

# **Ökonometrie in Theorie und Praxis**

Panchanan Das

# Ökonometrie in Theorie und Praxis

Analyse von Querschnitt-, Zeitreihen- und Paneldaten mit Stata 15.1

Panchanan Das  
Department of Economics  
University of Calcutta  
Kolkata, Indien

ISBN 978-981-99-5939-6                    ISBN 978-981-99-5940-2 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-981-99-5940-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnetet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Carina Reibold  
Springer Gabler ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Nature Singapore Pte Ltd. und ist ein Teil von Springer Nature.  
Die Anschrift der Gesellschaft ist: 152 Beach Road, #21-01/04 Gateway East, Singapore 189721, Singapore

Das Papier dieses Produkts ist recyclebar.

*Gewidmet meinem verstorbenen Vater  
Bibhuti Bhushan Das*

# Vorwort

Dieses Buch ist das Ergebnis meiner Erfahrung im Lernen und Lehren von Ökonometrie seit mehr als 3 Jahrzehnten. Gute Bücher zur Ökonometrie sind verfügbar, aber es fehlt an benutzerfreundlichen Büchern mit einer angemessenen Kombination aus Theorie und Anwendungspraxis mit statistischer Software. Die Bücher insbesondere von Maddala, Wooldridge, Greene, Enders, Maddala und Kim, Hsiao und Baltagi sind sehr wertvoll. Das Buch von Gujarati zeugt auch von beachtlichen Fähigkeiten, ökonometrische Theorien für Graduiertenstudenten zu erläutern. Viele Wissenschaftler, Studenten und Forscher verwenden jedoch heute statistische Software für empirische Analysen. Ich habe sowohl EViews als auch Stata in meiner Lehre und Forschung eingesetzt und persönlich festgestellt, dass Stata im Vergleich mit EViews genauso leistungsfähig oder flexibel ist. Darüber hinaus wird Stata umfangreich verwendet, um große Datensätze zu verarbeiten. Dieses Buch ist eine sinnvolle Kombination aus ökonometrischer Theorie und Anwendung von Stata 15.1.

Der grundlegende Zweck dieses Textes besteht darin, die ökonometrische Analyse von Querschnittsdaten, Zeitreihen und Paneldaten mit der Anwendung statistischer Software einzuführen. Es kann als Grundlage für diejenigen dienen, die ökonometrische Analysen in der empirischen Forschung erlernen und anwenden möchten. Das Präsentationsniveau wird so einfach wie möglich gehalten, damit das Buch sowohl für Bachelor- als auch für Masterstudenten geeignet ist. Es enthält mehrere Beispiele mit echten Daten und Stata-Programmen sowie Interpretation der Ergebnisse.

Dieses Buch richtet sich in erster Linie an Graduierte und Postgraduierte in Universitäten in Indien und im Ausland sowie an Forscher auf den Gebieten der Sozialwissenschaften, Wirtschaft, Management, Operations Research, Ingenieurwesen oder der angewandten Mathematik. In diesem Buch wird die Ökonometrie als ein Fach betrachtet, das sich mit einer Reihe von Datenanalysetechniken befasst, die in der empirischen Forschung umfangreich eingesetzt werden. Ziel ist es, den Studierenden die Fähigkeiten zu vermitteln, die für die Durchführung unabhängiger angewandter Forschung mit modernen ökonometrischen Methoden erforderlich sind. Es behandelt die statistischen Werkzeuge, die zum

Verständnis empirischer Wirtschaftsforschung und zur Planung und Durchführung unabhängiger Forschungsprojekte benötigt werden. Es versucht, ein Gleichgewicht zwischen Theorie und angewandter Forschung zu schaffen. Verschiedene Konzepte und Techniken der ökonometrischen Analyse werden durch sorgfältig entwickelte Beispiele mit dem Einsatz des statistischen Softwarepaketes Stata 15.1 unterstützt. Hoffentlich wird dieses Buch erfolgreich sein, die Lücke zwischen dem Erlernen der Ökonometrie und dem Erlernen der Verwendung von Stata zu schließen.

Es ist ein Versuch, ökonometrische Theorien auf studentenfreundliche Weise in den Lernkanon zu integrieren, um die für die empirische Forschung benötigten Techniken richtig zu verstehen. Es fordert sowohl Studenten als auch professionelle Analysten aufgrund seiner ausgewogenen Diskussion der Theorien mit Softwareanwendungen. Dieses Buch sollte jedoch nicht als Ersatz für die etablierten Texte, die in der Akademie verwendet werden, dienen; vielmehr kann es als ergänzender Text in Ökonometriekursen auf Bachelor- und Masterniveau dienen. Die Diskussion in diesem Buch basiert auf der Annahme, dass der Leser ein wenig mit der Stata-Software und anderen statistischen Programmierungen vertraut ist. Die Stata-Handbücher der Stata Corporation bieten eine detaillierte Erklärung und Syntax für alle in diesem Buch verwendeten Befehle. Die zur Illustration verwendeten Daten stammen hauptsächlich aus offiziellen Quellen wie CSO (Central Statistical Office; Government of India), NSSO (National Sample Survey Office) und ILO (International Labour Organization).

