

Probleme der Instandhaltung von Industrierobotern

Prof. Dr.-Ing. E. Rast, KDT/Dr.-Ing. G. Stegemann, KDT

Verwendete Formelzeichen

R	Überlebenswahrscheinlichkeit
\bar{T}_A	mittlere Ausfalldauer
T_B	Betriebsdauer
\bar{T}_R	mittlere Reparaturdauer
V_D	Dauerverfügbarkeit
V_N	technischer Nutzungsfaktor
Θ	mittlere ausfallfreie Zeit
λ	Ausfallrate

1. Einleitung

Dem Einsatz von Industrierobotern im Bereich der landtechnischen Instandhaltung für Handhabung und technologische Operationen kommt eine wachsende Bedeutung zu. Industrieroboter sind in den meisten Fällen integrierter Bestandteil technischer Systeme. Die Sicherung einer zu fordernden Systemzuverlässigkeit verketteter Fertigungseinrichtungen stellt hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Elemente des Systems, so auch an die Zuverlässigkeit der Industrieroboter selbst (Bild 1).

Umfassende Kenntnisse zum Schädigungsverhalten der Industrieroboter sind deshalb als notwendige Voraussetzung zur Erfüllung dieser Zielstellung anzusehen und gleichermaßen wichtig für

- Schwachstellenanalyse in der Phase der Entwicklung und Herstellung sowie der Nutzung der Industrieroboter
- Projektierung verketteter Fertigungseinrichtungen
- Ableitung und Realisierung optimaler Instandhaltungsstrategien für derartige Systeme.

Nachfolgend wird das Schädigungsverhalten durch das Ausfallverhalten der Betrachtungseinheiten beschrieben.

2. Erfassung und Bewertung des Ausfallverhaltens

Empirische Zuverlässigkeitsangaben können einerseits durch die Durchführung von Tests

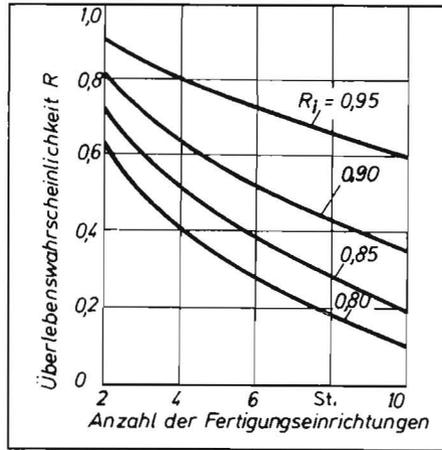


Bild 1. Überlebenswahrscheinlichkeit R eines fest verketteten Fertigungssystems als Funktion der Anzahl der Fertigungseinrichtungen für unterschiedliche Überlebenswahrscheinlichkeiten R_i .

oder andererseits durch die Erfassung des Ausfallverhaltens technischer Arbeitsmittel während ihrer Nutzung ermittelt werden. Da Testmethoden zur experimentellen Ermittlung von Zuverlässigkeitsangaben aus verschiedenen Gründen die während des Einsatzes der Arbeitsmittel beim Anwender feststellbaren Werte nicht ersetzen können, wird für diesen Zweck eine systematische Erfassung und Auswertung von Ausfalldaten zur unabhängigen Notwendigkeit. Unter den derzeitigen und in naher Zukunft zu erwartenden Bedingungen für den Einsatz von Industrierobotern im landtechnischen Instandhaltungswesen werden manuelle Ausfalldatenerfassungen als ein praktikabler Weg angesehen. In Abhängigkeit von der Zielrichtung und von der Art der Industrierobotertechnik sollten Ausfalldatenerfassungen nachfolgende Informationen vermitteln:

- Stammdaten zur Identifizierung und Kennzeichnung des Untersuchungsobjekts, wie

z. B. Maschinentyp und -nummer, Baujahr, Antriebsart, auszuführende Arbeitsoperationen, Verkettungsgrad, Einsatz- und Umweltbedingungen

- Ereignisdaten
 - Zeitangaben, wie Betriebsdauer, Stillstandszeiten, z. B. bedingt durch Pausen, Instandhaltung oder sonstige Ursachen; die Zeitangaben werden nach Schichten und mit den Uhrzeiten für Beginn und Ende erfaßt.
 - Schadens- und Schadteilbeschreibung, wie ausgefallenes Teil oder Baugruppe
 - Ausfallursache
 - Schadensart und -ursache
 - Erscheinungsbild
 - Angaben zur Instandhaltung, wie Charakter der Instandhaltungsleistung (vorbeugend oder wiederherstellend)
 - Anzahl der Arbeitskräfte und Zeitaufwand nach Gewerken (Schlosser, Schmierungstechniker, Elektriker/Elektroniker)
 - Material, wie Ersatzteile, Hilfsstoffe u. a.

