



Statistische Versuchsplanung (DoE)

Beispielfolien



**Even if some Parts of this Presentations appear dull ...
... there is still a Design in it**

In Anlehnung an *The Tatler No. 38*

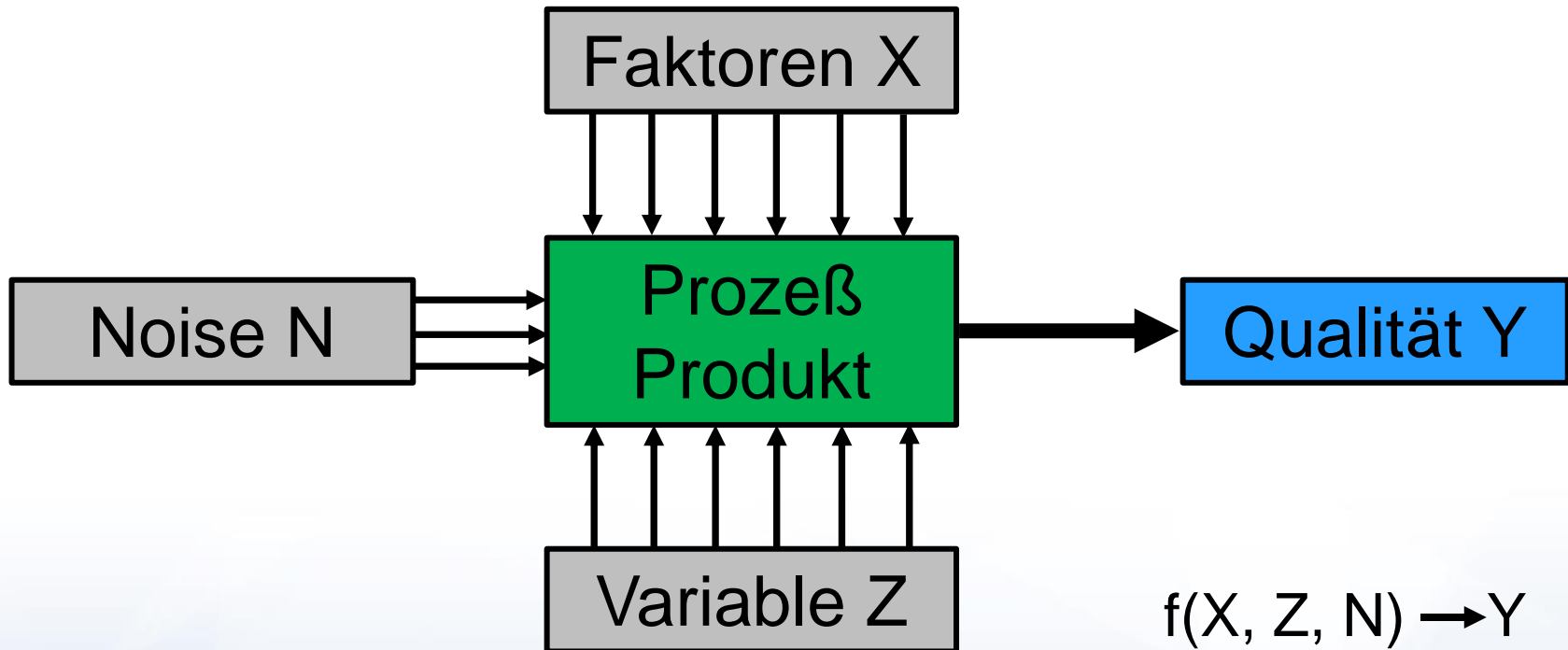


- **Einleitung**
 - Grundlagen industrieller Versuchsplanung
 - Ansätze und Phasen der Versuchsplanung
 - Benutzerführung
- **Motivierendes Beispiel: Helikopteroptimierung**
- **Ausgewählte statistische Versuchspläne**
 - Faktorielle und fraktionierte Versuchspläne
 - Response-Surface (RSM) Versuchspläne
 - Optimale und „Space-Filling“ Designs
- **Vergleiche von Modellen und Designs**
 - Lineare vs. quadratische Regressionsmodelle
 - Vollfaktorielles Design vs. CCF Design



- **Auswertung von statistischen Versuchsplanungsergebnissen**
 - Beispieldaten
 - Deskriptive Analysen
 - Prüfung der Anwendungsvoraussetzungen und Modellanpassung
 - Parameterschätzungen und Varianzanalyse (ANOVA)
 - Vorhersage, Optimierung und Risikoanalyse
- **Praktisches Beispiel: Versuchsplanung zur Robustheit HPLC Analysen**
- **Zusammenfassung**
- **Literatur**