Die in diesem Buch behandelten Themen sind in 4 Teile unterteilt. Teil I ist die Diskussion über einführende ökonometrische Methoden, die den Lehrplan von Graduiertenkursen an der Universität von Kalkutta, der Universität von Delhi und anderen führenden Universitäten in Indien und im Ausland abdecken. Dieser Teil des Buches bietet eine Einführung in grundlegende ökonometrische Methoden zur Datenanalyse, die Ökonomen und andere Sozialwissenschaftler verwenden, um die wirtschaftlichen und sozialen Beziehungen einzuschätzen und mit realen Daten Hypothesen darüber zu testen. Die 5 Kapitel in diesem Teil decken die Datenmanagementprobleme, Details der linearen Regressionsmodelle und die damit aufgrund der Verletzung der klassischen Annahmen verbundenen Probleme ab. Kap. 1 bietet einige grundlegende Schritte, die in der Ökonometrie und der statistischen Software Stata 15,1 für die nützliche Anwendung ökonometrischer Theorien verwendet werden. Kap. 2 diskutiert das lineare Regressionsmodell und seine Anwendung mit Querschnittsdaten. Kap. 3 befasst sich mit diesem Problem der statistischen Inferenz eines linearen Regressionsmodells. Kap. 4 lockert die Homoskedastizität und Nichtautokorrelations-Annahmen des zufälligen Fehlers eines linearen Regressionsmodells und zeigt, wie die Parameter des linearen Modells korrekt geschätzt werden. Kap. 5 diskutiert das Erkennen von Multikollinearität und Alternativen zur Behandlung des Problems.

Teil II diskutiert einige erweiternde Themen, die häufig in der empirischen Forschung mit Querschnittsdaten verwendet werden. Dieser Teil enthält 3 Kapitel, die einige spezifische Probleme der Regressionsanalyse einbeziehen. Kap. 6 erklärt, wie qualitative erklärende Variablen in ein lineares Modell integriert

werden können. Kap. 7 bietet ökonometrische Modelle mit begrenzten abhängigen Variablen und Probleme der abgeschnittenen Verteilung, der Stichprobenauswahlverzerrung und der multinomialen Logit. Ein besonderer Schwerpunkt wird aufgrund ihrer Beliebtheit in der empirischen Forschung mit Querschnittsdaten auf die multivariate Analyse, insbesondere die Hauptkomponentenanalyse und die Faktorenanalyse gelegt. Kap. 8 erfasst diese Fragen.

Teil III befasst sich mit der ökonometrischen Analyse von Zeitreihen. Zeitreihendaten haben einige besondere Merkmale, und sie sollten sehr vorsichtig behandelt werden. Die Ökonometrie von Zeitreihen wurde in modernem Ansatz seit den frühen 1980er Jahren mit den Veröffentlichungen von Engle und Granger gestaltet und wurde mit der Entwicklung benutzerfreundlicher Software sehr populär in der empirischen Forschung. Dieses Buch behandelt eingehend sowohl die univariaten als auch die multivariaten Zeitreihen-Ökonometriemodelle und ihre Anwendungen mit Softwareprogrammierung in 6 Kapiteln. Dieser Teil beginnt mit der Diskussion über den Datengenerierungsprozess von Zeitreihendaten in Kap. 9. Kap. 10 befasst sich mit verschiedenen Merkmalen des Datengenerierungsprozesses (DGP) einer Zeitreihe in einem univariaten Rahmen. Das Vorhandensein von Einheitswurzeln in makroökonomischen Zeitreihen hat seit den frühen 1980er Jahren einen großen Bereich der theoretischen und angewandten Forschung erhalten. Kap. 11 stellt einige Fragen bezüglich Einheitswurzeltests vor und untersucht einige der Implikationen für die makroökonomische Theorie und Politik. Kap. 12 untersucht die grundlegenden konzeptionellen Fragen, die bei der Schätzung der Beziehung zwischen 2 oder mehr nichtstationären Zeitreihen mit Einheitswurzeln beteiligt sind. Kap. 13 untersucht das Verhalten der Volatilität in Bezug auf das Modell der bedingten Heteroskedastizität. Prognosen sind wichtig in der Wirtschaft, im Handel und in verschiedenen Disziplinen der Sozialwissenschaft und der Naturwissenschaften. Kap. 14 zielt darauf ab, einen Überblick über die Prognose auf der Grundlage der Zeitreihenanalyse zu geben.

Teil IV befasst sich mit der Analyse von Paneldaten in 4 Kapiteln. Paneldaten haben mehrere Vorteile gegenüber den Querschnitts- und Zeitreihendaten. Die Ökonometrie von Paneldaten gewinnt heutzutage an Popularität aufgrund der Verfügbarkeit von Paneldaten im öffentlichen Bereich. Verschiedene Aspekte von festen Effekten und zufälligen Effekten werden hier diskutiert. Ich habe die Analyse von Paneldaten durch die Aufnahme von dynamischen Paneldatenmodellen erweitert, die am besten für die makroökonomische Forschung geeignet sind. Kap. 15 diskutiert verschiedene Arten von Paneldatenmodellen in einem statischen Zusammenhang. Kap. 16 befasst sich mit Hypothesentests zur Untersuchung von Paneldaten in einem statischen Rahmen. Paneldaten mit langen Zeiträumen werden überwiegend in der angewandten makroökonomischen Forschung verwendet, wie zum Beispiel Kaufkraftparität, Wachstumskonvergenz, Geschäftszyklussynchronisation usw. Kap. 17 beleuchtet einige theoretische Fragen und die Anwendung beim Testen auf Einheitswurzeln in Paneldaten. Das dynamische Modell im Rahmen von Paneldaten ist sehr populär in der empirischen Forschung. Kap. 18 konzentriert sich auf einige Fragen des dynamischen Paneldatenmodells.

