

Stephan Baumert

Statistische Kanaluntersuchung und
Entwicklung eines Systems zur Erprobung
von Übertragungsverfahren

Diplomarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 1997 Diplom.de
ISBN: 9783832431983

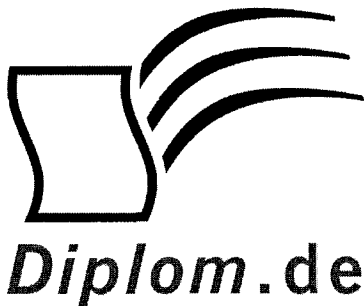
Stephan Baumert

Statistische Kanaluntersuchung und Entwicklung eines Systems zur Erprobung von Übertragungsverfahren

Stephan Baumert

Statistische Kanaluntersuchung und Entwicklung eines Systems zur Erprobung von Übertragungsverfahren

Diplomarbeit
an der Universität Fridericiana Karlsruhe (TH)
Institut für Industrielle Informationstechnik,
Januar 1997 Abgabe



Diplomica GmbH ———
Hermannstal 119k ———
22119 Hamburg ———

Fon: 040 / 655 99 20 ———
Fax: 040 / 655 99 222 ———

agentur@diplom.de ———
www.diplom.de ———

ID 3198

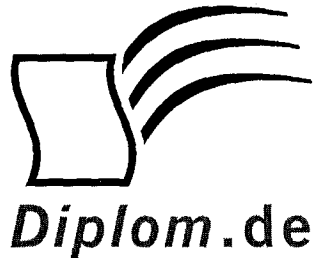
Baumert, Stephan: Statistische Kanaluntersuchung und Entwicklung eines Systems zur Erprobung von Übertragungsverfahren / Stephan Baumert - Hamburg: Diplomica GmbH, 2001
Zugl.: Karlsruhe, Technische Universität, Diplom, 1997

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

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 Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Diplomica GmbH
<http://www.diplom.de>, Hamburg 2001
Printed in Germany



Wissensquellen gewinnbringend nutzen

Qualität, Praxisrelevanz und Aktualität zeichnen unsere Studien aus. Wir bieten Ihnen im Auftrag unserer Autorinnen und Autoren Wirtschaftsstudien und wissenschaftliche Abschlussarbeiten – Dissertationen, Diplomarbeiten, Masterarbeiten, Staatsexamensarbeiten und Studienarbeiten zum Kauf. Sie wurden an deutschen Universitäten, Fachhochschulen, Akademien oder vergleichbaren Institutionen der Europäischen Union geschrieben. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,5.

Wettbewerbsvorteile verschaffen – Vergleichen Sie den Preis unserer Studien mit den Honoraren externer Berater. Um dieses Wissen selbst zusammenzutragen, müssten Sie viel Zeit und Geld aufbringen.

<http://www.diplom.de> bietet Ihnen unser vollständiges Lieferprogramm mit mehreren tausend Studien im Internet. Neben dem Online-Katalog und der Online-Suchmaschine für Ihre Recherche steht Ihnen auch eine Online-Bestellfunktion zur Verfügung. Inhaltliche Zusammenfassungen und Inhaltsverzeichnisse zu jeder Studie sind im Internet einsehbar.

Individueller Service – Gerne senden wir Ihnen auch unseren Papierkatalog zu. Bitte fordern Sie Ihr individuelles Exemplar bei uns an. Für Fragen, Anregungen und individuelle Anfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit.

Ihr Team der Diplomarbeiten Agentur

Diplomica GmbH _____
Hermannstal 119k _____
22119 Hamburg _____

Fon: 040 / 655 99 20 _____
Fax: 040 / 655 99 222 _____

agentur@diplom.de _____
www.diplom.de _____

Inhalt

1 Einleitung	7
1.1 Kanaleigenschaften und Übertragungsverfahren	8
2 Statistische Grundlagen	11
2.1 Verteilungsfunktionen	11
2.2 Anpassungstests	12
2.3 Klasseneinteilung	14
2.4 Schätzung der Varianz und der Mittelwerte	15
3 Meßaufbau	17
3.1 Inkohärente Detektion von orthogonalen Signalen in einem AWGN-Kanal	17
3.2 Netzankopplung, Filterung und AD-Wandlung	19
3.2.1 Entwurf der analogen Filter	20
3.3 Realisierung der Korrelatoren	29
3.4 Anbindung an einen PC	31
3.4.1 Abschätzung der Übertragungszeit	32
3.4.2 Abschätzung des Wertebereichs der Korrelationsergebnisse	33
4 Meß- und Auswertesoftware	35
4.1 Erfassung der Meßwerte und Histogrammgenerierung	35
4.1.1 Menüpunkte bzw. Parameter der Meßsoftware	37
4.2 Skripts zur Darstellung der Histogramme und für statistische Tests	41
5 Meßergebnisse	45
5.1 Verifikation des Meßsystems	45
5.1.1 Histogramme bei Anliegen eines sinusförmigen Eingangssignals	45
5.1.2 Histogramme bei näherungsweise weißem Rauschen als Eingangssignal	52
5.1.3 Kalibrierung des Meßsystems	53
5.2 Messung am Niederspannungsnetz des Instituts	56
5.2.1 Messung an Phase 3	56
5.2.2 Messung an Phase 2	62
5.2.3 Messung an Phase 1	64

