

# Systems Engineering Return on Investment

David Endler<sup>1</sup>, Daniel Steffen<sup>2</sup>, Alexander Lohberg<sup>3</sup>, Florian Munker<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Systems Engineering Consultant, Freelancer, Großer Ring 8,  
22457 Hamburg, [www.davidendler.de](http://www.davidendler.de), [de@davidendler.de](mailto:de@davidendler.de)

<sup>2</sup>Unity AG, Lindberghring 1, 33142 Büren,  
[www.unity.de](http://www.unity.de), [daniel.steffen@unity.de](mailto:daniel.steffen@unity.de)

<sup>3</sup>Universität Duisburg-Essen, Universitätsstraße 2,  
45141 Essen, [www.uni-due.de](http://www.uni-due.de), [alexander.lohberg@uni-due.de](mailto:alexander.lohberg@uni-due.de)

<sup>4</sup>IPEK – Institut für Produktentwicklung am KIT (Karlsruher Institut für Technologie),  
Kaiserstraße 10, 76131 Karlsruhe, [www.ipek.kit.edu](http://www.ipek.kit.edu), [florian.munker@kit.edu](mailto:florian.munker@kit.edu)

**Zusammenfassung:** Bei der Anwendung von Systems Engineering Aktivitäten oder Prozessen für ein Systementwicklungsprojekt stellt sich für die Entscheider die Frage nach der Rentabilität der Aufwände. Die Beurteilung von zusätzlichem Aufwand und dem damit verbundenen Nutzen für das Projektergebnis ist in der Regel schwer greifbar. Um die Entscheidung für gezielte Systems Engineering Aktivitäten zu unterstützen, stellen wir hier die Erweiterung einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) zur Bewertung der Rentabilität von Systems Engineering Methoden vor. Die FMEA ist eine in der Industrie weit verbreitete Methode und kommt unserer Erfahrung nach in den meisten Projekten ohnehin zum Einsatz. Daher ist bei einer pragmatischen Erweiterung auf die Beurteilung von Systems Engineering Aktivitäten mit einer hohen Akzeptanz zu rechnen.

## 1 Problemstellung

Die Aktivitäten der Produktentwicklung (bzw. Systems Engineering) werden in zahlreichen Standards beschrieben (z.B. ISO/IEC 15288:2008 [ISO08], ISO/IEC 28702:2007 [ISO07], ANSI/EIA-632-1998 [ANSI98]). Sie sind in der Regel so allgemein gehalten, so dass sich jede Branche und jede Firma darin wiederfinden kann. Das Joint Technical Committee 1 großer Standardisierungsorganisationen betreibt entsprechende Anstrengungen, um eine weitere Harmonisierung dieser Standards zu erreichen [JTC].

Dennoch wird Systems Engineering (SE) sowohl in verschiedenen Industriezweigen als auch in Firmen der gleichen Branche größtenteils unterschiedlich definiert und fast ausschließlich anders gelebt [Ma13]. Die Gründe hierfür sind vielfältig. So können Unterschiede beispielsweise aus dem Komplexitätsgrad der Produkte entstehen, aus den innerhalb der Organisation historisch gewachsenen Strukturen oder aber auch aus spezifischen Auftraggeber-Auftragnehmer-Beziehungen. Darüber hinaus ist die Anwendung von SE in den Unternehmen in einem stetigen Fluss. Firmen, die SE bereits anwenden, versuchen im Rahmen der kontinuierlichen Verbesserung ihre SE Prozesse weiter zu

verfeinern und andere Firmen, die bislang kein, wenig oder nicht dokumentiert SE betrieben haben, unternehmen Anstrengungen, SE Methoden und Prozesse einzuführen.

In beiden Fällen stehen die Verantwortlichen häufig vor der Frage, in wie weit sich die Verfeinerung bzw. Einführung von SE sowohl kurzfristig als auch langfristig bezahlt macht. Und dadurch, dass eine Ausweitung bzw. die Implementation von SE Prozessen beträchtliche Kosten verursachen kann, wird meist versucht, diese Investition durch Analysen monetär zu bewerten. Alle diese Methoden haben zum Ziel, die finanziellen Vorteile gegenüber der Investition (Return on Invest – ROI) zu ermitteln. Dies gilt für die Gestaltung von SE Prozessen allgemein, aber auch für die Anwendung von einzelnen SE Methoden in konkreten Entwicklungsprojekten.

