

Einsatz der Informationstechnologie in der FMEA

IT-supported FMEA

Dr. Andreas Kunz; Dipl.-Ing. Stephan Müller
 Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
 Zentrum für Produkte-Entwicklung
 Tannenstrasse 3
 CH-8092 Zürich
 Schweiz
 Tel.: +41-1-632-5771
 Fax: +41-1-632-1181
 e-mail: kunz@imes.mavt.ethz.ch

Inhalt

Durch eine FMEA kann die Produktqualität erhöht werden bei gleichzeitiger Reduzierung der Entwicklungszeit. Zur Steigerung der Effektivität der Durchführung einer FMEA wurde der derzeitige Aufwand analysiert und die Methode auf ein mögliches Verbesserungspotential untersucht. In diesem Beitrag wird die Unterstützung der Methode durch moderne Informationstechnologie dargestellt.

1 Einleitung

Die heutige Produkteentwicklung muss, angefangen vom Markt-Leistungs-Profil bis hin zur Markteinführung, in immer kürzerer Zeit erfolgen. „Time to Market“ eines Produktes ist heute eine massgebende Grösse, schon wenige Wochen Verzögerung können wesentlich über Erfolg oder Nichterfolg der Innovation entscheiden. Um dieser Tatsache zu begegnen, werden vermehrt die Methoden des „concurrent engineering“ angewendet. Basis hierfür bildet das Digitale Produkt (Bild 1), also die Gesamtheit der Produktdaten, die erzeugt und konsistent verwaltet, das reale Produkt repräsentieren.

Abstract

The FMEA method is used to increase the product quality combined with a decrease of time-to-market. In order to raise the efficiency of this method the present requirement of preparation and the capability of improvement has to be evaluated. In this paper the support of this method by the use of modern information technology is described.

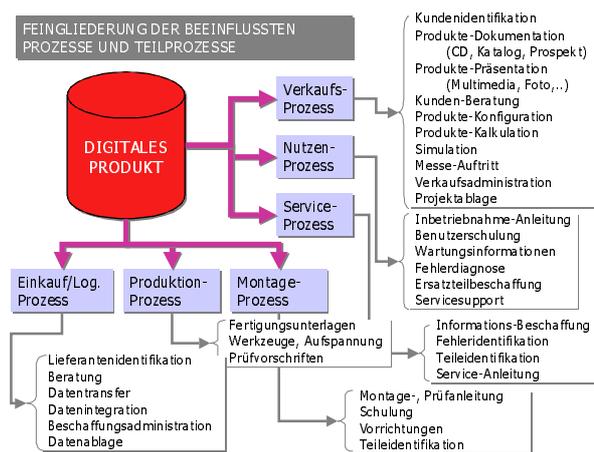


Bild 1 Das Digitale Produkt und die anknüpfenden Prozesse

Das Digitale Produkt kann von Unternehmensprozessen und den Teilprozessen durch Dienste genutzt werden. Ein solcher anknüpfender Teilprozess ist die FMEA, die sogenannte Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse,

eine Methode, um potentielle Fehler innerhalb eines Produktes schon frühzeitig zu erkennen und um zu verhindern, dass qualitative Mängel in die Montage oder sogar in den Markt gelangen und so immense Kosten verursachen.

2 Das Prinzip der FMEA

Die FMEA entstand in den 60er Jahren erstmals in der Raumfahrtindustrie. Hier waren nicht kurze Entwicklungszeiten oder grosse Stückzahlen das auslösende Moment, sondern die Produkte waren im Weltall nicht mehr zugänglich und eine spätere Nachbesserung somit ausgeschlossen [9].