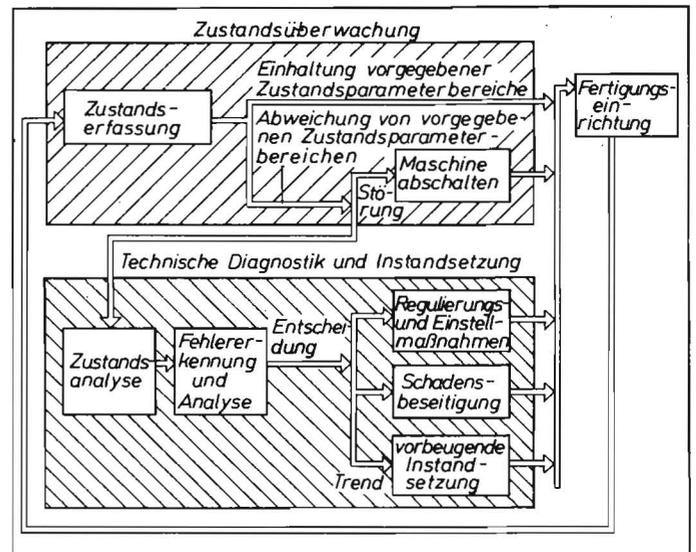
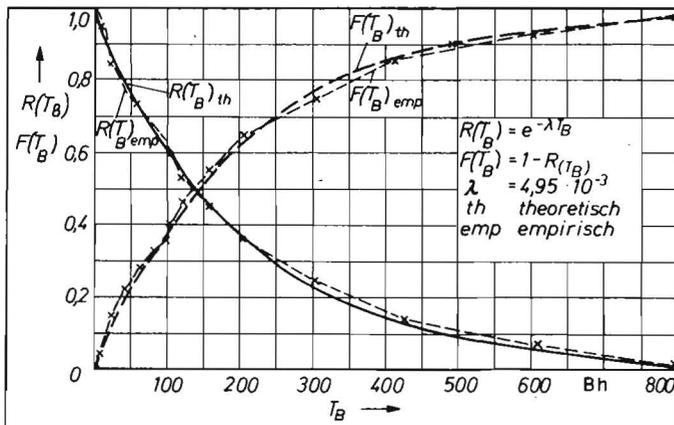
Wesentlich für Ausfalldatenerfassungen sind eine eindeutige und einheitliche Definition des Ausfalls und die Festlegung objekttypischer Ausfallkriterien. So ist z. B. eine unzulässige Abweichung bei der Positionierung in Abhängigkeit von der Arbeitsaufgabe als Ausfallkriterium anzusehen.

Die Bewertung des Ausfallverhaltens erfolgte für die vorliegenden Untersuchungen im wesentlichen anhand von Zuverlässigkeitskennwerten, die auf der Grundlage von [1, 2] definiert, bestimmt und berechnet wurden. Folgende Zuverlässigkeitskenngrößen wurden ermittelt:

- Kenngrößen der Fehlerfreiheit
 - mittlerer Ausfallabstand
 - Überlebens- und Ausfallwahrscheinlichkeit
 - Ausfallrate
- Kenngrößen der Instandhaltungsleistung
 - mittlere Ausfalldauer
 - mittlere Instandsetzungsdauer

Bild 3. Zusammenhang zwischen Zustandsüberwachung und Instandhaltung (nach [9])

Bild 2. Überlebenswahrscheinlichkeit und Ausfallwahrscheinlichkeitsfunktion der untersuchten Industrieroboter IR 2/S2



- Wiederherstellungswahrscheinlichkeit der Arbeitsfähigkeit
- Kenngrößen der Langlebigkeit
 - mittlere effektive Lebensdauer
 - gammaprozentuale effektive Lebensdauer
- Kenngrößen der Verfügbarkeit
 - Dauerverfügbarkeit
 - technischer Nutzungsfaktor.

