

HANSER

Leseprobe

Lorenz Braun, Claus Morgenstern, Michael Radeck

Prozessoptimierung mit statistischen Verfahren

Eine anwendungsorientierte Einführung mit destra und Minitab

ISBN: 978-3-446-42130-1

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-42130-1>

sowie im Buchhandel.

F-Verteilung

Quotienten zweier χ^2 -verteilten Zufallsvariablen sind F-verteilt mit den Freiheitsgraden FG_1 und FG_2 . Diese Verteilung wird häufig zur Varianzerklärung verwendet. Eine einfache Teststatistik ist

$$F^* = \frac{\hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_2^2}.$$

Die F-Verteilung ähnelt der χ^2 -Verteilung, wie das Beispiel in Abbildung 1-16 mit acht und 20 Freiheitsgraden zeigt. Es gilt $P(F \leq F_0) = P(F \leq 3,289) = 0,975$.

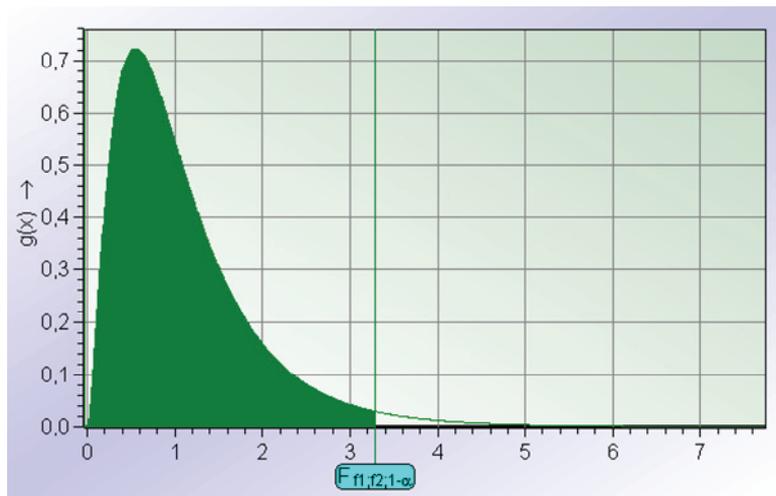


Abbildung 1-16: Dichte der F-Verteilung mit acht und 20 Freiheitsgraden

1.3 Vom Problem zum statistischen Verfahren

Jedes Problem ist einmalig. Dies ist auf die Besonderheiten der Produkte und Dienstleistungen zurückzuführen, die Unternehmen für ihre Kunden erstellen. Unterschiedliche Branchen haben unterschiedliche Probleme, ebenso Unternehmen der gleichen Branche. Sogar Prozesse zur Herstellung des gleichen Produktes müssen oft unterschiedlich gesteuert werden.

Neben den Besonderheiten gibt es aber auch Gemeinsamkeiten. Jedes Problem entsteht in einem Prozess, der nach dem Ursache-Wirkungs-Prinzip funktioniert. Auf diesem fundamentalen Prinzip basieren die statistischen Verfahren, die in diesem Buch vorgestellt werden. Die Besonderheiten liegen in den verschiedenen Ursachen für ein Problem. Diese zu berücksichtigen und in die Analyse einzubeziehen, ist die Aufgabe der Prozessexperten. Die statistischen Verfahren sind dabei als Hilfsmittel zu verstehen, die den Experten bei der Optimierung von Prozessen unterstützen.

Wie wird das passende statistische Verfahren zu einer Problemstellung ausgewählt? Eine Antwort darauf liefert dieses Kapitel. Dazu wird zunächst der Zusammenhang zwi-

schen Realität und Modell beschrieben, bevor eine schrittweise Vorgehensweise der Modellierung vorgestellt wird. Im letzten Abschnitt soll ein einfaches Beispiel dies verdeutlichen.

1.3.1 Realität und Modell

Ein Modell bildet einen Realitätsausschnitt vereinfacht ab. Dabei sollen die wesentlichen Aspekte der Realität erfasst werden, um eine nutzbringende Anwendung des Modells zu ermöglichen. Nicht alle Aspekte eines realen Prozesses können berücksichtigt werden, ist dieser doch viel zu komplex. Das Ziel ist also, ein Modell zu bilden, das eine bewusste Prozesssteuerung erlaubt, damit ein Problem behoben oder zumindest verringert wird.

Grundsätzlich lassen sich mehrere Modelltypen unterscheiden. Anhand von Beispielen aus dem Bereich der Prozessoptimierung werden deren Besonderheiten erläutert:

- **Beschreibungsmodelle**

Ein Beschreibungsmodell dient der klaren und eindeutigen Beschreibung eines Ist-Zustands. So ist z.B. die Berechnung einer Prozessfähigkeit auf der Basis einer Normalverteilung ein statistisches Beschreibungsmodell. Ein Prozessmodell soll indessen die logische Abfolge einzelner Prozessschritte darstellen. Beschreibungsmodelle werden für eine klare Problemdefinition (Define- und Measure-Phase bei Six Sigma-Projekten) verwendet.

