

- unklar gewählte Untersuchungsbereiche.

Kurz: Es war weder klar, ob die Faktoren überhaupt einen Einfluss haben, noch ob der gewählte Bereich sinnvoll war. Und ob sich der Aufwand eines 3-Level-Designs in diesem Fall überhaupt rechtfertigen lässt, war mehr als fraglich.

2. Was steckt dahinter? Die Angst, etwas zu übersehen

Die Grundhaltung meiner Studenten war nachvollziehbar: „Wenn wir schon experimentieren, dann bitte gründlich“. Aber genau hier liegt das Problem. Gute Versuchsplanung heißt nicht, alles zu testen, was testbar ist – sondern gezielt die relevanten Faktoren im richtigen Bereich zu untersuchen.

Ein 3-Level-Design gleich zu Beginn der Versuchsplanung widerspricht diesem Prinzip. Denn solange der grobe Zusammenhang unklar ist, machen die Erforschung von Details wenig Sinn.

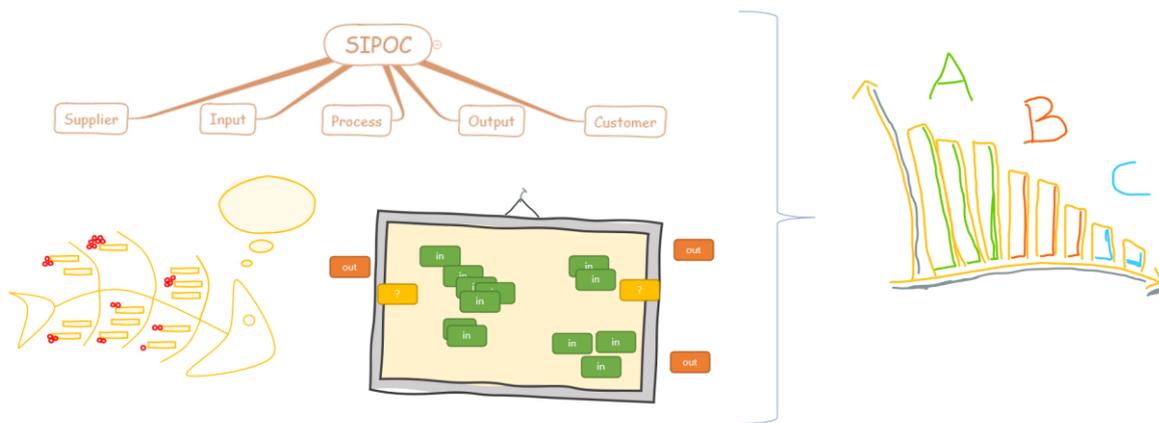


Abbildung 2: Links Methoden der Problemformulierung und rechts ein Pareto-Diagramm zur Faktorenauswahl

Deshalb starte ich immer mit der Problemformulierung. Methoden wie SIPOC, Ishikawa oder FAST helfen, potenzielle Einflussfaktoren zu sammeln. Doch nicht alle sind gleich relevant.

Ich arbeite hier mit der bewährten ABC-Logik (nach dem Paretoprinzip):

- A-Faktoren: zentrale Einflussgrößen – sie müssen zuerst verstanden sein.
- B-Faktoren: relevant, wenn A-Faktoren im Griff sind (ca. 15 % Beitrag zur Variation).
- C-Faktoren: Feintuning. Oder bildlich gesprochen: das Doping.

A-Faktoren erklären rund 80 % der beschreibbaren Variation. Solange sie nicht im richtigen Bereich und Maßstab untersucht wurden, bleibt alles weitere Spekulation. Erst wenn A-Faktoren stabil beschrieben sind, lohnt sich der Blick auf B-Faktoren. Oft lassen sich dann sogar A-Faktoren fixieren – was später, ggfs. in mehrstufigen Designs, die Anzahl der Versuche deutlich reduzieren kann.

Und C-Faktoren? Im Spitzensport mag Doping 2–3 % bringen. Aber wer noch mit den Grundlagen kämpft, sollte nicht mit Feintuning beginnen, da diese Effekte erst zum Tragen kommen, wenn der Rest des Prozesses unter Kontrolle ist bzw. im Zielfenster liegt.

