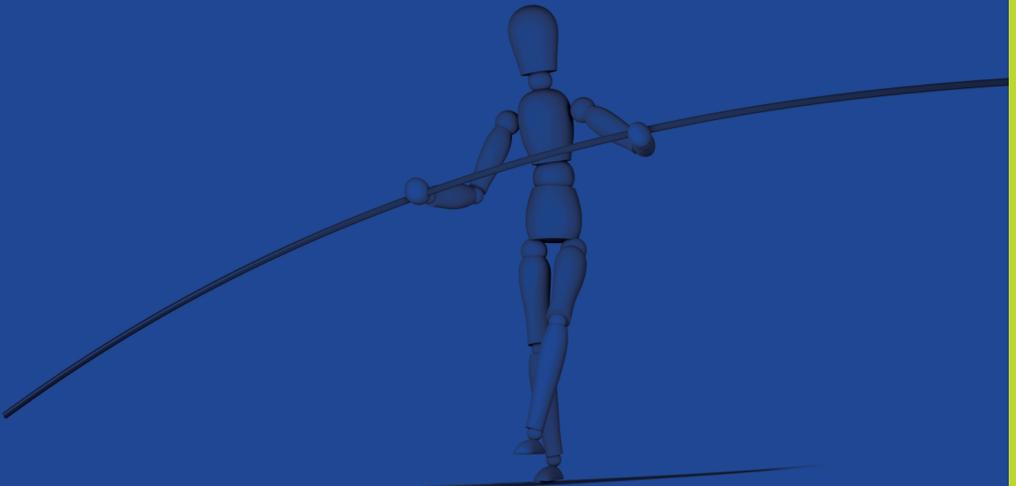


Jamal Algedri  
Ekkehart Frieling

# Human-FMEA

Menschliche Handlungsfehler  
erkennen und vermeiden

2., erweiterte Auflage



HANSER





Jamal Algedri  
Ekkehart Frieling

# **Human–FMEA**

Menschliche Handlungsfehler  
erkennen und vermeiden

2., erweiterte Auflage

**HANSER**



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, sind vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2015 Carl Hanser Verlag München  
<http://www.hanser-fachbuch.de>

Lektorat: Lisa Hoffmann-Bäumel  
Herstellung und Satz: Thomas Gerhardy  
Umschlaggestaltung: Stephan Rönigk  
Druck & Bindung: Hubert & Co, Göttingen  
Printed in Germany

ISBN 978-3-446-44382-2  
E-Book-ISBN 978-3-446-44443-0

# Vorwort zur zweiten Auflage

Die Human-FMEA ist seit ihrem ersten Erscheinen im Jahr 2001 in den unterschiedlichsten Branchen der Wirtschaft eingesetzt worden. Das Interesse steigt stetig, bedingt durch die erzielten Effekte, die fast immer die Erwartungen übertrafen.

Die zweite Auflage wurde durch ein Beispiel aus der Lebensmittelbranche ergänzt. In diesem vierten Praxisbeispiel konnte die Ausschussrate nachhaltig um 80 % reduziert werden. Damit wird deutlich, dass die Human-FMEA branchenunabhängig wirksam eingesetzt werden kann. Auch wenn die Beispiele der ersten Auflage schon einige Jahre alt sind, so sind die dargestellten Vorgehensweisen und die erzielten Ergebnisse nach wie vor gültig, so dass diese Beispiele auch in der 2. Auflage dargestellt werden.

Die integrative Fähigkeit der Human-FMEA trägt nicht nur zur nachhaltigen Reduzierung der Fehlerraten bei, sondern steigert die Effektivität der Qualitätssysteme. In der Lebensmittelindustrie wird durch die Human-FMEA das HACCP-System ergänzt und führt zu einer methodischen Berücksichtigung von menschlichen Aspekten bei der Analyse und bei der Definition der Überwachungspunkte. Neben der Senkung der Ausschussrate sank das Fehlerrisiko erheblich und ebenso die Kundenreklamationsrate.

Wir möchten ausdrücklich Frau Hoffmann-Bäumel vom Hanser Verlag für die angenehme und konstruktive Zusammenarbeit danken.

Marburg, Frühjahr 2015

Jamal Algedri, Ekkehart Frieling



# Vorwort zur ersten Auflage

Die Notwendigkeit, Fehler zu beseitigen, ist in der Industrie unstrittig. Das Ziel ist klar, unklar sind allerdings die Wege, dieses Ziel zu erreichen. Einzelne Betriebe sehen in der Optimierung und weitgehenden Automatisierung ihrer Technik die einzige Chance, Fehler zu beseitigen. Andere glauben an die Kraft der Imitation japanischer Produktionskonzepte und standardisieren möglichst alle Arbeitsschritte und Prozesse. Dritte wiederum gehen den Weg der teilautonomen Gruppenarbeit und hoffen, durch die Übertragung von Verantwortung auf die Gruppenmitglieder das Fehlerrisiko zu minimieren. All diese Ansätze betrachten die Beseitigung von Produktfehlern als ein mögliches Ergebnis ihrer Maßnahmen, ohne aber die Maßnahmen selbst gezielt auf die Fehlerbeseitigung zu fokussieren.

Die hier vorgelegte Methode Human-FMEA (H-FMEA) versucht unter Berücksichtigung der in verschiedenen Auditierungssystemen verbreiteten Prozess-FMEA, die vorhandenen Defizite in der Vorgehensweise zur Fehlerbeseitigung zu verringern, indem sie von Produktfehlern ausgeht und diese unter Beteiligung der betroffenen Mitarbeiter systematisch analysiert, klassifiziert sowie dokumentiert. Es werden Wege aufgezeigt, die Fehlerursachen durch gezielte ergonomische, organisatorische und personelle Maßnahmen zu beseitigen.

