

# Systems Engineering im Marktwirtschaftlichen Kontext

Dieter Scheithauer

H·I·T·S Engineering, Dr.-Ing. Dieter Scheithauer  
Breitensteinstraße 26, 83727 Schliersee, dieter.scheithauer@hitseng.eu

**Zusammenfassung:** Mit der INCOSE Vision 2025 erhebt INCOSE den Anspruch, mittels Systems Engineering wesentlich zur globalen gesellschaftlichen Entwicklung und zur Nachhaltigkeit in der Nutzung natürlicher Ressourcen beitragen zu können. Aber welche Vorstellungen von gesellschaftlicher, insbesondere wirtschaftlicher Organisation liegen diesem Anspruch zugrunde? Und wie universal sind die Lösungsansätze des Systems Engineering nach heutigem Stand einsetzbar? Dieser Text analysiert die Anwendbarkeit des Systems Engineering im marktwirtschaftlichen Kontext und zeigt Ansätze auf, wie bestehende Lücken zukünftig geschlossen werden können. Rolle und Verantwortung der Marktteilnehmer bilden den Einstiegspunkt. Über die vielfältigen Interaktionen während des gesamten Systemlebenszyklus sind Marktteilnehmer und Systems Engineering miteinander verzahnt. Besondere Aufmerksamkeit hinsichtlich Produkthaftpflicht und Produktsicherheit gelten den Marktteilnehmern, die als Produzenten auftreten.

## 1 Einleitung

Systems Engineering hat sich in nach marktwirtschaftlichen Prinzipien organisierten Volkswirtschaften entwickelt. Allerdings ist dies nur eingeschränkt im freien Spiel der Marktteilnehmer geschehen. Die Anwendungsfälle für explizit eingesetztes Systems Engineering bezogen sich in der Regel auf Entwicklungs- und Beschaffungsvorhaben, deren technische und finanzielle Risiken für die meisten Marktteilnehmer allein nicht tragbar waren. Die Neuentwicklung innovativer Produkte und der dazugehörigen Technologien verlangen eine hohe Wertschöpfungstiefe und langfristig angelegte Planungen. Betriebswirtschaftliche Planungs- und Bewertungshorizonte werden überschritten, wenn die Zeitspannen zwischen den anfänglichen Investitionen und sich schließlich daraus ergebenden Einnahmen sowie der Gesamtaufwand zu groß werden.

Entsprechend war und ist hier der Staat als mächtigster Marktteilnehmer gefordert. Der Staat tritt dabei in drei Rollen auf. Die erste Rolle betrifft den Staat als nahezu omnipotenten Investor. Im Rahmen der Globalisierung haben sich allerdings mittlerweile multinationale Konzerne herausgebildet, die in ihrer Finanzkraft an das Potential vieler Staaten heranreichen. Dennoch verhalten sich diese multinationalen Konzerne weniger risikoaffin als staatliche Akteure [MM14].

Die zweite Rolle staatlichen Handelns liegt in der Definition und Durchsetzung gesellschaftlicher Ziele. Kennedys Anspruch, innerhalb von zehn Jahren einen Menschen den Fuß auf den Mond setzen zu lassen, ist ein klassisches Beispiel. Aktuell

lässt sich anhand der Energiewende in Deutschland beobachten, wie staatliche Zielsetzungen Märkten die Richtung weisen. Die Kosten pro Kilowattstunde für Strom aus regenerativen Energiequellen konnten so unter die Kosten der konventionellen Energieerzeugung gedrückt werden.

Die dritte Rolle des Staates bezieht sich auf die Rahmensetzung für innovative Produkte, um Sicherheitsrisiken auf ein gesellschaftlich akzeptables Maß zu begrenzen. Die Zulassungsbedingungen für militärische und zivile Flugzeuge sind ein prominentes Beispiel.

Da staatliche Interessen und Einflussnahmen in den klassischen Systems-Engineering-Anwendungsfeldern sehr weitreichend sind, hat sich Systems Engineering in einem vorwiegend planwirtschaftlich organisierten Wirtschaftsbereich entwickelt. Die Rolle des marktwirtschaftlich organisierten Umfeldes, dessen man sich auch im Rahmen von Zulieferungen und standardisierten Dienstleistungen bedienen sollte, sollte trotzdem nicht vernachlässigt werden. Die Materialisierung vieler Risiken, die häufig zu signifikanten Kostenüberschreitungen und Zeitverzögerungen führten, wird in der veröffentlichten Meinung gern nicht den inhärenten Projektrisiken an sich, sondern den planwirtschaftlichen Elementen zugeschrieben.

