanungstrainings. Sein Ziel war klar: eine optimierte Formulierung entwickeln. Doch sein Weg dorthin – ein komplexes Optimierungs- und Formulierungsdesign – drohte das Projekt zu überlasten. Wie wir das gemeinsam gelöst haben, darum geht es in diesem Blog.

🌱 Die Ausgangslage – Pflanzenschutzstäbchen und 7 Faktoren

Heinz arbeitete an einer neuen Formulierung für Pflanzenschutzstäbchen für Topfpflanzen. Diese sollten in die Erde gesteckt werden und dort zuverlässig Schädlinge wie Blattläuse oder Trauermückenlarven bekämpfen. Die Anforderungen waren eindeutig:

- Stabile Form: Das Stäbchen darf beim Einstecken nicht zerbrechen.
- Zuverlässige Wirkstofffreisetzung: Über mehrere Tage gleichmäßige Abgabe in die Erde.
- Einfache Verarbeitung: Keine klebrige, schlecht handhabbare Mischung

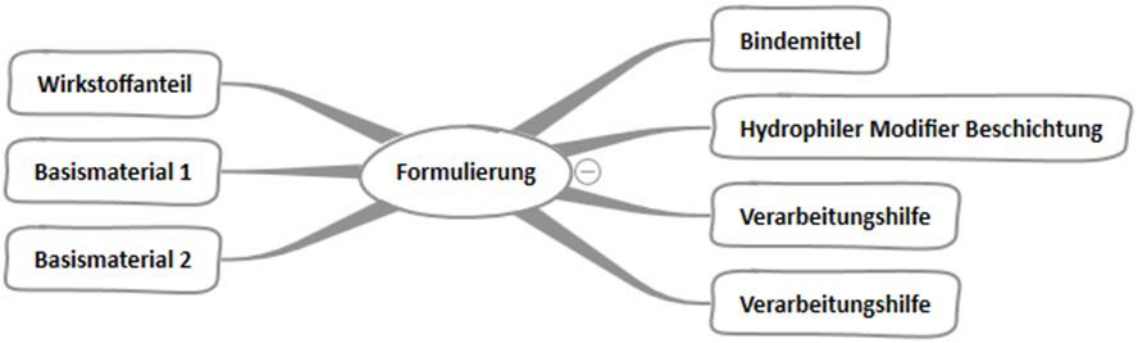

Figure 1: Mindmap Faktoren

Sein Versuchsplan umfasste sieben Faktoren: Wirkstoffanteil, zwei unterschiedliche Basismaterialien, Bindemittel, hydrophiler Zusatz für bessere Auflösung, Beschichtung zur Minimierung der Wirkstoffexposition und eine Verarbeitungshilfe.

Die Zielgrößen:

- Freisetzungsrate nach 24 h (> 70 %)
- Einsteckfestigkeit (≥ 150 N) – wichtig für eine sichere Handhabung und sauberes Arbeiten.

Um Wechselwirkungen und mögliche nichtlineare Effekte zu erfassen, plante Heinz ein komplexes Formulierungsdesign mit Optimierungsansatz, Interaktionen und quadratischen Termen – ein Design, das möglichst alles abbilden sollte, fast wie ein „Schweizer Taschenmesser" der Versuchsplanung. Das Ergebnis war ernüchternd: Weit mehr als 50 Versuche wären, notwendig gewesen – eine Zahl, die weder zeitlich noch budgetär realisierbar war.

📞 Der Anruf – „Stefan, ich komme hier nicht weiter"

Heinz meldete sich deutlich frustriert: „Ich will das Design nicht kleiner machen, sonst verliere ich wichtige Erkenntnisse. Aber 50+ Versuche bekomme ich nie durch."

Im Gespräch wurde schnell klar, woher diese Komplexität kam:

- **Mischungsdesigns erzwingen Abhängigkeiten:** Bei klassischen Mischungsdesigns hängt alles an der 100 %-Summe: Wenn du den Wirkstoffanteil erhöhst, musst du automatisch woanders etwas wegnehmen – wie in einem festen Budget, bei dem jeder zusätzliche Euro sofort an anderer Stelle fehlt.
- **Ungewohnte Dreiecksplots:** Für Heinz und vor allem seine Entscheider schwer verständlich – das Vertrauen in die Ergebnisse wäre gering gewesen.

- **Hohe Versuchszahl:** Viele Interaktionen und quadratische Terme waren nicht zwingend relevant.
- Trotzdem war klar: Wechselwirkungen mussten zumindest grob beleuchtet werden, gerade zwischen Additiven und Wirkstoff mit Blick auf die Freisetzungsrate.