Eine Möglichkeit zur Senkung des Aufwands für die Datenerfassung zur Ermittlung ausgewählter Zuverlässigkeitskennwerte ist die Nutzung der von Friedrich [3, 4] für die Fertigungsprozessanalyse beschriebenen Momentenverfahren. Während mit dem Moment-Häufigkeitsverfahren (MHH) relative Häufigkeiten ermittelt werden (z. B. Inaktwahrscheinlichkeit), dient das Multimoment-Zeitmeßverfahren (MHZ) der Schätzung von Zeiten (z. B. mittlerer Ausfallabstand). In den untersuchten Fällen wurde die letztere Methode mit Erfolg angewendet.

3. Ergebnisse

Die aus drei Einsatzfällen des Industrieroboters IR 2/S2 gewonnenen Zuverlässigkeitskennwerte (Bild 2) mit $\Theta = 246,6$ h und $V_D = 0,88$ weichen von den Ergebnissen anderer Untersuchungen [5] zur negativen Seite ab. Die vom ASMW geforderte Dauerverfügbarkeit für die im wesentlichen ange-troffene 3-Schicht-Auslastung von $V_{D,gef.} = 0,85$ wurde erreicht. Auffällig ist eine große Differenziertheit zwischen den Untersuchungsbetrieben, die von Schulz [6] mit Niveauunterschieden der Instandhaltung begründet wird. Der Unterschied zwischen dem technischen Nutzungsfaktor $V_N = 0,93$ und der Dauerverfügbarkeit $V_D = 0,88$ macht die Verantwortung und die Möglichkeiten des Instandhalters für die effektive Nutzung der Industrieroboter deutlich. Obwohl sich das Verhältnis von \bar{T}_A zu \bar{T}_R mit 2,7 kleiner als das von Hofmann [7] für Werkzeugmaschinen ermittelte Verhältnis gestaltet, ist eine weitere Verringerung möglich durch

- Bereitstellung von Instandsetzungskapazitäten mit hoher Zugriffsverfügbarkeit (Instandsetzungskapazitäten beim Nutzer des Industrieroboters, Schichtbereitschaftsdienst)
- Bereitstellung von Störreservesortimenten
- Gestaltung abgestimmter Informationssysteme.

Für die untersuchten Industrieroboter wurde nachgewiesen, daß sich Betriebs- und Instandsetzungsdauer mit der Exponentialverteilung beschreiben lassen (Bild 2).

4. Meßtechnische Erfassung von Kenngrößen

Zur Beschreibung des Arbeitsverhaltens von Industrierobotern werden bis zu 80 verschiedene technische Angaben genutzt [8]. Das Fehlen allgemeinverbindlicher Prüf- und Abnahmevorschriften erschwert die Arbeit für Hersteller und Nutzer von Industrierobotern. Das trifft auch für die Instandhaltung zu, um die geforderten konstruktiv-technischen Parameter zu gewährleisten. Die im vorliegenden Fall betrachtete Instandhaltung der Industrieroboter an deren Einsatzorten und die geringe Industrieroboterdichte im landtechnischen Instandhaltungswesen erfordern möglichst einfache und weitgehende universell nutzbare Meßverfahren.

Eine enge Verknüpfung zwischen den im Rahmen der Prozeßüberwachung gewonne-

Tafel 1. Prüfaufgaben an Industrierobotern im Zusammenhang mit Instandhaltungsmaßnahmen

Kenngrößen geometrische Größen	kinematische Größen	statische Größen	dynamische Größen	Geräusch- verhalten	thermische Größen	Reinheit der Über- tragungs- medien
- Arbeitsraum - Positionierfehler - Verfahrensweg nach NOT-AUS	- Taktzeit	- Verla- gerungen	- Greif- kraft	- Schall- druck- pegel	- Temperatur · Übertra- gungsme- dium · Bauteile	Prüfung auf · feste Ver- unreinigun- gen · Viskosität · Wassergehalt