Missst man den Erfolg auch daran, welche Möglichkeiten die neu hervorgebrachten Technologien für die volkswirtschaftliche Entwicklung bedeutet haben, ergibt sich ein weitaus erfreulicheres Bild. Der heutige Stand der Mechatronik wäre ohne den technologischen Fortschritt von elektronischen Flugregelungsanlagen und anderen multidisziplinär angelegten Anwendungen nicht denkbar. Das Internet und daraus folgende Produktinnovationen gehen letztendlich nahezu vollständig auf militärisch finanzierte Technologievorhaben zurück [MM14].

Die Übertragung neuer Technologien in andere Applikationen gelingt aber nur umfassend, wenn auch die zugehörige Entwicklungsmethodik berücksichtigt wird. Diese Transition erfolgt jedoch eher verzögert. Der Umgang mit sicherheitskritischen Anforderungen in der Luftfahrt und im Automobilbau in Bezug auf innovative technische Lösungsansätze zeigt zum Beispiel noch große Differenzen. Aber die Nachfrage nach fundiertem Systems-Engineering-Wissen steigt. Ein Indikator ist die Tatsache, dass sich mit Stand November 2014 nur noch ungefähr zwanzig Prozent der GfSE-Mitglieder in klassischen Systems-Engineering-Anwendungsfeldern (Luft- und Raumfahrt, Verteidigung) bewegen. Ein anderes Zeichen setzt die INCOSE Vision 2025, die Systems Engineering als Mittel zur Bewältigung des globalen Strebens nach effizientem Ressourcenverbrauch und Nachhaltigkeit anpreist [IN14].

Im Folgenden wird untersucht, wie gut der volkswirtschaftliche Kontext derzeit im Systems Engineering berücksichtigt ist. Schwächen werden identifiziert und Lösungswege werden aufgezeigt. Ausgangspunkt ist die Grundüberzeugung, dass nach marktwirtschaftlichen Prinzipien organisierte Volkswirtschaften letztendlich erfolgreicher sein werden, die globalen Herausforderungen heute und in Zukunft flexibel und effizient zu meistern. Dementsprechend wird mit der Rechtslage in der Europäischen Union und deren Umsetzung in deutsches Recht argumentiert.

## 2 Berücksichtigung Volkswirtschaftlicher Randbedingungen

### 2.1 Analyse der INCOSE Vision 2015

In einer Art Präambel zieht die INCOSE Vision 2025 [IN14] weite Grenzen für die Anwendbarkeit von Systems Engineering: „*Systems Engineering focuses on ensuring the pieces work together to achieve the objectives of the whole*“. Zu den Imperativen des Systems Engineering zählt nicht nur die Systems-Engineering-Anwendung in allen Industriebereichen. Der Einsatz von Systems Engineering wird ebenso empfohlen, um Strategien bezogen auf soziale und natürliche Systeme zu gestalten. Mit diesen Ausführungen postuliert INCOSE einen sehr umfassenden Anwendungsbereich für Systems Engineering.

In der Beschreibung des globalen Kontextes für Systems Engineering verweist die INCOSE Vision 2025 direkt auf unveränderliche menschliche und soziale Bedürfnisse. Die globalen ökonomischen Abhängigkeiten finden als globaler Trend Berücksichtigung. INCOSE empfiehlt für die Zukunft eine verbesserte Koordination und globale Strategien, um ökonomischen und das Finanzsystem betreffenden Herausforderungen ausbalanciert und angemessen zu begegnen. Ökonomische Gesichtspunkte werden neben sozialen und Umweltaspekten als Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung benannt. Von einem globalen Wettbewerb wird ebenso ausgegangen, wie von weltweiter industrieller Kollaboration.

Die INCOSE Vision 2025 betont somit die Bedeutung des ökonomischen Kontextes, ohne die Zusammenhänge zwischen volkswirtschaftlichen Organisationsprinzipien und Systems Engineering weiter zu detaillieren. Für die Analyse volkswirtschaftlicher Randbedingungen im Systems Engineering ist die INCOSE Vision 2025 zwar nicht sehr ergiebig, aber durchaus stilbildend.