Alle Kapitel in diesem Buch bieten Anwendungen von ökonometrischen Modellen unter Verwendung von Stata. Die einfache und trotzdem gründliche Darstellung einiger schwieriger Themen ist die größte Stärke dieses Buches. Während die Bayes'sche Ökonometrie, nichtparametrisch und semiparametrisch, heute eine populäre Methode ist, um die Eigenschaften der Daten in einer komplexeren realen Situation zu erfassen, versuche ich nicht, diese Themen abzudecken, da ich in diesen Bereichen einen vergleichsweise großen Nachteil habe und um den technischen Schwierigkeitsgrad auf einem möglichst niedrigen Niveau zu halten. Trotz dieser Einschränkungen sind die in diesem Buch behandelten Themen grundlegend und notwendig für die ökonometrische Ausbildung jedes Studenten in Wirtschaftswissenschaften und anderen Disziplinen. Ich hoffe, die Studierenden der Ökonometrie werden meinen Optimismus und meine Begeisterung für die Bedeutung der verschiedenen ökonometrischen Methoden teilen, die sie durch die Lektüre dieses Buches erlernen werden. Hoffentlich wird es ihr Interesse an der empirischen Forschung in Wirtschafts- und anderen Bereichen der Sozialwissenschaften erhöhen.

Kalkutta, Indien  
Mai 2019

Panchanan Das

# Danksagungen

Mein seit mehr als 3 Jahrzehnten andauerndes Interesse an der Ökonometrie wurde von meinen Lehrern auf verschiedenen Ebenen initiiert. Ich würdige den Beitrag von Amiya Kumar Bagchi, meinem Lehrer und Doktorvater, auf dem Gebiet der empirischen Forschung, der mich ermutigte, die Ökonometrie zumindest indirekt zu erlernen. Neben anderen sollte ich Dipankor Coondoo vom Indian Statistical Institute, Kalkutta, erwähnen, der mir geholfen hat, verschiedene Aspekte des Fachs klar zu verstehen. Sankar Kumar Bhoumik, mein älterer Kollege und Freund, hat mir sehr geholfen, das Fach zu erlernen, indem er mir Zugang zum Unterricht auf postgradualer Ebene an der Wirtschaftsfakultät der Universität von Kalkutta ermöglichte, sogar lange bevor ich der Fakultät als ständiger Dozent beitrat. Ich bin auch meinem Lehrer, Manoj Kumar Sanyal, sehr dankbar, der in der Tat eine ständige Quelle der Ermutigung zum Lernen und Denken ist. Ich bin überzeugt, dass sie auf irgendeine Weise sie den Hintergrund dafür geschaffen haben, dass dieses Buch geschrieben wurde.

Eine Reihe von Freunden und Kollegen haben frühere Entwürfe des Buches kommentiert oder auf andere Weise geholfen. Ich bin Maniklal Adhikary, Anindita Sengupta, Pradip Kumar Biswas und anderen für ihre Hilfe und Ermutigung dankbar. Diskussionen mit Oleg Golichenko und Kirdina Svetlana von der Higher School Economics, Moskau, waren hilfreich, um einige meiner Ideen zu verdeutlichen.

Alle verbleibenden Fehler und Auslassungen liegen natürlich in meiner Verantwortung, und ich freue mich, wenn sie mir zur Kenntnis gebracht werden.

Ich bin der Wirtschaftsfakultät der Universität von Kalkutta dankbar, die eine angemessene Infrastruktur bereitgestellt hat, in der ich während meines Lernens und Lehrens Zeit verbracht habe. Ein besonderer Dank gilt dem Leiter der Wirtschaftsfakultät und den Amtsträgern der Universität von Kalkutta.

Ich bin meiner Frau, Krishna, äußerst dankbar, die während der Vorbereitung der Manuskripte viele meiner Aufgaben im Haushalt übernommen hat.

Schließlich danke ich dem Redaktionsteam des Springer-Verlags für die Hilfe bei der Indizierung und im Lektorat. Ich bin Sagarika Ghosh von Springer für die Ermutigung zu diesem Projekt dankbar.

Kalkutta, Indien

Mai 2019

Panchanan Das

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Einführende Ökonometrie

<b>1</b>	<b>Einführung in die Ökonometrie und statistische Software . . . . .</b>	<b>3</b>
1.1	Einleitung . . . . .	3
1.2	Ökonomisches Modell und ökonometrisches Modell . . . . .	6
1.3	Populationsregressionsfunktion und Stichprobenregressionsfunktion . . . . .	9
1.4	Parametrisches und nichtparametrisches oder semiparametrisches Modell . . . . .	12
1.5	Schritte bei der Formulierung eines ökonometrischen Modells . . . . .	12
1.5.1	Spezifikation . . . . .	13
1.5.2	Schätzung . . . . .	14
1.5.3	Testen von Hypothesen . . . . .	15
1.5.4	Prognose . . . . .	16
1.6	Daten . . . . .	17
1.6.1	Querschnittsdaten . . . . .	17
1.6.2	Zeitreihendaten . . . . .	18
1.6.3	Gepoolte Querschnittsdaten . . . . .	19
1.6.4	Paneldaten . . . . .	19
1.7	Verwendung von ökonometrischer Software: <i>Stata 15.1</i> . . . . .	20
1.7.1	Datenmanagement . . . . .	21
1.7.2	Variablen generieren . . . . .	24
1.7.3	Daten beschreiben . . . . .	25
1.7.4	Grafiken . . . . .	25
1.7.5	Logische Operatoren in Stata . . . . .	26
1.7.6	Funktionen in Stata . . . . .	26
1.8	Matrixalgebra . . . . .	27
1.8.1	Matrix und Vektor: Grundoperationen . . . . .	27
1.8.2	Partitionierte Matrizen . . . . .	31
1.8.3	Rang einer Matrix . . . . .	31
1.8.4	Inverse Matrix . . . . .	33