Die Entwicklung der H-FMEA wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) – Förderkennzeichen 01HK9604/6, 01HK9605/9 und 01HK9606/1 – gefördert. Ohne eine solche Förderung sind Unternehmen nur schwer zu motivieren, an der Entwicklung einer Methode aktiv mitzuwirken und ihre Fehler zum Gegenstand von empirischen Untersuchungen werden zu lassen.

Wir möchten an dieser Stelle den Unternehmen iwis München, friedola Eschwege und DaimlerChrysler Adtranz Kassel ganz herzlich dafür danken, dass sie sich an der Entwicklung der H-FMEA beteiligt haben und bereit waren, anfängliche Schwierigkeiten gemeinsam zu überwinden. Sie haben durch ihre Mitarbeiter – die Herren Bekiroglu, Dr. Henniges, Barchfeld und Katschke aktive und kreative Kooperationspartner zur Verfügung gestellt, die wesentlichen Anteil daran haben, dass die Methode praktikabel geworden ist und zu konkreten positiven Betriebsergebnissen beiträgt.

Die im Anschluss an das Methodenhandbuch dargestellten drei Betriebsbeispiele machen deutlich, dass die H-FMEA in Unternehmen mit unterschiedlichen Produkten (Motorsteuerketten, Folienbeschichtung und Lokomotiven) effizient und effektiv einge-

setzt werden kann. Besonders dankbar sind wir für die Bereitschaft der Unternehmen, ihre konkreten Zahlen verwenden zu dürfen, um die tatsächlichen Effekte abbilden zu können.

An der Methodenentwicklung haben mehrere Studentengenerationen mitgewirkt, indem sie als Hilfskräfte am Institut für Arbeitswissenschaft und als Diplomanden in den drei Unternehmen tätig waren. Wir danken daher Herrn Nurr Agha, Herrn Martin Becker, Herrn Uwe Bretthauer, Herrn Thomas Fölsch, Herrn Carsten Geck, Herrn Peter Gesslauer, Herrn Sami Guhnaim, Herrn Stefan Hoffmann, Herrn Peter Kirsch, Herrn Ralf Klüber, Herrn Markus Kreile, Herrn Achim von der Marwitz, Herrn Andreas Schäfer, Herrn Jörg Siebert, Herrn Frank Sommerfeld, Herrn Lutz Stehling, Herrn Sascha Störmer, Herrn Roukana Tahan sowie Frau Constanze Völkel und Frau Andrea Weigel.

Für die vielfältigen Anregungen möchten wir uns weiterhin bei Frau Dr. Simone Kaufeld, Herrn Cven Grothe, Herrn Dr. Rüdiger Goyk und Herrn Markus Buch bedanken.

Frau Maria Algedri ist es zu verdanken, dass die H-FMEA entwickelt wurde. Ohne ihre fachliche, ideelle und finanzielle Unterstützung insbesondere in der Antragsphase wäre das Verfahren nicht entstanden.

Besonderer Dank gilt Frau Ellen Schäfer, die mit großem Engagement sowohl zu der Optimierung der Methode als auch zu der Fertigstellung des Handbuches beigetragen hat.

Abschließend möchten wir uns bei dem wissenschaftlichen Beirat bedanken, der das Projekt begleitet hat, und ganz besonders bei Herrn Hüttemann vom Projektträger DLR, der uns mit großer Geduld bei unserem Projekt konstruktiv unterstützte und dem wir viele Hinweise zu verdanken haben, das Projekt zu einem erfolgreichen Abschluss zu führen.

Kassel, Winter 2001

Jamal Algedri, Ekkehart Frieling

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Human-FMEA</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung	1
1.1.1	Ausgangslage	3
1.1.2	Zielsetzung der H-FMEA	4
1.2	Methodische Grundlagen	5
1.2.1	Der soziotechnische Systemansatz	5
1.2.2	Tätigkeitstheorie	5
1.2.3	Handlungsregulationstheorie	6
1.2.4	Belastungs-Beanspruchungskonzept	7
1.3	Der Zusammenhang zwischen Handlungsfehlern und fehlerauslösenden Bedingungen	8
1.4	Grundlagen der Klassifikation von Handlungsfehlern	10
1.4.1	Definition menschlicher Handlungsfehler	12
1.4.2	Handlungsfehlerklassifikation (HF-K)	13
1.5	Prinzipielle Vorgehensweise der H-FMEA	21
1.6	Ablauf der H-FMEA	22
1.6.1	Produktfehleranalyse (PF-A)	23
1.6.2	Handlungsfehler-Ursachenanalyse (HUA)	45
1.6.3	Ableitung von Gestaltungsanforderungen und Erstellung eines Fehlerkataloges	50
1.6.4	Dokumentation der H-FMEA-Ergebnisse	52
1.7	Zusammenfassung und Ausblick	54
<b>2</b>	<b>Praxisberichte</b>	<b>55</b>
2.1	Vorbemerkungen zu den Praxisberichten	55
2.2	Durchführung der H-FMEA bei der Firma iwis	56
2.2.1	Vorstellung des Projektpartners	56
2.2.2	Produktfehleranalyse	57
2.2.3	Handlungsfehler-Ursachenanalyse	72
2.2.4	Ableitung von Gestaltungsanforderungen und Erstellung eines Fehlerkataloges	74

