



Menschlichen Fehlern auf die Schliche kommen

Prognose menschlicher Fehlerwahrscheinlichkeiten im manuellen Montageprozess

Bei der Optimierung manueller Montageprozesse steht meist die Zeitplanung im Vordergrund, während menschliche Handlungsfehler und damit verbundene Prozessinstabilitäten selten berücksichtigt werden. Die Vaillant Group hat eine am RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. und dem Fachgebiet für Qualitäts- und Prozessmanagement der Universität Kassel entwickelte Methode zur prospektiven Analyse und Quantifizierung menschlicher Fehlerrisiken umgesetzt – und legte damit den Grundstein für eine qualitätsoptimale Auslegung der betrachteten Montageprozesse bereits im Planungsstadium.

Tim Trostmann, Christian Kern, Jose Palomo und Robert Refflinghaus

Die Gewährleistung hochqualitativer, fehlerfreier und anforderungsgerechter Produkte stellt für Unternehmen wie die Vaillant Group einen zentralen Wettbewerbsfaktor dar. Folglich sind das frühzeitige Erkennen qualitätskritischer Arbeitsschritte und die präventive Vermeidung möglicher Fehler Kernaspekte einer zeitgemäßen Qualitätsplanung. Dies gilt insbesondere für Montageprozesse, bei denen es sich häufig um ein Sammelbecken für die organisatorischen, terminlichen und qualitativen Fehler der vorgelagerten Produktionsprozesse handelt [1]. Sind diese Montageprozesse manueller Natur, rücken systematische technische Fehler in den Hintergrund. Hier spielen insbesondere zufällige Handlungsfehler der beteiligten Personen und somit die menschliche Zuverlässigkeit eine Rolle, um die Stabilität und Effizienz der Montageprozesse zu gewährleisten.

Bisher vernachlässigt: Zuverlässigkeit des Menschen

Eine prospektive Auseinandersetzung mit der Zuverlässigkeit des Menschen im Montageprozess wurde in der betrieblichen Praxis jedoch lange vernachlässigt. So auch bei der Vaillant Group. Manuelle Montageprozesse wurden hier bislang vorrangig hinsichtlich einer optimalen Zeitnutzung geplant [2]. Dies lag nicht zuletzt an der mangelnden Verfügbarkeit geeigneter Planungsmethoden, welche sich sowohl zeitlicher als auch qualitätsbezogener Aspekte ganzheitlich annehmen und eine präventive Ermittlung der Wahrscheinlichkeit und potenzieller Ursachen menschlicher Handlungsfehler ermöglichen.

Wandhängende Gasheizgeräte tragen wesentlich zu den Stückzahlen und zum Umsatz des Unternehmens bei. Zu diesem Produktsegment zählt auch das Brenn-

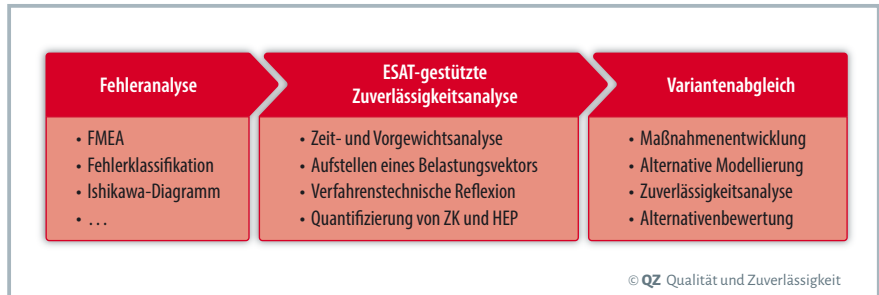


Bild 1. Ablauf der MTQM-Methode [3]

wertgerät ecoTEC5, das zur Befriedigung länderspezifischer Kundenbedürfnisse am Standort Remscheid derzeit in 200 unterschiedlichen Varianten in zwei parallel zueinander angeordneten Montagelinien gefertigt wird. Beide Montagelinien bestehen aus jeweils 14 Montagestationen und zwei Prüfständen. Beim Durchlaufen des Montagesystems werden an den einzelnen Montagestationen u.a. die Heatengine, (eine Wärmezelle, bestehend aus Gas-Brenner und Primär-Wärmetauscher) auf den Rahmen aufgesetzt, die Hydraulik verbaut, Rohre und Kabelbäume verlegt, ein Ausdehnungsgefäß eingesetzt, der Schaltkasten und die Elektrikeinheit angebracht und die Seitenteile montiert. Während des Montageprozesses wird dem Monteur anhand von Bildern, Beschreibungen und optischen Signalen mittels eines Montageprozessleitsystem (AMS – Assembly Management System) aufgezeigt, in welcher Reihenfolge welche Bauteile aus welchen Behältern zu entnehmen sind und wie diese im Montageprozess zu fügen sind.