1.8.5	Positive definite Matrix . . . . .	33
1.8.6	Spur einer Matrix . . . . .	34
1.8.7	Orthogonale Vektoren und Matrizen . . . . .	34
1.8.8	Eigenwerte und Eigenvektoren . . . . .	35
Literatur . . . . .		38
<b>2</b>	<b>Lineares Regressionsmodell: Eigenschaften und Schätzung . . . . .</b>	<b>39</b>
2.1	Einleitung . . . . .	39
2.2	Das einfache lineare Regressionsmodell. . . . .	40
2.3	Mehrfaches lineares Regressionsmodell. . . . .	44
2.4	Annahmen des linearen Regressionsmodells . . . . .	49
2.4.1	Nichtstochastische Regressoren. . . . .	49
2.4.2	Linearität . . . . .	49
2.4.3	Nullbedingter Durchschnitt . . . . .	50
2.4.4	Exogenität . . . . .	50
2.4.5	Homoskedastizität . . . . .	51
2.4.6	Nichtautokorrelation . . . . .	51
2.4.7	Vollständiger Rang. . . . .	52
2.4.8	Normalverteilung . . . . .	53
2.5	Schätzmethoden . . . . .	53
2.5.1	Die Momentenmethode (MM) . . . . .	53
2.5.2	Die Methode der kleinsten Quadrate ("ordinary least squares"; OLS). . . . .	54
2.5.3	Maximum-Likelihood-Methode . . . . .	62
2.6	Eigenschaften der OLS-Schätzung . . . . .	66
2.6.1	Algebraische Eigenschaften. . . . .	66
2.6.2	Statistische Eigenschaften . . . . .	69
Literatur . . . . .		75
<b>3</b>	<b>Lineares Regressionsmodell: Güte der Anpassung und Hypothesentest . . . . .</b>	<b>77</b>
3.1	Einleitung . . . . .	77
3.2	Güte der Anpassung . . . . .	78
3.2.1	Das $R^2$ als Maß für die Güte der Anpassung . . . . .	79
3.2.2	Das angepasste $R^2$ als Maß für die Güte der Anpassung . . . . .	81
3.3	Testen von Hypothesen . . . . .	83
3.3.1	Stichprobenverteilungen der OLS-Schätzer. . . . .	84
3.3.2	Testen von Hypothesen für einen einzelnen Parameter . . . . .	86
3.3.3	Verwendung des $p$ -Werts . . . . .	92
3.3.4	Intervallschätzungen . . . . .	92
3.3.5	Prüfung von Hypothesen für mehr als einen Parameter: $t$ -Test . . . . .	92
3.3.6	Testen der Signifikanz der Regression: $F$ -Test . . . . .	94

Inhaltsverzeichnis	XV
3.3.7 Testen auf Linearität . . . . .	96
3.3.8 Tests für Stabilität . . . . .	98
3.3.9 Varianzanalyse . . . . .	99
3.3.10 Likelihood-Ratio-Test, Wald- und Lagrange-Multiplikatortest . . . . .	100
3.4 Lineares Regressionsmodell mit Stata 15.1 . . . . .	104
3.4.1 OLS-Schätzung in Stata. . . . .	104
3.4.2 Maximum-Likelihood-Schätzung (MLE) in Stata . . . . .	107
Literatur . . . . .	111
<b>4 Lineares Regressionsmodell: Lockerung der klassischen Annahmen . . . . .</b>	113
4.1 Einleitung . . . . .	113
4.2 Heteroskedastizität . . . . .	114
4.2.1 Probleme mit heteroskedastischen Daten . . . . .	115
4.2.2 Heteroskedastizitätsrobuste Varianz. . . . .	117
4.2.3 Testen auf Heteroskedastizität . . . . .	119
4.2.4 Problem der Schätzung . . . . .	121
4.2.5 Illustration der heteroskedastischen linearen Regression mit Stata . . . . .	123
4.3 Autokorrelation . . . . .	130
4.3.1 Lineares Regressionsmodell mit autokorreliertem Fehler . . . . .	131
4.3.2 Test auf Autokorrelation: Durbin-Watson-Test . . . . .	133
4.3.3 Folgen der Autokorrelation . . . . .	135
4.3.4 Korrektur für Autokorrelation . . . . .	135
4.3.5 Illustration durch Verwendung von Stata . . . . .	136
Literatur . . . . .	140
<b>5 Analyse von kollinearen Daten: Multikollinearität . . . . .</b>	141
5.1 Einleitung . . . . .	141
5.2 Multiple Korrelation und partielle Korrelation . . . . .	142
5.3 Probleme in Anwesenheit von Multikollinearität . . . . .	144
5.4 Multikollinearität erkennen. . . . .	147
5.4.1 Determinante von $(X'X)$ . . . . .	147
5.4.2 Determinante der Korrelationsmatrix . . . . .	147
5.4.3 Inspektion der Korrelationsmatrix . . . . .	148
5.4.4 Messung basierend auf partieller Regression. . . . .	148
5.4.5 Theil's measure of multicollinearity (Theils Maß für Multikollinearität) . . . . .	148
5.4.6 Variance Inflation Factor (VIF) . . . . .	149
5.4.7 Eigenwerte und Konditionszahlen . . . . .	150
5.5 Umgang mit Multikollinearität . . . . .	152
5.6 Illustration mit Stata . . . . .	154
Literatur . . . . .	156

