

DOE am Beispiel Laserpointer

Swen Günther

Ein wesentliches Ziel im Rahmen der Neuproduktentwicklung ist die aus Kundensicht bestmögliche, d.h. nutzenmaximale Konzeption des Produktes zu bestimmen (vgl. u.a. Töpfer/ Günther 2004). Zu diesem Zweck wird in der Unternehmenspraxis dazu übergegangen, die Bedeutung von einzelnen Produktmerkmalen mithilfe von Design of Experiments (DOE) gezielt zu untersuchen. Das Vorgehen ist mit der Conjoint Analyse prinzipiell vergleichbar und basiert auf der Erstellung und Auswertung von statistischen Versuchsplänen/ - designs. Anstelle der Auswertung von Beobachtungsdaten, z.B. auf der Basis von Regressions- und Korrelationsanalyse, werden Experimente durchgeführt, bei denen die vermuteten Einflussgrößen „aktiv“ verändert werden. In diesem Zusammenhang wird häufig ein Ausspruch von GEORGE BOX zitiert: „Will man herausfinden, wie sich ein System verhält, wenn man es verändert, dann muss man es verändern“ und es nicht nur passiv beobachten.

Zur Bestimmung der funktionellen Zusammenhänge werden i.d.R. Designs mit k Faktoren und 2-3 Faktorausprägungen bzw. -stufen aufgestellt und analysiert (vgl. Breyfogle 2003, S. 555). Für die Größe/ Umfang eines Versuchs sind neben der Art und Anzahl der Faktorausprägungen (A) die absolute Anzahl der Einflussfaktoren (k) entscheidend. Bei einem vollfaktoriellen Design ergibt sich die Menge aller möglichen Faktorkombinationsmöglichkeiten und damit Versuchsanordnungen mit A^k . Durch Nichtbeachtung von Wechselwirkungen höherer Ordnung lässt sich die Anzahl von Versuchsanordnungen reduzieren. Dazu ist ein Reduktionsfaktor (d) anzugeben, der die Anzahl an definierten Gleichungen beschreibt; A^{k-d} gibt dann den Umfang des teilfaktoriellen Designs an.

Die DOE-Analyse des Laserpointers wurde mit Minitab R14 durchgeführt. Sie basiert auf den Daten, die im Rahmen der Conjoint Analyse erhoben wurden. Die Versuchsanordnung, wie sie in Abb. 1 zu sehen ist, entspricht einem vollfaktoriellen, nicht randomisierten 2^4 -Versuchsplan. Als Faktoren wurden die vier Merkmale Energie, Gewicht, Oberfläche und Befestigung mit jeweils dichotomer Ausprägung festgelegt. Die Zielgröße oder auch Response factor „Kundenbewertung“ ist metrisch skaliert und entspricht der Summe der Ränge, die bei der Bewertung der Stimuli im Zusammenhang mit der Conjoint Analyse von den Teilnehmern vergeben worden sind. Die Einzelwerte liegen zwischen 1 = „bestes Produkt“ und 16 = „schlechtestes Produkt“. Im Hinblick auf die Interpretation der Ergebnisse des DOE ist zu beachten, dass ein Laserpointer (Stimuli) aus Sicht der Probanden um so besser ist, je niedriger der kumulierte Rangwert ist (siehe Spalte Kundenbewertung).

Siehe Abb. 1: Vollfaktorieller 2^4 -Versuchsplan (siehe Anhang)

Voll- und teilfaktorielle Designs erlauben eine ganzheitliche Analyse von Ursachen-Wirkungs-Beziehungen, die zwischen einer abhängigen und mehrerer unabhängigen Variablen vermutet werden. Durch die simultane Änderung von Faktoreinstellungen kann im Gegensatz zur Änderung von nur jeweils einem Faktor (OFAT – One factor at time), wie es bspw. bei der einfachen linearen Regressionsanalyse der Fall ist, die Anzahl der Versuche zur Bestimmung des funktionellen Zusammenhanges i.A. drastisch reduziert werden. Dadurch können unmittelbar Zeit und Kosten gespart werden. Auch unter verfahrensspezifischen Gesichtspunkten führt DOE zu Vorteilen: So lassen sich z.B. mithilfe von faktoriellen Designs neben den Haupteffekten, die aus der Zu-/ Abschaltung von Faktoren resultieren, Nebeneffekte untersuchen, die das Ergebnis von Wechselwirkung mehrerer Faktoren sind. Die Berechnung der Effekte kann u.a. in Kleppmann (2003) nachvollzogen werden.

