

Einbettung und organisatorische Verankerung von ESD-Schutzmaßnahmen im Qualitätsmanagementsystem und in der Lieferkette

Reinhard Ertl¹

Frequentis AG, Innovationsstrasse 1, A-1100 Wien

Zusammenfassung – Obwohl elektrostatische Entladungen (ESD) zum Ausfall oder verringerter Zuverlässigkeit elektronischer Systeme führen können, fehlen in gängigen Qualitätsmanagementsystemen konkrete Anforderungen um dies zu verhindern. Aus unterschiedlichen Bereichen werden Anforderungen aufgezeigt, die veranlassen, ein wirksames ESD-Schutzprogramm im eigenen Qualitätsmanagementsystem und in der Lieferkette zu etablieren.

Abstract – Although electrostatic discharge may lead to complete failure or reduced reliability of electronic systems, typical quality management systems do not have concrete requirements for preventing these problems. Requirements from various areas are used to highlight the importance of establishing an effective ESD protection programme in one's quality management system and in the supply chain.

1 Einleitung

Es ist bekannt, dass elektronische Bauelemente durch elektrostatische Entladungen (ESD) geschädigt oder gar zerstört werden können. Neben einem direkt feststellbaren Fehler kann sich ein Schaden auch so äußern, dass die Zuverlässigkeit eines Produkts durch latente Vorschäden nicht mehr gegeben ist.

Es wäre also zu erwarten, dass sich etablierte QM-Systeme (Qualitätsmanagement-Systeme) der „Qualitäts-Bedrohung durch ESD“ direkt annehmen, um Folgekosten und andere negative Begleiterscheinungen daraus kontrolliert ausschließen zu können. Tatsächlich ist es so, dass ESD – obwohl seine Auswirkung unbestritten ist - in gängigen QM-Systemen nicht einmal erwähnt wird ([1], [2]).

Um ein definiertes Qualitätsniveau für die Produkte oder Dienstleistungen aufrecht zu erhalten oder dieses verbessern zu können, wenden heute viele Unternehmen ein QM-System an, dessen systematische Umsetzung in der Regel von einem externen Unternehmen bestätigt wird.

Auch wenn unter dem Begriff „Qualität“ bei einzelnen Unternehmen oder bei einzelnen Produkten die Gewichtung unterschiedlicher Teilaspekte je nach Zielsetzung deutlich voneinander abweichen kann, so gibt es doch in wesentlichen Punkten gemeinsame Interessen. Darunter zählen beispielsweise die Anforderungen der Kunden zu

erfüllen, Fehlerkosten zu minimieren und Produkthaftungsrisiken zu vermeiden.

In der Folge wird für die Betrachtung ein höherwertiges Produkt herangezogen, für das der Kunde die Erwartungshaltung hat, dass es während der veranschlagten Produktlebensdauer bestimmungsgemäß (d. h. in der Regel fehlerfrei) funktioniert. Bei Dienstleistungen konzentriert sich die Betrachtung dahingehend, dass durch die Art der Erbringung der Dienstleistung ein physischer Schaden eines Produkts sicher ausgeschlossen werden kann. Beispiele dafür wären elektronische Systeme, die in die Lenkung eines Fahrzeugs eingreifen oder Wartungstätigkeiten an der Hardware von Steuerungen im Reaktorbereich.

Vereinfachend werden in Folge Produkte und Dienstleistungen als Produkte bezeichnet.

Die scheinbare Diskrepanz zwischen der realen Gefährdung elektronischer Bauteile durch ESD und dem Fehlen entsprechender normativer Vorgaben in gängigen QM-Systemen soll hier aufgelöst werden. Die Fragestellung zielt also darauf ab, unter welchen Aspekten die Anforderungen betreffend des ESD-Schutzes implizit in einem QM-System verborgen liegen, wenn sie schon nicht direkt adressiert werden.

Oder noch weiter verallgemeinert, die Fragestellung: Aus welchen Bereichen bestehen Anforderungen, die ein Unternehmen dazu anhalten ESD-Schutzmaßnahmen nach EN 61340-5-1 [3] zu

etablieren (wobei dieser Standard stellvertretend für ein allgemein anerkanntes Schutzsystem gegen die Auswirkung von ESD stehen soll)?