## Teil II Erweiterte Analyse von Querschnittsdaten

<b>6 Lineares Regressionsmodell: Qualitative Variablen als Prädiktoren . . . . .</b>	159
6.1 Einleitung . . . . .	159
6.2 Regressionsmodell mit Intercept-Dummy . . . . .	161
6.2.1 Dichotomer Faktor . . . . .	161
6.2.2 Polynome Faktoren . . . . .	162
6.3 Regressionsmodell mit Interaktions-Dummy . . . . .	164
6.4 Illustration durch Verwendung von Stata . . . . .	166
<b>7 Modell mit begrenzter abhängiger Variable . . . . .</b>	173
7.1 Einleitung . . . . .	173
7.2 Lineares Wahrscheinlichkeitsmodell . . . . .	174
7.3 Binäre Antwortmodelle: Logit und Probit . . . . .	176
7.3.1 Das Logit-Modell . . . . .	179
7.3.2 Das Probit-Modell . . . . .	180
7.3.3 Unterschied zwischen Logit- und Probit-Modellen . . . . .	181
7.4 Maximum-Likelihood-Schätzung von Logit- und Probit-Modellen . . . . .	181
7.4.1 Interpretation der geschätzten Koeffizienten . . . . .	183
7.4.2 Anpassungsgüte . . . . .	184
7.4.3 Testen von Hypothesen . . . . .	185
7.4.4 Illustration des binären Antwortmodells mit Stata . . . . .	186
7.5 Regressionsmodell mit trunkierter (gestutzter) Verteilung . . . . .	191
7.5.1 Illustration der trunkierten (gestutzten) Regression mit Stata . . . . .	195
7.6 Problem der Zensur: Tobit-Modell . . . . .	199
7.6.1 Illustration des Tobit-Modells mit Stata . . . . .	200
7.7 Modelle mit Stichprobenauswahlverzerrung . . . . .	203
7.7.1 Illustration des Stichprobenauswahlmodells mit Stata . . . . .	207
7.8 Multinomiale Logit-Regression . . . . .	208
7.8.1 Illustration mit Stata . . . . .	211
Literatur . . . . .	214
<b>8 Multivariate Analyse . . . . .</b>	217
8.1 Einleitung . . . . .	217
8.2 Darstellung multivariater Daten . . . . .	218
8.2.1 Multivariate Beobachtungen . . . . .	218
8.2.2 Mittelwertvektor der Stichprobe . . . . .	221
8.2.3 Populationsmittelwertvektor . . . . .	221
8.2.4 Kovarianzmatrix . . . . .	222
8.2.5 Korrelationsmatrix . . . . .	223
8.2.6 Lineare Kombination von Variablen . . . . .	224
8.3 Multivariate Normalverteilung . . . . .	227

8.4	Hauptkomponentenanalyse . . . . .	228
8.4.1	Berechnung der Hauptkomponenten . . . . .	229
8.4.2	Eigenschaften der Hauptkomponenten . . . . .	232
8.4.3	Veranschaulichung mit Stata . . . . .	232
8.5	Faktorenanalyse . . . . .	235
8.5.1	Orthogonales Faktorenanalyse . . . . .	236
8.5.2	Schätzung von Beladungen und Gemeinsamkeiten . . . . .	238
8.5.3	Faktorladungen sind nicht eindeutig . . . . .	241
8.5.4	Faktorrotation . . . . .	242
8.5.5	Illustration mit Stata . . . . .	242
8.6	Multivariate Regression . . . . .	245
8.6.1	Struktur des Regressionsmodells . . . . .	246
8.6.2	Eigenschaften der kleinsten Quadrate Schätzer von $B$ . . . . .	247
8.6.3	Modell korrigiert für Mittelwerte . . . . .	248
8.6.4	Kanonische Korrelationen . . . . .	249
	Literatur . . . . .	252

### **Teil III Analyse von Zeitreihendaten**

<b>9</b>	<b>Zeitreihen: Datenerzeugender Prozess . . . . .</b>	<b>255</b>
9.1	Einleitung . . . . .	255
9.2	Datengenerierender Prozess (DGP) . . . . .	256
9.2.1	Stationärer Prozess . . . . .	259
9.2.2	Nichtstationärer Prozess . . . . .	261
9.3	Methoden der Zeitreihenanalyse . . . . .	262
9.4	Saisonalität und saisonale Anpassung . . . . .	263
9.5	Erstellung einer Zeitvariablen mit Stata . . . . .	264
	Literatur . . . . .	268
<b>10</b>	<b>Stationäre Zeitreihen . . . . .</b>	<b>269</b>
10.1	Einleitung . . . . .	269
10.2	Univariates Zeitreihenmodell . . . . .	270
10.3	Autoregressiver Prozess (AR) . . . . .	272
10.3.1	Der autoregressive Prozess 1. Ordnung . . . . .	273
10.3.2	Der autoregressive Prozess 2. Ordnung . . . . .	277
10.3.3	Der autoregressive Prozess der Ordnung $p$ . . . . .	283
10.3.4	Allgemeine lineare Prozesse . . . . .	284
10.4	Der gleitende Durchschnitt (MA-Prozess) . . . . .	286
10.4.1	Der Prozess der Moving Average 1. Ordnung . . . . .	286
10.4.2	Der Moving Average-Prozess 2. Ordnung . . . . .	287
10.4.3	Der gleitende Durchschnittsprozess der Ordnung $q$ . . . . .	288
10.4.4	Umkehrbarkeit im gleitenden Durchschnittsprozess . . . . .	288

