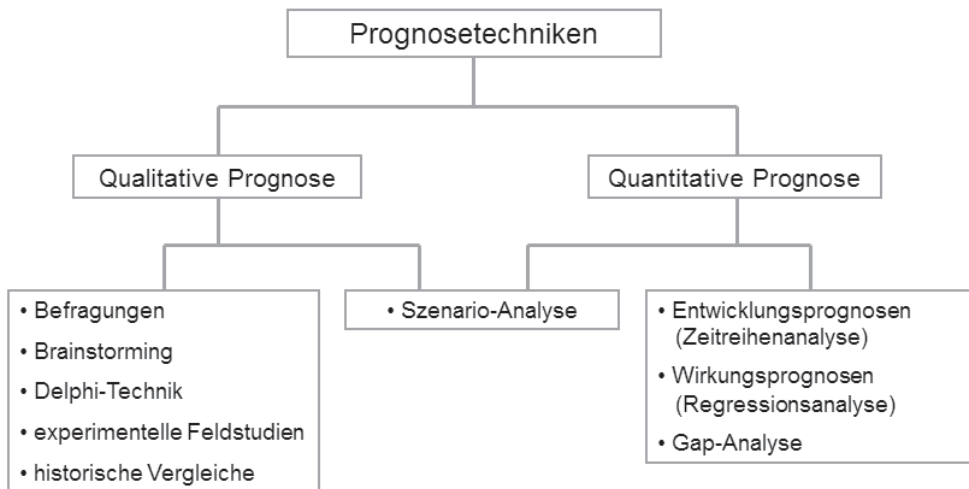


2 Allgemeine Prognosetechniken und Prognosefehler

Unter einer Prognose wird die Vorhersage eines zukünftiger Zustandes oder der zukünftigen Entwicklung eines Systems anhand des gegenwärtigen Zustandes und der Kenntnis der vergangenen Entwicklung dieses Systems verstanden. Dabei soll auch kein Bedeutungsunterschied zwischen den Begriffen Prognose, Vorhersage und dem englischen Forecasting gemacht werden. Das zu prognostizierende System kann sowohl ein natürlich vorhandenes als auch ein künstlich vom Menschen geschaffenes sein. Das Hauptaugenmerk wird in Anbetracht der vorrangigen Zielgruppe dieses Buches, den Studenten der Wirtschaftswissenschaften, bei den ökonomischen Systemen liegen.

Abbildung 2.1 Systematisierung der Prognosetechniken



Die Prognoseverfahren kann man zunächst einmal grob in qualitative und quantitative Verfahren unterteilen, wobei es natürlich zu Überschneidungen kommen kann. In **Abbildung 2.1** sind die wichtigsten Prognosetechniken aufgelistet und den beiden Kategorien zugeordnet.

2.1 Qualitative Verfahren

Qualitative Prognosen sind in erster Linie subjektive, nicht notwendig quantifizierbare Beurteilungen einer künftigen Entwicklung. Die Aussagen sind fast immer nur verbal,

selten mit Zahlen verbunden. Sie können intuitiv zustande gekommen sein und haben meistens unverbindlichen Charakter. Obwohl sich dieses Buch ausschließlich mit speziellen quantitativen Verfahren befassen wird, sollen zu den wichtigsten qualitativen Techniken doch ein paar Anmerkungen gemacht werden.

■ **Visionen und Wahrsagungen** können natürlich auch als Prognosen aufgefasst werden. Sie sind nicht wissenschaftlich und werden von Einzelpersonen, eventuell von Laien oder sogar von Tieren getroffen.

■ Das **Sammeln von Expertenmeinungen** kann sowohl in offenen Diskussionen im Rahmen von Gruppensitzungen als auch durch mündliche oder schriftliche Befragungen erfolgen. Zu Ersteren zählen das Brainstorming und das Panel-Konsens-Verfahren. Eine hoch entwickelte Fragebogentechnik stellt die Delphi-Methode dar.