## 2 Herangehensweise

Nach einer kurzen Vorstellung von bekannten Ansätzen zur Wertbeurteilung von SE Aktivitäten, werden diese Ansätze aus einer praktischen Sicht beurteilt. Um eine quantitative Beurteilung der SE Aktivitäten zu erreichen, wird eine Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse vorgeschlagen, die unter Zuhilfenahme eines Grundgerüsts von SE Aktivitäten untersucht wird.

### 2.1 Bisherige Ansätze

Durch eine umfangreiche Studie mit detaillierter statistischer Auswertung zeigt Eric Honour die mögliche quantitative Bewertung von SE Aktivitäten [Ho13]. Honour stellt den Zusammenhang zwischen Projekterfolg und dem optimalen Aufwand für SE Aktivitäten dar. Das Ergebnis der detaillierten statistischen Analyse von Daten, die durch gesicherte Fragebögen gewonnenen werden, zeigt, dass anteilige Aufwände in der Höhe von etwa 15 Prozent des Gesamtprojektvolumens für SE einen optimalen Projekterfolg erwarten lassen. Die Studie ergibt des Weiteren, dass durch Steigerung der SE Aktivitäten ein von Honour ermittelter ROI für SE Aktivitäten im Schnitt einen Wert von 3,5 zu 1 bis hin zu 7 zu 1 erreicht. Der quantitative Ansatz stützt sich unter anderem auf statistische Mittel zur Bewertung von Faktoren wie „Qualität“ und nutzt eine Ontologie um die Begriffe aus unterschiedlichen Institutionen und Unternehmen zu vergleichen. Die befragten Unternehmen und Institutionen stammen größten Teils aus westlichen, englischsprachigen Ländern, und die betrachteten Projekte wurden in einer Zulieferer-Struktur des Verteidigungssektors umgesetzt.

Das Constructive Systems Engineering Cost Model (COSYSMO) von Ricardo Valerdi [Va05] ist ein parametrisches Eigenschafts-Modell, anhand dessen der Aufwand für SE Aktivitäten berechnet werden kann. COSYSMO liefert den Aufwand für SE in Personenmonaten, indem projektabhängige Kostentreiber durch Kostenschätzungsfunktionen (Cost-Estimation-Relation, CER) dargestellt werden. Valerdi bestätigt die relative Genauigkeit einer Daumenregel, nach der 15 Prozent des Projektaufwandes für SE aufzuwenden sind, weist jedoch darauf hin, dass eine empirische Bestätigung dieser Daumenregel nicht gegeben werden kann. Zur Planung der SE-Umfänge in einem einzelnen

Entwicklungsprojekt ist ein parametrisches Modell hilfreich, welches durch die Aufschlüsselung in Projektgrößen- und Aufwandsmultiplikatoren einzelne SE Aktivitäten betrachten lässt. Das Modell von Valerdi basiert auf systematischen Interviews zu SE Aktivitäten und deren Auswirkungen, die mit Experten durchgeführt wurden. Die einbezogenen Unternehmen und Experten sind größtenteils im Verteidigungsbereich aktiv. Als eine der Herausforderungen bei der quantitativen Bewertung von SE stellen sich die Ergebnisse der SE Aktivitäten dar; mit intellektuellen Werten und nicht greifbaren Artefakten sind sie nur durch Beurteilungen messbar. Die Unterstützer des COSYSMO-Modells sehen den Nutzen eines Kostenschätzungsmodells in der allgemeinen Beeinflussung, wie ihre Unternehmen die SE-Kosten betrachten und dann beurteilen. Ursprung ist der bisher schlecht verstandene Zusammenhang zwischen SE Artefakten und Kosten- und Zeitplanung, sowie das Fehlen von ausgereiften Metriken. Grund hierfür ist auch die geringe Beteiligung von privatwirtschaftlichen Unternehmen.