- **Erklärungsmodelle**

Erklärungsmodelle sollen Ursache-Wirkungs-Beziehungen abbilden. Mit Hilfe solcher statistischen Modelle versucht man, die wesentlichen Einflussgrößen in ihrer Wirkung auf die Zielgröße zu finden und zu bewerten. Grundsätzlich kann zwischen monokausalen Modellen, mit nur einer Einflussgröße und multikausalen Modellen unterschieden werden. Für eine präzise Prozesssteuerung sind meist multikausale Modelle notwendig, da diese auch die Abhängigkeiten zwischen den Einflussgrößen berücksichtigen. Angewendet werden sie im Rahmen der Analyse-Phase.

- **Prognosemodelle**

Eine wichtige Anwendung von Erklärungsmodellen ist die Prognose. Werden konkrete Einstellungen der Einflussgrößen im statistischen Modell simuliert und damit auch deren Wirkung auf die Zielgröße(n) vorhergesagt, findet eine Prognose statt. Diese wird meist im Rahmen der Improve-Phase durchgeführt: Zuerst werden verschiedene Einstellungskombinationen „durchgespielt“, bevor eine sinnvolle ausgewählt und im realen Prozess getestet wird.

- **Entscheidungsmodelle**

Ein Entscheidungsmodell soll aus verschiedenen Alternativen eine optimale auswählen. Ein klassisches Verfahren ist die Nutzwertanalyse (Entscheidungsmatrix). Mit dieser soll eine Lösung ausgewählt werden, die einen maximalen Nutzen liefert. Anwendung finden solche Modelle in der Improve-Phase von Six Sigma Projekten. Der Nutzen einer möglichen Lösung wird dabei anhand verschiedener Kriterien (z.B. Kosten, Zeit und Qualität) bewertet. Ebenfalls in diesen Bereich fallen mathematische

Modelle zur Planung eines Produktionsprogramms. Dabei wird eine Zielfunktion (z.B. Gewinn) unter bestimmten Nebenbedingungen (z.B. Kapazitäten) optimiert.

Bei den im Folgenden betrachteten Modellen handelt es sich vorwiegend um Erklärungs- und Prognosemodelle. Die Problemlösung mit Hilfe eines Modells erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst wird das Prozessproblem durch die Modellierung in ein statistisches Prozessmodell überführt. Zu dessen Lösung werden im Anschluss Prozessdaten erhoben, mit deren Hilfe die Zusammenhänge im Prozess quantifiziert bzw. berechnet werden sollen. Die statistischen Verfahren dienen also der Umsetzung des Ursache-Wirkungs-Prinzips.

Das berechnete Prozessmodell kann als Lösung des modellierten Problems verstanden werden. Doch für die Prozessoptimierung ist die Übertragung auf den realen Prozess erforderlich. Diese erfolgt im Rahmen der Prüfung der Modellannahmen und der Interpretation der Ergebnisse. Werden die Modellannahmen nicht erfüllt, stimmen die Ergebnisse (Modell) nicht mit der Wirklichkeit (Prozessdaten) überein. Eine Änderung des Modells ist erforderlich. Sind die Modellannahmen dagegen erfüllt, wird über die Interpretation der Modellergebnisse ein Lösungsansatz in Form einer konkreten Einstellung des Prozesses erarbeitet (vgl. Abbildung 1-17). In diesem letzten Schritt muss sich das berechnete Modell in der Realität bewähren: Stimmen die Modellergebnisse mit dem realen Prozess überein?

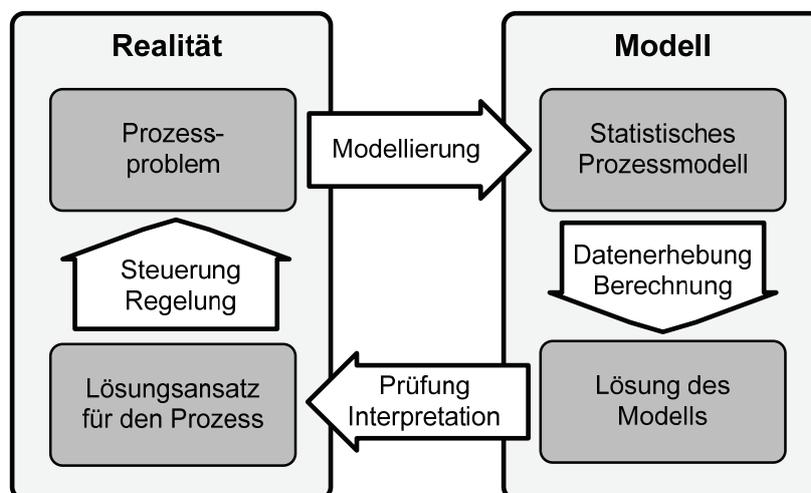


Abbildung 1-17: Zusammenhang zwischen Realität und Modell

In den folgenden Methodenkapiteln werden verschiedene statistische Verfahren vorgestellt. Es wird gezeigt, wie Prozessdaten erhoben, Modelle berechnet, geprüft und interpretiert werden und schließlich, wie ein Prozess mit Hilfe eines statistischen Prozessmodells gesteuert wird. Die Verfahren basieren auf dem folgenden Prozessmodell (vgl. Abbildung 1-18).