Methodik aus der Arbeitsplanung

Die Methode MTQM (Methods Time and Quality Management) koppelt Verfahren zur Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit (HRA-Methoden – Human Reliability Analysis) mit Methoden aus der Zeitwirtschaft bzw. der Arbeitsplanung. Im Detail

wurde hierbei auf das Expertensystem zur Aufgabentaxonomie (ESAT) zurückgegriffen, welches an den Anwendungsbereich der manuellen Montage angepasst und mit Systemen vorbestimmter Zeiten (SvZ, MTM) kombiniert wurde (Bild 1). Zur Ermittlung der menschlichen Fehlerwahrscheinlichkeiten werden zuerst tabellarisch festgelegte montagespezifische Standardbegriffe zu Aufgabenelementen kombiniert und zur Aufstellung einer standardisierten Aufgabenbeschreibung genutzt (Bild 2).

Diesen Begriffen werden Vorgewichte hinsichtlich der aus den jeweiligen Begriffen resultierenden Handlungsschwierigkeit sowie montagespezifische Zeitwerte zugeordnet. Im zweiten Schritt werden Einflussfaktoren auf die menschliche Zuverlässigkeit berücksichtigt, die sich z.B. aus Umgebungseinflüssen, Arbeitsplatz- oder Personalcharakteristika ergeben und im Rahmen der manuellen Montage wirken. Diese werden in einem Belastungsvektor zusammengefasst und sind in Form von 34 leistungsbeeinflussenden Faktoren zu bewerten. Die ermittelten Informationen werden schließlich über das entwickelte Berechnungsmodell verknüpft, sodass eine Einordnung der Montagetätigkeit in eine von 20 Zuverlässigkeitsklassen (ZK) und darauf aufbauend die Ermittlung der konkreten Fehlerwahrscheinlichkeit im Rahmen des Montageprozesses erfolgen kann. Um die finanziellen Auswirkungen menschlich bedingter Montagefehler zu berücksichtigen, erfolgt im letzten Schritt eine Gegenüberstellung der mit den identifizierten Fehlerhäufigkeiten verbundenen internen und externen Fehlerkosten in Form einer Fehler-Prozess-Matrix. Somit kann eine Abwägung zwischen dem Aufwand, der mit der Umsetzung von prozessoptimierenden Maßnahmen verbunden ist, und dem Gewinn, der durch das ge-

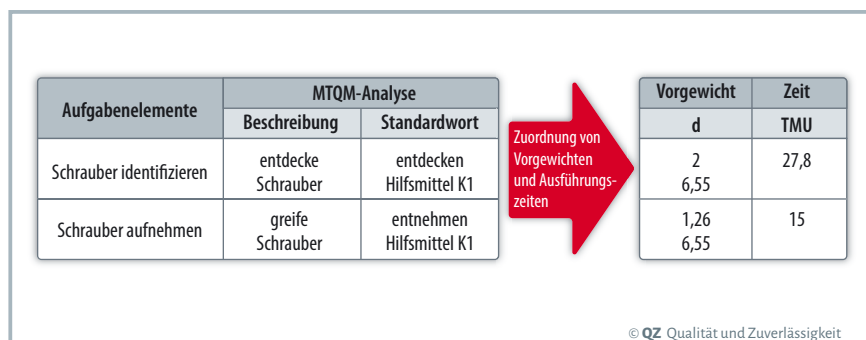


Bild 2. Aufstellung der standardisierten Aufgabenbeschreibung

ringere Fehlerrisiko realisiert werden kann, erfolgen.

Überdurchschnittlich hohes Fehleraufkommen entdeckt

Das Potential einer zeit- und qualitätsoptimalen Planung von Montageprozessen wollte schließlich auch die Vaillant Group für sich entdecken und erprobte MTQM innerhalb der ecoTEC5-Montagelinie (Bild 3). Im Rahmen der Fehleranalyse ergab sich auf Basis einer Datenauswertung, dass in der ecoTEC5-Montagelinie insbesondere die Montagestation „Gasrohr verbauen“, ein überdurchschnittlich hohes Fehleraufkommen aufwies.