- Generelle Situation





• Beispiele

- Druck – Tablettiergeschwindigkeit – Matrixhöhe → **Tablettengehalt – Bruch**
- Druck – Temperatur – Volumenstrom → **Ausbeute – Reaktionszeit – Nebenprodukte**
- pH Wert – Puffer – Phase → **HPLC Performance**

• Zielsetzung

- Beschreibung des Zusammenhangs $f(X, Z, N) \rightarrow Y$
- Identifizierung relevanter X, Z, N zur Optimierung von Y
- Robustheit von Prozeß und Produkt
- Bestimmung optimaler Prozeßfenster für X
- Qualitätsoptimierung
 - Maximierung Ausbeute
 - Minimierung Variabilität
 - Maximierung Zuverlässigkeit

- **„Screening“- Phase**
 - Identifikation relevanter Faktoren
 - Üblicherweise Untersuchung vieler Faktoren
 - Basis für Prozeßverständnis
- **Optimierungs - Phase**
 - Auffinden optimaler Faktor-Kombinationen
 - Reduktion der Faktorenanzahl
 - Statistisch-mathematische Modellierung
- **Robustheits / Sensitivitäts - Phase**
 - Bestimmung geeigneter Prozeßfenster
 - Sensitivität der optimalen Faktor-Kombinationen
 - Risikoanalyse und Prozeßfähigkeitsbewertung

DoE – Design of Experiments

...

RGÖSSL
CONSULTING





© 1993 American Statistical Association and
the American Society for Quality Control

TECHNOMETRICS, FEBRUARY 1993, VOL. 35, NO. 1

Editor's Note: This article and the first two discussions were presented orally at the *Technometrics* session of the 36th Annual Fall Technical Conference held in Philadelphia, Pennsylvania, October 8-9, 1992. The conference was cosponsored by the Chemical and Process Industries, the Statistics Divisions of the American Society for Quality Control, and the Section on Physical and Engineering Sciences of the American Statistical Association.

A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment

David E. Coleman

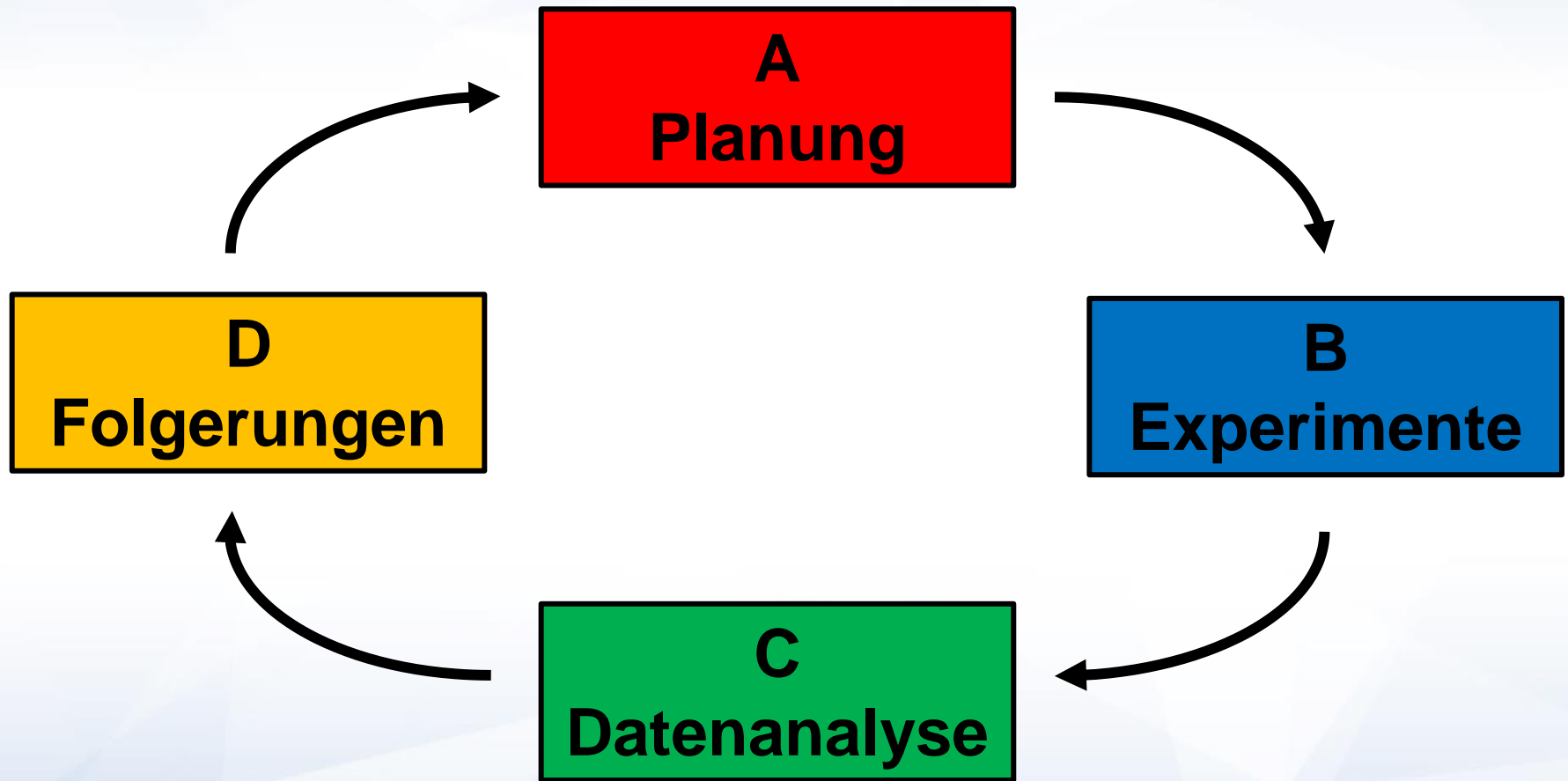
Alcoa Laboratories
Alcoa Center, PA 15069