2.2.5	Dokumentation der H-FMEA-Ergebnisse . . . . .	80
2.2.6	Ergebnisse . . . . .	81
2.2.7	Überprüfung der Nachhaltigkeit der erzielten Verbesserungen . . . . .	83
2.3	Durchführung der H-FMEA bei der Firma friedola . . . . .	84
2.3.1	Vorstellung des Projektpartners . . . . .	84
2.3.2	Produktfehleranalyse . . . . .	85
2.3.3	Durchführung der Produktfehleranalyse bezogen auf einen ausgewählten Schwerpunkt . . . . .	92
2.3.4	Durchführung der Handlungsfehler-Ursachenanalyse bezogen auf einen ausgewählten Schwerpunkt . . . . .	106
2.3.5	Ableitung von Gestaltungsanforderungen. . . . .	112
2.3.6	Dokumentation der H-FMEA-Ergebnisse. . . . .	113
2.3.7	Ergebnisse . . . . .	114
2.4	Durchführung der H-FMEA bei der Firma Adtranz . . . . .	115
2.4.1	Vorstellung des Projektpartners . . . . .	115
2.4.2	Produktfehleranalyse . . . . .	117
2.4.3	Handlungsfehler-Ursachenanalyse . . . . .	136
2.4.4	Ableitung von Gestaltungsanforderungen und Erstellung eines Fehlerkataloges . . . . .	141
2.4.5	Dokumentation der H-FMEA-Ergebnisse. . . . .	145
2.4.6	Weiterführende Analyse der ergonomischen Arbeitsbedingungen in der Endmontage. . . . .	146
2.4.7	Weiterführende Analyse der Logistikkette . . . . .	150
2.4.8	Ergebnisse . . . . .	156
2.4.9	Überprüfung der Nachhaltigkeit der erzielten Verbesserungen . . . . .	157
2.5	Durchführung der H-FMEA bei einem Lebensmittelhersteller . . . . .	159
2.5.1	Ausgangslage . . . . .	159
2.5.2	Vorbereitung . . . . .	159
2.5.3	Durchführung der H-FMEA . . . . .	165
2.5.4	Die Lösungsmaßnahmen im Zusammenhang . . . . .	176
2.5.5	Ergebnisse . . . . .	186
2.5.6	Zusammenfassung . . . . .	188
	<b>Formulare zur Durchführung der Human-FMEA</b>	<b>191</b>
	<b>Literatur</b>	<b>195</b>
	<b>Verzeichnis der Publikationen</b>	<b>199</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>201</b>
	<b>Index</b>	<b>205</b>

# 1

# Human-FMEA

## ■ 1.1 Einführung

Trotz der Bemühungen, die Fehlerproblematik mit den verfügbaren Methoden des Qualitätsmanagements (QM) zu beherrschen, um eine gesteigerte bzw. gleichbleibende Produktqualität zu erzielen und/oder die Fehlerkosten zu senken, lässt sich dies im Praxisalltag nur schwer erreichen. In diesem Zusammenhang zeigen verschiedene Untersuchungen, dass deutsche Unternehmen 20 bis 30 % ihres Umsatzes für die Fehlerbehebung aufwenden [Kamiske/Brauer 2011]. Der weltweit anerkannte Qualitätspionier Juran äußert sich zu diesem Thema in folgender Weise: „Das Nacharbeiten bereits erledigter Aufgaben umfasst ein Drittel aller Aktivitäten im Unternehmen“ [Juran 1992, S. 40].

Fehlerbehebung ist aufwändig.

Die zur Entstehung der Fehlerkosten beitragenden Fehler können in systematische und zufällige Fehler unterteilt werden. Da die gängigen QM-Methoden und Werkzeuge stark auf die Analyse von systematischen Fehlern ausgerichtet sind, die durch technisch bedingte Ursachen entstehen, setzen auch die Maßnahmen zur Fehlervermeidung hier an. Nicht beachtet werden die zufällig auftretenden Fehler, die jedoch einen erheblichen Einfluss auf die Produktqualität und die Höhe der Fehlerkosten haben können. Somit bleibt auch die Frage nach dem Zusammenhang von zufällig auftretenden Produktfehlern und menschlichen Handlungsfehlern offen. Infolgedessen führen Maßnahmen zur Reduzierung bzw. Vermeidung von Produktfehlern lediglich zu einer Verringerung der systematischen Fehler. Eine präventive Fehlervermeidung unter Einbeziehung zufälliger Fehler – die zu einer nachhaltigen Reduzierung der gesamten Fehlerkosten und zur Steigerung/Sicherung der Produktqualität führen würde – kann auf diese Art und Weise nicht erreicht werden.

Auf der konzeptionellen Ebene wird im Rahmen von Bewertungskonzepten des Total-Quality-Ansatzes (z. B. European Foundation for Quality Management Excellence Award, Malcolm Baldrige National Quality Award) der Fokus auf die Prävention im Sinne von kontinuierlichen Verbesserungsprozessen und der Erreichung eines Null-Fehler-

Niveaus durch Prozess- und Mitarbeiterorientierung bei der Gestaltung des Arbeitssystems gerichtet. Die Prozessorientierung macht deutlich, dass nur das Zusammenwirken von Technik, Organisation und Personal zur Fehlervermeidung bzw. -reduzierung führen kann. Die Mitarbeiterorientierung bezieht sich auf die Qualität des Arbeitsplatzes, die Erweiterung des Handlungsspielraums für die Mitarbeiter sowie die Qualifizierung und Kompetenzentwicklung. Ausgangspunkt ist die Feststellung, dass die Produktqualität entscheidend von den Mitarbeitern und den sie beeinflussenden Arbeitsbedingungen geprägt wird.

Bei der Fehlervermeidung und -reduzierung müssen Technik, Organisation und Personal berücksichtigt werden.

Daraus ergibt sich die Annahme, dass Zufallsfehler am Produkt, die nicht nur aufgrund von technischen Mängeln auftreten und deren Ursache somit in menschlichen Fehlhandlungen vermutet werden können, durch menschengerechte Arbeitsgestaltung reduziert werden können. Hier kann die Verbindung zu der Arbeitswissenschaft hergestellt werden: Gegenstand der Arbeitswissenschaft ist die Analyse, Ordnung und Gestaltung der technischen, organisatorischen und sozialen Bedingungen von Arbeitsprozessen mit dem Ziel, dass die arbeitenden Menschen in produktiven und effizienten Arbeitsprozessen

- schädigungslose, ausführbare, erträgliche und beeinträchtigungsfreie Arbeitsbedingungen vorfinden,
- Standards sozialer Angemessenheit nach Arbeitsinhalt, Arbeitsaufgabe, Arbeitsumgebung sowie Entlohnung und Kooperation erfüllt sehen sowie
- Handlungsspielräume entfalten, Fähigkeiten erwerben und in Kooperation mit anderen ihre Persönlichkeit erhalten und entwickeln können [Luczak 1993].

Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse helfen bei der Analyse menschlicher Fehlhandlungen.

Bedeutsam ist, dass die Qualität des gesamten Arbeitssystems von den einzelnen Systemelementen abhängt. Auch oder gerade unter diesem Aspekt erschließt sich die betriebswirtschaftliche Vorteilhaftigkeit der arbeitswissenschaftlichen Gestaltungsansätze. Diese ist unter anderem darin zu sehen, dass zufällig auftretende Fehler durch humane Gestaltung des Arbeitssystems verringert oder abgestellt und dadurch Fehlerkosten gesenkt werden können. Wirtschaftlichkeit und Humanisierung der Arbeit werden somit zu komplementären Zielen, die zu einer nachhaltigen Steigerung/Sicherung der Qualität beitragen und Wettbewerbsvorteile schaffen. Dies wird auch dadurch deutlich, dass Rationalisierung und Humanisierung zwei wesentliche Zielsetzungen der Arbeitswissenschaft darstellen. Ferner ist eine auf arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen basierende Gestaltung der Arbeitsabläufe und Prozesse sowohl aus Sicht des Arbeitsschutzes als auch aus Erwägungen des Qualitätsmanagements von Vorteil. In

der Praxis sind diese Vorteile bislang nicht ausreichend in die betrieblichen Bewertungsverfahren integriert. Die Fehlervermeidung bietet die Möglichkeit, arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse und Konzepte betrieblich zu realisieren.

Durch die Humanisierung der Arbeit ergeben sich ökonomische Vorteile.

### 1.1.1 Ausgangslage

Für eine frühzeitige Einschätzung von Fehlern und Fehlerfolgen sowie für die Bewertung und Vermeidung von potenziellen Fehlerursachen wird die Produkt- bzw. Prozess-FMEA eingesetzt. Eine objektive und damit wirksame Durchführung von FMEAs hängt wesentlich von der Komplexität des betrachteten Gegenstands, von der Kompetenz der Teilnehmer und des Moderators, von den eingesetzten Moderationstechniken und von der Durchführungszeit ab. Je nach Bedeutung der mit dem betrachteten Gegenstand verbundenen Risiken und dem Erkenntnisstand über Fehlerfolgen sowie deren Auftretenswahrscheinlichkeit kann die Durchführung einer FMEA mehrere Wochen in Anspruch nehmen [Schmitt/Pfeifer 2010]. Dieser Effekt wird dadurch verstärkt, dass die Fehlerursachen das Resultat der Wechselwirkungen zwischen Mensch und Technik und/oder Mensch und Organisation sein können. Die mit den Wechselwirkungen verbundenen Fehlerursachen realitätsnah abzuschätzen und wirksame Vermeidungsmaßnahmen zu definieren, setzt sowohl bei dem Moderator als auch bei den FMEA-Teilnehmern eine fachliche und methodische Kompetenz auf dem Gebiet der Arbeitswissenschaft voraus. Dies wird – wie das folgende Beispiel zeigt – häufig nicht erfüllt: „Oft fallen ungenaue und verallgemeinernde Formulierungen auf. So werden als Fehlerursache in einem Prozess Werkerfehler und als Vermeidungsmaßnahme Werkerunterweisung genannt. Die Bezeichnung Werkerfehler ist sehr allgemein. Es wäre besser, das Produkt und den Prozess von vornherein so zu gestalten, dass fehlerfrei produziert werden kann“ [Klüber 2000]. Folgerichtig weisen die Bestimmung von Fehlerursachen und die Bildung von sogenannten Risikoprioritätszahlen einen hohen Grad an Subjektivität auf. Dies kann zu einer unzutreffenden Definition von Vermeidungsmaßnahmen führen. Eine wirksame Vermeidung der Ursachen von menschlichen Handlungsfehlern und den damit verbundenen Produktfehlern ist nicht zu erwarten.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Verbundprojektes das vorliegende Verfahren „Human-FMEA (H-FMEA)“ entwickelt und pilotartig in drei verschiedenen Betrieben erprobt. Mittlerweile hat sich die Human-FMEA etabliert und wird unterschiedlichen Unternehmen erfolgreich eingesetzt.

### 1.1.2 Zielsetzung der H-FMEA

Die H-FMEA verfolgt das Ziel, die Fehleranalyse und -bewertung sowie die gezielte Ableitung von arbeitswissenschaftlichen Vermeidungsmaßnahmen zu ermöglichen. Auf diese Weise wird eine effiziente Analyse gefördert, mit der sich objektive Erkenntnisse über Fehlerarten, Fehlerfolgen und Fehlerursachen gewinnen lassen. Die Ableitung von gezielten Maßnahmen unter systematischer Einbeziehung der betroffenen Mitarbeiter soll unterstützt werden. Durch personelle, ergonomische und organisatorische Verbesserungen wird eine nachweisbare Senkung der Produktfehler angestrebt.

Auf der *personellen Ebene* soll die H-FMEA eine Erweiterung des Handlungsspielraums und das Lernen im Prozess der Arbeit bewirken. Die Erweiterung der Handlungsspielräume kann z. B. durch die Verlagerung der Kontrolldimension (Selbstprüfung) erfolgen. Sowohl die fachliche als auch die methodische Kompetenz bezüglich der Fehlerproblematik und Arbeitsgestaltung soll unterstützt werden. Ferner wird die Erhöhung des Bewusstseins für die Bedeutung, Erzeugung und Sicherung von Qualität gefördert.