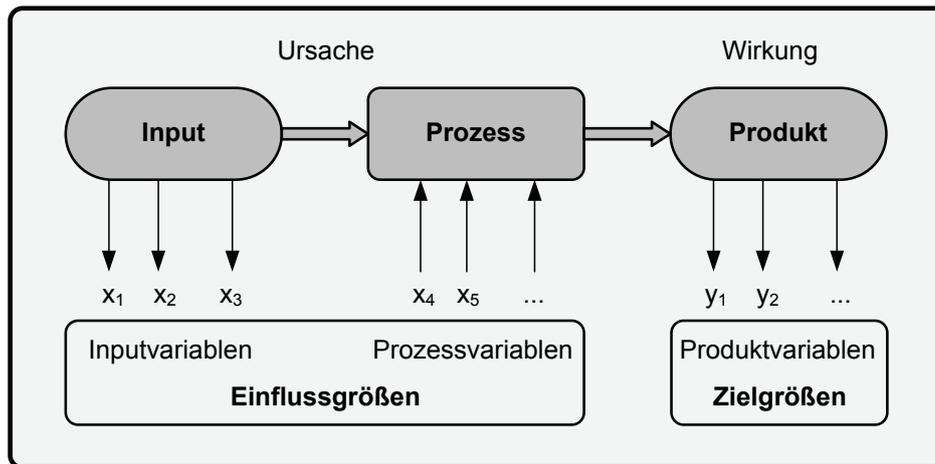


Abbildung 1-18: Das Prozessmodell zur Abbildung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen

Das Produkt als Ergebnis eines Prozesses ergibt sich durch den Prozess und dessen Input. Es wird durch Produktmerkmale (Zielgrößen) charakterisiert. Entsprechen diese nicht ihren Vorgaben, liegt ein Problem vor. Die Zielgrößen werden durch die Einflussgrößen des Prozesses verursacht. Auf Prozessvariablen (eingehende Pfeile) kann unmittelbar Einfluss genommen werden, während die Inputs (abgehende Pfeile) als Ergebnis eines vorangegangenen Prozesses zu verstehen sind. Sie sind nur über den entsprechenden Vorgängerprozess zu beeinflussen. Ein kleines Beispiel soll dies verdeutlichen: Die Temperatur als Prozessvariable kann im Prozess selbst gesteuert werden, während Materialeigenschaften nur vom Lieferanten geändert werden können.

Mathematisch lässt sich eine Ursache-Wirkungs-Beziehung mit der Gleichung

$$Y = f(x_1, x_2, \dots)$$

darstellen. Werden für die unabhängigen Variablen x_j bestimmte Werte in eine Gleichung eingesetzt, ergibt sich für die abhängige Variable Y der daraus berechnete Wert. Übertragen auf die Prozessoptimierung geht es darum, die Einflussgrößen (x_j) so zu steuern, dass die Zielgröße Y ihren Anforderungen genügt.

1.3.2 Modellierung von Problemstellungen

Die Modellierung von Problemstellungen ist für Ungeübte häufig schwierig. Insbesondere die Unsicherheit bei der Auswahl eines passenden Verfahrens kann zu einer Ablehnung der Anwendung von statistischen Methoden führen. Oder es wird immer wieder dasselbe Verfahren verwendet, obwohl ein anderes kostengünstiger wäre oder bessere Ergebnisse erzielen würde. Aus diesen Gründen wird im Folgenden eine mehrstufige Vorgehensweise vorgestellt, die ausgehend von einer Problemstellung verlässlich zum richtigen Verfahren führt. Den einzelnen Stufen der Modellierung werden dabei Werkzeuge und Methoden sowie die zentralen Fragestellungen zugeordnet (vgl. Tabelle 1-5).

Stufen der Modellierung		Werkzeuge / Methoden	Zentrale Fragestellungen
Abstrahieren	Vereinfachen	Prozessdarstellung Ablaufdiagramm	Was sind die zentralen Tätigkeiten und Elemente (z.B. Informationen und Maschinen) des Prozesses?
	Strukturieren	Kundenanforderungsprofil CT-Matrix	Wie ist der Prozess aufgebaut? Welche Zusammenhänge bestehen im Prozess?
	Konkretisieren	Ist-Zustand Prozessfähigkeit	Was sind die konkreten Anforderungen und Ziele des Prozesses?
Operationalisieren	Zielgröße definieren	Ursache- Wirkungs-Diagramm C&E-Matrix	Welche Zielgrößen sollen untersucht werden? Auf welcher Skala werden diese gemessen oder geprüft?
	Einflussgrößen auswählen	Relationsdiagramm Matrixdiagramm	Welche sind die wohl wichtigen Einflussgrößen auf eine Zielgröße? Wie können diese erfasst werden?
	Hypothesen aufstellen		Welche Abhängigkeiten bestehen zwischen der Ziel- und den Einflussgrößen?

