



PROGNOSE MENSCHLICHER ZUVERLÄSSIGKEIT IM MONTAGEPROZESS

Menschlichen Fehlern auf der Spur

Christian Kern und Robert Refflinghaus, Dortmund

Manuelle Montageprozesse werden meist auf eine optimale Zeitnutzung hin geplant. Doch auch durch Handlungsfehler der Beteiligten kann ein Montagesystem instabil werden. Mit einer Methode des Instituts für Forschung und Transfer (RIF) in Dortmund lassen sich die menschliche Zuverlässigkeit im Montageprozess prognostizieren und potenzielle Fehlerrisiken frühzeitig quantifizieren und beheben.

Ein wesentliches Ziel der Qualitätsplanung ist es, die Anzahl von Fehlern in der Produktion zu verringern, potenzielle Fehlerfolgen zu kennen und diese möglichst gering zu halten. Übertragen auf manuelle Montageprozesse bedeutet dies, auch die Fehlbehandlungswahrscheinlichkeit des Mitarbeiters, zumindest aber die aus Fehlhandlungen resultierenden Fehler und deren Folgen so weit wie möglich zu reduzieren. Eine pro-

spektive Auseinandersetzung mit der Zuverlässigkeit des Menschen im Montageprozess wurde in der betrieblichen Praxis bisher jedoch vernachlässigt.

Integration von Zeit- und Qualitätsplanung

Weil das frühzeitige Erkennen qualitätskritischer Arbeitsschritte für produzierende Betriebe branchenübergreifend ein

Schlüsselement zur Erzeugung stabiler und effizienter Produktionsprozesse darstellt, wurde am Dortmunder RIF e.V. in Zusammenarbeit mit Industriepartnern aus der Automobilbranche sowie der Antriebs- und Steuerungstechnologie eine prozessorientierte Methode entwickelt, die eine Prognose von menschlichen Fehlbehandlungswahrscheinlichkeiten in der manuellen Montage ermöglicht [1]. Der Fokus liegt dabei auf der integrierten »

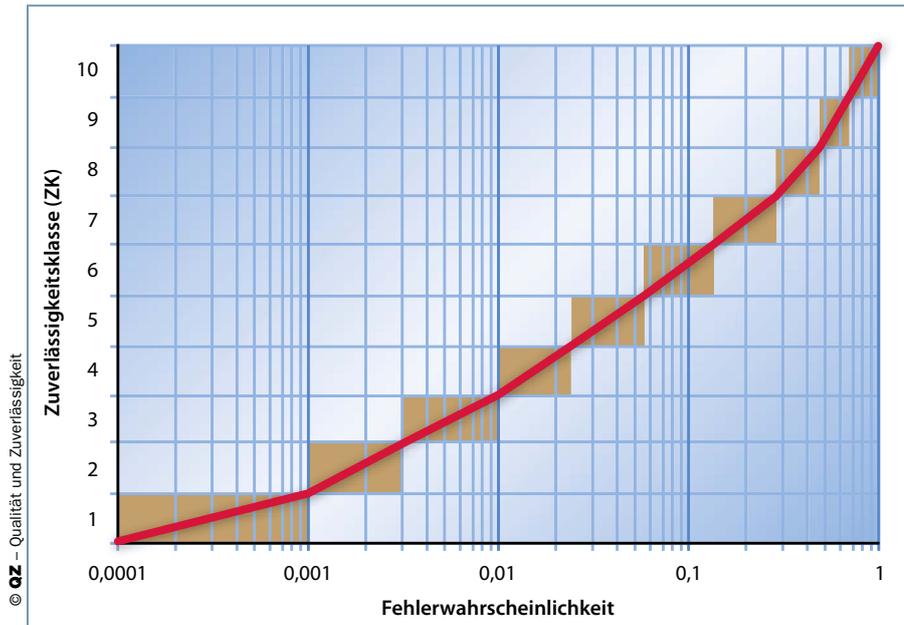


Bild 1. ESAT-Zuverlässigkeitsklassen

Zeit- und Qualitätsplanung von manuellen Montageaufgaben der Serienfertigung. Im Gegensatz zu existierenden Planungshilfsmitteln verfolgt die Methode einen ganzheitlichen Ansatz, indem sie Aspekte der Prozessgestaltung (hier vor allem der Zeitwirtschaft) mit Aspekten der Qualitätsplanung (hier vor allem der Bewertung der mit Fehlhandlungen verbundenen Risiken) zusammenführt. Durch die prospektive Ermittlung der menschlichen Zuverlässigkeit im Montageprozess wird der Montageplaner in die Lage versetzt,