Auf der *ergonomischen Ebene* soll eine Verbesserung der ergonomischen Arbeitsbedingungen eintreten.

Auf der *organisatorischen Ebene* soll durch die Anwendung der H-FMEA eine prozessorientierte Produkt- und Prozessplanung bewirkt werden. Dies zielt auf eine optimale Ausrichtung des Zusammenwirkens von Mensch, Maschine, Material und Methoden ab, um ein bestimmtes Produkt zu erzeugen. Die Fehlervorbeugung wird durch systematische Rückkopplung unterstützt.

Unter Kosten-/Nutzen-Aspekten entspricht die H-FMEA der betriebswirtschaftlichen Forderung, dass den getätigten Aufwendungen zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen erfolgswirksame Erträge gegenüberstehen müssen, die sich hier in einer spürbaren Senkung der Fehlerkosten manifestieren. Weitere positive Wirkungen können durch die Lern- und Trainingseffekte erzielt werden, die mit der Durchführung einer H-FMEA einhergehen. Das gewonnene Know-how der Mitarbeiter führt z. B. zu einer Verringerung des Prüfaufwandes, da Produktfehler besser erkannt werden und sich deren Auftretenshäufigkeit verringert. Fehler werden im Rahmen der H-FMEA als Erkenntnisquelle und nicht als Problem betrachtet. Auf diese Weise wird das Lernen im Arbeitsprozess gefördert. Arbeitswissenschaftliche/ergonomische Grundsätze und Erkenntnisse sollen bei der Entwicklung von Produkten, bei der Verbesserung von Prozessen sowie bei der Gestaltung der Umgebungsbedingungen in das Qualitätsmanagementsystem integriert werden, sodass Produktverbesserungen mit Verbesserungen der Arbeitsbedingungen einhergehen.

Durch den Einsatz der H-FMEA ergeben sich viele positive Effekte.

Die H-FMEA basiert auf der Hypothese, dass in vielen Fällen ein enger Zusammenhang zwischen zufällig auftretenden Produktfehlern und Handlungsfehlern besteht. Es wird davon ausgegangen, dass sich diese Fehler durch arbeitswissenschaftliche Methoden systematisch eingrenzen und durch mitarbeiterorientierte Arbeitsgestaltung vermeiden

lassen. Hierfür wurde der Zusammenhang zwischen arbeitswissenschaftlicher Prozess-, Produkt- und Ablaufgestaltung sowie menschlichen Handlungsfehlern theoretisch fundiert. Aufbauend darauf wurden Methoden zur Analyse und Bewertung arbeitswissenschaftlich/ergonomisch bedingter Fehler (Handlungsfehler) unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte entwickelt und durch praktische Anwendung erprobt.

Das vorliegende Handbuch dient der Anleitung zur methodischen Durchführung der H-FMEA, indem die Fehleranalyse und -bewertung sowie die zielgerichtete Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen und die systematische Dokumentation gefördert werden.

## ■ 1.2 Methodische Grundlagen

Die H-FMEA nimmt Bezug auf den soziotechnischen Systemansatz, die Tätigkeits- und Handlungsregulationstheorie sowie auf das Belastungs-Beanspruchungskonzept. Diese Grundlagen sowie deren Bedeutung für die H-FMEA werden im Folgenden kurz erläutert.

### 1.2.1 Der soziotechnische Systemansatz

Ausgangspunkt der H-FMEA ist die triviale Feststellung, dass die Produktqualität eine Funktion der System- bzw. Prozessqualität ist, d. h., Produktfehler entstehen aufgrund von Systemfehlern. Ein System ist eine Anzahl von miteinander in Beziehung stehenden Teilen, die zu einem gemeinsamen Zweck operieren [Forrester 1972, S. 9]. Um eine effiziente Fehlervermeidung und damit eine Verbesserung der Qualität zu erreichen, ist ein gesamtsystemorientierter Ansatz anzustreben. Dadurch soll die Beziehungsstruktur zwischen den Qualitätskategorien des Herstellungsprozesses und dem Produkt widerspiegelt werden.

Der soziotechnische Systemansatz bietet den geeigneten Rahmen für die H-FMEA, da er die Notwendigkeit einer simultanen Betrachtung von Produkt, Technik, Personal, Organisation und deren Wechselbeziehung hervorhebt.

### 1.2.2 Tätigkeitstheorie

Da sich Handlungsfehler bei der Ausübung von Tätigkeiten ereignen, stellt die Tätigkeitstheorie eine wesentliche Grundlage für die Auseinandersetzung mit dem Fehlergeschehen und der Fehlervermeidung dar. Arbeitstätigkeiten können durch eine hierarchisch-makrostrukturelle Betrachtungsweise analysiert werden, die sich mit der Problematik der Auslösung und Steuerung der jeweiligen Tätigkeit beschäftigt. Zudem lassen sich Tätigkeiten in einer dynamisch-prozessualen Anschauungsweise betrach-

ten, die besonders auf die Vermittlungsfunktion einer Tätigkeit zwischen Subjekt und Objekt abzielt [Leontjew 1977; Frieling/Sonntag 1999]. Jede Tätigkeit lässt sich in vier Ebenen einteilen:

- *Tätigkeiten* als Einheit stellen die Gesamtheit innerer (geistig-mentaler) und äußerer (praktischer, gegenstandsbezogener) Prozesse dar, die einem definierten Motiv zu- oder untergeordnet sind. Als Tätigkeit wird ein Gesamtprozess verstanden.
- *Handlungen* repräsentieren die einer Tätigkeit untergeordneten Prozesse. Neben dem zielgerichteten Aspekt beinhalten sie operationale Gesichtspunkte. In der Regel handelt es sich um eine komplexe Abfolge von geistigen Prozessen und Bewegungen, die ein Individuum ausführt, um ein Ziel zu erreichen.
- *Operationen* sind an objektiv gegenständliche Bedingungen geknüpft. Sie können als Verrichtungen unselbständiger Teilhandlungen angesehen werden.
- *Bewegungen* stellen als sichtbare Korrelate die kleinste Einheit einer Tätigkeit dar.