5.2.4 Langzeituntersuchung der Varianz bzw. Rauschleistungsdichte	67
5.3 Messung am Hausanschluß im Keller des Instituts	73
6 Versuch einer Modellbildung für das Rauschen	75
7 Interpretation der Meßwerte und Simulation des Kanals	79
7.1 Berechnung der Histogramme für einige Musterfunktionen	79
7.2 Simulation des Kanals und des Meßsystems	82
8 Realisierung einer adaptiven Hardware zum Test von Empfangsalgorithmen	85
8.1 Test- und Beispielsoftware	87
8.2 Test- und Beispielhardware	89
8.2.1 Arithmetik-, Coprozessor	89
8.2.2 DES-Kryptochip	90
8.3 Entwurfsvorgang mit Synopsys und Orca Foundry	92
9 Zusammenfassung und Ausblick	93
10 Anhang	95
10.1 Literatur	95
10.2 Listing der Meß- und Auswertesoftware für den PC	96
10.3 Matlab-Scripts	110
10.3.1 AKF.m	110
10.3.2 einlesen.m	110
10.3.3 chi.m	111
10.3.4 chierr.m	112
10.3.5 chiadd.m	112
10.3.6 statist.m	114
10.3.7 varplot.m	115
10.3.8 VuVo.m	115
10.3.9 mess.m	116
10.3.10 sim.m	116
10.3.11 startwrt.m	117
10.3.12 leasts.m	118
10.3.13 konfid.m	118
10.3.14 film.m	119
10.4 Kommunikationsroutinen für das DSP-Meßsystem	120

<i>10.5 Schaltplan des AD-Wandler-Einschubs</i>	<i>123</i>
<i>10.6 Layout und Bestückungsplan des AD-Wandler-Einschubs</i>	<i>127</i>
<i>10.7 Schaltplan des ORCA-Boards</i>	<i>130</i>
<i>10.8 Layout des ORCA-Boards</i>	<i>132</i>
10.8.1 Bauteilseite	132
10.8.2 Versorgungsebene 1	133
10.8.3 Versorgungsebene 2	134
10.8.4 Lötseite	135
10.8.5 Bestückungsplan	136
<i>10.9 Schaltplan des Breitband-Rauschgenerators</i>	<i>137</i>
10.9.1 Spektrum des Rauschgenerators	138
<i>10.10 Listing des ORCA-Monitors</i>	<i>138</i>
<i>10.11 Listing der VHDL-Beschreibungen</i>	<i>145</i>
10.11.1 Arithmetik-, „Coprozessor“	145
10.11.2 VHDL-Beschreibung der DES-Implementation	148

1 Einleitung

Energieverteilnetze werden schon seit längerer Zeit von Netzbetreibern zur Datenübertragung genutzt. Dabei werden sog. niederfrequente Rundsteuersignale eingesetzt. Diese haben den Nachteil, nur sehr geringe Bitraten zu erlauben. Wegen der geringen Sendefrequenzen (unter 200Hz) und der dadurch bedingten geringen Impedanz des Netz, sind große Sendeleistungen nötig.

Analoge Kommunikationseinrichtungen (z.B. „Babyphone“) sind ebenfalls schon seit längerer Zeit auf dem Markt, ermöglichen jedoch nur Sprachübertragung geringer Qualität über kurze Distanzen (innerhalb eines Gebäudes).

Digitale Übertragungstechnik, wie sie an diesem Institut untersucht wird, ermöglicht relativ hohe Bitraten bei geringer Sendeleistung im Vergleich zu den Rundsteuersignalen. Die Realisierung dieser Verfahren in sog. Powerline-Modems eignet sich beispielsweise zur automatischen Zählerabfrage. Dabei müßte jeder Zähler mit einem Modem ausgestattet werden. Der Zählerstand könnte dann von der nächsten Trafostation abgelesen werden und von dort über eine Datenleitung zusammen mit den Zählerständen anderer Haushalte an das entsprechende EVU weitergeleitet werden.