potenzielle Fehlerrisiken bereits in der Planungsphase zu identifizieren, zu quantifizieren und zu bewerten. Somit können bereits vor Inbetriebnahme des Montagesystems notwendige Systemanpassungen erkannt und vorgenommen werden, wodurch kostenintensive Umgestaltungen im laufenden Betrieb vermieden werden.

Ermittelt wird die Fehleranfälligkeit manueller Montageaufgaben auf Basis einer modifizierten Anwendung des Expertensystems zur Aufgabentaxonomie (ESAT). Mittels ESAT lassen sich beliebige

Aufgaben in einem Mensch-Maschine-System nach der Zuverlässigkeit ihrer Durchführung klassifizieren [2]. Zunächst galt es, detaillierte Aufgabenbeschreibungen und MTM-Analysen zu erstellen. Mit Methods Time Management (MTM) können die für überwiegend manuelle Tätigkeiten notwendigen Ausführzeiten ermittelt werden; dabei werden alle auszuführenden Bewegungen auf bestimmte Grundbewegungen (Hinlangen, Greifen etc.) zurückgeführt, für die die Ausführungszeiten bekannt und tabelliert sind. Anschließend erfolgte eine verfahrenstechnische Reflexion der untersuchten Arbeitsaufgaben durch standardisierte Begriffe. Durch die Verwendung von Standardbegriffen ist es zukünftig möglich, beliebige manuell auszuführende Arbeitsinhalte zu modellieren und unter Risikoaspekten zu analysieren.

Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzeugen, wurde zusätzlich ein Belastungsvektor erstellt, der die am untersuchten Arbeitsplatz vorherrschende Mitarbeiterbelastung unternehmens- und aufgabenspezifisch widerspiegelt. Der Belastungsvektor berücksichtigt potenziell leistungsmindernde Aufgaben-, Personal-, Umgebungs- und Systemfaktoren. Nach der Eingruppierung der betrachteten Montageaufgaben in eine von zehn Zuverlässigkeitsklassen (Bild 1) konnten schließlich über empirisch validierte Formeln die mit den Arbeitsaufgaben korrespondierenden Fehlerwahrscheinlichkeitswerte (Human Error Probability, HEP) prognostiziert werden.

Vorhersagen durch Datenbank manueller Montageaufgaben

Simultan zur Erstellung von Zuverlässigkeitsanalysen für typische manuelle Montageaufgaben wurde eine Excel-basierte Datenbank angelegt, die derzeit Zuverlässigkeitsanalysen für etwa dreißig manuelle Montageaufgaben wie das Montieren einer Heckleuchte, das Verlegen von Kabeln oder den Einbau einer Elektronik-einheit umfasst (Bild 2). Für jede Montageaufgabe ist in der Datenbank eine detaillierte Aufgabenbeschreibung hinterlegt. Diese enthält neben der Untergliederung der Arbeitsaufgabe in Bewegungsfolgen und Aufgabenelemente eine Auflistung aller Hilfsmittel, die zur Ausführung der Montageaufgabe benötigt werden, ESAT- und MTM-basierte (Vorgabe-)Zeitwerte, eine Auflistung aufga-