10.5	Autoregressiver gleitender Durchschnitt (ARMA-Prozess) . . . . .	289
10.6	Autokorrelationsfunktion . . . . .	292
10.6.1	Autokorrelationsfunktion für AR(1) . . . . .	293
10.6.2	Autokorrelationsfunktion für AR(2) . . . . .	294
10.6.3	Autokorrelationsfunktion für AR( $p$ ) . . . . .	297
10.6.4	Autokorrelationsfunktion für MA(1) . . . . .	298
10.6.5	Autokorrelationsfunktion für MA(2) . . . . .	299
10.6.6	Autokorrelationsfunktion für MA( $q$ ) . . . . .	300
10.6.7	Autokorrelationsfunktion für ARMA-Prozess . . . . .	300
10.7	Partielle Autokorrelationsfunktion (PACF) . . . . .	301
10.7.1	Partielle Autokorrelation für AR-Serien . . . . .	303
10.7.2	Partielle Autokorrelation für MA-Serien . . . . .	305
10.8	Stichprobenautokorrelationsfunktion . . . . .	306
10.8.1	Illustration durch Verwendung von Stata . . . . .	306
	Literatur . . . . .	310
<b>11</b>	<b>Nichtstationarität, Einheitswurzel und Strukturbruch</b> . . . . .	311
11.1	Einleitung . . . . .	312
11.2	Analyse des Trends . . . . .	313
11.2.1	Deterministische Funktion der Zeit . . . . .	313
11.2.2	Stochastische Funktion der Zeit . . . . .	314
11.2.3	Stochastische und deterministische Funktion der Zeit . . . . .	316
11.3	Konzept der Einheitswurzel . . . . .	318
11.4	Einheitswurzeltest . . . . .	320
11.4.1	Dickey-Fuller-Einheitswurzeltest . . . . .	321
11.4.2	Erweiterter Dickey-Fuller-Einheitswurzeltest (ADF-Einheitswurzeltest) . . . . .	325
11.4.3	Phillips-Perron-Einheitswurzeltest . . . . .	332
11.4.4	Dickey-Fuller-GLS-Test . . . . .	334
11.4.5	Stationaritätstests . . . . .	337
11.4.6	Mehrere Einheitswurzeln . . . . .	340
11.4.7	Einige Probleme mit Einheitswurzeltests . . . . .	342
11.4.8	Makroökonomische Implikationen der Einheitswurzel . . . . .	342
11.5	Testen auf Strukturbruch . . . . .	343
11.5.1	Tests mit bekannten Bruchpunkten . . . . .	343
11.5.2	Tests mit unbekannten Bruchpunkten . . . . .	347
11.6	Einheitswurzeltest mit Bruch . . . . .	356
11.6.1	Wenn der Break Point exogen ist . . . . .	356
11.6.2	Wenn der Bruchpunkt endogen ist . . . . .	361
11.7	Jahreszeitliche Anpassung . . . . .	362
11.7.1	Einheitswurzeln bei verschiedenen Frequenzen: Saisonale Einheitswurzel . . . . .	364
11.7.2	Erzeugung von Zeitvariablen und saisonalen Dummies in Stata . . . . .	366

11.8	Zerlegung einer Zeitreihe in Trend und Zyklus . . . . .	368
Literatur . . . . .		372
<b>12</b>	<b>Kointegration, Fehlerkorrektur und Vektorautoregression . . . . .</b>	<b>375</b>
12.1	Einleitung . . . . .	375
12.2	Regression mit Trendvariablen . . . . .	376
12.3	Konzept der Kointegration . . . . .	378
12.4	Granger-Repräsentationstheorem . . . . .	382
12.5	Testen auf Kointegration: 2-Schritte-Methode nach Engle u. Granger . . . . .	383
	12.5.1 Illustrationen mit Stata . . . . .	385
12.6	Vektorautoregression (VAR) . . . . .	387
	12.6.1 Stationaritätsbeschränkung eines VAR-Prozesses . . . . .	390
	12.6.2 Autokovarianzmatrix eines VAR-Prozesses . . . . .	393
	12.6.3 Schätzung eines VAR-Prozesses . . . . .	395
	12.6.4 Auswahl der Verzögerungslänge eines VAR-Modells . . . . .	399
	12.6.5 Illustration mit Stata . . . . .	399
12.7	Vektor-Moving-Average-Prozesse . . . . .	400
12.8	Impulsantwortfunktion . . . . .	401
	12.8.1 Illustration mit Stata . . . . .	405
12.9	Varianzzerlegung . . . . .	407
12.10	Granger-Kausalität . . . . .	408
	12.10.1 Illustration durch Verwendung von Stata . . . . .	409
12.11	Vektorfehlerkorrekturmodell . . . . .	410
	12.11.1 Illustration mit Stata . . . . .	414
12.12	Schätzung und Testen von Hypothesen von kointegrierten Systemen . . . . .	416
	12.12.1 Illustration mit Stata . . . . .	420
Literatur . . . . .		422
<b>13</b>	<b>Modellierung von Volatilitätsclustering . . . . .</b>	<b>425</b>
13.1	Einleitung . . . . .	425
13.2	Modellierung von nichtkonstanter bedingter Varianz . . . . .	428
13.3	Das ARCH-Modell . . . . .	429
13.4	Das GARCH-Modell . . . . .	433
13.5	Asymmetrische ARCH-Modelle . . . . .	437
13.6	ARCH-in-Mean-Modell . . . . .	439
13.7	Testen und Schätzen eines GARCH-Modells . . . . .	440
	13.7.1 Testen auf ARCH-Effekt . . . . .	440
	13.7.2 Maximum-Likelihood-Schätzung für GARCH (1, 1) . . . . .	440
13.8	Das ARCH-Regressionsmodell in Stata . . . . .	441
	13.8.1 Illustration mit Daten zur Marktkapitalisierung . . . . .	443
Literatur . . . . .		445