Tabelle 1-5: Modellierung und Modellierungswerkzeuge

Die Modellbildung zur Darstellung einer Ursache-Wirkungs-Beziehung mit statistischen Verfahren ist in zwei Hauptbereiche untergliedert: das Abstrahieren und Operationalisieren. Beim Abstrahieren sollen Problem und Prozess möglichst einfach und klar dargestellt werden. Dies erfolgt in Six Sigma-Projekten überwiegend in der Define- und Measure-Phase.

Das Abstrahieren ist die Grundlage für das Operationalisieren. Hier werden die Zielgröße und die Einflussgrößen des Prozesses mess- oder prüfbar definiert und Hypothesen über die erwarteten Abhängigkeiten im Prozess aufgestellt. Die Definition der Ziel- und Einflussgrößen ist das entscheidende Kriterium für die Auswahl des passenden statistischen Verfahrens. In Six Sigma-Projekten erfolgt dies in der Measure- und Analyse-Phase. Im Folgenden werden die einzelnen Stufen vorgestellt.

- **Vereinfachen**

Unter Vereinfachung darf nicht Banalisierung verstanden werden. Vielmehr soll der Prozess und dessen Aktivitäten bezogen auf die Problemstellung hinterfragt werden. Welche Informationen und welche Einflüsse sind wesentlich für die Problemstellung? Bleiben hier wichtige Aspekte unberücksichtigt, wird jedes gewählte Modell Schwächen haben.

- **Strukturieren**

Die Strukturierung des Prozesses ist die logische Konsequenz aus der Vereinfachung. Alle für das Problem wesentlichen Tätigkeiten und Informationen werden in einem Ablaufdiagramm dargestellt. Dabei ist auf eine klare Abgrenzung des betrachteten Prozesses zu achten. Die Strukturierung erfolgt meist mit einer logischen Prozessdarstellung: Welche Tätigkeiten folgen logisch und zeitlich aufeinander und welche Informationen sind für die einzelnen Tätigkeiten notwendig und vorhanden?

- **Konkretisieren**

Ein Prozess hat viele Ergebnisse (z.B. Menge, Kosten, Qualität und Zeit). Um welches konkrete Prozessergebnis geht es in der Problemstellung? Diese Frage ist meist mit der Aufgabenstellung und dem Ziel der Optimierung verbunden. Möglichkeiten zur Unterstützung einer konkreten Zieldefinition sind eine gewissenhafte Definition des Kundenanforderungsprofils oder die CT-Matrix. In einer CT-Matrix (critical to) werden die Eigenschaften eines Produktes oder einer Dienstleistung in ihrem Beitrag zur Erfüllung der Kundenanforderungen untersucht. Auf Produkteigenschaften, die für die Kunden wichtig sind, sollte bei der Prozessoptimierung besonders geachtet werden.

- **Zielgröße definieren**

Zunächst sollte eine Zielgröße genauer betrachtet werden. Es muss klar festgelegt werden, ob die Zielgröße nominal (qualitativ) oder metrisch (quantitativ) erhoben werden soll. Oft sind mehrere Möglichkeiten gegeben. So kann das Problem der Prozessoptimierung eine Ausschussquote sein (nominal) oder die messbare Eigenschaft des Produktes, anhand derer der Fehler festgestellt wird, wie z.B. eine Abmessung (metrisch). Grundsätzlich sollte versucht werden, die Zielgröße metrisch zu definieren, da darauf basierende statistische Verfahren geringere Stichprobenumfänge benötigen.

- **Einflussgrößen auswählen**

Nach der Definition der Zielgröße folgt eine Vorauswahl von potentiellen Einflussgrößen. Hier sind wiederum die Prozessexperten mit ihrem Wissen maßgeblich. Fehlen wichtige Einflussgrößen, kann der Prozess nur unzureichend gesteuert werden. Werden dagegen viele unwichtige Einflussgrößen in das Modell mit aufgenommen, erhöht sich der Aufwand der Datenerhebung und das berechnete Modell ist eventuell nicht mehr aussagekräftig. Für die Sammlung und anschließende Bewertung von Einflussgrößen wird vielfach das Ursache-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa-Diagramm) verwendet. Die ausgewählten Einflussgrößen gehen wiederum als nominale oder metrische Merkmale in das statistische Modell ein. Werden mehrere Zielgrößen gemeinsam betrachtet, bietet sich die C&E-Matrix (Cause & Effekt) aus dem Six Sigma-Werkzeugkoffer an.