2 ESD in klassischen QM-Systemen

In der umgangssprachlichen Sicht zum Begriff Qualität finden wir für die hier betrachteten Produkte oft folgende Teilaspekte, die sich dahinter verbergen und eng damit verknüpft sind:

- „Erwartungshaltung des Kunden wird erfüllt“
- Image (hier: wahrgenommene subjektive Qualität der Produkte beim Kunden)
- Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit der Systeme
- Fehlerkosten oder verallgemeinert Kosten für „Nicht-Qualität“ in der Produktion, während Gewährleistung und Wartung
- Produkthaftung
- Kontinuierliche Verbesserung.

QM-Systeme versuchen vielfach die gewünschte Qualität mithilfe eines prozessorientierten Ansatzes sicherzustellen. Produktion und Dienstleistungserbringung soll unter beherrschten Bedingungen erfolgen, wofür folgende Elemente hilfreich erscheinen:

- Gebrauch geeigneter Ausrüstung
- Genehmigung der Ausrüstung
- Verfügbarkeit von Arbeitsanweisungen
- Überwachung und Messung
- Lenkung fehlerhafter Produkte
- Prozesse validieren.

Gängige QM-Systeme fordern:

- dokumentierte Prüfungen
- dokumentierte Freigaben
- dokumentierte Ausbildung
- Aufzeichnungen
- dokumentierte Audits

Betrachtet man den ESD-Standard nach EN 61340-5-1 [3], so ist die Ähnlichkeit der Forderungen verblüffend.

Im sehr weit verbreiteten QM-System nach ISO 9001 [1] oder den im Automobilbereich

ähnlichen ISO/TS 16949 [2] sucht man vergeblich nach Regelungen, die ESD betreffen.

Der TL 9000 [5] (Telecom Leadership 9000) ist ein Qualitätsstandard für Telekommunikation für Anbieter von Telekommunikationsausrüstung und -dienstleistungen. Er basiert auf dem ISO 9001-Standard sowie auf Telekom-spezifischen Anforderungen. Darin enthalten sind zwei direkte, ESD betreffende Anforderungen.

Zuerst wird im Kapitel „6. Human resources“ ein ESD-Training gefordert: *“All employees with functions that involve any handling, storage, packaging, preservation, or delivery of ESD-sensitive products shall receive training in electrostatic discharge (ESD) protection prior to performing their jobs.”*

Dann wird im Kapitel „7. Production and service provision“ für ESD-empfindliche Bauteile ein ESD-Schutz gefordert: *“Where applicable, anti-static protection shall be employed for components and products susceptible to electrostatic discharge (ESD) damage”*. Für Details wird anschließend auf ANSI/ESD S20.20 [9] verwiesen, der ja weitgehend mit EN 61340-5-1 harmonisiert ist.

Mit diesen „Erweiterungen“ des sonst in vielen Bereichen der ISO 9001 sehr ähnlichen Standards findet man schnell auch die korrespondierenden Kapitel in der ISO 9001.

Im Kapitel „6.4 Arbeitsumgebung“ lautet die Anforderung: *„Die Organisation muss die Arbeitsumgebung ermitteln, bereitstellen und aufrechterhalten, die zum Erreichen der Konformität mit den Produkthanforderungen erforderlich ist. Anmerkung: Die Benennung „Arbeitsumgebung“ bezieht sich auf diejenigen Bedingungen, unter denen die Arbeit ausgeführt wird, einschließlich physikalischer, ökologischer und anderer Faktoren (wie z. B. Lärm, Temperatur, Feuchtigkeit, Beleuchtung oder Wetter).“* Hinter diesen Bedingungen steckt also die Anforderung zum kontrollierten Umgang mit elektrostatischen Auf- und Entladungen.

