

LEISTUNGSFÄHIGKEIT UND ZUVERLÄSSIGKEIT VON KOMPLIZIERTEN SYSTEMEN

K. FISCHER

Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden
Sektion Technische Verkehrskybernetik

Eingegangen am 15 April 1986

Abstrakt

Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit als Einflußgrößen der Effektivität von Systemen. Probleme bei der Angabe an ökonomischen Gewinn bei zuverlässigkeitserhöhenden Maßnahmen bzw. bei verbesserter Instandhaltbarkeit. Systemleistungsfähigkeit als Funktion der Verfügbarkeit der Systemelemente. Modelltype für die Systemleistungsfähigkeit.

1. Problemstellung

Die rasche technische Entwicklung, insbesondere ausgelöst durch die Mikroelektronik und Informatik, führt zu einem tiefgreifenden Strukturwandel in der Automatisierungstechnik und zur stürmischen Entwicklung von komplexen Automatisierungsanlagen. Diese Entwicklung ist untrennbar verbunden mit immer höheren Anforderungen an die Qualität und Zuverlässigkeit der Systeme [1]. Diesen allgemeinen Anforderungen muß sich auch das Transport- und Nachrichtenwesen mit seinen landesweiten Automatisierungslösungen stellen.

Praktische Ergebnisse sind jedoch nur zu erwarten, wenn bereits der Systementwickler die Fragen der Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit in alle Phasen seiner Entwicklungsarbeit integriert und dies sowohl aus der Sicht des Herstellers als auch des künftigen Nutzers. Das kann nur auf der Basis einer durchgängigen Zuverlässigkeitsarbeit erfolgen, die sich über alle Entwicklungsphasen bis zur Phase der praktischen Nutzung erstreckt. Das Entwicklungsziel kann volkswirtschaftlich gesehen nur eine auf hohem technologischen Niveau stehende und eine hohe Qualität gewährleistende Automatisierungsanlage sein.

Die erfolgreiche Lösung dieser Aufgabe setzt aber voraus, daß sowohl der Systementwickler als auch der spätere Nutzer dazu in die Lage versetzt werden, indem Zuverlässigkeitskonzepte für Leistungssysteme entwickelt werden, die ihm als mathematisches Instrumentarium in die Hand gegeben werden können.

Mit dem vorliegenden Beitrag soll eine Übersicht über wissenschaftliche Arbeiten und Ergebnisse gegeben werden, die vornehmlich an der Hochschule

für Verkehrswesen zur Entwicklung von Zuverlässigkeitskonzepten für Leistungssysteme geleistet worden sind.

Im Interesse des Umfanges dieses Beitrages muß auf die Erwähnung anderer Arbeiten verzichtet werden.

2. Lösung

2.1. Grundproblem

Es besteht kein Zweifel, daß sowohl die Zuverlässigkeit als auch die Instandhaltbarkeit einen bedeutenden Einfluß auf die Effektivität der Systeme haben. Folgerichtig werden technische Systeme deshalb sowohl durch Leistungs- als auch Zuverlässigkeitskenngrößen charakterisiert. Damit wird man aber mit zwei Aussagen Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit konfrontiert, die nebeneinander stehen. Während die Bewertung der Leistungsfähigkeit aus ökonomischer Sicht meist leicht fällt, ist eine ökonomische Bewertung der Zuverlässigkeit gewöhnlich schwierig oder gar nicht möglich. Anders ausgedrückt bedeutet dies, daß der ökonomische Gewinn nicht angegeben werden kann, der durch zuverlässigkeitserhöhende Maßnahmen bzw. eine verbesserte Instandhaltbarkeit erreichbar ist. Damit kann aber auch keine ökonomische Begründung für den zusätzlichen Aufwand für qualitätserhöhende Maßnahmen gegeben werden.

Zusammenfassend kann man sagen, die volkswirtschaftlichen Forderungen, Automatisierungssysteme der Wirtschaft zur Verfügung zu stellen, die unter allen Bedingungen eine hohe Leistungsfähigkeit gewährleisten, führen zu neuen Anforderungen an die Zuverlässigkeit und die sie stützende Zuverlässigkeits- und Instandhaltungstheorie.

