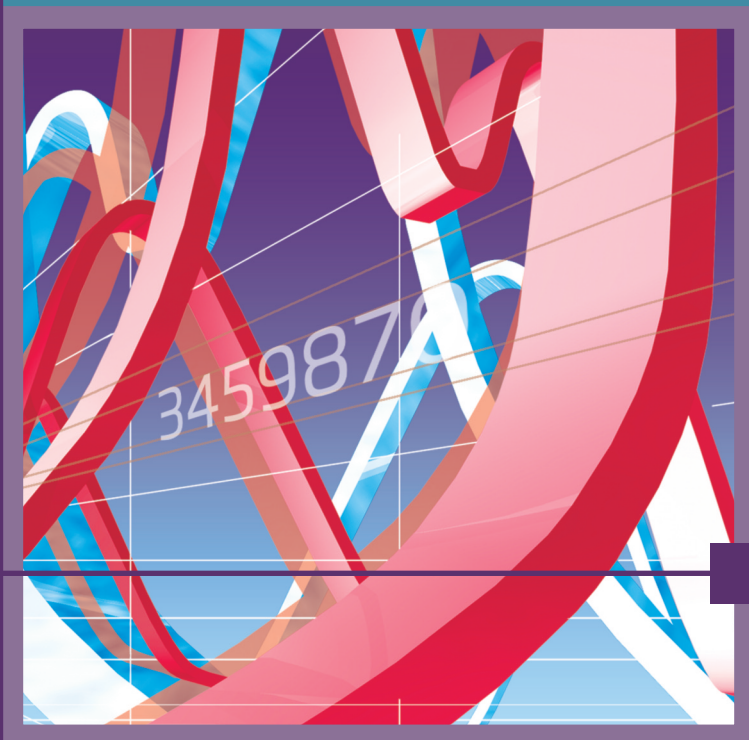


Edgar Dietrich  
Alfred Schulze

# Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation



7., aktualisierte Auflage

HANSER

Edgar Dietrich/Alfred Schulze  
**Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation**



**Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

**[www.hanser-fachbuch.de/newsletter](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)**



Edgar Dietrich  
Alfred Schulze

# **Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation**

7., aktualisierte Auflage

HANSER

**Die Autoren:**

Dr.-Ing. Edgar Dietrich, Dipl.-Ing. Alfred Schulze, Q-DAS GmbH & Co. KG, Weinheim.



**Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

ISBN 978-3-446-44055-5

E-Book-ISBN 978-3-446-44024-1

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen.

Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2014 Carl Hanser Verlag München Wien

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Der Buchmacher, Arthur Lenner, München

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, Rebranding, München, Germany

Titelillustration: Frank Wohlgemuth, Hamburg

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

## Vorwort zur 7. Auflage

Mittlerweile kann ich auf über 25 Jahre Erfahrung im Umgang mit statistischen Verfahren in der industriellen Produktion zurückblicken. Durch den nahezu täglichen Kontakt mit dieser Thematik über die weltweit verbreiteten Kunden von Q-DAS<sup>®</sup> ist ein großer Erfahrungsschatz mit den unterschiedlichsten Facetten und Forderungen entstanden, den ich mit diesem Buch weitergebe.

Zum Thema „Statistik“ werden mehrere klassische Lehrbücher angeboten, die viel Theorie enthalten, mit denen ein Praktiker aber nur bedingt etwas anfangen kann. Geschweige denn, dass viele der in den Büchern enthaltenen Verfahren den Praxisbezug vermissen lassen.

Bereits bei der ersten Ausgabe dieses Buches stand nicht die Theorie im Vordergrund, sondern die Anwendung der beschriebenen Verfahren. Anhand von Fallbeispielen und Hinweisen wird der Zusammenhang mit Aufgabenstellungen aus der Praxis hergestellt.

Durch den Gedankenaustausch mit Entscheidern und Experten aus der Industrie und verschiedenen Gremien wie ISO, DIN, VDA und VDI konnten einige der bekannten Verfahren erweitert werden, um noch aussagekräftiger und praxisrelevanter zu werden. Damit kann der Nutzen deutlich gesteigert werden, insbesondere dadurch, dass diese Verfahren in der Q-DAS<sup>®</sup> Software implementiert sind.

Heute können mit Hilfe von softwaretechnischen Lösungen komplexe Sachverhalte, Geschäftsvorfälle und Prozesse basierend auf qualitativ hochwertigen Informationen/Daten mittels statistischen Verfahren durch die sich daraus ergebenden Kenngrößen und Kennzahlen ausreichend genau beschrieben werden, um diese beurteilen und mittels Benchmark sowie vorgegebenen Grenzwerten bewerten zu können. Dazu ist insbesondere die Darstellung der Ergebnisse im Kontext mit der jeweiligen Aufgabenstellung anhand von aussagefähigen Grafiken äußerst wichtig. Gerade hierauf wird in diesem Buch großer Wert gelegt.