Für die H-FMEA ist diese Betrachtungsweise bedeutsam, weil im Rahmen der Handlungsregulation sowie bei der Klassifikation menschlicher Handlungen und Handlungsfehler untergeordnete Ebenen einer Tätigkeit analysiert werden müssen. Bei der Ableitung von Handlungsfehlerursachen muss beachtet werden, dass Tätigkeiten einer hierarchisch-makrostrukturellen Gliederung unterliegen.

### 1.2.3 Handlungsregulationstheorie

Für die H-FMEA sind vor allem Handlungen und Operationen von Interesse, da bei ihrer Durchführung Handlungsfehler auftreten können. Als Grundlage der Betrachtung von Handlungen dient die Handlungsregulationstheorie [Hacker 1986], die sich mit der Entwicklung des selbst gesteuerten Handelns im Prozess der Arbeit auseinandersetzt. Handlung in der Arbeitstätigkeit wird verstanden als Einheit von Wahrnehmung, gedanklicher Verarbeitung und motorischer Verrichtung. Dabei müssen folgende Aspekte beachtet werden:

- Der Mensch setzt sich mit seiner Tätigkeit auseinander und verändert sie nach seinen Zielen. Handeln ist zielgerichtet und wird somit zum elementaren Gegenstand der Analyse der menschlichen Psyche.
- Durch sein Handeln wirkt der Mensch auf seine Umwelt. Diesen Veränderungen muss er sich durch kontinuierliche Anpassung des Handelns immer wieder neu stellen.
- Handeln ist in gesellschaftliche Zusammenhänge eingebunden. Es ist weder allein durch Denken des handelnden Subjektes noch durch sein Reagieren auf äußere Sachbedingungen bestimmt.
- Handlungen sind hierarchisch-sequenziell organisiert. Sie sind daher als Prozess anzusehen.

Aufeinander aufbauend werden drei psychische Regulationsebenen aktiviert [Hacker 1986]. Auf der untersten sensumotorischen Ebene (Gewohnheitsebene) werden Hand-

lungen durch einfache Bewegungsabläufe und stereotype Prüfprogramme gelenkt, die nicht unbedingt in das Bewusstsein des Handelnden gelangen.

Handlungen werden durch drei Ebenen reguliert: die sensumotorische, die perzeptiv-begriffliche und die intellektuelle Ebene.

Darüber befindet sich die perzeptiv-begriffliche Ebene (Regelebene). Hier werden Handlungsentwürfe und -schemata vorbereitet und Operationsfolgen situationsgerecht modifiziert. Die bewusste Wahrnehmung situativer Besonderheiten ist eine Voraussetzung.

Auf der intellektuellen Ebene (Wissensebene) steht das Entscheidungsverhalten des Handelnden an Stellen des Arbeitsprozesses im Mittelpunkt, die eine Auswahl von Arbeits- bzw. Verfahrensalternativen ermöglichen. Es handelt sich um die bewusste Ebene der Handlungsregulation, auf der handlungsregulative Signale zur Beurteilung von Arbeitsprozessen und deren Ergebnisse verarbeitet werden. Dies befähigt zu individuellen Entscheidungen der zweckmäßigsten Arbeitsalternativen sowie zu Organisation und Planung von Handlungen.

Für die H-FMEA ist von Bedeutung, dass der Mensch das Ziel seiner Handlungen gedanklich antizipiert und seine Handlungen auf die Erreichung des von ihm gesetzten Ziels strukturiert. Im Vollzug wird die Handlung ständig reguliert. Abstimmungsprozesse finden während der Vorbereitung, Ausführung und Kontrolle auf den verschiedenen Regulationsebenen statt, wobei verschiedene Arten von Handlungsfehlern auftreten können. Diese Rückkopplung ist ein wichtiger Aspekt, der die Handlungen der Vorbereitung, Ausführung und Kontrolle mit den Regulationsebenen verbindet. Fehler auf einer unter- oder übergeordneten Ebene sowie auf vor- und nachgelagerten Handlungsphasen können sich auf den gesamten Prozess auswirken.

#### 1.2.4 Belastungs-Beanspruchungskonzept

Eine weitere relevante Perspektive des Fehlergeschehens wird durch das Belastungs-Beanspruchungskonzept verdeutlicht. Das Konzept wird in den verschiedenen arbeitswissenschaftlichen Disziplinen (z. B. Arbeitspsychologie, Arbeitsmedizin, Ergonomie) verwendet, um negative Auswirkungen von Arbeitsbedingungen auf den Menschen zu untersuchen [Frieling/Sonntag 1999]. Eine arbeitspsychologische Definition der Begriffe „Belastung“ und „Beanspruchung“ erscheint mit Blick auf die Fehlerproblematik geeignet, da sie nicht nur äußere Bedingungen berücksichtigt, sondern auch auf den individuellen Zustand und die individuellen Folgen der Belastungen hinweist.

Die *Belastung* wird verstanden als die „Gesamtheit der erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und psychisch auf ihn einwirken“ [DIN 1987 in Frieling/Sonntag 1999, S. 194].

Die *Beanspruchung* umfasst die „individuellen, zeitlichen und unmittelbaren Auswirkungen der Belastungen im Menschen in Abhängigkeit von seinen individuellen Voraussetzungen und seinem Zustand“ [ebd.].