Eine der wenigen Gelegenheiten bei der der Wert von SE empirisch beobachtet werden konnte und dokumentiert ist, ist eine Projektreihe beim Luftfahrtunternehmen Boeing. W. Forrest Frantz [Fr95] berichtet von 3 zeitgleichen Projekten, welche die Produktion von Haltevorrichtungen (Universal Holding Fixtures, UHF) für Teile bei der Flugzeugproduktion beinhalteten; hierbei wurde SE in unterschiedlichem Umfang eingesetzt. Hier zeigte sich der starke positive Effekt auf die Produktqualität und die Projektlaufzeit. Für eine ROI-Berechnung sind genau diese Faktoren, die sich einer direkten Berechnung entziehen und die auf eine indirekte Beurteilung angewiesen sind.

Das Projekt „The Business Case for Systems Engineering (BCSE)“ versucht den Mehrwert von SE über die drei Punkte Budget, Termintreue und technologische Leistungsfähigkeit zu summieren. Die Ergebnisse dieses Ansatzes, der auf einer umfangreichen Datensammlung basiert, weist stark auf einen Mehrwert von SE hin. Mit der Perspektive auf einen ROI kann man hier die allgemeinen Schwierigkeiten bei der finanziellen Bewertung eines Projektes erkennen, da die drei genannten Bewertungsfaktoren sich gegenseitig beeinflussen, und des Weiteren ein etabliertes Finanzbewertungssystem wie zum Beispiel ein Earned Value Management System (EVMS) benötigt wird [E112]. Die im BCSE aufgeworfenen Fragen „Was wird mich die Anwendung von SE-Praktiken kosten?“ und „Welche Vorteile kann ich durch die Anwendung dieser Praktiken gewinnen?“ wurden bisher nicht beantwortet [E112a].

## **2.2 Erfahrung mit den bisherigen Ansätzen**

Bei den in Kapitel 2.1 beschriebenen Methoden wird versucht, den ROI von SE über eine möglichst breite Basis Datenpunkte zu sammeln, und aus den ermittelten Daten allgemeine Trends abzuleiten.

Hierzu gibt es allerdings auch gegenläufige Meinungen, so wird das Konzept der Bewertung von SE Aktivitäten durch einen ROI in der Veröffentlichung „The Shangri-La of ROI“ von Sarah A. Sheard und Christopher L. Miller kritisch beleuchtet [SM00]. Es werden die vier Aussagen „Es gibt keine harten Zahlen.“, „Es wird keine harten Zahlen in absehbarer Zukunft geben.“, „Falls es harte Zahlen gäbe, gäbe es keine Möglichkeit, diese auf ihre Sachlage anzuwenden.“ und „Falls sie solche Zahlen nutzen würden,

würde ihnen sowieso niemand glauben.“ argumentativ dargelegt, um dann Wege zur Beurteilung des Wertes von SE Aktivitäten aufzuzeigen. Hierbei wird gefragt, welche Aktivitäten im Detail finanziert werden sollen, und wie diese dann zur Wertschöpfung beitragen. Dieser Wertschöpfungsbeitrag sollte dann quantifiziert werden, um die Ausgaben für SE in Relation zum Gesamtprojektumfang in Beziehung setzen zu können. Suzanne Garcia [Ga96] schlägt ebenfalls vor, die SE Aktivitäten in der Form von Entscheidungen und deren Ausführung vorzustellen. Dadurch besteht das Ergebnis im Nachhinein nicht aus Meinungsbekundungen, sondern anhand von Fakten lassen sich finanzielle Kosten und Einsparungen besser betrachten.

Sheard und Miller [SM00] nennen keine Methoden, mit denen festgestellt werden kann, welches im Einzelfall die SE Methoden sind, die am dringlichsten eingeführt werden sollen. Es wird lediglich darauf verwiesen, dass es ratsam sein könnte, sich externe Hilfe zu holen.