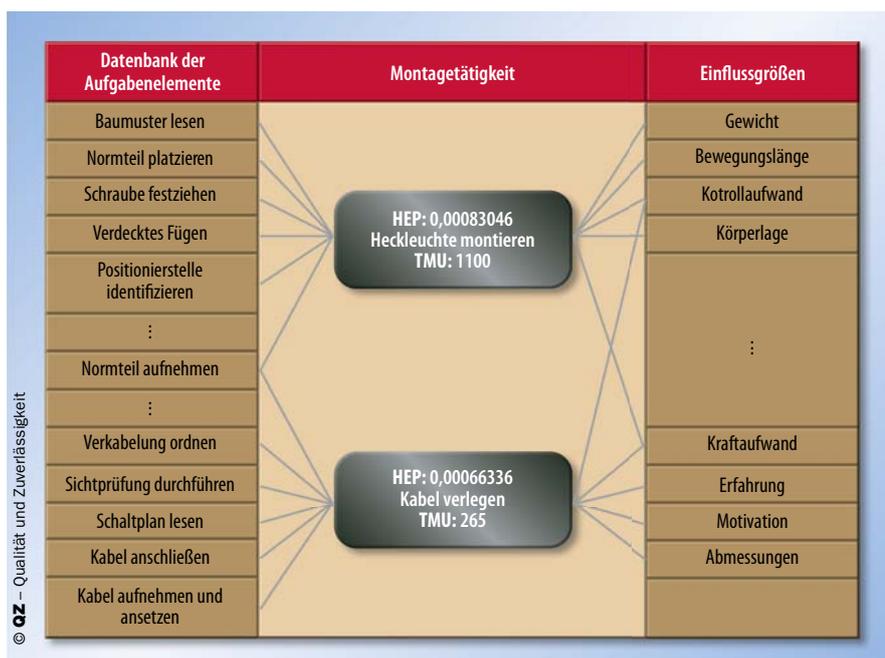


Bild 2. Datenbank der Aufgabenelemente (HEP = Fehlerwahrscheinlichkeitswert, TMU = Vorgabezeit)

© 2012 Carl Hanser Verlag, München www.qz-online.de Nicht zur Verwendung in Intranet- und Internet-Angeboten sowie elektronischen Verteilern

► **GQW BEST PAPER AWARD 2012**

Menschliche Montagefehler besser im Griff

Für die vorliegende Arbeit wurde der Autor Christian Kern im Februar in Cottbus mit dem „GQW Best Paper Award 2012“ ausgezeichnet.

Der Award

Mit dem GQW Best Paper Award prämiert die Gesellschaft für Qualitätswissenschaft (GQW) seit 2010 den besten Beitrag ihrer Jahrestagung. Eine unabhängige Jury aus Professoren der Qualitätswissenschaft bewertet in einem mehrstu-



GQW-Vorstand Prof. Michael Dietzsch (li.) zeichnet den diesjährigen Award-Gewinner Christian Kern aus.

figen Double-blind-Review-Verfahren die Präsentationen (Inhalt, Aufbau, Zuhörerorientierung, Vortragsstil, Zeitmanagement) und die Tagungsbandbeiträge (Qualität der Literaturrecherche, Bedeutung des Beitrags in seinem Themengebiet, logischer Aufbau, Anschaulichkeit).

Der diesjährige Preisträger überzeugte die Jury mit dem hervorragenden Eindruck von Vortrag und Aufsatz. In dem interessanten Beitrag zum Themengebiet werde die Problemstellung deutlich beschrieben, der Aufsatz sei logisch aufgebaut. Der GQW Best Paper Award 2013 wird bei der nächsten GQW-Jahrestagung am 26./27. Februar 2013 in Berlin verliehen.

Die GQW

Die Gesellschaft für Qualitätswissenschaft e. V. (GQW) ist eine wissenschaftliche Vereinigung von Hochschulprofessoren der Qualitätswissenschaft. Der gemeinnützige Verein besteht seit 1994 und hat zum Ziel, die wissenschaftlichen und fachlichen Belange der Qualitätswissenschaft zu fördern. Herzstück der GQW-Arbeit und ihrer derzeit 22 Mitglieder ist ihre Tagung, die jedes Jahr im Frühjahr an einem Mitgliedslehrstuhl stattfindet und sich an die GQW-Mitglieder, ihre wissenschaftlichen Mitarbeiter sowie an Vertreter der QM-Unternehmenspraxis wendet. Der diesjährige Tagungsband verschafft Anwendern einen Überblick über „Vielfalt Qualität – Tendenzen im Qualitätsmanagement“ [3].