Aus dieser Erkenntnis heraus wurden für Leistungssysteme neue Zuverlässigkeitskonzepte entwickelt und praktisch nutzbar gemacht, mit deren Hilfe die SYSTEMLEISTUNGSFÄHIGKEIT in Abhängigkeit von der VERFÜGBARKEIT der SYSTEMELEMENTE ermittelbar ist [2] bis [31].

2.2. Zielstellung

Die Systemleistungsfähigkeit in Abhängigkeit von Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit darzustellen und damit als die entscheidende Systemkenngröße verwenden zu können, war die generelle Zielstellung.

Dazu war die Entwicklung mathematischer Modelle notwendig, die sowohl Leistungs- als auch Zuverlässigkeitsparameter enthalten. Dabei wurden drei Modelltypen entwickelt:

1. Ein einheitliches Modell, das sowohl die bedienungs- als auch die zuverlässigkeitstheoretischen Parameter enthält
2. Getrennte Bedienungs- und Zuverlässigkeitsmodelle
3. Simulationsmodelle [15], [16], [24].

Allen Modellen liegt folgende Grundtendenz zugrunde:

1. Auf Systemebene tritt nur noch die Systemleistungsfähigkeit als Kenngröße auf. Eine Systemzuverlässigkeit wird nicht mehr berechnet [2], [4] bis [14], [18] bis [23], [25] bis [30], [38].
2. Auf der Ebene der Systemelemente bleiben die klassischen Zuverlässigkeitsbetrachtungen praktisch unverändert [39].
3. Der Einfluß der Zuverlässigkeit der Systemelemente geht über eine Zuverlässigkeitskenngröße in die Berechnung der Systemleistungsfähigkeit, die dabei als unabhängige Variable benutzt wird.

Dieser Lösungsweg ist nicht nur mit umfassenden theoretischen Arbeiten verbunden, sondern er zwingt auch zu Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Bedienungstheorie und verlangt nicht zuletzt ein Umdenken und eine Erweiterung der interdisziplinären Arbeit [7], [8], [10], [18], [19], [23], [29], [38].

Das Kernproblem ist, daß es auf diesem Weg gelingt, die Zuverlässigkeit als einen ganz normalen Parameter für die Systementwicklung verwenden zu können. Damit ist die Zuverlässigkeit über die Veränderung der Systemleistungsfähigkeit direkt ökonomisch bewertbar [25], [27], [30], [38].

Bezüglich der Instandhaltung werden die Verhältnisse ebenfalls realistischer, da die Instandhaltungsstrategien wegen der Ermüdung und des Verschleißes hauptsächlich auf die Systemelemente zu konzentrieren sind. Die Optimierung der Instandhaltung von Systemen ist hauptsächlich als Koordinierungsaufgabe bezüglich der Instandhaltung der System(Verschleiß)elemente zu sehen [3], [11], [14], [17], [20], [27], [28].

2.3. Mathematische Modelle

2.3.1. Allgemeines

Die zu betrachtenden komplizierten Systeme sollen aus einer endlichen Zahl von Systemelementen bestehen, für die zunächst nur die Zustände funktionsfähig/verfügbar und ausgefallen/ nicht verfügbar angenommen werden. Da die Verfügbarkeit sowohl das Ausfall- als auch das Instandhaltungsgeschehen umfaßt, wird in der Folge von der Verfügbarkeit der Systemelemente ausgegangen. Allerdings wird aus Zweckmäßigkeitsgründen anstelle von

$$V_D = \frac{\mu_z}{\mu_z + \lambda_z} = \frac{1}{1 + \rho_z} \quad (1)$$

die Kenngröße $\varrho_z = \lambda_z/\mu_z$ unmittelbar verwendet. Dabei bedeuten $\lambda_z =$ Ausfallrate und $\mu_z =$ Instandsetzungsrate.