An dieser Montagestation wird zunächst der untere Teil des zweiteiligen Gasrohrs mit einer Rechteckdichtung versehen

und mittels einer Überwurfmutter mit dem oberen Teil des Gasrohrs verschraubt. Im nächsten Schritt wird an einem Ende des Gasrohrs eine weitere Rechteckdichtung eingelegt, das Gasrohr mit einer Mutter vormontiert und anschließend mit zwei Schrauben am Rahmen des Geräts befestigt. Abschließend sind die Verschraubungen mittels Drehmoment- und Kontersschlussel festzuziehen. Anhand von Vor-Ort-Beobachtungen des Montageprozesses sowie einer FMEA-gestützten Fehleranalyse konnten an dieser Montagestation sowohl Ausführungs- als auch Auslassungs- und Handhabungsfehler detektiert werden. Hierbei zeigte sich, dass mehrere identifizierte Fehler mit dem Verbauen der Rechteckdichtung in Zusammenhang stehen. Neben dem falschen Po-

INFORMATION & SERVICE

FORSCHUNGSPROJEKT

Das IGF-Vorhaben 18878N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Qualität e.V. (FQS), August-Schanz-Straße 21A, 60433 Frankfurt am Main wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

LITERATUR

- 1 Brecher, C.; Schapp, L.: Strategien und Trends in der Montagetechnik. Apprimus Wissenschaftsverlag, Aachen 2009
- 2 Kern, C.; Refflinghaus, R.: Interdisziplinärer Ansatz zur Vorhersage und Reduzierung menschlicher Fehlerwahrscheinlichkeiten in der manuellen Montage. In: Uhlemann, M.; Woll, R. (Hrsg.): Vielfalt Qualität – Tendenzen im Qualitätsmanagement. Berichte zum Qualitätsmanagement. Shaker Verlag, Aachen 2012
- 3 Kern, C.; Refflinghaus, R.: Process optimization in manual assembly by software-based identification of quality-critical work steps. In: Proceedings of the 19th International Conference on Quality and Service Science. Toulon-Verona-Conference, Huelva, Spain 2016
- 4 Kern, C.; Refflinghaus, R.; Bossmann, E.; Bittmann, T.: Prospektive Ermittlung und Reduzierung potenzieller Fehler für manuelle Montagelinien. In: Gröger, S.; Eiselt, T.; Schuldt, J. (Hrsg.): Berichte zum Qualitätsmanagement. Shaker Verlag, Aachen 2014

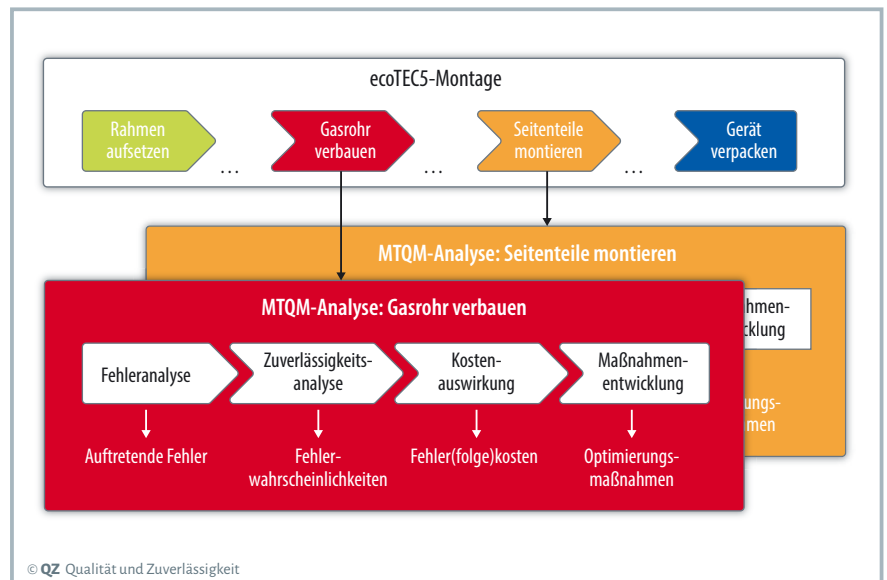


Bild 3. Praktische Anwendung von MTQM bei der Vaillant GmbH [4]