In Abb. 2 sind die standardisierten Effekte, die sich aus dem Versuchsplan und den Kundenbewertungen der 16 Laserpointer ergeben, in einem Pareto-Chart dargestellt. Für die Analyse wurden die Faktoren/ Terme, die keine Signifikanz aufwiesen, nach und nach aus dem Modell eliminiert. Die Signifikanz der Effekte wird in Minitab nach dem Lenth-Kriterium bestimmt, welches im Pareto-Chart als rote Linie eingezeichnet ist. Die Effekte, deren Balken über die rote Linie hinausreichen, können mit einer Vertrauenswahrscheinlichkeit von 95% als „signifikant“ eingestuft werden. Das statistische Modell, das am Ende des Reduktionsverfahrens „übrig“ bleibt, enthält die vier Haupteffekte A, B, C, und D sowie die Wechselwirkung AB, die aus dem Zusammenwirken von Energie und Gewicht resultiert. Das Bestimmtheitsmaß der ermittelten Regressionsgleichung beträgt $R^2 = 98,49\%$, d.h. die Gesamtvarianz der gemessenen Kundenbewertungen wird nahezu vollständig durch das Modell erklärt.

Wie in Abb. 2 ersichtlich, hat das Merkmal Energie den höchsten, das Merkmal Gewicht den niedrigsten Effekt auf die Zielgröße Kundenbewertung. Dieses Ergebnis unterscheidet sich von den mit Conjoint und QFD ermittelten Aussagen zum optimalen Produktdesign. Eine mögliche Erklärung hierfür ist die aggregierte und demzufolge undifferenzierte Kundenbewertung, die pro Produktvariante von den neun Teilnehmern des Workshops vorgenommen wurde.

Siehe Abb. 2: Pareto-Chart der standardisierten Effekte (siehe Anhang)

Entsprechend der „klassischen“ Regressionsanalyse wird zum einen die Höhe des Einflusses der einzelnen Faktoren (= Haupteffekte) sowie ihres Zusammenwirkens (= Nebeneffekte) auf die Ergebnisvariable geschätzt. Zum anderen wird ermittelt, wie signifikant sich eine Änderung der Einstellung der Faktoren x_1, \dots, x_n auf die Zielgröße y auswirkt. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass zwischen der Änderung der Einstellung der Faktoren von -1 auf +1, d.h. von niedriger auf hoher Ausprägung, und der Änderung der Zielgröße jeweils ein linearer Zusammenhang besteht. In Abb. 3 ist dieser lineare Zusammenhang für die Hauptfaktoren Energie, Gewicht, Oberfläche und Befestigung in Einzel-Diagrammen dargestellt. Dabei spiegelt die Stärke des Anstiegs der Geraden die Höhe des Effektes wider. Die Optimierungsrichtung lässt sich an der Richtung des Anstiegs der Geraden ablesen. Bei negativem Anstieg ist der

entsprechende Merkmalswert zu erhöhen, bei positivem zu erniedrigen. Infolgedessen sind für das Erreichen eines optimalen Produktdesigns die Energie „hoch“ (3 h), das Gewicht „niedrig“ (30 g), die Oberfläche „weich“ und die Befestigung „nicht vorhanden“ zu wählen.