Die Systeme dagegen können endlich viele Zustände annehmen, wobei für uns nur die mit unterschiedlicher Leistungsfähigkeit von Interesse sind. Das bedeutet aber, daß den Systembetrachtungen ein Mehrzustandsmodell der Zuverlässigkeitstheorie zugrunde gelegt werden muß. [39]

Die vielfältigen Analogien zwischen Bedienungs- und Zuverlässigkeitstheorie lassen es angeraten sein, auch zur Modellierung von Bedienungsprozessen auf den in der Zuverlässigkeitstheorie künftig verwendeten Markow-Graph zurückzugreifen.

Eine allgemeine Erkenntnis bezüglich der unterschiedlichen Modelltypen erscheint hier noch angebracht.

Das einheitliche Modell liefert exakte Ergebnisse, so daß ihm aus dieser Sicht der Vorzug zu geben ist. Leider ist der mathematische Aufwand zur Lösung recht erheblich. In einigen Fällen wurden analytische Lösungen gefunden; in anderen Fällen können nur numerische Lösungen angeboten werden, und vielfach konnte keine Lösung gefunden werden.

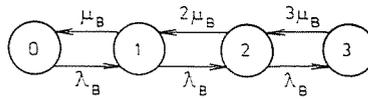
In einigen Fällen ist es wiederum durch die Berechnung einer modifizierten Bedienungsrate μ_B gelungen, eine solche Gleichungsstruktur zu erreichen, wie sie für Systeme mit absolut zuverlässigen Kanälen gegeben ist, wodurch die Anwendung bekannter bedienungstheoretischer Lösungen möglich wird. Der Unterschied ergibt sich durch das aufgrund der modifizierten Bedienungsrate μ_B neu berechnete ϱ_B ($\varrho_B = \lambda_B/\mu_B$), wobei λ_B die Ankunftsrate ist. [4], [8], [23], [40].

In der Praxis treten jedoch eine Reihe von Situationen auf, die nur sehr schwierig modelliert werden können und sich zur Zeit einer mathematischen Berechnung auf diesem Weg entziehen.

Agrund der genannten Schwierigkeiten werden den Berechnungen zunehmend getrennte Modelle zugrunde gelegt. Dadurch läßt sich das Ergebnisspektrum deutlich erweitern. Allerdings ist diese Verfahrensweise eine Näherung. Durchgeführte Untersuchungen haben jedoch ergeben, daß in den praktisch relevanten Bereichen nur sehr geringe Abweichungen ($< 1\%$) vom exakten Wert auftreten. Aus ingenieurtechnischer Sicht sind somit recht gute Ergebnisse gegeben, wenn man dabei noch bedenkt, daß die Genauigkeit der Eingabewerte in der Regel keineswegs so hoch ist.

Die Verwendung getrennter Modelle erschließt auch Anwendungen im Bereich von Warte-Verlust-Systemen und unter komplizierten bedienungstheoretischen Bedingungen, wie sie sich zum Beispiel bei unterschiedlichen Bedienungsraten ergeben.

Dort, wo weder analytische noch numerische Lösungen erzielbar sind, eröffnet sich das Feld für Simulationsmodelle, wobei auch hier die oben erwähnte differenzierte Herangehensweise möglich ist. Als Problem muß die



- λ_B - Ankunftsrate
 μ_B - Bedienungsrate
 P_{Bi} - Wahrscheinlichkeit für
das Auftreten des i -ten
Zustandes
 P_{B3} - Verlustwahrscheinlichkeit

Abb. 1. Dreikanaliges Verlustsystem

Simulation von Zuverlässigkeitsberechnungen angesehen werden, dadurch die geringe Anzahl von Ereignissen unverträglich lange Simulationszeiten entstehen. Erste Lösungsvorschläge dazu sind auch bereits erarbeitet [5], [16], [24].

Von vorliegenden Ergebnissen ausgehend sollen einige beispielhaft, aber vorwiegend mehr allgemein erläutert werden. Für detaillierte Informationen muß auf die angegebene Literatur verwiesen werden.