Die Anwendung statistischer Verfahren hat in den letzten Jahren weiter zugenommen und wird künftig noch mehr an Bedeutung gewinnen. Dafür sprechen mehrere Gründe:

- Je komplexer die Sachverhalte sind und je mehr die Komplexität zunimmt, umso mehr ist man auf statistische Verfahren angewiesen.
- Um die Kosten für die Fertigung und Herstellung von Produkten senken zu können, muss der Prüfaufwand reduziert werden. Fähigkeitsnachweis und die statistische Prozessregelung tragen dazu bei.
- Das Thema „Big Data“ und „Predictive Analytics“ basierend auf statistischen Verfahren ist in aller Munde und wird mit der Umsetzung von Industrie 4.0 immer mehr in den Vordergrund rücken.

Das Buch soll dem Leser die zur Maschinen- und Prozessqualifikation benötigten statistischen Verfahren näherbringen, um ihn bei der praktischen Anwendung zu unterstützen. Auch wenn durch den Einsatz von Software die Statistik selbst quasi eine Black Box – also einen Werkzeugkasten für statistische Verfahren – darstellt, ist das Wissen, wann welches Verfahren anzuwenden ist und wie die Ergebnisse zu interpretieren sind,

unumgänglich. Genau hierbei sollen die Inhalte des Buches einen Beitrag leisten. Gerne nehme ich Anregungen und Änderungswünsche entgegen.

Mein Dank gilt Herrn Michael Radeck, der mich fachlich bei der Ausarbeitung der 7. Auflage unterstützt hat, nicht zu vergessen, Frau Mesad, die für das Layout und die textlichen sowie grafischen Ausarbeitungen verantwortlich war.

Q-DAS<sup>®</sup> stellt für das Buch eine Demoversion von qs-STAT<sup>®</sup> zur Verfügung, mit der die Fallbeispiele und die meisten Grafiken in dem Buch nachvollzogen werden können. Die verwendeten Datensätze werden mit der Software zur Verfügung gestellt. Laden Sie sich diese Version von der Q-DAS<sup>®</sup> Homepage ( [www.q-das.de](http://www.q-das.de) ) herunter oder fordern Sie die Software bei Q-DAS<sup>®</sup> direkt an.

Weinheim, Januar 2014

Edgar Dietrich

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort zur 7. Auflage.....</b>	<b>v</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Statistische Verfahren in der industriellen Produktion.....	1
1.2 Statistik als Basis qualitätsmethodischen Denkens und Handelns .....	2
1.2.1 Einleitung.....	3
1.2.2 Beginn .....	3
1.2.3 Vor-Moderne.....	4
1.2.4 Walter Shewhart.....	5
1.2.5 Wirtschaftlichkeit.....	7
1.2.6 Zweiter Weltkrieg.....	8
1.2.7 Stichproben .....	8
1.2.8 Von TESTA zur Deutschen Gesellschaft für Qualität.....	9
1.2.9 Denken in Wahrscheinlichkeiten .....	10
1.2.10 Herkunft der Ausgangsdaten.....	11
1.2.11 Statistische Arbeit.....	11
1.2.12 Auslegung durch den Leser.....	11
1.2.13 Abschluss .....	13
1.3 Anforderungen aus der Normung.....	13
1.4 Internationale Normung von Statistischen Verfahren.....	17
1.5 Eignungsnachweis von Messprozessen .....	19
1.6 Statistical Process Control .....	20
1.7 DoE – Design of Experiments .....	25
1.8 Six Sigma.....	27
1.8.1 Entwicklung der Methode Six Sigma.....	27
1.8.2 Was ist Six Sigma?.....	27
1.8.3 Die Projektphasen bei Six Sigma in der Produktion .....	31
1.8.4 Six Sigma in der Entwicklung .....	33
<b>2 Grundlagen der technischen Statistik.....</b>	<b>35</b>
2.1 Einführung.....	35
2.2 Grundmodell der technischen Statistik.....	36
2.3 Klassifizierung von Produktmerkmalen .....	37
2.3.1 Merkmalsarten.....	37
2.3.2 Erfassung von Merkmalswerten .....	40
2.4 Klassifizierung von Wahrscheinlichkeitsverteilungen.....	41
2.5 Definition des Vertrauensbereiches .....	45
2.6 Definition des Zufallsstrebereiches .....	47
2.7 Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsfunktionen .....	48
2.8 Zusammenstellung der grundlegenden Verfahren.....	49