Unsere Erfahrung in der Praxis bestätigt die Einschätzung, dass die Ableitung eines ROI aus einer Glättung über eine Vielzahl an Datenpunkten auf ihre Gültigkeit für eine als speziell aufgefasste Situation angezweifelt wird. Beinahe immer wird die gegebene Situation als derart einzigartig betrachtet, dass sich die Entscheidungsträger mit allgemeingültigen Aussagen alleine nicht überzeugen lassen in SE zu investieren. Ob nun zu Recht oder nicht, es wird in vielen Fällen eine Analyse eingefordert, die auf die vorherrschenden Gegebenheiten eingeht.

Während in einigen Fällen der Grundsatz „mehr ist besser“ uneingeschränkt gültig ist, kann, bei näherer Betrachtung, der Vorbehalt der Entscheidungsträger nachvollzogen werden. So sind beispielsweise die Voraussetzungen bei der Entwicklung eines Systems, das wiederum Teil eines Systems-of-Systems ist (z.B. Flugzeug, Verkehrsleitzentrale oder U-Boot), grundlegend verschieden von der Entwicklung eines moderat komplexen Systems (z.B. Personenaufzug, Hörgerät, oder Insulinmessgerät). Während im ersten Fall die Entwicklungszeiten zum Teil deutlich über 10 Jahren liegen, kann man bei moderat komplexen Systemen eher von 1 bis maximal 3 Jahren ausgehen. Hinzu kommen weitere schwer messbare Einflussfaktoren, wie die Schnittstellen mit dem Auftraggeber (bei gleichzeitiger Beachtung weiterer Kundenbeziehungen) und den eigenen Zulieferern, firmenintern historisch gewachsene Strukturen bzw. Methoden oder aber auch branchenspezifische Ausprägungen. Albers und Braun formulieren dies im wissenschaftlichen Kontext und stellen die Hypothese auf, dass jeder Entwicklungsprozess einzigartig ist [AB11].

### **2.3 Beurteilung mittels Geschäftsprozess-FMEA**

Die Autoren dieses Artikels schlagen eine Vorgehensweise vor, mit der sich der Nutzen einer Anwendung von SE Methoden im Einzelfall quantitativ beurteilen lässt. Diese Vorgehensweise stützt sich größtenteils auf Methoden, die in vielen Firmen etabliert sind, wodurch sich die Akzeptanz deutlich erhöht.

Grundlage dieser Vorgehensweise bildet eine Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse, (Geschäftsprozess-)FMEA (siehe z.B. [GJ04]), im Rahmen derer Prozessschritte struktu-

riert analysiert werden, um präventiv Fehler bzw. Lücken im Entwicklungsprozess zu erkennen und deren Auswirkung zu bewerten. Wird dann die Höhe des Risikos vor und nach der Maßnahme mit den Kosten für die Maßnahme selbst in Relation gesetzt, kann hieraus der ROI für diese Maßnahme bestimmt werden. Die Erstellung einer solchen Analyse kann, je nach Anwendungsfall, zeitaufwändig sein und sie erfordert zwingend ein sorgfältig zusammengestelltes Team, welches ausreichend Erfahrung besitzt, um die Auswirkungen objektiv und fundiert beurteilen zu können. Wichtig hierbei ist eine nachvollziehbare Dokumentation, die sämtliche Annahmen und deren Validierung enthält.

Auf diesem Weg können quantitativ nachvollziehbare Aussagen zum ROI für spezifische SE Methoden oder Prozeduren hergeleitet werden, welche eine klare Entscheidungsgrundlage für die Entscheidungsträger darstellen.

Bild 1 zeigt die FMEA-Vorlage, die für die Durchführung verwendet wird. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass für bestimmte Projekte das Hinzufügen von weiteren Spalten vorteilhaft sein kann.

Nr.	Funktion	Fehlerursache	Fehlerfolge	Schadenshöhe	B	A	E	RPZ	Maßnahme	B'	A'	E'	RPZ'	Aufwand	ROI	Kommentar