Douglas C. Montgomery

Industrial Engineering Department
Arizona State University
Tempe, AZ 85287

Design of experiments and analysis of data from designed experiments are well-established methodologies in which statisticians are formally trained. Another critical and rarely taught skill is the planning that precedes designing an experiment. This article suggests a set of tools for presenting generic technical issues and experimental features found in industrial experiments. These tools are predesign experiment guide sheets to systematize the planning process and to produce organized written documentation. They also help experimenters discuss complex trade-offs between practical limitations and statistical preferences in the experiment. A case study involving the (computer numerical control) CNC-machining of jet engine impellers is included.

KEY WORDS: Industrial experimental design; Measurement error; Nuisance factors; Statistical consulting.





- **A1: Zielsetzung und Hintergrund**

- Definition Zielsetzung und (theoretischer) Hintergrund
- Expertenwissen und Erfahrungen
- Vorherige Experimente und historische Daten

- **A2: Faktoren und Zielgrößen**

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Faktoren<ul style="list-style-type: none">• Range und Levels• Einstellbarkeit• Abhängigkeiten und Beziehungen | <ul style="list-style-type: none">• Zielgrößen<ul style="list-style-type: none">• Stetige / Diskret / Grafik• Meßbarkeit• Derzeitiger / optimaler und erwünschter Bereich |
|---|---|

- **A3: Modell und Versuchsplan**

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Modell<ul style="list-style-type: none">• Linear / Nichtlinear• Wechselwirkungen• Quadratische Effekte | <ul style="list-style-type: none">• Versuchsplan<ul style="list-style-type: none">• # Versuchsläufe• Restriktionen• Blockbildung und Randomisierung |
|--|---|

DoE – Design of Experiments

...

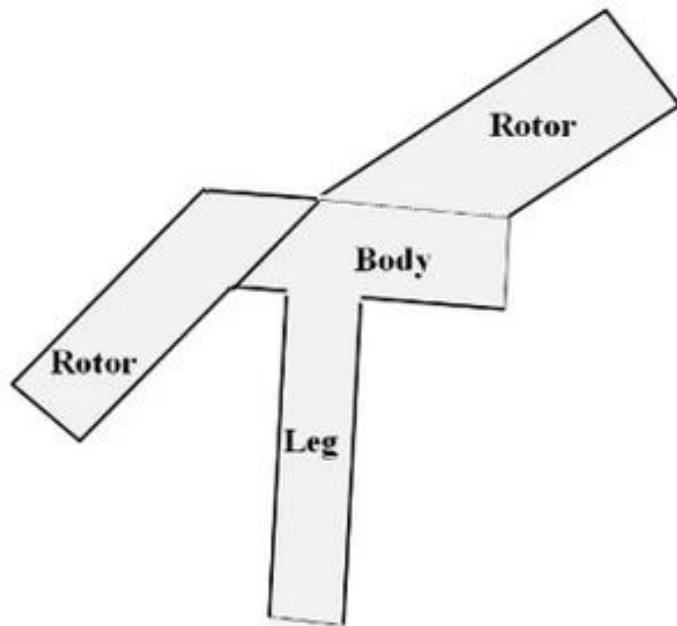
RGÖSSL
CONSULTING



• A1: Zielsetzung und Hintergrund

- Analyse Flugverhalten Papier-Helikopter
- Identifikation von 4 Prototypen aus Vorversuchen