- Das **Brainstorming** ist in seiner ersten Phase eine Gruppensitzung von Experten verschiedener Fachgebiete und Leitungsebenen zum Finden neuer Ideen. Jeder Teilnehmer darf alles sagen, Kritik am Vorredner ist nicht zulässig. Das Ziel ist, in gegenseitiger Inspiration möglichst viele, auch verrückte Ideen zu sammeln. Die Realisierbarkeit der geäußerten Vorschläge spielt dabei zunächst keine Rolle. In einer zweiten Phase müssen die Ideen dann freilich von Experten sortiert und bewertet werden. Typische Anwendungen sind die Erstellung von Marktprognosen und die Neuausrichtung einer Produktion.
- Die **Delphi-Methode** wurde Ende der 1950er Jahre in den USA zunächst für den militärischen Bereich entwickelt. In einer mehrstufigen Aktion werden Fragebogen an Experten geschickt. Die Ergebnisse gehen in den Fragebogen der nächsten Stufe mit ein, in dem z. B. Durchschnittswerte bekannt gegeben werden. Die Teilnehmer, die weitgehend anonym bleiben, dürfen sich korrigieren. Das Verfahren führt zur Angleichung der Aussagen, ohne dass dominante Meinungsmacher das Ergebnis beeinflussen. Anwendung findet diese Methode z. B. zur globalen Prognosen der Entwicklung neuer Technologien und der Wissenschaft.
- Das Kernstück des **Panel-Konsensus-Verfahrens** dagegen ist eine offene Gruppendiskussion mehrerer Experten über eine vorgegebene Frage. Dieser Gesprächsrunde können auch individuelle schriftliche Stellungnahmen vorausgehen. Das Ziel besteht in einem Konsens der Meinungen. Mit so einem Verfahren erstellen z. B. die sogenannten Wirtschaftsweisen ihre alljährlichen Prognosen über die wirtschaftliche Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland.

■ Durch **experimentelle Feldversuche** können die Auswirkungen von Entscheidungen zunächst einmal in örtlich und zeitlich begrenztem Rahmen untersucht werden. Nach dem Prinzip „Probieren im Kleinen“ werden z. B. in kontrollierten Markttests Prognosen zum Absatz eines neuen Produkts und zum Kaufverhalten der Kunden erstellt.

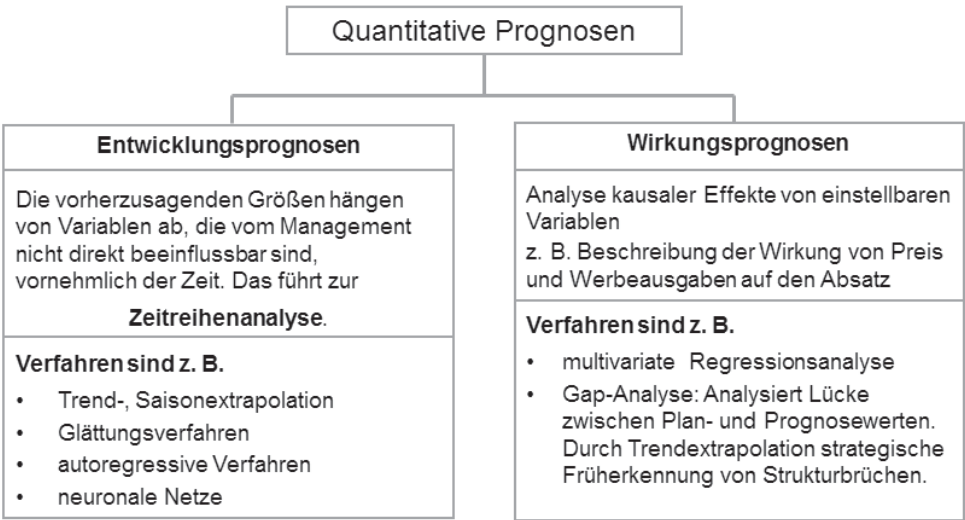
■ Mit **historischen Analogien** versucht man aus der Vergangenheit zu lernen. Zur Vorhersage werden Analogieschlüsse zu vergangenen Entwicklungen bei ähnlichen Problemen gezogen. Beispielsweise kann für eine Bevölkerungsprognose in den Entwicklungsländern ein Vergleich mit Westeuropa seit dem 16. Jahrhundert wertvolle Hinweise geben. Aktuell von Bedeutung sind Prognosen über die Auswirkung der Klima-