3. Der Denkfehler mit 3-Level-Designs

In meinen Kursen spreche ich oft vom "Zuviel des Guten". Ein typisches Beispiel: 3-Level-Designs als Standard – in der Hoffnung, mögliche Nichtlinearitäten gleich mitzuerfassen.

Das klingt vernünftig, ist es aber selten. Denn 3-Level-Designs sind nicht einfach "mehr" – sie funktionieren grundsätzlich anders. Und: Sie explodieren beim Versuchsaufwand.

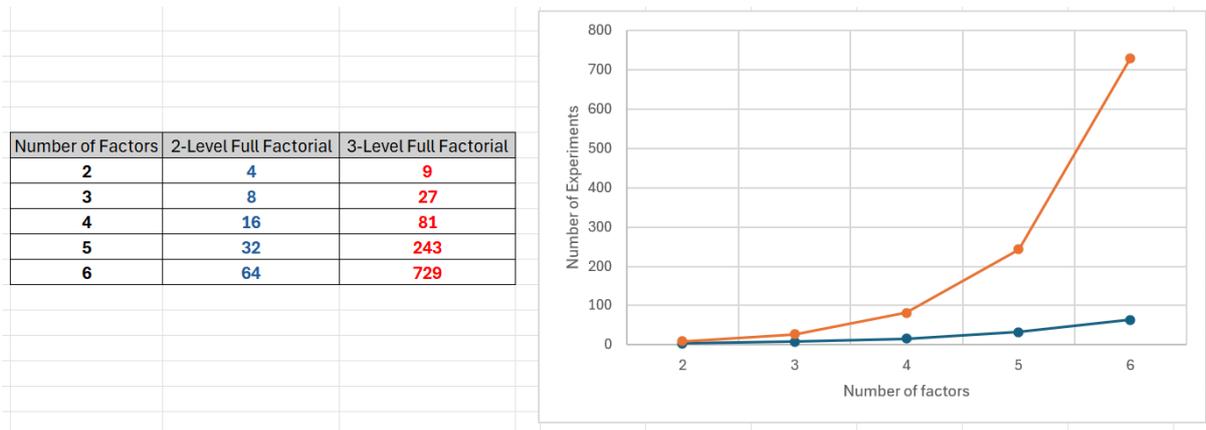


Abbildung 3: Vergleich der Anzahl von Exp. in 2- und 3- Level Design

Aber Vorsicht: Das heißt nicht, dass ein voll faktorielles 2-Level-Design automatisch die bessere Wahl ist. Mehr dazu gleich....

4. Zurück zu den Grundlagen: 2-Level-Designs als pragmatische Wahl

Der Grundgedanke beim DoE: mit wenigen, gezielten Versuchen herausfinden, was wirklich zählt. Deshalb starten wir bei quantitativen Faktoren meist mit einem 2-Level-Design.

Wenn sich im Verlauf Hinweise auf Nichtlinearitäten ergeben, kann man gezielt nachlegen – durch axial ergänzte Star-Punkte oder weitere Stufen im Design.

Was dagegen wenig sinnvoll ist: von Anfang an auf Verdacht ein volles 3-Level-Design zu fahren. Das bläht den Aufwand massiv auf – und das oft ohne echten Erkenntnisgewinn.