Die sich ergebende Beanspruchung wird wesentlich von der Höhe, Dauer und Zusammensetzung der verschiedenen Belastungsanteile determiniert. Belastungen können physischer und psychisch-sozialer Art sein. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die gleichen Belastungen in Abhängigkeit von individuellen Eigenschaften wie Alter, Geschlecht, körperlichem Befinden sowie Fähigkeiten und Fertigkeiten zu unterschiedlichen Beanspruchungen führen.

Für die H-FMEA ist relevant, dass negative Beanspruchungsfolgen wie z. B. Stress, Erschöpfung oder Sättigung die Ursache für menschliche Handlungsfehler bilden bzw. diese verstärken können. Da sich die Folgen der Handlungsfehler in Produktfehlern ausdrücken, setzt eine effektive Reduzierung von Produktfehlern die Vermeidung von negativen Beanspruchungen voraus. Dies kann durch mitarbeiterorientierte Arbeitsplatzgestaltung erreicht werden.

Durch eine mitarbeiterorientierte Arbeitsplatzgestaltung können Fehler reduziert werden.

Geleitet von dieser Feststellung findet im Folgenden eine Auseinandersetzung mit Handlungsfehlern und deren fehlerauslösenden Bedingungen statt.

## ■ 1.3 Der Zusammenhang zwischen Handlungsfehlern und fehlerauslösenden Bedingungen

### **Arbeitssystem**

Mit der H-FMEA wird das Ziel verfolgt, Produktfehler durch eine humane Gestaltung des Arbeitssystems zu vermeiden oder die Auftretenswahrscheinlichkeit zu minimieren. Hierfür ist zunächst der Arbeitssystembegriff zu operationalisieren.

### **Arbeitssystemgestaltung**

In einem industriellen Arbeitssystem wirken die Elemente Mensch, Organisation, Betriebsmittel/Technik und Arbeitsumgebung in einer zeitlichen und räumlichen Folge zusammen, um die gestellte Arbeitsaufgabe bzw. den Auftrag am Arbeitsplatz zu erfüllen. In diesem Zusammenhang fallen unter Arbeitssystemgestaltung alle Maßnahmen, die zum anforderungs- bzw. aufgabengerechten und somit optimalen Zusammenwirken

der genannten Elemente sowie der Arbeitsgegenstände (Produkte) in einem Arbeitssystem beitragen. Die Gestaltung des Arbeitssystems ist als kontinuierlicher Anpassungsprozess zu verstehen.

Durch die Wahrnehmung sowie die Verarbeitung von Informationen und einer damit verbundenen Arbeitshandlung trägt der Mensch zu den Systemleistungen des Arbeitssystems bei. Hierbei unterliegt er Belastungen bzw. Beanspruchungen, die als fehlerauslösende Bedingungen betrachtet werden. Diese Bedingungen können unter Berücksichtigung der bereits behandelten theoretischen Grundlagen in den folgenden Bereichen differenziert werden:

- **Arbeitsorganisation,**
- **Arbeitsaufgaben,**
- **ergonomische Arbeitsbedingungen,**
- **personelle Leistungsvoraussetzungen.**

Dies beinhaltet im Rahmen der H-FMEA die nachstehend aufgeführten Aspekte.

### **Arbeitsorganisation**

Die Arbeitsorganisation umfasst vor allem die zweckmäßige zeitliche und logische Gliederung der Arbeitsaufgaben und deren Aufteilung zwischen Mensch und Betriebsmittel, die Gestaltung von Informations- und Kommunikationsabläufen sowie die Regelung von Befugnissen und Arbeitszeiten [Luczak/Volpert 1997].

### **Arbeitsaufgaben**

Arbeitsaufgaben werden als Transformationen von einem gegebenen Ausgangszustand in ein erwartetes Ergebnis oder Ziel durch Mittel und einer Anzahl von Operationen oder Arbeitsschritten verstanden, wobei bestimmte Standards und Regeln einzuhalten sind. Von Bedeutung sind der Komplexitätsgrad, die logische und zeitliche Struktur sowie die Arbeitsmittel [ebd.].

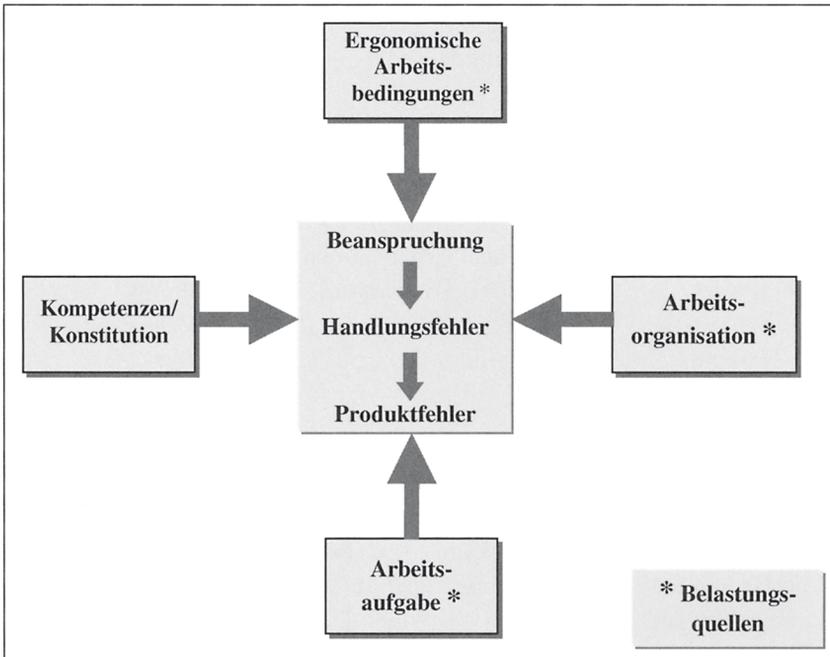
### **Ergonomische Arbeitsbedingungen**

Umstände, die mit der Arbeitsaufgabe im Zusammenhang stehen und ihre Aufnahme sowie Ausführung beeinflussen, sind als ergonomische Arbeitsbedingungen anzusehen. Die Gestaltung des Arbeitsplatzes, der Umwelt sowie der Arbeits- und Betriebsmittel soll die Bedürfnisse, Leistungsmöglichkeiten und -grenzen der Menschen berücksichtigen. Wesentliche Kriterien sind Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit, Zumutbarkeit und soziale Verträglichkeit [ebd.].