Im Kapitel „6.2 Personelle Ressourcen“ lautet die Anforderung: *„Personal, dessen Tätigkeiten die Erfüllung der Produkthanforderungen beeinflussen, muss aufgrund der angemessenen Ausbildung, Schulung, Fertigkeiten und Erfahrungen fähig sein.“*

Zusammengefasst fordern also die betrachteten gängigen QM-Systeme, dass Produktion und Dienstleistungserbringung unter beherrschten Bedingungen ausgeführt wird. Das hat zum einen

Anforderungen an die Arbeitsumgebung, d. h. Bedingungen unter denen die Arbeit ausgeführt wird und zum anderen hinsichtlich des ausführenden Personals, das fähig, also entsprechend ausgebildet, sein muss. Anhand der Ergänzung der ESD-Anforderungen im TL 9000 gelingt es uns daher einfach, ESD als Teilbereich der Prozessbeherrschung in den gängigen QM-Systemen zu berücksichtigen.

Anforderungen die sich für ausgegliederte Prozesse ergeben, werden in eigenen Kapiteln behandelt.

3 Anforderungen für sicherheitsbezogene elektronische Systeme

Die Normenreihe IEC 61508 [7] beschäftigt sich mit der funktionalen Sicherheit elektronischer Systeme. Die funktionale Sicherheit bezeichnet den Teil der Sicherheit eines Systems, der von der korrekten Funktion der sicherheitsbezogenen (Sub-)Systeme und externer Einrichtungen zur Risikominderung abhängt.

Je nach Höhe der „geforderten Zuverlässigkeit / Verfügbarkeit“ der betrachteten Komponente sind unterschiedliche Anforderungen an den Entwicklungs- und Entstehungsprozess der Komponente definiert (Sicherheits-Integritäts- Level). Mit diesen unterschiedlichen Stufen stehen unterschiedliche Bereiche gefahrbringender Ausfälle pro Zeiteinheit in Verbindung (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Zusammenhang zwischen dem Sicherheits-Integritäts-Level und der Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Ausfalls je Stunde

Sicherheits-Integritäts-Level	Wahrscheinlichkeit gefahrbringender Ausfälle pro Stunde [h ⁻¹]
4	$\geq 10^{-9} \dots < 10^{-8}$
3	$\geq 10^{-8} \dots < 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-7} \dots < 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-6} \dots < 10^{-5}$

Da wie oben erwähnt die Zuverlässigkeit elektronischer Systeme durch ESD u. U. massiv herabgesetzt werden kann, wenn der Umgang mit den Komponenten nicht sorgfältig erfolgt, wundert es doch, dass auch in dieser Normenreihe das Thema ESD in keinem Zusammenhang direkt erwähnt wird.

Bei unzulässiger Belastung der Komponenten durch ESD ist nicht davon auszugehen, dass die in

Tab. 1 angestrebten Werte auch tatsächlich eingehalten werden. Die realisierte sicherheitsbezogene Funktion wird daher nicht mit der erwarteten Zuverlässigkeit zur Verfügung stehen. Mit möglicherweise weitreichenden Konsequenzen.

Diese Belastung kann beispielsweise bei unsachgemäßer Wartung und Instandhaltung dadurch hervorgerufen werden, dass Personen ohne ausreichenden ESD-Schutz vor Ort empfindliche Teile handhaben (z.B. Tausch von Speicherbausteinen, Systemerweiterung durch Hinzufügen von Steckkarten).

Eine unzulässige Belastung durch ESD wird in seltenen Fällen einen sofortigen erkennbaren Ausfall zur Folge haben (abgesehen freilich bei außerordentlich empfindlicher Elektronik oder massiven Entladungen). Eher verbleiben unerkannte Defekte, die mit einem vorzeitigen Ausfall in kausalem Zusammenhang stehen können. Diese latenten Fehler sind besonders „unangenehm“, denn das Produkt wird trotz aller bestandenen Prüfungen und Funktionstests während der Produktentstehung erst nach einiger Zeit beim Kunden im operativen System versagen oder fehlerhaft sein.

In der IEC 61508 beschäftigt sich ein eigenes Kapitel mit „Betrieb und Instandhaltung“ mit dem Ziel, dass die erwartete Zuverlässigkeit auch im Feld tatsächlich erreicht werden kann.