Bild 1: FMEA-Vorlage

Jede einzelne Zeile wird aus Referenzgründen nummeriert. In dem Feld „Funktion“ wird der betrachtete „SE Baustein“ aufgeführt, das Feld „Fehlerursache“ beschreibt, ob der untersuchte SE Baustein gar nicht oder nur unzureichend angewandt wird und das Feld „Fehlerfolge“ enthält dann schließlich eine Beschreibung der möglichen Auswirkung des Fehlers. In das Feld „Schadenshöhe“ wird der zu erwartende Schaden bei Eintritt des Fehlers eingetragen. Hierbei ist zu beachten, dass nicht nur die Kosten für die Korrektur des Fehlers, sondern auch Folgekosten zu ermitteln sind. In jedem Fall sind die ermittelten Werte belastbar zu dokumentieren. Die ermittelte Fehlerfolge wird im Feld „B“ (Bedeutung) auf einer Skala von 1 (gering) bis 10 (hoch) beurteilt. Analog hierzu werden die Auftretswahrscheinlichkeit „A“ und die Entdeckungswahrscheinlichkeit „E“ eingetragen. Beide Wahrscheinlichkeiten werden wiederum auf einer Skala von 1 (sehr gering für „A“, sehr hoch für „E“) bis 10 (sehr hoch für „A“, sehr gering für „E“) dargestellt. Die Risikoprioritätszahl (RPZ) ergibt sich als Produkt aus  $B \times A \times E$ . In der nächsten Spalte werden nun verschiedene Maßnahmen definiert, die geeignete Kandidaten für die Absenkung der RPZ darstellen. Für jede von ihnen werden die Faktoren B', A' und E' nach Anwendung der Maßnahme eingetragen und das Produkt ergibt die neue RPZ'. Das Feld „Aufwand“ beziffert den finanziellen Einsatz der Maßnahme. Schließlich ergibt sich der ROI als  $(RPZ - RPZ') \times \text{Schadenshöhe} / \text{Aufwand} \times 1000$ , wie in Formel 1 gezeigt.

$$ROI = \frac{(RPZ - RPZ') \times \text{Schadenshöhe}}{1000 \times \text{Aufwand}}$$

Formel 1: Berechnung des ROI

Somit ist der ROI ein Maß dafür, wie viel Ertrag eine Maßnahme bringt. Alle Maßnahmen mit einem ROI größer 1 tragen zur Risikoreduktion bei, für Maßnahmen mit ROI kleiner 1 ist der Aufwand größer als der Nutzen. Ein Kommentarfeld ergänzt das FMEA-Blatt.

Die Autoren möchten darauf hinweisen, dass die Berechnung des ROI auch auf anderen Wegen erfolgen kann. Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, ist davon auszugehen, dass FMEAs in vielen Firmen bereits bekannt sind. Auch hier gilt, dass die Anwendung dieser Methode je nach Anwendungsgebiet unterschiedlich sein kann. Während einige Firmen ausschließlich mit Risikoprioritätszahlen arbeiten, führen andere quantitative Analysen durch, in einigen Fällen wird auf die Entdeckungswahrscheinlichkeit verzichtet, etc. Die Erfahrung der Autoren zeigt, dass die Anpassung der FMEA-Vorlage und ggf. auch der vorgestellten ROI-Formel auf die innerhalb der Firma bekannte Methode die größten Erfolgsaussichten hat.

## 2.4 Maßnahmen-Checkliste

Zur Unterstützung des FMEA-Moderators soll ein „kleinster gemeinsamer Nenner“ von SE Aktivitäten gefunden werden. Die Autoren haben eine generische Liste von SE Aktivitäten zusammengestellt, die sich am INCOSE Systems Engineering Handbook [Ha11] bzw. Systems engineering – Application and management of the systems engineering process [ISO08] orientiert. Hierzu wurde das INCOSE Systems Engineering Handbuch [Ha11] inhaltlich zusammengefasst und in eine Checkliste überführt. Diese gliedert sich nach folgenden Punkten:

- Systemabgrenzung
- Anforderungen
- Design
- Herstellung
- Validierung
- Nutzung
- Entsorgung
- Prozesse
- Allgemein

Bild 2 zeigt einen Auszug der Checkliste am Beispiel der Requirements.

Requirements (SE Handbook Kapitel 4.1 & 4.2)
Sind Akteure / Stakeholder des Systems ermittelt?
Wurden deren Bedürfnisse erfasst? -> Stakeholder Requirements
Ist Requirements Management aufgesetzt?
Wurden ConOps erstellt?
Sind Requirements reviewed?
Sind Requirements kategorisiert/gegliedert?
Besteht eine nachvollziehbare Verknüpfung zwischen Requirements und Architektur? (Traceability)
Besteht eine nachvollziehbare Verknüpfung zwischen Requirements und Test?