### **Personelle Leistungsvoraussetzungen**

Die Gesamtheit der leistungsbezogenen Merkmale einer Person zur erfolgreichen Bewältigung der Anforderungen von Aufgaben und Aufträgen gehören in den Bereich der personellen Leistungsvoraussetzungen. Die Kriterien sind fachliche, methodische und soziale Kompetenz (Handlungskompetenzen) sowie konstitutionelle Eignung.

Die fehlerauslösenden Bedingungen stellen auf Basis des Systemansatzes, des Belastungs-Beanspruchungskonzeptes und der Handlungsregulationstheorie Belastungsquellen dar, deren Auswirkungen als individuell variierende Beanspruchungen auftreten und in der Konsequenz zu Handlungsfehlern führen können. Diese schlagen sich wiederum in Produktfehlern nieder. Bild 1.1 stellt dies zusammenfassend dar.



**Bild 1.1** Zusammenhang zwischen fehlerauslösenden Bedingungen und Fehlern

Die Analyse von Handlungsfehlern erfordert eine detaillierte Fehlerklassifikation. Zudem ist zu definieren, was unter Handlungsfehlern verstanden werden soll, um eine Grundlage für die Handlungsfehlerklassifikation zu erhalten.

## ■ 1.4 Grundlagen der Klassifikation von Handlungsfehlern

Gemäß der Zielsetzung der H-FMEA müssen die den Produktfehlern zugrunde liegenden Handlungsfehler einer detaillierten Analyse unterzogen werden. Daher ist es erforderlich, durch die Handlungsfehlerklassifikation genaue Kenntnisse sowohl über die Art des Fehlers als auch über die Entstehungsbedingungen zu gewinnen. Hierfür bieten sich zwei Vorgehensweisen an: Die in der Literatur vorkommenden Ansätze zur Klassi-

fikation menschlicher Handlungsfehler können in auftretens- und ursachenorientierte Ansätze eingeteilt werden.

Bei den auftretensorientierten Klassifikationen ist das Erkenntnisinteresse auf die Fehlertypen gerichtet. In erster Linie lassen sich hier zwei Ansätze anführen:

- Bei der Klassifikation von Rigby werden Ausführungsunterschiede menschlichen Handelns primär als Folge der natürlichen Variabilität menschlichen Verhaltens gedeutet. Entsprechend ihrem Auftreten unterscheidet er sporadische, systematische und zufällige Fehler [Rigby 1976].
- Meister orientiert sich an der Art von Handlungsfehlern und unterscheidet die fehlerhafte Ausführung einer erforderlichen Handlung, Ausführung einer Handlung außerhalb der Reihenfolge oder Nichtausführung einer erforderlichen Handlung [Meister 1966].

Mit dieser Betrachtung des Fehlergeschehens wird die Frage „Was ist passiert?“ beantwortet, z. B. wird festgestellt, dass ein Zwischenschritt in einer Checkliste ausgelassen wurde, und diese Fehlhandlung wird als Auslassungsfehler klassifiziert. Damit wird der Ausgangspunkt für die Analyse menschlicher Handlungsfehler geschaffen. Da jedoch die Ursachen verborgen bleiben, ist eine direkte Ableitung von arbeitswissenschaftlichen Gestaltungsmaßnahmen nicht möglich. Aus diesem Grund gehen die ursachenorientierten Ansätze auf die Frage „Warum ist etwas passiert?“ ein, d. h., es wird der Grund für den Auslassungsfehler untersucht, der etwa in der unübersichtlichen Gestaltung der Checkliste liegen kann. Dabei werden folgende Ansätze unterschieden:

- Hacker geht in Zusammenhang mit der angeführten Handlungsregulationstheorie davon aus, dass Handlungsfehler auf Fehler im Informationsverarbeitungsprozess zurückzuführen sind und somit zur fehlenden oder falschen Nutzung von Informationen beitragen [Hacker 1986].
- Swain und Guttman heben den Aspekt hervor, dass der Mensch als Organismus zu betrachten ist, der Reize aus seiner Umwelt aufnimmt, verarbeitet und darauf reagiert. Die menschliche Zuverlässigkeit wird mit dem THERP-Verfahren (Technique for Human Error Rate Prediction) ermittelt, wobei die Einflussfaktoren explizit berücksichtigt werden, die mit dem Menschen in Verbindung stehen [Swain/Guttman 1983]. Allerdings werden kognitive Tätigkeiten bei der Informationsumsetzung kaum berücksichtigt.
- Der Ansatz von Rasmussen beruht auf der Annahme, dass Handlungsfehler durch das Zusammenspiel einer Vielzahl von Einflussgrößen verursacht werden. Sie können daher nur aus der Gesamtsituation einer Aufgabe heraus beschrieben werden, wobei auf die drei Ebenen der Handlungsregulation sowie auf Belastungs- und Beanspruchungsfaktoren zurückgegriffen wird [Rasmussen 1987].

### **Gestaltungsbedarfe**

Durch die Betrachtung der Bedingungen und der Entstehungsursachen lassen sich Erkenntnisse über den Gestaltungsbedarf von z. B. Arbeitsplätzen gewinnen. Die Ansätze gehen jedoch nicht von konkreten, empirisch erfassten Daten aus. Die ursachenbezogene Vorgehensweise bietet somit keine objektiven Erkenntnisse über die Aus-