Gefordert werden hier u. a.:

- Aktivitäten müssen geplant und dokumentiert werden.
- Die geforderte Zuverlässigkeit bzgl. Sicherheit muss während der gesamten Betriebszeit aufrecht erhalten bleiben.
- Die während der Planung festgelegten betrieblichen Aspekte (z. B. Ausbildung des Personals) müssen eingehalten werden.
- Die während der Planung festgelegten Wartungsaktivitäten müssen durchgeführt werden.

Hier müssen also die bezüglich ESD erforderlichen Maßnahmen in die entsprechenden Prozeduren eingebaut werden.

Der vielfach gewonnene Eindruck des Autors ist jedoch, dass die Einhaltung von notwendigen ESD-Schutzmaßnahmen bei der Wartung und Instandhaltung (speziell vor Ort) nicht mit der gleichen Sorgfalt erfolgt wie bei der Herstellung der Komponenten.

4 IPC-A-610, Abnahmekriterien für elektronische Baugruppen

Dieser in der Elektronikproduktion weit verbreitete Standard [6] enthält erfreulicherweise gleich am Anfang des Textteils in Kapitel 3 direkte Anforderungen an den ESD-Schutz, quasi als Vorbedingung für die einzuhaltenden Arbeitsbedingungen und die entsprechenden Handhabungsregeln. Hintergrund und Anforderungen sind in knapper, übersichtlicher und verständlicher Weise dargestellt. Interessant ist hier die unmissverständlich formulierte Anforderung: „Wenn Zweifel an der Empfindlichkeit einer Baugruppe gegenüber ESD existieren, muss die Baugruppe solange als ESD-empfindlich behandelt werden, bis das Gegenteil nachgewiesen ist.“

5 Anforderungen der zu verarbeitenden elektronischen Bauteile

Die Notwendigkeit der Etablierung von ESD-Schutzmaßnahmen ergibt sich auch direkt aus den Anforderungen der Hersteller, die diese hinsichtlich der Verarbeitung und Handhabung von elektronischen Bauteilen in den Datenblättern anführen.

Hier wäre es wünschenswert, wenn die im Umlauf befindlichen Bauteile alle hinsichtlich ihrer ESD-Empfindlichkeit im Datenblatt spezifiziert sind. Die tägliche Praxis zeigt jedoch, dass diese Angaben häufig fehlen und man auch bei namhaften Herstellern auf Anfragen hin erstaunlich wenig Information dazu erhält.

6 Produkthaftung

Eine Produkthaftungspflichtversicherung – idealerweise eine solche die auch Aus- und Einbaukosten mit abdeckt - wird eine gute Investition sein, um im Anlassfall das wirtschaftliche Überleben eines Unternehmens abzusichern. Wenn die Ursache des Schadens in der groben oder systematischen Nichteinhaltung der inzwischen etablierten und entsprechend dem Stand der Technik als notwendig erachteten ESD-Schutzmaßnahmen besteht, ist dies kritisch. Es besteht die Gefahr, dass der Versicherer die Haftung wegen grober Fahrlässigkeit einschränkt/ablehnt oder einen Teil der Kosten rückfordert.

Eine Versicherung entbindet nicht von der nötigen Sorgfalt und der Anwendung der Regeln der Technik.

Sehr treffend wird dies sinngemäß in [8] beschrieben: *“Die Behauptung, ESD-empfindliche Bauelemente und Baugruppen enthalten immer bessere innere ESD-Schutzstrukturen und darum können äußere Schutzmaßnahmen vernachlässigt oder gar abgeschafft werden, ist grob fahrlässig.“*

7 Organisatorische Einbettung in der Lieferkette, ausgegliederte Prozesse

Häufig entwickeln Unternehmen elektronische Baugruppen selbst, lassen diese jedoch im Rahmen der Produktentstehung von einem anderen Unternehmen produzieren. Dies ist ein typisches Beispiel für einen ausgegliederten Prozess.