<b>14 Prognose von Zeitreihen . . . . .</b>	447
14.1 Einleitung . . . . .	447
14.2 Einfache exponentielle Glättung . . . . .	448
14.3 Prognose – univariates Modell . . . . .	449
14.4 Prognose mit allgemeinen linearen Prozessen . . . . .	453
14.5 Multivariate Prognose . . . . .	455
14.6 Prognose eines VAR-Modells . . . . .	456
14.7 Vorhersage von GARCH-Prozessen . . . . .	457
14.8 Zeitreihenprognose mit Stata . . . . .	458
Literatur . . . . .	461
<b>Teil IV Analyse von Paneldaten</b>	
<b>15 Paneldatenanalyse: Statische Modelle . . . . .</b>	465
15.1 Einleitung . . . . .	465
15.2 Struktur und Arten von Paneldaten . . . . .	467
15.2.1 Datenbeschreibung mit Stata 15.1 . . . . .	469
15.3 Vorteile von Paneldaten . . . . .	474
15.4 Quellen der Variation in Paneldaten . . . . .	474
15.5 Unbeschränktes Modell mit Paneldaten . . . . .	476
15.6 Vollständig eingeschränktes Modell: Pooled Regression . . . . .	477
15.6.1 Illustration mit Stata . . . . .	478
15.7 Fehlerkomponentenmodell . . . . .	481
15.8 Schätzer der ersten Differenz (FD) . . . . .	482
15.8.1 Illustration mit Stata . . . . .	482
15.9 Einweg-Fehlerkomponentenmodell mit festen Effekten . . . . .	483
15.9.1 Die „within“-Schätzung . . . . .	484
15.9.2 Least-Squares-Dummy-Variable-Regression (LSDV-Regression) . . . . .	493
15.10 Einweg-Fehlerkomponenten-Zufallseffektmodell . . . . .	497
15.10.1 GLS-Schätzung . . . . .	500
15.10.2 Maximum-Likelihood-Schätzung . . . . .	502
15.10.3 Illustration durch Verwendung von Stata . . . . .	504
Literatur . . . . .	508
<b>16 Statisches Panelmodell: Hypothesentests . . . . .</b>	509
16.1 Einleitung . . . . .	509
16.2 Messgrößen für die Anpassungsgüte . . . . .	510
16.3 Testen auf gepoolte Regression . . . . .	511
16.4 Testen auf feste Effekte . . . . .	513
16.4.1 Illustration mit Stata . . . . .	514
16.5 Testen auf zufällige Effekte . . . . .	515
16.5.1 Illustration mit Stata . . . . .	516
16.6 Fester oder zufälliger Effekt: Hausman-Test . . . . .	517
16.6.1 Illustration mit Stata . . . . .	519
Literatur . . . . .	520

<b>17</b>	<b>Paneleinheitswurzeltest</b>	.....	521
17.1	Einleitung	.....	521
17.2	Einheitswurzeltests der 1. Generation für Paneldaten	.....	523
17.2.1	Einheitswurzeltest nach Wu (1996)	.....	524
17.2.2	Einheitswurzeltest nach Levin, Lin und Chu (LLC)	.....	524
17.2.3	Einheitswurzeltest nach Im, Pesaran und Shin (IPS)	.....	529
17.2.4	Fisher-Typ-Einheitswurzeltests	.....	532
17.3	Stationaritätstests	.....	535
17.3.1	Illustration mit Stata	.....	536
17.4	Paneleinheitswurzeltests der 2. Generation	.....	537
17.4.1	Der Ansatz der Kovarianzbeschränkungen	.....	538
17.4.2	Der Ansatz der Faktorstruktur	.....	540
	Literatur	.....	548
<b>18</b>	<b>Dynamisches Panelmodell</b>	.....	549
18.1	Einleitung	.....	549
18.2	Lineares dynamisches Modell	.....	550
18.3	Schätzung von festen und zufälligen Effekten	.....	552
18.3.1	Illustration mit Stata	.....	555
18.4	Schätzung durch Instrumentalvariable	.....	556
18.4.1	Illustration mit Stata	.....	557
18.5	Arellano-Bond-GMM-Schätzer	.....	560
18.5.1	Illustration mit Stata	.....	564
18.6	System-GMM-Schätzer	.....	569
18.6.1	Illustration mit Stata	.....	570
	Anhang: Generalisierte Momentenmethode	.....	572
	Literatur	.....	573