2.3.2. Bedienungssysteme

Ausgangspunkt der Untersuchungen und Hauptanwendungsgebiet waren die Verlustsysteme der Fernsprechvermittlungstechnik. Es handelt sich hier um Systeme, die aus einer Vielzahl paralleler Kanäle bestehen. Man kann sie auch als leistungsgeteilte Systeme bezeichnen. In der Folge wird einfach nur der Begriff Leistungssystem im Gegensatz zu Informationssystemen verwendet.

Im Nachrichtenwesen ist die Verlustwahrscheinlichkeit eine entscheidende Kenngröße. Das System kann gemäß Abb. 1 modelliert werden. Für die Berechnung stehen die bekannten Erlang'schen Verlustgleichungen zur Verfügung.

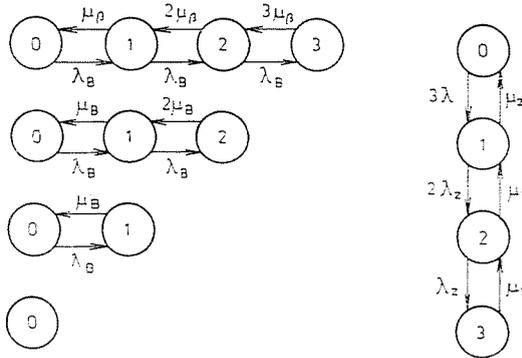
Allgemein kann man die Verlustwahrscheinlichkeit P_V eines s -kanaligen Verlustsystems im ungestörten Zustand angeben zu

$$P_V = f(s, \varrho_B = \lambda_B / \mu_B). \quad (2)$$

Die Verlustwahrscheinlichkeit des Systems erhöht sich, wenn von den s vorhandenen Kanälen j ausfallen. Folglich muß das Ausfall- und Instandhaltungsgeschehen in die Berechnung von P_V integriert werden. Man erhält die allgemeine Beziehung

$$P_V = f(s, \varrho_B = \lambda_B / \mu_B; \varrho_Z = \lambda_Z / \mu_Z). \quad (3)$$

Im System können unterschiedliche Arten von Störungen auftreten, wobei auch die Auswirkungen auf die Systemleistungsfähigkeit gravierende



- a) Bedienungsmodelle für Systeme mit s-j Kanälen
- c) System Verlustwahrscheinlichkeit

- b) Zuverlässigkeitsmodell
- λ_z - Ausfallrate
- μ_z - Instandsetzungsrate
- P_{zj} - Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein j gestörter Kanäle

$$P_v = \sum_{j=0}^s P_{B s-j} P_{zj}$$

Abb. 2. Getrennte Bedienungs- und Zuverlässigkeitsmodelle

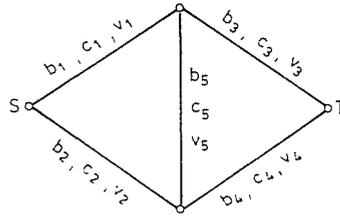
Unterschiede aufweisen können. Demzufolge müssen die unterschiedlichen Störungsarten bei der Berechnung von P_V berücksichtigt werden. Relativ einfach sind die Verhältnisse, wenn j Kanäle außer Betrieb sind; dann kann zur Berechnung von P_V die Gleichung (3) herangezogen werden. (Abb. 2). Ist die Auswirkung der Störungsart dagegen so, daß der Kanal weiter arbeitet, aber das Arbeitsergebnis eine ungenügende Qualität besitzt, muß dies bei der Berechnung von P_V beachtet werden. Es gilt weiterhin Gleichung (3). Zusätzlich muß aber noch der Teil der Leistung als Verlust ermittelt werden, der auf den gestörten Kanälen verarbeitet worden ist. Als zusätzliche Schwierigkeit ergibt sich dabei häufig noch, daß sich die Bedienungsrate μ'_B der gestörten Kanäle gegenüber der Bedienungsrate μ_B der ungestörten Kanäle verändert, was ebenfalls bei der Berechnung von P_V berücksichtigt werden muß. Daraus folgt [10], [13], [19], [23], [29], [40]

$$P_V = f(s, \varrho_B = \lambda_B / \mu_B; \varrho'_B = \lambda_B / \mu'_B; \varrho_Z = \lambda_Z / \mu_Z) \tag{4}$$

Die bisherigen Untersuchungen beschränken sich jedoch nicht auf Verlustsysteme [2], [4], [5], [6], [8], [10], [11], [13], [14], [19], [21], [22], [25], sondern sind auch verallgemeinerungsfähig [7], [9], [12], [18], [20], [26], [27], [28], [30], [40].