<b>3</b>	<b>Ermittlung statistischer Kenngrößen .....</b>	<b>52</b>
3.1	Tabellarische Darstellungen .....	52
3.2	Markante Kenngrößen einer Messwertreihe.....	56
3.3	Ergebnisdarstellung der Kennwerte.....	66
<b>4</b>	<b>Markante Grafiken .....</b>	<b>72</b>
4.1	Darstellung von Einzelwerten .....	72
4.2	Wertestrahle .....	81
4.3	Histogramm .....	82
4.4	Relative Summenhäufigkeit oder empirische Verteilungsfunktion.....	88
4.5	Prinzip des Wahrscheinlichkeitsnetzes.....	90
4.6	Darstellung von Wertepaaren .....	94
4.6.1	Matrix der X-Y-Plots .....	96
4.7	Darstellung von statistischen Kennwerten.....	98
4.8	Pareto-Analyse .....	100
4.9	Box-Plot .....	103
4.10	Übersicht Fähigkeitsindizes .....	106
4.11	Grafische und numerische Darstellung.....	112
4.12	Spezielle Toleranzbetrachtung .....	114
4.12.1	Überschreitungen der Toleranzgrenzen.....	114
4.12.2	Toleranzausnutzung.....	117
<b>5</b>	<b>Wahrscheinlichkeitsverteilungen.....</b>	<b>119</b>
5.1	Verteilungen für diskrete Zufallsvariablen.....	119
5.1.1	Hypergeometrische Verteilung.....	119
5.1.2	Binomialverteilung.....	122
5.1.3	Poisson-Verteilung .....	128
5.2	Verteilungen für kontinuierliche Zufallsvariablen .....	132
5.2.1	Normalverteilung .....	133
5.2.2	Mathematische Beschreibung der Normalverteilung .....	137
5.3	Verteilungen von Kenngrößen .....	144
5.3.1	t-Verteilung.....	144
5.3.2	$\chi^2$ -Verteilung.....	146
5.3.3	F-Verteilung.....	148
5.4	Eingipflige unsymmetrische Verteilungen.....	150
5.4.1	Transformation .....	152
5.4.2	Logarithmische Normalverteilung.....	155
5.4.3	Betragsverteilung 1. Art.....	156
5.4.4	Betragsverteilung 2. Art (Rayleigh-Verteilung).....	158
5.4.5	Weibullverteilung.....	160
5.4.6	Pearson-Funktionen.....	161
5.4.7	Johnson-Transformationen .....	162

---

5.5	Mehrgipflige Verteilungen .....	164
5.5.1	Mischverteilung über Momentenmethode .....	164
5.5.2	Mischverteilung durch Überlagerung .....	165
5.6	Zweidimensionale Normalverteilung .....	166
5.7	Zufalls- und Vertrauensbereiche .....	168
5.7.1	Zufallsstrebereiche .....	168
5.7.2	Vertrauensbereiche .....	170
5.7.3	Vertrauensbereich für Fähigkeitskennwerte .....	172
<b>6</b>	<b>Numerische Testverfahren .....</b>	<b>175</b>
6.1	Beurteilungskriterien mittels grafischer Darstellungen .....	175
6.2	Beschreibung der numerischen Testverfahren .....	177
6.2.1	Hypothesenformulierung und Testauswahl .....	177
6.2.2	Prüfgröße .....	178
6.2.3	Irrtumswahrscheinlichkeit .....	179
6.2.4	Testentscheidung .....	180
6.2.5	Fehlerrisiken bei der Testentscheidung .....	184
6.2.6	Operationscharakteristik .....	186
6.2.7	Power (1- $\beta$ ) .....	187
6.2.8	Wichtige Einflüsse auf die Power von Testverfahren .....	188
6.2.9	Einseitige Testverfahren .....	191
6.2.10	Testplanung für den optimalen Stichprobenumfang .....	193
6.3	Test auf Zufälligkeit .....	194
6.4	Tests auf Trend .....	196
6.5	Tests auf Normalverteilung .....	202
6.6	Tests auf Ausreißer .....	212
6.7	Vergleich von Varianzen und Mittelwerten .....	216
6.7.1	Normalverteilte Messwertreihen .....	216
6.7.2	Nicht normalverteilte Messwertreihen .....	222
6.7.3	Test von Kruskal und Wallis .....	222
6.7.4	Levene-Test .....	224
6.8	Übersichtsdarstellung von Testergebnissen .....	225
<b>7</b>	<b>Qualitätsregelkartentechnik .....</b>	<b>226</b>
7.1	Was ist eine Qualitätsregelkarte? .....	226
7.2	Stichprobenentnahme und -frequenz .....	230
7.3	Gebräuchliche Qualitätsregelkarten .....	232
7.4	Qualitätsregelkarten für diskrete Merkmalswerte .....	233
7.4.1	Berechnung der Eingriffsgrenzen .....	234
7.4.2	Shewhart np-Karte (BV) für Anteilwerte .....	236
7.4.3	Shewhart np-Karte, Näherung auf Basis der Normalverteilung .....	243
7.4.4	Shewhart p-Karte (BV) für die Überwachung des Anteils fehlerhafter Einheiten .....	247