🔄 Die Lösung – Faktoren so umformulieren, dass sie unabhängig werden

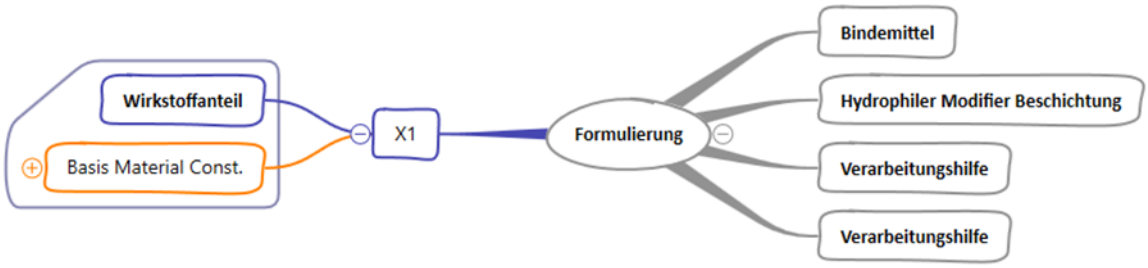

Figure 2: Mindmap Faktoren Zusammenfassung Wirkstoff und Basis-Material

Das Hauptproblem war die Abhängigkeit der Faktoren im klassischen Mischungsdesign. Veränderte Heinz zum Beispiel den Wirkstoffanteil, mussten automatisch die Basismaterialien angepasst werden. Das erschwerte die Modellierung und verhinderte eine trennscharfe Analyse der Effekte.

Schritt 1: Klare Trennung von Wirkstoff und Basis

Wir definierten eine feste Basismischung. Darauf aufbauend konnte Heinz den Wirkstoff unabhängig variieren:

- **x1: Wirkstoff / ((Basismaterial 1 + Basismaterial 2)= konstant)**
- Die Einzelmengen lassen sich am Ende wieder prozentual zurück rechnen.

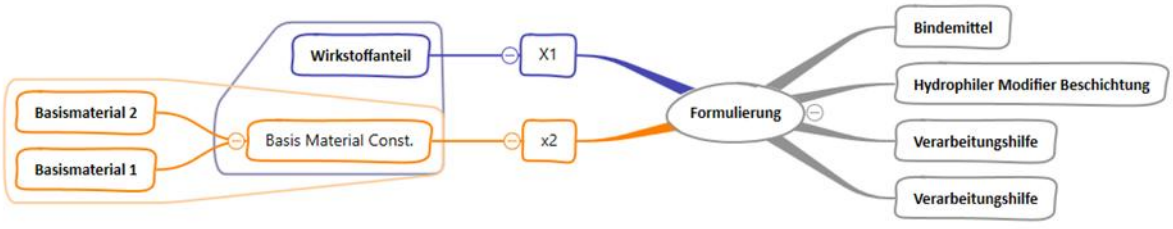

Figure 3 Zusammenfassung Basismaterial 1+2

Schritt 2: Verhältnis der Basismaterialien entkoppeln

Vorher musste jede Änderung von Basismaterial A direkt durch Basismaterial B oder durch andere Faktoren in der Summenbilanz durch das Design kompensiert werden. Um

beide Materialien getrennt untersuchen zu können, führten wir einen zweiten unabhängigen Faktor ein:

- **x2: Verhältnis Basismaterial A zu B – unabhängig von der Gesamtsumme.**

Schritt 3: Additive als zusätzliche Variablen betrachten

Die restlichen Komponenten (Bindemittel, hydrophiler Zusatz, Beschichtung, Verarbeitungshilfe) behandelten wir als separate additive Faktoren „**on top**" zur Hauptformulierung.

Grobe Faustregel für die handhabbare Additive-Zugaben:

- Max. ~1/20 der Grundmasse pro Additiv
- Gesamtsumme aller Additive ≤ 1/5 der Grundmasse

✅ **Ergebnis der Umformulierung**

- Alle Faktoren sind unabhängig steuerbar.
- Wirkstoff, Trägerverhältnis und Additive lassen sich als Effekte klar trennen.
- Keine Mischungszwänge, stabilere Modellbildung.
- Prozentwerte für die Produktion sind am Ende einfach berechenbar.

Schritt 4: Überführung in ein Fractional-Factorial-Design

„Wir hatten nun 6 unabhängige Faktoren statt zuvor 7 abhängiger Variablen. Schon dieser Schritt reduziert die notwendige Versuchszahl deutlich. Trotzdem wären wir mit einem voll faktoriellen Ansatz immer noch bei 64 Versuchen – oder sogar 128 bei 7 Faktoren. Der Haken: Ein solches Design würde viele höhere Wechselwirkungen (z. B. dreifache Kombinationseffekte wie A*B*C) mitberechnen, die in der Praxis kaum relevant sind. Wir würden also mit viel Aufwand jede mögliche Ecke ausleuchten, ohne dem Ziel wirklich näherzukommen. Deshalb kam ein Voll faktorielles Design nicht infrage. Doch welche Risiken bleiben trotzdem bestehen?"

Zusätzliche Risiken:

- Falsche Faktorbereiche können Ergebnisse verfälschen oder zu nicht bewertbaren / messbaren Ergebnissen führen.
- Wenn die Versuchsbereiche zu groß gewählt sind, verschwimmen die Ergebnisse wie Punkte in einem schlecht aufgelösten Foto – dominante Effekte sind erkennbar, feine Details gehen unter.
- Mögliche Krümmungen in den Faktor-Wirkungs-Beziehungen (Nicht Linearitäten) wären schwer zu erkennen.
- Kritische Faktoren könnten untergehen, wenn sie zu wenig variiert werden.