2.3.3. Netzwerke

Analoge Verhältnisse wie bei den Bedienungssystemen sind auch bei der Betrachtung von Netzwerken anzutreffen. Eine wichtige Kenngröße für ein



- b_i - i -te Kante
 c_i - Kapazität der i -ten Kante
 v_i - Verfügbarkeit der i -ten Kante
 S - Quelle - Knoten
 T - Senke - Knoten

Abb. 3. Netzwerk

Netzwerk ist der maximal mögliche Fluß $E(mf)$ zwischen zwei Punkten (Quelle—Senke). Der maximale Fluß kann in Abhängigkeit von der Netzstruktur, den vorhandenen b_i Kanten bzw. Knoten und insbesondere deren möglicher Kapazität c_i berechnet werden [32] bis [38]. Allgemein gilt

$$E(mf) = f(b_i; c_i) \quad (5)$$

Dieser maximale Fluß ist natürlich nur realisierbar, wenn alle Kanten absolut zuverlässig arbeiten. Da diese Voraussetzung nicht als erfüllt angenommen werden kann, hängt der maximale Fluß offensichtlich von der Verfügbarkeit v_i der einzelnen Netzkanten (bzw. Netzknoten) ab. (Abb. 3.)

Daraus folgt die Notwendigkeit, die Verfügbarkeit der Netzkanten in die Berechnung von $E(mf)$ zu integrieren [37], [38]. Damit ergibt sich

$$E(mf) = f[b_i; c_i; v_i = g(\lambda_z, \mu_z)]. \quad (6)$$

Diese Aufgabe konnte durch die Entwicklung eines speziellen Algorithmus gelöst werden. Der mathematische Aufwand steigt mit der Anzahl von Kanten rasch an, so daß die Verwendung eines Rechnerprogramms empfohlen werden muß.

Einzelheiten dazu sind der Literatur zu entnehmen [35], [37], [38].

2.3.4. Verallgemeinerung

Im Ergebnis der durchgeführten Untersuchungen ist es schließlich gelungen, ein LEISTUNGS—ZUVERLÄSSIGKEITS—MODELL zu entwickeln [38], was eine breite Anwendung auf klassische Serien- und Parallelsysteme, aber auch auf Netzwerke und hierarchische Strukturen zuläßt. Das

Modell kann sowohl auf der Basis von Pfadmengen als auch Schnittmengen angewandt werden.

Aus Aufwandsgründen empfiehlt sich bei Seriensystemen die Nutzung der Pfadmengen und bei Parallelsystemen die Nutzung der Schnittmengen.

3. Ergebnisse

Die Systemleistungsfähigkeit kann in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit der Systemelemente berechnet werden.

Das Ziel der Berechnung kann sowohl die momentane als auch die durchschnittliche Systemleistungsfähigkeit sein.

An Hand der durchschnittlichen Systemleistungsfähigkeit kann der Einfluß der Zuverlässigkeits- und Instandhaltungsparameter in Form von ρ_z deutlich sichtbar gemacht werden. (Abb. 4.) Zuverlässigkeit und Instandhaltung sind über die Systemleistungsfähigkeit ökonomisch bewertbar.

Die vorliegenden Ergebnisse gestatten damit, ökonomisch begründete Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Instandhaltbarkeit der Systemelemente abzuleiten [11], [14], [27].

Insgesamt können Systemdimensionierungen realistischer vorgenommen werden als bisher. Der Verlauf der durchschnittlichen Systemleistungsfähigkeit in Abhängigkeit von ρ_z läßt auch erkennen, wo unbedingt Veränderungen herbeigeführt werden müssen oder wo Veränderungen kaum zum Leistungsgewinn führen [28], [38] u.a.