### 2.2 Analyse der ISO15288:2015

Ein ähnliches Ergebnis liefert ein Blick in die ISO15288 [ISO15]. Dies soll beispielhaft anhand des in der Norm verwendeten Organisationsbegriffs sowie der Beschreibung der Beschaffungs- und Lieferprozesse (*Acquisition Process* und *Supply Process*) verdeutlicht werden.

Der Organisationsbegriff der ISO15288 ist der ISO9000 [ISO05] entlehnt. Dieser Organisationsbegriff spricht zwar von einer Organisation als Ansammlung von Personen mit zugehöriger Infrastruktur sowie zugewiesenen Verantwortlichkeiten, Kompetenzen und Abhängigkeiten, aber er ist nicht beschränkt auf selbstverantwortlich handelnde Marktteilnehmer. Zunächst ist es sinnvoll, die ISO15288 mit den Standards zu Qualitätsmanagementsystemen abzugleichen. Schließlich lassen sich die Anforderungen aus ISO15288 als Detaillierungen des Produktentstehungsprozesses in ISO9001 [ISO08] auffassen. Auf der anderen Seite gab es bei der Etablierung der Qualitätsmanagementstandards gute Gründe, den Organisationsbegriff unscharf zu lassen. So wird gerade großen Unternehmen ermöglicht, ein

Qualitätsmanagementsystem schrittweise einzuführen und anfangs nur einzelne Unternehmensteile oder Projektorganisationen zu zertifizieren.

Die Beschaffungs- und Lieferprozesse der ISO15288 bauen auf diesem Organisationsbegriff aus. Entsprechend wird auf Verträge zwischen Marktteilnehmern mit ihren finanziellen und juristischen Implikationen nicht spezifisch eingegangen. Auch sonst sind die Beschreibungen der Beschaffungs- und Lieferprozesse von beeindruckender Schlichtheit. Dies hat den Vorteil nahezu unangreifbar universell gültige Grundsätze proklamieren zu können. Auf der anderen Seite wappnet der Inhalt der ISO15288 den Anwender nicht dafür, sich auf die sich real einstellenden Herausforderungen vorzubereiten. Folgende Hauptkritikpunkte sind anzuführen:

Erstens, es wird davon ausgegangen, dass Anforderungen vollständig sind und somit der Auftragnehmer in deduktiver Weise die Lösung entwickelt. Diese Sichtweise ignoriert, dass Spezialisierung neben Arbeitsteilung und Standardisierung ein wesentliches Merkmal von hochentwickelten Industriekulturen ist [DS15]. Sie ist weder mit dem Produkthaftungsgesetz [PHG02] noch mit dem Produktsicherheitsgesetz [PSG11] kompatibel. Zweitens, die ISO15288 lässt unerwähnt, dass Kundenanforderungen zuweilen nicht vollständig umgesetzt werden können. Demzufolge gibt es auch keine Überlegungen zum Umgang mit Abweichungen. Weitergehend lässt dies die Interpretation zu, dass sich die ISO15288 vornehmlich am Modell einer Auftragsentwicklung orientiert, beziehungsweise eine kundenspezifische Entwicklung als den Normalfall ansieht. Schließlich findet sich kein einziger Hinweis auf die spezifischen Randbedingungen, die bei der Wiederverwendung existierender Produkte zu berücksichtigen sind. Drittens, legt die ISO15288 nahe, dass die Nachweise entlang der durch die Anforderungen gezogene Trennlinie entweder vom Kunden oder Lieferanten durchführbar sind. In der Praxis gibt es eine Vielzahl von Gründen, anders zu verfahren.