Bild 2: Checkliste (Auszug)

Anhand dieser Checkliste wird das Grundgerüst der FMEA erstellt. Es ist Aufgabe des Moderators, diese generische Checkliste in Bezug zum konkreten Projekt zu setzen, um der Einzigartigkeit des Entwicklungsprozesses gerecht zu werden.

Nr.	Funktion	Fehlerursache	Fehlerfolge	B	A	E	RPZ	Maßnahme	B'	A'	E'	RPZ'	Aufwand	ROI	Kommentar
1	Akteure und Stakeholder ermitteln	Es werden Akteure oder Stakeholder vergessen	1) Dem System fehlen Use Cases 2) Für nicht berücksichtigte Anwender kann das System unbrauchbar sein	9	6	8	432	Maßnahme 1: Systemfunktionalitäten modular aufbauen	9	4	4	144	9.600,00 €	30,0	
								Maßnahme 2: System-Review der Akteure und Stakeholder	9	2	1	18	19.200,00 €	21,6	
								Maßnahme 3: Akteure und Stakeholder ermitteln: Anwender befragen, Recherchen, Benchmark, ...	4	1	1	4	9.600,00 €	44,6	

Bild 3: Anwendungsbeispiel Checkliste

Bild 3 zeigt ein generisches Anwendungsbeispiel der Checkliste in der FMEA. Die Checkliste weist den Moderator darauf hin, die Ermittlung von Akteuren und Stakeholdern zu hinterfragen. Dieser Punkt wird in den aktuellen Projektkontext gesetzt; die Auswirkungen werden beschrieben und die Wertung der Kennzahlen erfolgt. Maßnahmen können die Einzelrisiken herabsetzen. Nach Abschätzung des Aufwandes ergibt sich unmittelbar der ROI für die einzelnen Maßnahmen.

Wir möchten ausdrücklich darauf hinweisen, dass diese Abbildung der Veranschaulichung gilt und keinesfalls Anspruch auf Allgemeingültigkeit erhebt.

### 3 Beispielprojekt

In der Praxis hat sich die vorgeschlagene Methode in der Innovationsabteilung eines Luftfahrtzulieferers bewährt. Diese Abteilung wurde neu strukturiert, insbesondere hatte sich gezeigt, dass bei der Übergabe an die Entwicklungsabteilungen die Qualität, mit der die Innovationen dokumentiert wurden, nicht immer der Erwartung entsprach. Daher wurde beschlossen, die frühen Phasen der Entwicklung an das TRL-System (Technology Readiness Level) der NASA [Ma95] anzugleichen. Anhand des „Technology Readiness Assessment Guide“ [DOE11] und des „AFLR Transition Readiness Level Calculator, Version 2.2“ [No03] wurden für jede TRL Anforderungen festgelegt, die zur Erfüllung einer jeden TRL notwendig sind. Diese Anforderungen wurden innerhalb einer Arbeitsgruppe erarbeitet, und anschließend dem Management zur Zustimmung vorgelegt. Aufgrund der Tatsache, dass vom Management einige Anforderungen auf ihre Notwendigkeit hin angezweifelt wurden, entschloss sich das Team dazu, den Nutzen eben jener Anforderungen anhand eines innerhalb der Firma bekannten Projektes und der in diesem Artikel vorgestellten Methode zu begründen. Dabei wurde allerdings auf eine quantitative Bewertung der Schadensfolge verzichtet und der ROI wurde mit Hilfe der folgenden Formel berechnet:  $ROI = 1000 \times (RPZ - RPZ')$  geteilt durch Aufwand (siehe Formel 2).

$$ROI = \frac{1000 \times (RPZ - RPZ')}{Aufwand}$$

Formel 2: Berechnung des ROI im Beispielprojekt

In diesem Fall sagt der ROI also aus, um wie viel die RPZ bei einem ermittelten Aufwand reduziert wird.