Das Grundprinzip der FMEA beruht auf dem systematischen Hinterfragen nach potentiellen Schwachstellen und damit verbunden nach Fehlerauswirkung, Fehlerursache und möglicher Fehlererkennung [5]. Aus der Fehlerauswirkung, der Fehlerursache und den Kontrollmassnahmen im gegenwärtigen Zustand lässt sich eine Risikoprioritätszahl (RPZ) ermitteln. Überschreitet diese einen vorher festgelegten Grenzwert, so müssen Massnahmen zur Fehlervermeidung / Fehlerreduktion erfolgen. Sind die Massnahmen festgelegt und in den Auswirkungen beurteilt, so erfolgt in einem weiteren Schritt eine neue Bewertung und Berechnung der RPZ, so dass auch eine Erfolgskontrolle vorhanden ist. Das systematische Vorgehen bei dem präventiven Qualitätssicherungsansatz lässt sich auch aus dem folgenden Arbeitsformular erkennen:

Fehler-Möglichkeiten und Einfluss-Analyse <small>(Fehler-Matrix und Effort-Analyse - FMEA) System-FMEA <input type="checkbox"/> Konstruktions-FMEA <input type="checkbox"/> Prozess-FMEA <input type="checkbox"/></small>										Funktions-/Wirkprinzip-/Baugruppen-Benennung:				
Erstellende Stelle:										Ident-Nr.:				
										Erstellt durch:				
										Datum:				
Fehlerort Ident-Nr.	Fehlerart	Fehler- Auswirkung	Fehler- Ursache	Derzeitiger Zustand					Empfohlene Massnahme	Verbesserter Zustand				
				Risiko- Massnahmen	A	B	E	RPZ		Geworfene Massnahme	A	B	E	RPZ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Bild 2 Das Formblatt für die FMEA [4]

Die FMEA lässt sich weiterhin in die folgenden funktionalen Arten / Klassen unterteilen [3], [6], [10]:

- System FMEA
Die System-FMEA untersucht auf Grundlage des System-Pflichtenheftes das funktionsgerechte Zusammenwirken der Systemkomponenten. Ihr Zweck ist es, Fehler bei der Systemauswahl und -auslegung zu vermeiden. Sie ist der Konstruktions-FMEA zeitlich und systematisch vorgeschaltet.
- Konstruktions-FMEA
Die Konstruktions-FMEA untersucht die pflichtenheftgerechte Gestaltung und Auslegung der Komponenten hinsichtlich der Erfüllung beschriebener Teilfunktionen zur Vermeidung von Entwicklungsfehlern und konstruktiv beeinflussbaren Prozessfehlern.
- Prozess-FMEA
Die Prozess-FMEA untersucht die Prozessplanung und -ausführung der Teile und Baugruppen zur Vermeidung von Fertigungs- und Montagefehlern. Es liegt also nicht das Funktionsteil im Vordergrund, sondern ein Prozessschritt innerhalb der Herstellungsabfolge. Die Schritte werden bis ins Detail analysiert, um die risikoarme Machbarkeit aufzuzeigen mit dem Ziel der Gestaltung beherrschbarer Prozesse.

Allen drei Gruppen ist dabei zu eigen, dass innerhalb eines Teams anhand vorhandener Unterlagen intensiv diskutiert wird. Das Team besteht dabei nicht notwendigerweise nur aus erfahrenen Konstrukteuren, sondern es werden auch bewusst Teilnehmer aus anderen Bereichen des Unternehmens integriert. Die Stärke der FMEA liegt darin, dass mit der Systematik des Hinterfragens von potentiellen Schwachstellen auch bei Nichtfachleuten eine hohe Erfolgsquote in der Fehlerfindung resultiert.

3 Analyse der industriellen Umsetzung einer FMEA

Mit zunehmender Verbreitung der FMEA ist es wichtig, bestehende Schwachstellen dieser Methode zu analysieren und in einem nächsten Schritt zu eliminieren, so dass der Prozess selber auch hoher Qualität bei minimalem Aufwand entspricht.

Bei der am häufigsten anzutreffenden Konstruktions-FMEA ergeben sich dabei die folgenden Schwachpunkte:

- Die FMEA muss, um den gewünschten Erfolg zu gewährleisten, systematisch durchgeführt werden. Dies bedeutet einen hohen personellen Aufwand in der Durchführung, sowie in der Vor- und Nachbereitung. Die Vorbereitung ist nicht nur seitens des Sitzungsleiters notwendig, der die gesamte Funktions- bzw. Baumstruktur des Produktes in entsprechende Tabellen einzutragen hat, sondern auch seitens der anderen Teilnehmer, welche Informationen aufbereiten müssen. Der hierfür erforderliche Zeitaufwand wird häufig unterschätzt und reduziert somit die Effektivität der FMEA.
- Die Durchführung einer FMEA-Sitzung bei komplexeren Produkten ist häufig sehr langwierig und muss deshalb an mehreren Sitzungen durchgeführt werden. Der Grund hierfür besteht häufig in der schlechten oder nicht sofortigen Verfügbarkeit von Informationen (z.B. Zeichnungen) oder in deren schlechter Aufbereitung. Insbesondere neue oder fachfremde Teilnehmer an einer FMEA benötigen eine Einarbeitungsphase, innerhalb derer sie nicht produktiv an der Sitzung teilnehmen können. Dies senkt wiederum die Motivation für die Teilnahme an einer FMEA und damit deren Effizienz.
- Im Laufe einer Sitzung treten Fragestellungen auf, die, insbesondere beim Zusammenwirken mehrerer Bauteile, nur durch

Kombination verschiedener Informationsquellen beantwortet werden können. Die Abbildungen sind somit oft nicht massstabsgerecht und nur auf eine Ansicht fixiert, eine Veränderung der Perspektive von Darstellungen ist nicht möglich.

- Die Moderation einer FMEA-Sitzung gestaltet sich als schwierig, da nicht immer alle Informationen für alle Beteiligten gleichzeitig zur Verfügung gestellt werden können und somit auch nicht sichergestellt ist, dass alle Personen gleichzeitig an der Lösungsfindung aktiv mitarbeiten.
- Die Protokollierung einer Sitzung wird vielfach ebenfalls durch den Moderator durchgeführt. Die Teilnehmer einer FMEA-Sitzung sind nicht unmittelbar an der Erstellung des Protokolls beteiligt, sie erhalten dieses oft erst Tage später. Auch hier bestehen häufig wieder Akzeptanzprobleme, wenn die Teilnehmer ein anderes Ergebnis verinnerlicht hatten als dies schlussendlich im Protokoll nachzulesen ist.
- Die Durchführung einer FMEA ist nur dann erfolgversprechend, wenn der Moderator oder Projektleiter die Einhaltung der gestellten Termine und Aufgaben überwacht. Dies gestaltet sich aber in der Praxis als sehr aufwendig, denn die erstellten Unterlagen sind meistens sehr umfangreich. Die schriftliche Nachfrage oder Anmahnung der Tätigkeiten stellt eine erneute Verzögerung dar und senkt weiter die Zielstrebigkeit der durchgeführten FMEA.

Aus den oben aufgeführten Gründen wird in vielen Firmen auf die Durchführung einer FMEA verzichtet. Anstelle einer FMEA vertraut man darauf, dass die Entwickler bereits alle möglichen Fehler überdacht haben. Nicht selten sind Konstruktionsänderungen während der Produktion, Rückrufaktionen und Imageverlust die Folge hiervon. Die hieraus entstehenden Kosten sind

immens, bereits bei einer Stückzahl von 10000 Geräten und möglichen Änderungskosten von 20 SFr. entstehen Aufwendungen mit einem Äquivalent von etwa 2000 Ingenieurstunden. Die FMEA dagegen hätte einen Aufwand von maximal 200 Ingenieurstunden benötigt.

4 Optimierung durch den Einsatz von Informationstechnologie

Zur Lösung der oben dargestellten Schwachstellen ist es notwendig, die FMEA-Methode mit modernen Informationstechnologien und mit Hilfe der virtuellen Realität zu unterstützen [1], [8]. Aus industrieller Sicht stellen sich hierbei im wesentlichen die folgenden Forderungen:

- Darstellung der CAD-Daten als 3D-Modelle während einer Sitzung
- bessere Moderationsmöglichkeit
- Zugriff auf eine gemeinsame Datenbank (das Digitale Produkt)
- kürzere Vor- und Nachbereitungszeit einer Sitzung
- kostengünstige Hard- und Softwareplattform zur Durchführung der FMEA
- direkte, strukturierte Protokollierung
- früherer Durchführungszeitpunkt, kein Warten auf physikalische Prototypen
- klare, strukturierte Darstellung aller Informationen während einer Sitzung