Die durchgeführten Untersuchungen ergaben ein neue Konzept der Zuverlässigkeitsbetrachtungen von Leistungssystemen. Das entscheidende Ergebnis muß darin gesehen werden, daß die Zuverlässigkeits- und Instandhaltungsparameter in die Berechnung der Systemleistungsfähigkeit integriert

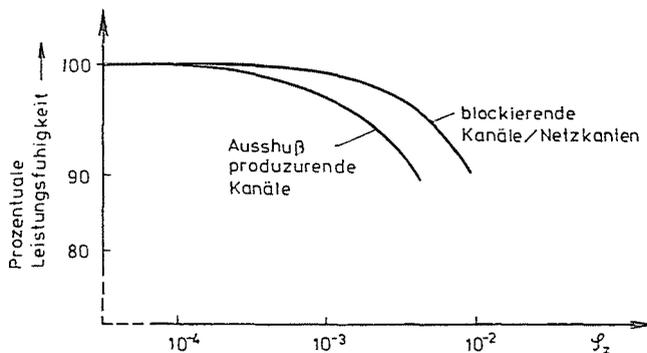


Abb. 4. Systemleistungsfähigkeit in Abhängigkeit von Verfügbarkeit der Systemelemente

werden konnten, so daß die Zuverlässigkeitsaussage nicht mehr neben der Leistungsaussage steht.

Die Zielstellung dieses Beitrages erlaubte unter Beachtung des möglichen Umfangs nur einen allgemeinen Überblick über unsere wissenschaftlichen Arbeiten auf dem ausgewählten Gebiet. Die heute vorliegenden wissenschaftlichen Ergebnisse wurden jedoch im Verlauf ihres Entstehens mit einer Vielzahl in- und ausländischer Fachkollegen diskutiert, die keine Erwähnung finden konnten. Sie haben uns auf unterschiedlichste Art und Umfang bedeutende Impulse vermittelt, so daß es uns ein Bedürfnis ist, wenigstens einige ausländische Wissenschaftler, wie Aggarwal, Andersson, Bergman, Bojkovic, Császár, Depczynski, Gosztonyi, Ivanovic, Kaczmarek, Kesselyák, Kistner, Kohlas, Liebling, Lindt, Rahko, Strandberg, Sutorichin, Wollström, Weisbordt, stellvertretend für viele andere zum Dank für gegebene Unterstützung hier zu nennen.

Aus theoretischer Sicht darf schließlich noch erwähnt werden, daß die Verbindung von Bedienungs- und Zuverlässigkeitstheorie zu einer neuen Qualität im Rahmen der technologischen Wissenschaften führt. Besondere Hervorhebung verdient auch die Entwicklung eines Leistungs-Zuverlässigkeits-Modells, das als Alternative zu bekannten Zuverlässigkeitsmodellen betrachtet werden kann.

Der vorgestellte Entwicklungstrend der Zuverlässigkeit und die gezeigten ersten Ergebnisse auf diesem Weg sollten als Impulse und Diskussionsgrundlage dienen, um auf dem Gebiet der Zuverlässigkeitsarbeit in Verbindung mit komplexen Automatisierungsanlagen den notwendigen qualitativen Sprung praktisch zu verwirklichen.

Literaturverzeichnis

(stark eingeschränkte Auswahl)