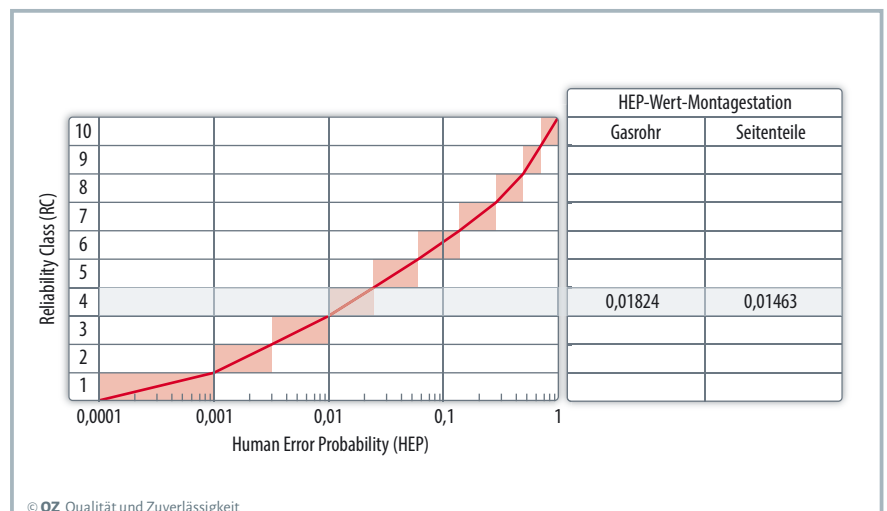


Bild 4. Ergebnis der Zuverlässigkeitsanalyse an den Montagestationen „Gasrohr montieren“, und „Seitenteile montieren.“, [4]

sitionieren und einer damit verbunden Bauteilbeschädigung an den nächsten Montagestationen wurde die Montage der Rechteckdichtung u.a. durch Unachtsamkeit des Monteurs in Einzelfällen vergessen. Eine weitere Fehlerquelle stellte der Verbund der zwei Gasrohrteile dar. Hierbei kam es zum Beispiel vor, dass die Teile falsch miteinander verbunden wurden oder am Drehmomentschlüssel ein falsches Drehmoment erreicht wurde.

Im Anschluss an die qualitative Fehleranalyse wurde das Risikopotenzial der betrachteten Montagestation quantifiziert. Hierzu wurden alle auszuführenden manuellen Arbeitsinhalte einer ESAT-gestützten Zuverlässigkeitsanalyse unterzogen. Basis für diesen Arbeitsschritt waren die Erstellung von standardisierten Arbeitsablaufbeschreibungen und die Zuordnung der entsprechenden Zeit- und Vorgewichtswerte.

Lärm als Beeinträchtigungsfaktor identifiziert

Nach der Transformation der Aufgabenbeschreibungen in die standardisierte ESAT-Prozesssprache folgte in der nächsten Phase der Risikoanalyse die Bewertung der für die untersuchte Arbeitsaufgabe relevanten Komponenten des Belastungsvektors. Hierbei fanden im Zuge der beim Industriepartner Vaillant Group durchgeführten Analysen insbesondere die leistungsbeeinflussenden Faktoren „Lärm“ und „Arbeitsdauer“ Berücksichtigung. So wurden die Mitarbeiter durch eine andauernde Lärmbelastung beeinträchtigt, die u.a. durch die Nutzung von Montagehilfsmitteln und durch Maschinengeräusche entsteht. Darüber hinaus wies die Arbeitsorganisation eine unter Konzentrationsgesichtspunkten zu lange Zeitspanne bis zur ersten Erholungspause auf. Aufbauend auf der standardisierten Aufgabenbeschreibung und dem Belastungsvektor wurde schließlich das Risikopotenzial der betrachteten Montagestationen bestimmt (Bild 4).