A Planung

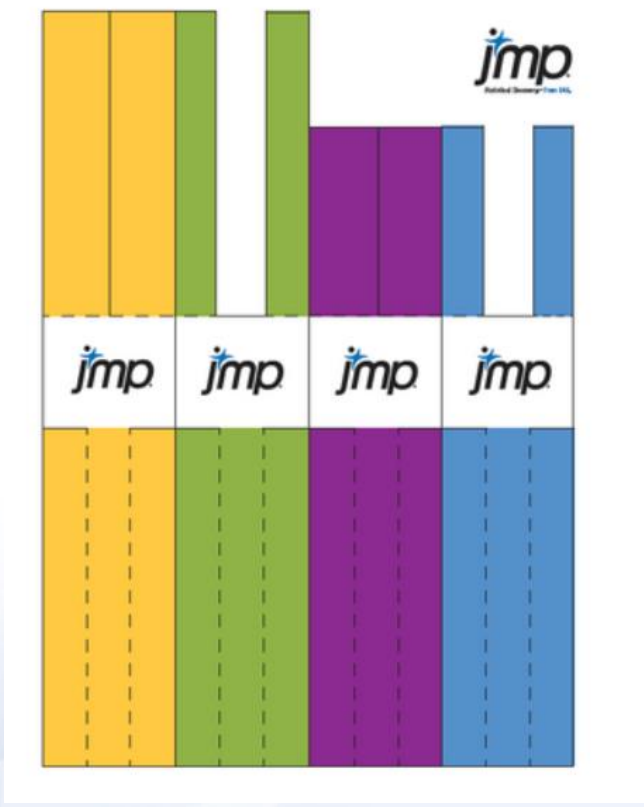




- **A1: Zielsetzung und Hintergrund**

- „Produktion“ der Helikopter Prototypen

A Planung

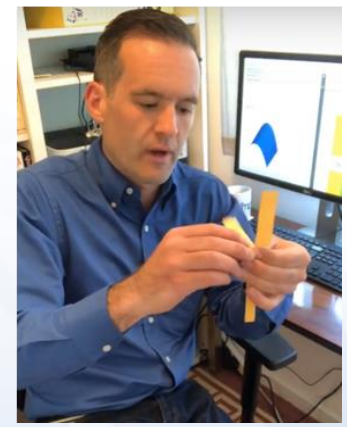
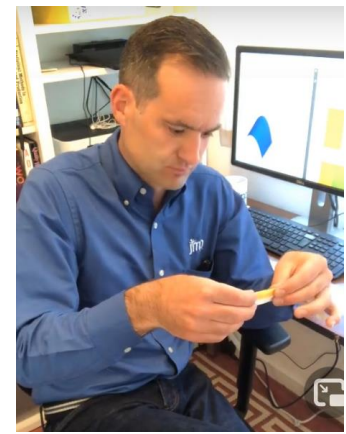
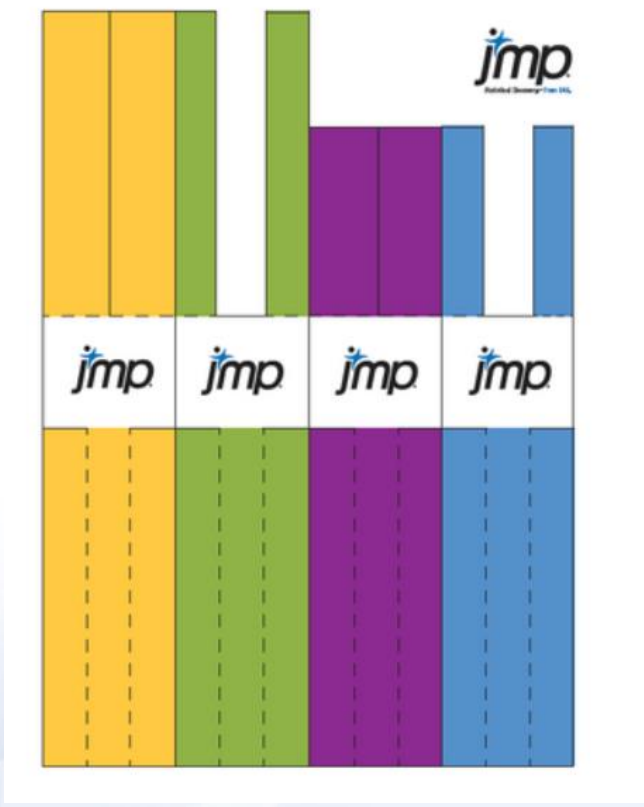