7.4.5	Shewhart p-Karte (NV) für Anteilswerte .....	249
7.4.6	Shewhart c-Karte für Ereignisse je Einheit (PV) .....	251
7.4.7	Shewhart c-Karte für Ereignisse je Einheit (NV) .....	257
7.4.8	Shewhart u-Karte für die Überwachung der mittleren Anzahl Fehler je Einheit .....	260
7.4.9	Shewhart u-Karte für Ereignisse je Einheit (NV) .....	263
7.5	Fehlersammelkarten .....	265
7.5.1	Aufbau einer Fehlersammelkarte .....	265
7.5.2	Erstellung einer Fehlersammelkarte .....	267
7.6	Qualitätsregelkarten für kontinuierliche Merkmale .....	271
7.6.1	Aufbau der Regelkarten .....	271
7.6.2	Vorgehensweise anhand einer $\bar{x}/s$ -Karte .....	273
7.6.3	Stabilitätskriterien für Normalverteilung .....	280
7.6.4	Shewhart-Karten .....	289
7.6.5	Bewertung der verschiedenen Lage- und Streuungskarten .....	295
7.7	Annahmequalitätsregelkarten .....	296
7.7.1	Entstehung einer Annahmekarte .....	296
7.7.2	Fallbeispiele zur Annahmekarte .....	300
7.7.3	Eingriffsgrenzen der Annahmekarten .....	302
7.8	Shewhart-Karte mit gleitenden Kennwerten .....	304
7.9	Pearson- oder Johnson-Qualitätsregelkarten .....	306
7.10	Shewhart-Karten mit erweiterten Grenzen .....	308
7.10.1	Prozess mit zufälligen Schwankungen .....	308
7.10.2	Prozesse mit systematischem Trend .....	315
7.11	Qualitätsregelkarten und zeitabhängige Verteilungsmodelle .....	321
7.12	Stabilitätsstufen .....	323
7.13	Empfindlichkeit von Qualitätsregelkarten .....	327
7.14	Weitere Qualitätsregelkarten .....	333
7.14.1	Pre-Control-Regelkarten .....	333
7.14.2	CUSUM-Regelkarten .....	334
7.14.3	EWMA-Regelkarten .....	336
<b>8</b>	<b>Prozessbewertung anhand diskreter Merkmale .....</b>	<b>337</b>
8.1	Einleitung .....	337
8.2	DPU und DPO als Kennzahl für diskrete Merkmale .....	338
8.3	Fähigkeitskennzahlen für diskrete Merkmale .....	339
<b>9</b>	<b>Prozessbewertung kontinuierlicher Merkmale .....</b>	<b>342</b>
9.1	Allgemeines .....	342
9.2	Zeitabhängige Verteilungsmodelle .....	343
9.2.1	Zeitabhängiges Verteilungsmodell A1 .....	345
9.2.2	Zeitabhängiges Verteilungsmodell A2 .....	346