Auf Basis der Erkenntnisse in Kombination mit bei der Vaillant Group dokumentierten Daten zu betrieblich angefallenen, über das AMS-System erfassten Nacharbeits- und Ausschusskosten wurden schließlich die Fehlerkosten im Rahmen einer Fehler-Prozess-Matrix ermittelt. Anhand der Rangfolge, die sich aus der Verknüpfung der Fehler- und Kostenanalyse er-

gab, ließ sich erkennen, dass Fehler, die bei der Dichtungsmontage auftreten können, die höchsten Bedeutungswerte aufweisen und somit sowohl unter Risiko- als auch unter Kostenaspekten vorrangig zu behandeln sind. Im Ergebnis bietet die Anwendung der MTQM-Methode der Vaillant Group die Möglichkeit, manuelle Montagefehler, die bisher erst über das AMS-System und die in die Montagelinie integrierten Prüfstände erkannt wurden, prospektiv zu ermitteln und bereits frühzeitig eine effiziente, kostenoptimierte Fehlerbehebung anzustoßen.

Aufbauend auf der zeit- und qualitätsorientierten Analyse sowie der monetären Bewertung der identifizierten Fehlerrisiken wurden geeignete Optimierungsmaßnahmen entwickelt. In diesem Zusammenhang konnten konstruktive Maßnahmen (z.B. Anbringen einer Fügehilfe am Gasrohrende, sodass die Dichtung nur in einer genau definierten Position aufgesetzt werden kann), visuelle Maßnahmen (z.B. Einführung eines Pick-to-Light-Systems) sowie organisatorische und ergonomische Maßnahmen (z.B. Zugänglichkeit der Schraubstellen verbessern, Höhenverstellbarkeit des Montagewagens) erarbeitet werden, die teilweise bereits im Unternehmen umgesetzt wurden.

Prospektive Optimierung der Montageprozesse

So konnte die Vaillant Group mittels MTQM ihre Montageprozesse erfolgreich prospektiv optimieren. Dabei erfolgte durch MTQM im Vergleich zu bereits verfügbaren Methoden sowohl eine zeitoptimierte Planung des Montageprozesses als auch eine Berücksichtigung des Aspekts der Qualität in Form der Wahrscheinlichkeit menschlicher Handlungsfehler. Dieser konnte somit als zusätzliche, quantitative Größe in den Planungsprozess der entsprechenden manuellen Arbeitsinhalte einbezogen werden.

Allerdings wurden im Rahmen der Anwendung auch weitere Forschungspotenziale bezüglich der entwickelten Methodik deutlich. So zeigte sich im Rahmen eines Abgleichs mit den tatsächlich im Unternehmen gemessenen Fehlerraten, dass die prognostizierten HEP-Werte zwar hinsichtlich ihrer absoluten Höhe um etwa den Faktor 2 von den tatsächlichen Fehlerraten abwichen, die Rangfolge der Fehleranfälligkeit

der einzelnen Montagestationen jedoch der Unternehmenspraxis entsprach. Somit konnten die Ergebnisse zur eindeutigen Maßnahmenpriorisierung herangezogen werden. Des Weiteren hielt die ESAT-Datenbank in einigen Fällen keine passenden Standardbegriffe bereit, um alle Aufgabenelemente der untersuchten Montageaktivitäten adäquat in der ESAT-Prozesssprache abzubilden. Somit war es im Zuge der Transformation der Aufgabenbeschreibungen in die ESAT-Prozesssprache erforderlich, die ESAT-Datenbank um neue, montagespezifische Standardbegriffe, wie z.B. „Montagewagen“, zu erweitern. Um den Reifegrad der Methode voranzutreiben, wird folglich aktuell nicht nur die Datenbank von MTQM kontinuierlich weiterentwickelt, sondern es wird auch an Maßnahmen zur Steigerung der Prognosegenauigkeit geforscht. So erfolgt aktuell die Umsetzung der Methode in eine leicht verständliche, intuitiv zu bedienende Software, um die Anwendung der Methode auch bei eingeschränktem Methodenwissen, begrenzten finanziellen Mitteln und geringer Personaldecke, wie z.B. bei KMU, zu ermöglichen [3]. ■

INFORMATION & SERVICE

AUTOREN

Tim Trostmann, M.Sc., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Qualitäts- und Prozessmanagement im Fachbereich Maschinenbau der Universität Kassel.

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

Jose Palomo ist Industrial Engineer Zeitstudien bei der Vaillant Group am Standort Remscheid.

Prof. Dr.-Ing. Robert Refflinghaus leitet das Fachgebiet Qualitäts- und Prozessmanagement an der Universität Kassel. Zudem ist er Leiter der Abteilung Qualitätsmanagement am RIF.

KONTAKT

Christian Kern
T 0231 9700-116
christian.kern@rif-ev.de