Auch ein Einsatz in der Gebäudeautomatisierung ist denkbar. Als Beispiel sei die Fernbedienung moderner Zentralheizungen genannt. Dort werden bisher Konfigurationsdaten von der Fernbedienung über eine extra zu verlegende Datenleitung an die Regeleinheit im Keller übertragen, deren Verlegung besonders in älteren Gebäuden einen nicht unerheblichen Aufwand bedeuten.

Da das Niederspannungsnetz aber einige ungünstige Eigenschaften als Datenkanal aufweist, sind besondere Modulationsverfahren notwendig. Zudem können Störungen unterschiedlicher Qualität und Intensität auftreten. Die statistischen Auswirkungen dieser Störungen auf die Eingangsgrößen der Entscheider in einem Modem zu charakterisieren, ist Ziel des ersten Teils dieser Arbeit.

Um höhere Bitraten bei der Übertragung (derzeit 2400 Bit/s) zu erzielen, muß die nutzbare Bandbreite vergrößert werden. Dabei stößt man schnell an die Grenzen der derzeit verfügba-

ren digitalen Hardware, da die Sender und Empfänger entweder als digitale Schaltungen (ASIC) oder als DSP-Software realisiert sind. Dabei bieten ASICs eine große Leistungsfähigkeit und geringe Kosten bei hohen Stückzahlen. Andererseits kann ein einmal produziertes ASIC nicht mehr geändert werden. DSP-Software bietet im Gegensatz dazu hohe Flexibilität bei relativ hohem Preis pro Rechenleistung im Vergleich zum ASIC.

Deshalb soll im zweiten Teil der Arbeit eine flexible und leistungsfähige Hardware-Plattform vorgestellt werden, deren Konzept auf dem Einsatz von FPGAs (Field Programmable Gate Array) beruht.

1.1 Kanaleigenschaften und Übertragungsverfahren

Das Niederspannungsnetz stellt für die Datenübertragung einen frequenzselektiven, zeitabhängigen Kanal dar, bei dem mit Störquellen unterschiedlicher Charakteristik gerechnet werden muß. Eine weitere Schwierigkeit bei der Nutzung des Niederspannungsnetz als Kommunikationskanal stellen die geringen, von CENELEC erlaubten Sendepiegel dar.

Eine Möglichkeit, das Niederspannungsnetz trotz der schlechten Eigenschaften als Kommunikationskanal zu nutzen, besteht in der **Spread-Spectrum-Technik**. Dabei werden mehrere Frequenzen sequentiell zur Übertragung eines Symbols genutzt. Tritt eine Störung oder starke Dämpfung bei einigen Frequenzen auf, kann das übertragene Symbol dennoch fehlerfrei detektiert werden, wenn genügend viele der anderen zur Übertragung eingesetzten Frequenzen ungestört bleiben.

Bei einem Sendevorgang wird für eine definierte Zeitdauer T_C (im folgenden **Chip** genannt) eine der Symbolfrequenzen gesendet. Werden zur Übertragung eines Symbols n Frequenzen, also auch n Chips genutzt, dann beträgt die Übertragungsdauer für ein Symbol $n \cdot T_C$. Bei der vorliegenden Arbeit wurde eine Netzperiode in 24 Chips unterteilt, so daß sich bei einer Netzfrequenz von 50 Hz eine Chipdauer von $833\mu\text{s}$ ergibt.