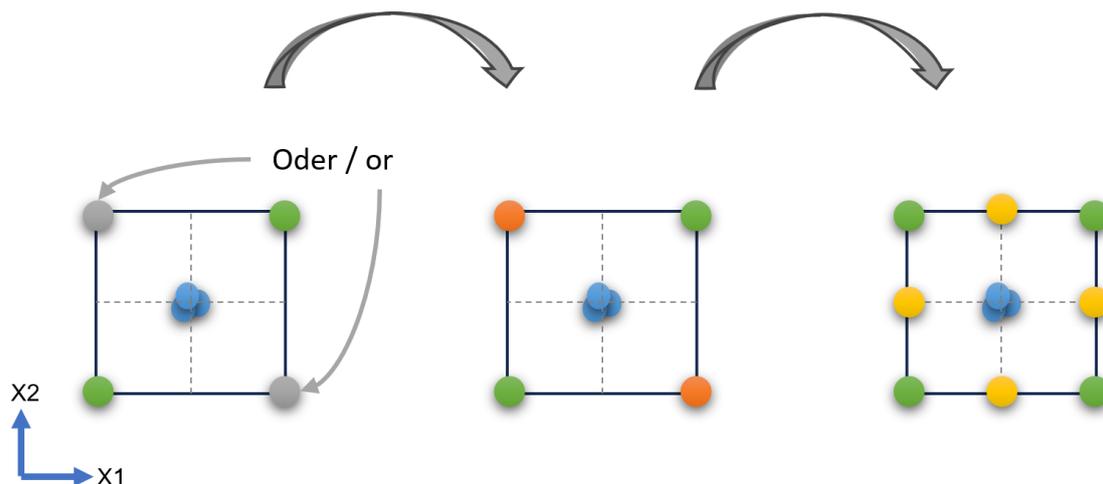
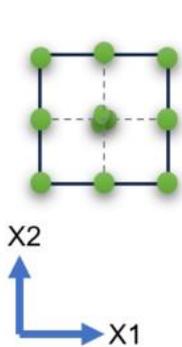


Abbildung 4: Verschieden Designs zu Untersuchung von 2 Faktoren in 2 Level Designs tlw. mit axialen Experimenten

Wenn sich im Verlauf Hinweise auf Nichtlinearitäten zeigen, kann man gezielt nachlegen. Das heißt aber nicht, dass man automatisch auf ein 3-Level-Design erweitern muss. Denn gleich zu Beginn ein komplettes 3-Level-Design zu wählen – nur auf Verdacht – macht den Prozess unnötig schwerfällig und teuer.

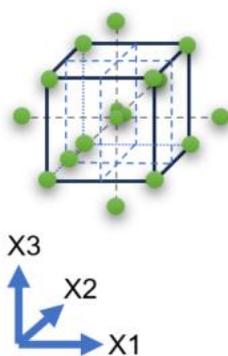
2 Faktoren

4 Exp. + 4 Axiale + CP



3 Faktoren

8 Exp. + 6 Axiale + CP



4 Faktoren

16 Exp. + 8 Axiale + CP

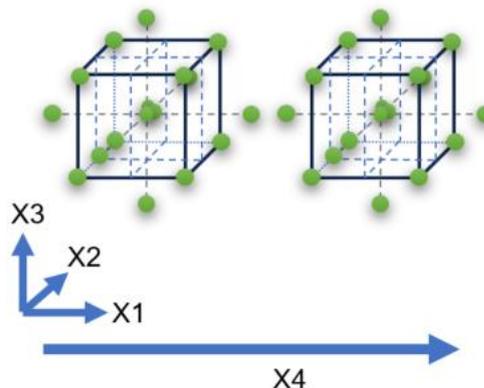


Abbildung 5: Verschiedene 2-Level-Designs für unterschiedliche Anzahl von Faktoren 2-5 tlw. mit axialen Exp.

Und ja, jetzt kommt die Ausnahme, die die Regel bestätigt (fürs Klugscheißer-Bingo):

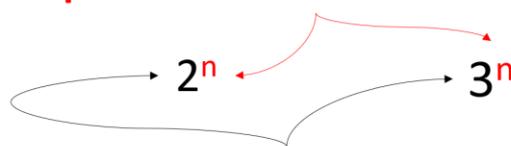
Ein 2-Level-Design mit axialen Punkten – also ein ergänztes Design, bei dem pro Faktor zusätzlich unabhängige hohe und tiefe Zwischenstufen untersucht werden – kann rechnerisch einem 3-Level-Design ähneln.

Aber Achtung: Das gilt nur bei zwei Faktoren – und auch da nur näherungsweise.

Ab drei Faktoren stimmt dieser Vergleich nicht mehr. Dann wächst der Aufwand bei echten 3-Level-Designs deutlich schneller – und der Vorteil des pragmatischen Ansatzes ist dahin.