• A1: Zielsetzung und Hintergrund

- „Produktion“ der Helikopter Prototypen (<https://youtu.be/HGwl6F1sQiY>)

A Planung





- **A2: Faktoren und Zielgrößen**

- Faktoren (Unterschiede der Prototypen)
 - Rotorlänge: 5 cm und 8 cm
 - Rotorbreite: 1 cm und 1.7 cm
- Zielgröße
 - Flugzeit bis Bodenkontakt [sec] → Max!

- **Entwickeln Sie eine geeignete Versuchsstrategie zur**

- Ermittlung der Relevanz von
 - Rotorlänge
 - Rotorbreitefür die Maximierung der Flugzeit!
- Identifikation eines optimalen Helikopters!

- **Erläutern Sie Ihre Überlegungen!**

DoE – Design of Experiments

...

RGÖSSL
CONSULTING



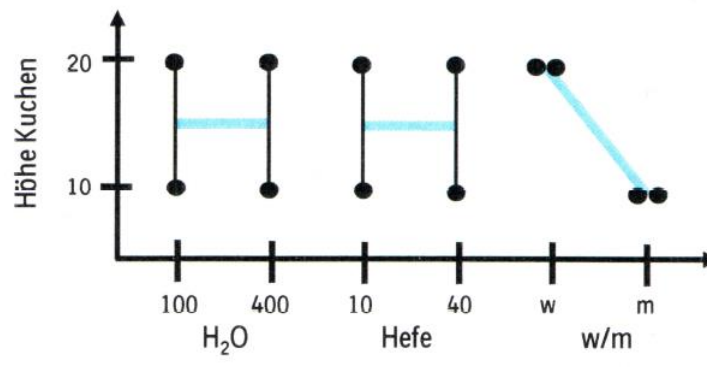


• Ein Beispiel aus der Praxis

- Einfluß von Wassermenge, Hefemenge und Geschlecht des Kochs auf Kuchenqualität
- Lehrbuch-Design für drei 2-Level Faktoren und Ergebnisse

H ₂ O [ml]	Hefe [g]	m/w	Höhe Kuchen [cm]
100 (-1)	10 (-1)	w (1)	20
100 (-1)	40 (1)	m (-1)	10
400 (1)	10 (-1)	m (-1)	10
400 (1)	40 (1)	w (1)	20

• Grafische Datenanalyse



• Schlußfolgerung

- Kein Einfluß von Wasser und Hefe auf Kuchenqualität - **ABER: Man braucht eine KÖCHIN !!**



- **Welche Fehler wurden bei der Designerstellung bzw. Auswertung gemacht?**
- **Erstellen Sie ein geeignetes Design!**
- **Geben Sie die Alias Struktur für das alte Design und Ihr neues Design an!**
- **Welche Resolution hat das alte Design und Ihr neues Design?**

DoE – Design of Experiments

...

RGÖSSL
CONSULTING





- **Referenz:**

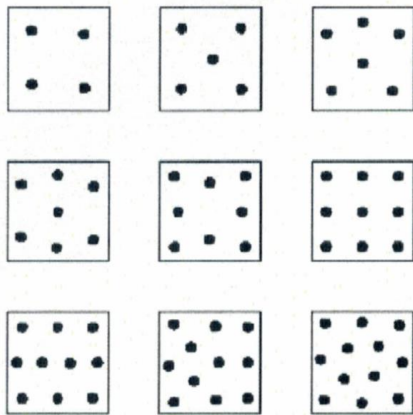
- Johnson, M. E., Moore, L. M., and Ylvisaker, D. (1990) “*Minimax and Maximin Distance Designs*”, Journal of Statistical Planning and Inference 26, p. 131–148

- **Anwendungsbereiche**

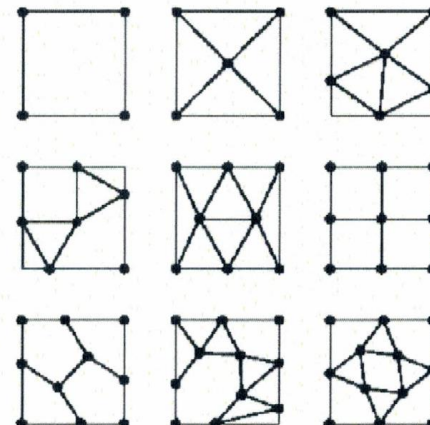
- Frühe Produkt- / Prozeß-Entwicklung mit limitierter Datenbasis und Modellannahmen
- Nichtparametrische Modellierung ohne spezifische Modellannahmen