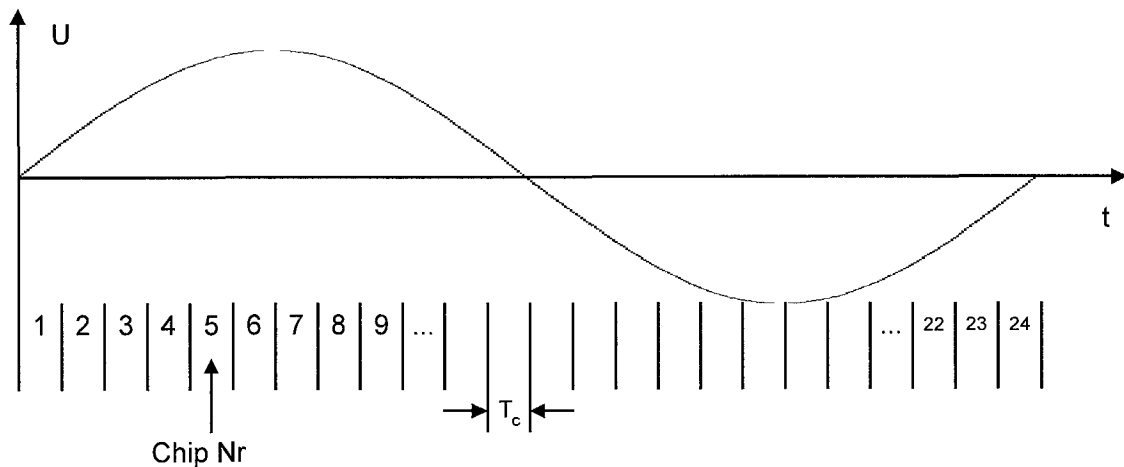


Abbildung 1: Position der Chips innerhalb einer Netzperiode

Der Empfänger arbeitet bei den drei Frequenzen $f_1=57,6\text{kHz}$, $f_2=72\text{kHz}$ und $f_3=91,2\text{kHz}$. Werden für die Übertragung eines Symbols alle drei Frequenzen genutzt, dann dauert die Übertragung eines Symbols $3 \cdot T_c$, womit sich eine Übertragungsrate von 400 Symbolen/s ergibt.

In der vorliegenden Arbeit sollen die Störungen innerhalb der Subkanäle bei den drei Frequenzen statistisch untersucht werden. Als relevante Größen werden die Ergebnisse der Korrelationsdemodulatoren betrachtet, die innerhalb eines Modems dem Entscheider zugeführt würden. Anhand der Statistiken dieser Korrelationsergebnisse soll versucht werden, Aussagen über die Art der Störungen zu machen und ein statistisches Modell der Störungen aufzustellen.

Dabei werden vier unterschiedliche Arten von Störungen auf dem Niederspannungsnetz betrachtet:

- Zum einen kann bandbegrenztes weißes Rauschen gemessen werden. Dieses kann beispielsweise durch thermisches (Widerstands-) Rauschen hervorgerufen sein. Die Amplituden der Störquellen werden dabei als statistisch unabhängig, mit endlichem Mittelwert und endlicher Varianz angenommen. Wenn die Zahl der Rauschquellen mit ähnlicher Rauschleistungsdichte sehr groß ist und diese zudem statistisch unabhängig sind, kann nach dem zentralen Grenzwertsatz der Wahrscheinlichkeitsrechnung von einer Gauß-Verteilung der Störungen ausgegangen werden.

- Periodische Störungen können durch Verbraucher am Niederspannungsnetz wie z.B. Schaltnetzteile oder Zeilenendstufen in Fernsehgeräten und Monitoren entstehen. Diese Störungen würden dann als Linien bei konstanten Frequenzen im Leistungsdichtespektrum auftreten.
- Impulsförmige Störungen können beim Ein- bzw. Ausschalten von Geräten oder auch durch externe Ereignisse wie beispielsweise Blitzschlag etc. verursacht werden.
- Netzperiodische Störer treten bei einem konstanten Phasenwinkel der Netzspannung auf. Verursacht können diese Störungen beispielsweise von Dimmern werden, die bei einem konstanten Phasenwinkel die Last einschalten und im Nulldurchgang wieder ausschalten.

Da das Störsignal $n(t)$ für den Empfänger ein zufälliges Signal darstellt, wird dieses als Realisierung bzw. Musterfunktion eines stochastischen Prozesses modelliert. Voraussetzung dafür ist, daß die Amplitudenverteilung der Störungen unabhängig von der Zeit t sind, der Prozeß also stationär ist. Im folgenden sollen nur Störungen solcher Prozesse betrachtet werden, die mindestens während einer repräsentativen Beobachtungszeit diese Voraussetzungen erfüllen.

2 Statistische Grundlagen

2.1 Verteilungsfunktionen

Zentraler Grenzwertsatz

Der zentrale Grenzwertsatz der Wahrscheinlichkeitsrechnung [8] sagt aus, daß die Summe einer großen Zahl von statistisch unabhängigen Zufallsvariablen X_i mit endlichem Erwartungswert $E(X_i)$, endlicher Varianz σ_i und gleicher Verteilung eine Zufallsvariable Y ergibt, die normalverteilt ist.

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.1)$$

für $n \rightarrow \infty$ ist Y dann normalverteilt. Der Erwartungswert von Y ergibt sich aus den Erwartungswerten der X_i mit

$$E(Y) = \mu_Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E(X_i) \quad (2.2)$$

und die Varianz zu

$$\sigma_Y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 \quad (2.3)$$

Die Verteilungsdichtefunktion der Normalverteilung ist durch

$$p(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad -\infty < y < \infty \quad (2.4)$$

gegeben.