Die Beschreibung der Beschaffungs- und Lieferantenprozesse in der ISO15288 bleibt selbst hinter der Systems-Engineering-Praxis in den klassischen Systems-Engineering-Anwendungsfeldern zurück. In den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts begannen die militärischen Beschaffungsorganisationen an Einfluss auf zuvor vollständig kontrollierte Technologien zu verlieren. Dies war gewissermaßen die Kehrseite der zivilen Nutzung dieser Technologien. Der damalige amerikanische Verteidigungsminister William Perry ordnete aus guten Gründen die verstärkte Nutzung von Commercial-Off-The-Shelf-Produkten (COTS) an, anstatt für höhere Kosten spezifische Lösungen mit ähnlichen Charakteristika neu entwickeln zu lassen. Die Beschaffungsbehörden in den übrigen NATO-Ländern folgten dieser Doktrin in unterschiedlichen Ausprägungen. Nicht ganz zufällig wurde im gleichen Zeitraum der Begriff System-of-Systems (SoS) populär. In gewisser Weise wurde so auch auf die Rolle und die Interessen einzelner Marktteilnehmer eingegangen. Die im Mai erfolgte Neuauflage der ISO15288 berücksichtigt spezifische Überlegungen zu Systems-of-Systems in einem neuen Annex G. Dieser Annex ist allerdings rein informativ und besitzt keinen normativen Charakter. Es ist schlüssig, den Übergang von einfachen Systemen zu System-of-Systems an den jeweiligen organisatorischen Grenzen zwischen separaten Marktteilnehmer dingfest zu machen [DS15].

### 3 Rolle und Verantwortung der Marktteilnehmer

#### 3.1 Natürliche und Juristische Personen

Marktteilnehmer können natürliche und juristische Personen sein. Natürliche Personen treten als Konsumenten, Arbeitnehmer und Unternehmer in Erscheinung. Als Konsument oder Unternehmer sind natürliche Personen als selbstverantwortlich und nach freiem Willen handelnde Subjekte am Markt präsent. Dabei werden natürlichen Personen als Konsumenten gegenüber mächtigeren Marktteilnehmern besondere Schutzrechte zugestanden. In der Rolle als Arbeitnehmer ist die Verantwortlichkeit natürlicher Personen ebenso reduziert, da sie in der Regel weisungsgebunden agieren. Für leitende und aus anderen Gründen herausgehobene Arbeitnehmer gilt dies allerdings weniger. So ist ein luftfahrtrechtlich entwicklungsverantwortlicher Funktionsträger ebenso persönlich haftbar wie geschäftsführende Angestellte.

Die andere Gruppe der Marktteilnehmer stellen die juristischen Personen. Hierzu gehören privatwirtschaftlich organisierte Kapitalgesellschaften genauso wie Körperschaften des öffentlichen Rechtes. Staatliche Institutionen spielen insofern eine Sonderrolle, da sie auch den gesetzlichen Rahmen definieren und durchsetzen sowie gesellschaftliche Ziele vorgeben.

#### 3.2 Marktteilnehmer im Systemlebenszyklus

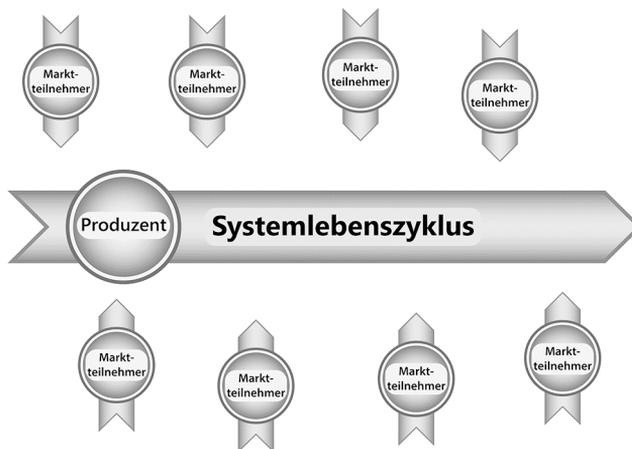


Abbildung 1: Marktteilnehmer im Systemlebenszyklus

Eine Marktwirtschaft lässt sich als Netzwerk von Kommunikationsbeziehungen sowie Waren- und Dienstleistungslieferungen modellieren. Ein Systemlebenszyklus ist ein Ausschnitt aus diesem Netzwerk. Dieser Ausschnitt umfasst alle Marktteilnehmer, die mit dem System irgendwann oder fortdauernd während des Systemlebenszyklus interagieren. In Abbildung 1 sind diese schematisch entlang des Systemlebenszyklus

aufgereiht. Eine besondere Verantwortung kommt dem Produzenten des Systems zu. Aus diesem Grund ist der Produzent in Abbildung 1 auf dem Pfeil, der den Systemlebenszyklus darstellt, platziert. Für alle anderen dargestellten Marktteilnehmer gilt dies entsprechend hinsichtlich der Produkte, die sie in die Interaktionen mit dem System einbringen.