1. HONECKER, E.: Aus dem Bericht des Politbüros an die 9. Tagung des ZK der SED. ND 39 278, 3—7 (1984).
2. FISCHER, K.—TUPPY, W.: Nachrichtenverkehrsprozesse aus theoretischer Sicht. Fernmeldetechnik 20, 1 (1980).
3. FISCHER, K.: Einsatz der Mikrorechenteknik zur Rationalisieren der Instandhaltung. Fernmeldetechnik 20 H. 6, S. 204—206 (1980).
4. BÄR, M.—FISCHER, K.—TUPPY, W.: Nachrichtenverkehrstheorie unter Berücksichtigung störanfälliger Bedienungskanäle. ntz-Archiv Bd. 3 10. 277—283 (1981).
5. BÄR, M.—FISCHER, K.—KLEINAU, K.-H.: Considerations of Reliability for Performance Systems having Channels Susceptible to Failures. EUROCON'82 Copenhagen, Proceedings of Fifth European Conference on Electrotechnics June 14.—18. Part I., 56—63 (1982).
6. FISCHER, K.: A new Concept of Reliability Considerations of Switching Systems. Proceedings of RELECTRONIC'82 Budapest, Ungarn. 10, 25—29 (1982).
7. HERTEL, G.: Modellbildung von Bedienungssystemen mit störanfälligen Kanälen. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden, 4, 473—490 (1982).
8. BÄR, M.: Ein Beitrag zur Theorie störanfälliger Erlangischer Verlustsysteme unter Berücksichtigung typischer Störungen in Vermittlungssystemen. Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden, Dissertation A, 1982.

9. FISCHER, K.—HERTEL, G.: Bedienungssysteme unter Berücksichtigung des Ausfall- und Instandhaltungsgeschehens ihrer Kanäle (Überblick). *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden*, H. 4, 29 (1982).
10. BÄR, M.: Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit Erlangischer Verlustsysteme mit Ausschub verursachenden Störungen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden*, 29, Sonderbeilage 5, 30—47 (1982).
11. FISCHER, K.—KRIMMLING, R.: Einfluß der Zuverlässigkeit auf die Leistungsfähigkeit von Vermittlungssystemen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden*, 29, Sonderbeilage 5, 126—158 (1982).
12. FISCHER, K.—HERTEL, G.: Zuverlässigkeitstheorie und leistungsorientierte Systeme. H. 7, 377—380 (1982).
13. BÄR, M.—FISCHER, K.: Berechnung der Verlustwahrscheinlichkeit von Systemen mit gestörten Kanälen. *Nachrichtentechnik Elektronik* 32 H. 9, 377—380 (1982).
14. FISCHER, K.: Die Einheit von Nachrichtenverkehrs-, Zuverlässigkeits-, Instandhaltungstheorie und Mikrorechnerentechnik — ein bedeutendes Rationalisierungsmittel. 13. Verkehrswissenschaftliche Tage der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden, 7. — 10. 9. 1982, Plenarvorträge, S. P. 2. 2. 1—23.
15. SPANNAUS, R.: Simulation eines Verlustsystems mit störanfälligen Bedienungskanälen. *Nachrichtentechnik/Elektronik* 31 H. 1, 42—43 (1981).
16. FISCHER, K.—ROTH, A.—SPANNAUS, R.: Digitalsimulation zur Ermittlung der Verlustwahrscheinlichkeit. *Nachrichtentechnik/Elektronik* 32 H. 9, 380—383 (1982).
17. FISCHER, K.—RAMMLER, P.: Rationalisierungsaufgabe — Überwachung von Vermittlungseinrichtungen durch Mikrorechner. *Fernmeldetechnik* 22 H. 5, 186—187 (1982).
18. HERTEL, G.: Verfahren zur Modellierung und Berechnung von Bedienungssystemen mit störanfälligen Kanälen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden*, 30 H. 4, 865—874 (1983).
19. BÄR, M.: Gestörte unvollkommene Bündel mit idealer Mischung. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden*, 31 H. 4/5, 967—972 (1984).
20. FISCHER, K.—HERTEL, G.: Das Leistungsverhalten von im Störfall Ausschub produzierenden Maschinen. *Hebezeuge und Fördertechnik* 23 H. 7, (1983).
21. FISCHER, K.: Quality of Service for Teletraffic in Dependence on Reliability. *EOQC Quality Band XXVII* 4, 9—13 (1983).
22. HERTEL, G.: Ein offenes, ungeordnetes M/M/s-Verlustsystem mit Unterbrechung der Bedienung durch interne Störungen. *Nachrichtentechnik/Elektronik* 34 H. 7, 258—261 (1984).
23. HERTEL, G.—NEUMANN, R.-K.: Kanalbelegungszeitverteilungen bei Kanalausfällen in M/M/s-Bedienungssystemen. *mstr* 27 (1984).
24. ROTH, A.—SPANNAUS, R.: Zur Simulation des Einflusses von Belastungsschwankungen auf die Zuverlässigkeit eines Systems mit exponentiellem Verhalten. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden*, 31 H. 4/5, 983—990 (1984).
25. BÄR, M.—FISCHER, K.: System Efficiency in Dependence on Reliability and Maintenance Parameters. *Proceedings 4. International Conference Reliability & Maintainability, Perros-Guirec/Frankreich*, Part 2.
26. BÄR, M.—FISCHER, K.—HERTEL, G.: Die Einheit von Bedienungs- und Zuverlässigkeitstheorie. 14. Verkehrswissenschaftliche Tage der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden, 10. — 13. 9. 1984, Tagungssektion III, 3—8.
27. FISCHER, K.: Zuverlässigkeitskonzept für Leistungssysteme — Ableitung von Anforderungen an die Instandhaltung. 14. Verkehrswissenschaftliche Tage der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden, 10. — 13. 9. 1984, Tagungssektion VI, 17—20.
28. FISCHER, K.—KRAMPE, H.: Durchsatz von Umschlagssystemen in Abhängigkeit von Dimensionierung und Verfügbarkeit der Geräte. *Symposium Zuverlässigkeit, Technische Hochschule Magdeburg*, 4. — 5. 9. 1984, 108—111.
29. BÄR, M.: Verlustsysteme mit unterschiedlichen Bedienungszeiten der Kanäle. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden*, Sonderheft 15, Ausgabe 1985.
30. FISCHER, K.: Service Quality of Telephone Exchange Depending on Reliability — Some Generalization. *Proceedings 29th Conference Quality & Development, Estoril Portugal* 6, 17—21 (1985).
31. BÄR, M.—LEHMANN, B.: Modell zur Berechnung redundanter Strukturen mit Selbstdiagnose am Beispiel eines Mikrorechnersystems. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden*, Sonderheft 15, Ausgabe 1985.