- **Generelle Ansätze**

Coverage



Spread

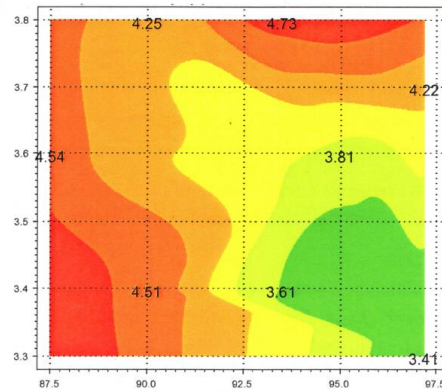


Quelle: Johnson(1990)

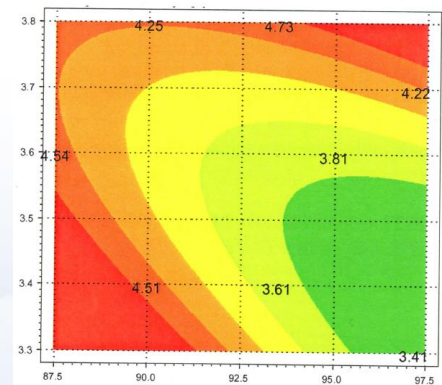


- **Datenanalyse**

- Nichtparametrisch – multivariate Spline-Interpolation



- Parametrisch – multiples lineares Regressionsmodell



- Parametrisch – Spezielle multivariate Regressionsmodelle („Data-Driven Models“)

DoE – Design of Experiments

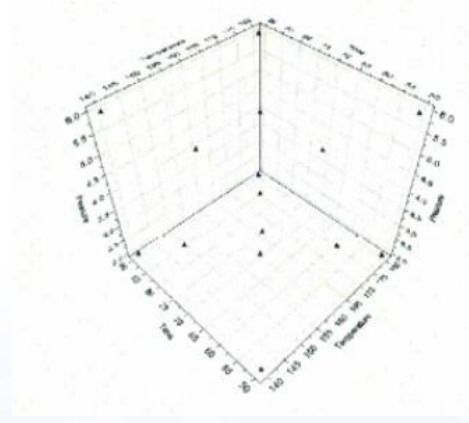
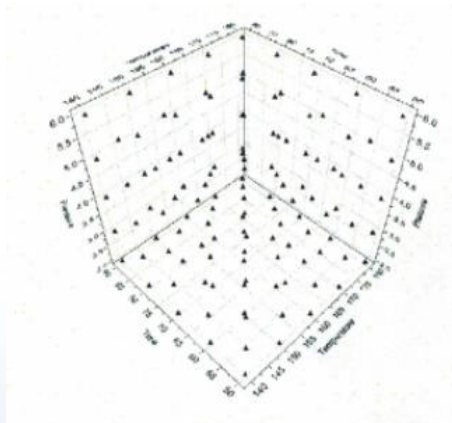
...

RGÖSSL
CONSULTING





- Häufige Frage: „Wieviel Information geht beim Übergang vom Vollfaktoriellen Design zum CCF Design verloren?“
- **Beispiel**
 - Response-Surface-Ansatz für drei Faktoren mit jeweils 5 Level
 - #Versuchsläufe: Vollfaktoriell := 125 + 3 / CCF := 14 + 3