Interessant wird es, wenn man die Verantwortungen der einzelnen mit dem gleichen System interagierenden Marktteilnehmer abzugrenzen versucht. Im Besonderen gilt dies auch gerade für die Verantwortungsgrenzen im Systems Engineering. Eine erste Abgrenzung zwischen den Interaktionen anderer Marktteilnehmer hinsichtlich der spezifischen Anpassung an das jeweilige System erscheint sinnvoll. In der Regel wird mit steigendem Innovationsgrad des Systems auch die Zahl der systemspezifischen Anpassungen auf Seiten der anderen involvierten Marktteilnehmer ausfallen. Im Systems Engineering müssen diese spezifischen unterstützenden Systeme berücksichtigt werden. Am anderen Ende des Spektrums gibt es aber auch Interaktionen, die standardmäßig als Produkt oder Dienstleistung auf dem Markt angeboten werden. Metrische Werkzeuge und nach Industriestandards kalibrierte Messgeräte sind klassische Beispiele für marktgängige Produkte, die einzelne Marktteilnehmer in den Interaktionen mit dem System einsetzen werden. Im Systems Engineering können derartige Interaktionen rudimentär abgehandelt werden.

### 3.3 Produkthaftung und Produktsicherheit

Hersteller von Produkten unterliegen dem Produkthaftungsgesetz [PHG02] und dem Produktsicherheitsgesetz [PSG11], die ihrerseits europäisches Recht umsetzen [EC85, EC01]. Nach §2 des Produkthaftungsgesetzes ist ein Produkt als eine bewegliche Sache definiert, die auch Teil einer anderen beweglichen Sache oder einer unbeweglichen Sache sein kann. Im Sinne des Gesetzes ist explizit auch Elektrizität in den Produktbegriff eingeschlossen. Demnach sind Dienstleistungen keine Produkte. Die ISO9000 bezieht demgegenüber in die Produktdefinition auch Dienstleistungen mit ein. Da sich die ISO15288 terminologisch in diesem Fall wieder auf die ISO9000 abstützt, gilt auch im Systems Engineering der um Dienstleistungen erweiterte Produktbegriff. In der Systems-Engineering-Praxis wird bei sorgfältigem Sprachgebrauch in der Regel von Produkten und Dienstleistungen gesprochen, so dass die unterschiedlichen Produktbegriffe nur selten Irritationen hervorrufen. Gemäß §4 des Produkthaftungsgesetzes ist der Hersteller eines Produktes entweder der Produzent oder derjenige der das Produkt in der Europäischen Union in Verkehr bringt. Interessant ist, dass die Entwicklungstätigkeit allein keine direkte Produkthaftung konstituiert.

Das Produktsicherheitsgesetz führt in §3 eine im Hinblick auf das Systems Engineering bedeutsame Unterscheidung ein. Unterschieden wird zwischen Produkten, für die spezifische Rechtsverordnungen mit detaillierten Anforderungen erlassen sind, und anderen, für die dies nicht der Fall ist.

Bei Produkten der ersten Kategorie sind die in den Rechtsverordnungen genannten Anforderungen zu erfüllen sowie Gefährdungen der Sicherheit und Gesundheit von Personen bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung auszuschließen.

Produkte in den klassischen Systems-Engineering-Anwendungsfeldern fallen ausnahmslos in diese Kategorie. Auch die meisten neuen Anwendungsfelder, die sich Systems Engineering zuwenden, gehören zu dieser Kategorie. Systems Engineering ist auf die Fähigkeit zu einer anforderungsbasierten Nachweisführung fokussiert. Diese Vorgehensweise ist insofern verifikationslastig, indem die Erfüllung vorgegebener Anforderungen geprüft wird. Validierungsaspekte hinsichtlich der Abwesenheit von unerwünschten Effekten sind weitgehend auf Sicherheitsaspekte konzentriert. Mit den weiteren Implikationen eines bestimmungsgemäßen und vorhersehbaren Gebrauchs setzt man sich allenfalls auseinander, wenn die zu erfüllenden Anforderungen nicht mehr zu den angestrebten innovativen Lösungen passen.