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die drei nachstehenden Anforderungen dargestellt:

1. Identifikation des State of the Art (SOA) und der Wettbewerber (TRL 2)
2. Erstellung eines Industrialisierungsplans inklusive zugehöriger Risikominderung (TRL 3)
3. Entwurf für die Planung von Kundenbetreuung und Leistungen (Schulung, Prozesse, Werkzeuge, Kenntnisse, ...) (TRL 4)

Die ausgearbeitete FMEA Matrix ist in Bild 4 zu sehen.

Nr.	Funktion	Fehlerursache	Fehlerfolge	B	A	E	RPZ	Maßnahme	B'	A'	E'	RPZ'	Aufwand	ROI	Kommentar
1	Identifikation des State of the Art (SOA) und der Wettbewerber	Schritt wird ausgelassen	1) Wichtige Anforderungen werden nicht in Betracht gezogen, SOA kann sich auch auf zulassungsrelevante Anforderungen auswirken (System Safety) 2) Konflikt mit Wettbewerbern zum Urheberrecht 3) Es werden Lösungen in Betracht gezogen, die bereits bei Markteinführung nicht mehr adäquat sind	9	7	8	504	#1: Wettbewerberanalyse	9	4	4	144	9.600,00 €	37,5	
								#2: Patentrecherche	7	2	1	14	16.000,00 €	30,6	Annahme: Patentanwalt wird eingesetzt
								#3: Recherche zu Lösungstechnologie in anderen Industriezweigen	9	5	5	225	9.600,00 €	29,1	
2	Erstellung eines Industrialisierungsplans inklusive zugehöriger Risikominderung	Schritt wird ausgelassen	1) Konzept sieht Elemente vor, die intern nicht gefertigt werden können	7	6	8	336	#4: Einbeziehung der Industrialisierungsingenieure in die Konzeptphase	7	2	1	14	24.400,00 €	20,1	Annahme: Unterstützung über 3 Monate bei einer Auslastung von 25% und 2 Reisen
			2) Endmontage muss ausgelagert werden	9	6	8	432	#4: Einbeziehung der Industrialisierungsingenieure in die Konzeptphase	6	1	1	6	24.400,00 €	20,4	Annahme: Unterstützung über 3 Monate bei einer Auslastung von 25% und 2 Dienstreisen
3	Entwurf für die Planung von Kundenbetreuung und Leistungen (Schulung, Prozesse, Werkzeuge, Kenntnisse, ...)	Schritt wird ausgelassen	1) Dokumentation zum Betrieb liegt für Prototypen nicht oder nur unzureichend vor	6	9	9	486	#5: Erstellung des Plans	3	2	2	12	14.600,00 €	33,6	Annahme: Erfordert 1 Dienstreise
			2) Dokumentation zum Betrieb liegt für Seriengerät nicht oder nur unzureichend vor	9	9	9	729	#5: Erstellung des Plans	7	2	1	14	14.600,00 €	33,6	Annahme: Erfordert 1 Dienstreise

Bild 4: Beispielprojekt FMEA

Es ist gut zu sehen, dass die vom Team vorgeschlagenen Aktivitäten weitreichende Konsequenzen haben können, und dass die Aufwände für die Maßnahmen gemessen an der möglichen Schadenshöhe vertretbar sind. Insbesondere wird für die Aktivitäten 2 und 3 deutlich, dass sich mit derselben Maßnahme mehrere Fehler abschwächen lassen können.

## 4 Zusammenfassung

In diesem Artikel wird gezeigt, wie anhand einer branchenübergreifend bekannten und anerkannten Methode der ROI für einzelne SE Aktivitäten ermittelt werden kann. Die vorgestellte Vorgehensweise schließt dabei die Lücke zwischen den bekannten Vorgehensweisen nach Eric Honour [Ho13] und Sarah A. Sheard und Christopher L. Miller [SM00] und hat sich in ersten Praxistests als geeignet bewährt.