► **GQW e. V.**
T 0355 69-3946
lsqm@tu-cottbus.de
www.gqw.de

benspezifischer Einflussfaktoren sowie ESAT-basierte Vorgewichte.

Die Aufgabenelemente der analysierten Montagefähigkeiten sind in der Datenbank so abgelegt, dass sie aufwandsarm zu neuen Montageabläufen verknüpft werden können. Im Zuge der Verknüpfung einzelner Aufgabenelemente zu größeren Strukturen erfolgt im Excel-Tool eine automatisierte Berechnung der mit den erzeugten Montageprofilen korrespondierenden Fehlerraten. Hierzu sind in der Datenbank ESAT-basierte Berechnungsformeln hinterlegt. Die Berechnung der resultierenden Fehlerwahrscheinlichkeitswerte erfolgt Schritt für Schritt und wird bei jedem Aufgabenelement, das der

Tätigkeitsbeschreibung neu hinzugefügt wird, aktualisiert. Dadurch ist es möglich, nicht nur die absolute Fehlerrate einer untersuchten Montagefähigkeit zu prognostizieren, sondern auch diejenigen Aufgabenelemente zu identifizieren, die hauptsächlich zum ermittelten Fehlerwahrscheinlichkeitswert beitragen.

Bei den Projektpartnern aus der Automobilindustrie und der Antriebs- und Steuerungstechnologie wurde die Methodik erprobt. Sie erwies sich als geeignet für Montageprofile, die sich aus bis zu hundert Aufgabenelementen zusammensetzen. In diesen Fällen ließ sich die Zuverlässigkeitsbewertung der Montageprofile zu etwa sechzig Prozent aus bereits in »

Forschungsprojekt

Das Projekt „Prozess- und risikobasierte Qualitätsplanung von Montagefähigkeiten in der Produktion“ wird durchgeführt vom RIF e. V. – Institut für Forschung und Transfer und gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).

Literatur

- 1 **Refflinghaus, R.; Kern, C.:** Interdisziplinärer Ansatz zur Vorhersage und Reduzierung menschlicher Fehlerwahrscheinlichkeiten in der manuellen Montage. In [3]
- 2 **Brauser, K.:** Aufgabentaxonomie: Ein Verfahren zur Ermittlung der menschlichen Leistung bei der Durchführung von Aufgaben, Band I/II. Technische Niederschrift, Messerschmidt-Bölkow-Blohm GmbH, Abteilung Hubschrauber und Flugzeuge, Ottobrunn 1990
- 3 **Woll, R.; Uhlemann, M. (Hrsg.):** Vielfalt Qualität – Tendenzen im Qualitätsmanagement. Berichte zum Qualitätsmanagement. Shaker Verlag, Aachen 2012

Autoren

Dipl.-Logist. Christian Kern, geb. 1980, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Qualitätsmanagement am RIF e. V. – Institut für Forschung und Transfer, Dortmund.

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Robert Refflinghaus, geb. 1970, leitet die Abteilung Qualitätsmanagement am RIF. An der Universität Kassel leitet er derzeit im Rahmen einer Vertretungsprofessur das Fachgebiet Qualitätsmanagement im Fachbereich Maschinenbau.

Kontakt

Christian Kern
T 0231 755-4680
christian.kern@rif-ev.de

www.qz-online.de

Diesen Beitrag finden Sie online unter der Dokumentennummer: **392977**

der Datenbank hinterlegten Tätigkeitsbausteinen erzeugen. Um die verbleibenden vierzig Prozent der Tätigkeitsbeschreibung verfahrenstechnisch abbilden zu können, wurden basierend auf den bisherigen Erfahrungen und unter Zuhilfenahme der ESAT-Datenbasis neue Aufgabenelemente erstellt, die sodann die Datenbank der Aufgabenelemente erweiterten.

Die prognostizierten Fehlerwahrscheinlichkeitswerte überstiegen zwar die tatsächlich gemessenen Fehlerraten. Doch die Rangfolge der Fehleranfälligkeit der untersuchten Montagetätigkeiten entsprach der Unternehmenspraxis. Für die Entwicklung und Umsetzung von prozessoptimierenden Maßnahmen wurde so eine eindeutige Priorisierung möglich.