- **Hypothesen aufstellen**

Dieser Schritt scheint auf den ersten Blick sehr theoretisch zu sein. Doch er dient lediglich der Überprüfung des bisherigen Prozesswissens. Bevor die Berechnung eines statistischen Modells erfolgt, sollte überlegt werden, in welcher Art und Weise (linear oder nicht linear bzw. positiv oder negativ) die Einflussgrößen auf die Zielgröße wirken. Zusätzlich können auch die Abhängigkeiten zwischen den Einflussgrößen abgeschätzt werden. Die daraus formulierten Vermutungen über die Zusammenhänge im Prozess werden später mit den Berechnungen verglichen. Widerlegte Vermutungen sollten erklärt werden. Als Methode kann das Relationsdiagramm verwendet werden. Dieses ist als Ursache-Wirkungs-Diagramm zu verstehen, das nur die betrachteten Einflussgrößen und die vermuteten Zusammenhänge enthält. Werden dagegen mehrere Zielgrößen gemeinsam betrachtet, ist das Matrixdiagramm vorzuziehen.

Aus den Schritten „Zielgröße definieren“ und „Einflussgrößen auswählen“ ergibt sich das passende statistische Verfahren. Das Kriterium für die Auswahl ist nämlich das Skalenniveau der Ziel- und Einflussgrößen (vgl. Tabelle 1-6). Werden beispielsweise die Zielgröße Y und die Einflussgrößen x metrisch gemessen, ist die Regressionsanaly-

se die Methode der Wahl. Streuungsdiagramme sind eine einfache Möglichkeit solche Zusammenhänge grafisch darzustellen.

Zielgröße(n) Y	nominal / qualitativ	Logistische Regression (paarweise Vergleiche)	Mehrfeldtafeln (Häufigkeiten)
	metrisch / quantitativ	Regressionsanalyse (Streuungsdiagramme)	Varianzanalyse (Boxplots)
Y = f(x)		metrisch / quantitativ	nominal / qualitativ
		Einflussgröße(n) x	

**Statistische
Versuchsplanung**

Tabelle 1-6: Auswahlschema für statistische Verfahren zur Prozessoptimierung

Die nachfolgenden Methodenkapitel sind entsprechend diesem Auswahlschema gegliedert. Hinzu kommt ein übergreifendes Kapitel „Versuchsplanung“, das auf eine zusätzliche Unterscheidung der Modelle nach der Art der Datenerhebung hinweist: Erstens können Daten durch Beobachtungen im laufenden Prozess gewonnen werden. In diesem Fall wird nicht in das Prozessgeschehen eingegriffen. Werden dagegen zweitens bewusst und strukturiert die Einflussgrößen zur Erhebung der Zielgröße eingestellt, werden Experimente durchgeführt. In diesem Fall findet die statistische Versuchsplanung Anwendung. Hierbei spielt die Erhebung der Daten, also die Gestaltung der Versuche, eine zentrale Rolle. Die Auswertung erfolgt entsprechend dem Auswahlschema als Varianz- oder Regressionsanalyse, da die Versuchsplanung fast ausschließlich für metrische Einflussgrößen eingesetzt wird. Die Unterschiede zwischen der Modellberechnung aufgrund von Beobachtungsdaten und Versuchsplänen werden in den entsprechenden Methodenkapiteln ausführlich erläutert. Vorab soll aber ein Überblick in Tabellenform gegeben werden (vgl. Tabelle 1-7).

	Vorteile	Nachteile
Datenerhebung im laufenden Prozess	<ul style="list-style-type: none"> • Meist günstig zu realisieren • Möglichkeit, auf vorhandene Daten zurückzugreifen • Sehr gute Möglichkeit des Einstiegs in eine Prozessoptimierung • Viele Einflussgrößen können in ein Modell aufgenommen werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Daten liegen häufig nicht zuordenbar vor • Daten sind teilweise von schlechter Qualität • Variationsbereich der Einflussgrößen nicht direkt beeinflussbar • Teilweise große Stichproben erforderlich
Datenerhebung durch Versuche	<ul style="list-style-type: none"> • Modell ist einfach zu berechnen • Wirkungen der Einflussgrößen können verlässlich bestimmt werden • Daten liegen durch Versuchsaufbau immer zuordenbar vor • Anzahl der Versuche bei wenigen Einflussgrößen gering 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur eine geringe Anzahl von Einflussgrößen kann untersucht werden • Hoher Aufwand (teuer) • Wechselwirkungen teilweise schwer zu interpretieren • Einflussgrößen teilweise nicht oder schwer einstellbar

Tabelle 1-7: Vor- und Nachteile von Versuchen und Prozessbeobachtungen

1.3.3 Ein einführendes Beispiel

Das in diesem Abschnitt vorgestellte Beispiel wird als Fragestellung für die folgenden Methodenkapitel verwendet. Dabei handelt es sich um die Herstellung von Lego-Bausteinen. Dieses Beispiel wurde gewählt, da das Produkt anschaulich ist und der Herstellungsprozess, ein Spritzgussverfahren, in seiner groben Struktur nachvollziehbar ist. Werden in den Methodenkapiteln die statistischen Verfahren erklärt, wird hier die grundsätzliche Vorgehensweise zur Optimierung eines Prozesses aufgezeigt. Die einzelnen Schritte orientieren sich dabei an dem DMAIC-Phasenmodell⁵, wobei insbesondere auf die Modellierung und die Auswahl der entsprechenden statistischen Verfahren geachtet wird.