Viele dieser obigen Anforderungen sind lösbar, indem während einer Sitzung, aber auch während der Vor- und Nachbereitungsphase ein Zugriff auf das Digitale Produkt möglich ist. Aus diesem Grunde wurde eine Unterstützung der FMEA durch die Informationstechnologie und die virtuelle Realität in folgenden Schritten durchgeführt:

- Visualisierung der relevanten Objekte als VRML, aber auch in beliebigen Bildformaten
- Visualisierung von FMEA-Datenblatt, Strukturbaum und Funktionsnetz
- Kopplung der Visualisierung von FMEA-Datenblatt und Objekt

4.1 Hardware-Voraussetzungen

Zur Umsetzungen der obigen drei Realisierungsstufen müssen zunächst hardwareseitig entsprechende Voraussetzungen geschaffen werden. Zum Einsatz kommt hier ein handelsüblicher PC, um der Forderung nach einer kostengünstigen Lösung gerecht zu werden. Da es für die Durchführung der FMEA notwendig ist, sowohl das Formblatt als auch das Objekt gleichzeitig zu visualisieren, werden zwei an den PC angeschlossene Projektoren über zwei getrennte Grafikkanäle angesteuert.

4.2 Systemlösung

Wie oben bereits dargestellt, stützt sich die Anwendung auf eine Projektion über zwei Grafikkanäle für die Visualisierung der FMEA-Daten und des VRML-Objektes (VRML = Virtual Reality Modelling Language) [2]:

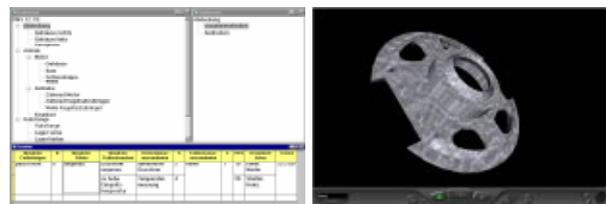


Bild 3 Aufteilung der FMEA auf zwei Bildschirme

Bei der Systemlösung wird ein adaptiver Desktop realisiert, d.h. nur die relevanten FMEA-Daten werden gleichzeitig über einen Grafikkanal angezeigt, während für die Visualisierung der zweite Kanal zur Verfügung steht. Wichtig ist, dass eine Adaption aller sichtbaren Fenster aufeinander erfolgt, d.h. der jeweils sichtbare Inhalt der Fenster steht in einem Kontext zueinander und erlaubt es so den Teilnehmern der Sitzung, mit einem Blick den aktuellen Status zu erfassen. Der Inhalt der Fenster passt sich jeweils der Selektion im übergeordneten Fenster an, so dass jederzeit die Übersichtlichkeit gewahrt bleibt.

Der Aufbau der Projektionsfläche kann in drei Hierarchieebenen unterteilt werden

(Bild 4), deren Inhalt in vier Fenstern dargestellt wird (Bild 3).

Strukturbaum

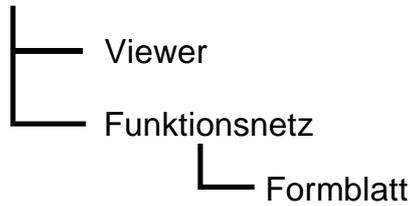


Bild 4 Die zugrunde liegende Hierarchie

Als wichtigstes Element bei den durchgeführten FMEA-Sitzungen erweist sich der Strukturbaum, der eine logische und nachvollziehbare Strukturierung des Produktes und damit auch der FMEA-Sitzung darstellt (Bild 5).