Prospektive Bewertung von Planungsvarianten

Der erzeugte Datenpool ermöglicht darüber hinaus eine prospektive Bewertung alternativer Planungsvarianten (Bild 3). Auf diese Weise kann der Montageplaner bereits in der Planungsphase die Wirksamkeit potenzieller Änderungen des Mon-

tagesystems vorherbestimmen und Montagetätigkeiten im betrieblichen Umfeld fehlerminimierend ausgestalten. Beispielhaft wurde das Montageprofil „Bremskolbenmontage“ unter Rückgriff auf den am RIF erzeugten Datenpool zunächst einer ESAT-gestützten Zuverlässigkeitsanalyse unterzogen (Bild 3). Es zeigte sich, dass die Bewegungsfolge „Bremskolben sichern“ den fehleranfälligsten Arbeitsschritt der Bremskolbenmontage darstellte. Eine tiefer gehende Analyse ergab, dass dies unter anderem durch eine hohe Anzahl parallel ablaufender Bewegungen bedingt ist. Für diesen Arbeitsschritt wurden also alternative Planungsvarianten entwickelt und erneuten Zuverlässigkeitsprognosen unterzogen.

Der unter Risikoaspekten optimierte Montageprozess zeichnet sich durch einen alternativen Montageablauf aus: Durch die veränderte Montagereihenfolge war es neben der Reduzierung paralleler Arbeitsschritte möglich, die Zugänglichkeit der zu fügenden Komponenten am Montageort zu erhöhen und damit neben der Reduzierung des Qualitätsrisikos auch die mit der Aufgabenausführung verbundene

Verletzungsgefahr zu verringern. Im Ergebnis konnte das Risikopotenzial des ehemals fehleranfälligsten Arbeitsschritts auf die Hälfte gesenkt werden. Außerdem wurde die Zahl der erforderlichen Arbeitsschritte von zehn auf acht gesenkt, was sowohl die Fehleranfälligkeit der Gesamtaufgabe als auch die zur Aufgabenausführung erforderliche Zeit signifikant verringerte.

In der jetzigen Form lassen sich mit der Methode systembedingt keine Fehlerwahrscheinlichkeitswerte unter 0,0001 errechnen. Das für die Analyse herangezogene ESAT-Berechnungsmodell wurde ursprünglich für die Zuverlässigkeitsanalyse von selten auszuführenden Kontrolltätigkeiten in Risikoindustrien (Luft- und Raumfahrt, Kernkraft) entwickelt und geht davon aus, dass bei derartigen Arbeitsanforderungen kein Operateur unterhalb dieser Mindestfehlerwahrscheinlichkeit tätig sein kann. Da manuelle Montagetätigkeiten in der Serienfertigung jedoch ein anderes Anforderungsprofil aufweisen als Kontrolltätigkeiten in sicherheitskritischen Bereichen, ist eine Anpassung des Berechnungsprozesses erforderlich. Diese