erwärmung auf der Erde. Deshalb wird zurzeit auch intensiv über die Veränderungen auf der Erde in vergleichbaren Situationen vergangener Zeitalter geforscht.

2.2 Quantitative Verfahren

Quantitative Verfahren sind zumeist Rechenverfahren zur Auswertung empirischer Daten. Die damit erstellten Vorhersagen sind quantifizierte Beurteilungen künftiger Zustände oder Wirkungen von Einflussfaktoren. In diesem Sinne kann man Entwicklungs- von Wirkungsprognosen unterscheiden. In **Abbildung 2.2** sind diese Unterschiede, schematisch zusammengefasst, dargestellt worden. Die Prognoseverfahren, die in diesem Buch hier behandelt werden, sind ausschließlich die der Zeitreihenanalyse.

Abbildung 2.2 Übersicht zu quantitativen Prognoseverfahren



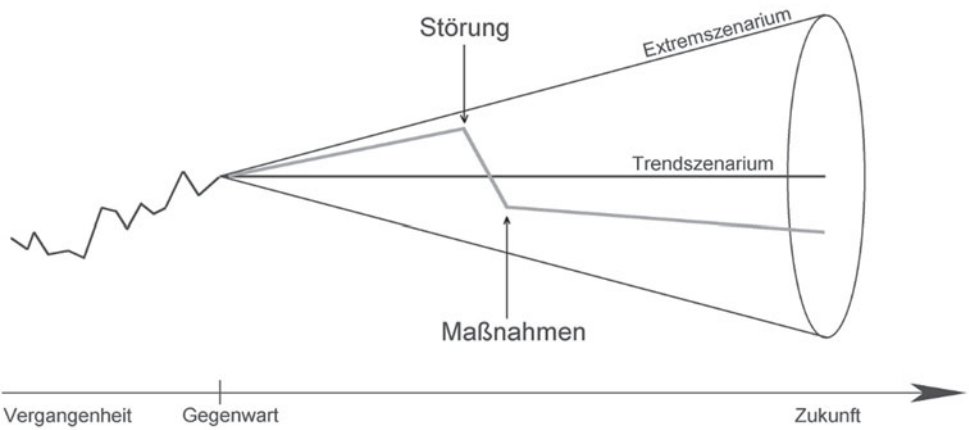
2.3 Szenarioanalyse

Die für den militärischen und politischen Bereich entwickelte Szenarioanalyse fand alsbald auch in der Betriebswirtschaft ihre Anwendung. Unter einem Szenarium versteht man dabei eine hypothetische Folge von Ereignissen, die konstruiert wird, um kausale Zusammenhänge zwischen Entscheidungen und ihren Auswirkungen zu analysieren. Als Prognosetechnik nimmt sie bei der Zuordnung zu qualitativen oder quantitativen Verfahren eine Zwischenstellung ein, weil hier beide Arten von Verfahren zur Anwendung kommen. Sie läuft in drei Phasen ab, die in **Tabelle 2.1** kurz beschrieben sind.