Siehe Abb. 3: Einfluss der Haupteffekte auf die Kundenbewertung (siehe Anhang)

Analog zur Regressions- und Korrelationsanalyse werden im Rahmen von DOE die Koeffizienten für Potenzfunktionen n. Ordnung geschätzt. Dabei wird jedoch nicht „nur“ eine additive Verknüpfung der einzelnen Faktoren/ Variablen unterstellt (= Haupteffekte), sondern auch eine multiplikative Verknüpfung (= Nebeneffekte). Ist der Koeffizient, der für eine multiplikative Verknüpfung ermittelt werden konnte, größer als Null und signifikant, dann ist die damit verbundene Wechselwirkung bei der Interpretation der Ergebnisse unbedingt zu berücksichtigen. Wie oben ausgeführt, ist im Fall des Laserpointers die Wechselwirkung Energie x Gewicht signifikant. Sie lässt sich auch aus der graphischen Darstellung in Abb. 4 ablesen. Hier werden jeweils die Ergebniswerte für zwei Faktoren bei niedriger und hoher Ausprägung in einem Diagramm gegenübergestellt. Am Verlauf der Geraden zeigt sich zum einen, ob eine Wechselwirkung vorhanden ist oder nicht. Bei parallelem Verlauf der beiden Geraden liegt keine Wechselwirkung vor, c.p. Zum anderen wird die Stärke der Wechselwirkung deutlich. Je größer die Nicht-Parallelität der beiden Geraden ist, desto stärker ist die Wechselwirkung, c.p. Beim Produkt Laserpointer erwartet der Kunde bei einem hohen Gewicht auch eine hohe Energie.

Siehe Abb. 4: Einfluss der Nebeneffekte auf die Kundenbewertung (siehe Anhang)

Bei der Anwendung von teilfaktoriellen Versuchsplänen wird davon ausgegangen, dass die Wechselwirkungen zwischen drei und mehr Faktoren kaum noch einen nennenswerten Einfluss auf die Ergebnisvariable besitzen. Aus diesem Grund werden diese Spalten aus der Designmatrix eliminiert und durch andere wesentliche Einflussfaktoren ersetzt. Dadurch können bei gleichem Experimentumfang mehr Einflussfaktoren betrachtet werden, was naturgemäß zu einer Reduzierung der Gesamtkosten für die Experimentdurchführung führt.

Literatur:

Breyfogle, F. W. (2003): Implementing Six Sigma, 2nd ed., Austin, TX 1999.

Kleppmann, W. (2003): Taschenbuch Versuchsplanung – Produkte und Prozesse optimieren, 3. Aufl., München/ Wien 2003.

Töpfer, A. (Hrsg.): Six Sigma – Konzeption und Erfolgsbeispiele für praktizierte Null-Fehler-Qualität, 3. Aufl., Berlin/ Heidelberg 2004.

Swen Günther, 29.05.2006

IVM

Abb. 1: Vollfaktorieller 2^4 -Versuchsplan

MINITAB - DOE-Laserpointer - 20.05.06

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

Worksheet 1 ***

→	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7-T	C8-T	C9
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Energie (in h)	Gewicht (in g)	Oberfläche	Befestigung	Kundenbewertung
1	1	1	1	1	1	30	weich	nicht vorhanden	81
2	2	2	1	1	3	30	weich	nicht vorhanden	35
3	3	3	1	1	1	60	weich	nicht vorhanden	77
4	4	4	1	1	3	60	weich	nicht vorhanden	54
5	5	5	1	1	1	30	hart	nicht vorhanden	90
6	6	6	1	1	3	30	hart	nicht vorhanden	44
7	7	7	1	1	1	60	hart	nicht vorhanden	91
8	8	8	1	1	3	60	hart	nicht vorhanden	69
9	9	9	1	1	1	30	weich	vorhanden	105
10	10	10	1	1	3	30	weich	vorhanden	52
11	11	11	1	1	1	60	weich	vorhanden	93
12	12	12	1	1	3	60	weich	vorhanden	71
13	13	13	1	1	1	30	hart	vorhanden	112
14	14	14	1	1	3	30	hart	vorhanden	65
15	15	15	1	1	1	60	hart	vorhanden	109
16	16	16	1	1	3	60	hart	vorhanden	76
17									

Je niedriger, desto besser!