Grundsätzlich entsteht dadurch in einem QM-System nach ISO 9001 keine „Erleichterung“ dahingehend, wenn ein die Qualität beeinflussender Prozess an ein anderes Unternehmen ausgelagert wird. Die Forderung lautet hier im Original: *„Wenn sich eine Organisation dafür entscheidet, einen Prozess auszugliedern, der die Produktkonformität mit den Anforderungen beeinflusst, muss die Organisation die Lenkung derartiger Prozesse sicherstellen. Die Art und der Umfang der Lenkung derartiger ausgegliederter Prozesse müssen im Qualitätsmanagementsystem festgelegt sein. Das Sicherstellen der Lenkung der ausgegliederten Prozesse entbindet die Organisation nicht von der Verantwortung für die Erfüllung aller Kundenanforderungen und gesetzlichen und behördlichen Anforderungen.“*

Die Art und der Umfang der auf ausgegliederte Prozesse anzuwendenden Lenkung hängt im Wesentlichen davon ab, inwieweit derjenige an den der Prozess ausgegliedert wird in der Lage ist, Produkte zu liefern, die den Anforderungen entsprechen.

8 Liefervorschriften, Qualitätssicherungs-Vereinbarung

Im Zuge der Ausgliederung eines ESD-relevanten Prozesses sind einige Aspekte zu beachten, wovon hier zwei angeführt werden.

Als wichtigen Schritt dazu wird vom Autor empfohlen, ESD-Schutzmaßnahmen vertraglich

zu vereinbaren, beispielsweise in Form eines eigenen Passus in einer Qualitätssicherungsvereinbarung. Dieser könnte beispielsweise wie folgt lauten:

„Der Auftragnehmer ist verpflichtet, in allen Bereichen, in denen elektronische Bauelemente oder Baugruppen für den Auftraggeber entwickelt, hergestellt, verarbeitet, montiert, installiert, verpackt, gekennzeichnet, gewartet, erprobt, geprüft oder auf eine andere Art und Weise gehandhabt werden, Schutzmaßnahmen gegen elektrostatische Auf-/Entladungen entsprechend EN 61340-5-1 zu implementieren. Die Anforderungen gelten auch für die richtige Lagerung, Verpackung und Handhabung der Vorprodukte (z.B. elektronische Bauteile) sowie auf Prototypen und Vorserienteile.“

Der tatsächliche Reifegrad der gegenwärtigen Implementierung von ESD-Schutzmaßnahmen sollte anschließend, jedenfalls vor Aufnahme der operativen Geschäftsbeziehung, in einem Audit vor Ort geprüft werden.

9 Erkenntnisse aus Lieferantenaudits

Bei der Evaluierung von Lieferanten die ESD-empfindliche Bauteile handhaben, wurden in den letzten Jahren einige teils wenig erfreuliche Erkenntnisse gesammelt. Die beobachtete Bandbreite bezüglich der Implementierung eines in sich stimmigen ESD-Schutzkonzepts ist groß. Die Umsetzung von ESD-Schutzmaßnahmen ist in der Regel im Bereich der etablierten Lohnbestücker am höchsten. Je weiter weg sich eine Baugruppe logistisch von der Fertigung befindet, umso mehr Lücken im sorgfältigen Umgang werden erkennbar. In Unternehmen mit externer Leiterplattenbestückung die beispielsweise fertige Baugruppen assemblieren oder in Wartungs-/Reparaturbereichen, ist die Umsetzung oft mangelhaft. Hier fehlt es oft an Ausrüstung, vor allem aber am Verständnis über reale Schadmechanismen / Schadpotentiale. Da kann man hin und wieder hören: „Das Material das wir verarbeiten ist nicht so empfindlich...“

10 ROI von Investitionen im ESD-Bereich

Berechnungen des ROI (return of investment) erscheinen „einfach“, wenn es aufgrund fehlender

oder unzureichender ESD-Schutzmaßnahmen zu messbaren oder signifikanten Fehlern/Ausfällen kommt, die in kausalem Zusammenhang mit ESD gebracht werden können. Gelingt es nicht, den ursächlichen Entstehungsmechanismus des Ausfalls einer Komponente zu identifizieren, so werden oft Fehler falsch zugeordnet („schlechte Bauteilcharge“...). Bei Unternehmen mit etabliertem ESD-Schutz ist es oft schwierig zu erkennen welches Potential in einer weiteren Verbesserung von Schutzmaßnahmen steckt. Leider gibt es auch sehr wenig aktuelles und fundiertes Zahlenmaterial, aufgrund dessen Entscheidungen leichter getroffen werden können.