Faktoren	Exp.
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64

Exponent = Anzahl der Faktoren



Basis = Anzahl Der Level

Faktoren	Exp.
2	9
3	27
4	81
5	243
6	729

Abbildung 6: Basis und Exponent für die Berechnung der Anzahl von Versuchen für voll Faktorielle 2- und 3-Level Designs

Der Grund dafür ist leicht nachvollziehbar: Bei vollfaktoriellen Designs steht die Anzahl der Stufen (Level) in der Basis – und die Zahl der Faktoren im Exponenten. Das heißt: Schon ein kleiner Anstieg bei der Faktorenzahl lässt die Anzahl der Versuche stark ansteigen.

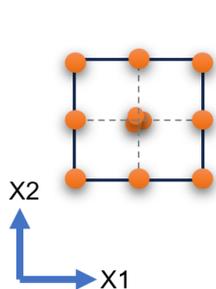
Deshalb gilt: Weder 2- noch 3-Level-Vollfaktoriell sind sinnvoll, wenn mehr als drei Faktoren im Spiel sind. Ab vier Faktoren wird der Aufwand schnell unpraktikabel – hier sind teilfraktionierte Designs die deutlich bessere Wahl.

Wenn wir jedoch fair vergleichen wollen, müssten wir beim 2-Level-Design auch die axialen Versuche mit einbeziehen. Also jene Zusatzversuche, mit denen man gezielt auf mögliche Nichtlinearitäten prüft.

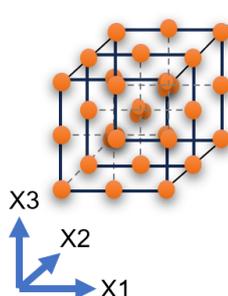
Das Entscheidende dabei: Bei diesem zusammengesetzten Design – also einem klassischen 2-Level-Design plus axialer Punkte – planen wir die zusätzlichen Versuche nur dort, wo es Sinn ergibt. Und nicht blind vorab, ohne zu wissen, ob in dem untersuchten Bereich überhaupt nennenswerte Nichtlinearitäten auftreten. Dies kann auch in einer mehrstufigen Versuchsfolge (Blocking) abgearbeitet werden.

Der Vollständigkeit halber möchte ich auch den Aufwand eines echten 3-Level-Designs gegenüberstellen – damit sichtbar wird, was dieser Ansatz tatsächlich bedeutet.

2 Faktoren
9 Exp. + CP



3 Faktoren
27 Exp. + CP



4 Faktoren
81. Exp. + Cp

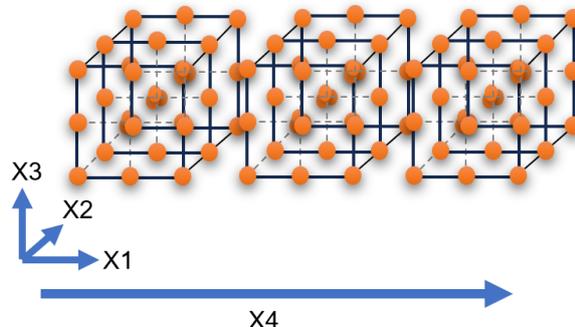


Abbildung 7: Verschiedene 3-Level-Designs für unterschiedliche Anzahl von Faktoren 2-5

Der Unterschied zum echten 3-Level-Design ist deutlich: Hier wird von Beginn an, jeder Faktor auf drei Stufen betrachtet – ob es nötig ist oder nicht. Und das führt schnell zu einem drastisch höheren Versuchsaufwand.

5. Weniger ist mehr: Warum wir nicht alles untersuchen müssen

Ein häufiger Trugschluss: Man müsse gleich alle möglichen Wechselwirkungen mit abdecken.