Tabelle 2.1 Die Phasen einer Szenarioanalyse

Phase	Gegenstand	Verfahren
1. Analyse	der Ausgangssituation und der Systemzusammenhänge	mittels qualitativer Verfahren wie Befragungen und Delphi-Methode.
2. Prognose	der absehbaren Entwicklung, überraschender Ereignisse. Erarbeitung von Entscheidungskriterien	mittels Brainstorming, quantitativer Verfahren wie vektorieller Zeitreihenanalyse.
3. Synthese	durch Erstellung der Szenarien, Bewertung alternativer Zukunftsbilder, Schätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten und Komplexitätsreduktion	mittels Computer-Simulationen und Klassifikationsverfahren.

Abbildung 2.3 Beispiel für einen Szenariotrichter



Das gedankliche Grundschema der Szenarioanalyse ist der **Szenariotrichter**. Mit ihm wird zum Ausdruck gebracht, dass sich das Möglichkeitsspektrum mit fortschreitendem Prognosehorizont immer weiter öffnet. Häufig reicht es dann für die Analyse aus, sich auf einige wenige Extremszenarien zu beschränken, wie sie unter extrem günstigen oder extrem ungünstigen äußeren Einflüssen entstehen. In **Abbildung 2.3** ist dargestellt, wie so ein Szenariotrichter aussehen könnte. Hier wird beispielsweise davon ausgegangen, wie der aus der Vergangenheit bekannte Prozess künftig zunächst normal innerhalb des Trichters

fortschreitet. Nach einem Störfall aber droht der Prozess ins Extreme zu geraten, bis ihn geeignete Maßnahmen wieder unter Kontrolle bringen.

2.4 Güte der Prognose

Eine vorhergesagte Zahl kann immer auch falsch sein, ja, sie ist es sogar mit großer Wahrscheinlichkeit. Die Ursachen dafür sind vielschichtig. Wurde die Prognose mit einem quantitativen Verfahren ermittelt, so kann die Verwendung eines ungeeigneten mathematischen Modells dafür verantwortlich sein. Die Auswahl eines gut geeigneten Modells muss deswegen ein wesentlicher Schritt in einem Prognoseverfahren sein. Ein ganz wichtiger Aspekt ist auch, dass die für die weitere Entwicklung eines Systems verantwortlichen Gesetzmäßigkeiten genauso schon in der Vergangenheit gewirkt haben müssen, um die Entwicklung in der Zukunft daraus ableiten zu können. Haben z.B. äußere Einflüsse in der jüngeren Vergangenheit zu einem Strukturbruch in der Entwicklung geführt, so sind die Informationen aus der Zeit vor diesem Bruch womöglich irrelevant und verfälschen die Vorhersage. Da im Weiteren immer Zeitreihen als Informationsquelle für eine Prognose dienen, sollten diese zunächst auf Strukturbrüche untersucht und gegebenenfalls gekürzt oder ganz aussortiert werden. Eine Fehlerquelle liegt natürlich auch in einem Umstand, der ein Standardproblem der Statistik ist, nämlich dass aus endlich vielen Beobachtungen gewonnene Schätzwerte in der Regel vom wahren Parameterwert mehr oder weniger abweichen. Darüber hinaus kann es passieren, dass numerische Verfahren zur Ermittlung optimaler Parameterschätzwerte nicht die optimale Lösung liefern, sondern vielleicht nur lokal optimale Lösungen, die vom gewünschten globalen Optimum weit entfernt sein können. Hier sind stabile numerische Verfahren zur Schätzung der unbekannten Modellparameter gefragt. Und schließlich entstehen Fehler auch deshalb, weil die einer Zeitreihe innewohnenden Gesetzmäßigkeiten immer auch durch zufällige, nicht erklärbare und damit auch nicht prognostizierbare Einflüsse überlagert werden. Diese Fehlerursache kann man prinzipiell nicht abstellen und muss sie daher in der Modellierung berücksichtigen.