Am Anfang steht das Problem: Ein Produkt entspricht nicht seinen Anforderungen. Die Ursachen dafür liegen im Prozess. Deshalb wird zuerst der Prozess in den Modellierungsschritten Vereinfachen und Strukturieren veranschaulicht. Im Beispiel soll der Spritzgussprozess zur Legoherstellung durch ein Strukturdiagramm verdeutlicht werden (vgl. Abbildung 1-19).

⁵ Jedes Six Sigma-Projekt durchläuft die Phasen Define, Measure, Analyse, Improve und Contol.

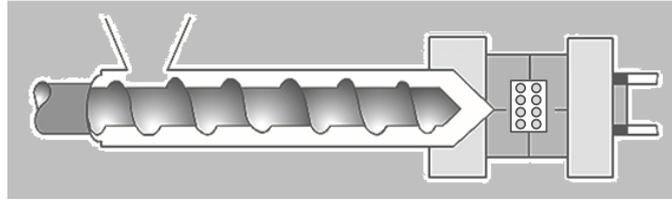


Abbildung 1-19: Prinzip des Spritzgießens zur Herstellung von Lego-Bausteinen

Durch einen Trichter wird kontinuierlich Kunststoffgranulat zugeführt. Eine Schnecke befördert das Granulat in Richtung der Spritzdüse. Dabei wird es erwärmt und plastifiziert. Über einen Stoßzylinder wird der flüssige Kunststoff in die Form gedrückt. Er kühlt ab und wird anschließend aus der Form geworfen. Diese vereinfachte Beschreibung des Spritzgussverfahrens ist für das Beispiel ausreichend.

Die logische Abfolge der einzelnen Prozessschritte lässt sich in einem Ablaufdiagramm darstellen (vgl. Abbildung 1-20). Zu den Tätigkeiten sollten die wichtigsten Inputs und Outputs vermerkt werden. Neben technischen Größen, wie Maschinenparameter, sind auch Informationen, wie Planungsdaten der Produktion oder vorhandene Steuerungsvorgaben zu berücksichtigen.

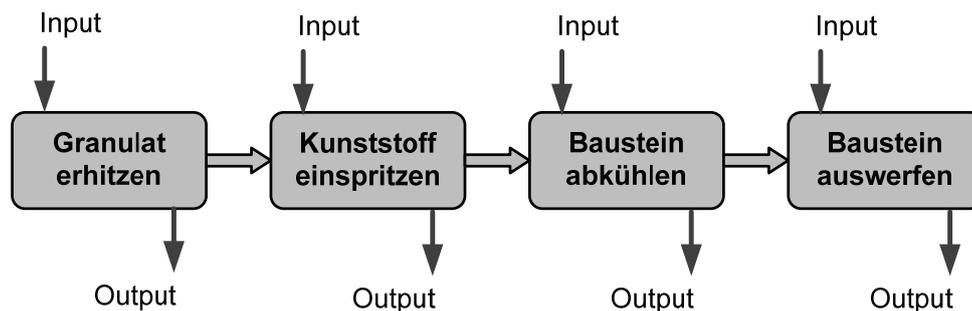


Abbildung 1-20: Vereinfachte Darstellung des Ablaufs beim Spritzgießen

Nachdem der Prozess ausreichend beschrieben und strukturiert wurde, folgt das Konkretisieren der Problemstellung. Aussagen wie „Wir haben zu viel Ausschuss“ sind nicht ausreichend. Selbst eine Ausschussquote ist nicht exakt genug, wenn die Fehler zusätzlich in Fehlerklassen unterteilt werden können. Das Ziel ist eine klare und eindeutige Problembeschreibung und darauf basierend die Festlegung eines Verbesserungsziels. Im Sinne einer besseren Befriedigung der Kundenbedürfnisse sollen deren Anforderungen berücksichtigt werden. Für das Lego-Beispiel werden dafür die Produkteigenschaften in Beziehung zu den Anforderungen an einen Baustein gebracht. Dies erfolgt anhand der CT-Matrix in Tabelle 1-8.