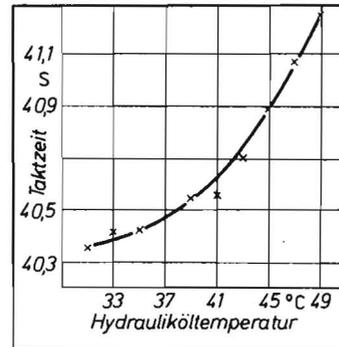


Bild 4. Abhängigkeit der Taktzeit von der Hydrauliköltemperatur; Handhabemasse konstant

nen Informationen und den für die Instandhaltung notwendigen Informationen ist herzustellen (Bild 3). Komplexdiagnoseverfahren bieten dazu gute Möglichkeiten. Im Rahmen der Untersuchungen wurde dazu die Taktzeitanalyse genutzt. Als Zustandsparameter dient die Zeit. Es ist möglich, die Summe der Ausführungszeit aller Einzelschritte (Taktzeit) oder die Ausführungszeit jedes beliebigen Einzelschrittes zu messen. Bei Abweichung vom vorgegebenen Zustandsparameterbereich werden signalisiert:

- Nichtbetriebsbereitschaft des Industrieroboters
- Fehler im System, z. B. Überschreitung von Aussonderungsgrenzen oder Fehleinstellungen.

Zustandsveränderungen an der betrachteten Maschine (z. B. Leckagen) werden bei periodisch durchgeführten Messungen durch eine Taktzeitveränderung angezeigt.

Die Zeitmessungen erfolgten mit tragbaren Frequenzmessern mit elektronischem Zählwerk. Zur Sicherung einer weitgehend uni-

versellen Nutzung der Meßeinrichtung wurden die Ein- und Ausschaltimpulse durch systemexterne Mikrotaster erzeugt, die mit Hilfe von Schellen oder Stativen am Untersuchungsobjekt befestigt wurden. Bei Realisierung der Prüfprogramme sind als wesentliche Diagnosebedingungen die Hydrauliköltemperatur und die Handhabemasse in vorgegebenen Grenzen zu halten (Bild 4).

Ein Überblick über ein Minimalprogramm an Prüfaufgaben im Zusammenhang mit Instandhaltungsmaßnahmen an Industrierobotern für die charakterisierten Bedingungen wird in Tafel 1 vermittelt.

Die Auswahl geeigneter Meßverfahren für die Realisierung der Prüfaufgaben ist in Abhängigkeit von den Einsatzgebieten der Industrieroboter (Werkzeug- oder Werkstückhandhabung) zu treffen (Tafel 2).

Die Bestimmung des Positionierfehlers erfolgte mit einem 3-D-Meßkopf nach Bild 5. Mit der gleichen Einrichtung wurden Verlagerungen des Greifers gemessen (Bild 6). Die Variation der Handhabemasse ist durch die Änderung der Anzahl der Massestücke am Meßkörper möglich. Der Meßkörper wird vom Greifer des Industrieroboters aufgenommen. Die Vermessung zylinderförmiger Arbeitsräume sowie das Verhalten bei NOT-AUS kann mit einem Stahlbandmaß erfolgen [10].

Für die Messung der Greifkraft wird vom Roboterhersteller das Kraftmeßgerät RKM für den Bereich von 0 bis 1 000 N empfohlen. Für Schalldruckpegelmessungen wurde der Präzisionsimpulsschalldruckpegelmesser PSI 202 eingesetzt. Ermittelt wurde ein äquivalenter Dauerschallpegel $L_{eq} = 72,6$ dB (A).

Die Hydrauliköltemperatur wurde im Vorratsbehälter mit einem Flüssigkeitsthermometer gemessen. Die Messung der Bauteiloberflächentemperatur kann mit einem Pyrometer HPN erfolgen. Zur Feststellung der Reinheit des Hydrauliköls wurde der Nach-

Tafel 2. Ausgewählte Anforderungen an Industrieroboter [8]

Einsatzgebiet	Anforderungen Positionier- genauigkeit in mm < 1 0,2 ... 1,0 > 0,2	Geschwindigkeit in m/s < 0,1 0,1 ... 1 > 1	Handhabemasse in kg < 5 5 ... 20 > 20
Werkzeughandhabung			
Beschichten	x	x	x
Bahnschweißen	x	x	x
Montieren		x	x
Werkstückhandhabung			
Handhaben an Werkzeugmaschinen	x		x
Palettieren	x		x