$$2^6 = 64 \text{ Exp. vers. } 2^{6-2} = 16 \text{ Exp.}$$

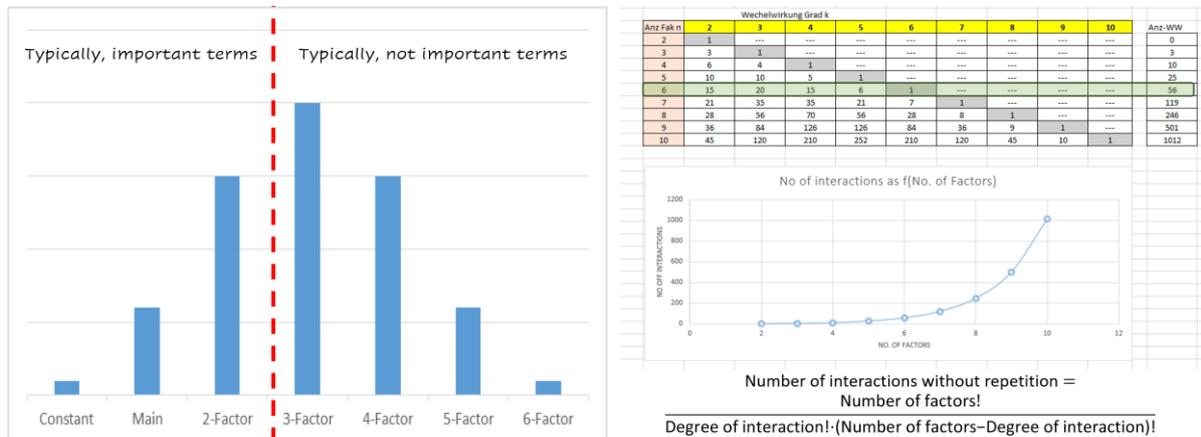


Abbildung 8: Berechnung der Wechselwirkungen in Abhängigkeit der Faktoren

Rein rechnerisch nimmt die Zahl der möglichen Wechselwirkungen mit der Anzahl der Faktoren exponentiell zu – beispielsweise bei sechs Faktoren reden wir von 56 Wechselwirkungen.

Doch empirisch zeigt sich: Wechselwirkungen ab dritter Ordnung gehen oft im Rauschen unter. Deshalb: Fokus auf Haupteffekte und zweifache Interaktionen. Das reicht in den meisten Fällen – und ermöglicht eine drastische Reduktion der Versuche.

Ein Beispiel: Ein vollständiges 2^6 -Design erfordert 64 Versuche. Fraktioniert man es auf ein 2^{6-2} -Design (Resolution IV), kommt man mit 16 Versuchen aus – bei gleichzeitiger Analyse aller Haupteffekte und zweifacher Wechselwirkungen (wenn auch teilweise vermengt).

6. Was wir dafür in Kauf nehmen – und wie wir damit umgehen

Natürlich zahlen wir dafür einen Preis: sogenannte Confoundings – also überlagerte Effekte, die nicht mehr sauber voneinander rechnerisch getrennt werden können. Das ist kein Schönheitsfehler, sondern Teil der Strategie.

Ist das ein Problem? Nur wenn man blind drauflos plant. Wer weiß, wie Confoundings entstehen – und wie man sie bewusst steuert – kann auch mit reduzierten Designs saubere Aussagen treffen.

Wie genau diese Confoundings entstehen, wie man sie mit Generatoren steuert, und was die Resolution eines Designs über seine Aussagekraft verrät – das vertiefen wir in einem der nächsten Beiträge. Dort zeige ich, wie diese Konzepte helfen, den Aufwand minimal und die Aussage maximal zu halten.

Denn mit dem richtigen Design – und methodischer Klarheit – lässt sich damit sehr gut arbeiten. Vorausgesetzt, wir bewegen uns im richtigen Bereich mit den richtigen Faktoren.

7. Fassen wir noch mal als das „zentrale DoE Mantra“ zusammen

DoE-Mantra – kurz und klar:

Ein gutes DoE steht und fällt mit drei Dingen:

- 👉 den richtigen Faktoren
- 👉 im richtigen Bereich variiert
- 👉 mit einem Versuchsdesign, das zur Fragestellung passt

Klingt banal? Vielleicht. Wird aber erstaunlich oft übersehen. Zum Beispiel, wenn gleich drei Heizzonen untersucht werden – obwohl niemand weiß, ob Zonen 2 und 3 überhaupt Einfluss haben.

Warum passiert so etwas?

Oft, weil Faktoren nur „verfügbar“ sind – aber nicht wirklich relevant.

Oder weil der Bereich zu breit gewählt wird – in der Hoffnung, irgendwas Wichtiges schon zu erwischen. Mit dem Ergebnis: viel Aufwand – und erstaunlich wenig Erkenntnis.

👉 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!



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.