## Über den Autor

**Panchanan Das** ist Professor für Wirtschaftswissenschaften und lehrt derzeit Zeitreihen- und Paneldatenökonomie am Department of Economics, University of Calcutta. Seine Hauptforschungsgebiete sind Entwicklungsökonomie, Indische Ökonomie und Angewandte Makroökonomie. Er hat mehrere Artikel und Buchkapitel über Wachstum, Ungleichheit und Armut veröffentlicht und ist Hauptautor von *Economics I* und *Economics II*, Graduierten-Lehrbücher, die bei Oxford University Press, New Delhi, veröffentlicht wurden. Er hat auch maßgeblich zum *West Bengal Development Report – 2008* beigetragen, der von der Academic Foundation, New Delhi, in Zusammenarbeit mit der Planning Commission, Government of India, veröffentlicht wurde.

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Einkommensnachfragebeziehung . . . . .	7
Abb. 1.2	Bedingte Mittelwertfunktion . . . . .	10
Abb. 1.3	Stichprobenregressionsfunktion. . . . .	11
Abb. 2.1	Beziehung zwischen Ausgaben und Einkommen für Haushalte in Westbengalen. . . . .	45
Abb. 2.2	Beziehung zwischen Projektions- und Fehlervektoren . . . . .	69
Abb. 3.1	Histogramm . . . . .	83
Abb. 3.2	a Zwei-Schwänze-Test, b Ein-Schwanz-Test (linker Schwanz), c Ein-Schwanz-Test (rechter Schwanz) . . . . .	90
Abb. 3.3	Vergleich von LR-, W- und LM-Tests . . . . .	103
Abb. 3.4	Log-Likelihood . . . . .	110
Abb. 4.1	Verteilung von Y mit heteroskedastischem Fehler. . . . .	115
Abb. 4.2	Variabilität von ln(wage) im Verhältnis zur Anzahl der Ausbildungsjahre. (Quelle: NSS 68. Runde (2011–2012) Daten zur Beschäftigung und Arbeitslosigkeit) . . . . .	116
Abb. 4.3	Streudiagramm der Residuen. . . . .	124
Abb. 4.4	Muster der Residuen . . . . .	137
Abb. 4.5	Muster der korrigierten Residuen . . . . .	139
Abb. 6.1	Beziehung zwischen Bildung und Einkommen bei Männern und Frauen . . . . .	161
Abb. 6.2	Bedingte Mittelfunktionen für weibliche und männliche Gruppen . . . . .	162
Abb. 7.1	Vorhergesagte Wahrscheinlichkeitsfunktion . . . . .	176
Abb. 7.2	Dichtefunktion für Logit- (grün) und Probit-Modelle (rot) . . . . .	181
Abb. 7.3	Kumulative Verteilungsfunktion (CDF) für Logit- (blau) und Probit-Modelle (rot) . . . . .	182
Abb. 9.1	Unterschiedliche Formen von Zeitreihen . . . . .	258
Abb. 9.2	Zeitverhalten des BSE Sensex . . . . .	266
Abb. 9.3	Zeitverhalten der ersten Differenz des BSE Sensex . . . . .	267
Abb. 10.1	Stationaritätsregion für den AR(2)-Prozess . . . . .	281
Abb. 10.2	Autokorrelationsfunktion der Logarithmusreihe des BIP . . . . .	308

Abb. 10.3	Autokorrelationsfunktion der 1. Differenz der Logarithmusreihe des BIP .....	309
Abb. 10.4	Partielle Autokorrelationsfunktion der Logarithmusreihe des BIP .....	309
Abb. 11.1	Zeitpfad einer Reihe ohne Trend .....	323
Abb. 11.2	Zeitpfad einer Reihe mit Trend .....	324
Abb. 11.3	Wald-Teststatistiken .....	357
Abb. 11.4	Index der industriellen Produktion .....	363
Abb. 11.5	Saisonabereinigter Index des verarbeitenden Gewerbes in Indien .....	367
Abb. 12.1	Impulsantwortfunktion .....	406
Abb. 12.2	Bewegung von BIP und Konsumausgaben .....	414
Abb. 13.1	Zeitlicher Verlauf von Aktienkurs und Rendite .....	426
Abb. 13.2	Autokorrelationsfunktion (ACF) von Renditen und quadrierten Renditen .....	426
Abb. 13.3	Zeitpfad der erst-differenzierten Reihe der Markt-kapitalisierung am Bombay Stock Exchange im Zeitraum von Januar 1994 (1994m1) bis Dezember 2014 (2014m12) .....	443
Abb. 15.1	Linienplots des BIP-Wachstums .....	473
Abb. 15.2	Linienplots des BIP-Wachstums (Überlagerung) .....	473
Abb. 15.3	Beziehung zwischen Beschäftigung und Arbeitsproduktivität .....	479
Abb. 15.4	Beziehung zwischen Beschäftigung und BIP-Wachstum .....	480
Abb. 15.5	Mittelwerte der Variablen nach Land .....	489
Abb. 15.6	Geschätzte Beziehung zwischen Arbeitsbeschäftigung und Arbeitsproduktivität .....	497

# **Tabellenverzeichnis**

Tab. 7.1	Verteilung des Zufallsfehlers.....	175
Tab. 15.1	Datenmatrix einer einzelnen Variable ( $X$ ) .....	468