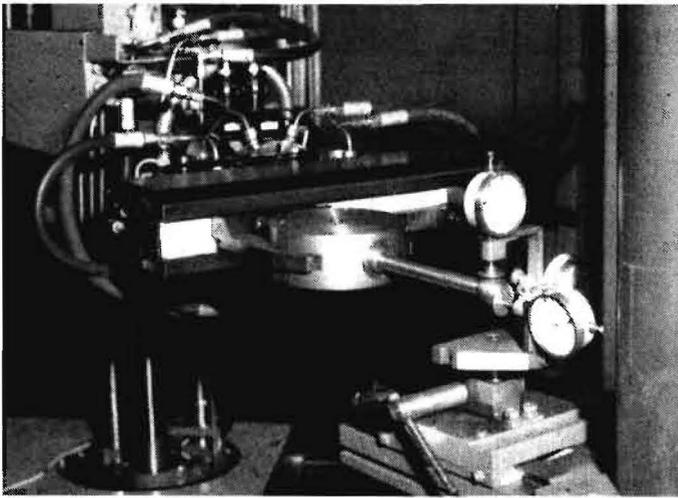


Bild 5
3-D-Meßkopf

weis fester Verunreinigungen mit dem Spektralkalorimeter „Spekol 10“ mit Remissionsmeßansatz R 45/0 und dem Schlammindegerät nach Standard TGL 28084/06 durchgeführt. Obwohl der Aussagebereich des Schlammindeverfahrens recht eng ist und der relative Fehler mit mehr als 25 % ermittelt wurde, wird es praktischen Erfordernissen weitgehend gerecht. Der Nachweis der Ölviskosität ist unter Praxisbedingungen mit ausreichender Genauigkeit mit dem Auslaufbecher nach Standard TGL 14301 möglich. Das trifft sinngemäß für die Wassergehaltsbestimmung mit der Kalziumhydridmethode [11] zu.

5. Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurden erste Ergebnisse des Ausfallverhaltens von Industrierobotern dargelegt und Möglichkeiten der Datenerfassung und der Kenngrößenbestimmung für die Zuverlässigkeit gezeigt. Des Weiteren wurde die meßtechnische Erfassung und Bewertung der relevanten Kennziffern beschrieben.

Literatur

- [1] TGL 26096/01, 03 und 04 Zuverlässigkeit in der Technik. Ausg. 1.78, 5.75 und 9.77.
- [2] TGL 32683/01 bis 03 Werkzeugmaschinen zum Spanen; Kenngrößen für Zuverlässigkeit. Ausg. 5.78.
- [3] Friedrich, L.: Statistische Hilfsmittel zur Durchführung spezieller Fertigungsprozessanalysen in der metallverarbeitenden Industrie unter besonderer Berücksichtigung von Multimomentverfahren, Teil 1. messen-steuern-regeln, Berlin 24 (1981) 6, S. 331–334.
- [4] Friedrich, L.: Statistische Hilfsmittel zur Durchführung spezieller Fertigungsprozessanalysen in der metallverarbeitenden Industrie unter besonderer Berücksichtigung von Multimomentverfahren, Teil 2. messen-steuern-regeln, Berlin 24 (1981) 7, S. 393–410.
- [5] Körber, F.: Zuverlässigkeitsanalyse und Instandhaltungserfordernisse bei Industrierobotern. TU Dresden, Sektion Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, Diplomarbeit 1982 (unveröffentlicht).
- [6] Schulz, R.: Erfassung und Bewertung des Ausfallverhaltens von Handhabesystemen der Landtechnik am Beispiel des Industrieroboters IR 2/S2. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Diplomarbeit 1983 (unveröffentlicht).