Bei der zweiten Kategorie verbleibt im Gesetz als einziges Kriterium die Nichtgefährdung der Sicherheit und Gesundheit bei bestimmungsgemäßem oder vorhersehbarem Produktgebrauch. Es werden zu berücksichtigende Beurteilungskriterien angegeben: (i) Eigenschaften des Produktes einschließlich Zusammensetzung, Verpackung, Anleitungen für Zusammenbau, Installation, Wartung und Gebrauchsdauer; (ii) Einwirkungen des Produktes auf andere Produkte bei Zusammenverwendung; (iii) Aufmachung des Produktes, Kennzeichnung, Warnhinweise, Gebrauchs- und Bedienungsanleitung, Angaben zur Beseitigung, sonstige produktbezogene Angaben und Informationen; (iv) Gruppen von stärker gefährdeten Verwendern. Es gibt auch den Hinweis in §5, dass zur Beurteilung Normen und andere technische Spezifikationen zugrunde gelegt werden können. Insgesamt bleibt dies eher vage und ist im Zweifelsfall der richterlichen Bewertung im Einzelfall unterworfen. Als Nachweisprozess gewinnt hierbei sehr schnell die Validierung den Vorrang vor der Verifikation.

### 3.4 Definitionen für Anforderung, Validierung und Verifizierung

Bedauerlicherweise gibt es in der Systems-Engineering-Terminologie nach ISO15288 eine Inkonsistenz, die die Bedeutung des Begriffs Validierung vernebelt. Zur Aufklärung ist im ersten Schritt wieder die ISO9000 heranzuziehen. Die ISO9000 definiert eine Anforderung als *„Erfordernis oder Erwartung, das oder die festgelegt, üblicherweise vorausgesetzt oder verpflichtend ist“*. Zu dieser Definition passen die Erklärungen für Verifizierung – *„Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass festgelegte Anforderungen erfüllt worden sind“* – und Validierung – *„Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass die Anforderungen für einen spezifischen beabsichtigten Gebrauch oder eine spezifische beabsichtigte Anwendung erfüllt worden sind“*.

Im Prinzip wurden diese drei Definitionen in die ISO15288 übernommen. Allerdings ist der Begriff Anforderung gemäß ISO9000 im Rahmen des Systems Engineering operativ kaum brauchbar. So wird der Begriff Anforderung in der ISO15288 definiert als eine Aussage, die ein Stakeholder-Bedürfnis übersetzt oder ausdrückt inklusive enthaltener Einschränkungen und Bedingungen. Das heißt der Anforderungsbegriff im Systems Engineering umfasst nur noch die festgelegten Anforderungen inklusive der verpflichtenden Erwartungen und nicht mehr Dinge, die üblicherweise als vorausgesetzt angenommen werden können. Die Erklärungen für Verifizierung und Validierung sind

dagegen unverändert aus der ISO9000 in die ISO15288 übernommen worden. Dabei bleibt die Erklärung für Verifizierung verständlich. Die Attributierung einer Anforderung als festgelegt erscheint zwar als eine Tautologie, beeinträchtigt die Verständlichkeit jedoch nicht. Auf die Phrasen spezifischer beabsichtigter Gebrauch und spezifische beabsichtigte Anwendung, die in der Erklärung für Validierung verwendet werden, kann man sich allerdings kaum noch einen Reim machen. Übrig bleibt also der objektive Nachweis, dass die Anforderungen erfüllt sind. Dies ist nichts anderes als eine Dopplung des Begriffes Verifizierung. Entsprechend wird ja auch gern einfach von V&V gesprochen, so dass jede Aufforderung zu klarer semantischer Abgrenzung leicht abgewehrt werden kann.

Ungeachtet dieser terminologischen Inkonsistenzen hat sich auch im Systems Engineering eine gewisse Bedeutung des Begriffes Validierung im Sinne der ISO9001 erhalten. Wenn zum Ende der Entwicklung von operationeller Validierung gesprochen wird. In diesem Fall wird das Produkt in seiner Systemumgebung auf seine operationelle Verwendbarkeit überprüft. Da der Hersteller nicht für die Systemumgebung verantwortlich zeichnet, gibt es für ihn auch keine Systemanforderungen an die Systemumgebung, für deren Erfüllung er verantwortlich ist. Korrekterweise ist deshalb von Validierung und nicht Verifizierung die Rede. Für ein effizientes Systems Engineering ist es jedoch nicht ratsam, mit der Validierung erst am Ende der Entwicklung zu beginnen. Die empfohlenen entwicklungsbegleitenden und dedizierten Validierungsschritte wurden bereits in einer früheren Veröffentlichung vorgestellt [SF13].