9.2.3	Zeitabhängiges Verteilungsmodell B .....	347
9.2.4	Zeitabhängiges Verteilungsmodell C1 .....	348
9.2.5	Zeitabhängiges Verteilungsmodell C2 .....	349
9.2.6	Zeitabhängiges Verteilungsmodell C3 .....	350
9.2.7	Zeitabhängiges Verteilungsmodell C4 .....	351
9.2.8	Zeitabhängiges Verteilungsmodell D .....	352
9.2.9	Qualitätsfähigkeit eines Prozesses .....	353
9.3	Typische Kenngrößen .....	354
9.3.1	Prozessleistung (Prozesspotenzial) .....	354
9.3.2	Minimaler Fähigkeitsindex $C_{pk}$ ( $P_{pk}$ ) .....	356
9.3.3	Qualifikationsphasen und Indizes .....	358
9.3.4	Beherrscht und stabil .....	360
9.4	Allgemeine geometrische Methode $M_{l,d}$ .....	365
9.4.1	Fähigkeitskenngrößen nach ISO 22514-2: 2013-09 .....	365
9.4.2	Bezeichnungen und Bestimmungsgleichungen für den Lageschätzer $l$ nach ISO 22514-2 .....	368
9.4.3	Bezeichnungen und Bestimmungsgleichungen für den Streuungsschätzer $d$ nach ISO 22514-2 .....	369
9.4.4	Zuordnung von Schätzmethoden zu den Verteilungszeitmodellen nach ISO 22514-02: 2013-09 .....	370
9.5	Fähigkeitsermittlung bei nicht definierten Verteilungsmodellen .....	371
9.6	Falsche Berechnungsmethoden .....	373
9.7	Kompensation der zusätzlichen $\bar{x}$ -Streuung .....	374
9.8	Sonderfall – „Potenzial“ kleiner als Fähigkeit .....	376
9.9	Berechnungsmethode nach CNOMO .....	378
9.10	Kenngrößen für zweidimensionale Normalverteilungen .....	381
9.10.1	Best Fit Move .....	384
9.11	Grenzwerte für Qualitätsfähigkeitskenngrößen .....	386
<b>10</b>	<b>Prozess- und Produktbeurteilung .....</b>	<b>390</b>
10.1	Zeitliche Abfolge der Fähigkeitsbeurteilung .....	390
10.2	Auswahl der zeitabhängigen Verteilungsmodelle .....	394
10.2.1	Ausgangssituation und Zielsetzung .....	395
10.2.2	Vorbemerkungen .....	396
10.2.3	Beschreibung einer Auswertestrategie im Einzelnen .....	398
10.2.4	Automatisierte Auswahl von zeitabhängigen Verteilungsmodellen .....	404
10.3	Abnahmebedingungen für Fertigungseinrichtungen .....	418
10.4	Produkte bewerten .....	428
10.4.1	Control-Plan .....	428
10.4.2	Bewertung basierend auf Merkmalsergebnissen .....	428
10.4.3	Bewertung basierend auf Toleranzausnutzung .....	433

10.5	Automatisierte Auswertung.....	435
10.5.1	Anforderungen .....	435
10.5.2	Datenhaltung.....	436
10.5.3	Regelkreise .....	438
10.5.4	Auswertung und Berichtssystem.....	439
10.5.5	Nutzen.....	442
10.6	Datenverdichtung und Langzeitauswertung .....	443
10.7	Prozesssicht .....	451
<b>11</b>	<b>Korrelations- und Regressionsanalyse .....</b>	<b>454</b>
11.1	Grafische Analyse.....	454
11.1.1	Grafische Analysen .....	455
11.2	Korrelationsanalyse .....	458
11.2.1	Der Korrelationskoeffizient nach Karl Pearson .....	458
11.2.2	Rangkorrelation.....	463
11.3	Regressionsanalyse .....	465
11.3.1	Einfache lineare Regression .....	465
11.3.2	Mehrfache und quasilineare Regression.....	475
<b>12</b>	<b>Zuverlässigkeit .....</b>	<b>480</b>
12.1	Bedeutung der Zuverlässigkeitsanalyse .....	480
12.2	Der Begriff Zuverlässigkeit.....	480
12.3	Die Zuverlässigkeitsprüfung .....	480
12.3.1	Der prinzipielle Ablauf einer Zuverlässigkeitsprüfung .....	481
12.3.2	Das Weibull-Verteilungsmodell .....	482
12.4	Fallbeispiele zur Zuverlässigkeitsprüfung.....	487
12.4.1	End-of-Life Tests.....	487
12.5	Prüfplanung für einen Success-Run-Test.....	493
<b>13</b>	<b>Firmenrichtlinien .....</b>	<b>497</b>
13.1	Ford Testbeispiele .....	497
13.2	Daimler Leitfaden LF 1236 .....	527
13.3	General Motors PowerTrain MRO 3.2 .....	619
13.4	Robert Bosch GmbH – Heft 9 .....	659
13.5	Volkswagen AG Konzernnorm 10130.....	701
<b>14</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>737</b>
14.1	Modelle der Varianzanalyse .....	737
14.1.1	Prozessbeurteilung .....	737
14.2	Formelsammlung für Verteilungen.....	741
14.3	Tabellen.....	742

<b>15 Verzeichnisse .....</b>	<b>753</b>
15.1 Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen.....	753
15.2 Literaturverzeichnis.....	755
<b>16 Index.....</b>	<b>761</b>