Abb. 2: Pareto-Chart der standardisierten Effekte

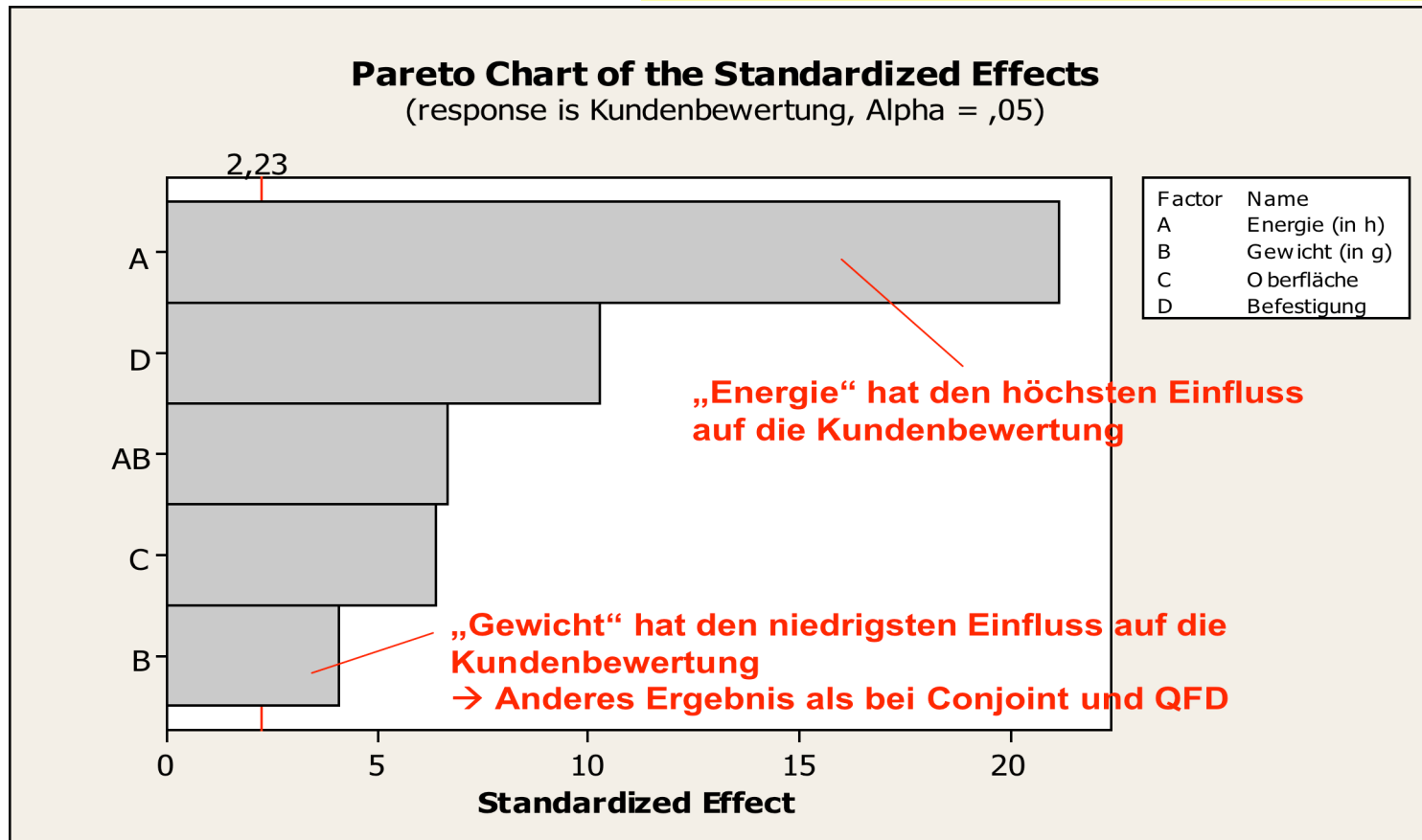
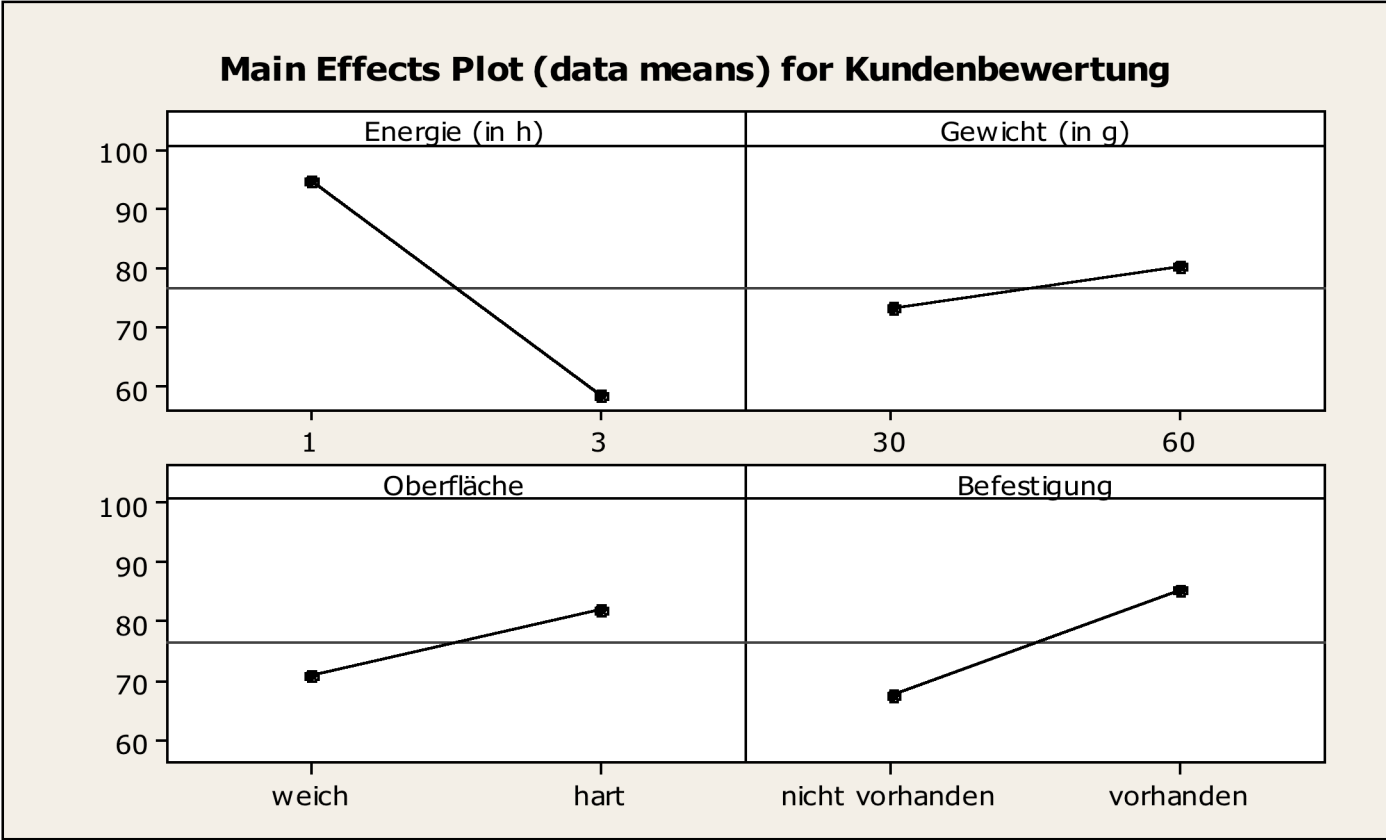


Abb. 3: Einfluss der Haupteffekte auf die Kundenbewertung



Optimales Design: Hohe Energie, Niedriges Gewicht, Weiche Oberfläche, Keine Befestigung

Abb. 4: Einfluss der Nebeneffekte auf die Kundenbewertung