Das Ziel der ISO9001 ist Kundenzufriedenheit und nicht der Nachweis, dass das, was der Kunde gesagt oder geschrieben hat, richtig umgesetzt ist. Diese Ansicht nimmt auf die Spezialisierung einzelner Marktteilnehmer Rücksicht und bürdet im Gegenzug dem Hersteller eine größere Verantwortung auf als bei einer reinen Erfüllung explizit ausgedrückter Anforderungen, die als fixer Startpunkt der Entwicklung entfallen. Für die Systems-Engineering-Methodik bedeutet dies, klar zwischen Stakeholder-Bedürfnissen und Stakeholder-Anforderungen differenzieren zu müssen. In der ISO29148 zum Requirements Engineering hat sich dies erstmals zaghaft angedeutet [ISO11]. Jedoch ist dieser Standard eine Definition schuldig geblieben, was nun eigentlich ein Stakeholder-Bedürfnis sei. Leider spinnt die Neuausgabe der ISO15288 diesen Faden nicht weiter.

Um Systems Engineering auch auf die zweite Produktkategorie im Sinne des Produktsicherheitsgesetzes uneingeschränkt anwendbar zu machen, sind klare Unterscheidungen der Bedeutung von Stakeholder-Bedürfnissen, sowie Stakeholder-Anforderungen einzuführen. Zusätzlich ist der Begriff Validierung klarer zu fassen und Validierung im Systems-Engineering-Prozess kontinuierlich zu integrieren.

### **3.4 Produkttaxonomie**

Produkthaftpflichtgesetz und Produktsicherheitsgesetz sind auf jeden Produzenten anwendbar. In Ergänzung zu den in Abbildung 1 dargestellten Interaktionen ist auf die Lieferkette des Produzenten noch gesondert einzugehen. Die im Systems Engineering als Normalfall betrachtete kundenspezifische Produktentwicklung ist in einer

Marktwirtschaft eher als ein Sonderfall anzusehen. In einer idealisierten Marktwirtschaft wählt der Kunde aus einer reichhaltigen Produktpalette das Produkt aus, das am besten zu seinen Bedürfnissen und finanziellen Möglichkeiten passt. Verfahren der Massenproduktion haben geholfen, Kundenbedürfnisse zu günstigen Preisen zu befriedigen. In gesättigten Märkten sind die Produkthanbieter bemüht, ihre Markanteile durch Differenzierungen und Besetzung kleiner Produktnischen zu halten. Dies hat zu Standardlösungen mit einer Vielzahl frei wählbarer Optionen geführt.

Zusammenfassend lässt sich daraus eine Produkttaxonomie gemäß Abbildung 2 ableiten. Die Kategorie I bilden standardisierte Produkte, über deren Kauf der Kunde nur mit ja oder nein entscheiden kann. Es liegt im Ermessen des Kunden, das Produkt in die eigenen Prozesse und Systeme zu integrieren. Auf der rechten Seite sind in der Kategorie III nach Kundenspezifikation entwickelte Produkte zusammengefasst. Der Kunde ist hier relativ frei, seine Bedürfnisse in ein entsprechendes Produkt umsetzen zu lassen. Damit ist auch die Integration weitgehend auf den Lieferanten delegierbar. Allerdings lässt sich auch eine partielle Risikoübernahme für die Leistungen des Lieferanten nicht ausschließen.

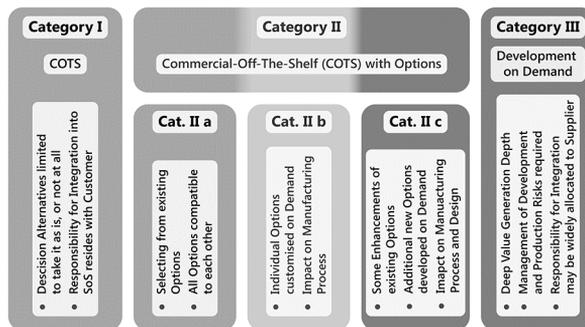


Abbildung 2: Vorgeschlagene Produkttaxonomie [DS15].