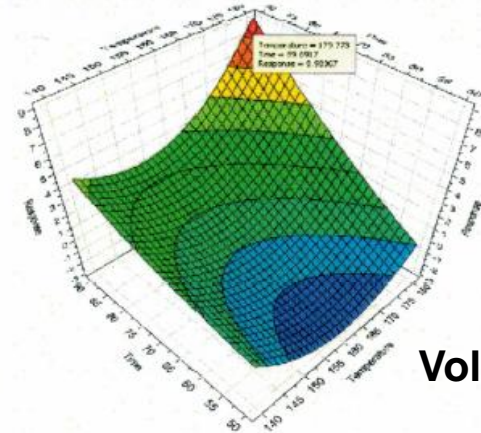
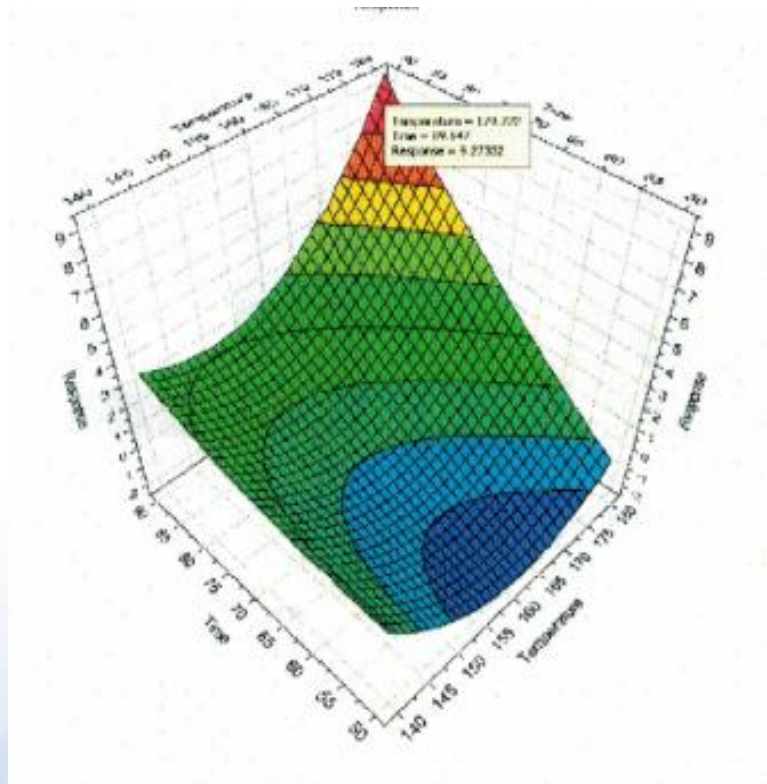
- Angenommener Zusammenhang

$$y = 0 + 1x_1 + 3x_2 + 0x_3 + 2x_1x_2 + 0x_1x_2 + 0x_1x_2 + 3x_1^2 + 0.5x_2^2 + 0x_3^2 + \epsilon$$

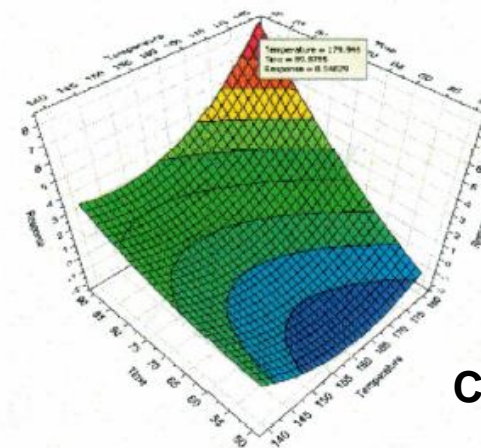


- Szenario II: $\sigma_\epsilon = 1.5$ – Signal-to-Noise Ratio: 0.5/1.5 bis 3/1.5

Wahre Response Surface



Vollfaktorielles Design



CCF Design

DoE – Design of Experiments

...

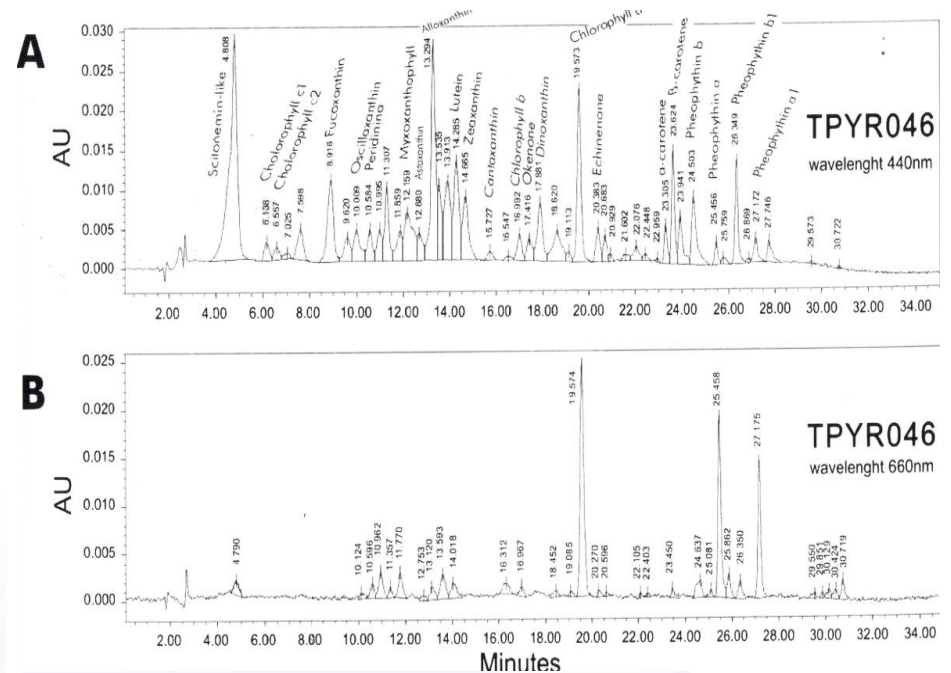
RGÖSSL
CONSULTING





- **A1: Zielsetzung und Hintergrund**
 - Versuchsplanung zur Robustheit von HPLC Analysen