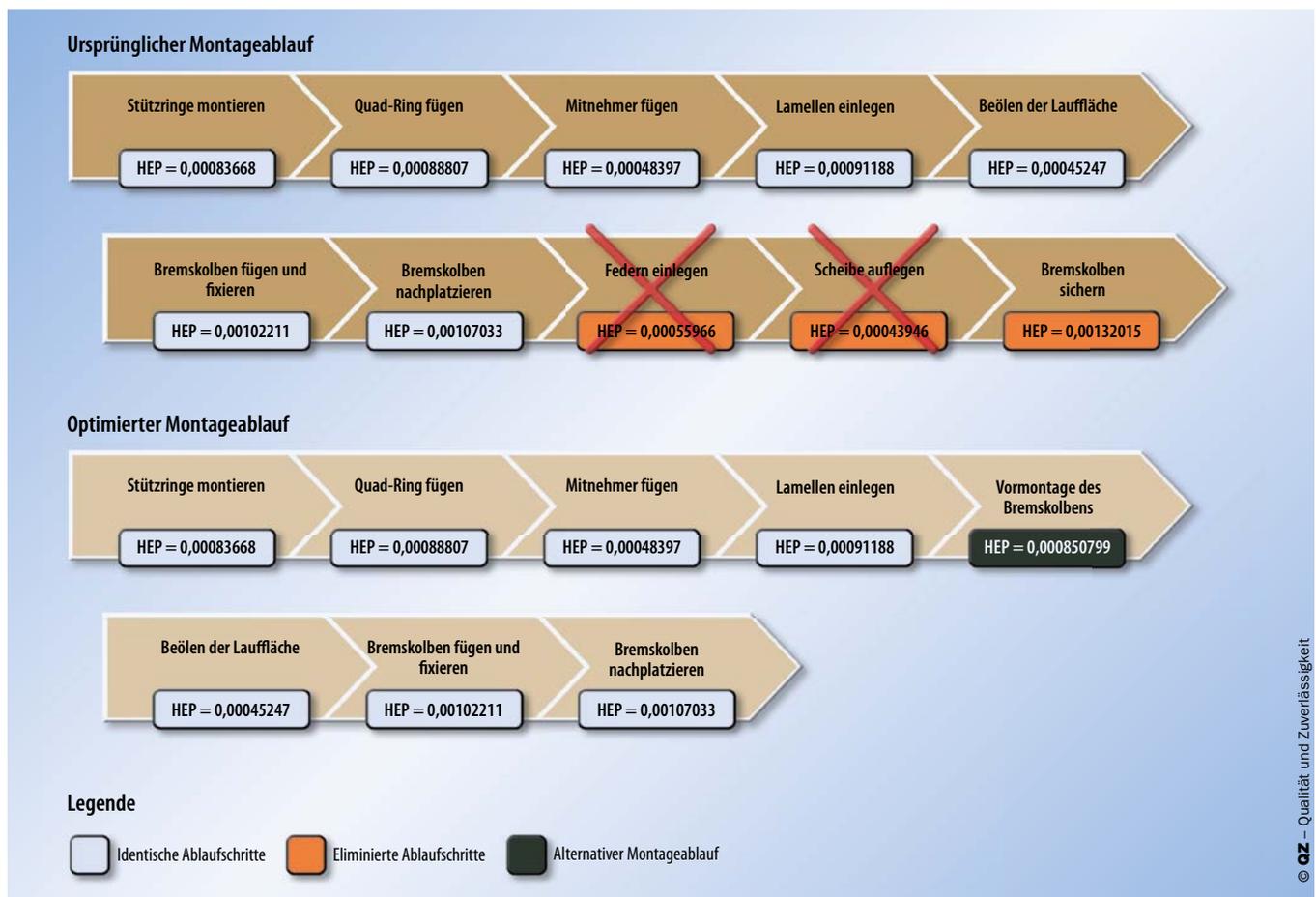


Bild 3. Praxisbeispiel „Bremskolbenmontage“

© 2012 Carl Hanser Verlag, München www.qz-online.de Nicht zur Verwendung in Intranet- und Internet-Angeboten sowie elektronischen Verteilern

© QZ – Qualität und Zuverlässigkeit

müsste die prognostizierten und tatsächlich im Unternehmen gemessenen Fehleraten nicht nur hinsichtlich der Rangfolge der Fehleranfälligkeit verschiedener Montagetaetigkeiten in Deckung bringen, sondern auch hinsichtlich ihrer absoluten Werte.

Weiterentwicklung für die Serienfertigung

Künftig soll der auf dem ESAT-Verfahren basierende Berechnungsprozess menschlicher Fehlerwahrscheinlichkeitswerte so modifiziert werden, dass sich auch sehr geringe Fehlerraten präzise vorhersagen lassen. Hierzu sind Sensitivitätsanalysen zu den Stellschrauben des ESAT-Berech-

Schließlich soll die geschaffene Datenbasis zu montagespezifischen Analysebausteinen für MTM-UAS-Standardvorgänge verdichtet werden, die als etabliertes (Montage-)Planungswerkzeug überbetriebliche Anwendung finden. Hierzu werden für jeden im MTM-Verfahren hinterlegten UAS-Standardvorgang Zuverlässigkeitsanalysen durchgeführt und ein Fehlerwahrscheinlichkeitswert ermittelt. Diese Werte ergänzen dann die bestehenden MTM-UAS-Datenkarten, und ihre einzelnen Elemente werden entsprechend dem ermittelten Risikopotenzial eingeordnet – anhand von farblichen Markierungen nach dem Ampelschema in verschiedene Fehleranfälligkeitsklassen.