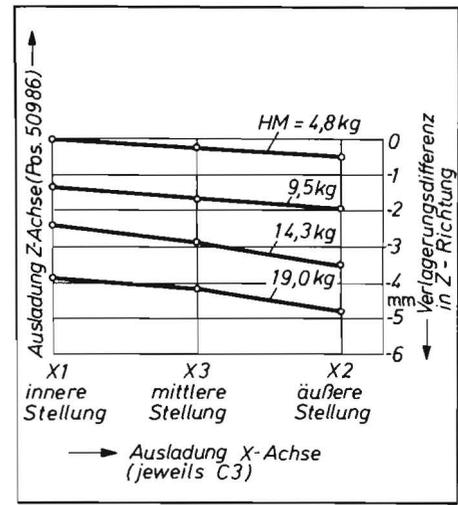


Bild 6
Verlagerung des Greifers am IR 2/S2 in Abhängigkeit von der Handhabemasse (HM)

- [7] Hofmann, W.: Arbeitsunsicherheit und Zuverlässigkeit von Fertigungsmitteln. Qualität und Zuverlässigkeit, Freiburg 27 (1982) 9, S. 265–269.
- [8] Brodbeck, B.: Untersuchung des Arbeitsverhaltens programmierbarer Handhabungsgeräte. Mainz: Krausskopf-Verlag 1978.
- [9] Eversheim, W., u. a.: Anforderungen an zeitgemäße Produktionssysteme. VDI-Zeitschrift, Düsseldorf 123 (1981) 11, S. 454.
- [10] Zachau, H.; Monczkowski, U.: Erarbeitung einer Prüfkonzeption für geometrische, kinematische und dynamische Größen von Industrierobotern. TU Dresden, Sektion Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen, Forschungsbericht 1981 (unveröffentlicht).
- [11] Arbeitsanleitung zur Schnellbestimmung von Wasser in Mineralölen. Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde/Wustrow 1981.

A 4192

Gestaltung der Informationsbeziehungen in den Betrieben der Landtechnik

Dipl.-Landw. H. Efler

Das Schrittmaß der 80er Jahre erfordert neben der Steigerung der Arbeitsproduktivität und der Durchsetzung einer hohen Ökonomie im Produktionshauptprozeß auch die verstärkte sozialistische Rationalisierung in der Leitung und Verwaltung [1, S. 43–44]. Als elementare Voraussetzung dafür sind überschaubare Leitungs- und Organisationsstrukturen in den Betrieben und Kombinat zu schaffen, die Aufgaben- und Verantwortungsbereiche eindeutig abzugrenzen und in den Funktionsplänen exakt festzuhalten. Sie bilden die Grundlage für die Gestaltung der Informationsbeziehungen. Bei der Rationalisierung der Leitungs- und Verwaltungsarbeit geht es immer mehr darum, die Informationsflut auf das notwendige Maß zu reduzieren und den Belegdurchlauf zu vereinfachen, um Doppelerfassungen zu vermeiden

und eine zielgerichtete aufgabenbezogene Information zu gewährleisten.

Eine umfassende Beherrschung der Informationsprozesse trägt mit dazu bei, die Intensivierungsfaktoren im Produktionsprozeß wirksam zu beherrschen. Eine besondere Rolle kommt hierbei der Gestaltung der Informationsorganisation zu.

Informationsorganisation – ein wichtiger Faktor für die Erhöhung der Effektivität des Leitungssystems

Mocalov [2] stellte bei Untersuchungen in einem Instandhaltungsbetrieb einer Rayonvereinigung für Landtechnik der Region Krasnojarsk (UdSSR) fest, daß für die Umwandlung der gesamten Informationen der Instandsetzungsproduktion jährlich 64 000 Arbeitsstunden verloren gehen. Untersuchungen von

Friedrich, Scholz und Gerisch [3] in Kombinat für bezirksgeladete Industrie ergaben einen Zeitaufwand für die Informationsgewinnung für die Leitung von 16 bis 68 AKh/Monat. Eigene Untersuchungen in VEB Kreisbetrieb für Landtechnik (KfL) der Bezirke Frankfurt (Oder) und Cottbus ergaben einen zusätzlichen Aufwand von Abschriften von Informationen aus den EDV-Unterlagen für die Leitung von mindestens 190 AKh/Jahr. Diese Ergebnisse zeigen, daß die Gestaltung der Informationsorganisation den Leitungs- und Verwaltungsaufwand entscheidend beeinflusst.

Die Anwendung des Grundsatzes „soviel wie notwendig und nicht soviel wie möglich“ ist für die Erhöhung der Effektivität des Leitungsprozesses besonders wichtig, aber auch schwer durchzusetzen, da dazu alle Ein-