		Kundenanforderung und Bedeutung					
		7	10	9	6	5	
		Universell einsetzbar	Einfache Handhabung	Passgenau	Farbecht	Hohe Belastbarkeit	
Produkteigenschaften	Konstruktion der Bausteine	9	3	1	0	3	117
	Abmessungen	9	1	9	0	1	159
	Kanten mit Gratbildung	0	1	9	0	1	96
	Kunststoffmischung	0	0	3	9	9	126
							Bedeutung der Eigenschaft (Rang)

Tabelle 1-8: CT-Matrix für das Lego-Beispiel

Die einzelnen Anforderungen sind für die Kunden unterschiedlich wichtig und werden deshalb gewichtet. Die Eigenschaften eines Produktes dienen der Erfüllung der Kundenanforderungen, was in der Matrix bewertet wird. So bedeutet 0 keinen, 1 einen geringen, 3 einen mittleren und 9 einen hohen diesbezüglichen Beitrag. Das Ziel der CT-Matrix ist, die wichtigsten Produkteigenschaften für den Kunden zu identifizieren. Dazu wird für jede Eigenschaft die Bewertung mit der Bedeutung der Kundenanforderung multipliziert und über die Produkteigenschaft (Zeile) addiert. Beispielhaft ergibt sich für die Abmessungen

$$9 \cdot 7 + 1 \cdot 10 + 9 \cdot 9 + 0 \cdot 6 + 1 \cdot 5 = 159.$$

Im Beispiel ist dies die wichtigste Eigenschaft, gefolgt von der Kunststoffmischung und der Konstruktion. Die Produkteigenschaften sind hier sehr allgemein formuliert. Häufig werden dafür aber auch konkrete technische Spezifikationen verwendet. Wurden im Lego-Beispiel nur Produkteigenschaften betrachtet, die sich primär auf die Qualität beziehen, sollten allgemein auch Kosten- und Zeitkriterien berücksichtigt werden. Welche Eigenschaften zur Erfüllung der Kundenanforderungen relevant sind, wird durch die so genannten CTs beschrieben:

- CTQ (Critical to Quality)
- CTC (Critical to Costs)
- CTD (Critical to Delivery).

Nachdem der Prozess abgebildet und das Problem im Hinblick auf die Kundenanforderungen konkretisiert wurde, folgt die Operationalisierung der Zielgrößen. Dabei bedeutet „messbar machen“ nicht nur, entsprechende Merkmale zu definieren, sondern auch das Messverfahren festzulegen. Der Schritt „Zielgröße definieren“ muss so erfolgen, dass das Prozessergebnis anhand von Prozessdaten eindeutig beurteilt werden kann. Die einfachste Möglichkeit ist, zwischen „gut“ und „schlecht“ zu unterscheiden, d.h. die Zielgröße wird auf nominalem Niveau gemessen. Der Ist-Zustand wird dann in Form einer Ausschuss- oder Fehlerquote beschrieben. Entsprechend der Tabelle 1-6 kommen als

Werkzeuge die logistische Regression (paarweise Vergleiche) oder die Mehrfeldtafeln (Häufigkeitstabellen) in Betracht, je nachdem auf welchem Niveau die Einflussgrößen gemessen werden.

Sofern es möglich und sinnvoll ist, sollte die Zielgröße metrisch gemessen werden. Beispielsweise sollte ein nominal erhobener Fehler (gut / schlecht) wenn möglich durch eine Abmessung ersetzt werden. Als metrisches Merkmal könnte sie durch eine Prozessfähigkeit beurteilt werden. Wiederum ist der Tabelle 1-6 zu entnehmen, dass die Regressions- oder die Varianzanalyse zur Optimierung des Prozesses verwendet werden kann.

Im folgenden Schritt sind die Einflussgrößen auszuwählen. Häufig wird dafür ein Ursache-Wirkungs-Diagramm erstellt, das alle möglichen Einflüsse auf das Problem gesammelt enthalten soll. Abbildung 1-21 zeigt ein typisches Ursache-Wirkungs-Diagramm für das Lego-Beispiel, das zu Beginn der Analysephase erstellt wird.