Bei der Durchführung ist darauf zu achten, dass der Dokumentation jeder einzelnen Zelle in der FMEA Tabelle eine große Bedeutung zukommt, da bei der Ergebnispräsentation einzelne Schritte detailliert hinterfragt werden können. Ebenso ist darauf zu achten, dass in dem Team, welches die Inhalte der einzelnen Zellen bestimmt, über ausreichendes Wissen verfügt. Und schließlich ist zu betonen, dass, wie bei jeder anderen FMEA auch, ein Moderator für eine effiziente Durchführung eminent wichtig ist.

## 5 Ausblick

Die Autoren planen, die vorgestellte Vorgehensweise in weiteren Projekten anzuwenden, um weitere Verfeinerungen vorzunehmen. Insbesondere kann erst nach weiteren praktischen Anwendungen die erstellte Checkliste validiert werden.

## 6 Danksagung

Die Autoren möchten sich an dieser Stelle bei allen Teilnehmern der Arbeitsgruppe „Systems Engineering ROI“ auf dem GFSE Workshops 2013 in Hannover für ihre konstruktive Mitarbeit und Ideen bedanken.

## Literaturverzeichnis

- [AB11] Albers, A.; Braun, A.: A generalised framework to compass and to support complex product engineering processes. IJPD, 15(1/2/3), 6–25, Inderscience Publishers, Genf, 2011.
- [ANSI98]ANSI/EIA-632-1998: Processes for Engineering a System, approved 1999, reaffirmed 2003.
- [DOE11]Department of Energy, Technology Readiness Assessment Guide, DOE G 413.3-4A, 2011.

- [El12] Elm, J.P.: The Business Case for Systems Engineering Study: Assessing Projekt Performance from Sparse Data, SEI Special Report CMU/SEI-2012-SR-010, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 2012.
- [El12a] Elm, J.P.: The Business Case for Systems Engineering Study: Results of the Systems Engineering Effectiveness Survey, SEI Special Report CMU/SEI-2012-SR-009, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 2012.
- [Fr95] Frantz, W.F.: The Impact of systems engineering on quality and schedule – empirical evidence. NCOSE International Symposium, St. Louis, MO, 1995.
- [Ga96] Garcia, S.M.: How to Survive as a Change Agent in Hostile Territory: ‘Principles of Process Improvement Terrorism’, Proceedings of the sixth annual International Symposium of the INCOSE, 1996.
- [GJ04] Goebbels, S.; Jacob, R.: Geschäftsprozess-FMEA. Symposion Publishing GmbH, Düsseldorf, 2004.
- [Ha11] Haskins, C.: INCOSE Systems Engineering Handbook v.3.2.2, INCOSE-TP-2003-002-03.2.2, 2011.
- [Ho13] Honour, E.C.: Systems engineering return on invest. Phd thesis, Defence and Systems Institute - School of Electrical and Information Engineering, University of South Australia, Adelaide, 2013.
- [ISO07] ISO/IEC 28702:2007: Systems engineering – Application and management of the systems engineering process, 2007.
- [ISO08] ISO/IEC 15288:2008: Systems and software engineering – System life cycle processes, 2008.
- [JTC] Joint Technical Committee 1 of the International Organization for Standardization (ISO) and the International Electrotechnical Commission (IEC), subcommittee 7 (SC7) - Software and systems engineering, <http://www.jtc1-sc7.org/>.
- [Ma13] Martin, J. et. al.: Towards a Common Language for Systems Praxis. Proceedings of the 23rd Annual International Symposium of the INCOSE, Philadelphia, PA, 2013.
- [Ma95] Mankins, J.C.: Technology Readiness Levels: A White Paper, NASA, Office of Space Access and Technology, Advanced Concepts Office, 1995.
- [No03] Nolte, William L., et al., Technology Readiness Level Calculator, Air Force Research Laboratory, presented at the National Defense Industrial Association Systems Engineering Conference, October 20, 2003.
- [SM00] Sheard, S.A.; Miller, C.L.: The Shangri-La of ROI. Proceedings of the INCOSE International Symposium, Minneapolis, MN, 2000.
- [Va05] Valerdi, R.: THE CONSTRUCTIVE SYSTEMS ENGINEERING COST MODEL (COSYSMO). Phd thesis, faculty of the graduate school, University of Southern California, Los Angeles, 2005.