A Planung





- **A1: Zielsetzung und Hintergrund (Forts.)**

- Definition ICH Q2 (R1)

9. ROBUSTNESS

The robustness of an analytical procedure is a measure of its capacity to remain unaffected by small, but deliberate variations in method parameters and provides an indication of its reliability during normal usage.

- Zielsetzung
 - Minimierung Sensitivität des analytischen Systems
 - Kleine und/oder zufällige Variabilität der Faktoreinstellungen
 - Identifikation von bezüglich der Variabilität der Faktoreinstellungen robusten Zielgrößen
 - Identifikation von bezüglich der Variabilität der Faktoreinstellungen sensitiven Zielgrößen
 - Bestimmung von Faktoren mit erhöhter Kontrolle
- Ansätze
 - One-Factor-At-A-Time (OFAT)
 - Design of Experiments (DoE)

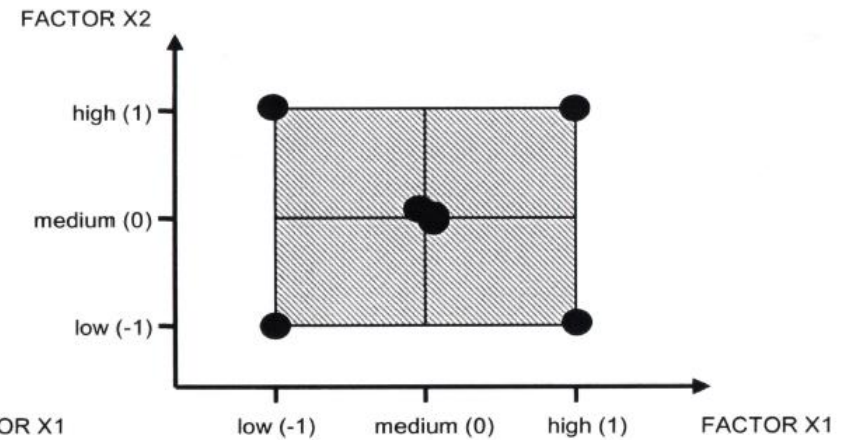
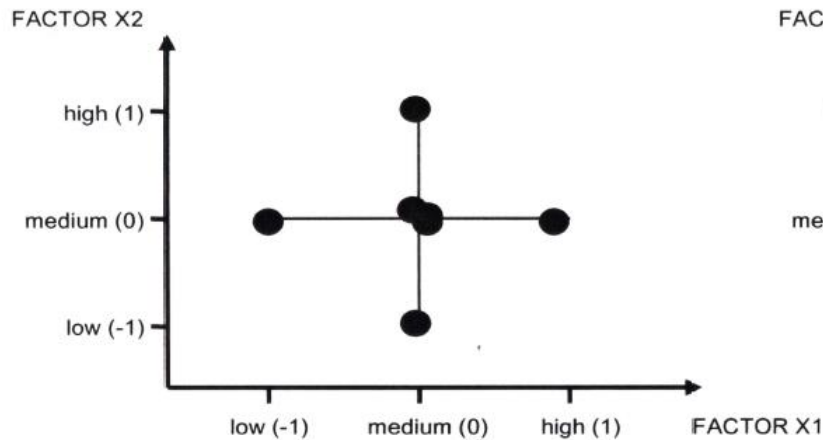


• A1: Zielsetzung und Hintergrund (Forts.)

- Vergleich OFAT vs. DoE Ansatz

OFAT		
RUN	FACTOR X1	FACTOR X2
1	-1	0
2	0	0
3	1	0
4	0	-1
5	0	0
6	0	1

DoE		
RUN	FACTOR X1	FACTOR X2
1	-1	-1
2	-1	0
3	1	1
4	1	-1
5	0	0
6	0	0



DoE – Design of Experiments

...

RGÖSSL
CONSULTING





- DoE als der Weg ...

VOM VERSUCH ZU PLANEN ZUR PLANUNG VON VERSUCHEN