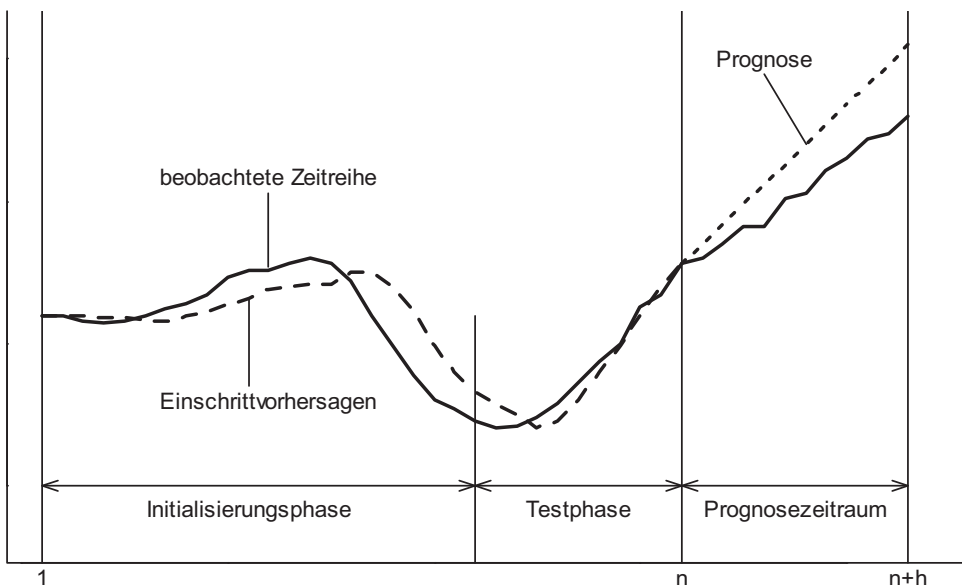
Um die Güte einer Prognose mit einer einzelnen Maßzahl zu bewerten, sind verschiedene **Fehlermaße** konstruiert worden. Dazu wird angenommen, dass die Prognosewerte ex post mit den tatsächlich eingetretenen Werten verglichen werden können. Um es genauer zu formulieren, seien mit $y_1, y_2, \dots, y_n$ Beobachtungswerte bezeichnet, die zu einem Merkmal in zeitlicher Abfolge erhoben worden sind. Der letzte Zeitpunkt n kann dabei als Gegenwart interpretiert werden. Aus diesen Werten ist eine Prognose $\hat{y}_{n+1}, \dots, \hat{y}_{n+h}$ für die nächsten h in der Zukunft liegenden Werte erstellt worden. Schreitet die Zeit weiter fort, sind dann irgendwann einmal zu den prognostizierten Zeitpunkten auch die tatsächlichen Werte $y_{n+1}, \dots, y_{n+h}$ bekannt, so dass mit geeigneten Fehlermaßen der Unterschied zwischen Prognose und Realität gemessen werden kann. Bei den drei am häufigsten verwendeten Fehlermaßen, die jetzt vorgestellt werden, handelt es sich um durchschnittliche Abweichungen der prognostizierten von den beobachteten Werten. Je kleiner die Maßzahlen sind, desto besser spiegelt die Prognose die Realität wider. Im Idealfall null ist die Prognose völlig exakt gewesen, nach oben gibt es keine natürliche Grenze. Die Fehlermaße sind

- **der mittlere quadratische Fehler**
$$MSE = \frac{1}{h} \sum_{t=n+1}^{n+h} (\hat{y}_t - y_t)^2,$$
- **der mittlere absolute Fehler**
$$MAE = \frac{1}{h} \sum_{t=n+1}^{n+h} |\hat{y}_t - y_t| \quad \text{und}$$
- **der mittlere absolute prozentuale Fehler**
$$MAPE = \frac{100\%}{h} \sum_{t=n+1}^{n+h} \left| \frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \right|.$$

Die hier verwendeten Abkürzungen beziehen sich auf die entsprechenden englischen Begriffe *mean squared error*, *mean absolute error* bzw. *mean absolute percentage error*. Da sich in der Zeitreihenanalyse international immer mehr die englischen Bezeichnungen durchsetzen, werden wir es auch im weiteren Text so halten.