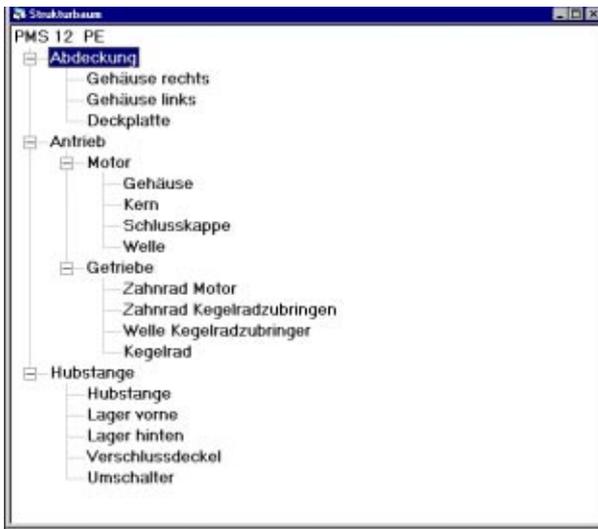


Bild 5 Übergeordneter Strukturbaum

Die Darstellung der Baugruppen und Bauteile erfolgt in einer Baumstruktur, die durch Öffnen und Schliessen der Knoten verändert werden kann. Funktionale Abhängigkeiten können aus dieser Struktur bereits entnommen werden und stellen so eine wichtige Grundlage für die Diskussion dar. Die Struktur kann dabei entweder im Rahmen der Vorbereitung einer FMEA definiert oder auch aus einer Datenbank als bestehende Funktions- oder technische Produktstruktur abgerufen werden.

Durch die Ankopplung an eine Datenbank ist es auch möglich,

zusätzliche Informationen aufzurufen oder einzugeben (Bild 6):

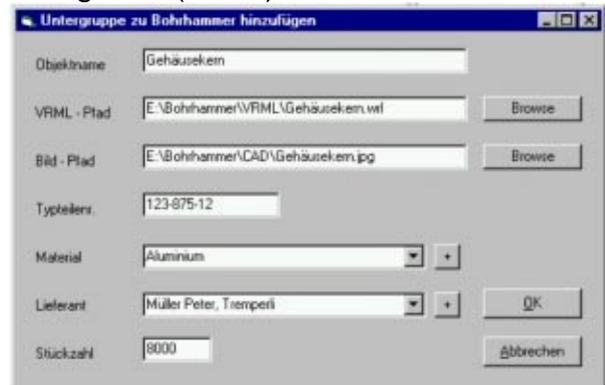


Bild 6 Zusätzliche Objekteigenschaften

Die FMEA kann somit leicht erweitert werden durch neue oder bestehende Informationen wie Lieferant, Stückzahl, Material, URLs usw.

Dem Strukturbaum untergeordnet ist das Funktionsnetz. In diesem werden die Funktionen eines Objektes (Baugruppe oder Bauteil) dargestellt (Bild 7). Durch Auswahl eines Objektes im Strukturbaum wird wieder aufgrund des adaptiven Desktops eine Funktion angezeigt, sofern diese bereits dem Objekt zugeordnet wurde. Es besteht ansonsten die Möglichkeit, die im Rahmen der FMEA-Sitzung erarbeiteten Funktionen einzugeben und in der Datenbank abzulegen.

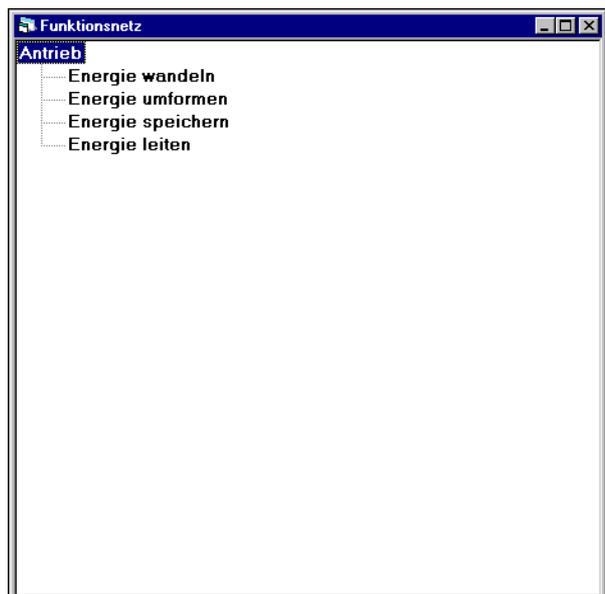


Bild 7 Funktionsnetz eines Objektes

Durch Auswahl einer Funktion wird, wie in einer Konstruktions-FMEA üblich, das Formblatt zur Eingabe der möglichen Fehler und deren Entdeckung sowie Weiterbearbeitung eingeblendet (Bild 8). Hier lassen sich alle notwendigen Einträge vornehmen, die Berechnung der Risikoprioritätszahl erfolgt automatisch.