χ^2 - Verteilung:

Voraussetzung: X sei normalverteilt und mittelwertfrei,

dann ist $Y = X^2$ χ^2 -verteilt mit der Verteilungsdichtefunktion

$$p_X(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi y} \sigma} e^{-\frac{y}{2\sigma^2}} \quad 0 \leq y < \infty \quad (2.5)$$

Wird für $Y = \sum_{i=1}^n X_i^2$ gewählt und sind die X_i statistisch unabhängige, identisch gaußverteilte, mittelwertfreie Zufallsvariablen mit der Varianz σ^2 , dann ist Y χ^2 -verteilt mit n Freiheitsgraden. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion lautet dann:

$$p_{X,n}(y) = \frac{1}{\sigma^n 2^{\frac{n}{2}} \Gamma(\frac{n}{2})} y^{\frac{n}{2}-1} e^{-\frac{y}{2\sigma^2}} \quad y \geq 0 \quad (2.6)$$

wobei die Gammafunktion $\Gamma(x)$ zu

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad x > 0 \quad (2.7)$$

$$\Gamma(x) = (x-1)! \quad x \text{ ganzzahlig, } x > 0 \quad (2.8)$$

definiert ist. Einzelheiten zur Berechnung finden sich im Kapitel „Anpassungstests“.

Rayleigh-Verteilung:

Voraussetzung: X_1 und X_2 seien normalverteilt, mittelwertfrei und statistisch unabhängig, dann ist $Y = \sqrt{X_1^2 + X_2^2}$ Rayleigh-verteilt mit der Verteilungsdichtefunktion

$$p_R(x) = \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad 0 < x < \infty \quad (2.9)$$

2.2 Anpassungstests

Um die Hypothese einer bestimmten Verteilung für eine Stichprobe zu prüfen, kann ein χ^2 -Anpassungstest durchgeführt werden.

Dieser Test ergibt ein Maß für die Ähnlichkeit der gemessenen Verteilung (Stichprobe) mit der hypothetischen und macht eine Aussage, ob die Hypothese bei einer gegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit gehalten werden kann oder verworfen werden muß.

Dazu werden zwei Hypothesen für die gemessene Verteilungsdichte $p(x)$ und die hypothetische Verteilungsdichte $p_0(x)$ aufgestellt:

Die Nullhypothese H_0 lautet dabei

$$H_0: \quad p(x) = p_0(x) \quad (2.10)$$

Die Alternativhypothese H_A ist dann

$$H_A: \quad p(x) \neq p_0(x) \quad (2.11)$$

Der Test beruht auf die Einteilung der Stichprobenelemente in k disjunkte Klassen (s. auch Klasseneinteilung auf Seite 14). Die gemessenen Klassenhäufigkeiten h_i werden dann mit den theoretischen verglichen. Bei einer Einteilung in k Klassen ergeben sich k Intervalle $[a_i; a_{i+1})$.

Die theoretische Klassenhäufigkeit bei einem Stichprobenumfang n ist dann

$$n \cdot q_i = n \cdot (p_0(a_{i+1}) - p_0(a_i)) \quad i=1,2,\dots,k \quad (2.12)$$

Bedingung für die Klasseneinteilung ist nach [8], daß für die Randklassen $n \cdot q_i \geq 1$ und für alle anderen Klassen $n \cdot q_i \geq 5$ gilt.

Für den Test wird eine Testgröße T eingeführt:

$$T = \sum_{i=1}^k \frac{(h_i - n \cdot q_i)^2}{n \cdot q_i} \quad (2.13)$$

Um $p_0(x)$ festzulegen, müssen neben der Art der Verteilung r weitere Parameter aus der gemessenen Verteilung geschätzt werden. Bei einer Normalverteilung sind dies der Erwartungswert und die Varianz.

T wird dann mit einem χ^2 -Wert verglichen. Die Nullhypothese muß abgelehnt werden, wenn

$$T > \chi^2_{m,\alpha} \quad (2.14)$$

Der Freiheitsgrad m der χ^2 -Verteilung ergibt sich aus

$$m = k - r - 1 \quad (2.15)$$

Der Parameter α in (2.14) gibt die Irrtumswahrscheinlichkeit dafür an, daß die Nullhypothese abgelehnt wird, obwohl diese richtig ist. Daraus folgt, daß die Annahme der Nullhypothese