32. AGGARWAL, K. K.—FISCHER, K.—RÜGER, W.: Zuverlässigkeitsberechnungen von netzförmigen Strukturen mit Kanten- und Knotenausfällen. *Nachrichtentechnik/Elektronik* 34 8, 297—300 (1984).
33. HÖHNE, G.: Zuverlässigkeitsbetrachtungen von Netzen. *Nachrichtentechnik/Elektronik* 32 9, (1982).
34. HÖHNE, G.: Zuverlässigkeitskenngrößen von Netzstrukturen und ihre Berechnung. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden* 28 4, (1981).
35. RÜGER, W.: Ermittlung der maximalen Anzahl kantendisjunkter Wege in einem Netz. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden* 31 H. 4/5 957—960 (1984).
36. RÜGER, W.: Berechnung der Zusammenhangswahrscheinlichkeit von Netzgraphen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden* 31 H.4/5 961—966 (1984).
37. RÜGER, W.: Zuverlässigkeitsanalyse mit Hilfe eines Verzweigungsbaumes. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden, Sonderheft 15, Ausgabe 1985.*
38. FISCHER, K.—RÜGER, W.: Leistungs-Zuverlässigkeits-Modell. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Verkehrswesen »Friedrich List« Dresden, Sonderheft 15, Ausgabe 1985.*
39. FISCHER, K.: *Verkehrssicherungstechnik — Zuverlässigkeits- und Instandhaltungstheorie.* Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen Berlin 1984.
40. BÄR, M.—FISCHER, K.—HERTEL, G.: A method of calculation for loss systems susceptible to failures with any number of repair channels and its application to delay systems. *Proceedings 2nd International Symposium on Systems Analysis and Simulation, Berlin, August 1985, 26—31.*

Prof. Dr. sc. techn. Klaus FISCHER DDR-8010 Dresden Friedrich-List-Platz 1.