Mögliche Fehlerfolgen	Mögliche Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Verwendungsanforderungen	A	Entdeckungsmethoden	K	F	Vorstudien	Kosten
nicht bedarf	5	Falter zu stark	Mischungs- verhältnis falsch	3	Spektroskopie	3	99	Fremd- Korn	2,2 00
		Druckhöhe uneben	Erformung zu hoch	5	Lehre	4	100	Lehrei, Detai- Kollier. Ums.	5,7 00
				4					

Bild 8 FMEA-Formblatt

Während der Analyse der möglichen Fehler erfolgt parallel im anderen Grafikkanal die Visualisierung des relevanten Objektes. Zur Darstellung der VRML-Daten wird ein herkömmlicher Internet-Browser eingesetzt, der mit einem Cosmo-Player-Plugin erweitert ist. Damit wird einerseits der Forderung nach einer kostengünstigen Software entsprochen, andererseits besteht gleichzeitig die Möglichkeit, auch andere Bildformate wie beispielsweise *.jpg oder *.gif anzuzeigen (JPG = Joint Photographic Expert Group), GIF = Graphics Interchange Format).



Bild 9 Darstellung von VRML- und Bildobjekten

Die Darstellung von VRML-Daten kennt praktisch keine Grenzen [7]. So kann beispielsweise ein virtuelles Menü generiert werden, über das verschiedene Aktionen ausgelöst werden können wie z.B. die Animation einer Baugruppe, die Erzeugung einer Transparenz etc.

Die während einer Sitzung erarbeiteten Daten werden in einer Access-Datenbank gespeichert, die aufgrund des hohen Verbreitungsgrades des Microsoft-Office-

Paketes leicht verfügbar ist. Gleichzeitig wird der Zugriff auf diese Datenbank über eine SQL-Anbindung realisiert. Die SQL-Anbindung wird von den meisten gebräuchlichsten Datenbank-Anbietern unterstützt, so dass ein Wechsel auf einen anderen Datenbank-Anbieter keine Probleme bereitet.

4.3 Ergebnisse aus dem Einsatz der Prototyp-Software

Die Forderung nach einer besseren Unterstützung der Moderation wird im wesentlichen dadurch erfüllt, dass eine ständige Visualisierung aller relevanten Objekte aufgebaut wird [13]. Insbesondere der adaptive Desktop erweist sich als hilfreich, da sofort der gesamte Kontext der momentanen FMEA-Diskussion ersichtlich wird. Ein wichtiger Aspekt bei der Moderationsverbesserung ist die Tatsache, dass alle Teilnehmer der Sitzung gleichzeitig identische Objekte visualisiert erhalten und somit eine gemeinsame Diskussionsbasis geschaffen wird. Dies impliziert auch eine Identifikation mit der Verteilung der erarbeiteten Aufgaben auf die beteiligten Teammitglieder, da sie die Erstellung des Protokolls und der Aufgabenliste verfolgen können. Eine gleichzeitige Email-Ankopplung stellt weiterhin die Nachhaltigkeit der Sitzung sicher bei einer gleichzeitigen Reduktion der Nachbearbeitungszeit. Die Durchführung einer derart durch Visualisierung unterstützten FMEA zeigt deutlich geringere Sitzungszeiten bei einer gleichzeitig erhöhten Effizienz.

Noch nicht zufriedenstellend reduziert werden konnte die Vorbereitungszeit, insbesondere der strukturierte Aufbau der Konstruktion muss derzeit noch von Hand erfasst werden.

Die Durchführung einer FMEA mit den oben geschilderten Möglichkeiten setzt voraus, dass die VRML-Objekte bestehen bzw. aus einem 3D-CAD abgeleitet werden können. Dies wird aber mit zunehmender

Verbreitung dieser 3D-CAD-Systeme immer stärker möglich sein.