Aus der Auswertung der Kennzahlen von Qualitätsdaten in der Produktion, aus Reparaturen und Felddaten können bei gutem Datenmaterial durchaus Indikatoren für ESD-bedingte Defekte gefunden werden.

ROI-Berechnungen erscheinen in der Regel schon alleine deshalb als unseriös, weil die Vorschäden der beim Endtest als „gut“ qualifizierten Bauelemente nicht bekannt sind. Und wie soll man einen Imageschaden in der Bewertung ansetzen, wenn sich in der Branche herumspricht, dass mitunter vorgeschädigte Bauteile auf den Markt gebracht werden?

Diskussionen über Kosten und Nutzen von ESD-Schutzmaßnahmen sind unnötig, da der interne Schutz der Bauelemente nicht für die real auftretenden Entladungen ausgelegt ist und dadurch moderne elektronische Produkte ohne entsprechende Schutzmaßnahmen nicht mehr fehlerfrei produziert werden können [8].

Wer würde in einem Krankenhaus bei der Durchführung kleinerer chirurgischen Eingriffe auf die Idee kommen auf Desinfektionsmaßnahmen zu verzichten, weil die Patienten das schon aushalten werden?

11 Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass auch bei Fehlen direkter Anforderungen an die wirksame Implementierung von ESD-Schutzmaßnahmen in gängigen QM-Systemen diese nicht außer Acht gelassen werden können, da eine Vielzahl anderer Forderungen dies verlangen. Anhand des international etablierten QM-Standards TL 9000 ist ersichtlich, unter welchen Aspekten ESD-Anforderungen den Einzug in ein QM-System finden und so zum Tragen kommen.

Außerhalb der QM-Systeme wird kurz erläutert wie Produkthaftung, international anerkannte Produktionsstandards und Anforderungen für sicherheitsbezogene Systeme die Etablierung eines wirksamen ESD-Schutz anzeigen.

Bei ausgelagerten Prozessen (beispielsweise für die Produktion der Hardware oder Wartung / Instandhaltung) trifft den Auftragnehmer als auch den Auftraggeber gleichermaßen die Herausforderung für die Etablierung von ESD-Schutzmaßnahmen zu sorgen, auch wenn dies nicht explizit gefordert wird.

Literatur

- [1] EN ISO 9001, Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen, 2008.
- [2] ISO/TS 16949:2009 // DIN SPEC 1115:2009; Qualitätsmanagementsysteme. Besondere Anforderungen bei Anwendung von ISO 9001:2008 für die Serien- und Ersatzteilproduktion in der Automobilindustrie, 2009.
- [3] DIN EN 61340-5-1; Elektrostatik- Teil 5-1: Schutz von elektronischen Bauelementen gegen elektrostatische Phänomene - Allgemeine Anforderungen, 2008.
- [4] DIN EN 61340-5-1 Beiblatt 1; Elektrostatik- Teil 5-2: Schutz von elektronischen Bauelementen gegen elektrostatische Phänomene - Benutzerhandbuch, 2009.
- [5] TL 9000, Quality Management Systems Requirements Handbook, Release 5.0, QuEST Forum, www.tl9000.org, 2009.
- [6] IPC-A-610 E DE, Acceptability of Electronic Assemblies / Abnahme-kriterien für elektronische Baugruppen. IPC, 2010.
- [7] IEC 61508 - Reihe, Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme, 2010.
- [8] Karl. H. Helling; Rentabilität von ESDS-Schutzmaßnahmen, Elektrostatik Institut Berlin, http://www.eib-gmbh.de/esd_seminar_teil_1_kosten_nutzen_web_auszug.pdf.
- [9] ANSI/ESD S20.20, ESD association standard for the Development of an Electrostatic Discharge Control Program for - Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment, 2007.