Wir wählten daher einen schrittweisen Screening-Ansatz:

- Ein Fractional-Factorial-Design mit **nur** 19 Versuchen inkl. 3 CP
- Centerpoints (CP) zur Erkennung von Nichtlinearität.
- Beurteilung ob die gewählten Faktoren und deren Bereiche sinnvoll sind?
- **Wechselwirkungen**: Erste Hinweise auf Kombinationseffekte – auch wenn manche Effekte noch überlagert sind – sogenannte „Confoundings", also Fälle, in denen zwei mögliche Ursachen im Design rechnerisch nicht sauber getrennt werden können.

Auf dieser Basis konnte Heinz schrittweise:

- Wichtige Faktoren erkennen und weiter untersuchen
- Unwichtige einfrieren
- Den Designraum gezielt im nächsten Schritt erweitern oder einschränken.
- Hypothesen, basierend auf der aktuellen Expertise bestätigen oder verwerfen

💡 Warum dieser Ansatz Mehrwert bringt

- Es ist leichter und besser nachvollziehbar, wenn die Faktoren frei definierbare sind und keine 100 %-Summe die Rechnung erschweren.
- Nur 16 (Hauptversuche) + 3 (Centerpoints) statt 64 Versuche – Fokus auf das Wesentliche: **„Sind die richtigen Faktoren im richtigen Bereich untersucht"**
- **Modularer Aufbau**, erweiterbar mit D-optimierten Designs, oder „Fold Over"
- Gewohnte Konturplots statt ungewohnter Dreiecksplots
- Iteratives Vorgehen reduziert Risiko und Kosten
- Leichte Rückrechenbarkeit auf die Produktionsformulierung

🚧 Grenzen des Ansatzes

Es gibt Fälle, in denen ein stufenweiser Aufbau „**weniger**" sinnvoll ist:

- Automatisierte Simulationen der Ergebnisse, z. B. Finite-Elemente-Berechnungen
- Hochparallelisierte Versuche auf automatisierten Systemen (z. B. Anlagen, die nach vorgegebenen Mustern pipettieren und somit mit auf Well-Plates gleichzeitig 2 Designs abbilden können (Zeilen und Spalten)
- Enge Zeitfenster, in denen das verfügbare Testequipment maximal effizient und effektiv ausgelastet werden muss

Hinweis: Auch hier kann ein modularer Aufbau helfen – zumindest, um innerhalb dieser Zeitfenster gezielt aufbauend und strukturiert zu priorisieren.

🗓️ Fazit

Gerade bei komplexen Formulierungsprojekten lohnt es sich, Faktoren zu „freien quantitativen Stellgrößen“ umzuformulieren, statt sie in ein restriktives Mischungsdesign zu pressen. Das macht die Versuchsplanung oft schlanker, flexibler und sicherer – und führt meist schneller zu tragfähigen Ergebnissen.

Allerdings gibt es nicht den einen „richtigen“ Weg. Häufig sind Mischformen aus Formulierungs- und Prozessfaktoren ein guter Kompromiss. Solche Diskussionen gehören daher zu meinem Alltag mit Kunden und Studierenden.

🔜 Ausblick: Confoundings und Generatoren

In diesem Blogbeitrag ging es darum, ein Mischungsdesign so umzuformulieren, dass es als Fractional-Factorial-Design handhabbar wird. Die genaue Herleitung eines Frac-Fac-Designs und wie dadurch signifikant Versuche eingespart werden können, sprengt hier den Rahmen – aber genau darum wird es im nächsten Blog gehen.

PS: *Heinz ist mein virtueller Student, der immer herhalten muss, wenn ich echte Projektdetails nicht nennen darf. Das Projekt selbst ist inhaltlich verfremdet – die Vorgehensweise entspricht aber einem realen Fall.*

👉 **Hat Ihnen dieser Beitrag gefallen oder ein Aha-Moment beschert?** Dann lassen Sie mir doch ein Like da – oder kommentieren Sie gerne, was den Aha ausgelöst hat!



Figure 4Logo Stefan Moser Process Optimization

Mehr aus Ihren Prozessen rausholen?

Ob DoE-Grundlagen oder Spezialthemen wie Screening, Optimierung, Mischungsdesigns oder Robustheit – ich unterstütze Sie mit praxisnahen DoE-Trainings, gezielter Beratung und methodischer Begleitung. Auch bei MVDA, DFSS und QFD bin ich an Ihrer Seite – vom ersten Workshop bis zur robusten Umsetzung.

👉 Schreiben Sie mir: info@stefan-moser.com

🌐 Mehr unter: www.stefan-moser.com

Bleiben Sie experimentierfreudig und neugierig!

Ihr DoE-Trainer **Stefan Moser**

PS: 📄 Sie möchten diesen Blogbeitrag als PDF? Kein Problem – auf meiner Webseite im Bereich „Blog“ finden Sie alle Artikel bequem zum Download.