Es wäre natürlich weitaus praktikabler, wenn man die Qualität einer Vorhersage schon beurteilen könnte, bevor die Zukunft eingetreten ist. Es gibt da so eine Idee, wie man das Instrument des Fehlermaßes auch ex ante benutzen kann. Die Idee besteht darin, vom Ende der Beobachtungsreihe ein Stück abzuschneiden und als Testphase zu benutzen (vgl. **Abbildung 2.4**).

Abbildung 2.4 Zeitschema zur Fehlerbeurteilung



Mit den verbleibenden Beobachtungswerten wird eine Prognose für die Werte in der Testphase erstellt, indem man zunächst so tut, als könne man die Werte dort nicht. Dann kann

man die Prognosewerte mit den Beobachtungswerten in der Testphase vergleichen und Fehlermaße berechnen. So ist es z. B. möglich, unter verschiedenen Verfahren das geeignetste auszuwählen. Hier muss man allerdings aufpassen: Mit wachsender Anzahl von Parametern, die man in das Modell aufnimmt, bekommt man das Fehlermaß im Prinzip beliebig klein. Dadurch passt man aber das Modell zunehmend an den konkreten Verlauf in der Testphase an und die Gültigkeit des Verfahrens für die Zukunftsphase und die Wiederholbarkeit des Verfahrens mit einer anderen Stichprobe werden immer fragwürdiger. Um diese sogenannte **Überanpassung** zu vermeiden, sollten mit Hilfe der Fehlermaße nur Modelle miteinander verglichen werden, die dieselbe Anzahl offener Parameter verwenden. Einen anderen Ausweg aus diesem Dilemma liefern die Informationskriterien, bei denen dem Fehlermaß ein Strafterm für viele Parameter additiv hinzugefügt wird. Damit kann man dann auch Modelle mit unterschiedlich vielen Parametern einigermaßen miteinander vergleichen. Solche Informationskriterien werden später im Abschnitt 5.5.3 näher behandelt.

Eine Möglichkeit, verschiedene Verfahren direkt miteinander zu vergleichen, bieten sogenannte Vergleichskriterien. Mit ihnen werden vor allem Unterschiede zu bekannten Prognoseverfahren gemessen. So bewertet der **Ungleichheitskoeffizient von Theil** U den Unterschied zu einer naiven Prognose, die als Vorhersage $\hat{y}_{n+1} := y_n$ einfach den zuletzt beobachteten Wert nimmt, wie folgt:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{t=n+1}^{n+h} (\hat{y}_t - y_t)^2}{\sum_{t=n+1}^{n+h} (y_{t-1} - y_t)^2}}.$$

Dieser Koeffizient ist die Quadratwurzel aus dem Verhältnis der MSE-Werte von vorgenommener Prognose zur naiven Prognose. Im Falle $U = 0$ war die eigene Prognose vollkommen exakt, für $U < 1$ war sie zumindest noch besser als die naive und für $U = 1$ war sie der naiven Prognose gleichwertig. Sollte sich der Ungleichheitskoeffizient sogar größer als 1 erweisen, war der ganze Aufwand wohl vergebens. Börsenkurse z. B. gelten gemeinhin als nicht vorhersagbar, gerade weil es bisher nicht gelungen, für sie Prognoseverfahren zu entwickeln, die beständig mit einem Ungleichheitskoeffizienten kleiner als 1 aufwarten können.

2.5 Literatur

- Cowpertwait PSP, Metcalfe AV (2009) Introductory Time Series with R. Springer, Dordrecht
- Mertens P, Rässler, S (2012) (Hrsg) Prognoserechnung. Physica, Berlin
- Schlittgen R (2012): Angewandte Zeitreihenanalyse mit R. München. Oldenbourg, München

Prognose von Zeitreihen

Eine Einführung für Wirtschaftswissenschaftler

Vogel, J.

2015, VIII, 159 S. 73 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-06836-3