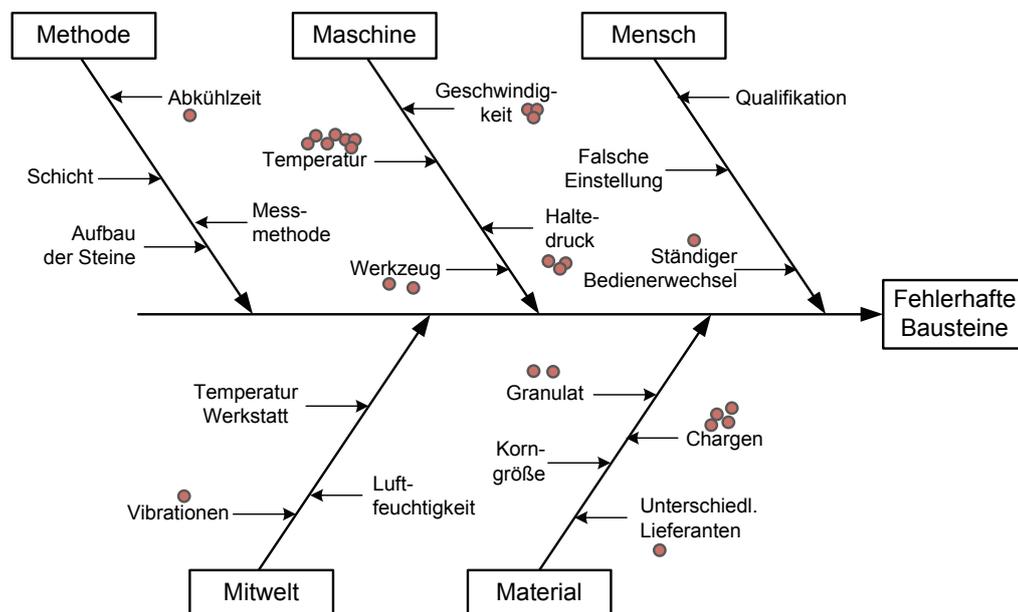


Abbildung 1-21: Ursache-Wirkungs-Diagramm für das Lego-Beispiel

Nach der Sammlung möglicher Einflüsse einigen sich die Prozessexperten auf die wahrscheinlichsten Ursachen. Eine einfache und sinnvolle Methode hierfür ist das Beipunkten. Jedes Teammitglied erhält Punkte, die entsprechend der angenommenen Bedeutung auf die Einflüsse verteilt werden. Im Beispiel werden die Fehlerursachen am ehesten bei der Temperatur und den unterschiedlichen Materialchargen vermutet. Bevor Prozessdaten zur Überprüfung der Vermutungen erhoben werden, sollte man die Annahmen in Form von Hypothesen aufstellen. Dies muss nicht in Form von präzisen quantitativen Aussagen erfolgen, sondern lediglich in Form von Vermutungen über die Art und Weise der Wirkung zwischen den Ziel- und Einflussgrößen. Für das Lego-Beispiel mit der Zielgröße Schrumpfung könnte dies wie folgt aussehen (vgl. Abbildung 1-22).

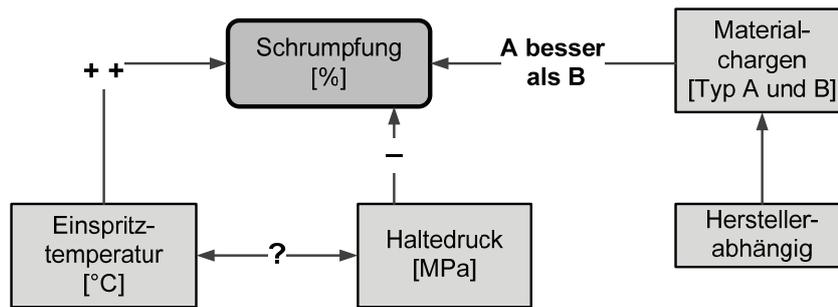


Abbildung 1-22: Relationsdiagramm für das Lego-Beispiel

Die Abbildung zeigt ausgewählte Einflussgrößen, die in ihrer Wirkung auf die Zielgröße bewertet werden. So bedeutet „++“ einen starken positiven Einfluss der Einspritztemperatur auf die Schrumpfung: Je höher die Einspritztemperatur, desto stärker die Schrumpfung. Bei höherem Haltedruck wird dagegen von einer geringeren Schrumpfung ausgegangen (–). Ob zwischen diesen beiden Einflussgrößen eine Abhängigkeit existiert, konnte nicht beurteilt werden. Die Materialcharge als nominale Einflussgröße wird ebenfalls bewertet. So wird angenommen, dass Chargen vom Typ A zu einer geringeren Schrumpfung führen und somit zu bevorzugen sind.

Die Überprüfung der Hypothesen bzw. Vermutungen erfolgt anhand von Prozessdaten. Dazu müssen auch die Einflussgrößen messbar (metrisch) oder prüfbar (nominal) definiert werden. Sind die Einflussgrößen nominal oder werden zumindest nominal erhoben⁶, ist die Varianzanalyse oder die Mehrfeldtafeln zu wählen, je nachdem auf welcher Skala die Zielgröße erhoben wird. Bei metrischen Einflussgrößen kann zwischen der logistischen Regression und der klassischen Regression unterschieden werden.

Grundsätzlich sind Verfahren zu bevorzugen, die auf einer metrischen Zielgröße basieren, da signifikante Aussagen über die Wirkung der Einflussgrößen schon bei geringeren Stichprobenumfängen möglich werden. Die logistische Regression und die Mehrfeldtafeln erfordern dagegen häufig große Stichprobenumfänge. Mischformen bezüglich der Skala der Einflussgrößen sind ebenfalls möglich. So kann z.B. eine nominale Einflussgröße in ein Regressionsmodell einbezogen werden. Einzelheiten dazu finden sich in den Methodenkapiteln.

⁶ Die Einspritztemperatur ist zwar eine metrische Einflussgröße, kann aber z.B. im Rahmen der Versuchsplanung nur auf zwei Stufen erhoben werden und wird dann wie ein nominales Merkmal betrachtet.