Neben einem Fehlerwahrscheinlich-

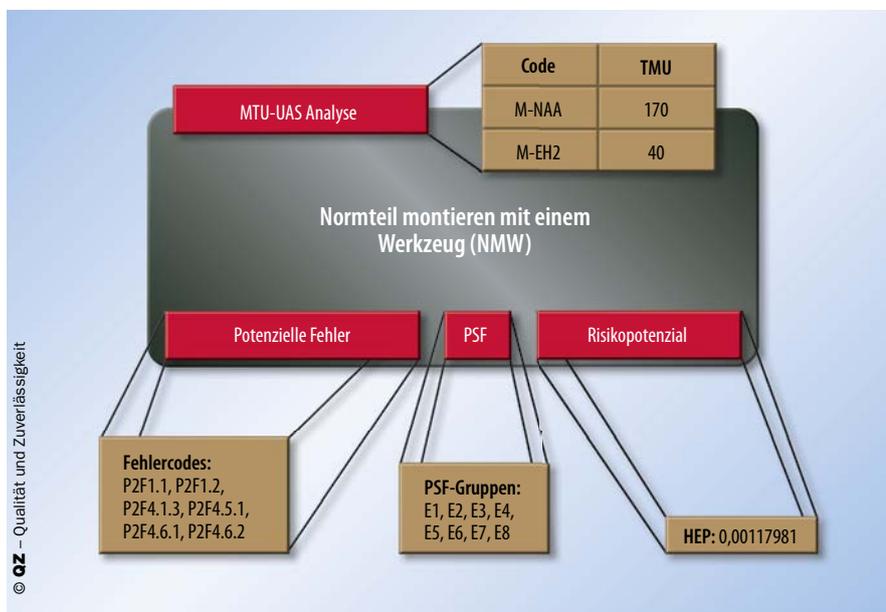


Bild 4. Montagespezifischer Analysebaustein (PSF = potenzielle Einflussgrößen)

nungsprozesses (wie Intervallbreiten der Zuverlässigkeitsklassen, Vorgewichte und Komponenten des Belastungsvektors) durchzuführen, um den Einfluss einzelner Faktoren und ihren Anteil am errechneten Fehlerwahrscheinlichkeitswert zu ermitteln. Ein darauf aufbauendes Modell muss bisher nicht berücksichtigte Einflussparameter, die die manuelle Montage im Bereich der Serienfertigung charakterisieren (wie etwa Lernkurveneffekte), in den Berechnungsprozess integrieren. Ziel ist, eine speziell auf das Anwendungsgebiet der industriellen Montage zugeschnittene Methode zur Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit bei der Ausführung manueller Montagetaetigkeiten zu entwickeln.

keitswert und dem kalkulierten Zeitbedarf enthalten die Analysebausteine zusätzlich Informationen zu potenziellen aufgabenelementinternen Fehlern sowie mögliche Einflussgrößen (Performance Shaping Factors, PSF) auf die Fehlerwahrscheinlichkeit in jeweils kodierter Form (Bild 4). Die Analysebausteine liefern somit einerseits MTM-basierte Vorgabezeitwerte für die Bewegungsfolgen. Andererseits werden die Risiken für Fehlhandlungen, die mit der Ausführung einer Bewegung verbunden sind, unmittelbar aufgezeigt und quantitativ bewertet. Damit wird der Arbeitsplaner zukünftig in die Lage versetzt, den Risikoaspekt als zusätzliche Größe in den Planungsprozess von manuellen Montagetaetigkeiten einzubeziehen. □