Die Kategorie II wird von Produkten gebildet, die als Standardlösung mit Optionen geordert werden können. Für die Produktkategorie II ist es sinnvoll drei Subkategorien einzuführen. In der Unterkategorie IIa finden sich alle Angebote mit existierenden, zueinander kompatiblen Optionen. Zur Produktion dieser Produkte fallen weder Produktentwicklungsarbeiten noch Änderungen am Produktionssystem an. Die Unterkategorie IIb umfasst die Fälle in denen kundenspezifische Änderungen am Produktionsprozess vorgenommen werden müssen. Ein Beispiel wäre eine Fahrzeugbestellung mit bestimmter Farbe der Lackierung. In der Unterkategorie IIc werden zusätzlich auch Produktentwicklungsarbeiten notwendig. Es könnte zum Beispiel ein Bedarf bestehen, einen standardmäßig verfügbaren LKW, der unbeschadet durch 80cm-tiefes Wasser fahren kann, so umzubauen, dass auch 100cm-tiefes Wasser durchfahren werden kann. Während die Beschaffung von Produkten der Unterkategorie IIa sich für den Kunden weitgehend frei von technologischen Risiken darstellt, steigt das Risiko für die beiden anderen Unterkategorien an. Am kritischsten kann sich die Situation entwickeln, wenn sich der Kunde noch als Abnehmer einer

Standardlösung wähnt, aber tatsächlich die Entwicklungs- und Produktionsrisiken aktiv zu kontrollieren wären.

Ein Systems Engineering, das im marktwirtschaftlichen Umfeld uneingeschränkt einsetzbar sein will, sollte für alle Produktkategorien angepasste Prozesse und Methoden offerieren können.

### 5 Schlussbemerkungen

Um Systems Engineering uneingeschränkt in einer nach marktwirtschaftlichen Prinzipien organisierten Volkswirtschaft einsetzen zu können sind eine Reihe von zusätzlichen Überlegungen erforderlich, die in Standards und Büchern zum Systems Engineering nur wenig berücksichtigt sind. Es ist eine klare Unterscheidung von Stakeholder-Bedürfnissen und Stakeholder-Anforderungen erforderlich. Die Begriffsdefinitionen von Anforderung, Validierung und Verifikation sind aufeinander abzustimmen, wobei Validierung auf die Erfüllung von Stakeholder-Bedürfnissen zu beziehen ist. Ferner sind im Systems Engineering die Besonderheiten aller Entwicklungsmodelle und nicht nur der Spezialfall der Auftragsentwicklung zu berücksichtigen. Hierzu wird die Einführung der vorgeschlagenen Produkttaxonomie empfohlen.

Für INCOSE und GfSE ergeben sich daraus interessante Aufgaben, die Voraussetzungen für eine allgemeine Anwendbarkeit des Systems Engineering in nach marktwirtschaftlichen Prinzipien organisierten Volkswirtschaften zu schaffen.

### Literaturverzeichnis

- [DS15] Scheithauer, D.: System Interfaces and System Interoperability in a System-of-Systems Context. NATO LS-SCI-276, Lissabon, 2015.
- [EC01] 2001/95/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 3. Dezember 2001 über die allgemeine Produktsicherheit.
- [EC85] 85/374/EWG: Richtlinie des Rates vom 25. Juli 1985 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Haftung für fehlerhafte Produkte.
- [IN14] INCOSE: A World in Motion – Systems Engineering Vision 2025. 2014.
- [ISO05] DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe. 2005.
- [ISO08] DIN EN ISO 9001: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen. 2008.
- [ISO11] ISO/IEC/IEEE 29148: Systems and Software Engineering – Life Cycle Processes – Requirements Engineering. 2011.
- [ISO08] ISO/IEC 15288-2008: Systems and Software Engineering – System Life Cycle Processes. 2008.
- [MM14] Mazzucato, M.: The Entrepreneurial State – Debunking Public vs. Private Sector Myths. Anthem Press, London New York, 2014.
- [PHG02] Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (Produkthaftungsgesetz - ProdHaftG). 2002.
- [PSG11] Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt (Produktsicherheitsgesetz - ProdSG). 2011.
- [SF13] Scheithauer, D.; Forsberg, K.: V-Model Views. Proc. 23rd INCOSE International Symposium, Philadelphia, PA, 2013.