Derzeit ist allerdings der mobile Einsatz der Software auf einem Laptop-Computer noch nicht möglich, da die notwendigen Graphik-Karten für den gleichzeitigen Anschluss zweier Monitore noch nicht erhältlich sind.

4.4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen der FMEA-Sitzungen zeigen, dass ein grosses Potential für eine informationstechnologische Unterstützung gegeben ist. Die Akzeptanz der vorgeschlagenen IT-Unterstützung und Visualisierung wird noch dadurch gefördert, dass das Digitale Produkt, d.h. die Produktdaten, vermehrt in den Unternehmen Einzug hält. Durch den schnellen Zugriff auf relevante Daten und die anschauliche Visualisierung lässt sich die Durchführung einer FMEA wesentlich erleichtern und deren Effizienz steigern. In weiterführenden Arbeiten soll die Unterstützung durch die Informationstechnologie derart erweitert werden, dass eine Erstellung von Animationen erleichtert wird, eine vollständige Ankopplung an das Digitale Produkt realisiert wird, sowie eine Netzwerkfähigkeit des Programms. Diese wird es ermöglichen, in Zusammenhang mit einem speziellen Visualisierungsraum auch virtuelle FMEA-Sitzungen über Netzwerke durchzuführen.

5 Literaturverzeichnis

[1] *Frei, S.*: Erstellung eines FMEA-Software-Prototypen mit integrierter Visualisierung und Datenbankankopplung; Diplomarbeit ETH Zürich; Januar 2000

[2] *Ammann, E.*: Programmierung animierter Welten - Java, JavaScript und

VRML; International Thomson Publishing GmbH, Bonn 1997. ISBN 3-8266-0329-X

[3] *Berens, N.*: Anwendung der FMEA in Entwicklung und Produktion; Verlag Moderne Industrie, Landsberg 1989. ISBN 3-478-41490-3

[4] *DIN 25448* Ausfalleffekt-Analyse, 1978

[5] *BOSCH Arbeitskreis AK-LS 94*: Bosch FMEA Grundseminar TQ 011, 2. überarbeitete Ausgabe, 2/1995

[6] *Schubert, M.*: FMEA - Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse, Leitfaden; Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V. (DGQ), Berlin 1993. ISBN 3-410-32841-6

[7] *Hase, H-L.*: Dynamische Virtuelle Welten mit VRML 2.0; Verlag für digitale Technologie, Heidelberg 1997

[8] *Elspass, W.J., Bichsel, M., von Büren, D., Kunz, A. Parish, Y.*: Simulation und Visualisierung in der Produktentwicklung; Vorlesungsskript des Instituts für Konstruktion und Bauweisen der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich 1998

[9] *Kersten, G.*: Qualitätssicherung mit Raumfahrtmethode, Bosch-Zünder, 1986, Heft 5.

[10] MIL 1629A (Military Standard): Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and criticality Analysis (FMECA), 1980

[11] *Kloss, J., Rockwell, R., Szabó, K., Duchrow, M.*: VRML97 - Der neue Standard für interaktive 3D-Welten im World Wide Web; Addison Wesley Longman Verlag GmbH, Bonn 1998, 1. Auflage. ISBN 3-8273-1187-X

[12] *Nickel, J.*: Technische und methodische Hilfsmittel zur Verbesserung

der Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse; Shaker, Aachen 1992. ISBN 3-86111-184-5

[13] *APIS GmbH*: IQ-FMEA V3.5 1992-1998: The Knowledge Base;

[14] *Pfeifer, T., Bonse, L.*: Tendenzen zur rechnergestützten Qualitätssicherung, VDI-Berichte Nr. 759, VDI-Verlag, Düsseldorf 1989.

6 Zusammenfassung der Bilder und Tabellen

Bild 1 Das Digitale Produkt und die anknüpfenden Prozesse

Bild 2 Das Formblatt für die FMEA

Bild 3 Aufteilung der FMEA auf zwei Bildschirme

Bild 4 Die zugrunde liegende Hierarchie

Bild 5 Übergeordneter Strukturbaum

Bild 6 Zusätzliche Objekteigenschaften

Bild 7 Funktionsnetz eines Objektes

Bild 8 FMEA-Formblatt

Bild 9 Darstellung von VRML- und Bildobjekten